



REVISTA Δ ARISTAS
Ciencia Básica y Aplicada

VOLUMEN 6

NUMERO 12

AÑO 2018

EDICION ESPECIAL

CIET

2018

MEMORIAS DEL CONGRESO INTERNACIONAL
DE INVESTIGACION TIJUANA, 5 al 9 de Marzo 2018

Id	Nombre	Apellido	País	2017	2018
1	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
2	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
3	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
4	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
5	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
6	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
7	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
8	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
9	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00
10	ALFARO	ALFARO	México	1,000,000.00	1,000,000.00

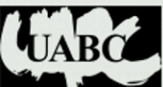
ISSN 2007-9478

MEMORIAS DEL CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION TIJUANA

5 al 9 de Marzo. Copyright 2018



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA



EDITOR EN JEFE

Dr. Juan Andrés López Barreras
 Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
 Universidad Autónoma de Baja California

José López
 Auxiliar Edición
César López
 Auxiliar Diseño

Revista Aristas

Es una Revista de Divulgación Científica donde la Unidad Académica responsable es la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, Campus Tijuana de la Universidad Autónoma de Baja California

COMITE EDITORIAL**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA**

Dra. Thelma Violeta Ocegueda Miramontes
 Dr. Fernando Toyohiko Wakida Kusunoki
 Dr. Ricardo Jesús Renato Guerra Fraustro
 Dr. Javier Emmanuel Castillo Quiñones
 Dr. Roberto Alejandro Reyes Martínez
 Dr. Samuel Guillermo Melendez López
 Dr. Mauricio Alfonso Sánchez Herrera
 Dr. Luis Guillermo Martínez Méndez
 Dra. Blanca Amalia Robles Gutiérrez
 Dr. Oscar Ricardo Acosta del Campo
 Dra. Emma Guadalupe Bejarle Pano
 Dr. Juan Manuel Quintana Melgoza
 Dra. Hermelinda de la Cruz Duran
 Dr. Juan Ramón Castro Rodríguez
 Dr. José Manuel Cornejo Bravo
 Dr. Eduardo Álvarez Guzmán
 Dr. Guillermo Licea Sandoval
 Dr. José Luis Sánchez Palacio
 Dra. Olivia Mendoza Duarte
 Dr. Salvador Valera Lamas
 Dr. Cesar Ortega Corral
 Dr. Juan Temores Peña
 Dr. César García Ríos

M.C. Patricia Lilian Alejandra Muñoz Muñoz
 M.C. María del Carmen Jáuregui Romo
 M.C. Diego Armando Trujillo Toledo
 M.C. Carlos Alberto Chávez Guzmán
 M.C. José Jaime Esqueda Elizondo
 M.C. María Elena Miranda Pascual
 M.C. Marco Antonio Pinto Ramos
 M.C. David Octavio Roa Rico
 M.C. Itzel Barriba Cazares
 M.C. Ethiel Zavala Flores

UNIVERSIDAD DEL BIO-BIO, CHILE.

Dra. Leticia Galleguillos Peralta
Dr. Ivan Santelices Malfanti

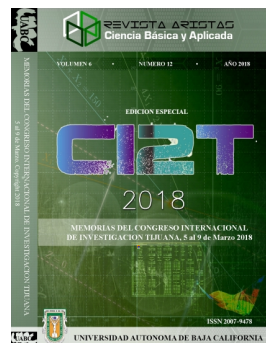
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE HERMOSILLO

Dr. Enrique de la Vega Bustillos
Dr. Gil Arturo Quijano Vega

<http://fcqi.tij.uabc.mx/revistaaristas/>
revistaarista@uabc.edu.mx



Publicada por la
 Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

**PORTADA**

Diseño: JA-C&LB

Publicación Semestral

LEGAL

REVISTA ARISTAS INVESTIGACIÓN BÁSICA Y APLICADA, año 6, número 12, Febrero - Julio del 2018, es una publicación semestral editada y publicada por la Universidad Autónoma de Baja California, Ave. Álvaro Obregón sin número, Col. Nueva, Mexicali, Baja California, México. C.P. 21100. Teléfono Directo: (686) 553-44-61, (686) 553-46-42, Conmutador: (686) 551-82-22, Fax: (686) 551-82-22, ext. 3305. <http://fcqi.tij.uabc.mx/usuarios/revistaaristas>.

Editor responsable: Juan Andrés López Barreras. Reservas de Derechos al uso Exclusivo No. 04-2013-082310014500-102, ISSN 2007-9478, ambas otorgadas por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Responsable de la última actualización de este número: Juan Andrés López Barreras, Coordinación de Posgrado e Investigación de la Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería, fecha de última actualización y publicación: 4 de Mayo 2018. La reproducción total o parcial está autorizada siempre y cuando se cite la fuente.

Derechos Reservados ©

Toda reproducción total o parcial deberá citar a la Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada

Mayores informes

Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada
 Universidad Autónoma de Baja California
 Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
 Calzada Universidad # 14418
 Mesa de Otoy, Tijuana, B.C.
 C.P. 22390, México.
 Tel. +52 (664) 9797500
 Fax +52 (664) 6822790

Carta del Director del Consejo Editorial de la Revista Aristas

Estimados autores, árbitros, lectores:

El comité editorial de la Revista Aristas: Ciencia Básica y Aplicada se complace en presentarles el Vol. 6, Núm. 12 del 2018 con ISSN 2007-9478. Queremos recordarles que el objetivo de nuestra revista es difundir el trabajo científico y tecnológico de académicos investigadores y estudiantes tanto de nuestra universidad como de otras instituciones y círculos científicos nacionales y extranjeros. En concordancia con ello el Comité Editorial ha estado trabajando para mejorar el posicionamiento de nuestra Revista como el principal órgano de difusión del conocimiento científico que se genera en esta Universidad y al interior de otras Instituciones de Educación Superior. Seguimos en el proceso de migración a OJS para desarrollar todos los procesos que se requieren de las Revistas de calidad.

Como muestra de todo el trabajo realizado, en este número Usted encontrará trabajos de investigación en las diferentes áreas de la Ingeniería como: inteligencia artificial, software, comunicaciones, instrumentación, imágenes, sistemas caóticos, robótica y producción. En el área de Química tenemos un nutrido grupo de artículos en catálisis.

Seguimos invitando a todos los investigadores y académicos para que sometan sus trabajos en el marco de las convocatorias que cada semestre se publican en la página de Internet de nuestra Revista Aristas. También queremos agradecer nuevamente a nuestros lectores sus mensajes de agradecimiento recibidas en los correos electrónicos del comité editorial y por sus comentarios y recomendaciones para mejorar cada vez más las publicaciones. Esperamos seguir contando con su colaboración, lo que seguramente nos garantizará el mejor de los éxitos.

Deseamos que la comunidad académica y estudiantil disfruten de la lectura que nos ofrecen nuestros estimados autores.

Dr. Juan Andrés López Barreras
Revista Aristas: Investigación Básica y Aplicada
Editor en Jefe

INTELIGENCIA ARTIFICIAL

1-5. Disponibilidad y uso de tecnologías de la información en hogares mexicanos con minería de datos.

Doricela Gutiérrez Cruz, Dora María Calderón Nepamuceno, Efrén González Gómez, Gabriela Kramer Bustos.

6-12. Buscador Semántico Aplicando Técnicas de Recuperación de Información.

Claudia Evelyn Buendía Vallejo, Dora María Calderón Nepamuceno.

13-16. Una aproximación al diagnóstico de enfermedades de la piel por medio de aprendizaje profundo.

J.C. Suárez Sánchez, L. Colín Rivas, A. Mejía González, J. C. Ambríz Polo, J.F García Mejía.

17-22. Minería de Datos aplicada al diagnóstico emocional en situaciones de desastres naturales.

Agustín Hernández Bautista, Gabriela Kramer Bustos, Dora María Calderón Nepamuceno.

INTELIGENCIA COMPUTACIONAL

23-28. Minería de Datos Aplicado al Marketing.

Diana Arteaga Navarrete, Rosalba Remigio Mondragón, Dora María Calderón Nepamuceno.

29-33. Diseño de un portafolio de inversión por medio de un Algoritmo Competitivo Imperialista.

Juan Fernando García Mejía, Geyma Ariana Pérez, Carlos Eduardo Torres Reyes, Yenit Martínez Garduño, Héctor Garcés Guzmán, Juan Carlos Suárez Sánchez, Luis Antonio González Escobar.

MODELADO Y SIMULACIÓN

34-42. Implementación de un Generador de números pseudo-aleatorios en el microcontrolador Parallax P8x32.

Jesús A. Álvarez-Cedillo, Teodoro Álvarez-Sánchez, Jacobo Sandoval-Gutiérrez.

43-47. Mitigation of a denial of service attack in a P2P network.

Armando de Jesús Ruiz, Benjamín Hernández García, Ezequiel Alejandro Duarte Hernández, Argenis Adán Franco Sánchez.

48-55. Localización de conjuntos compactos invariantes en un sistema caótico que describe la evolución del cáncer.

Andrés Guillermo Cruz Choy, Walter Reyes Andrade, Corina Plata Ante, Diana Gamboa Loaiza, Luis Néstor Coria de los Ríos, Paul Antonio Valle Trujillo.

INGENIERIA COMPUTACIONAL

56-64. Implementación de la metodología octave para el diagnóstico seguridad informática.

Hilda Díaz Rincón, José Antonio Navarrete Prieto, Iliana Gabriela Laguna López de Nava, Ivonne Echevarría Chan, Manuel Marban Cabrera.

65-70. Planificación de Tareas en Sistemas Multicore a través de la Programación Paralela con OpenMP.

Reyna García Belmont, Ma. Del Consuelo Puente Pérez, Luis Cabrera Hernández, Gabriela Lotzin Rendón, Gabriel Torres Santiago, Abelardo Rivera Garibay.

71-76. Análisis e incidencias del Cáncer Infantil en México con aplicación de Minería de Datos.

Ruiz Pérez Julio Cesar, Rico Molina Ricardo, Albarrán Fernández Yaroslaf Aarón, Barajas Juárez Alexis Uriel, Rodríguez Paéz Carmen Liliana.

INGENIERIA DE SOFTWARE

77-84. Aplicación de la tecnología de Realidad Virtual para el estudio del movimiento unidimensional: una actividad didáctica.

Morales-Ramírez Alejandra, Flores-Lara Jesús E., García Rodolfo Z., Amador-Reyes Juan J., Hidalgo-Cortés Cuauhtémoc.

85-89. Sistema de adquisición de datos para el desarrollo y análisis de actividades de experimentación del fenómeno de caída libre a través del procesamiento de imágenes digitales.

Mendoza Yamilet, Hidalgo-Cortés Cuauhtémoc, García Rodolfo, Morales-Ramírez Alejandra, Cruz Mark, García Hiram.

90-95. Registro de Urgencias de Enfermería Evaluado bajo la Norma ISO/IEC 25000 para Productos de Software (SQuARE - System and Software Quality Requirements and Evaluation)

Estefanía Cerrillo, Elisa Urquizo, Enrique Cuán, Diego Uribe, Irma Andrade.

96-101. Análisis de riesgos para la identificación de requerimientos en el desarrollo de un Portal Informativo.

José Antonio Navarrete Prieto, Hilda Díaz Rincón, Iliana Gabriela Laguna López de Nava, Jose Antonio Gallardo Godínez, Rebeca Vigueras Echeverría.

COMPUTACION UBICUA Y MOVIL

102-110. Sistema embebido para el control de asistencia motriz, autodiagnóstico de personas y freno regenerativo en sillas de ruedas.

Gustavo A. Jiménez F., Juan C. Romero V., Jorge E. Mastache M., Cesar L. Ramírez C.

111-115. Optimización del proceso de carga de una batería LiPo utilizando el dispositivo integrado TP4056.

O. Alejandro Islas, Mauricio A. Sánchez, Leocundo Aguilar, Luis-Enrique Palafox.

116-121. Industria 4.0, Prendas Inteligentes: Andon como Sistema de Información para la toma de decisiones.

Roberto David Vera-Torres, Laura Alvarado Santander, Jorge Armas Martínez, Juan de Dios Enríquez Guadarrama, Manuel Alberto Degollado Salazar.

122-129. Protocolo ultra ligero con confidencialidad en la comunicación para redes IoT con nodos de bajo poder de cómputo

Evangelina Lara, Leocundo Aguilar, Jesús A. García

ENERGIA

130-136. Optimización del punto máximo de potencia en un sistema de recuperación de energía solar.

Roberto Santiago Roque Martínez, Luis Enrique Arzate Fabián, Salvador Sarmiento Sánchez, Jorge Edmundo Mastache Mastache.

137-140. Dimensionamiento de Sistema Fotovoltaico para el Gimnasio "Rodrigo Valle" en CETYS Universidad.

Sebastián Ayala, Diego Bobadilla, Ernesto Salgado, Mario Fuentes, Adolfo Esquivel.

MODELOS MATEMÁTICOS

141-145. Combinación convexa del algoritmo de proyecciones afines con orden evolutivo y el algoritmo NLMS.

E. Pichardo, X. Maya, J. G. Avalos, J. C. Sánchez

146-149. Análisis sobre la dinámica de un sistema inmune-tumoral.

Zyanya Anaya Soto, Konstantin Starkov.

INGENIERIA ELECTRÓNICA

150-155. Manejo de Silla de Ruedas Eléctrica por Comandos de Voz Personalizado.

Muñoz Martínez, G. E. Vázquez Alcaraz, J. R. Cárdenas Valdez, C. E. Vázquez López, A. H. López Corral, M. J. García Ortega.

156-162. Diseño de Sistemas Caóticos de Multi-enrollamientos y Multi-direcciones usando SNLF.

Jorge Fernando Cortés-Avilez, Aldo Bonilla-Rodríguez, Rodrigo Y. Serrato-Andrade, Gamaliel Entrambasaguas-León, Andrés Calvillo-Téllez, J.C. Núñez-Pérez.

163-168. Nuevo Algoritmo para la Contabilización de Peces empleando Momentos Invariantes de Hu.

Juan Miguel Hernández Ontiveros, Everardo Inzunza-González, Abraham Flores-Vergara, Enrique Efrén García-Guerrero, Oscar Adrián Aguirre-Castro, Oscar Roberto López-Bonilla Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño.

169-174. Prueba piloto para la medición de cargas cognitivas en un niño con Trastorno del Espectro Autista al desarrollar actividades de aprendizaje.

José Jaime Esqueda Elizondo, Erik Omar González Ramírez, Sara Jessica Brito Calvo, Cecilia Solano Mendivil, Valeria López López, Karla Denisse Castañeda Vera, Marco Antonio Pinto Ramos, María Guadalupe Reyes Rivera, Súa Madaí Rosique Ramírez.

ROBOTICA

175-180. Manufactura de prototipo de robot de 6 GDL.

Roxana García Andrade, Arnoldo Fernández Ramírez, Armando Martínez Reyes, José Francisco Macías Solís

181-188. Construcción de un robot Lego SEGWAY.

Jesús A. Álvarez-Cedillo, Teodoro Álvarez-Sánchez, Jacobo Sandoval-Gutiérrez.

TELECOMUNICACIONES

189-193. Learning Digital Communications through Software Defined Radio.

Víctor M. Hinostraza Zubía, Héctor Garcés Guzmán.

194-197. Predicción de la pérdida de la señal por trayectoria de Dron.

Antonio Gómez Roa, Andrés Calvillo Téllez, José Cruz Núñez Pérez.

198-201. Hardware implementation of a 64-QAM modulator using phase and amplitude schemes in FPGA.

O. Ramírez Rosas, J. R. Cárdenas-Valdez, M. J. García Ortega, A. Sotelo Orozco, G. E. Vázquez Alcaráz, A. H. Corral Domínguez.

202-204. Casa Domótica con IoT.

Alejandro Espericueta, Alan Rangel, Marco Sánchez, Adolfo Esquivel.

205-210. Remote soil moisture measurements of a Baja California vineyard using a Wireless Sensor Network.

César Ortega-Corral, Oscar Ricardo Acosta Del Campo, Florencio López-Cruz, José Alfredo Ruelas, Jesús Enrique López-Montoya.

211-213. Análisis de cobertura en VHF para red instalada del Club de Radio-experimentadores de Baja California.

Eduardo Álvarez Guzmán, Víctor Damián Pinilla Morán, Edith García Cárdenas, Juan Téllez, María Jesús Ruiz Soto.

INGENIERIA DE MANUFACTURA AVANZADA

214-218. Estrategias para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de seguridad en una empresa fundidora de la comarca lagunera.

Sara María Velázquez Reyes, María Cristina García Carrillo, Salvador Fuentes Jiménez, Benigno Landeros Arenas, Pantaleona Campa Núñez.

219-222. Elaboración de una matriz de impacto ambiental en la Fundidora Especializada del Nazas S.A. de C.V.

María Cristina García Carrillo, Sara María Velázquez Reyes, Víctor Manuel Chiv Landeros, Benigno Landeros Arenas.

INNOVACION DE PRODUCTOS Y PROCESOS

223-229. Optimización simulación para la calendarización del mantenimiento preventivo de una máquina.

Laura Alvarado Santander, Luis Eduardo Urbán Rivero, Rosa Isela Cedano Uribe.

230-233. Análisis de la calidad del servicio en verificentros mediante líneas de espera.

Laura Alvarado Santander, Ricardo Linares Maldonado, Guadalupe Arisdenci M. Estañon, Gerardo Abisai Vera Velázquez.

234-238. Reducción de desperdicios en el área de empaque.

Alejandro Getsemaní Malpica Domínguez, Alan Josué Pérez Ventura, Karina Cecilia Arredondo Soto, María Marcela Solís Quinteros.

239-243. Proyecto de mejora en los procesos de curado y pintura en una empresa de productos eléctricos.

Jorge Arturo Muñoz Hernández, Laura Fabiola Amezcua López, Karina Cecilia Arredondo Soto, Teresa Carrillo Gutiérrez.

244-248. Control de inventarios implementando el método PEPS a través del Kaizen.

Daniel Salas Gallegos, Alejandro Martínez Castellanos, María Marcela Solís Quinteros, Karina Cecilia Arredondo Soto.

249-2532. Medición de sucrosas empleando un interferómetro de Michelson.

Nava-Vega, Cristina González Benito, Ricardo D. López López.

256-262. Cambio del material de empaque para reducir el impacto ambiental y económico en una empresa de productos cosméticos.

Karla Campos Campos, José Raúl Camero, Mydory Oyuky Nakasima López, Karla Frida Madrigal Estrada, Erika Beltrán Salomón, Luz del Consuelo Olivares Fong.

263-268. Control estadístico de tiempos muertos de maquinaria en la empresa aeroespacial de ambientes áridos.

Romero Samaniego Elizabeth, Campos García Josefina, López Badilla Gustavo, Arredondo Soto, Karina Cecilia.

269-275. Manufactura esbelta: Caso de estudio en una empresa de productos eléctricos.

Jazmín Orozco Ocegüera, Karla Madrigal Estrada, Mydory Nakasima Lopez, Erika Beltrán Salomón, Teresa Carrillo Gutiérrez.

276-279. Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de controles en un laboratorio de Electromecánica del ITE.

Sergio Peña-Miranda, Margarita Cervantes-Trujano, Elizabeth Romero-Samaniego, Arely Murillo-Silva, Virginia Alcántara-Méndez

280-283. Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de controles en el laboratorio de Ingeniería Industrial del ITE.

Luz I. López-Hermosillo, Margarita Cervantes-Trujano, Elizabeth Romero-Samaniego, Alma I. Beltrán-López, Ana G. Torres-Pineda.

284-287. Áreas de oportunidad en el proceso de vinculación y gestión de las visitas escolares a la industria en el ITE.

Aurora Serrato-Rivera, Elizabeth Romero-Samaniego, Josefina Campos-García, Ricardo S. Castro-Méndez, Margarita Cervantes-Trujano.

Disponibilidad y uso de tecnologías de la información en hogares Mexicanos con minería de datos

1st Doricela Gutiérrez Cruz
UAEM
Mexico
gutierrezcruzdo@yahoo.com.mx

2nd Dora Maria Calderón
Nepamuceno
UAEM
Mexico
dmcn1304@hotmail.com

3rd Efrén González Gómez
UAEM
Mexico
ip_uam@yahoo.com.mx

4th Gabriela Kramer Bustos
UAEM
Mexico
kramergaby@hotmail.com

Resumen— En el presente trabajo fue analizada una base de datos para identificar la disponibilidad y el uso de las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) en hogares a través de técnicas de minería de datos. Los datos fueron obtenidos de la encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares 2016 realizada por el INEGI. Se aplicó el algoritmo *k-means*, que se caracteriza por la agrupación de los datos de acuerdo a su comportamiento por lo que se obtuvo una nueva interpretación de los datos generados por la encuesta en donde se muestra que la gran mayoría de la población ya cuenta con un celular con acceso a internet, y los usos principales son para actividades laborales, educativa y con menor presencia entretenimiento.

Palabras clave—minería de datos, TIC's, base de datos.

I. INTRODUCCIÓN

Consideradas como un conjunto de herramientas que permiten la creación y manejo automatizado de la información además de promover una comunicación más eficiente en tiempo real, ya que permite transformarla, modificarla y expandirla para generar nuevo conocimiento las tecnologías de la información y comunicación (TIC's) están estrechamente ligadas a la economía debido a que gracias a su eficiencia brinda a los países ventajas competitivas en los negocios internacionales [1].

De acuerdo con la perspectivas de economía digital de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) sobre la economía digital 2015, menciona que la Estrategia Digital Nacional de México pretende situarse como el primer país en digitalización de América Latina se orienta a fomentar la innovación y el emprendimiento en la economía digital, elevar la calidad de la educación a través de las TIC's, contribuir a la transformación de la administración pública, garantizar el acceso universal a los servicios de salud y potenciar la participación ciudadana.

Así mismo se menciona que 27 de los 32 países de la OCDE cuentan con un sitio web, mientras que la presencia de las Pymes en Internet oscila entre un 90% o más en

Dinamarca, Finlandia y Suiza, y un 50% o menos en Letonia, Portugal y México. Con respecto a las ventas en línea en Nueva Zelanda, el porcentaje supera el 45%, en tanto que Grecia, Turquía, Italia y México, el porcentaje es de un 10% o menor. Y el porcentaje del sector de (Las tecnologías de la información y comunicación) TIC'S en el empleo total oscila entre más de un 4% en Irlanda y Corea, y menos de un 2% en Grecia, Portugal y México. Los servicios de TI y otros servicios de la información, junto con el sector de las telecomunicaciones, acaparan un 80% del empleo del sector de las TIC's en el área de la OCDE [2].

De acuerdo con el estudio realizado por Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) menciona que el uso de redes sociales no está directamente vinculado a los niveles de ingreso. Así, México, Argentina, Perú, Chile y Colombia están entre los diez países del mundo con mayor porcentaje de usuarios de las redes sociales. [3]. Como se ha dado a conocer las TIC's tienen un papel fundamental en el desarrollo económico y social de un país ya que proporciona tanta comunicación entre la población, almacenamiento de grandes cantidades de datos, automatización de procesos productivos en empresas, y en la actualidad creación de negocios digitales. [4].

El desarrollo tecnológico tanto en el área de cómputo como en la de transmisión de datos, promueve un mejor manejo y almacenamiento de la información. Como es el caso de la Minería de Datos (MD), puede definirse como el uso consistente de algoritmos concretos que generan una enumeración de patrones a partir de los datos pre-procesados, que sean de utilidad para la toma de decisiones. [5], [6], [7]. Se relacionan de manera estrecha con la estadística, usando técnicas de muestreo y visualización de datos. La investigación y el desarrollo para analizar grandes volúmenes de datos se hicieron cada vez más necesarios, así mismo puede realizarse a partir de archivos. No obstante, las ventajas aumentan cuando se cuenta con grandes volúmenes de datos [8], descubrir conocimiento de este enorme volumen de datos es un reto en sí mismo. La MD es un intento de buscarle sentido a la explosión de información que actualmente puede ser almacenada. [9]. La fase de minar los datos es la representación del tipo de modelo obtenido. Se concentra en la búsqueda, que tendrán una o varias formas de representación

en dependencia del tipo de modelo obtenido [10]. El análisis de los datos puede proporcionar en conjunto un verdadero conocimiento que ayude en la toma de decisiones [11].

II. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Debido a la importancia del uso y disponibilidad de las tecnologías de información en México el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) [12], la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Instituto Federal de Telecomunicaciones realiza de manera periódica la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de las Tecnologías de la Información en los Hogares de México, de donde fue retomada la realizada en 2016, el banco de datos fue obtenido del repositorio de la página web oficial de INEGI

La encuesta compuesta por 87 preguntas, estructurada por secciones:

- Características de la vivienda.
- Identificación de hogares y residentes de la vivienda.
- Características sociodemográficas.
- Equipamiento de tecnologías de la información y comunicación (TIC) en el hogar.
- Acceso a internet en el hogar.
- Costo y calidad de servicios de tecnologías de la información y las comunicaciones (tic) en el hogar.
- Experiencia en el uso de la computadora, laptop o Tablet.
- Experiencia en el uso de internet.
- Uso de telefonía celular.

La aplicación de la encuesta fue a nivel nacional, a una muestra de 103 mil viviendas, distribuidas en las 32 entidades federativas y en 49 ciudades seleccionadas a sus residentes habituales del hogar de 6 años y más de edad.

III. CASO DE ESTUDIO

Para realizar el estudio se aplicó el proceso general de KDD (Knowledge Discovery in Databases) como se muestra en la Fig. 1, el cual se refiere al proceso no-trivial de descubrir conocimiento e información potencialmente útil dentro de los datos contenidos en algún repositorio de información [13], compuesto por cinco fases:

- Fase de Integración y recopilación de datos.
- Fase de selección, limpieza y transformación de datos.
- Fase de la Minería de datos.
- Fase de evaluación e interpretación.
- Fase de difusión.

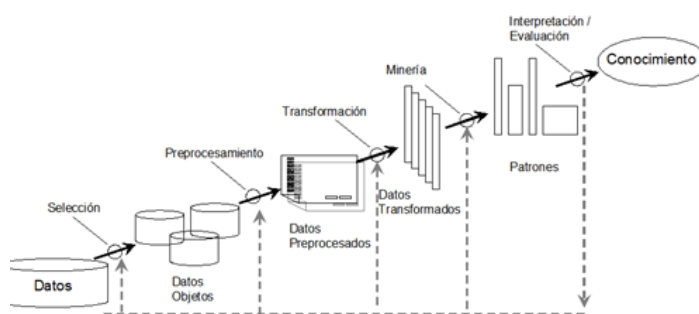


Fig. 1. Proceso del KDD

Con el objetivo de descubrir patrones y relaciones en los datos que puedan ser usados para hacer predicciones válidas, en un universo de estudio de 155 instancias, en tanto que para el análisis y construcción del modelo de minería de datos se utilizó Weka, software para el aprendizaje automático y la minería de datos escrito en Java y está orientado a la extracción de conocimientos desde bases de datos con grandes cantidades de información. [14] La estructura para procesar datos radica en un archivo con extensión arff (acrónimo de Attribute-Relation File Format) dicho archivo está constituido por; cabecera, declaración de atributos y la sección de datos. En cuanto a la limpieza de los datos, aunque Weka posee algunas herramientas para el preprocesamiento de los datos (uso de filtros) esto se realizó manualmente para tener un mayor control de los datos. WEKA [15] se distribuye como software libre, está constituido por una serie de paquetes de código abierto con diferentes tareas como clasificación, agrupamiento, asociación, y visualización, así como facilidades para su aplicación y análisis de prestaciones cuando son aplicadas a los datos de entrada seleccionados.

IV. DESCRIPCIÓN

Se utilizó el enfoque cuantitativo [16], ya que se usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías. [17]

Los datos seleccionados se obtuvieron del área de proyectos estadísticos realizados por el INEGI en la pestaña de micro datos, así como su archivo descriptor que provee la información necesaria para el manejo de la base de datos, las variables representativas para abordar la problemática son: *sexo, edad, escolaridad, entidad, tipo de tecnología con la que cuenta en el hogar, frecuencia de uso, acceso a internet*, representados por mnemónicos.

Pre-Procesamiento de Datos en esta etapa se realizó la limpieza de la base de datos, eliminando espacios vacíos, y aquellos que no tenían relevancia o nulos, con el objetivo de obtener patrones de calidad para analizarlos e identificar inconsistencias en ellos.

La Tabla 1. contiene la descripción de variables uso y disponibilidad de las tecnologías de información TIC's.

A. Análisis de datos

Después de que la limpieza e identificación de la base de datos fue procesada eliminado los campos ruidosos e irrelevantes, se obtuvieron los principales atributos para una mejor visualización, teniendo como resultado un total de 88 atributos y 155 instancias por lo que se procedió a aplicar la técnica de Minería Clustering, específicamente el algoritmo K-means [18], es uno de los algoritmos más utilizados para realizar agrupamiento, técnica implementada en Minería de Datos. La idea del k-means es colocar todos los objetos en un espacio determinado y dadas sus características formar grupos de objetos con rasgos similares pero diferentes a los demás que integran otros grupos.

Tabla 1. Acrónimos de las variables y su significado.

	SIGNIFICADO DE VARIABLES
HOGAR	Número de miembros en el hogar
SEXO	Género al que pertenece el entrevistado (hombre Mujer)
EDAD	Edad que tiene el entrevistado
ENT	Entidad a la que pertenece
P4_1_1	Disponibilidad de bienes en uso
P4_1_2	Radio, pantalla plasma, codificador analógico
P4_1_3	Servicio televisión por cable
P4_1_4	Teléfono Celular
P4_1_5	Teléfono fijo
P4_1_5A	Señal abierta Wifi
P4_1_6	Consola de videojuegos
P4_2_1	Celular inteligente con servicio a internet
P4_6_2	Tablet con acceso a red móvil
P4_6_3	Computadora escritorio o Portátil
P4_6_4	Teléfono celular con acceso a internet
P4_6_5	Conexión a internet para miembros del hogar
P6_1	Frecuencia uso en los últimos 12 meses
P6_1A_1	Frecuencia uso computadora
P6_1A_2	Frecuencia uso Portátil
P6_1A_3	Frecuencia uso Tablet
P6_3	Cuántas horas invierte en el uso de computadora
P6_4	Cuántas horas invierte en el uso de Portátil
P6_5	Cuántas horas invierte en el uso de Tablet
P6_5_1	Como aprendió el uso de computadora, Tablet o portátil
P6_5_2	Escuela
P6_5_3	Trabajo
P6_5_4	Con amigos
P6_5_5	Con familiares
P7_1	Principales lugares donde hace uso de la tecnología el hogar
P7_2	Trabajo
P7_6	Escuela
P7_7	Principales usos actividades laborales
P7_8	Actividades escolares
P7_9	Entretenimiento

La aplicación de este algoritmo permite agrupar los datos e identificar su frecuencia logrando establecer una relación entre los atributos que se desean analizar. En el caso del análisis realizado a los datos se optó por las condiciones iniciales estándar, que son un máximo de 500 interacciones, 2 cluster obteniéndose lo siguiente:

En la sección de disponibilidad de tecnologías en los hogares que están representadas por los nemónicos P4_1 al P4_8_5 nos permite observar que de un total de 6 iteraciones se obtuvieron 2 clúster en donde se identifica que la mayoría de los encuestados tiene en su hogar los siguientes bienes: radio, pantalla plana, decodificador digital TV abierta, Teléfono Celular, Computadora de escritorio, computadora portátil, Tablet, consola de videojuegos.

Y que estos bienes en su mayoría son compartidos por los residentes de los hogares, además de que todos mostraron que cuentan con telefonía móvil y fija.

La edad más representativa de los usuarios fue de mujeres un promedio de 27 años y en hombres con un promedio de 32 años tienen a su disposición servicio de internet y un teléfono inteligente, además de que las mujeres son el grupo que posee la mayoría de estos bienes. Y en conjunto representan un clúster con el 53% y el otro con el 47% de la población. En cuanto al nivel educativo el más representativo fue el nivel bachillerato y de los estados Toluca y saltillo son las ciudades con mayores grupos de encuestados. Por otra parte en los usuarios se ejecuto el algoritmo Kmeans dando como resultado lo siguiente “fig. 3” en donde después de 10 iteraciones se crearon dos cluster en donde se refleja que la computadora portátil es la más utilizada, con una frecuencia diaria de por lo menos una ocasión al día, además que en su mayoría de estos usuarios aprendieron a utilizar la computadora o tablet por cuenta propia y en la escuela, en promedio las horas de uso son de 2 a 5 horas, los lugares en donde utilizan son en el hogar y en el trabajo.

Así mismo refleja que el rango de edad de los usuarios con mayor frecuencia de uso de las tecnologías es en un promedio de 20 a 37 años y su nivel educativo en cuanto a mayor agrupación de usuarios es los de nivel secundaria y nivel licenciatura. Por último arroja dos centroides con un 44% y 67% del total de la población. Si bien es cierto el uso de la estadística daría información parecida, el análisis mediante la weka y el algoritmo k-means proporcionan información que relaciona los datos con las características específicas de un grupo de personas, permitiendo de obtener información extra para un posible análisis o toma de decisión, que sería uno de los fines que se busca al analizar datos.

```

Number of iterations: 6
Within cluster sum of squared errors: 582.4148938666983

Initial starting points (random):

Cluster 0: 16050,3,1,1,2,1,1,1,2,2,2,1,1,2,1,1,3,1,2,2,2,2,1,2,2,1,2,28,46,350,4
Cluster 1: 3734,5,1,2,2,1,2,1,2,2,2,1,1,1,1,1,1,3,2,2,1,2,2,2,1,1,1,2,7,19,174,46,

Missing values globally replaced with mean/mode

Final cluster centroids:

Attribute      Full Data      Cluster#
              (155.0)      (82.0)      (73.0)
=====
UPM_DIS      9254.5742 9802.7683 8638.7945
VIV_SEL      4.2387 4.4268 4.0274
HOGAR        1.0323 1.0366 1.0274
P4_1_1       1.3484 1.2805 1.4247
P4_1_2       1.5032 1.4634 1.5479
P4_1_3       1.1677 1.1585 1.1781
P4_1_4       1.0      1.7439 1.863
P4_1_5       1      1      1
P4_1_5A      1.7484 1.8537 1.6301
P4_1_6       1.8194 1.8293 1.8082
P4_2_1       1.6968 1.6707 1.726
P4_8_2       1.7742 1.878 1.6575
P4_8_3       1.9548 1.9634 1.9452
P4_8_4       1.8581 1.8171 1.9041
P4_8_5       1.9871 1.9878 1.9863
ENT          16.6 17.5244 15.5616
CD           31.3548 30.8537 31.9178
EST_DIS      246.7484 252.5 240.2877
EDAD         29.8194 27.6098 32.3014
NIVEL        3.5355 3.3659 3.726
class       H      M      H

Time taken to build model (full training data) : 0.01 seconds

=== Model and evaluation on training set ===

Clustered Instances
0      82 ( 53%)
1      73 ( 47%)
    
```

Fig 2. Disponibilidad TIC'S

```

Number of iterations: 10
Within cluster sum of squared errors: 837.4836428898966

Initial starting points (random):
Cluster 0: 14650,3,1,1,1,2,2,1,6,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,1,2,2,2,1,2,
Cluster 1: 3734,5,1,1,1,1,2,1,6,2,2,1,1,2,1,1,2,1,1,1,2,1,1,1,2,2,1,2,2

Missing values globally replaced with mean/mode

Final cluster centroids:
Attribute   Full Data   0           1
(155.0)    (68.0)    (87.0)
-----
UPM_DIS    9254.5742  9219.0588  9282.3333
VVV_SEL    4.2357    3.9265     4.4828
HOGAR      1.0323    1.0294     1.0345
P6_1       1         1           1
P6_1A_1    1.4129    1.5508     1.2959
P6_1A_2    1.6903    1.8971     1.8287
P6_1A_3    1.7161    1.5         1.8551
P6_2       1         1           1
P6_4       3.7548    2           5.1264
P6_5_1     1.4194    1.5735     1.2959
P6_5_2     1.6774    1.5         1.8161
P6_5_3     1.9226    1.8853     1.8756
P6_5_4     1.9545    1.9706     1.9425
P6_5_5     1.6968    1.6912     1.7011
P7_1       2         2           2
P7_2       2.3613    2.2059     2.4828
P8_6       3368.0903 7461.9853  169.2644
P8_7       1.2065    1.2794     1.1494
P8_8       2         2           2
ENT        16.6     16.4706    16.7011
CD         31.3548   29.1324    33.092
EST_DIS    246.7484  240.6176   251.5402
EDAD       29.8194   20.2206    37.3218
NIVEL      3.5355    2.2941     4.5057
class      H         H           H
    
```

Time taken to build model (full training data) : 0.01 seconds

=== Model and evaluation on training set ===

Clustered Instances

0	68 (44%)
1	87 (56%)

Fig. 3 usuarios TIC'S

CONCLUSIONES

El desarrollo de este trabajo permitió describir el comportamiento del uso y disponibilidad de las tecnologías de información en México, mediante la minería de datos con la aplicación de la herramienta Weka, desde una perspectiva diferente con el algoritmo kmeans que permite explorar el comportamiento de los datos de para conocer la convergencia en agrupaciones. Resaltando el uso de las TIC's y su incremento entre la comunidad con un rango de 20 a 37 años, así como también se resalta que el nivel educativo de estos usuarios es entre el nivel secundaria a licenciatura.

REFERENCIAS

- [1]. Ortí, C. B. (2013, May 22). Las tecnologías de la información y comunicación (T.I.C.). [Online]. Disponible: <http://www.uv.es/~belloch/pdf/pwtic1.pdf>.
- [2]. OCDE, O. p. (2017, May 15). Perspectivas de la OCDE sobre la economía digital 2015. [Online]. Disponible: http://www.oecd.org/sti/ieconomy/DigitalEconomyOutlook2015_SP_WEB.pdf.
- [3]. CEPAL, C. E.. (2016). La nueva Revolución Digital ,de la internet del consumo de la internet a la producción . Chile: CEPAL.Sin publicar.
- [4]. Andrade Yejas, D. A. (2016) "Estrategias de marketing digital en la promoción de Marca." Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. En prensa.

- [5]. Fayyad, Usama, Piatetsky-Shapiro, Gregory and Smyth, Padrahic. "The KDD process for extracting useful knowledge from volumes of data In: Communications of the ACM". Vol. 39, No. 11. New York (USA). ACM Digital Library. pp. 27-34. ISSN: 0001-0782, 1996.
- [6]. Hand, D, Mannila, H. & Smyth, P. "Principles of Data Mining." Cambridge, MA: The MIT Press. 2001. En prensa.
- [7]. Frawley, W, Piatetsky-Shapiro, G. & Matheus, C. "Knowledge discovery in databases: An Overview AI magazine", Vol. 13, No 3, pp. 57. 1992.
- [8]. Chiotti S. M, Cidisi O. (2013). Minería de Datos en Base de Datos de Servicios de Salud. UTN, FRSF, Ingar UTN CONICET. Sin publicar.
- [9]. Riquelme, José C, Ruiz Roberto, Gilbert, Karina. Minería de datos: conceptos y tendencias. Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos Universidad de Sevilla. (2006). Sin publicar.
- [10]. Quesada Aznielles Yaneisis, Wong Pérez Daymi, Rosete Suárez Alejandro, "Minería de Datos aplicada a la Gestión Hospitalaria," presentado en la 14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, CUJAE, 2008.
- [11]. Marcano Aular, Yelitz Josefina y Talavera Pereira Rosalba. "Minería de Datos como soporte a la toma de decisiones empresariales," Opción, vol. 23, No. 52, pp. 104-118 ISSN 1012-1587, 2007.
- [12]. INEGI. "Encuesta nacional sobre disponibilidad y uso de tecnologías de la información en los hogares." Mexico 2016. <http://www.beta.inegi.org.mx/proyectos/enchogares/regulares/dutih/2016/default.html>.
- [13]. Han, J., & M., K. "Data Mining: Concepts and Techniques." USA: Morgan Kaufmann Publishers. (2001). En prensa.
- [14]. Alonso, C. Environment for Knowledge Analysis. Recuperado el (2017). [Online]. Disponible: <http://www.infor.uva.es/~calonso/IAII/Apren>.
- [15]. Aler, R. Tutorial Weka 3.6.0. (2009). [Online]. Disponible: <http://ocw.uc3m.es/ingenieria-informatica/herramientas-de-la.../TutorialWeka.pdf>.
- [16]. Hernández, R., & Fernández, C. "Metodología de la Investigación México". McGraw-Hill. 2007. En prensa.
- [17]. Hernández, J. R. "Introducción a la Minería de Datos." Madrid. Pearson Prentice Hall. 2008. En prensa.
- [18]. Lara, G. H., & Ruiz, L. M.. Análisis de un caso práctico aplicando el algoritmo k means mediante WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis). [Online]. Disponible: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/huejutla/n7/a1.html>.

NOTAS BIOGRÁFICAS

Doricela Gutiérrez Cruz: Ingeniero en comunicaciones y Electrónica, con estudios de Maestría y Doctorado en Ingeniería de Sistemas de la Sección de Estudios de posgrado en Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica del Instituto Politécnico Nacional, actualmente está adscrita a la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Inteligentes del Centro Universitario Nezahualcóyotl, de la Universidad Autónoma del Estado de México. gutierrezcruzdo@yahoo.com.mx

Dora María Calderón Nepamuceno es Doctora en Control Académico del Centro Universitario Nezahualcóyotl de la Universidad Autónoma del Estado de México, adscrito a la Ingeniería en Sistemas Inteligentes.

Efrén González Gómez es Académico del Centro Universitario Nezahualcóyotl de la Universidad Autónoma del Estado de México, adscrito a la Ingeniería en Sistemas Inteligentes

Gabriela Kramer Bustos es Académico del Centro Universitario Nezahualcóyotl de la Universidad Autónoma del Estado de México, adscrito a la Ingeniería en Sistemas Inteligentes

Buscador Semántico Aplicando Técnicas de Recuperación de Información

Claudia Evelyn Buendía Vallejo
Centro Universitario Nezahualcóyotl
Universidad autónoma del Estado de México
México
buvace@gmail.com

Dra. Dora María Calderón Nepamuceno
Centro Universitario Nezahualcóyotl
Universidad autónoma del Estado de México
México
dmcalderonn@uaemex.mx

Resumen—Se presenta un buscador semántico basado en un diccionario de Español, con la finalidad de darle significado a las búsquedas que realizan los usuarios ya que los buscadores comunes de la web lanza muchos resultados de los cuales el posicionamiento y su relevancia se basan en el número de veces que aparece las palabras que ingresamos para realizar la búsqueda; para lograr esto es necesario utilizar técnicas de recuperación de información (IR) para dar resultados útiles o con más relevancia a lo que el usuario busca, para ello se propone el uso del modelo de espacio vectorial que calcula la cercanía entre las palabras y las definiciones del diccionario, así como también emplea la lematización del diccionario en español, para poder conectar las palabras entre sí de forma que la búsqueda quede en el contexto al que se refiere el usuario. En este artículo se explicará la metodología usada para lograr una búsqueda más eficaz.

Palabras Claves— Semántica, Motor de búsqueda, Recuperación de información.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los buscadores están basados en realizar búsquedas bajo las indexación de miles de páginas; a su vez utilizan datos (metadatos) relevantes de la páginas, sin dejar de lado la publicidad relacionada a la búsqueda, estos métodos nos lanzan como resultados muchas páginas que no son útiles para lo que se necesita. [6]

Los buscadores intentan dar como resultado a las páginas que tienen más relación con el tema de búsqueda sin embargo a veces esto lo hacen lanzando en las primeras posiciones las páginas que contienen más veces las palabras que se usan para la búsqueda, pero esto no quiere decir que sea de completa utilidad. [8]

Para tener búsquedas más útiles es necesario hacer uso de las mismas palabras con las que se describe la página o documento o preguntas muy específicas, por esto los buscadores utilizan metadatos los cuales son palabras específicas que pueden llegar a determinar el contenido de la página o documento.

Sin embargo la cantidad de información que se encuentra en la web esta cada día en aumento, esta también es una causa del por qué las búsquedas son tediosas y requieren del juicio humano para determinar si es útil la información encontrada [7], por esto se busca la implementación de buscadores semánticos o buscadores que logren darle contexto o significado a las búsquedas.

II. METODOLOGÍA

El lenguaje natural, entendida como una herramienta que utilizan las personas para expresarse, tiene propiedades específicas que reducen la eficacia de los sistemas de recuperación de información textual [4]

Recuperación de información (IR) es la ciencia de la búsqueda de información en documentos, textos, imágenes, sonido o datos de otras características, de manera pertinente y relevante.

Para la IR tradicional se requiere considerar los siguientes elementos:

- Un vocabulario (lista de términos en lenguaje natural).
- Un algoritmo que incluya las reglas lógicas de la búsqueda (tabla de verdad)

- Una valoración de los resultados o cantidad de información lograda o posible.

Además, se requiere de un motor de búsqueda, el cual permita planear una pregunta con no menos de dos términos y mostrar los resultados mínimos de ponderación para el despliegue de resultados al usuario. [2]

Kobayashi y Takeda detallan como medir el desempeño de un sistema IR utilizando estadísticas y los tres parámetros tradicionales: velocidad, precisión y recall. [3]

Precisión: La cual se calcula con la ecuación (1).

$$P = \frac{\text{documentos relevantes} \cap \text{documentos recuperados}}{\text{documentos recuperados}} \quad (1)$$

Recall: La cual se calcula con la ecuación (2)

$$R = \frac{\text{documentos relevantes} \cap \text{documentos recuperados}}{\text{documentos relevantes}} \quad (2)$$

También es necesario definir el contexto, el cuál es un entorno físico o de situación a partir del cual se considera un hecho. Está constituido por un conjunto de circunstancias (como el lugar y el tiempo) que ayudan a la comprensión se un mensaje. Por ejemplo: un paródico titula “Rafael viajo”. Esto no aporta la información necesaria para que el lector decodifique el mensaje. En cambio, el titular “Rafael Nadal viajo ayer a Italia para jugar al Abierto en Roma” sí puede ser interpretado que incluye información sobre el contexto.

Existen técnicas para capturar el contexto de una búsqueda y con ello mejorar la recuperación de información. La búsqueda contextual intenta capturar de mejor manera las necesidades de información del usuario, resolviendo posibles ambigüedades en los términos, y generando un compendio contextual que consiste de sus conceptos claves. [5]

La coincidencia de palabra es una de estas técnicas, a la fecha los sistemas de búsqueda y de recuperación de información, resuelven consultas basándose en la técnica de coincidencia de palabra (keyword-matching). Se basa en encontrar palabras idénticas a través del procesamiento de texto. En consecuencia, se obtiene resultados irrelevantes porque la palabra es ambigua.

Las ontologías son estructuras que representan y permiten almacenar conocimiento de acuerdo a un dominio específico. Tomando documentos de Wikipedia (terminología de uso popular). Estructura semántica de WordNet (almacena relaciones semánticas del sentido de una palabra). [9]

Para integrar la información se requiere de diccionarios lo cual permite de forma significativa establecer de forma certera los mejores parámetros de búsqueda. Relacionando los conceptos con el significado para ver si este es el sentido que se le quiere dar a la búsqueda.

Para todo lo anterior se requiere de un modelo para recuperar la información. Uno de los modelos más utilizados para recuperar información es el modelo de espacio vectorial. En él las consultas, los términos y los documentos se presentaban como vectores en un espacio con múltiples dimensiones. Un vector tiene tantas dimensiones como términos en el espacio del documento. [19]

Este modelo entiende que los documentos pueden expresarse en función de unos vectores que recogen la frecuencia de aparición de los términos en los documentos. Los términos que forman esa matriz serían términos vacíos, es decir, dotados de algún significado a la hora de recuperar información y por otro lado, estarían almacenados en formato “stemmed” (reducidos los términos a una raíz común, tras un procedimiento de aislamiento de la base que agruparía en una misma entrada varios términos).

El Sistema de Recuperación de Información (SRI) propuesto contiene los siguientes cuatro documentos:

D1: el río Danubio pasa por Viena, su color es azul

D2: el caudal de un río asciende en invierno

D3: el río Rhin y el río Danubio tienen mucho caudal

D4: si un río es navegable, es porque tiene mucho caudal.

La matriz correspondiente dentro del modelo del Espacio Vectorial podría ser la siguiente:

	Río	Danubio	Viena	color	azul	caudal	invierno	Rhin	navegable
D1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
D2	1	0	0	0	0	1	1	0	0
D3	2	1	0	0	0	1	0	1	0
D4	1	0	0	0	0	1	0	0	1

Tabla 1. Ejemplo de Matriz de términos y documentos en el Espacio Vectorial. Fuente: Elaboración propia

Por medio de un proceso denominado stemming, quizá el SRI hubiera truncado algunas de las entradas para reducirlas a un formato de raíz común, pero para continuar con la explicación resulta más sencillo e ilustrativo dejar los términos en su formato normal. En cuanto a las palabras vacías, hemos supuesto que el SRI elimina los determinantes, preposiciones y verbos (“el”, “pasa”, “por”, etc.), presentes en los distintos documentos. Para entregar la respuesta a una determinada

pregunta se realizan una serie de operaciones. La primera es traducir la pregunta al formato de un vector de términos. Así, si la pregunta fuera “¿cuál es el caudal del río Danubio?”, su vector de términos sería $Q = (1,1,0,0,0,1,0,0,0)$. El siguiente paso es calcular la similitud existente entre el vector pregunta y los vectores de los documentos (existen varias funciones matemáticas diseñadas para ello) y ordenar la respuesta en función de los resultados de similitud obtenidos.

En la mayor parte de los sistemas de recuperación de información se tiene que realizar de una forma u otra, la frecuencia de las palabras que aparecen en los documentos, como mayúsculas, minúsculas, acentos entre otros, ya que muchas palabras podrán ser agrupadas al contener una forma similar al inicio de esta. En el área de recuperación de información esta se encarga principalmente del estudio de los sistemas y procesamiento de texto para asignar índices, buscar y devolver datos al usuario.

Para poder reducir las palabras que se derivan de otras se utilizan el algoritmo de Stemming, este es utilizado para el inglés y para el castellano se utiliza el algoritmo de Porter que es un derivado de Stemming.

Stemming es un método para reducir una palabra a su raíz o (en inglés) a un stem o lema. Hay algunos algoritmos de stemming que ayudan en sistemas de recuperación de información. Stemming aumenta el recall que es una medida sobre el número de documentos que se pueden encontrar con una consulta.

Numerosos algoritmos de stemming se vienen desarrollando desde hace años. Tres de los más conocidos son los construidos por Lovins en 1968, Porter en 1980 y Paice en 1990. El algoritmo más común para stemming es el algoritmo de Porter. Todos estos algoritmos van eliminando consecutivamente los finales de las palabras, para arribar a su raíz.

El algoritmo de Porter permite hacer stemming, esto es extraer los sufijos y prefijos comunes de palabras literalmente diferentes pero con una raíz común que pueden ser consideradas como un sólo término.

El algoritmo de Porter tiene la ventaja de ir quitando sufijos por etapas, en cambio Lovins requiere de la definición de todas las posibles combinaciones de sufijos.

El algoritmo de Porter se publicó en 1980. Básicamente lee un archivo, toma una serie de caracteres, y de esa serie, una palabra; luego valida que todos los caracteres de la palabra sean letras y finalmente aplica la lematización.

Lematización es el proceso lingüístico que consiste en, dada una forma flexionada (es decir, en plural, en femenino, conjugada, etc.), hallar el lema correspondiente. El lema es la forma que por convenio se acepta como representante de todas las formas flexionadas de una misma palabra, en palabras más simples el lema de una palabra es la palabra que nos encontramos en el tradicional diccionario como entrada: Singular para sustantivos, masculino singular para adjetivos, infinitivo para verbos.

La lematización puede realizarse automáticamente mediante programas de análisis morfológico.

Un lematizador es capaz de reconocer la riqueza morfológica del español, ya que al reconocer una palabra presenta sus lemas junto con toda su información morfológica correspondiente. El lematizador, también se encarga de la recuperación de información. [18]

El lematizador es un software que permite, a partir de un texto etiquetado gramaticalmente, conocer el lema como ya se ha dicho.

Algunos lematizadores que existen son:

- Tree Tagger
- Tnt Tagger
- Mbt Tagger

La morfología es el estudio de las palabras, su estructura interna, modificaciones que sufren para expresar las diferentes categorías gramaticales como: género, número, tiempo, modo, etc.

Las palabras están formadas por unidades pequeñas que tiene significado (morfemas), ejemplos:

- Niñ-o
- Cas-a
- Flor-ero
- Roj-os
- Comi-ò
- Deport-ista

Las palabras tienen dos morfemas:

1. Morfema Raíz: raíz
2. Morfemas flexivos: sufijo, prefijos, infijos.

Procesos importantes:

- Flexión: escritor-a escritor-as
- Derivación: lava-ble compra-ble
- Composición: agua-miel saca-puntas

Las palabras se agrupan en categorías gramaticales o clases de palabras de acuerdo a:

- Estructura
- Función que desempeña en la oración
- Su significado

En el español se clasifican en 8 categorías:

- 1) Sustantivo
- 2) Adjetivo
- 3) Artículo

- 4) Pronombre
- 5) Verbo
- 6) Adverbio
- 7) Proposición
- 8) Conjunción

- Cuadro basado en análisis superficial
- WordNet de anotación basado en el sentido y la desambiguación
- El reconocimiento de fechas, números, índices, divisas, y las magnitudes físicas (velocidad, peso, temperatura, densidad, etc)

El análisis morfológico clasifica una palabra en la raíz más las categorías que se encuentran en la palabra, por ejemplo:

Gatos = Gato+ Sus+Plur.

Bebo = beber+Ver+Pres. Ind.+ 1 Per.+ Sing.

III. DESARROLLO

Se implementó el modelo de espacio vectorial para la recuperación de información, calculando la cercanía entre las palabras para realizar la búsqueda a las definiciones del diccionario teniendo así como resultado principal de la búsqueda la definición más cercana, también se utilizara el algoritmo de Porter con el cual se calcula la frecuencia de las palabras en un documento; y se empleara la lematización del diccionario en Español, para poder conectar las palabras entre sí de forma que la búsqueda quede en el contexto al que se refiere el usuario.

El modelo de espacio vectorial, en la actualidad es el más utilizado en los sistemas de recuperación de información o SRI. En el modelo, las consultas, los términos y los documentos se representan como vectores en un espacio con múltiples dimensiones. Un vector tiene tantas dimensiones como términos en el espacio del documento.

Se incluirán diccionarios en los cuales se aplicara el algoritmo para indexar las palabras con sus definiciones. [14]

A. Herramientas técnicas

Se utilizara el paquete FreeLing, el cual es una biblioteca de prestación de servicios lingüísticos de análisis. FreeLing está diseñado para ser utilizado como una biblioteca externa de cualquier aplicación que requiera de este tipo de servicios. [10]

Los principales servicios que ofrece:

- El análisis morfológico
- Texto Tokenización

Tokens son las palabras de un lenguaje natural: cada token es una secuencia de caracteres que representa una unidad de información en el programa fuente. [12]

- Flexible reconocimiento multipalabra

B. Lenguajes de programación

Se utilizara Perl, lenguaje de programación originalmente desarrollado para la manipulación de textos y que actualmente es utilizado para un amplio rango de tareas incluyendo administración de sistemas, desarrollo web, programación en red y más. [11]

IV. TRABAJOS RELACIONADOS

A. WOLFRAM ALPHA

Wolfram Alpha es un servicio en línea que responde a las preguntas directamente, mediante el procesamiento de la respuesta extraída de una base de datos estructurados, en lugar de proporcionar una lista de los documentos o páginas web que podrían contener la respuesta, tal y como lo hace Google.

Las consultas y procesamientos de cálculos también se hacen en un campo de texto, pero en este se procesan las respuestas y visualizaciones adecuadas dinámicamente en lugar de producirlas como resultado de la obtención de un banco de respuestas predefinidas. Por lo tanto difiere de los motores de búsqueda semántica, los cuales indexan una gran cantidad de respuestas y luego tratan de hacer coincidir éstas con la pregunta hecha.

B. HAKIA

Hakia es un buscador de recursos de la información que trabaja sobre la base del lenguaje natural en la que las búsquedas no son palabras o frases sino interrogantes concretos. Su software interpreta el significado de una pregunta desarrollada de manera coloquial, es decir, Hakia entiende el contenido ya que necesita información léxica y sintáctica además de la semántica.

Hakia ofrece unos resultados en base a unos criterios.

1- En sus resultados aparecen webs creíbles y recomendadas por bibliotecarios.

2- En los resultados se muestran sitios con la última información disponible.

3- Únicamente se muestran páginas que son absolutamente relevantes.

C. IDEAS AFINES

Se tiene una poderosa base de datos que relaciona automáticamente distintas palabras y términos con conceptos similares o afines.

Esta herramienta es muy útil para distintos fines creativos, ya que puede ser utilizada como un generador de ideas, relacionando distintos términos entre sí. Partiendo de una idea clave se puede llegar a distintos conceptos, todos relacionados con el término principal.

D. QUINTURA

Es un pequeño buscador ruso, este buscador genera nubes conceptuales con resultados relacionados con los términos de búsqueda. Es un buscador visual, que además acaba de incorporar la posibilidad de incluir iconos en los resultados. Se encuentra en la línea de evolución que sigue internet, que tiende a volverse cada vez más visual.

E. MNEMOMAP

Es una aplicación web que crea una especie de mapa conceptual formado por las grandes categorías (palabras clave, sinónimos, traducciones, etiquetas o tags) en que ha agrupado los resultados y que a su vez pueden desplegarse en subcategorías con un solo clic.

En segundo lugar (en la parte inferior) distribuye los resultados en pestañas: una para el propio mnemomap, otra para Youtube, una tercera para Filckr y la última para Yahoo!.

F. SABIOS: UNA APLICACIÓN DE LA WEB SEMÁNTICA PARA LA GESTIÓN DE DOCUMENTOS DIGITALES

SABIOS fue desarrollado para la aplicación de la web semántica, ya que este se basa en el marco semántico de documentos y datos. Se vio que en la Escuela de Artes Plásticas se manejaba una gran cantidad de documentos e información. SABIOS planteó una solución a problemas de la Escuela de Artes Plásticas, como búsqueda, recuperación y clasificación de la información. Este se basó en la recuperación de información y la web semántica, poder obtener la información más relevante e importante de los documentos con que el usuario está trabajando. SABIOS se basó en la metodología MASCommonKADS, que consta de las siguientes fases.

- Conceptualización, en esta se identifica el problema a resolver desde el punto de vista del usuario y determinar los casos de uso.

- Análisis. Propone seis modelos: agentes, tareas, experiencia, coordinación, comunicación y organización.
- Diseño. MASCommonKADS, propone el modelo de diseño clásico, de agentes conocimiento, red y protocolos de comunicación.

Para poder llevar a cabo el proceso de búsqueda de información en SABIOS se definieron actores:

- Actor usuario. Este realiza la búsqueda semántica, donde realiza una búsqueda donde hay una lista de conceptos, y busca si hay un metadato en los documentos que contenga este.
- Actor autor. Persona que ingresa los documentos y relacionarlo con los metadatos, y estos pueden ser modificados
- Actor documentalista. Es el administrador del centro documental, se le asocian tres funciones, editar documento, borrar documento y agregar documento.
- Actor administrador. Este es el que administra el sistema y puede acceder a la base de contexto para editar las ontologías. [17]

Los buscadores ya antes mencionados, realizan sus búsquedas bajo preguntas o temas concretos, en algunos casos solo realizan las búsquedas bajo preguntas, mientras más palabras o contexto tengan la pregunta u oración, serán más precisos los resultados; para el buscador desarrollado solo es necesario tener dos palabras, claro tiene que tener cierto contexto para que nos arroje resultados relevantes, así mismo se utilizan técnicas como la lematización y morfología que permiten cubrir más el rango de coincidencia de palabras al llevarlas a la raíz y esto mejorando el desempeño del modelo de espacio vectorial.

V. RESULTADOS

Se realizaron 15 consultas; eligió estas consultas buscando tuvieran significado o contexto; ya que se relaciona la consulta con el significando; el cual es nuestro documento en el que se aplicara el modelo del espacio vectorial, lanzando así las palabras que más se asemejan a lo buscado.

De estas consultas, se obtuvieron 12 consultas exitosas y 3 sin resultados relevantes. Para ver la efectividad del buscador se tomaron las 15 consultas al 100% obteniendo la fórmula (3).

$$Efectividad = \frac{(12)(100)}{15} = 80\% \quad (3)$$

A. Consultas con éxito

- Aparatos electrónicos
- Respuestas de preguntas
- Malas palabras
- Prenda de vestir
- Sin duda
- Hablar de elegancia
- Sobre programación
- Frutos del bosque
- Dar a luz
- Dar a luz un niño
- Hacer un viaje
- Herramientas de trabajo

B. Consultas sin éxito

- Mejor amigo del hombre
- Utensilios para comer
- Comida saludable

Ejemplos de búsquedas

- Exitosos

Aparatos electrónicos, el resultado se muestra en la figura (1).

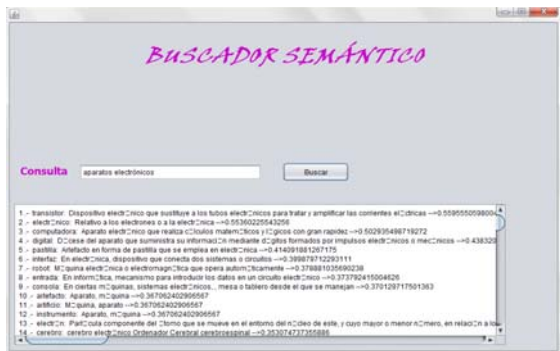


Figura 1. Resultado de la búsqueda de Aparatos Electrónicos. Fuente: Elaboración propia

Dar a Luz, el resultado se muestra en la figura 2.

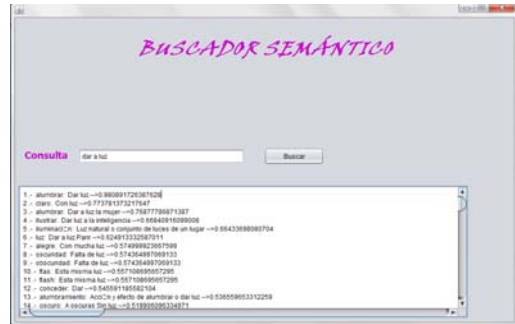


Figura 2. Resultado de la búsqueda de Dar a luz.

- Sin éxito

Comida saludable, el resultado se muestra en la figura 3.

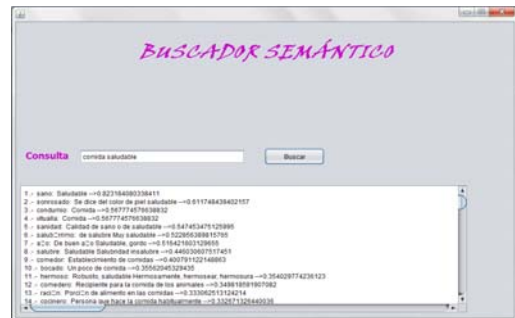


Figura 3. Resultado de la búsqueda de Comida Saludable.

Utensilios para comer, el resultado se muestra en la figura 4.

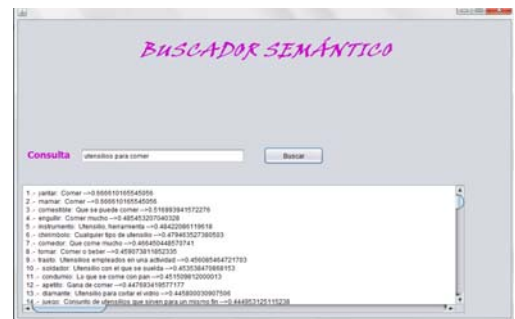


Figura 4. Resultado de la búsqueda de Utensilios para comer

VI. DISCUIÓN DE LOS RESULTADOS

Como se muestran en las figuras anteriormente mostradas se observa que la coincidencia entre la búsqueda y los primeros resultados lanzados son altos, así como son resultados tienen mucha relevancia; esto es lo principal que se busca lograr, que no solo se mandaran en primer plano los resultados donde se

encontraran más las palabras con las que se realiza la búsqueda, si no que el buscador entendiera el contexto de la búsqueda.

Se puede observar que el algoritmo de Porter, la lematización y el análisis morfológico son de gran ayuda para tener una mejor recuperación de información, ya que al someter las palabras a estos algoritmos se logra tener mayor coincidencia de palabras, y esto se refleja en la relevancia del resultado.

Lo que Kobayashi y Takeda plantean para verificar la efectividad del buscador, nos muestra que tiene un alto grado de ella; es claro que la precisión de este puede mejorar, sin embargo, por los resultados obtenidos se puede decir que la efectividad aceptable.

VII. CONCLUSIONES

La recuperación de información sigue cobrando un gran auge debido al crecimiento de Internet. Los programas de RI se siguen basando en los tres modelos booleano, probabilístico y vectorial.

Se logró desarrollar el buscador semántico utilizando un diccionario en español, la aplicación y herramientas de la RI.

Se implementó el modelo del espacio vectorial y la lematización para el desarrollo de las consultas a realizar. Se puede deducir que este nuevo programa tiene una precisión del 80%.

REFERENCIAS

- [1] Shannon, C. E. (1948). A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 27, 379-423, 623-656.
- [2] Baeza Yates, R. R. (1999). Modern information Retrieval. ACM. New York: Addison Wesley .
- [3] Kobayashi, M. a. (2000). Information Retrieval on the Web. ACM Computing Survey (CSUR) , 144-173.
- [4] R, B.-Y. (2004). Computational linguistics and intelligent text processing. Challenges in the interaction of information retrieval and natural language processing , 2945, 445-456.
- [5] R. Kranft, C. c. (2006). Searching whit Context. International Word Wide web conference Committee, (págs. 23-26). USA.
- [6] BERNERS-LEE, T; HENDLER, J.y LASSILA, O (2001). The semantic Web. Scientific America, vol. 284, no. 5, p. 34-43.

- [7] Blair, D.C. (1990). Language and representation in information retrieval. Amsterdam [etc.]: Elsevier Science Publishers.
- [8] Chang, G. et al. (2001). Mining the World Wide Web: an information search approach". Norwell, Massachusetts: Kluwer Acad. Publishers.
- [9] GRUBER, T.R. (1993). Toward principles for the design of ontologies used forknowledge sharing. En: Formal Ontology in Conceptual Analysis andKnowledge Representation. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- [10] Padrò, Muntsa y Lluís Padr'ó. 2004. Comparing methods for language identification. ProceAnalizadores multilingües en FreeLing " Linguamatica ' - 19 samiento del Lenguaje Natural, (33):155-162, September.
- [11] Larry Wall (1991). Programming Perl, O'Reilly and associates.
- [12] Aho, A.V., Sethi, R., Ullman, J.D. (1990), Compiladores: principios, técnicas y herramientas, capítulo 1, páginas: 1-25, 743-747.
- [13] Juan Venegas. 1985 . «El entorno lingüístico». *Documentos Lingüísticos y Literarios*11: 29-38.
- [14] Maria Moliner (2009). Diccionario del uso del Español. Tercera Edición, Santillana USA Publishing Company, Gredos S. A.
- [15] Feliu Arquiola. F. (2009). Palabras con estructura interna". en F. de Miguel (ed.): Panorama de la Lexicología, Barcelona, ariel pp. 51-82.
- [16] Matthews. P.H. (1974). Morfología. Introduccion a la teoría de la estructura de la palabra, Madrid, Paraninfo.
- [17] Guzmán Luna, Jaime A.; Torres Prado, Durley; Ovelle, Demetrio A. "SABIOS: una aplicación de la Web semántica para la gestión de documentos digitales,". *Revista Internacional de bibliotecología*, Vol. 30, núm. 1, pp. 51-71, Universidad de Antioquia Medellín, Colombia, Enero-Junio 2007.
- [18] Gómez Diaz, Raquel (2005). La lematizacion en Español: Una aplicación para la recuperación de información., Trea, pag. 175 y 176.
- [19] Martínez Méndez, Francisco J. (2015). Recuperacion de Información: Modelos, Sistemas y Evaluación.El Kiosko JMC. Capítulo 1, paginas: 09-12.
- [20] Corripio, Fernando (1985). Diccionario de Ideas Afines. Herder A. A., Barcelonna. Uso del diccionario. Páginas: 9 y 10.

Una aproximación al diagnóstico de enfermedades de la piel por medio de aprendizaje profundo

J.C. Suárez Sánchez, L. Colín Rivas, A. Mejía
González, J. C. Ambríz Polo
Ingeniería en Sistemas Computacionales
Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán
Jocotitlán, Estado de México
juan.suarez@tesjo.edu.mx

J.F García Mejía
Ingeniería en Computación
Centro Universitario UAEM Atlacomulco
Atlacomulco, Estado de México
kyrill_lakota@me.com

Resumen— El Deep Learning o aprendizaje profundo es un conjunto de algoritmos que emulan el comportamiento realizado por las neuronas biológicas. En el proceso de generación de conocimiento mediante la experiencia en el tratamiento de datos de diversa naturaleza. Una herramienta computacional que permite la aplicación de técnicas de Deep Learning es Tensorflow, la cual es una librería desarrollada por Google ® de licencia tipo GNU, constituyó el motor de inteligencia artificial de esta compañía. En este trabajo, se muestra la aplicación de Tensorflow en el diagnóstico de enfermedades en la piel como: vitiligo, acné y psoriasis; a partir del entrenamiento con un banco de imágenes tipo jpg. Los primeros resultados muestran una precisión del 72.2%.

Keywords: TensorFlow; Aprendizaje Profundo; Clasificador de imágenes; Enfermedades de la piel.

I. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cutáneas o dermatosis son un conjunto de padecimientos de la dermis, que llaman la atención por el cambio de aspecto que presentan en comparación con la piel sana. Estas pueden presentar las llamadas eflorescencias primarias como: Manchas, Pápulas, Pústulas, Urticaria o eflorescencias; secundarias como: Costras, Hendiduras, Fisuras/laceraciones, Caspa, Ulcera, Con la presencia de algunos síntomas como picor, comezón o dolor. Las causas pueden ser variadas entre predisposición hereditaria, estrés, infecciones bacterianas o virales, desordenes en el sistema inmunológico. Esto constituye un problema de salud por tener altos índices de presencia en la población, sin importar la edad o sexo de la persona. Estos padecimientos afectan de forma estética a quienes la presentan. Si no se tratan a tiempo pueden tener complicaciones severas. Además, de causar problemas psicológicos como baja autoestima. Los especialistas en el tratamiento de enfermedades cutáneas son los dermatólogos, quienes dan un diagnóstico mediante una revisión a las lesiones [1].

Las distintas enfermedades de la piel como psoriasis, vitiligo y acné, son enfermedades que pueden causar lesiones pigmentadas en la piel. Suelen ser benignas y el padecerlas no afecta la esperanza de vida de la persona. Sin embargo, el poder diferenciar el tipo de lesión es un proceso complejo que depende de la pericia del médico tratante, dado que la sintomatología

puede cambiar debido a factores ambientales como: cambios de temperatura, humedad, luminosidad y la presencia de agentes patógenos. Por lo tanto, se dificulta un diagnóstico correcto a los pacientes [2][3][4], el cual es influido por el tipo de piel, la irregularidad, la presencia de bello, el tono de piel, entre otros factores [5][6].

Para diagnosticar una enfermedad en la piel se verifica la presencia/ausencia de algunos signos: la morfología de la lesión individual, la distribución en el cuerpo, el color, escalamiento y disposición de las afectaciones; si cada uno de estos elementos se analiza por separado aumenta la dificultad del proceso de reconocimiento de la enfermedad a diferencia de otras enfermedades tales como los melanomas, que tienen bien definida su forma de diagnóstico mediante métodos como: Menzies; regla ABCD, lista de 7 puntos y análisis de patrones. [7]

A diferencia de otras enfermedades, el diagnóstico de la dermatosis tiene una base subjetiva; dado que para cada experto será diferente el análisis con base a su experiencia. Esto representa un área de oportunidad para trabajar en proyectos enfocados en el diagnóstico automático de estas enfermedades, por medio de sistemas inteligentes [2], técnicas de visión por computadora, segmentación de imágenes, minería de datos y sistemas expertos.

Por lo tanto, en este trabajo se propone el uso de Aprendizaje Automático (Machine Learning, por sus siglas en inglés), una rama de la Inteligencia Artificial (IA) que busca crear aprendizaje automático mediante el reconocimiento de patrones; una subrama de esta disciplina es el Aprendizaje Profundo (Deep Learning, por sus siglas en inglés, DL), es un conjunto de algoritmos basados en imitar el funcionamiento del cerebro humano.

II. TENSORFLOW

TensorFlow es una herramienta ampliamente utilizada para la aplicación de aprendizaje profundo. Es una biblioteca de software OpenSource, desarrollada por Google Brain dirigida al aprendizaje automático por medio de grafos computacionales como flujo de datos, los nodos del gráfico representan operaciones matemáticas y los bordes del grafo son el conjunto de datos multidimensionales llamados “tensores”. Se puede ejecutar en múltiples GPU’s y CPU’s, es multiplataforma y dispone de distintas formas de instalación. [8]

Actualmente, las técnicas de inteligencia artificial aprenden sobre el mundo real con la ayuda de los recursos computacionales. El DL es un conjunto de métodos de aprendizaje con múltiples niveles de representación. Se refiere a la adquisición de conocimientos: identificando patrones automáticamente y manipulando datos brutos. A través, de la construcción de las características de alto nivel de forma autónoma y una gran cantidad de niveles jerárquicos de extractores dentro de un sistema de auto aprendizaje. [9] [10].

El conocimiento mediante el aprendizaje automático se adquiere a través del análisis y manipulación de datos en base a teorías matemáticas.

Algunos conjuntos de procedimientos y recursos de la inteligencia artificial utilizan técnicas basadas en reglas, son exactas, pero no son fáciles de escalar.

El DL permite a una Red Neuronal Artificial (RNA) de varias capas de neuronas aprender a representar características sin decirles cuales son, donde su aprendizaje puede ser supervisado y no supervisado. Estos métodos han presentado una mejora en el estado de la técnica de: reconocimiento de voz, reconocimiento de objetos visuales, detección de objetos y otras áreas, como el descubrimiento de fármacos y genómica. [11]

En una RNA la composición de los diferentes niveles jerárquicos se puede aprender con funciones muy complejas. En las tareas de clasificación, las capas más altas de representación amplifican aspectos de la entrada, son importantes para discriminar y suprimir variaciones irrelevantes. Por ejemplo: Una imagen viene en forma de matriz de valores de píxeles, donde las características aprendidas; en la primera capa representa la presencia o ausencia de bordes en orientaciones particulares y ubicaciones en la imagen; la segunda capa detecta los arreglos particulares de bordes, independientemente de las variaciones en las posiciones de los bordes. La tercera capa ensambla las características obtenidas por la segunda capa realizando combinaciones que corresponden a partes conocidas [12] [13].

El aspecto clave del DL es que las capas tienen la característica de que no están diseñadas por ingenieros humanos: aprenden de datos utilizando un procedimiento de aprendizaje de propósito general.

La aplicación de DL está haciendo grandes avances para la solución de problemas: como el descubrir estructuras intrincadas

en datos de alta dimensión. Por lo tanto, es aplicable en negocios, gobierno; así como en áreas de reconocimiento de imágenes y de voz, para predecir la actividad de moléculas de fármacos potenciales, analizar datos de aceleración de partículas y reconstruir circuitos cerebrales. [14]

El DL tiene buenos resultados para diversas tareas: comprensión del lenguaje natural, clasificación de temas y lenguaje de traducción. TensorFlow permite el aprendizaje automático por medio de la construcción y entrenamiento de redes neuronales. Esta herramienta puede ser utilizada para construir Redes Neuronales Convolucionales (CNN, por sus siglas en inglés), obligan la extracción de características locales y aprovechan las similitudes extraídas de los datos de entrada, siendo adecuados para tareas como el procesamiento de imágenes, reconocimiento de voz, donde se toman en cuenta las variables vecinas [9]

TensorFlow se instaló sobre la plataforma Linux haciendo uso de la forma de instalación "PIP", es recomendada en la página oficial, el método de entrenamiento consiste en un banco de imágenes a clasificar en formato .JPG.

III. CASO DE USO

Para el entrenamiento de esta red se hace uso de una técnica llamada transferencia de conocimiento, la cual consiste en seleccionar una red previamente entrenada y se utiliza parte de esta para posteriormente reentrenarla en una nueva categoría de clasificación. Este método tiene como consecuencia un tiempo de preparación menor en comparación con un entrenamiento completo desde cero.

La arquitectura de la red convolucional retomada es la del modelo de reconocimiento de imágenes llamada inception V3, este modelo consta de dos partes

- parte de extracción
- parte de clasificación

El modelo extrae características generales de imágenes de entrada en la primera parte y las clasifica según las características de la segunda parte.

Para la transferencia de conocimiento se reutiliza el segmento de extracción de características y se reentrena el segmento de la clasificación como se puede observar en la figura 1, por lo que este proceso se puede hacer con un menor costo computacional y menor capacitación.

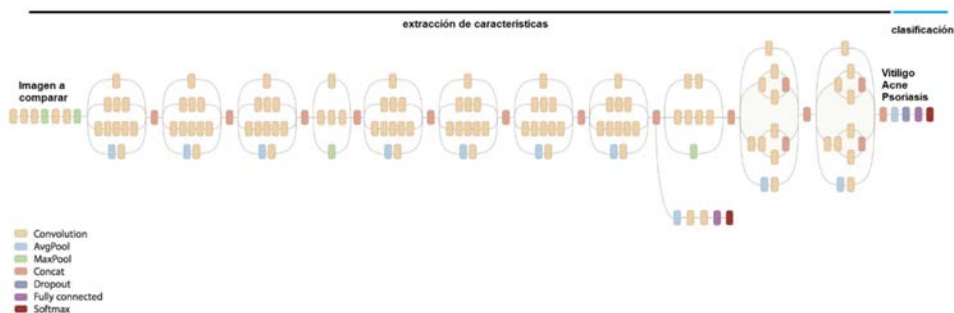


Figura 1 arquitectura inception.

El proceso consiste en tener un banco de imágenes para cada categoría a clasificar. Posteriormente, se ejecuta el script para el reentrenamiento, se extraen los patrones de cada una de las imágenes dependiendo del número de iteraciones que se consideren necesarias por imagen y realiza la transferencia de conocimiento a la red con nuevas categorías. El tiempo de este proceso varía por la cantidad de imágenes que se ejecutan con el nuevo entrenamiento de la red y las categorías a clasificar.

Al finalizar el reentrenamiento de la red se tendrá un porcentaje de precisión para clasificar cada una de las categorías y presenta un aumento: entre mayor sea el número de imágenes por categoría en el banco a clasificar. En este trabajo el porcentaje de precisión dado por TensorFlow es de un 72.2% al momento de reconocer una afectación cutánea como psoriasis, acné o vitiligo, como se muestra en la Figura 2.

```

tf@1:~/skin
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:48.964067: Step 460: Train accuracy = 97.0%
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:48.964624: Step 460: Cross entropy = 0.119206
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:49.045893: Step 460: Validation accuracy = 82.0
% (N=100)
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:49.732867: Step 470: Train accuracy = 98.0%
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:49.733362: Step 470: Cross entropy = 0.085234
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:49.816784: Step 470: Validation accuracy = 78.0
% (N=100)
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:50.506391: Step 480: Train accuracy = 97.0%
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:50.506940: Step 480: Cross entropy = 0.067706
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:50.589291: Step 480: Validation accuracy = 72.0
% (N=100)
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:51.276527: Step 490: Train accuracy = 99.0%
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:51.277042: Step 490: Cross entropy = 0.019367
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:51.356431: Step 490: Validation accuracy = 69.0
% (N=100)
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:51.970776: Step 499: Train accuracy = 99.0%
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:51.971284: Step 499: Cross entropy = 0.030001
INFO:tensorflow:2017-12-15 20:20:52.050682: Step 499: Validation accuracy = 66.0
% (N=100)
INFO:tensorflow:Final test accuracy = 72.2% (N=79)
INFO:tensorflow:Froze 2 variables.
Converted 2 variables to const ops.
tf@1:~/skin$
    
```

Figura 2. Entrenamiento de la red

Para la comprobación del funcionamiento del clasificador utilizando DL, se selecciono una imagen que contenga las afectaciones de la piel anteriormente mencionadas, algunas de las utilizadas en este trabajo son las mostradas en la Figura 3. Este tipo de problemas se pueden observar en la: Figura 3.a vitiligo; Figura 3.b acné y Figura 3.c psoriasis. Cada una de estas figuras representan un ejemplo del tipo de imágenes que se utilizaron en el TensorFlow para realizar las pruebas.

Es importante destacar que el banco de imágenes usado para el entrenamiento de la red es obtenido de los sitios electrónicos www.shutterstock.com, www.gettyimages.es y www.istockphoto.com así como algunas cuentas de instagram

Como resultado de las diferentes pruebas, se obtuvo la correcta clasificación de estos tres padecimientos comprobando con las imágenes mostradas en la figura 3, obtenidas de los bancos antes mencionados



a) Vitiligo



b) Acne



c) Psoriasis

Figura 3. Imágenes utilizadas en la clasificación: a) vitiligo, b) acné y c) psoriasis.

Las figuras 4, 5, y 6 corresponden a las consolas de Python donde se muestra el resultado de la clasificación para Vitiligo, Acne y Psoriasis. Se observa en consola como primer resultado el nombre de la enfermedad a la que tiene mayor probabilidad de pertenecer. Posteriormente, la posibilidad de formar también parte de las otras categorías.

```

tf@1:~/skin
tf@1:~/skin$ python -m scripts.label_image --graph=tf_files/retrained_graph.pb --image=acne.jpg
2017-12-15 20:25:34.961429: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.1 instructions, but these are available on your machine and could speed up CPU computations.
2017-12-15 20:25:34.961681: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45] The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.2 instructions, but these are available on your machine and could speed up CPU computations.
acne 0.989156
psoriasis 0.0108365
vitiligo 7.66242e-06
tf@1:~/skin$
    
```

Figura 4. Clasificación con imagen de acné.

```
tf@1:~/skin
tf@1:~/skin$ python -m scripts.label_image \
> --graph=tf_files/retrained_graph.pb \
> --image=pruebbita.jpg
2017-12-15 20:24:29.345948: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45]
The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.1 instructions, but these are
available on your machine and could speed up CPU computations.
2017-12-15 20:24:29.346200: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45]
The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.2 instructions, but these are
available on your machine and could speed up CPU computations.
vittligo 1.0
psoriasis 6.96088e-10
acne 2.75324e-11
tf@1:~/skin$
```

Figura 5. Clasificación con imagen de vitiligo.

```
tf@1:~/skin
tf@1:~/skin$ python -m scripts.label_image --graph=tf_files/retrained_graph.
pb --image=psoriasis.jpg
2017-12-15 20:30:09.547619: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45]
The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.1 instructions, but these are
available on your machine and could speed up CPU computations.
2017-12-15 20:30:09.547848: W tensorflow/core/platform/cpu_feature_guard.cc:45]
The TensorFlow library wasn't compiled to use SSE4.2 instructions, but these are
available on your machine and could speed up CPU computations.
psoriasis 0.915412
acne 0.0845848
vittligo 2.86718e-06
tf@1:~/skin$
```

Figura 6. Clasificación con imagen de psoriasis.

IV. CONCLUSIONES

Como conclusión de esta primera aproximación con la herramienta TensorFlow se observa una correcta clasificación de estas tres enfermedades en la piel considerando la exactitud mostrada del resultado de un 100% en una escala de 0 a 1 de aceptación, en clasificar estas afectaciones. Mostrando un porcentaje de la posibilidad que existe de que la misma imagen pertenezca a las dos categorías del clasificador, siendo estas bastante bajas como se puede observar en las figuras 4,5 y 6.

En la clasificación de las imágenes ya con la red implementada, el porcentaje de aceptación en reconocer cuál de las tres categorías pertenece la imagen mostrada, dependerá de cada una de las imágenes. Siendo distinto el porcentaje de clasificación entre estas.

El número total de imágenes para el entrenamiento de la red es de 1500, dividiéndose por categorías como se muestra en la Tabla 1. Cabe destacar que estas imágenes fueron recolectadas de distintos bancos de imágenes y búsquedas a través de la web y distintas paginas relacionadas con la salud de la piel

Tabla 1. Cantidad de imágenes de entrenamiento.

Padecimiento	Numero de imagines
Psoriasis	500
Acne	500
Vitiligo	500

El aprendizaje profundo mediante una red neuronal convolucional (figura 1) implementado en TensorFlow hace posible el reconocimiento y clasificación de imágenes de personas con problemas de acné, psoriasis y vitiligo. De acuerdo

a la literatura especializada, Tensor Flow realiza clasificadores mas eficientes que los basados en procesos declarativos tales como %&%&%\$& , por esa razón en este trabajo no se realiza una comparativa con estos.

Como trabajos a futuro se pretende aumentar el número de imágenes de enfermedades de la piel para mejorar la tasa de precisión de la respuesta de la predicción. Así como, implementar una interfaz gráfica para que sea amigable y fácil de utilizar para el usuario.

REFERENCIAS

- [1] P. Altmeyer, K. Hoffmann, "Basiswissen Dermatologie", W3L GmbH Herdecke 2006 ISBN 3-937137-95.
- [2] P. Cavalcanti, J. Scharcanski, "Automated prescreening of pigmented skin lesions using standard cameras", *Computerized medical imaging and graphics*, vol. 35, pp.481-491, Feb 2011.
- [3] H. A. Güvenir, G. Demiröz, and N. İlter, "Learning differential diagnosis of erythemato-squamous diseases using voting feature intervals", *Artificial Intelligence in Medicine*, vol. 13, pp. 147-165, 1998.
- [4] H. A. Govenir and N. Emeksiz. "An expert system for the differential diagnosis of erythemato-squamous diseases", *Expert Systems with Applications*, vol. 18, pp. 43-49, 2000.
- [5] J. Gao, J. Zhang, M. Fleming, I. Pollak, A. B. Cagnetta. "Segmentation of Dermoscopic Images by Stabilized Inverse Diffusion Equations", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 1998.
- [6] M. Shamul Arifin, M. Golam Kibria, A Firoze, M. Ashrafal, "Dermatological disease diagnosis using color-skin images", *Conference on Machine Learning and Cybernetics*, July 2012.
- [7] N. Cox and I. Coulson, "Diagnosis of skin disease", *Rook's Textbook of Dermatology*, 7th edn. Oxford: Blackwell Science, vol. 5, 2004.
- [8] Página oficial de tensorflow <https://www.tensorflow.org>
- [9] Y. LeCun, Y. Bengio "Deep Learning", *Nature*, vol. 521, Mayo 2015.
- [10] J. Tompson, J. Jain, Y. LeCun, "Join training of a convuntional network and a graphical model for human pose estimation", *Advances in neural information processing systems*, vol. 1. pp. 1799-1807, (2014).
- [11] D. H. Ballard, "Brain Computational as Hierarchical Abstraction", MIT Press, 2015.
- [12] F. Ertam, G. Aydin, "Data classification with deep learning using TensorFlow", *Computer science and engineering (UBMK) international conference on*, October 2017.
- [13] Y. Taigman, M. Yang, L. Wolf, "DeepFace: closing the gap to human-level performance in face verification", *Computer vision and pattern recognition (CVPR)*, June 2014.
- [14] J. Ma, Ssheridan, R. P. Sheridan, A. Liaw, "Deep neural nets as a method for quantitative structure-activity relationships", *J. Chem. Inf. Model.*, pp. 263-274, January 2015.

Minería de Datos aplicada al diagnóstico emocional en situaciones de desastres naturales.

Agustín Hernández Bautista
Centro Universitario Nezahualcóyotl
Universidad Autónoma del Estado de México
tinbau7@gmail.com

M. en C. E. F. Gabriela Kramer Bustos
Centro Universitario Nezahualcóyotl
Universidad Autónoma del Estado de México
gkramerb@uaemex.mx

Dra. Dora María Calderón Nepamuceno
Centro Universitario Nezahualcóyotl
Universidad Autónoma del Estado de México
dmcalderonn@uaemex.mx

Resumen— El impacto de los desastres naturales por su característica traumática sobrecargan los recursos psicosociales de las personas y pone en peligro la capacidad para afrontarlos, lo que hace necesario anticipar las consecuencias emocionales que este tipo de desastres provoca. El comprender mejor cómo y a quienes afecta psicológicamente un desastre natural, posibilita la intervención psicosocial de manera oportuna y efectiva.

El sismo vivido el 19 de septiembre del 2017 en la Ciudad de México, dio como resultado consecuencias postraumáticas con características depresivas en la población estudiantil del CU UAEM Nezahualcóyotl. Por lo anterior, se consideró importante la aplicación del (SQD) Screening Questionnaire for Disaster Mental Health propuesto por Valenti en el 2013 a una muestra de estudiantes, que, para determinar el grado de afectación emocional de los mismos, los resultados fueron tratados con técnicas de minería de datos (MD) y algoritmos de clasificación (AC). Tomando en cuenta que los estudiantes comparten características similares se utilizó un algoritmo de Clasificación K-NN (K-Nearest-Neighbors) como método de clasificación supervisado.

Palabras Claves—Minería de Datos, Clasificación, Patrones.

I. INTRODUCCIÓN

La Minería de Datos (MD) es una disciplina de gran importancia basada en diversidad de áreas tales como la estadística, la inteligencia artificial, la computación gráfica, y el procesamiento masivo reuniendo sus ventajas, para ser utilizadas en bases de datos computacionales[12].

La MD se utiliza para identificar, procesar y extraer información significativa de un repositorio que implícitamente

no se observa (se encuentra oculta), proporcionando las técnicas adecuadas para extraer información a partir de una gran cantidad de datos complejos los cuales no se puede tener acceso por técnicas de recuperación.

Usama Fayyad en 1996 define a la MD como “un proceso no trivial de identificación válida, novedosa, potencialmente útil y entendible de patrones comprensibles que se encuentran ocultos en los datos”[4]. Mientras que desde un punto de vista empresarial la MD la definen como “La integración de un conjunto de áreas que tienen como propósito la identificación de un conocimiento obtenido a partir de las bases de datos que aporten un sesgo hacia la toma de decisión”[5].

El descubrimiento de dicha información se realiza mediante técnicas de MD que entre otras sofisticadas técnicas emplea la Inteligencia Artificial para encontrar patrones y relaciones entre los datos [9]. La MD abarca todo un conjunto de técnicas enfocadas en la extracción de conocimiento implícito en las bases de datos. Las bases de la minería de datos se encuentran en la inteligencia artificial y en el análisis estadístico. Mediante los modelos extraídos utilizando técnicas de minería de datos se aborda la solución a problemas de predicción, clasificación y segmentación [3].

A. Minería de Datos

La MD es una disciplina de las ciencias e ingenierías de la computación que intenta hallar patrones significativos en conjuntos de datos para producir modelos descriptivos, predictivos y clasificadores, apoyándose en técnicas de manejo y programación de bases de datos, en estadística y aprendizaje automático[1].

Existen dos grandes grupos de algoritmos, aprendizaje supervisado y no supervisado. En ambos casos, el algoritmo recibe como entrada un conjunto de datos (data set) y produce como salida un modelo descriptivo, clasificador o predictivo. El data set es una tabla bidimensional, organizada en renglones y columnas. Cada renglón constituye una instancia, ejemplo, registro o tupla que describe un caso real del proceso o fenómeno analizado. Cada columna constituye un atributo. [2]

En el aprendizaje no supervisado, el data set no incluye atributo de clase debido a que en el proceso o fenómeno analizado no se dispone de este dato. El principal propósito de esta modalidad de aprendizaje es hallar las clases o categorías que pudieran existir en el data set. Los modelos construidos intentan representar las similitudes que existen entre las instancias de las clases halladas. Una vez descubiertas las clases, se puede agregar al data set un atributo de clase cuyos valores serán asignados con base en los patrones hallados. Después, el atributo de clase puede usarse como target en la aplicación de algoritmos de aprendizaje supervisado. [1]

B. Método general de la minería de datos

Proceso típico de minería de datos:

- a) Selección del conjunto de datos: Variables dependientes y objetivo, muestreo de los registros disponibles.
- b) Análisis de las propiedades de los datos: Histogramas, diagramas de dispersión, presencia de valores atípicos y ausencia de datos (valores nulos).
- c) Transformación del conjunto de datos de entrada: Conjunto de operaciones con la finalidad de preparar los datos de análisis, su objetivo es adaptarlos para aplicar la técnica de minería de datos que mejor se adapte al problema.
- d) Seleccionar y aplicar la técnica de minería de datos: La elección de la técnica dependerá de la naturaleza del problema a resolver. Para poder implementar la técnica seleccionada, se debe proceder a elegir algún software que facilite el trabajo de aprendizaje automático.
- e) Evaluar los resultados: contrastándolos con un conjunto de datos (datos de entrenamiento) previamente reservados para validar la generalidad del modelo.

La clasificación se puede interpretar como la partición del espacio de características en regiones mutuamente excluyentes, de tal forma que cada región esté asociada a una clase y, dado un patrón particular, decidir a qué clase de las disponibles pertenece.

El aprendizaje supervisado dispone de un conjunto de patrones para su ejecución que se conocen como muestra de entrenamiento. Este conjunto de datos es recolectado por un experto en el campo de estudio y agrupa en clases o categorías de acuerdo a las propiedades que cada uno posee [8].

II. DESARROLLO

El objetivo del presente fue describir el impacto psicosocial del sismo del 19 de septiembre del 2017 a una muestra de estudiantes de diferentes carreras del CU UAEM Nezahualcóyotl con el uso de técnicas de algoritmos de clasificación (AC) y Minería de Datos (MD).

El estudio fue ejecutado un mes después de acontecido el sismo. Se realizó un estudio de tipo descriptivo, analítico exploratorio.

La evaluación del impacto emocional, se evaluó mediante el Screening Questionnaire for Disaster Mental Health (SQD) instrumento propuesto por Valenti en el 2013, Para desarrollar se tomó como base la Escala de síntomas postraumáticos (Post-Traumatic Symptom Scale PTSS- 10). Las respuestas son dicotómicas, ya sea "sí" o "no". Seis ítems de PTSS-10 coinciden con los criterios de diagnóstico del Manual diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales IV (DSM-IV) para el trastorno de estrés postraumático. Estos ítems son: "pesadillas sobre el accidente o desastre" (B-2), "teme al acercarse al lugar" del accidente o situaciones que me lo recuerdan "(B-4)," tendencias a retirarme " de otros "(C-2)," dificultad para dormir "(D-1)," sentimientos irritables "(D-2) y" tendencias " para saltar o sobresaltarse ante ruidos repentinos o movimientos inesperados "(D-5). Además, 3 otros se incluyeron los elementos de los criterios del DSM-IV para el Desorden de estrés posttraumáticos (Post-Traumatic Stress Disorder PTSD): "angustia recurrente e intrusiva" recuerdos del evento "(B-1)", esfuerzos para evitar pensamientos, sentimientos o conversaciones asociado con el trauma "(C-1), y" interés o participación notablemente disminuida en actividades significativas "(C-4).

En total, 9 preguntas, con 3 preguntas de cada una de las 3 las subescalas del diagnóstico de PTSD (es decir, B: intrusión, C: evitación y D: hiperactivación), fueron seleccionados. Además, 3 ítems (A-1: estado de ánimo deprimido, A-3: disminución del apetito y A-6: fatiga o pérdida de energía casi todos los días) a partir de los criterios de diagnóstico del DSM-IV para el Mayor Episodio depresivo (Major Depressive Episode MDE) se agregaron para detectar depresión al mismo tiempo[11].

Eso fue porque muchos estudios previos informan una alta prevalencia de depresión que coexiste con el PTSD. De los otros criterios de diagnóstico para MDE, es decir, A-2: interés disminuido, A-4: insomnio y A-5: agitación psicomotora, se consideró que coincidían con C-4, D-1 y D-2 de los criterios de diagnóstico para PTSD. Por lo tanto, 9 ítems sobre PTSD (B-1, 2, 4; C-1, 2, 4; D-1, 2, 5) y 6 ítems en MDE (A-1 a 6) se combinaron para crear un fácil de implementar medida de detección con un total de 12 preguntas. Su confiabilidad y validez del SQD se obtuvo a través del alfa de Cronbach y resultó 0,86 para SQD, 0,79 para SQD-P y 0.76 para SQD-D [9]. La validez concurrente según lo medido por Spearman coeficiente de correlación resultó estadísticamente significativo ($p < 0.01$) tanto para el PTSD como para los instrumentos de depresión: la correlación entre SQD-P y CAPS fue de 0,80, la correlación entre SQD-D y BDI-II fue 0,76. Con base en estas probabilidades posteriores a la prueba, hallazgos de la versión italiana de la evaluación SQD instrumento confirma el hallazgo

japonés original que los puntajes SQD-P son adecuados para ser modelados y interpretado en tres niveles, es decir, 0-3 puntos como "ligeramente afectado ", 4-5 puntos como "moderadamente afectado ", y 6-9 señala como "severamente afectado". Con respecto a la depresión, dada la prevalencia de 8.6%, la probabilidad posterior a la prueba del estrato con el puntajes de 5-6 puntos en SQD-D es del 99%, y el de la estrato con 0-4 puntos es 16%. Basado en este posttest probabilidades, hallazgos de la versión italiana del instrumento de cribado SQD confirma el primer estudio Descubrimiento japonés de que los puntajes SQD-D son adecuados para ser modelado e interpretado en dos niveles, es decir, 0-4 puntos como "menos propensos a estar deprimidos", 5-6 puntos como "Más probabilidades de estar deprimido"[10].

Una vez explicado las generalidades de los algoritmos de clasificación aplicados a la minería de datos, así como los principios básicos del padecimiento a tratar, se procede a la aplicación de dichas técnicas.

El algoritmo de clasificación se realizó en el software Netbeans; es un entorno integrado de Desarrollo o IDE (Integrated Development Environment) que está conformado por tareas asociadas a la programación cómo; Editar, compilar, ejecutar y depurar código lo cual simplifica la tarea en proyectos grandes. Además de ser un producto libre y gratuito sin restricciones de uso. Utilizando este software para procesar la información obtenida del SQD.

Las características del instrumento y el manejo de los datos son los siguientes

Instrumento consta de 12 ítems:

1. ¿Has notado un cambio en tu apetito?
2. ¿Sientes que estás cansado todo el tiempo?
3. ¿Tienes problemas para conciliar el sueño o dormir toda la noche?
4. ¿Tienes pesadillas sobre el sismo?
5. ¿Te sientes deprimido?
6. ¿Te sientes irritable?
7. ¿Sientes que eres hipersensible a pequeños ruidos o temblores?
8. ¿Evitas lugares, personas, temas relacionados con el sismo?
9. ¿Piensas en el sismo cuando no quieres?
10. ¿Tienes problemas para disfrutar de cosas de que solías disfrutar?
11. ¿Te molesta cuando algo te recuerda al sismo?
12. ¿Te das cuenta que estás haciendo un esfuerzo para tratar de no pensar en el sismo?

Puntaje:

SQD (Salud Mental en Desastres)

SQD-P: Q3+Q4+Q6+Q7+Q8+Q9+Q10+Q11+Q12

9-6 Severamente afectado

5-4 Medianamente Afectado

3-0 Ligeramente Afectado

SQD-D: Q1+Q2+Q3+Q5+Q6+Q10

6-5: Más propenso a estar deprimido

4-0: Menos probabilidad de estar deprimido

Tras los datos recabados, se determina el grado de afectación de los individuos que fueron objeto de estudio y que ahora pertenecen a nuestra población ya clasificada.

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	SQDP	SQDD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
SI	NO	SI	NO	SI	SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	MA	PD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SA	MD
SI	SI	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
SI	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD

Fig 1. Representa una parte de la población clasificada a través del puntaje obtenido.

Dentro de las técnicas de aprendizaje supervisado se encuentra el uso del algoritmo de K-vecinos más cercano K-NN (K-Nearest-Neighbors). En donde se permite estimar la probabilidad de que un objeto X con determinados atributos, pertenezca a una clase C, basándose en la medición de las distancias entre los atributos [7].

$$X_i = (X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, \dots, X_{ni})$$

El nuevo objeto se puede ver como un conjunto de P atributos mediante el vector.

Para este acercamiento se utiliza la distancia euclidiana entre dos puntos del espacio V.

$$d(x_i, x_j) = \sqrt{\sum_{n=1}^p (x_{ni} - x_{nj})^2} \tag{1}$$

Eq. (1)

$d(x_i, x_j)$ Distancias entre los casos i y j .

x_{ni} Valor de la variable x_n para el caso j .

Descripción del pseudocódigo para el clasificador K-NN básico:

COMIENZA

Entrada: $D = \{(x_1, c_1), \dots, (x_n, c_n)\}$

$Xi = (X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, \dots, X_{ni})$

Nuevo caso a clasificar

Para todo objeto ya clasificado (x_i, c_i)

Calcular $d(xi, xj)$

Ordenar $d_i (i = 1, \dots, N)$

Guardar los k casos ya clasificados más cercanos a X

Asignar a X la clase más frecuente

TERMINA

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos para la afectación SQDP se pueden visualizar en la siguiente tabla:

TABLA I. AFECTACIÓN SQDP

Grado de afectación (SQDP)	Cantidad
Severamente Afectado, MA	13
Moderadamente Afectado, SA	22
Ligeramente Afectado, LA	310
Total	345

Elaboración propia

En la siguiente grafica se puede ver el porcentaje de afectación de la población universitaria en SQDP:

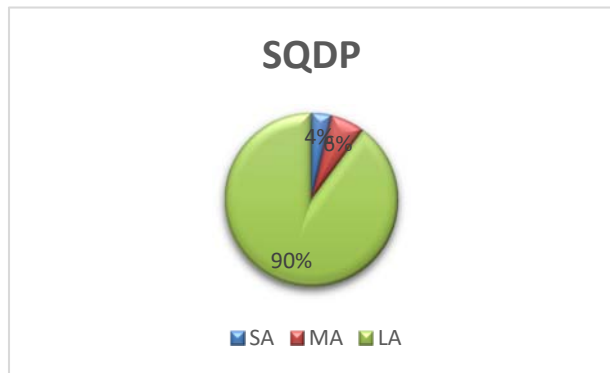


Fig 2. Porcentaje de población afectada SQDP

Los resultados obtenidos para la afectación SQDD se pueden visualizar en la siguiente tabla:

TABLA II. AFECTACIÓN SQDD

Grado de afectación (SQDD)	Cantidad
Más propenso a estar deprimido, MD	334
Menos probabilidad de estar deprimido, PD	11
Total	345

Elaboración propia

En la siguiente grafica se puede ver el porcentaje de afectación de la población universitaria en SQDD:

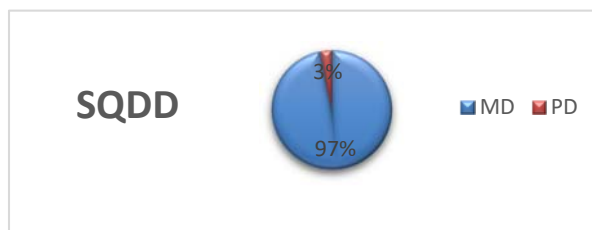


Fig 3. Porcentaje de población afectada SQDD

Cabe señalar que los resultados fueron obtenidos con el Algoritmo de Clasificación independiente del procedimiento que el SQD determina para la obtención de las categorías. El procedimiento consistió en ingresar un nuevo elemento para determinar la clasificación en cualquiera de las clases definidas, se obtiene:

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	SQDP	SQDD
SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	SI	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	SI	NO	NO	NO	LA	MD
SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI		

Fig 4. Representa al nuevo elemento a clasificar dentro de la muestra.

Tal como lo indica el algoritmo K-NN se obtiene una matriz de distancias, entre la muestra que previamente se ha clasificado y el nuevo elemento a clasificar:

Matriz de Distancias:	[3.1622777]
[2.236068]	[2.6457512]
[2.6457512]	[2.236068]
[2.6457512]	[2.6457512]
[2.4494898]	[2.236068]
[2.236068]	[1.4142135]
[2.0]	[2.236068]
[2.4494898]	[2.6457512]
[2.6457512]	[2.6457512]
[2.6457512]	[2.6457512]
[2.6457512]	[3.0]
[2.828427]	[2.0]
[2.4494898]	[2.236068]
[2.4494898]	[2.828427]
[2.236068]	[2.4494898]
[2.0]	[2.4494898]
[2.236068]	[2.4494898]
[2.236068]	[2.0]
[2.4494898]	[2.6457512]
[2.236068]	[2.4494898]
[2.236068]	[2.6457512]
[2.236068]	[2.236068]
[2.4494898]	[2.236068]
[2.236068]	[2.4494898]
[2.236068]	[2.236068]

Fig 5. Representación de distancias de cada uno de los elementos previamente clasificados y el nuevo elemento a clasificar.

Al ordenar el vector de forma ascendente y guardando los K casos más cercanos al nuevo elemento, Donde K=5:

$k = 1, d = 1.4142135$
 $k = 2, d = 1.4142135$
 $k = 3, d = 1.7320508$
 $k = 4, d = 1.7320508$
 $k = 5, d = 1.7320508$

Fig 6. Se tienen a los K casos en donde la distancia es menor con el nuevo elemento a clasificar

Al tener a los casos más cercanos al nuevo elemento, se agrega la clase con mayor frecuencia se obtienen;

Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	SQDP	SQDD
SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	NO	NO	SI	NO	LA	MD
NO	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	SI	NO	NO	NO	LA	MD
SI	NO	NO	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI	SI	LA	MD

Fig 7. Se obtiene que la clase con mayor frecuencia para clasificar al elemento en SQDP es LA y para SQDD es MD.

En la clasificación del nuevo elemento se obtiene que se clasifica como; Ligeramente afectado y Más propenso a estar Deprimido.

Para la aplicación del algoritmo K-NN dentro de una población mucho mayor, se pueden tomar como antecedente los resultados obtenidos en esta prueba. Al clasificar una nueva población dentro de las categorías, la naturaleza del algoritmo calcula la similitud que existe con cada miembro anteriormente clasificado. Evitando realizar el procedimiento descrito por el instrumento de evaluación.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación de los algoritmos de clasificación como una técnica del aprendizaje supervisado, se emplean en un campo donde se conoce previamente el número de clases, así como los elementos pertenecientes a ellas.

Teniendo en cuenta la información que proporciona un conjunto del cual se conocen las clases a las que pertenecen, se obtiene automáticamente la clase perteneciente del nuevo elemento a clasificar, tomando en cuenta sus atributos o características de los vecinos más cercanos al mismo.

La aplicación para establecer el grado de afectación emocional de la muestra de estudiantes que contestaron el instrumento, sirvió como un conjunto de entrenamiento para que en las futuras evaluaciones a poblaciones mayores, directamente se determine el grado de afectación a través de la similitud de respuestas, independiente del proceso que el

propio diseño del SQD determina, lo que hace que se economice el tiempo de los procedimientos tradicionales en el tratamiento de grandes cantidades de datos.

Los resultados del muestreo, permitieron evaluar el nivel de confianza de estas técnicas (MD Y AC) para posteriores aplicaciones en el análisis de grandes cantidades de datos, información obtenida de problemáticas psicosociales que por procedimientos tradicionales es muy difícil de visualizar.

Por otro lado, se determina que la conducta psicosocial postraumática con característica depresivas puede ocurrir después de haber vivido o de haber sido testigo o estado expuesto a acontecimientos que amenazan la vida de las personas. Dicho evento traumático puede tener distintos orígenes: natural (desastres naturales) o provocados por el hombre (por ejemplo: abuso sexual).

La relevancia del estudio del en la población afectada por un desastre se explica principalmente por tres factores centrales. En primer lugar, se encuentra altamente correlacionado con el surgimiento de otras patologías psiquiátricas de mayor gravedad, como el trastorno depresivo mayor, el consumo de sustancia, y el aumento del riesgo suicida entre quienes lo padecen, un segundo factor relevante es que existe una alta correlación con la disminución de la calidad de vida de los sujetos expuestos al desastre. Un tercer factor relevante, aunque menos estudiado en desastres, es el efecto que los padres o cuidadores de niños y niñas tiene en el grupo familiar [6].

REFERENCIAS

- [1] M. Berry and G.S. Linoff, Data Mining Techniques for Marketing, Sales, and Customer Support. Edit. John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [2] C. L. Corso. “Aplicación de algoritmos de clasificación supervisada usando Weka”. Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Córdoba, 2009.
- [3] R. Dilly (Based on S.S. Anand). Data Mining: an Introduction, Version 2.0, Feb 1996.
- [4] U. Fayyad, P. Piatetsky-Shapiro, Smyth and Uthurusamy R., Discovery and Data Mining. Eds. AAA/MIT press, Cambridge, Mass, 1996.
- [5] F. Molina. 2002. Data mining: Torturando los datos hasta que confiesen. [Online]. Available: <http://www.uoc.edu/web/esp/art/uoc/molina1102/molina1102.html>
- [6] P. Bedregal G.1, C. Carvallo P.2, V. Hernández Ll.3, P. Prado. “Post-traumatic stress disorder after 27/F earthquake in caregivers of preschool children. Factors associated with the caregiver, family and parenting”, Rev Soc Bol Ped 2015; 54 (3): pp. 133 - 40
- [7] R. Portugal, M Carrasco. “Ensamble de algoritmos bayesianos con árboles de decisión, una alternativa de clasificación”. Departamento de ciencia de la computación, pontifica Universidad de Chile, 2006.

- [8] R. P. Bravo Castro, M. E. Ruilova Rojas, *Arboles de Clasificación (inteligencia artificial avanzada)*, Universidad Técnica Particular de Loja, junio 2008.
- [9] M. Roldán, A. Funes, G. Montejano. “Fase de despliegue y desarrollo de Aplicaciones Autoadaptativas Basadas en Business Intelligence usando técnicas de Lógica Difusa”. Departamento Académico de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de La Rioja, Argentina, 2012.
- [10] S. Fujii, H. Kato, and K. Maeda, “A Simple Interview-format Screening Measure for Disaster Mental Health: An instrument newly developed after the 1995 Great Hanshin Earthquake in Japan - The Screening Questionnaire for Disaster Mental Health (SQD)”, *Kobe J. Med. Sci.*, Vol. 53, No. 6, pp. 375-385, 2007
- [11] M. Valenti “Validation of the italian versión of the screening Questionnaire of Disaster Mental Health (SQD) in apost-earthquake urban environment. *Ann Ist Super Sanità*”. Vol. 49, No. 1, pp79-85. 2013 in press.
- [12] S. J. Vallejos. “Minería de Datos. Licenciatura en sistemas de información”, Trabajo de Adscripción, Universidad Nacional del Nordeste, Corrientes, Argentina, 2006.

Minería de Datos Aplicado al Marketing.

Diana Arteaga Navarrete
Centro Universitario Nezahualcóyolt
Universidad Autónoma del México
dianart93@hotmail.com

Rosalba Remigio Mondragón
Centro Universitario Nezahualcóyolt
Universidad Autónoma del México
rosa_remi7@hotmail.com

Dra. Dora María Calderón Nepamuceno
Centro Universitario Nezahualcóyolt
Universidad Autónoma del México
dmcalderonn@uaemex.mx

Resumen—La minería de datos es una herramienta que permite extraer información relevante de amplias bases de datos para la extracción y depuración de la información, permitiendo a las empresas tomar decisiones proactivas, basadas en el conocimiento. La minería de datos aplicada al marketing se encarga de recorrer las bases de datos en busca de patrones ocultos, que ayuden a entender la promoción, publicidad, diseño de campañas y estrategias de comercialización, hace posible extraer toda la ventaja de los datos históricos. Esta forma de indagar en la información permite identificar hechos relevantes, relaciones, tendencias, patrones, excepciones y anomalías. Estos descubrimientos ayudan a las empresas a tomar mejores decisiones de negocio y desarrollar campañas de marketing más inteligentes, al poder predecir con precisión la lealtad del cliente.

Keywords— *Minería de Datos, Patrones, Marketing*

I. INTRODUCCIÓN

Las aplicaciones tecnológicas y la implementación de técnicas de inteligencia artificial conforman la nueva generación de herramientas de tecnologías de información y comunicación que aplican las organizaciones. Estas están destinadas ayudar a tomar decisiones en escenarios donde la cantidad de información complica el análisis desarrollado por los expertos. El análisis del comportamiento de los consumidores es un problema fundamental para la formulación de estrategias de marketing, ventas, atención al cliente, fidelización, segmentación, entre otras.[1]

Estas herramientas aportan al director de marketing la oportunidad de poder interpretar la información contenida en grandes bases de datos y resulta imprescindible para que la información pueda ser almacenada, transformada, analizada y visualizada

La minería de datos se ha convertido en una herramienta estratégica para la toma de decisiones de mercadeo, producción, organización y demás factores en la empresa, que de cierta manera la hacen más competitiva. El presente artículo analiza la manera como la minería de datos, una técnica ampliamente relacionada con la investigación de operaciones, incide en el diseño de estrategias de mercadeo [2]

La minería de datos es una nueva tecnología de manejo y análisis de información que aprovecha la capacidad existente hoy día de procesamiento, almacenamiento y transmisión de datos a gran velocidad y bajo costo. Permite encontrar el

conocimiento contenido en las inmensas montañas de información para luego tomar decisiones mejor fundamentadas para el futuro de una organización. [3]

El número de empresas que implementan técnicas de minería de datos aplicadas a las ventas y el marketing continúa en aumento. Estos sistemas ayudan a los analistas a entender el comportamiento del consumidor y diseñar estrategias de promoción acordes a las necesidades reales del negocio, logrando obtener una ventaja competitiva de sus datos y aumentar su rentabilidad [4].

Gracias a herramientas especializadas en la inteligencia de negocios, como el Data Mining, indagamos medios que incrementen la eficiencia, estimulen la innovación, a fin de definir argumentos para la toma de decisiones [5]

Por su parte, la minería de datos aplicado al marketing no deja de evolucionar, adaptándose a las nuevas circunstancias de mercado y a un consumidor, cada vez más exigente.[6]

Una finalidad de las bases de datos es eliminar la redundancia o al menos minimizarla [7], para esto se utiliza la minería de datos, que nos permite la extracción y análisis de datos.

El proceso de minería involucra ajustar modelos o determinar patrones a partir de datos. Este ajuste normalmente es de tipo estadístico, en el sentido que se permite un cierto ruido o error dentro del modelo. En general, el proceso de la minería de datos itera a través de cinco pasos básicos:

- Selección de datos: consiste en buscar el objetivo y las herramientas del proceso de minería, identificando los datos a ser extraídos, buscando los atributos apropiados de entrada y la información de salida para representar la tarea. Las comprobaciones básicas deben incluir el tipo de consistencia, la validez de rangos, etc. Un sistema de minería de datos puede ser utilizado para este propósito; se pueden buscar patrones generales y reglas en las bases de datos que identifiquen valores irregulares que no cumplen las reglas establecidas.

- Transformación de datos: las operaciones de transformación incluyen organizar los datos en la forma deseada, convirtiendo un tipo de datos en otro –por ejemplo, de simbólico a numérico–, definiendo nuevos atributos, reduciendo la dimensionalidad de los datos, removiendo ruidos, outliers, normalizando, decidir estrategias para manejar datos perdidos.

- Minería de datos: los datos transformados son minados, utilizando una o más técnicas para extraer patrones de interés.

- Interpretación de resultados y validación: para comprender el significado del conocimiento extraído y su rango de validez, la aplicación de minería de datos prueba su robustez, utilizando métodos de validación establecidos y probándolo con datos diferentes a los utilizados para crear el modelo. Lo que se hace generalmente es dividir los datos en una serie para trabajo y otra, para validación. Solo la serie de trabajo es utilizada para evaluar la habilidad del modelo desarrollado. La información extraída es también valorada – más subjetivamente–, comparándola con experiencias anteriores.

- Incorporación del conocimiento descubierto: presentación de los resultados del modelo para poder comprobar o resolver conflictos con creencia o resultados anteriores y aplicar el nuevo modelo. [8]

¿Qué aspectos arroja la información extraída? ¿Para qué se utiliza dicha información? Son solo algunas preguntas que son útiles para generar minería de datos, y para comprender la forma en que se maneja el marketing en la actualidad.

Algunas herramientas que nos facilita el manejo del data mining aplicado al marketing son [9]:

A. Segmentación del mercado

Facilitan la identificación de las características comunes de los clientes que compran los mismos productos de una compañía.

B. Detección de riesgo de pérdida de clientes:

Predicen qué clientes son propensos a dejar la compañía e ir a un competidor.

C. Marketing directo

Identifican qué perspectivas deben ser incluidas en una lista de correo para obtener la tasa de respuesta más elevada.

D. Marketing interactivo

Hacen posible comprender lo que verdaderamente resulta interesante para los usuarios, prediciendo lo que cada individuo que accede a un sitio web busca.

E. Análisis de la cesta de la compra

Se extrae la información necesaria para entender qué productos o servicios se compran habitualmente juntos.

F. Análisis de tendencias

Revelan la diferencia entre los hábitos de un cliente de acuerdo a la temporada.

Las empresas concentraban sus esfuerzos en esta nueva faceta, produciendo con sus actividades centenas de datos y

obteniendo a cambio millones de bytes de información de cada uno de sus consumidores y clientes potenciales.

El cruce de datos que inciden en las decisiones de compra, permite identificar la tendencia de potenciales clientes para un bien o servicio. La venta cruzada busca sacar el máximo provecho al obtener información de las bases de datos de los clientes y sus comportamientos para analizando las distintas variables establecer correlaciones que nos den información de conductas impensables. [10]

Es importante que las promociones u ofertas no saturen al cliente con bulla intrascendente, sino que le ofrezca productos y servicios ajustados a sus gustos y comportamientos de compra. Los manejos adecuados de los registros de los clientes pueden llegar a ser muy eficaces mejorando los resultados que se obtienen, esto ayuda a la reducción de costos y un incremento de las ventas, aportando además a lograr la fidelización del cliente, ya que no únicamente nos compraría un solo producto, sino además varios productos relacionados con el primero o con sus gustos.

El abordar al cliente con la información correcta es algo que lo sorprende y lo valora, esto permite optimización de las estrategias de marketing y ventas. [11]

Con la incorporación de técnicas de Data Mining, se puede anticipar qué grupo de usuarios tienen mayor riesgo de ser perdidos en los próximos días, semanas o meses. También se puede detectar a aquellos que están enfriando su relación de compra con la empresa, esto permitirá plantear estrategias específicas y focalizadas para retención y motivación de clientes, entendiendo que cuando la empresa logra que un potencial cliente se incorpore como cliente, habrá que buscar que sus niveles de compra se incrementen cada vez más, aportando lo máximo que cabe al negocio mientras satisface las necesidades de un bien o servicio. [12]

La empresa puede incrementar significativamente sus ventas con la implementación de sistemas inteligentes que en razón del historial de compra y los datos registrados del cliente, le recomienden productos o servicios afines a su perfil, un ejemplo característico puede ser el consumo de películas, juegos o equipos tecnológicos. Además, el sistema puede sugerir al cliente un producto recomendado para afianzar la decisión de compra con la implementación de promociones y premios.

II. DESARROLLO

Para el desarrollo es necesario conocer los diversos software que pueden utilizarse en la minería de datos; como sabemos existen el software libre para realizar la minería de datos, la ventaja de usarlos es que se evita el estrés de preocuparse por licencias costosas sin embargo carece de información para manejarlos.

Algunos ejemplos sobre estos softwares son:

Orange, es una suite de software para minería de base de datos y aprendizaje automático basado en componentes que cuenta con un fácil y potente, rápido y versátil front-end de programación visual para el análisis exploratorio de datos y visualización, y librerías para Python y secuencias de comando. Contiene un completo juego de componentes para pre-procesamiento de datos, característica de puntuación y filtrado, modelado, evaluación del modelo, y técnicas de exploración. Está escrito en C++ y Python, y su interfaz gráfica de usuario se basa en la plataforma cruzada del framework Qt.

Weka (Entorno Waikato para el Análisis del Conocimiento) es una conocida suite de software para máquinas de aprendizaje que soporta varias tareas típicas de minería de datos, especialmente pre procesamiento de datos, agrupamiento, clasificación, regresión, visualización y características de selección. Sus técnicas se basan en la hipótesis de que los datos están disponibles en un único archivo plano o relación, donde cada punto marcado es etiquetado por un número fijo de atributos. WEKA proporciona acceso a bases de datos SQL utilizando conectividad de bases de datos Java y puede procesar el resultado devuelto como una consulta de base de datos. Su interfaz de usuario principal es el Explorer, pero la misma funcionalidad puede ser accedida desde la línea de comandos o a través de la interfaz de flujo de conocimientos basada en componentes [13].

KNIME (Konstanz Information Miner) es una plataforma de código abierto de fácil uso y comprensible para integración de datos, procesamiento, análisis, y exploración. Ofrece a los usuarios la capacidad de crear de forma visual flujos o tuberías de datos, ejecutar selectivamente algunos o todos los pasos de análisis, y luego estudiar los resultados, modelos y vistas interactivas. KNIME está escrito en Java y está basado en Eclipse y hace uso de sus métodos de extensión para soportar plugins proporcionando así una funcionalidad adicional. A través de plugins, los usuarios pueden añadir módulos de texto, imagen, procesamiento de series de tiempo y la integración de varios proyectos de código abierto, tales como el lenguaje de programación R, WEKA, el kit de desarrollo de Química y LIBSVM [14].

Sin embargo también existen ventajas de utilizar un software licenciado por ejemplo Microsoft SQL Server Analysis Services que proporciona las siguientes herramienta SQL Server Management Studio es la interfaz en la que administra las soluciones de minería de datos implementadas en una instancia de Analysis Services. Puede volver a procesar las estructuras y modelos para actualizar los datos que contienen.

SQL Server Integration Services contiene herramientas que puede utilizar para limpiar datos, automatizar tareas como la creación de predicciones y actualización de modelos y para crear soluciones de minería de datos de texto.[15]

A continuación, se muestra las ventajas y desventajas de utilizar un software libre y de un licenciado.

Ventajas software libre

- Existen aplicaciones para todas las plataformas (Linux, Windows, Mac Os).
- El precio de las aplicaciones es mucho menor, la mayoría de las veces son gratuitas.
- Libertad de copia.
- Libertad de modificación y mejora.
- Libertad de uso con cualquier fin.
- Libertad de redistribución.
- Facilidad a la hora de traducir una aplicación en varios idiomas.
- Mayor seguridad y fiabilidad.
- El usuario no depende del autor del software.

Inconvenientes

- Algunas aplicaciones (bajo Linux) pueden llegar a ser algo complicadas de instalar.
- Inexistencia de garantía por parte del autor.
- Interfaces gráficas menos amigables.
- Poca estabilidad y flexibilidad en el campo de multimedia y juegos.
- Menor compatibilidad con el hardware.

Ventajas software licenciado (propietario)

- Facilidad de adquisición (puede venir preinstalado con la compra del pc, o encontrarlo fácilmente en las tiendas).
- Existencia de programas diseñados específicamente para desarrollar una tarea.
- Las empresas que desarrollan este tipo de software son por lo general grandes y pueden dedicar muchos recursos, sobretodo económico, en el desarrollo e investigación.
- Interfaces gráficas mejor diseñadas.
- Más compatibilidad en el terreno de multimedia y juegos.
- Mayor compatibilidad con el hardware.

Inconvenientes

- No existen aplicaciones para todas las plataformas (Windows y Mac OS).
- Imposibilidad de copia.
- Imposibilidad de modificación.

- Restricciones en el uso (marcadas por la licencia).
- Imposibilidad de redistribución.
- Por lo general suelen ser menos seguras.
- El coste de las aplicaciones es mayor.
- El soporte de la aplicación es exclusivo del propietario.
- El usuario que adquiere software propietario depende al 100% de la empresa propietaria [16].

Para realizar este ejemplo de la minería de datos aplicado al marketing se realizara con SQL Server:

El ejemplo tratara en cómo influye en la venta de música y estrategias de marketing.

Se requiere llevar el control de registros de StreamingMusic del cual se desea saber el NameStreaming, Género, Existencia, Fecha de lanzamiento.

Cada StreamingMusic pertenece a un autor del cual se desea saber el nombre y nacionalidad.

Muchos StreamingMusic pueden pertenecer a un autor.

Los StreamingMusic tiene venta para cada venta es necesario saber fecha de venta y precio total. Muchos StreamingMusic tienen una sola venta.

Los datos observables que se identificaron para crear la base de datos Música son: StreamingMusic, Autor, Venta. Al evaluar el contenido de información se observó que lo más óptimo era organizarlo por estas tablas ya que existe un alto grado de información en ellas.

Las funciones de la bases de datos va a hacer administrar el funcionamiento de la música sin caer en el error de tener redundancia de datos, duplicidad, atomicidad, etc.

Al realizar la base de datos se podrá observar que StreamingMusic están en existencias, obteniendo la información sobre lo más importante; sueldo y las ventas que realizan al día.

En la etapa de modelación creamos modelos de la base de datos con el fin de entender mejor el funcionamiento de la base de datos, mostrando el comportamiento operativo y el contenido de la información.

Para llegar a estos modelos es necesario realizar una normalización ya que evitara la redundancia de datos y así evitar los problemas de actualización de los datos de las tablas y protegerá la integridad de los datos.

Se aplica formas normales que nos proporcionaran criterios para determinar el grado de vulnerabilidad, inconsistencia y anomalías lógicas.

1ª Forma normal: eliminación de datos de duplicidad.

2ª Forma normal: Cada atributo no clave es total y funcionalmente dependiente de la clave primaria.

Entidades	Atributos
StreamingMusic	IdStreamingM, Name Streaming, Genero, Existencia, Fecha de lanzamiento.
Autor	Id Autor, Nombre Autor, Nacionalidad
Venta	Id Venta, Fecha de Venta, Precio Total

Se construye una cardinalidad para nuestros atributos a emplear. Fig. 1

Relación	Entidades	Cardinalidad
Pertenece	StreamingMusic-Autor	M:1
Tiene	StreamingMusic-Venta	M:1

Fig. 1 Cardinalidad

Y a partir de nuestra cardinalidad se puede construir el diagrama entidad relación que ayudará a observar la forma en cómo se relacionan nuestras tablas de acuerdo a nuestras entidades junto con sus respectivos atributos.



Fig. 2 Diagrama Entidad-Relacion

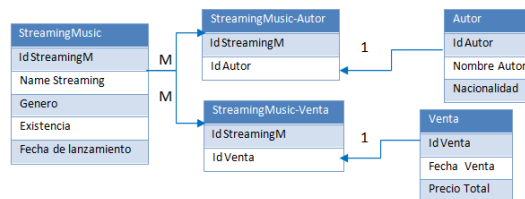


Fig. 3 Diagrama Relacional

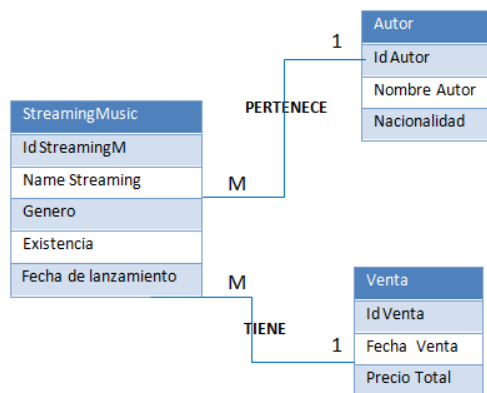


Fig. 4 Diagrama UML

Se puede decir que la información almacenada es de mucha utilidad a la hora de procesarla esta información es obtenida de las ventas en línea se puede decir que actualmente los avances tecnológicos han tenido una gran influencia en las ventas online y simplemente obtenemos de forma explícita dicha información.

III. RESULTADOS

Después de realizar el procedimiento correspondiente del análisis de los datos en la venta de Música se puede visualizar de una manera más intuitiva la manera en cómo es que se relaciona el crecimiento del negocio de acuerdo a las ventas online o spotify de la música, así como, cual es la música más rentable y esto se ve reflejado en los ingresos.

Por otra parte, se deduce cual es la mejor manera de marketing para la venta de música ya que esto influye potencialmente en el comportamiento de ingresos que se registran diariamente.

Y así, a partir del comportamiento que presentan los ingresos poder valorar cual es el género o lo música más solicitada y conservar al cliente.

A continuación, se muestra la pantalla donde se puede visualizar el total de los ingresos generados en un lapso de tiempo considerable. Fig. 5

```

select Venta.[Fecha de Venta],Venta.[Precio Total] from Venta;
    
```

	Fecha de Venta	Precio Total
1	2017-05-01	1200
2	2017-06-15	800
3	2017-06-30	850
4	2017-10-27	630
5	2017-08-01	230
6	2017-12-17	360

Fig. 5 Ingresos

Se puede visualizar el monto total de ingresos, nos puede generar un mejor control sobre las ventas, ya que se verá reflejado tanto en los ingresos como en el nivel de estándar se deduce que entre más se conoce el nivel de venta, se puede producir un nivel mejor de marketing.

A continuación se muestra la pantalla donde se puede visualizar cual es la música que en los últimos tiempos, es la más solicitada y la que te es más favorable para el negocio. Fig. 6

```

select Venta.[Fecha de Venta],Venta.[Precio Total] from Venta;
    
```

IdStreamingM	Name Streaming
1	chantaje
2	Felices los 4
3	Bad Lair
4	Hello
5	Ojala que me olvides
6	Te vas

Fig. 6 Musica Solicitada

En la siguiente pantalla se visualiza cuáles son los géneros que suelen ser los más solicitados. Fig. 7

	IdStreamingM	Genero
1	1	pop
2	2	pop
3	3	pop
4	4	pop
5	5	banda
6	6	trap
7	7	pop
8	8	Electronica

Fig. 7 Generos Solicitados

IV. CONCLUSIONES

La minería de datos aplicada al marketing introduce conceptos y algoritmos adecuados para la investigación de los datos para el mejor mercadeo sobre la venta de música. Además discute las teorías y metodologías de diferentes disciplinas como la informática, el aprendizaje automático, el análisis de redes sociales, la sociología, la etnografía, la estadística, la optimización y las matemáticas.

Las funciones de la bases de datos va a hacer administrar el funcionamiento de la información de la venta de música para tener un mejor control de los ingresos generados.

Estas aplicaciones permiten automatizar el análisis de datos que han sido recogidos y entre otras opciones en el momento más adecuado realizar ofertas, recomendar y referir música

acorde a cada cliente y de esta manera optimizar la gestión que permita la captación, fidelización o retención de los clientes.

REFERENCIAS

- [1] Minería de datos como herramienta para el desarrollo de estrategias de mercadeo, Fayyad et al., 1996.
- [2] Brodley, C. L. (1999). "Knowledge discovery and data mining", in American Scientist.
- [3] Ángeles Larrieta, María Isabel A. M. (s.f.). Minería de datos, conceptos, características, estructuras y aplicaciones.
- [4] Angstenberger (1998). Customer Relationship Management: A Combined Approach by Customer Segmentation and Database Marketing. 25-63.
- [5] Dunbar, B. (March, 28, 2011). Data Mining Digs Up Clues to Safer Flights.
- [6] Empower Media Marketing Forms Independent Agency Network, Merges Creative, Word of Mouth and Data Mining Services With Powerhouse Factories (2012).
- [7] Gülser Köksal a, I. B. (2011). "A review of data mining applications for quality improvement", in elseiver .
- [8] J C Riquelme, R. R. (2006). "Minería de datos, conceptos y tendencias", en Revista Iberoamericana, 10-20.
- [9] Cravero Leal, A., & Sepúlveda Cuevas, S. (4 de Diciembre de 2009). Aplicación de Minería de Datos para la Detección de Anomalías: Un Caso de Estudio. WORKSHOP INTERNACIONAL, 8.
- [10] Valcárcel Asencios, V. (Diciembre de 2004). Data Mining y el Descubrimiento del Conocimiento. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial UNMSM, 4.
- [11] Microsoft. (2016). Herramientas de minería de datos. 28/10/2016, de Developer Network Sitio web: <https://msdn.microsoft.com/es-mx/library/ms174467.aspx>
- [12] Sloboda J. The Musical Mind. The cognitive Psychology of music. London. Oxford University Press, 1985
- [13] Valery V. Kachurov, Nesov Artem, 2002-2003
- [14] Montes V. , "Orange" , Artículo Archivo PDF 1-11-2014 de http://es.slideshare.net/04071977/mineria-de-datos?next_slideshow=1
- [15] Hall, M., Frank, E., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. (2009). The WEKA data mining software: an update.
- [16] Berthold, M. R., Cebron, N., Dill, F., Gabriel, T. R., Kötter, T., Meinl, T., & Wiswedel, B. (2008). KNIME: The Konstanz nformation miner (pp. 319-326). Springer Berlin Heidelberg ACM SIGKDD explorations newsletter, 11(1), 10-18.
- [17] Petrovic, D. (2010) SQL Server 2008 Manual de referencia Alemania: MC.Graw Hill.
- [18] Bouckaert, R. R., Frank, E., Hall, M. A., Holmes, G., Pfahringer, B., Reutemann, P., & Witten, I. H. Experiences with a Java Open-Source Project. The Journal of Machine Learning Research, 9999, 2533-2541. (2010).

Diseño de un portafolio de inversión por medio de un Algoritmo Competitivo Imperialista

Juan Fernando García Mejía,
Geyma Ariana Perez, Carlos
Eduardo Torres Reyes, Yenit
Martínez Garduño
Universidad Autónoma del
Estado de México
Centro Universitario UAEM
Atlacomulco
Atlacomulco Méx.
fgarciam@uaemex.mx

Héctor Garcés Guzmán
Universidad Autónoma de
Ciudad Juárez
hgarces@uacj.mx

Juan Carlos Suárez Sánchez
Tecnológico de Estudios
Superiores de Jocotitlan
juan.suarez@tesjo.edu.mx

Luis Antonio Gonzalez Escobar
Universidad Santiago de Cali
Departamento de Posgrado
Cali Colombia
lage49@yahoo.es

Resumen— Un portafolio de inversión se define como una colección de instrumentos bursátiles, en los cuales entidades físicas o morales invierten un determinado capital, asignado por medio del modelo de Markowitz, que puede resolverse por medio de conocimiento empírico de un asesor financiero, una alternativa a este criterio de determinación se basa en el uso de técnicas evolutivas, que pueden definirse como algoritmos computacionales con inspiración en mecanismos darwinianos, naturales o sociales, tal como el Algoritmo Competitivo Imperialista propuesto por Atashpaz-Gargari y Lucas en 2007 el cual en este trabajo es usado en la optimización de un portafolio de inversión de 10 acciones de la Bolsa Mexicana de Valores

Palabras claves—Portafolio de inversión, Técnicas Evolutivas, Algoritmo Competitivo Imperialista, Modelo de Markowitz

Abstract—An investment portfolio is defined as a collection of stock instruments, in which physical or moral entities invest a certain amount of capital, assigned through the Markowitz model, which can be solved through empirical knowledge of a financial advisor, an alternative to this criterion of determination is based on the use of evolutionary techniques, which are computational algorithms inspired by natural or social Darwinian mechanisms, such as the Imperialist Competitive Algorithm proposed by Atashpaz-Gargari and Lucas in 2007, which in this work is used in the optimization of an investment portfolio of 10 actives of the Mexican Stock Exchange

Keywords— Investment portfolio, Evolutionary Techniques, Imperialist Competitive Algorithm, Markowitz model

I. INTRODUCCIÓN

En el año de 1952 Harry Markowitz, economista estadounidense publicó en la revista Journal of Finance el artículo titulado “Portfolio Selection”. El cual es la base de la “Teoría moderna de selección de cartera”, la cual consiste en elaborar un estudio estadístico basado en varianzas y covarianzas que permita maximizar el retorno y minimizar el grado de riesgo en la inversión de un determinado presupuesto realizada en una serie de activos financieros convenientemente seleccionados. Estos pueden ser de renta fija o variable, pertenecer a una

persona física o moral y se denomina “portafolio de inversión”, el cual puede modelarse de forma matemática por medio de las ecuaciones 1 y 2 que reciben el nombre de modelo de Markowitz o modelo de Media-Varianza. [1]

$$\text{Max } E(R_p) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot E(R_i) \quad (1)$$

$$\text{Min } \sigma^2(R_p) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij} \quad (2)$$

Donde:

x_i y x_j son las proporciones de presupuesto a invertir a los activos financieros i -ésimos y j -ésimos activos respectivamente.

$E(R_i)$ son las ganancias de los i ésimos activos financieros.

$\sigma^2(R_p)$ es la varianza estadística de la p cartera de activos financieros.

σ_{ij} la covarianza entre los rendimientos de i -ésimos y j -ésimos valores

$E(R_p)$ es la rentabilidad o rendimiento esperado del p portafolio.

Para todo $x_i \geq 0$ ($i = 1, \dots, n$) sujeto a la restricción modelada en la ecuación 3.

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1 \quad (3)$$

La ecuación 1 permite determinar las x_i proporciones que permiten aumentar la ganancia de un determinado portafolio, así como su valor correspondiente, determinar la frontera eficiente de los portafolios, la cual se define como el par $[E(R_p), \sigma^2(R_p)]$, es decir una relación ganancia riesgo; esto

permite a un posible inversionista realizar la selección del portafolio de su preferencia.

En una revisión a la literatura especializada se observa que los algoritmos genéticos han sido usados de manera exitosa en la selección de portafolios de inversión. Leu construyó un portafolio de inversión a partir de las acciones de la bolsa de Taiwan, a partir de un algoritmo genético con codificación real que obtenía su función de transferencia por medio del uso de series difusas, las cuales también permitían predecir el rendimiento del portafolio seleccionado [2]. También a partir de datos de la bolsa de valores de Taiwan, YuLiao utiliza un algoritmo genético con codificación binaria que formula portafolios de inversión por medio del método denominado ratio de Sharpe. Esto mostró una eficiencia mayor con respecto a la ecuación de Markowitz. [3]. En entornos asiáticos en específico la inversión en el sector eléctrico chino, Peng utiliza un algoritmo genético denominado de nicho con codificación binaria, el cual que permite puntuar el desempeño de un portafolio de inversión en términos de variables de este sector como el total de los fondos destinados al proyecto y la división de estos [3]. Una alternativa para la selección de portafolios basada en agrupamiento por medio de algoritmos genéticos y codificación alfabética es la presentada por Chun-Hao donde muestra la construcción de portafolios por medio de grupos de acciones de valor similar [4]. En el entorno nacional De la O en 2015 realizó una optimización de un portafolio de inversión pequeño a partir de algoritmos genéticos reducidos denominado micro algoritmo genético usando una codificación real y 5 acciones de la bolsa mexicana de valores [5]. Por otra parte, Garcia-Mejía en [6] optimiza un portafolio de inversión de la Bolsa Mexicana de Valores utilizando un Algoritmo Genético con Fertilización in Vitro, que tienen mejor desempeño en comparación con un Algoritmo Genético Canónico

En este trabajo se propone la construcción de un portafolio de inversión constituido con 10 acciones de la bolsa mexicana de valores comprendidos en el lapso febrero 2015 febrero 2016, cuyos montos a invertir son determinados por medio de un Algoritmo Competitivo Imperialista

II. FUNDAMENTACIÓN

El conjunto de ecuaciones expuestos en la sección anterior puede resolverse desde el punto de vista de un problema de optimización, es decir la minimización o maximización de una o varias funciones matemáticas a partir de técnicas determinísticas o estocásticas. Una forma de resolver problemas de optimización, tanto determinísticos como estocásticos es mediante el uso de algoritmos computacionales, por lo tanto, es posible aseverar que optimización es una de las áreas de aplicación de las tecnologías de la información.

Un ejemplo de algoritmos computacionales usados en la optimización son los Algoritmos Evolutivos (AE), se pueden definir como una colección de métodos heurísticos, es decir reglas obtenidas de un conocimiento previo de cierto dominio de un problema [7] que tienen pasos definidos inspirados en la mayoría de los casos por procesos biológicos como la reproducción y mutación de los seres vivos, la recombinación y la selección biológica [8], los cuales fueron introducidos por

Charles Darwin en su libro de 1856 titulado “El origen de las especies” [9]. Los trabajos de Mendel y Darwin permitieron la formulación de las primeras técnicas computacionales tales como los Algoritmos Genéticos, propuestos por David Goldberg y John Holland [10], y Estrategias Evolutivas propuestas por Ingo Rechenberg [11].

Los EA funcionan a partir de una colección de posibles individuos que pueden ser representados por medio del vector $P(t) = \{x_1^t, x_2^t, \dots, x_n^t\}$ que se denominan población, cada elemento $P(t)$ representa una posible solución factible a un problema de optimización numérica o combinatoria. Esta población se somete a operaciones de recombinación y transformación, posteriormente a un proceso de selección, que se realiza de manera iterativa [12], después de un cierto número de iteraciones se espera que el mejor individuo (aquel que genere el valor más alto de la función de aptitud) converja a un determinado punto que será considerado la solución a un problema de optimización [13].

Los algoritmos evolutivos se caracterizan por partir de un conjunto de soluciones iniciales que se van transformando por la acción de un conjunto de operadores, los cuales se encargan de “refinar” a las soluciones hasta que estas converjan a un determinado punto denominado solución. La estructura de un algoritmo evolutivo se muestra en la figura 1, la cual permite observar el carácter iterativo del algoritmo [14]

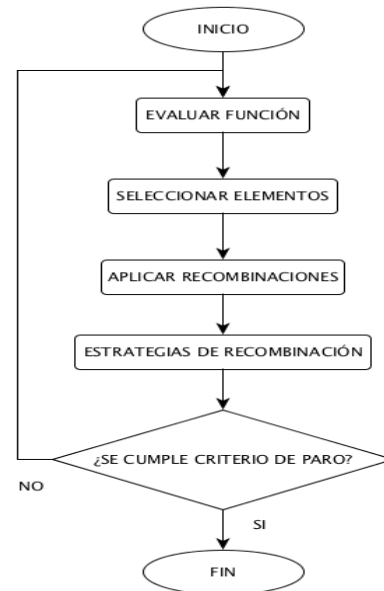


Figura 1 Esquema de un algoritmo evolutivo [14]

Una heurística propuesta por Atashpaz-Gargari y Lucas de la Universidad de Tehran en 2007 es el Algoritmo Imperialista Competitivo (ICA, por sus siglas en inglés) cuyo diagrama de flujo se muestra en la Figura 2. Su andamiaje teórico se encuentra soportado en el Darwinismo Social enarbolado por Herbert Spencer [15] En este postulado los países se dividen en dos clases: Imperios y Colonias, donde los primeros compiten entre sí para obtener beneficios de los segundos, los cuales en algún momento dado pueden convertirse en fuerzas

preponderantes que intercambian su posición de poder con los imperios.

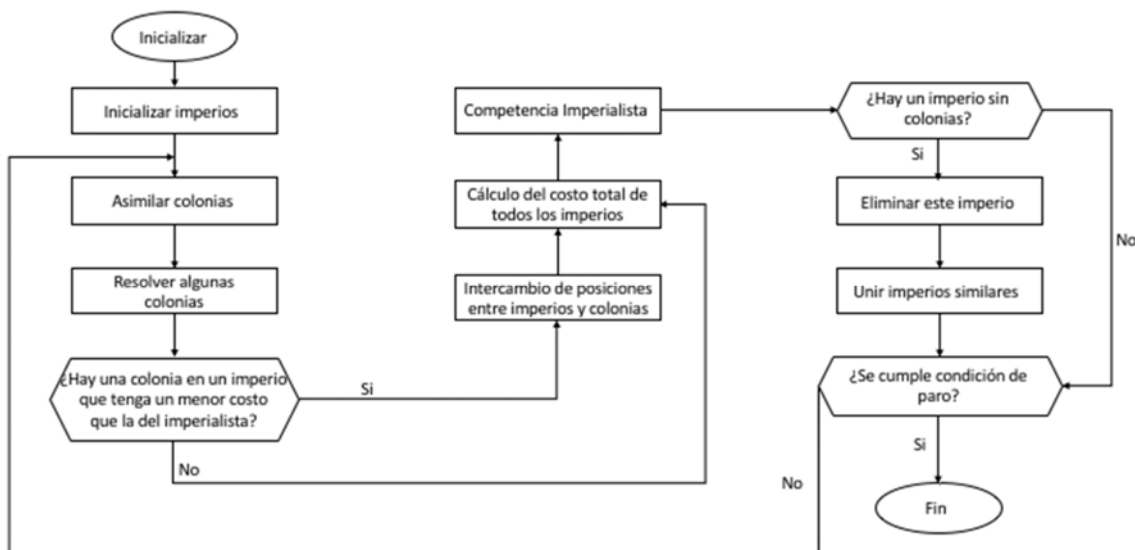


Figura 2 Diagrama de flujo de un Algoritmo Imperialista Competitivo [15]

El primer paso en la formulación de un ICA es la determinación de las posibles soluciones al problema de optimización, las cuales son denominadas países (P) y su unidad mínima son los elementos socioculturales (s) y su número depende del número de variables (n) propias del problema de optimización. De tal forma que presenta el formato presentado por la ecuación 4

$$P = [s_1, s_2, s_3 \dots s_n] \quad (4)$$

Cada (C) país es evaluado en la función objetivo del problema de optimización a tratar, de tal forma que los N países más altos adquieren la denominación de imperialistas y los M más bajo asumen el estatus de colonia. Las cuales son distribuidos entre los imperialistas en término del costo normalizado de cada n -ésimo imperio el cual puede ser calculado por medio de la expresión 5

$$C_n = \max(c_i) - c_n \quad (5)$$

A partir de (5) se puede realizar el cálculo del poder p_n de los imperialistas por medio de la expresión 6

$$p_n = \left| \frac{c_n}{\sum_{i=1}^N c_i} \right| \quad (6)$$

El p_n es usado para asignar el número de colonias NC_n correspondientes para cada imperialista por medio de la expresión (7)

$$NC_n = \text{round}\{p_n * M\} \quad (7)$$

Posteriormente las colonias se mueven hacia los imperialistas, esto es denominado criterio de asimilación y es determinado por la ecuación (8) con un factor β ubicado entre 1 y 2

$$x \approx U(0, \beta * d) \quad (8)$$

Después se realiza el cálculo del poder del imperio TC_n (imperialistas y sus colonias), el cual está determinado por medio de la ecuación (9) y un ζ en un rango entre 0 y 1 y define la influencia de las colonias

$$TC_n = a + \zeta * b \quad (9)$$

Donde a es el costo del n -ésimo imperialista, y b es el promedio de los costos de las colonias del imperialista. Las operaciones antes descritas permiten los movimientos de las colonias hacia los imperios, de tal forma que si un imperio no tiene colonias este es eliminado, hasta que solo un imperio sobreviva al cabo de las iteraciones que son denominadas décadas.

III. METODOLOGÍA

Como se muestran en las ecuaciones (1), (2), (3) establecidas por Markowitz es necesario elegir un conjunto de acciones en este caso se propone utilizar las acciones de las empresas que se muestran en la tabla 1, al día 17 de febrero del 2016. La matriz de covarianza mencionada en la ecuación (2) se calcula utilizando las mencionadas acciones en un periodo del 17 de

febrero del 2015 al 16 de febrero del 2016. Cabe destacar que estas fueron elegidas por su desempeño.

Al igual que el trabajo presentado por García-Mejía es posible usar la función objetivo descrita en [6], que convierte un tratamiento mono objetivo lo cual implica un menor costo computacional.

$$f_{obj} = \max \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i * ER_i}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}} \right) \quad (10)$$

TABLA 1. ACCIONES PARA LA FORMACIÓN DEL PORTAFOLIO

Acción	Valor de la acción
Aeromex	40.02
Bimbo	51.27
Cemex	9.57
Elektra	351.7
Herdez	42.99
Ienova	73.92
Kimber	40.75
Oma	85.73
Soriana	40.51
Walmex	42.26

El algoritmo propuesto para esta optimización tiene los parámetros que se muestran en la Tabla 2

TABLA 2. PARÁMETROS DEL ALGORITMO ICA

Número de interacciones	40
Número de Países	100
Número inicial de imperios	10
Numero inicial de colonias	90
β	1.5
ζ	0.5

La tabla 3 muestra el contraste de resultados de la heurística usada en esta propuesta con los valores sugeridos por la Tabla 2 y un Algoritmo Genético Canónico [17]; un método de optimización basado en las Leyes de la Herencia de Gregory Mendel y la Teoría de la Evolución de las especies de Darwing

TABLA 3. MONTOS A INVERTIR

Acción	Porcentaje a invertir con algoritmo de competencia imperialista	Algoritmo genético canónico
Aeromex	0.1183537	0.0569187
Bimbo	0.0374369	0.0128375
Cemex	0.0385422	0.0025037
Elektra	0.2499194	0.3643976
Herdez	0.1651419	0.1524520
Ienova	0.0621921	0.1299851
Kimber	0.0688445	0.0433921
Oma	0.1249706	0.0896043
Soriana	0.0730592	0.0563218
Walmex	0.0615396	0.0915873

El Algoritmo Genético Canónico propuesto tiene una población formada por 100 cromosomas, con un cruzamiento de 80% y un porcentaje de mutación de 10%

IV. CONCLUSIONES

Los algoritmos evolutivos son un área de las tecnologías de la información que continúa en desarrollo, esto es justificable por el teorema “No Free Lunch” desarrollado por David Wolpert y William Macready, el cual determina en términos generales que no existe un algoritmo universal de solución de problemas de optimización. Es decir, una técnica que fue exitosa en un entorno no necesariamente funcionará de igual forma en otra situación [16]. Esto permite, en un futuro realizar un análisis comparativo con otras técnicas evolutivas. El costo computacional es elevado dada la cantidad de operaciones a realizar, Por lo tanto, se está trabajando en los análisis estadísticos que permitan determinar su estabilidad, es decir que sin importar el número de ejecuciones se obtenga un resultado que no se aleje de la media de las ejecuciones

REFERENCIAS

- [1] Borge Vergara Juliana, Cervantes Luna Ma. Natalia. “Portafolios de inversión: Una alternativa para el aprovechamiento de los recursos remanentes de tesorería”. Tesis de Licenciatura. Universidad del Rosario. Bogota D.C (2012).
- [2] Leu Y. “An effective stock portfolio trading strategy using genetic algorithms and weighted fuzzy time series”, International Journal of Digital Content Technology and its Applications octubre 2011
- [3] Liao Y “Portfolio Optimization Based on Novel Risk Assessment Strategy with Genetic Algorithm,” IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC), 2015
- [4] C. Chun-Hao “A Series-based group stock portfolio optimization approach using the grouping genetic algorithm with symbolic aggregate Approximations”. 2017,China
- [5] Castro Enciso S. Fernando, “Creación de Portafolios de Inversión utilizando Algoritmos Evolutivos Multiobjetivo”, Tesis de Licenciatura, Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, México, D.F, (2005).

- [6] García-Mejía J, "Diseño de un portafolio de inversión por medio de un algoritmo genético con fertilización in vitro" Revista Aristas 2016
- [7] Ergun, H., & Van Hertem, D. (2016). HVDC Grid Planning. En D. Van Hertem, O. Gomis-Bellmunt, & J. Liang, HVDC Grids: For offshore and Supergrid of the Future (págs. 143-172). New Jersey, Estados Unidos: IEEE Press.
- [8] Chacón Montes, P. (1995). Algoritmos Evolutivos: algoritmos genéticos y de cuasiespecie. En I. Ramos Salavert, Vida Artificial (págs. 87-111). Castilla, España: Universidad de Castilla-La Mancha.
- [9] Vasiljevic, D. (2002). Classical and Evolutionary Algorithms in the Optimization of Optical Systems. New York: Springer Science+Business Media.
- [10] Santillán Gutiérrez, S. D., Olivares Guajardo, G., Borja Ramirez, V., López Parra, M., & González González, L. A. (2000). Intelligent Searcher for the Configuration of Power Transmission Shafts in Gearboxes. Evolutionary Design and Manufacture: Selected Papers from ACDM'00 (págs. 19-32). Londres: Springer.
- [11] Jacob, C. (2001). Illustrating Evolutionary Computation with Mathematica. San Diego, California, Estados Unidos: Academic Press.
- [12] Robusté Antón, F. (2005). Logística del transporte. Barcelona, España: Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- [13] Shi, Y. (2015). Emerging Research on Swarm Intelligence and Algorithm Optimization. Hershey, Estados Unidos: Information Science Reference.
- [14] Sumathi, S., Hamsapriya, T., & Surekha, P. (2008). Evolutionary Intelligence: An Introduction to Theory and Applications with Matlab. Berlín, Alemania: Springer.
- [15] Esmacel Atashpaz-Gargari, Caro Lucas (2007) Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by Imperialistic Competition IEEE Congress on Evolutionary Computation pp 4061-4067
- [16] García Mejía (2015) Sintonización de un controlador Proporcional-Integral Derivativo aplicado a una celda termoelectrica: Una comparación entre algoritmos genéticos. Research in Computing Science Vol.96 México D.F
- [17] García Mejía (2017) Diseño de un portafolio de inversión por medio de un algoritmo genético con fertilización in vitro. Revista Aristas: Investigación básica y aplicada. Vol.6 No.11 México Tijuana

Implementación de un Generador de números pseudo-aleatorios en el microcontrolador Parallax P8x32

Jesus A. Álvarez-Cedillo
Instituto Politécnico Nacional
Upiicsa
Cdmx, México
Jaalvarez@Ipn.Mx

Teodoro Álvarez-Sánchez
Instituto Politécnico Nacional
Citedi
Tijuana México
Talvarezs@Ipn.Mx

Jacobo Sandoval-Gutierrez
Universidad Autónoma Metropolitana
Campos Lerma
Estado De México, México
Jacobosandoval@Correo.Ler.Uam.Mx

¡Resumen— ¡El algoritmo de Chudnovsky es el más empleado para calcular el valor de PI (π), fue creado por David y Gregory Chudnovsky y ha permitido generar 5 billones de dígitos decimales, a diferencia de otros algoritmos, es muy rápido, aunque de origen presenta una complejidad computacional $O(n)!$, es posible implementarse de manera iterativa para lograr una complejidad computacional lineal. En este trabajo se muestra como manipular la gran cantidad de números decimales para implementar un generador pseudo aleatorio para dispositivos embebidos, se muestra el resultado de la implementación y las comparaciones con otros métodos similares, se presenta un análisis del tipo de generador pseudo aleatorio creado, el algoritmo se implementó en una tarjeta Propeller Parallax P8X32A.

Palabras Claves— Generador Pseudo aleatorios, Calculo de π , Algoritmo de Chudnovsky, dispositivos embebidos, procesamiento paralelo

I. INTRODUCCIÓN

Los generadores de números embebidos en la electrónica y el desarrollo robótico, son muy comunes, sin embargo, no son de los más preciso, algunos autores han desarrollado diferentes estrategias de implementación que van desde el uso del reloj del sistema o un reloj o particular, el uso de los números primos e incluso algoritmos muy evolucionados.

PI es un número irracional, cociente entre la longitud de la circunferencia y la longitud de su diámetro, se emplea frecuentemente en las matemáticas, la física e la ingeniería para realizar diferentes cálculos, aunque sus decimales son infinitos no hace falta conocer muchos de ellos para usar la constante matemática de forma práctica: la NASA utiliza 16 decimales para los cálculos de sus sondas espaciales; el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) utiliza 32 decimales para comprobar los cálculos de las computadoras, extensiones de longitudes decimales, arriba de esta cifra se emplean en el desarrollo e investigación en técnicas de cifrado y de criptografía.

En la actualidad el algoritmo de Chudnovsky es el más empleado para calcular el valor de PI (π), fue creado por

David y Gregory Chudnovsky y con este algoritmo se alcanzó el récord del mundo en diciembre del 2009, al generar 2.7 billones de dígitos de π , 5 billones de dígitos de π en agosto de 2010, y 10 billones de dígitos de π en octubre de 2011.

II. ESTADO DEL ARTE

En lo general se han implementado en la literatura los siguientes algoritmos:

1. Generadores de congruencia lineal (GCL): Estos generadores son los más utilizados y los más conocidos. Se basan en la relación de recurrencia.
2. Generadores de desplazamiento de bits: En estos generadores cada nuevo número entero aleatorio N_i , se obtiene manipulando los bits del número anterior, $N_i - 1$.
3. Generadores de Fibonacci: Las grandes ventajas de estos generadores es que son generadores muy rápidos que tienen un periodo muy largo. La fomentación teórica en la que se basan es diferente a la de los GCL.
4. Distribuciones no uniformes: El problema a tratar será el de obtener una secuencia con densidad de probabilidad dada $w(y)$, definida en el intervalo (y_{min}, y_{max}) a partir de una secuencia de números con distribución uniforme $U(0,1)$.

Los problemas básicos encontrados en los generadores es la de obtener secuencias de números uniformemente distribuidos en un intervalo uniforme $U(0,1)$.

Las diferentes posibilidades para resolver dicho problema son:

- i) Buscar en tablas de números aleatorios publicadas;
- ii) Observar un proceso físico tal como la desintegración radiactiva, el ruido eléctrico;

iii) Los lenguajes de programación y las hojas electrónicas incluyen funciones para generarlos;

iv) Mediante algoritmos de generación de números aleatorios

Las principales ventajas de los generadores de números aleatorios son:

1. Rapidez.
2. Comodidad.
3. Reproducibilidad.
4. Portabilidad.

Presenta la siguiente desventaja:

- Las secuencias obtenidas no son realmente aleatorias, ya que se obtienen con operaciones deterministas.

Solo podemos obtener secuencias pseudo-aleatorias, que a su vez satisfacen algunos criterios de aleatoriedad adecuados.

Los números generados deben cumplir ciertas características para que sean válidos. Dichas características son:

1. Uniformemente distribuidos.
2. Estadísticamente independientes.
3. Su media debe ser estadísticamente igual a 0.5.
4. Su varianza debe ser estadísticamente igual a 0.5.
5. Su periodo o ciclo de vida debe ser largo.
6. Deben ser generados a través de un método rápido.
7. Generados a través de un método que no requiera mucha capacidad de almacenamiento de la computadora.
8. Normalmente se utilizan números enteros, ya que su aritmética es exacta y rápida.

Se generan enteros N_i entre 0 y $M - 1$, y $x_i = \frac{N_i}{M}$ genera valores reales en el intervalo $[0, 1]$.

En general los algoritmos utilizan relaciones de recurrencia del tipo

$$N_i = f(N_{i-1}) \quad (1)$$

en el caso de recurrencia simple, o bien

$$N_i = f(N_{i-1}, \dots, N_{i-k}) \quad (2)$$

para el caso de una recurrencia de orden k .

Se necesitará dar un valor inicial para comenzar el algoritmo (k valores para recurrencias de orden k).

III. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

A. Algoritmo de Chudnovsky

El algoritmo Chudnovsky, fue creado por los hermanos David y Gregory Chudnovsky, matemáticos ucranianos, es el algoritmo moderno más empleado para calcular π con muy alta. Se fundamenta en una fórmula del hindú Ramanujan e implementa una serie de convergencia rápida siguiendo una serie hipergeométrica.

La expresión matemática es la siguiente:

$$\frac{1}{\pi} = 12 \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(-1)^k (6k)! (13591409 + 545140134k)}{(3k)_i (k!)^3 \cdot 640320^{3k + \frac{3}{2}}} \quad (3)$$

Computacionalmente la implementación de (3) se muestra en el algoritmo 1.

Algoritmo 1: PI con Chudnovsky

Precisión = 14

Limite = (Precisión + 3) / 14

Para $k < Limite$

Numerador = 0

Denominador = 0

*Numerador = ((-1) ^ k) * Factorial (6 * k) * (13591409 + (545140134 * k))*

*Denominador = Factorial (3 * k) * (Factorial(k) ^ 3) * (640320 ^ ((3 * k) + (3 / 2)))*

numeroPI = numeroPI + (Numerador / Denominador)

k = k + 1

*numeroPI = 12 * numeroPI*

numeroPI = 1 / numeroPI

B. Tarjet Parallax P8x32A

La arquitectura de Propeller Parallax se compone de 8 procesadores independientes bits 32, llamados COGS etiquetados de 0-7, contienen cada uno: 2 KB por celda (512 x 32 bits) de RAM; cuenta con dos contadores PPLs 1x-16x, un generador de video capaz de manejar señal PAL, NTSC y VGA; un registro de entrada y salida y un registro de dirección.

Cada COG tiene acceso mutuamente excluyente a los recursos compartidos, empleando un controlador de bus interno llamado Hub, con un esquema de planificación Round Robin. El Hub se compone de 32 KB de RAM, por código de programa y de datos variables, y 32KB de ROM.

Propeller Parallax tiene dos tipos de recursos compartidos, que se excluyen mutuamente y comunes. Recursos comunes se puede acceder en cualquier momento por cualquier COG. Estos incluyen pines especiales de entrada y de salida y un contador del sistema. Todos los demás recursos son mutuamente excluyentes y manejados por el Hub.

Los datos pueden ser definidos como byte, palabra (8, 16 o 32 bits respectivamente) y se almacena en formato "little-endian".

Como la memoria lee un byte o una palabra permite mantener el orden correcto, a pesar de que la memoria se compone de 32 celdas de bit. El lenguaje ensamblador de Propeller permite que los datos se definan como un byte alineado de menor tamaño.

El microcontrolador de Propeller Parallax fue creado para desarrollar aplicaciones científicas de propósito general. La arquitectura de la Propeller Parallax tiene las siguientes características:

1. Uso de ocho núcleos independientes (COGS) que trabajan en paralelo.
2. Todos los recursos son compartidos (memoria o I / O)
3. Todos los recursos fueron manejados por el hardware y no están bajo el control del programador; esta restricción garantiza una latencia predecible.
4. Cada núcleo o COG tiene su propia RAM 4KB privado, además de una capacidad de generación de la señal de vídeo de TV o VGA.
5. No existe el concepto de interrupciones en cualquier forma.
6. En lugar tareas simultáneas en diferentes engranajes se pueden ejecutar.

El lenguaje Spin fue diseñado para hacer la programación concurrente y multi-core más fácil. Este lenguaje es una mezcla de enfoques de procedimiento y de orientación a objetos.

El Listado 1 muestra un ejemplo de código que es muy fácil de leer y entender.

Listado 1: Ejemplo spin

```

CON
  _clkmode = xtall + pll16x
  _xinfreq = 5_000_000
OBJ
  led: "LD.spin"
VAR
  byte Counter
  long stack[90]
PUB Main
  cognew(flicker(16,clkfreq/50), @stack[0])
  cognew(flicker(19,clkfreq/150), @stack[30])

  cognew(flicker(22,clkfreq/100), @stack[60])

PUB flicker(PIN,RATE)
  repeat
  repeat Counter from 0 to 100
  led.LEDBrightness(Counter, PIN)
  waitcnt(RATE + cnt)
  repeat Counter from 100 to 0
  led.LEDBrightness(Counter,PIN)
  waitcnt(RATE + cnt)
    
```

La función cognew lanza a la función Flicker en tres COGS, parametriza cada uno de ellos con una frecuencia de acceso y un área de memoria.

La Figura 1 muestra un diagrama de la arquitectura. La Figura 2 muestra la tarjeta utilizada.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL ALGORITMO

Obtener una aleatoriedad real es muy difícil y computacionalmente requiere del uso de muchos recursos, en diferentes trabajos reportados en la literatura diferentes investigadores han encontrado soluciones no tan óptimas, pero factibles para su implementación en sistemas embebidos. La idea de la generación de números pseudo-aleatorios es utilizar un número inicial o semilla, que se habrá generado por un método suficientemente aleatorio, para alimentar una función que genere a partir de él una secuencia aparentemente impredecible.

Dada una clave o la semilla es necesario el no predecir cómo se transforman los datos. Por tanto, un generador de números aleatorios no va a ser más que una función especial alimentada por una semilla aleatoria y una secuencia simple. La figura 3 muestra la metodología propuesta.

Dado lo anterior la semilla se encontrará formada por un número aleatorio simple, el cual alimentara la función Chudnovsky para calcular PI con la semilla generada, al calcular PI con la extensión de decimales aleatorio, tomaremos los últimos 5 números generados por la función, estos serán

representados en decimal al dividir entre 1000,000 y este resultado será el número aleatorio.

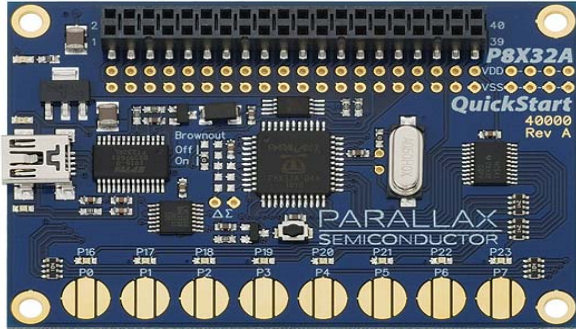


Fig. 1. Tarjeta P8x32A de Propeller Parallax.

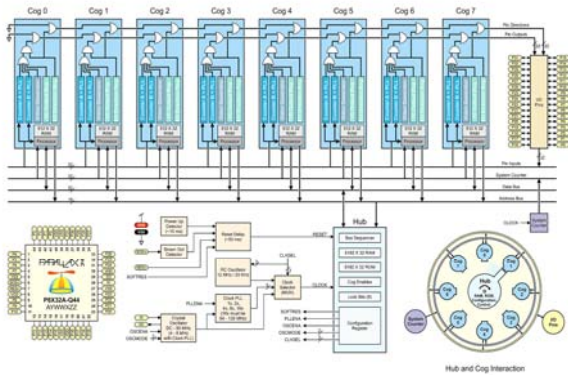


Fig. 2. Arquitectura de la tarjeta P8x32A.

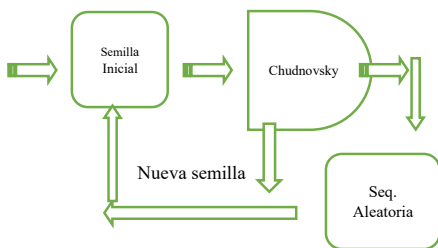


Fig. 3. Diagrama de funciones que muestra la metodología propuesta para realizar la implementación de una secuencia simple.

Por ejemplo, supongamos una semilla $s=1000$ obtenida a través de la función *random* de C, la función *Chudnovsky* (1000) generaría el siguiente valor de π .

$\pi=3.1415926535897932384626433832794028841971693993751058$
 20974944592307816406286208998627034825342117067982148086
 51328230664709384460955058223172535940812848111745028410
 26019385211055596446229489549303819644288109756659334461
 28475648233786783165271101909145648566923460348610454326
 64821339360725024914127372458600660631558817488152092096

28292540917153643678925803500113305305488204665213841469
 51941511609433057260365759591953092186117381932611793105
 11854807446237996274956735188575272489122793818201194912
 98336733624406566430850213949463952247371906021798609437
 02770539217176293176752384674818467669405131000568127145
 26356082778577134275778960917363717872146844080122495342
 01465495853710507922796892589235410199561121290219608630
 34418159813629774771309960518707211349999998372978049951
 05973173281609631859402445945534690820264252230825334468
 50352619311881700000031378387528865875332083814206171776
 69147303598253490428755410198

Los últimos cinco números, en este caso 10198, es dividido entre $1e+6$ con lo cual se genera el número aleatorio 0.10198, la nueva semilla se obtiene del tiempo de ejecución del algoritmo.

La función Chudnovsky implementada en la tarjeta se muestra en el listado 2.

Listado 2: Función Chudnovsky

```
#include <stdio.h>
const int n=10000;
const int dim=((10*n)/3);
int i,j,k, resto, digant, nueves, aux;
int pi[dim+1];
int main (void){
for (i=1;i<=dim;i++) pi[i]=2;
nueves=0; digant=0;
for (i=1;i<=n;i++){
resto=0;
for (j=dim;j>=1;j--){
aux=10*pi[j]+resto*j;
pi[j]=aux % (2*j-1);
resto=aux/(2*j-1);
}
pi[1]=resto % 10;
resto=resto/10;
if (resto==9) nueves++;
else if (resto==10){
printf("%i",digant);
for (k=1;k<=nueves;k++) printf("0");
digant=0;
nueves=0;}
else{
printf("%i",digant);
digant=resto;
if (nueves!=0){
for(k=1;k<=nueves;k++) printf("9");
nueves=0;
}}}
printf("%i",digant);
scanf("%i");
}
```

El generador en hardware implementado en la Propeller Parallax, mandara un número aleatorio cada vez que le sea solicitado por otro dispositivo en hardware, actualizara la semilla en el dispositivo con el tiempo de generación

proporcionado por la función. La entidad generada en el dispositivo se muestra en la figura 4.

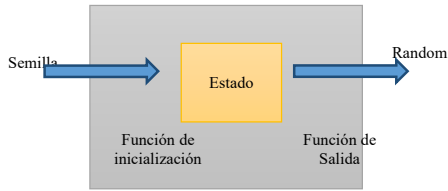


Fig. 4. Entidad desarrollada.

Para probar el generador, se utilizó un Arduino UNO, en el cual desarrolló la programación mostrada en el listado 3, donde se le solicita un número a nuestro dispositivo vía serial.

Listado 3: Solicitud al generador Arduino UNO

```
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
  Serial.write(81); //Envia la semilla inicial"

  if(Serial.available(>0)
  //Comprobamos si en el buffer hay datos
  {
    int dato=Serial.read();
    //Lee valor random

    Serial.println(dato);
    //Imprimimos el valor random
  }
}
```

En la Figura 5 se muestra la conexión de prueba para determinar si el sistema embebido funciona correctamente

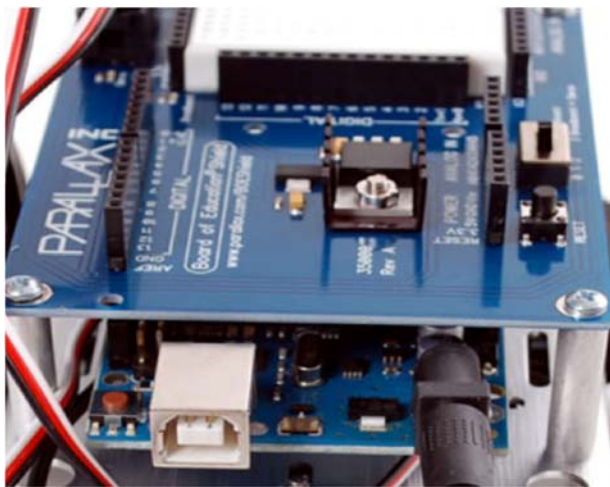


Fig. 5. Interconexión Propeller Parallax P8x32 y el Arduino UNO.

V. RESULTADOS

El algoritmo de Chudnovsky en la Propeller registro los tiempos registrados en la Tabla 1.

La Figura 6 muestra un comportamiento lineal del algoritmo.

Se realizaron pruebas para medir la eficacia del algoritmo para generar números pseudo-aleatorios confiables, se compararon los resultados con los publicados por Alexander J. Yee and Shigeru Kondo donde se comparan diferentes generadores aleatorios.

Tabla 1. Tiempos de ejecución

Decimales	Tiempo segundos
10	4.650E-05
10	4.74E-05
100	0.00015356
1000	0.00202730
10000	0.0868525
100000	8.4533
1000000	960.3

Se puede apreciar que funciona con un tiempo de solución aceptable, para el generador propuesto, ya que el Arduino simplemente se hace la invocación mandando un valor por lo que el rango que generalmente manejaremos en generador para iniciar su operación y establecer nuevos números semilla se encontrara trabajando con valores de operación entre 0 y 10000, lo cual representaría la cantidad de números aleatorios suficientes para su implementación en el sistema embebido propuesto.



Fig. 6. Comportamiento del programa implementado en la Propeller Parallax P8x32.

La Figura 7 muestra la comparación del desempeño de diferentes métodos para calcular PI.

Como podemos apreciar el comportamiento del algoritmo implementado es similar al antes reportado, a pesar de tener recursos limitados en el sistema embebido los tiempos de ejecución son similares.

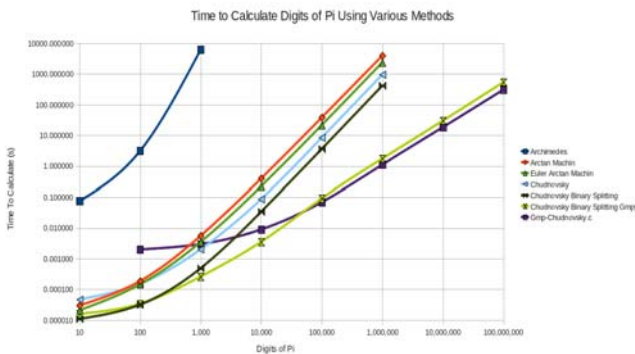


Fig. 7. Performance de diferentes métodos para obtener decimales de PI. Fuente: <http://www.craig-wood.com>

La Figura 8 muestra los valores obtenidos en para 60 solicitudes del dispositivo.

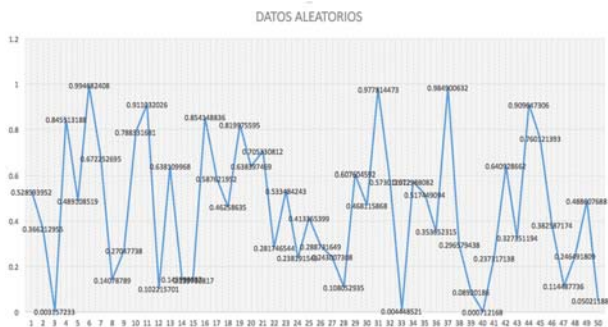


Fig. 8. Números enviados del generador al Arduino UNO.

Existen algunos métodos disponibles para verificar varios aspectos de la calidad de los números pseudo-aleatorios.

Las dos propiedades más importantes esperadas en los números aleatorios son uniformidad e independencia. La prueba de uniformidad puede ser realizada usando las pruebas de ajuste de bondad disponibles. Por ejemplo, un número estadístico suficiente de números aleatorios pueden ser usados para verificar la distribución de los números contra la distribución uniforme teórica usando ya sea el método Chi-Cuadrada o el método Kolmogorov-Smirnov (KS) para números aleatorios. Este tipo de prueba es denominada "Prueba de frecuencia".

Las pruebas más comunes a utilizar son las siguientes:

1. La prueba de Frecuencias: utilizada para comprobar que los datos estén Uniformemente distribuidos.
2. La prueba de auto correlación: verifica la correlación entre números aleatorios y los compara con la deseable correlación de cero.
3. La prueba GAP: usada para asegurar que la recurrencia de cada dígito particular en un flujo de números suceda con un intervalo aleatorio. La prueba KS es entonces usada para comparar estos intervalos con la longitud esperada de huecos.
4. La prueba Póquer: prueba grupos de números juntos como una mano de póker y compara cada mano con la mano esperada usando la prueba Chi-cuadrada.
5. La prueba de corrida arriba abajo: es generalmente la prueba principal usada para verificar la dependencia. Esta prueba detecta si un patrón inaceptable estadísticamente que se incrementa o decrece existe entre números adyacentes en un flujo de números.
6. Prueba de Series: mide la correlación entre elementos adyacentes en una secuencia de números aleatorios.

Para este generador en particular será más significativo calcular dos pruebas principales:

1. La prueba de frecuencias: Utilizaremos la prueba de Kolmogorov-Smirnov
2. La prueba de Corrida arriba para determinar la dependencia.

A. Verificación de la frecuencia usando Kolmogorov-Smirnov KS

Aplicando la prueba de frecuencia, la distribución de la muestra D es conocida y es tabulada como una función de N en la tabla Kolmogorov-Smirnov.

Para probar contra una distribución uniforme, el procedimiento sigue los pasos siguientes:

- Paso 1: Ordene los datos en forma ascendente.
- Paso 2: Usando la fdp teórica Calcular Dmax
- Paso 3: Calcule $D = \max(D+, D-)$

Paso 4: Encuentre el valor crítico de la tabla KS para un nivel de significancia y un tamaño de muestra N.

Paso 5: Si $D \leq$ al valor crítico D, acepte la distribución candidato como aquella que tiene un buen ajuste a los datos observados; de otra forma rechace.

Para la distribución Uniforme la fdp es $F(x) = 1/(b-a) a \leq x \leq b$

Para este caso particular $\alpha = 0.05$, $a = 0$ y $b = 1$. Por lo tanto $F(x) = x$.

Ahora se ordenan los valores en forma ascendente y se realizan los cálculos relativos, las operaciones realizadas se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Operaciones realizadas para verificar la frecuencia usando Kolmogorov-Smirnov

i	fi	1/N	1/N-FI	FI-I-1/N
1	0.016982481	0.02	0.003017519	0.016982481
2	0.050156093	0.04	-0.010156093	0.030156093
3	0.063136535	0.06	-0.003136535	0.023136535
4	0.075214516	0.08	0.004785484	0.015214516
5	0.083449982	0.1	0.016550018	0.003449982
6	0.108859934	0.12	0.011140066	0.008859934
7	0.115144233	0.14	0.024855767	-0.004855767
8	0.118867075	0.16	0.041132925	-0.021132925
9	0.12392674	0.18	0.05607326	-0.03607326
10	0.148353729	0.2	0.051646271	-0.031646271
11	0.15294332	0.22	0.06705668	-0.04705668
12	0.175622466	0.24	0.064377534	-0.044377534
13	0.216766975	0.26	0.043233025	-0.023233025
14	0.287139392	0.28	-0.007139392	0.027139392
15	0.300057976	0.3	-5.79755E-05	0.020057976
16	0.30622882	0.32	0.01377118	0.00622882
17	0.41060495	0.34	-0.07060495	0.09060495
18	0.42597095	0.36	-0.06597095	0.08597095
19	0.439323611	0.38	-0.059323611	0.079323611
20	0.453241068	0.4	-0.053241068	0.073241068
21	0.472824669	0.42	-0.052824669	0.072824669
22	0.495459133	0.44	-0.055459133	0.075459133
23	0.510212813	0.46	-0.050212813	0.070212813
24	0.512166991	0.48	-0.032166991	0.052166991
25	0.550393733	0.5	-0.050393733	0.070393733

26	0.581691864	0.52	-0.061691864	0.081691864
27	0.585534259	0.54	-0.045534259	0.065534259
28	0.594616494	0.56	-0.034616494	0.054616494
29	0.597988422	0.58	-0.017988422	0.037988422
30	0.613961303	0.6	-0.013961303	0.033961303
31	0.615867553	0.62	0.004132447	0.015867553
32	0.636628995	0.64	0.003371005	0.016628995
33	0.649454988	0.66	0.010545012	0.009454988
34	0.687549796	0.68	-0.007549796	0.027549796
35	0.716008064	0.7	-0.016008064	0.036008064
36	0.751862273	0.72	-0.031862273	0.051862273
37	0.754964313	0.74	-0.014964313	0.034964313
38	0.764199057	0.76	-0.004199057	0.024199057
39	0.79854831	0.78	-0.01854831	0.03854831
40	0.806696982	0.8	-0.006696982	0.026696982
41	0.822807354	0.82	-0.002807354	0.022807354
42	0.838093621	0.84	0.001906379	0.018093621
43	0.87515499	0.86	-0.01515499	0.03515499
44	0.884588808	0.88	-0.004588808	0.024588808
45	0.890827588	0.9	0.009172412	0.010827588
46	0.907360754	0.92	0.012639246	0.007360754
47	0.909707835	0.94	0.030292165	-0.010292165
48	0.919479945	0.96	0.040520055	-0.020520055
49	0.935478986	0.98	0.044521014	-0.024521014
50	0.994609759	1	0.005390241	0.014609759
			-0.246730495	1.246730495

De acuerdo a los cálculos,
 $D = \max(0.246730495, 1.246730495) = 0.246$.

El valor crítico de KS de la tabla para un tamaño de 48 y un nivel de significancia de 0.05 es 1.36.

Debido a que D es menor que este valor crítico, la hipótesis de que los datos dados pertenecen a una distribución Uniforme aceptada.

B. Una prueba de Corridas

Una prueba de Corridas es un método que nos ayuda a evaluar el carácter de aleatoriedad de una secuencia de números estadísticamente independientes y números uniformemente distribuidos.

Dado una serie de números determinar si son o no aleatorios, aunque existen dos versiones a esta prueba, utilizaremos la prueba de corridas arriba y abajo de la media (promedio).

Pasos para evaluar una prueba de corridas:

1. Primeramente, le asignaremos un signo a cada número de la secuencia ya sea + ó -, eso dependerá de los siguiente.
2. Si a un número le sigue otro mayor, se le asigna +. Esto es si $X_i < X_{i+1}$ el signo asignado será (+). Siendo X_i un número de la muestra o secuencia de números.
3. Si el número siguiente es menor, se le da un signo -. Esto es si $X_i > X_{i+1}$ el signo asignado será (-).
4. Se continuará con la comparación de los números y la asignación de su signo correspondiente hasta N-1. Es decir hasta el penúltimo número de la secuencia, ya que al último número le sigue un evento nulo (no es posible compararlo con otro número).

La media calculada para los valores de la Tabla 3 es: media = 0.51493461, la asignación de los signos también en mostrada y los totales.

i	Fi	media		>media	<media
1	0.016982481	0.51493461	+	1	0
2	0.050156093	0.51493461	+	1	0
3	0.063136535	0.51493461	+	1	0
4	0.075214516	0.51493461	+	1	0
5	0.083449982	0.51493461	+	1	0
6	0.108859934	0.51493461	+	1	0
7	0.115144233	0.51493461	+	1	0
8	0.118867075	0.51493461	+	1	0
9	0.12392674	0.51493461	+	1	0
10	0.148353729	0.51493461	+	1	0
11	0.15294332	0.51493461	+	1	0
12	0.175622466	0.51493461	+	1	0
13	0.216766975	0.51493461	+	1	0
14	0.287139392	0.51493461	+	1	0
15	0.300057976	0.51493461	+	1	0
16	0.30622882	0.51493461	+	1	0
17	0.41060495	0.51493461	+	1	0
18	0.42597095	0.51493461	+	1	0
19	0.439323611	0.51493461	+	1	0
20	0.453241068	0.51493461	+	1	0
21	0.472824669	0.51493461	+	1	0

22	0.495459133	0.51493461	+	1	0
23	0.510212813	0.51493461	+	1	0
24	0.512166991	0.51493461	+	1	0
25	0.550393733	0.51493461	-	0	1
26	0.581691864	0.51493461	-	0	1
27	0.585534259	0.51493461	-	0	1
28	0.594616494	0.51493461	-	0	1
29	0.597988422	0.51493461	-	0	1
30	0.613961303	0.51493461	-	0	1
31	0.615867553	0.51493461	-	0	1
32	0.636628995	0.51493461	-	0	1
33	0.649454988	0.51493461	-	0	1
34	0.687549796	0.51493461	-	0	1
35	0.716008064	0.51493461	-	0	1
36	0.751862273	0.51493461	-	0	1
37	0.754964313	0.51493461	-	0	1
38	0.764199057	0.51493461	-	0	1
39	0.79854831	0.51493461	-	0	1
40	0.806696982	0.51493461	-	0	1
41	0.822807354	0.51493461	-	0	1
42	0.838093621	0.51493461	-	0	1
43	0.87515499	0.51493461	-	0	1
44	0.884588808	0.51493461	-	0	1
45	0.890827588	0.51493461	-	0	1
46	0.907360754	0.51493461	-	0	1
47	0.909707835	0.51493461	-	0	1
48	0.919479945	0.51493461	-	0	1
49	0.935478986	0.51493461	-	0	1
50	0.994609759	0.51493461	-	0	1
	0.51493461			24	26

La media μ y la varianza σ_a de a están dadas por: Entonces $N=50$, $b=50$, $n_1=24$ y $n_2=26$

$$\mu = \frac{2(24)(26)}{50} + 1 = 25.96$$

$$\sigma_a = \frac{2(24)(26)[2(24)(26)(50)]}{(50)^2(50 - 1)} = \frac{77875200}{122500}$$

$$\sigma_b = 635.71$$

Debido a que n_2 (26) es mayor que μ (25.96), la distribución Normal es aceptable.

VI. CONCLUSIONES

Como se pudo observar el uso de Chudnovsky para generar números pseudo-aleatorios en un sistema móvil, represento un método viable e implementable debido a las características del algoritmo.

Al realizar las pruebas de uniformidad e independencia los resultados obtenidos fueron destacados y sus valores indicaron que el generador es robusto confiable y se representó una operación en su complejidad computacional lineal al realizar la implementación en la tarjeta Propeller Parallax P8x32A.

Las aplicaciones que este generador ayudara a crear, incluye propuestas de desarrollo de algoritmos genéticos, evolutivos, heurísticos, Montecarlo y criptografía.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado a los proyectos SIP 20180023, 20180824 y a la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital. Asimismo, al Programa de Estímulo al Desempeño de los Investigadores y al Programa de Estímulo al Desempeño Docente (EDD).

REFERENCIAS

- [1] Ogata, K., 1996, "Sistemas de Control en Tiempo Discreto," Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., pp. 625-626.
- [2] Alexander J. Yee and Shigeru Kondo, "5 Trillion Digits of Pi," August 2, 2010. www.numberworld.org/misc_runs/pi-5t/details.html.
- [3] Richard Preston, "The Mountains of Pi," The New Yorker, March 2, 1992. www.newyorker.com/archive/1992/03/02/1992_03_02_03_6_TNY_CARDS_000362534.
- [4] Richard Preston, "Capturing the Unicorn," The New Yorker, April 11, 2005. <https://www.newyorker.com/magazine/2005/04/11/capturing-the-unicorn>
- [5] David Bailey, Jonathan Borwein, Peter Borwein, and Simon Plouffe, "The Quest for Pi," Mathematical Intelligencer 19, pp. 50-57, 1997. <http://crd.lbl.gov/~dhbailey/dhbpapers/pi-quest.pdf>
- [6] Jonathan M. Borwein and David H. Bailey, Mathematics by Experiment: Plausible Reasoning in the 21st Century, AK Peters, Natick, MA, 2008.
- [7] Crypto-Stanford. Gregory-Leibniz Series. <https://crypto.stanford.edu/pbc/notes/pi/glseries.html>.
- [8] Boris Gourvitch, "The World of Pi," – Chudnovsky Brothers. <http://www.pi314.net/eng/chudnovsky.php>.
- [9] Museum of Mathematics, "Pi Day," Competition Winners. <http://momath.org/home/2014-pi-daywinners/>. Computer, 46 (10), pp.14–16, 2014.

Mitigation of a denial of service attack in a P2P network

Armando de Jesús Ruiz Calderón
Sistemas y Computación
Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla
Tlalnepantla de Baz. Estado de
México
aruizc@ittla.edu.mx

Benjamín Hernández García
Sistemas y computación
Instituto tecnológico de
Tlalnepantla
Tlalnepantla de Baz, Estado de
México
beheg2012@gmail.com

Ezequiel Alejandro Duarte
Hernández
Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla
Tlalnepantla de Baz, Estado de
México
Alexjano10@yahoo.com

Argenis Adán Franco Sánchez
Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla
Alumno: ITICS
Tlalnepantla de Baz, Estado de
México
dante_jackpot@hotmail.com

Abstract. Actually, networking and the use of Internet are common activities in our society, usually we use the client server model, this architecture has some limitations that affect the performance. The P2P architecture represent an alternative of solution to those limitations. The denial of existence attacks is a safety problem that requires attention. The methodology carried out for this work was did it with simulations those were built in two phases first the work environment, and the second the simulation of the attacks. This work shows the performance analysis of a P2P network under Denial of Existence with the original PASTRY algorithm; and we observe a high amount of loss of data, then we did a little modification of the PASTRY algorithm, and there is an important improvement of the performance of the network, and the number of lost messages has been reduced significantly, giving like a result that this kind of networks could be used to deploy wide distribution applications.

Keywords— Attacks, Denial of Service, Denial of Existence, P2P.

I. INTRODUCTION

Now a days, the use of computers, networking and the use of Internet are common activities in our society and represent a high important alternative of communication; in a common way we use the client server architecture, for networking, and although this model has been studied, this architecture has some limitations, that affect the performance.

Looking for these limitations, exist some other alternatives to solve it. The decentralized architecture networks or P2P represent an alternative of solution to those limitations, in due to tend to improve the performance of the network, which tends to enhance the performance of them, the high acceptance that these networks have, cause the development of several applications that use the characteristics of this architecture, the utilization of specialized overlays like Pastry for the interchange of messages is a feasible alternative to implement

wide distribution applications, however exist some problems like the lack of security.

The decentralized architecture networks or P2P represent an alternative of solution to those limitations, in due to tend to improve the performance of the network, which tends to enhance the performance of them, the high acceptance that these networks have, cause the development of several applications that use the characteristics of this architecture, the utilization of specialized overlays like Pastry for the interchange of messages is a feasible alternative to implement wide distribution applications, however exist some problems like the lack of security

The present work is organized as follows. In Section II, describes the common schemes used to detect illegitimate users. section III includes the proposed methodologies for building masquerade sessions. section IV presents the obtained results with each proof. Finally, in section V are given the conclusions and some ideas for future work.

The Denial of Existence attacks are safety problem that requires more focus, those attacks could cause a lost on the sent messages and generate more traffic over the network.

PASTRY algorithm, there is an important improvement of the performance of the network, and the number of lost messages has been reduced significantly, giving like a result that this kind of networks could be used to deploy wide distribution applications.

Pastry is a substrate used for message routing in a P2P type network. which DHT uses for the storage and retrieval of the information of each node; the information of each node is stored redundantly in the tables routing of the network elements, which are connected to the internet.

Pastry uses a special procedure for the inputs and outputs of nodes of the network, in a dynamic manner, due to its redundant and decentralized nature, is not considered that there is a single point of failure and when any node wishes to separate from the network it, the node can do it without the need to give any notice.

II. SCHEMES FOR DETECTING ATTACKERS

Methods for detecting masqueraders may deal with frequency of commands typed by users and extraction of grammars for each user [2, 3, 4, 5]. Four methods were analyzed: two of them work with frequency (uniqueness and command frequencies) and the others work with rules obtained from user's behavior (customized grammars and hybrid grammars).

- Uniqueness
- Command frequencies
- Customized grammars
- Hybrid grammars

III. METHODOLOGY

In this work we develop a set of simulations, in which we started considering the following facts:

- The environment has space for N possible nodes
- There are n active nodes
- All the messages are routed in the correct way without delays
- There are no bottle neck's
- A node receives a request, and responds to it
- The network doesn't have bad segments

The next phase was build the environment necessary to run the simulations, in this phase we consider the following aspects:

1. " b " was used as $b = 2$ where b is a configuration parameter of Pastry
2. Generate an environment with capacity of " N " elements
3. Generate " n " elements where " n " are nodes that will be used
4. To the nodes previously created, in a randomly way, there was assigned an " ID "
5. Each " ID " is unique
6. The nodes were sorted in a logical ring based on the assigned " ID "
7. Then the "leaf set" the "routing tables" were generated follow the rules of Pastry

Considering that in this network there are not incoming new nodes, or outgoing nodes during the network operation, the neighborhood set was not developed, in the case that fall in the situation of be without route to follow, we find the nearest

node available in the leaf set or in the routing table, searching for the best matching node.

For the exchange of messages there used the rules of Pastry, considering only this modification to the original algorithm.

The "Neighborhood Set" is considered as an empty set, based in the consideration that in the simulated network there is no incoming or outgoing nodes, and there is no possibility to drop out any node from the network; like a consequence of this modification, in the case of fall in the "strange case" described in [3], there was only considering the elements from leaf set and routing table to continue with the routing process.

If a message falls in the case described above, only the elements from leaf set and routing tables, are used to find the best matching available ID with the ID of the destination.

This modification to the original algorithm wants to find the nearest element present in that element and continue with the process of exchange messages; considering this modification like an original modification.

Attacks once the environment is generated and taking into account that the network is working satisfactorily, the following variables are considered: Probability of routing failure P_f , this is defined as the number of times a message was lost during the process of routing, during the experiments that were run and is defined by

$$P_f = lm / n \quad (1)$$

Where lm is the number of lost messages during the test, n is the number of nodes generated. The average number of jumps is defined by the number of times a message visited a node before arriving at its destination.

Generation of the attack with Multiple Coordinated Coalitioned Nodes In this attack scenario a synchronization between the coalitioned nodes is generated (E_1, \dots, E_{nc}), these nodes initiate the attack in a coordinated way; additionally, this attack is considered an Intelligent or selective attack because if the node that is going to be denied, (as a result of the attack), is in some of the sections of the routing table, of some of the coalitions nodes then , the message is discarded and considered as failed routing, (the denial is generated); however, if the destination you are looking for is not found in any sections of the routing table 2 the message is sent to the next node that corresponds to it according to the rules of Pastry; this is so that the malicious node (s) are not easily discovered, because they do not execute actions that could be suspicious, for example, that the co-ordinated nodes will randomly send the message to a remote site in the network, or simply that the nodes denied everything, with which these nodes these nodes could be discovered.

The figure 1, shows the schematization of attack with a coalition of coordinated malicious nodes in a P2P network

1. Initially the network is working in a normal way
2. At a certain moment a trigger is triggered, the coalitioned nodes begin their malicious actions, so they deny the existence of a particular node. as can be seen in Figure 1

3. The node that is going to be attacked is obtained in a random way.
4. Coalitioned nodes E_1, \dots, E_{nc} , those nodes are obtained in a random way.

It is considered that the malicious nodes are distributed randomly throughout the network

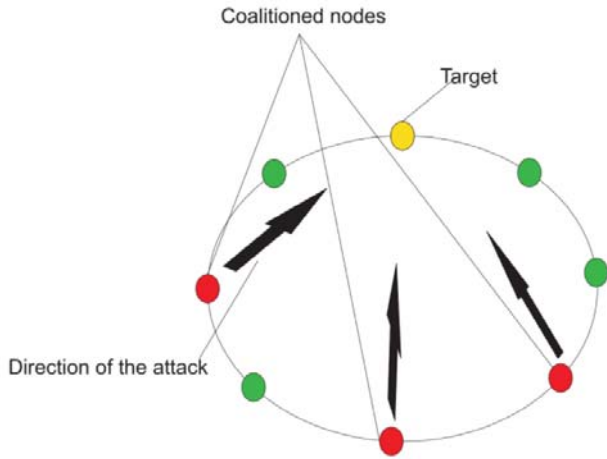


Fig. 1. Scheme of an attack with a coalition of malicious coordinated nodes in a P2P

IV. RESULTS

The conditions on the Pastry architecture were simulated on a Linux environment by using PERL release 5.8 language.

The generated environment had $N = 5000$, and $n = 500$, according to the theory of the DHT.

The theory recommends that solely the 60% of the capacity on the DHT Pastry tables should be used. Following such recommendation, only the 10% of the capacity on the Pastry tables was used. The tests had different number of nodes with coalition behavior. For each test 50,000 messages were sent.

The results are shown in the table 1. It enlists the probability of routing fail shown by percentages for each different tests. It was based on the number of nodes with coalition behavior as consequence of the Selective attack.

Nodes with coalition behavior	Pf
0	0%
1	0.182%
2	0.348 %
5	1.02 %
10	1.99 %
20	3.78 %
50	9.99 %
100	20.02%

Table 1. The table shows the number of lost messages based on the quantity of nodes with coalition behavior and the probability of routing fail $N=50,000$ and $n=500$,

Table 1 shows that the percentage of lost messages, that is proportional to the number of nodes with coalition behavior It can be seen on the figure 2, as a result of a denial of existence attack and without ignoring Pastry rules.

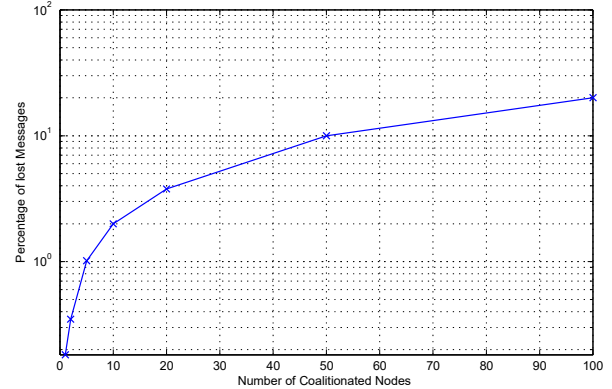


Fig. 2. Graphic that shows the percentage of lost messages, versus the number of nodes with coalition behavior

Once the routing failure probability was obtained, this probability was compared with the theoretic routing failure probability given by the following formulas

$$F_f = \frac{E_{mc}}{n} \tag{2}$$

$$\sigma = (1 - F_f)^{h-1} \tag{3}$$

where

$$h = \log_{2b}(n) \tag{4}$$

Here P_f is considered as the probability of routing failure where

$$P_f = (1 - \sigma) \tag{5}$$

Considering:

1. 1.- n as the quantity of nodes in the network
2. E_{nc} the total number of nodes with coalition behavior
3. F_f the fraction of nodes failing
4. 4. σ is the probability of a satisfactory routing for a request between two working nodes with an E_{nc} number of nodes with coalition behavior.

These formulas were taken from [16].

We appreciate that the routing failure with coalitioned nodes probability by using these formulas is less than the Pastry theory. For the tests it was used the modified algorithm. It is important to remark that with this algorithm malicious activity (denial of existence) is considered. In the original algorithm of Pastry, the nodes do not have malicious activities, just fails. With this fact, the results shown that the modified algorithm routing failure probability is lower compared to the original algorithm [16], as These results are displayed on the figure 3.

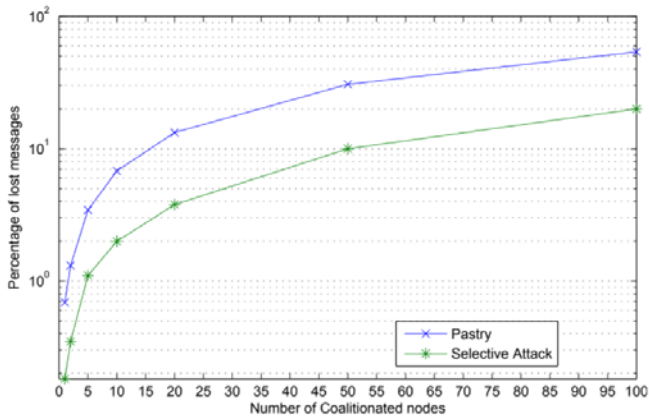


Fig. 3. The Graphic shows the comparison between the expected and observed routing failure probability under a selective attack

The results from selective attack were compared with another attack called “brute force”. There are significant differences in the number of lost messages. This comparison was made to be able to observe the number of lost messages for each attack. These results are enlisted in the table 4.

The “brute force” attack always deny the existence of the target node without care if the target node exists or not in the routing information. As consequence, the nodes that performs this attack are easily discovered. The figure 4 shows the comparison between both attacks. The figure 4 shows the percentage of lost messages of both attacks. To verify the randomness of the algorithms there is another test developed with the following characteristics:

For each routing test, the target node is selected randomly

Coalitioned Nodes	Selective Attack	% Selective Attack	Brute force	% Brute force
0	0	0.00 %	0	0.00%
1	91	0.182 %	460	0.92%
2	174	0.348 %	923	1.846 %
5	508	1.02 %	2259	4.518%
10	997	1.99 %	4435	8.87 %
20	1890	3.78 %	8415	16.83 %
50	4995	9.99 %	18702	37.404 %
100	10014	20.02 %	31402	62.80 %

Table 2. Difference of the quantity of lost messages between both kind of Attacks

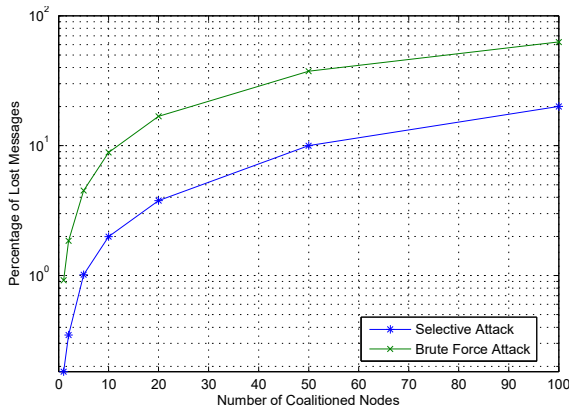


Fig. 4. Graphic that shows the comparison of the lost messages with both attacks

V. SUGGESTED SOLUTION

As a result of the tests, it was observed that over 20% of the messages were lost when the network had 100 nodes of 500 coalitionated, that represents 20% of the total amount of nodes on the network.

The suggested solution is as follows:

- If a message arrives to a node without information of the destiny, the message returns to the previous node. On the current node in a randomly way, a new node is selected from the leaf set, and then the message is routed to that node. We consider to discard the node that do not have the information of the destiny.
- Once the new node is selected, then the message continues to that node and follow the Pastry rules. This algorithm has a condition

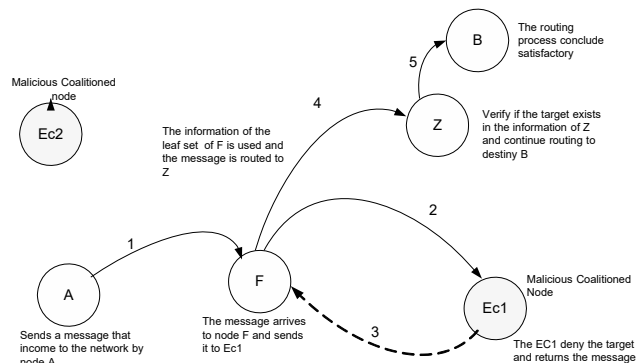


Fig. 5. The figure shows the scheme of the proposed solution to the routing algorithm

When a message fall in a coalitionated node, the message returns to the previous node and select another node of the leaf set, but if in the second-round fall again in a coalitionated node, the message is discarded. This condition was made to prevent unnecessary traffic over the network, or if the message is jumping over all the network it could be corrupted and increase the traffic. The table 3 shows the number of lost messages with the suggested solution.

Coalitionated Nodes	Percentage of Lost Messages
0	0%
1	0.008%
2	0.016 %
5	0.032 %
10	0.1 %
20	0.288 %
50	1.31 %
100	4.56 %

Table 3. This table shows the quantity of lost messages applying the suggested solution

VI. CONCLUSIONS

Based on the results of the test, we can conclude that P2P networks, are valuable alternative for storing, sharing and retrieving message applications.

The use of specialized overlays like Pastry for applications that store and retrieve information, is a good alternative to solve storing problems, that the "Client-Server" networks have, because P2P data manipulation is better than the traditional model.

The balance of the network is good, the observed randomness is good, and it can seem on the amount of lost messages is proportional to the coalitioned nodes.

The suggested solution is very efficient, because with the solution the amount of lost messages with 100 coalitioned nodes is only 4.56%, comparing with the Mitigation of a denial of existence attack in a P2P network 9 20% of lost messages with the selective attack; this reduction is significantly.

The effectiveness of the suggested solution is given by the little increase of the average number of hops that comes from 2.81 to 3.7219 with 100 coalitioned nodes.

This increase does not affect the performance of the network.

This kind of networks are useful to deploy wide distribution applications like DNS, however it is important to establish the distribution of the information that will be used, overall in applications where the resources are not uniform.

REFERENCES

- [1] A. B.; Dreger, H.; Feldmann, A.; Predicting the DNSSEC overhead using DNS traces; Information Sciences and Systems, 2006 40th Annual Conference on 22-24 March 2006 Page(s):1484 - 1489
- [2] A. Passarella, Franca Delmastro, Marco Conti; Xscribe: a stateless, cross-layer approach to P2P multicast in multi-hop ad hoc networks; Proceedings of the 1st international workshop on Decentralized resource sharing in mobile computing and networking MobiShare '06; September 2006.
- [3] A. Rowstron and Peter Druschel; Storage management and caching in PAST, a large scale, persistent peer to peer storage utility; In Proc ACM SOS'P 1; Banff Canada Oct 2001.
- [4] A. Rowstron and Peter Druschel; Pastry: Scalable, distributed object location and routing for large-scale peer-to-peer systems; In Proc. IFIP/ACM Middleware 2001, Heidelberg, Germany; November 2001.
- [5] A. Friedlander, Allison Mankin, W. Douglas Maughan, Stephen D. Crocker; DNSSEC: a protocol toward securing the internet infrastructure; Communications of the ACM, Volume 50 Issue 6; June 2007
- [6] Ben Y. Zhao, John D. Kubiatowicz, and Anthony D. Joseph.; Tapestry: An Infrastructure for fault-tolerant wide-area location and routing; Technical Report UCB//CSD-01-1141, U. C. Berkeley, April 2001.
- [7] D. Ervin Khuth; The art of computer programming; Stanford University Addison Wesley; Vol 3 sorting and searching; U.S.A. 1973.
- [8] 8. E. Damiani, Stefano Paraboschi, Pierangela Samarati, Fabio Violante; Peer to peer networks: A reputation-based approach for choosing reliable resources in peer-to-peer networks; Proceedings of the 9th ACM conference on Computer and communications security CCS '02; November 2002
- [9] G. Alexi; DNSSEC Operational Impact and Performance; Computing in the Global Information Technology, 2006. ICCGI '06. International Multi-Conference on Aug. 2006 Page(s)55 - 63
- [10] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M Frans H. Balakrishnan; Chord: a scalable Peer-to-Peer lookup service for Internet applications; SIGCOMM 01 ; ACM; San Diego California; 2001
- [11] J. Kyeong Kim a, Hyea Kyeong Kim a, Yoon Ho Cho; A user-oriented contents recommendation system in peer-to-peer architecture; Expert Systems with Applications 34 (2008) 300-312.
- [12] K. Hui, John C.S. Lui, David K.Y. Yau; Small-world overlay P2P networks: Construction, management and handling of dynamic flash crowds; computer networks num 50 2006.
- [13] L. Liu, N. Antonopolus, S. Mackin; Fault tolerant peer-to-peer search on small-world networks; Future Generation Computer Systems; vol 23; march 2007; 921-931.
- [14] L. Zambenedetti Granville, D. Moreira da Rosa, C. Melchior, M. J. Bosquiroli Almeida, and L. M. Rockenbach Tarouco; Managing Computer Networks Using Peer-to-Peer Technologies; IEEE Communications Magazine ; October 2005
- [15] M. Castro and Barbara Liskov. Practical byzantine fault tolerance. In Proceedings of the Third Symposium on Operating Systems Design and Implementation OSDI'99), New Orleans, Louisiana, February 1999.
- [16] M. Castro, P. Druschel, A. Ganesh, A. Rowstron, and D. Wallach. Secure Routing for Structured Peer-to-Peer Overlay Networks. Symposium on Operating Systems Design and Implementation, Boston MA, Dec 2002.
- [17] M. Naor and Udi Wieder. Novel Architectures for P2P Applications: the Continuous-Discrete Approach. Proc. SPAA, 2006
- [18] N.Saxena, G. Tsudik, J. Hyun Yi.; Threshold cryptography in P2P and MANETs: The case of access control; Computer Networks vol 51; 2007
- [19] P. Fltstrm, Daniel Massey, Vasileios Pappas, Lixia Zhang; Distributed DNS troubleshooting; Proceedings of the ACM SIGCOMM workshop on Network
- [20] I. S. Jacobs and C. P. Bean, "Fine particles, thin films and exchange anisotropy," in Magnetism, vol. III, G. T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271–350.
- [21] R. Nicole, "Title of paper with only first word capitalized," J. Name Stand. Abbrev., in press.
- [22] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, "Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface," IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740–741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].
- [23] M. Young, The Technical Writer's Handbook. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

Localización de conjuntos compactos invariantes en un sistema caótico que describe la evolución del cáncer

Andrés Guillermo Cruz Choy
Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
andres.choy96@gmail.com

Walter Reyes Andrade
Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
walter.reyes.andrade@gmail.com

Corina Plata Ante
Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
corina.plata@tectijuana.edu.mx

Diana Gamboa Loaiza
Departamento de Ingeniería
Eléctrica y Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
diana.gamboa@tectijuana.edu.mx

Luis Néstor Coria de los Ríos
Posgrado en Ciencias de la
Ingeniería
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
luis.coria@tectijuana.edu.mx

Paul Antonio Valle Trujillo
Posgrado en Ciencias de la
Ingeniería
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, México
paul.valle@tectijuana.edu.mx

Resumen—En este trabajo se muestra una metodología para calcular de manera analítica los límites superiores de un modelo matemático de ecuaciones diferenciales ordinarias que describen la interacción entre células cancerosas, células sanas y células efectoras. Lo anterior se realiza mediante integración por separación de variables, el método de Localización de Conjuntos Compactos Invariantes y el Teorema Iterativo. Los límites obtenidos se escriben como desigualdades en función de los parámetros del sistema y su intersección permite definir un dominio acotado en el octante no negativo en el cual se localizan todos los conjuntos compactos invariantes. Al definir el dominio de localización se procede a realizar simulaciones numéricas con el objetivo de ilustrar que todas las dinámicas que exhibe el sistema se encuentran dentro de dicho dominio. Adicionalmente, se estima un rango de valores para el parámetro de eliminación de células cancerosas en los que las trayectorias convergen ya sea a un punto de equilibrio, un ciclo límite, una órbita periódica o a un atractor caótico. Esta caracterización se realiza mediante la estimación de los exponentes de Lyapunov en las series de tiempo de las soluciones a las ecuaciones del sistema. La relevancia de esta información radica en el hecho de que permite realizar conclusiones sobre la efectividad de la respuesta inmune de la evolución tumoral a largo plazo.

Palabras clave—Cáncer, Caos, Lyapunov, Localización.

Abstract—In this work we present a methodology to analytically compute the upper bounds of a mathematical model composed by ordinary differential equations. This system describes the dynamics between cancer cells, healthy cells and effector cells. We calculate all upper bounds by applying separation of variables, the Localization of Compact Invariant Sets Method and the Iterative Theorem. These bounds are given as inequalities in terms of the system parameters and their intersection allows us to define a domain in the nonnegative octant where all compact invariant sets of the system are located. Once we have determined the localization domain we proceed to perform numerical simulations to illustrate that all dynamics of the system are located inside of it. Further, we estimate a range of values to the cancer cells elimination parameter by healthy cells in which trajectories converge to either an equilibrium point, a stable limit cycle, a periodic orbit or a chaotic attractor. This characterization is made by estimating Lyapunov exponents from the time series of each one of the solutions of the system. The relevance of this information relies on the fact that it allows us to study the effectivity of the immune response against cancer on the long-term.

Keywords— Cancer, Chaos, Lyapunov, Localization.

I. INTRODUCCIÓN

El cáncer es un grave problema de salud a nivel mundial, teniendo nuevos casos registrados cada año y altas tasas de mortalidad sin importar edad, género o raza. Una célula cancerosa es aquella que tiene la particularidad de evadir el proceso de apoptosis en el organismo y adquirir nuevas habilidades que le permiten crecer fuera de sus límites habituales e invadir órganos y tejidos circundantes mediante los sistemas circulatorio y linfático, lo cual ocasiona la creación de nuevos tumores malignos en otras partes del cuerpo, este proceso se denomina metástasis y es la principal causa de muerte por esta enfermedad [1].

De acuerdo con estadísticas reportadas por la Organización Mundial de la Salud [2] y el GLOBOCAN [3] los cinco tipos de cáncer que causan la mayor cantidad de muertes en mujeres por orden de frecuencia son: el de mama, pulmón, colorrectal, cervicouterino y de estómago. En los hombres son: el de pulmón, hígado, estómago, colorrectal y de próstata, cabe mencionar que el cáncer de pulmón es el causante principal de la mayor cantidad de muertes en ambos sexos [4,5]. En el caso particular de México, durante el año 2014, en la población mayor de 20 años tanto de hombres como mujeres, el cáncer de órganos digestivos es la primera causa de mortalidad ocasionando esta enfermedad 33 muertes por cada 100 mil habitantes; en hombres la segunda causa de muerte fue por tumores malignos, debido al cáncer de órganos genitales provocando 18 muertes por cada 100 mil varones, mientras que en las mujeres fue el de mama con 15 muertes por cada 100 mil féminas. En la población menor de 20 años, el cáncer de órganos hematopoyéticos (tejidos y órganos involucrados en la formación de células sanguíneas) es la principal causa de muerte con 3 defunciones por cada 100 mil habitantes. Cabe destacar que en el país la tasa de letalidad hospitalaria por tumores malignos fue más alta entre los varones que entre las mujeres [6]. Existen más de 200 tipos de cáncer [7] y su diversidad es una invitación a contestar la siguiente pregunta: ¿existe un tratamiento capaz de erradicar o retrasar la proliferación de células cancerosas? Con el propósito de contestar esta pregunta se han realizado numerosas investigaciones y ensayos clínicos [8]. Todas estas son importantes ya que su desarrollo se realizó de una manera metodológica y la selección de individuos siempre debe de ser justa [9]. Por otra parte, los ensayos clínicos pueden ser bastantes costosos ya que dependen de un gran número de factores como: el tiempo, la instrumentación médica y la historia clínica del individuo incluyendo las características correspondientes al tipo de cáncer que padece [10], aunque este tipo de análisis proporcionan información relevante para el desarrollo de protocolos de administración de tratamientos, estos están restringidos a un caso de estudio a la vez [11]. Por lo tanto, resulta importante considerar diferentes enfoques que permitan una mejor comprensión de la dinámica entre la evolución del cáncer, la respuesta del sistema inmunológico y el efecto de diferentes tratamientos como la quimioterapia y la inmunoterapia tanto en el corto como en largo plazo.

El modelizado matemático del cáncer a base de Ecuaciones Diferenciales Ordinarias podría ayudar a comprender la evolución de esta enfermedad en distintos escenarios, difíciles o imposibles de reproducir en un paciente real, al día de hoy, diversos modelos matemáticos han sido elaborados con este

propósito, por ejemplo, Kuznetsov et al. desarrolla un modelo que describe un crecimiento tumoral agresivo en la presencia de células efectoras [12], DeLisi y Rescigno presentan un modelo para explicar que la supervivencia de células efectoras incrementa si el sistema inmunológico es estimulado [13], Kirschner y Panneta diseñan un sistema no lineal con tres variables que describe la dinámica entre células efectoras, células tumorales y la citoquina IL-2 [14], de Pillis et al. realizan un análisis de varios modelos matemáticos y determinan que componentes del sistema inmunológico tienen un papel principal en la efectividad de la inmunoterapia para disminuir el crecimiento tumoral [15].

Recientemente se ha aplicado el método de Localización de Conjuntos Compactos Invariantes (LCCI), el Método Directo de Lyapunov, el Principio de Invariancia de LaSalle y otras teorías de estabilidad para analizar la dinámica global de modelos matemáticos de sistemas biológicos compuestos por ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden [16-18]. En este trabajo se utilizan los métodos de integración por separación de variables, el de LCCI y el Teorema Iterativo para calcular los límites de un dominio compacto de un sistema biológico que describe la dinámica entre células cancerosas, células sanas y células efectoras. Adicionalmente, se ilustran mediante simulaciones numéricas, en la que todos los conjuntos compactos invariantes que exhibe el sistema se localizan dentro de dicho dominio. A su vez, con el objetivo de determinar la efectividad de las células sanas en el combate contra el cáncer, se realiza una caracterización mediante la estimación de los exponentes de Lyapunov en las series de tiempo de las soluciones del sistema para diferentes valores del parámetro que describe esta tasa de eliminación de células tumorales.

El presente artículo se organiza de la siguiente manera. En el capítulo 2 se presentan los preliminares matemáticos correspondientes al método de LCCI, el capítulo 3 describe a detalle el modelo matemático bajo estudio, el capítulo 4 presenta los resultados correspondientes al cálculo del dominio de localización, el capítulo 5 ilustra los resultados mediante simulaciones numéricas y se definen los rangos de valores para los cuales se presentan las distintas dinámicas del sistema mediante la estimación de los exponentes de Lyapunov y en el capítulo 6 se muestran las conclusiones de esta investigación.

II. PRELIMINARES MATEMÁTICOS

El método de Localización de Conjuntos Compactos Invariantes (LCCI) se utiliza para determinar un dominio en el espacio de estados \mathbf{R}^n en el cual se localizan todos los conjuntos compactos invariantes de un sistema dinámico, estos conjuntos están definidos como órbitas periódicas, homoclinicas y heteroclinicas, ciclos límite, puntos de equilibrio y atractores caóticos. La característica principal del método consiste en que es estrictamente analítico, lo que implica la solución del problema sin la necesidad de realizar la integración numérica del sistema de ecuaciones diferenciales. Primero, considere un sistema no lineal de la forma $\dot{x} = f(x)$; donde $f(x)$ es una función vectorial continua para un C^∞ y $x \in \mathbf{R}^n$ es el vector de estados. Sea $h(x): \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}$, la cual es llamada función localizadora y no es la primera integral de \dot{x} , entonces, por $h(x)|_B$ se denota la restricción de $h(x)$ a un conjunto $B \subset \mathbf{R}^n$. Por $S(h)$ se denota el conjunto $\{x \in \mathbf{R}^n \mid L_f h(x) = 0\}$, donde

$L_f h$ es la derivada Lie de \dot{x} y está dada por $L_f h = (\partial h / \partial x) f(x)$, y se define lo siguiente:

$$h_{inf} = \inf\{h(x) \mid x \in S(h)\};$$

$$h_{sup} = \sup\{h(x) \mid x \in S(h)\}.$$

Entonces, con base en lo anterior se establece el siguiente teorema.

Teorema 2.1. Vea [19,20]. *Cada conjunto compacto invariante Γ de \dot{x} está contenido en el conjunto de localización:*

$$K(h) = \{h_{inf} \leq h(x) \leq h_{sup}\}.$$

Ahora, si se considera la localización de todos los conjuntos compactos invariantes dentro del dominio $U \subset \mathbf{R}^n$ se tiene el conjunto de localización $K(h) \cap U$, con $K(h)$ definida en el Teorema 3.1. Suponga que todos los conjuntos compactos invariantes correspondientes a \dot{x} están localizados en dos conjuntos cualesquiera llamados Q_1 y Q_2 , donde $Q_1, Q_2 \subset \mathbf{R}^n$, entonces también estarán localizados en el conjunto $Q_1 \cap Q_2$. Un refinamiento del conjunto de localización $K(h)$ puede realizarse con el uso del teorema iterativo que se establece a continuación.

Teorema 2.2. Vea [19,20]. *Sea $h_m(x), m = 0,1,2, \dots$ una secuencia de funciones de clase infinitamente diferenciable, entonces los conjuntos*

$$K_0 = K(h_0), K_m = K_{m-1} \cap K_{m-1,m}, \quad m > 0,$$

con

$$K_{m-1,m} = \{x: h_{m,inf} \leq h_m(x) \leq h_{m,sup}\},$$

$$h_{m,sup} = \sup_{S(h_m) \cap K_{m-1}} h_m(x),$$

$$h_{m,inf} = \inf_{S(h_m) \cap K_{m-1}} h_m(x),$$

contienen cualquier conjunto compacto invariante del sistema \dot{x} y

$$K_0 \supseteq K_1 \supseteq \dots \supseteq K_m \supseteq \dots$$

El método de LCCI ya ha sido aplicado con el Método Directo de Lyapunov, el Principio de Invariancia de LaSalle y otras teorías de estabilidad para analizar la dinámica local y global de modelos matemáticos de sistemas biológicos que describen la evolución del cáncer bajo tratamientos como la inmunoterapia [16] y la quimioterapia [18].

III. MODELO MATEMÁTICO DEL CÁNCER

El modelo matemático bajo estudio describe la dinámica entre tres poblaciones celulares y fue formulado por *Itik* y *Banks* en [21]. Una característica de particular importancia es que exhibe un comportamiento caótico para un rango específico de valores en uno de sus parámetros. Adicionalmente, el modelo está desarrollado con base en los sistemas presa-depredador de Lotka-Volterra y esto permite explicar algunos aspectos

relevantes sobre la evolución tumoral cuando está bajo una respuesta inmunológica y en competencia de recursos con otras células y tejidos circundantes. El modelo matemático del cáncer está compuesto por las siguientes tres ecuaciones diferenciales ordinarias:

$$\dot{x} = x(1-x) - a_{12}xy - a_{13}xz, \quad (1)$$

$$\dot{y} = r_2y(1-y) - a_{21}xy, \quad (2)$$

$$\dot{z} = \frac{r_3xz}{x+k_3} - a_{31}xz - d_3z, \quad (3)$$

donde $x(t)$ representa las células cancerosas, $y(t)$ las células sanas y $z(t)$ células efectoras. En la Tabla I se presenta la descripción y los valores de cada parámetro del sistema (1) - (3), se observa que todos son positivos.

TABLA I. PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO DEL CÁNCER.

Parámetro	Descripción	Valor
a_{12}	Fracción de células cancerosas eliminadas por células sanas	1.0
a_{13}	Fracción de células cancerosas eliminadas por células efectoras	2.5
r_2	Tasa de crecimiento de las células sanas	0.6
a_{21}	Fracción de células sanas eliminadas por células cancerosas	1.5
r_3	Tasa de reclutamiento máximo de células efectoras	4.5
k_3	Saturación media del término de reclutamiento	1.0
a_{31}	Fracción de células efectoras inactivadas por células cancerosas	0.2
d_3	Tasa de muerte de las células efectoras	0.5

La descripción del modelo se realiza a continuación, se observa en la estructura de las ecuaciones (1) y (2) que el desarrollo de las poblaciones de células cancerosas y células sanas se describe por la ley de crecimiento logístico, mientras que en la ecuación (3) se describe el crecimiento de las células efectoras mediante la cinemática de Michaelis-Menten. Los términos xy representan la competencia de recursos entre células cancerosas y células sanas, ambas se eliminan a unas tasas dadas por a_{12} y a_{21} respectivamente. La eliminación de células cancerosas por células efectoras, y viceversa, se representa por los términos xz a unas tasas dadas por a_{13} y a_{31} . Adicionalmente, las células efectoras tienen una muerte natural con una tasa d_3 . Cabe destacar que la dinámica del sistema se localiza en octante no negativo definido por el siguiente dominio:

$$\mathbf{R}_{+,0}^3 = \{x(t) \geq 0, y(t) \geq 0, z(t) \geq 0\}.$$

Adicionalmente, es evidente que el sistema (1)-(3) tiene un punto de equilibrio libre de tumor localizado en el origen $(x^*, y^*, z^*) = (0,0,0)$, esto implica que los planos $x = 0$, $y = 0$ y $z = 0$ son invariantes, es decir, cualquier solución que entre o comience en ellos, permanecerá ahí para todo tiempo futuro.

IV. LOCALIZACIÓN DE CONJUNTOS COMPACTOS INVARIANTES

$$a_{13} \geq a_{31}, \tag{4}$$

En esta sección se muestran los cálculos correspondientes al dominio de localización en el cual se encuentran todos los conjuntos compactos invariantes del modelo (1)-(3). Primero, para determinar los límites superiores de las soluciones para las ecuaciones (1) y (2), se resuelven mediante integración por separación de variables descartando los términos de competencia entre ambas poblaciones de células, es decir, para la ecuación (1) se resuelve descartando $-a_{12}xy - a_{13}xz$, con lo cual (1) se reescribe como sigue:

$$\dot{x} = x(1 - x),$$

al considerar la condición inicial $x(0) = x_0$, se determina la siguiente función particular:

$$x(t) = \frac{e^t x_0}{x_0(e^t - 1) + 1},$$

la cual tiene los límites definidos en el siguiente conjunto

$$K_x = \{0 \leq x(t) \leq x_{max} = 1\}.$$

Ahora, al tomar las mismas consideraciones, arriba mencionadas, se reescribe (2) como se muestra a continuación:

$$\dot{y} = r_2 y(1 - y),$$

se resuelve utilizando la condición inicial $y(0) = y_0$ y se determina la siguiente función particular:

$$y(t) = \frac{e^{r_2 t} y_0}{y_0(e^{r_2 t} - 1) + 1},$$

la cual tiene las cotas definidas en el siguiente conjunto

$$K_y = \{0 \leq y(t) \leq y_{max} = 1\}.$$

Con base en los resultados obtenidos mediante integración por separación de variables se procede a proponer la siguiente función localizadora con el objetivo de encontrar un supremo para la solución $z(t)$ correspondiente a la población de células efectoras

$$h = z - x,$$

y al calcular la derivada de Lie se obtiene el conjunto

$$S(h) = \left\{ \frac{r_3 xz}{x + k_3} - d_3 z - \frac{1}{4} + \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 + a_{12} xy + (a_{13} - a_{31})xz = 0 \right\},$$

del cual, al considerar la siguiente condición

en donde $z = h + x$, se reescribe de la siguiente manera

$$S(h) = \left\{ h = \frac{x + k_3}{(r_3 - d_3)x - d_3 k_3} \left[\frac{1}{4} - \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 - a_{12} xy - (a_{13} - a_{31})xz \right] - x \right\},$$

entonces, al resultado anterior se aplica el Teorema Iterativo y se obtiene lo siguiente

$$S(h) \cap \{x = x_{max}\} \subset \left\{ h_3 \leq \frac{1}{4} \frac{x_{max} + k_3}{(r_3 - d_3)x_{max} - d_3 k_3} \right\},$$

se impone la siguiente condición

$$r_3 > d_3 \left(\frac{k_3}{x_{max}} + 1 \right), \tag{5}$$

y se determina el siguiente conjunto

$$K(h) = \left\{ z - x \leq \frac{1}{4} \frac{x_{max} + k_3}{(r_3 - d_3)x_{max} - d_3 k_3} \right\}.$$

Ahora, se define el siguiente límite superior para la solución $z(t)$ de la ecuación (3) que describe la dinámica de la población de células efectoras

$$K_z = \left\{ z(t) \leq z_{max} = \frac{1}{4} \frac{x_{max} + k_3}{(r_3 - d_3)x_{max} - d_3 k_3} + x_{max} \right\}.$$

Por lo tanto, con base en los resultados mostrados en esta sección se establece el siguiente teorema

Teorema 4.1. *Todos los conjuntos compactos invariantes del sistema de cáncer (1)-(3), se localizan dentro del dominio*

$$K_{xyz} = K_x \cap K_y \cap K_z.$$

V. SIMULACIONES NUMÉRICAS

En esta sección se muestran simulaciones numéricas y el cálculo de los exponentes de Lyapunov para algunos valores del parámetro de bifurcación a_{12} . A continuación, se ilustran cuatro planos de fase en el espacio de estados del sistema para cuatro valores de a_{12} .

En la Figura 1 se ilustra el espacio de fase para $a_{12} = 0.50$. Se observa que la trayectoria converge hacia un ciclo límite con una amplitud muy pequeña.

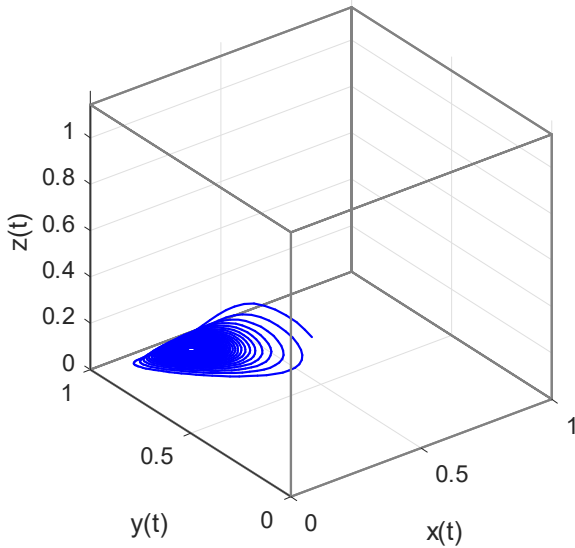


Fig. 1. Ciclo límite con $a_{12} = 0.50$.

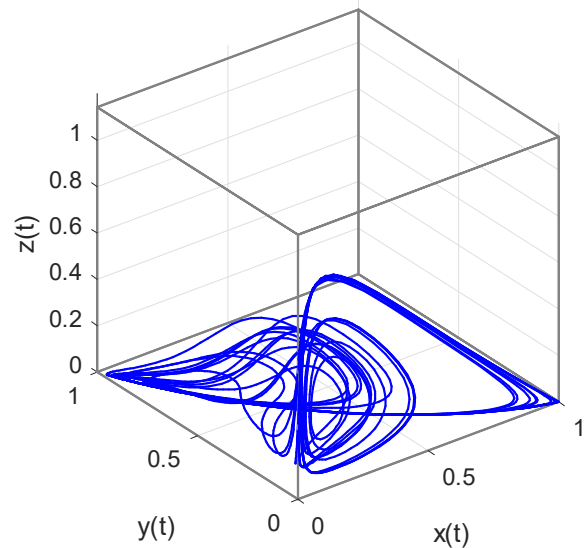


Fig. 3. Atractor caótico con $a_{12} = 1$.

En la Figura 2 se observa que la trayectoria converge rápidamente hacia un ciclo límite con una mayor amplitud al mostrado en la figura anterior, ajustando las condiciones iniciales la dinámica se puede considerar como una órbita periódica, se utiliza el valor $a_{12} = 0.75$.

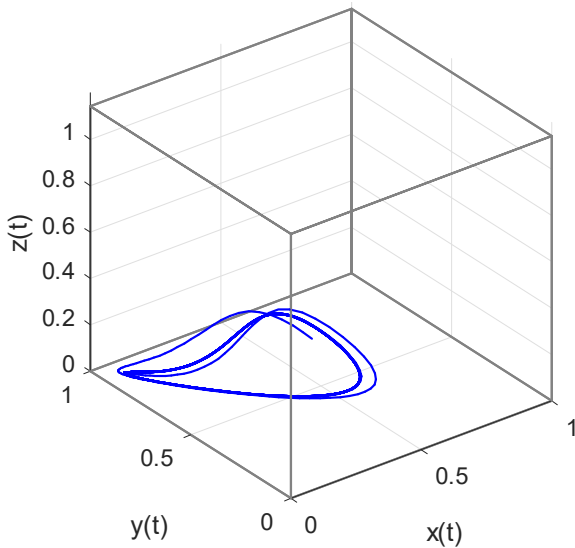


Fig. 2. Ciclo límite con $a_{12} = 0.75$.

En la Figura 4 se realiza la simulación numérica para un valor de $a_{12} = 1.25$. Para valores de a_{12} desde 1.05 hasta 1.5 todas las trayectorias convergen hacia el mismo punto de equilibrio dado por $(x^*, y^*, z^*) = (0, 1, 0)$, el cual es considerado saludable y libre de tumor.

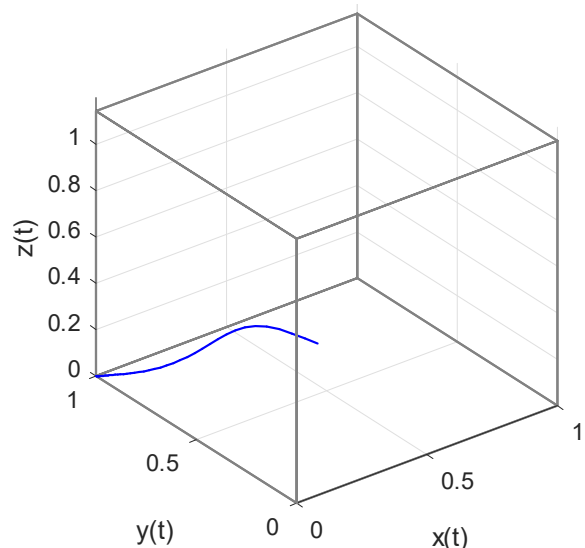


Fig. 4. Punto de equilibrio con $a_{12} = 1.25$.

En la Figura 3 se observa que la trayectoria converge hacia un atractor caótico para un valor de $a_{12} = 1$. Cabe destacar que, en las simulaciones numéricas realizadas, solamente se observó un atractor para este valor del parámetro que representa la proporción de células cancerosas eliminadas por células sanas.

El método de los exponentes de Lyapunov es una herramienta útil para determinar la existencia de caos en señales o series de tiempo. Específicamente, los exponentes de Lyapunov, usualmente definidos por la letra λ , miden las tasas de convergencia y divergencia de las trayectorias cercanas. Los exponentes negativos de Lyapunov indican convergencia, mientras que los exponentes positivos demuestran divergencia y caos. Físicamente, el exponente de Lyapunov es una medida de que tan rápido las trayectorias cercanas convergen o divergen. El exponente positivo de Lyapunov (λ_1) puede

calcularse para una serie de tiempo numérica y ofrece la posibilidad de determinar caos en un sistema dinámico. Sin embargo, para un espacio con dimensión n , existen n exponentes de Lyapunov [22]. En el caso de un sistema de tres dimensiones, este se considera caótico si se tiene al menos un exponente de Lyapunov positivo, y los otros dos menores o igual a cero.

Entonces, con el propósito de caracterizar las dinámicas exhibidas por el modelo matemático del cáncer (1)-(3) se utiliza un algoritmo matemático propuesto por Wolf en [23], en específico el *toolbox* MATDS¹, para calcular los exponentes de Lyapunov en las series de tiempo obtenidas para diferentes valores del parámetro de bifurcación a_{12} .

La Figura 5 muestra el cálculo de los exponentes de Lyapunov para el sistema (1)-(3) para un ciclo límite, $a_{12} = 0.50$. Se observa que todos los exponentes de Lyapunov son negativos, lo que implica convergencia de las trayectorias, en este caso, tal como se muestra en la Figura 1, a un ciclo límite.

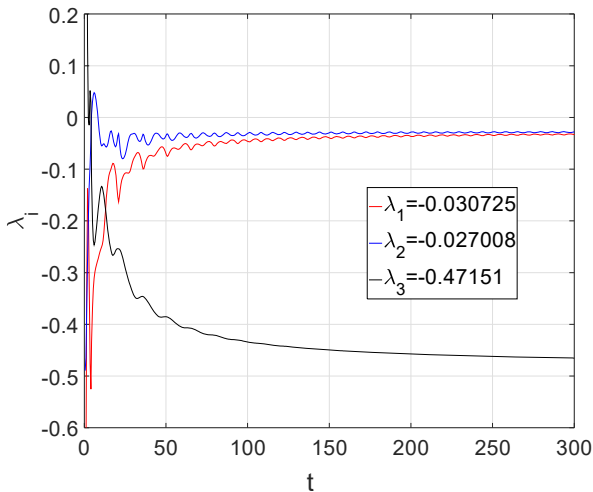


Fig. 5. Exponentes de Lyapunov para el sistema con $a_{12} = 0.50$.

En la Figura 6 se observa que los exponentes de Lyapunov son negativos cuando $a_{12} = 0.75$, es decir, no se presenta caos en el sistema. Este valor corresponde al utilizado en la Figura 2, en la cual se ilustra que el comportamiento que exhibe el sistema está dado por una órbita periódica.

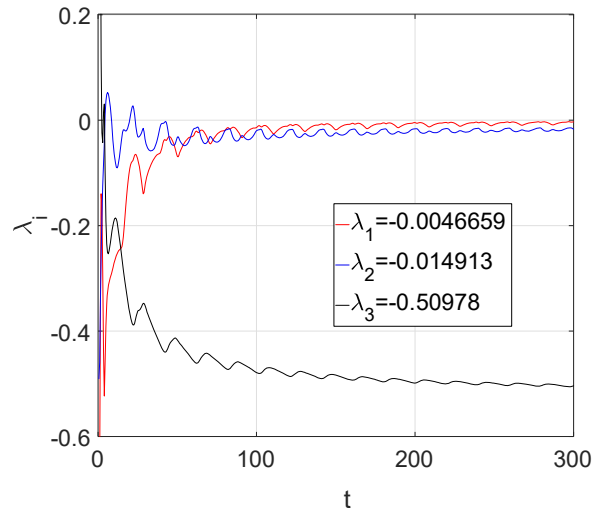


Fig. 6. Exponentes de Lyapunov para el sistema con $a_{12} = 0.75$.

Ahora, en la Figura 7 se observa que el exponente más grande de Lyapunov (λ_1) es positivo cuando $a_{12} = 1$, esto implica la existencia de caos en las trayectorias del sistema, este resultado corresponde con la Figura 3, en la cual se ilustra un atractor caótico en el espacio de estados.

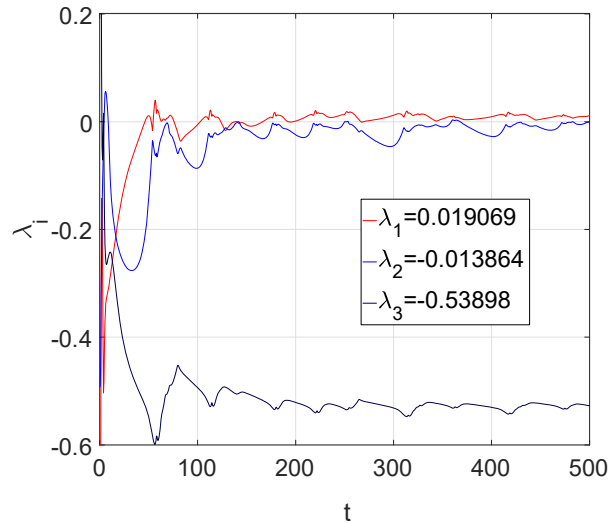


Figura 7. Exponentes de Lyapunov para el sistema con $a_{12} = 1$.

Finalmente, en la Figura 8 se muestran los exponentes de Lyapunov cuando $a_{12} = 1.25$, la dinámica del sistema para este valor se ilustra en la Figura 4. Cabe destacar que en las simulaciones numéricas se observa que cuando el valor del parámetro de bifurcación $a_{12} \geq 1.05$ todas las trayectorias convergen hacia el punto de equilibrio $(x^*, y^*, z^*) = (0, 1, 0)$, es por esta razón que los tres exponentes de Lyapunov que se determinan son negativos. Lo anterior es debido a que la tasa de eliminación de células cancerosas por células sanas es lo suficientemente fuerte para mantener bajo control la

¹MATDS: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/linkexchange/links/1253-matds-toolbox>

proliferación del tumor, sin embargo, en la realidad esto implicaría que el sistema inmune de un individuo es capaz de eliminar por completo un tumor maligno, lo que se considera un caso irrelevante debido a la falta de información en la literatura científica, es decir, no se encontraron casos clínicos reportados con este fenómeno.

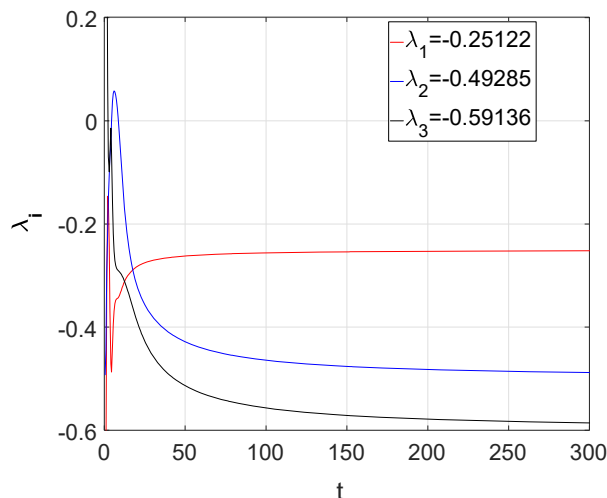


Fig. 8. Exponentes de Lyapunov para el sistema con $a_{12} = 1.25$.

VI. CONCLUSIONES

En esta investigación se muestra una metodología para calcular los límites superiores de una ecuación diferencial ordinaria de primer orden cuando no se puede resolver mediante métodos analíticos como el de integración por separación de variables, dicho método se denomina Localización de Conjuntos Compactos Invariantes, al aplicar este método junto con el Teorema Iterativo se logró definir un dominio en el octante no negativo en el cual se localizan todas las dinámicas que exhibe el sistema (1)-(3), como lo son ciclos límite, orbitas periódicas, atractores caóticos y puntos de equilibrio, tal como se ilustran en las Figuras 1 a 4 respectivamente. En las cuatro figuras se observa que las dinámicas se localizan dentro del dominio de localización K_{xyz} .

El resultado que se obtuvo al realizar las simulaciones numéricas fue que al momento de establecer el parámetro en $a_{12} = 1$ se obtuvo un atractor caótico, posteriormente se tomaron valores de 1.05 a 1.5 y el resultado obtenido fue que las trayectorias convergen hacia el punto de equilibrio dado por $(x^*, y^*, z^*) = (0, 1, 0)$, para el parámetro $a_{12} = 0.75$ se presenta una órbita periódica y para $a_{12} = 0.5$ se obtiene un ciclo límite estable.

Adicionalmente, se logran estimar los exponentes de Lyapunov del sistema (1)-(3) cuando se soluciona numéricamente para cuatro valores diferentes del parámetro de bifurcación a_{12} . Lo anterior se realiza con el *toolbox* denominado MATDS para Matlab® y se establece que para valores diferentes de $a_{12} = 1$, el sistema no presenta caos, solamente para este valor se observa un atractor caótico y el

exponente más grande de Lyapunov que se determina es positivo con un valor de $\lambda_1 = 0.019069$, lo que implica caos en las trayectorias del sistema.

Como trabajo futuro se pretende utilizar los resultados obtenidos para estudiar la estabilidad global del sistema (1)-(3) y establecer condiciones suficientes para asegurar la existencia de un Dominio Acotado Positivamente Invariante, lo que implicaría a su vez la existencia de un atractor global en el octante no negativo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está soportado por el proyecto número 6178.17-P del TecNM con el nombre “Modelos matemáticos para cáncer, VIH y enfisema” y el proyecto con registro pendiente del TecNM bajo el nombre de “Ingeniería aplicada mediante el modelado matemático para comprender la evolución del cáncer, la respuesta inmunológica y el efecto de algunos tratamientos”.

REFERENCIAS

- [1] R. W. Ruddon. Cancer biology. Oxford University Press, 2007.
- [2] World Health Organization. Cancer, Disponible en: <http://www.who.int/cancer/en/>, 2017. [Último acceso: 10-11-2017].
- [3] International Agency for Research on Cancer. GLOBOCAN 2012. Disponible en: http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_cancer.aspx, 2012. [Último acceso: 10-11-2017].
- [4] R. L. Siegel, K. D. Miller, and A. Jemal, “Cancer statistics, 2016,” CA: a cancer journal for clinicians, vol. 66, no. 1, pp. 7–30, 2016, doi:10.3322/caac.21332.
- [5] J. Ferlay, I. Soerjomataram, R. Dikshit, S. Eser, C. Mathers, M. Rebelo, D. M. Parkin, D. Forman, and F. Bray, “Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in globocan 2012,” International journal of cancer, vol. 136, no. 5, pp. E359–E386, 2015, doi:10.1002/ijc.29210.
- [6] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Estadísticas a propósito del día mundial contra el cáncer. Disponible en: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2017/cancer2017_Nal.pdf, 2017. [Último acceso: 10-11-2017].
- [7] L. A. Torre, A. M. G. Sauer, M. S. Chen, M. Kagawa-Singer, A. Jemal, and R. L. Siegel, “Cancer statistics for asian americans, native hawaiians, and pacific islanders, 2016: Converging incidence in males and females,” CA: a cancer journal for clinicians, 2016, doi:10.3322/caac.21335.
- [8] S. J. Pocock, Clinical trials: a practical approach. John Wiley & Sons, 2013.
- [9] E. J. Emanuel, D. Wendler, and C. Grady, “What makes clinical research ethical?” Jama, vol. 283, no. 20, pp. 2701–2711, 2000, doi:10.1001/jama.283.20.2701
- [10] Burton, L. J. Billingham, and S. Bryan, “Cost-effectiveness in clinical trials: using multiple imputation to deal with incomplete cost data,” Clinical Trials, vol. 4, no. 2, pp. 154–161, 2007, doi:10.1177/1740774507076914
- [11] Méry, C. Rancoule, J.-B. Guy, S. Espenel, A.-S. Wozny, P. Battiston-Montagne, D. Ardail, M. Beuve, G. Alphonse, C. Rodriguez-Lafrasse, et al., “Preclinical models in HNSCC: A comprehensive review,” Oral Oncology, vol. 65, pp. 51–56, 2017, doi: 10.1016/j.oraloncology.2016.12.010.

- [12] V. A. Kuznetsov, I. A. Makalkin, M. A. Taylor, and A. S. Perelson, "Nonlinear dynamics of immunogenic tumors: parameter estimation and global bifurcation analysis," *Bulletin of mathematical biology*, vol. 56, no. 2, pp. 295—321, 1994, doi:10.1016/S0092-8240(05)80260-5.
- [13] C. DeLisi and A. Renshaw, "Immune surveillance and neoplasia - I a minimal mathematical model," *Bulletin of mathematical biology*, vol. 39, no. 2, pp. 201—221, 1977, doi:10.1016/S0092-8240(77)80008-6.
- [14] D. Kirschner and J. C. Panetta, "Modeling immunotherapy of the tumor—immune interaction," *Journal of mathematical biology*, vol. 37, no. 3, pp. 235—252, 1998, doi:10.1007/s002850050127.
- [15] L. G. de Pillis and A. E. Radunskaya, "Modeling tumor—immune dynamics," *Mathematical Models of Tumor-Immune System Dynamics*, vol. 107, p. 59, 2014, doi:10.1007/978-1-4939-1793-8.
- [16] K. E. Starkov and L. N. Coria, "Global dynamics of the Kirschner—Panetta model for the tumor immunotherapy," *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 1425—1433, 2013, doi: 10.1016/j.nonrwa.2012.10.006.
- [17] K. E. Starkov and D. Gamboa, "Localization of compact invariant sets and global stability in analysis of one tumor growth model," *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, vol. 37, no. 18, pp. 2854—2863, 2014, doi:10.1002/mma.3023.
- [18] P. A. Valle, K. E. Starkov, and L. N. Coria, "Global stability and tumor clearance conditions for a cancer chemotherapy system," *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, vol. 40, pp. 206—215, 2016, doi: 10.1016/j.cnsns.2016.04.025.
- [19] A. P. Krishchenko, "Localization of invariant compact sets of dynamical systems". *Differ Equ*, vol. 41, no. 12, pp. 1669-1676, 2005, doi:10.1007/s10625-006-0003-6.
- [20] A. P. Krishchenko and K. E. Starkov, "Localization of compact invariant sets of the Lorenz system". *Phys Lett A*, vol. 353, no. 5, pp. 383-388, 2006, doi: 10.1016/j.physleta.2005.12.104.
- [21] M. Itik and S. P. Banks, "Chaos in a three-dimensional cancer model". *Int J Bifurc Chaos*, vol. 20, no. 01, pp. 71-79, 2010, doi:10.1142/S0218127410025417.
- [22] L. S. McCue and W. T. Armin. "Use of Lyapunov exponents to predict chaotic vessel motions". *Contemporary Ideas on Ship Stability and Capsizing in Waves*. Springer Science & Business Media, 2011, doi:10.1007/978-94-007-1482-3_23.
- [23] A. Wolf, J. B. Swift, H. L. Swinney, and J. A. Vastano. "Determining Lyapunov Exponents from a Time Series", *Physica D*, Vol. 16, pp. 285-317, 1985, doi.org/10.1016/0167-2789(85)9001-9
- Andrés Guillermo Cruz Choy:** Estudiante del Instituto Tecnológico de Tijuana en la carrera de Ingeniería Biomédica actualmente cursando quinto semestre.
- Walter Johan Reyes Andrade:** Recibió el grado de Licenciado en Educación Primaria (2012) por el Centro de Estudios Superiores de la Frontera (UNIFRONT), actualmente se desempeña como Estudiante del Instituto Tecnológico de Tijuana en la carrera de Ingeniería Electrónica cursando el quinto semestre.
- Corina Plata Ante:** Recibió el grado de Ingeniera en Electrónica (2008) por el Instituto Tecnológico de Tijuana. Recibió el grado de Maestra en Ciencias en Sistemas Digitales (2012) y Doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales (2016) por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesora en el Instituto Tecnológico de Tijuana y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel C.
- Diana Gamboa Loaiza:** Recibió el grado de Ingeniera en Electrónica (2009) por el Instituto Tecnológico de Tijuana. Recibió el grado de Maestra en Ciencias en Sistemas Digitales (2011) y Doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales (2015) por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesora en el Instituto Tecnológico de Tijuana.
- Luis Néstor Coria de los Ríos:** Recibió la licenciatura de Ingeniero en Electrónica (2000) por el Instituto Tecnológico de Durango. También obtiene una Maestría en Sistemas Digitales (2005) y Doctorado en Comunicación y Electrónica (2010) por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Tijuana y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel I.
- Paul Antonio Valle Trujillo:** Recibió el grado de Ingeniero en Electrónica (2010) por el Instituto Tecnológico de Tijuana. Recibió el grado de Maestro en Ciencias en Sistemas Digitales (2012) y Doctorado en Ciencias en Sistemas Digitales (2016) por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente es profesor-investigador en el Instituto Tecnológico de Tijuana, Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Ingeniería y es miembro del Sistema Nacional de Investigadores nivel C.

Implementación de la metodología octave para el diagnóstico seguridad informática

Hilda Díaz Rincón, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, c_computo_sie@hotmail.com

Ivonne Echevarría Chan, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, ivonnechan@gmail.com

José Antonio Navarrete Prieto, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, posgrado_ittla@yahoo.com.mx

Manuel Marban Cabrera, Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Tics, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, materiasittla@gmail.com

Iliana Gabriela Laguna López de Nava, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, ilianaxim@hotmail.com

Abstract—Realizar el diagnóstico del estado de la seguridad informática utilizando la metodología OCTAVE permitio establecer acciones estratégicas en la Empresa, con el resultado del mismo se logro identificar cada una de las áreas, sus actividades y activos informáticos incluyendo un análisis del uso de red, detectando las amenazas y vulnerabilidades de las áreas, generando políticas de seguridad y recomendaciones para neutralizar los efectos de los riesgos de seguridad detectados.

Keywords— seguridad, amenaza, vulnerabilidad, virus

I. INTRODUCCION

En [1] menciona hoy en día, la seguridad informática se ha convertido en punto crítico de las comunicaciones realizadas a través de Internet, debido al gran número de amenazas contra los datos expuestos al viajar a través de este medio. Estas amenazas se presentan en distintas formas, tienen como propósito causar el mayor daño posible a la información almacenada en los sistemas. Las principales amenazas son: los virus informáticos, los gusanos de Internet, el spyware, caballos de Troya, el phishing, el phishing scam, ataques de negación de servicio, entre otros. Las organizaciones están invirtiendo una gran cantidad de recursos en infraestructura que permite mantener protegidos sus activos (información sensible), así como también se esfuerzan en contratar personal de Tecnologías de la Información, especializados en seguridad informática, que cuenta con los conocimientos necesarios para manejar dicha infraestructura.

¿Cuál es el verdadero problema? La respuesta es simple, se ha dejado de pensar en el eslabón más débil de la cadena de la seguridad informática: el usuario final. Las organizaciones tanto privadas como gubernamentales han ignorado por completo los problemas serios que están sufriendo los usuarios

que poseen un conocimiento escaso de la seguridad informática mientras sus equipos se encuentran conectados a Internet.

Los usuarios finales están siendo víctimas de distintos delitos cibernéticos que afectan su economía o su privacidad, como el fraude en línea o el robo de información personal como contraseñas de correo electrónico, además dentro de las organizaciones la utilización de los sistemas de información que se incluyen en estas, juegan un papel muy importante ya que en ellos está la información que genera y que le permite a las organizaciones continuar con su ciclo de vida diaria, por lo que se considera que es uno de los recursos primordiales de la organización, lo cual ha generado que se le dé mayor atención a la disponibilidad, confidencialidad e integridad del sistema informático para así garantizar una fluidez de información segura con un sistema protegido.

Así el entorno del desarrollo tecnológico ha posibilitado la conexión a Internet desde cualquier lugar y mediante múltiples dispositivos electrónicos, los sistemas informáticos se encuentran constantemente expuestos a múltiples amenazas, donde se debe considerar que actualmente el uso de Internet. La empresa “Controles Gráficos S.A de C.V” no es la excepción debido a la relación que existe entre sus diferentes proyectos y empresas que actúan en conjunto y que se encuentran conectados a través de la red por los diferentes procesos de la empresa, se hace necesario conocer que recursos de la misma necesitan protección.

Analizar como las amenazas y vulnerabilidades actúan en las redes LAN (Local Area Network) y WAN (Wide Area Network), así como los dispositivos que hacen posible estos servicios y que por falta de políticas y planes permiten poner en riesgo la información, así como la disponibilidad, confidencialidad e integridad de los servicios.

En la revista publicada por UNAM-CERT (Equipo de Respuesta a Incidentes de Seguridad en Cómputo) [2] indica que en el segundo trimestre del 2017 se detectó un aumento en los ciberataques con respecto al mismo periodo en el 2016, mencionando que existe aumento de 40% en los ataques, lo cual nos sitúa en “los tres meses más trepidantes en seguridad informática de los últimos años”.

Además, la encuesta del Instituto SANS (SysAdmin Audit, Networking and Security Institute), mencionan que las amenazas internas son el principal temor de las organizaciones, dado que las personas aún requieren de una comprensión de las amenazas que existen, por ejemplo: el manejo de contraseñas y el uso de credenciales privilegiadas para mejorar la seguridad de los ambientes en las organizaciones.

Es así como en la empresa “Controles Gráficos S.A. de C.V” se realiza un diagnóstico para identificar el estado de seguridad informática que existe dentro de la misma el cual permitio establecer iniciativas de mejora y con ello generar una visión de los riesgos de seguridad existentes.

II. DESARROLLO

Para que una empresa comprenda cuáles son las necesidades de seguridad de la información, [3] se comenta que OCTAVE (“Operationally Critical Threat, Asset and Vulnerability Evaluation”), es una metodología de análisis de riesgos desarrollada por la Universidad Carnegie Mellon en el año 2001 y que estudia los riesgos en base a tres principios Confidencialidad, Integridad y Disponibilidad, esta metodología se emplea por distintas agencias gubernamentales tales como el Departamento de defensa de Estados Unidos..

[4] Indica que, en contra de la típica consultoría focalizada en tecnología, que tiene como objetivo los riesgos tecnológicos y el foco en los temas tácticos, el objetivo de OCTAVE es el riesgo organizacional y el foco son los temas relativos a la estrategia y a la práctica.

Cuando se aplica OCTAVE, un pequeño equipo de gente desde los sectores operativos o de negocios hasta los departamentos de tecnología de la información (TI) trabajan juntos dirigidos a las necesidades de seguridad, balanceando tres aspectos: Riesgos Operativos, Prácticas de seguridad Y Tecnología.

El núcleo central de OCTAVE es un conjunto de criterios (principios, atributos y resultados) a partir de los cuales se pueden desarrollar diversas metodologías. Octave divide los activos en dos tipos que son: Sistemas (Hardware. Software y Datos) y Personas

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Considerando lo que menciona [5] la seguridad informática ha adquirido gran auge, dadas las cambiantes condiciones y nuevas plataformas informáticas disponibles, buscando proteger los datos, de la aparición de nuevas amenazas en los sistemas informáticos”. Las empresas actualmente están llevando la seguridad de la información de manera sutil sin darle la importancia necesaria, este

diagnostico le dara un giro a la percepción que tiene la empresa con respecto a la seguridad informática.

El establecimiento de políticas de seguridad informáticas fija los mecanismos y procedimientos que debe adoptar la empresa para salvaguardar sus sistemas y la información que estos contienen. Estas políticas deben diseñarse "a medida" para así obtener las características propias de cada departamento y no son una descripción técnica de mecanismos de seguridad, ni una expresión legal que involucre sanciones a conductas de los empleados, son más bien una descripción de lo que se debe proteger y el porqué de ello, por lo que pueden tomarse como una forma de de los involucrados con los activos informáticos dentro de la empresa.

En la Empresa “Controles Gráficos S.A de C.V “ se realizan operaciones en forma continua como son: cotizaciones, búsqueda de proveedores, ventas, facturación, marketing, control de clientes, y actualmente cuenta con una infraestructura que satisface sus demandas hoy en día en cuanto a hardware e infraestructura física, pero carece de controles en las áreas tales como los servicios de internet y datos del cual no existe un monitoreo de control de cumplimiento con las especificaciones técnicas, también se encontro la inexistencia de un inventario de software, falta de memorias técnicas de la estructura de la red, esto produce diversos problemas como accesos no autorizados a la información, problemas de hardware causando susceptibilidad a un ataque de ingeniería social y la pérdida de información se hace evidente en la misma para recuperación de desastres por fallas de hardware, acceso de software malicioso a través de la red y al no existir control en el acceso a los recursos compartidos estos son accesibles y modificados por cualquier usuario de la red.

MARCO TEÓRICO

[6] Indica que, para comprender el concepto integral de la seguridad informática, es indispensable entender los diversos conceptos básicos que la rigen como son:

- Recursos Informáticos: el equipo de cómputo y telecomunicaciones; los sistemas, programas y aplicaciones, así como los datos e información de una organización, a los cuales también se les conoce como “activos informáticos”.

- Amenaza: fuente o causa potencial de eventos o incidentes no deseados que pueden resultar en daño a los recursos informáticos de la organización.

- Impacto: la medida del efecto nocivo de un evento.

- Vulnerabilidad: característica o circunstancia de debilidad de un recurso informático la cual es susceptible de ser explotada por una amenaza.

- Riesgo: la probabilidad de que un evento nocivo ocurra combinado con su impacto en la organización.

[6] También considera como principio básico de la seguridad, que la seguridad informática no es un producto, es un proceso.

En [7] se describe que la seguridad informática consiste en asegurar que los recursos de un sistema de información se han utilizados de la manera en que se decidió, así como el acceso a

la información o modificación, solo se ha posible por personal acreditado dentro de los límites de su autorización, resaltando que “para la mayoría de los expertos el concepto de seguridad en la informática es utópico porque no existe un sistema 100% seguro”. Además, indica que para que un sistema pueda ser seguro, debe cumplir las siguientes características: Integridad, Confidencialidad, Disponibilidad e Irrefutabilidad.

“La integridad es un principio básico de la seguridad informática que consiste en garantizar que la información solo pueda ser alterada por las personas autorizadas o usuarios legítimos, independientemente de si esa modificación se produce de forma intencionada o no” [7].

La confidencialidad es otro de los principios básicos de la seguridad informática que esta debe garantizar que la información sea extraída e interpretada solo por el usuario de destino. “Un sistema de confidencialidad tiene éxito cuando un usuario externo no puede extraer información de una transmisión de información que hayan realizado dos o más interlocutores en un sistema de información”. [7]

Para [8] disponibilidad: es una característica que indica que la información debe estar disponible cuando se requiera.

Irrefutabilidad: El uso y/o modificación de la información por parte de un usuario debe ser irrefutable, es decir, que el usuario no pueda negar dicha acción. [8]

[9] Menciona que los datos son exclusivamente de la empresa, si desaparecen, la empresa no puede funcionar con normalidad. Si llegan a manos de la competencia, la estrategia empresarial y el futuro de la compañía están en riesgo”. Esto indica que las empresas necesitan organizar y asegurar la información, con la nueva tendencia de cero papeles, todos los documentos se encuentran informatizados, y son puestos en circulación al interior como al exterior de la empresa, es así que las empresas deben invertir en las infraestructuras tecnológicas para mantener niveles de seguridad elevados y evitar el daño por software malicioso, y no tenerla solamente almacenada en los equipos que la generan si no en lugares remotos, dando origen al almacenamiento distribuido que permite disponer al usuario de la información en diferentes equipos y dándole un nivel de seguridad elevado ya que la información no se encuentra en un solo lugar evitando la pérdida por daños físicos del hardware, por lo que la importancia del cifrado de la información al momento de ser trasladada a través de la red LAN y la WAN, es hoy en día de vital importancia para evitar modificaciones y hurto de la información.

El Activo se define como cualquier bien sea este informático o no, el cual permite a las instituciones públicas y privadas alcanzar sus objetivos amparados en sus Planes Operativos Anuales(POA), en el caso de las públicas, y de los planes de fortalecimiento en el caso de las privadas, es decir todo lo que requiere ser asegurado contra algún percance, tanto así que estas optan por adquirir seguros que permitan proteger estos bienes contra las amenazas más comunes, por ejemplo de activos podemos mencionar hardware, software, personas, muebles y oficinas etc. [10]

Es así como en [7] se concluye que la seguridad informática tiene por objeto la identificación de los bienes

informáticos que necesitan ser asegurados, analiza las principales amenazas para establecer los mecanismos necesarios para protegerlos desde el punto de vista de la informática podemos establecer los siguientes (activos, vulnerabilidades, amenazas, ataques, riesgos, impacto, desastre, contingencias, etc.).

[11] describen que el Método Octave, se desarrolló para organizaciones grandes con más de 300 empleados. El método aprovecha el conocimiento de múltiples niveles de la organización, centrándose en:

- Identificar los elementos críticos y las amenazas a esos activos.
- La identificación de las vulnerabilidades, tanto organizativas y tecnológicas, que exponen a las amenazas, creando un riesgo a la organización.
- El desarrollo de una estrategia basada en la protección de prácticas y planes de mitigación de riesgos para apoyar la misión de la organización y las prioridades.

El método OCTAVE®, considera la evaluación operacionalmente crítica de amenazas, activos y vulnerabilidad y fue creado por este equipo para ayudar a las organizaciones a realizar evaluaciones de riesgos de seguridad de la información en contexto con los controladores operacionales y estratégicos en los que confían para cumplir su misión.

[7] También indica que esta metodología OCTAVE se encuentra está compuesta en tres fases:

- Visión de organización: Donde se definen los siguientes elementos: activos, vulnerabilidades de organización, amenazas, exigencias de seguridad y normas existentes.
- Visión tecnológica: se clasifican en dos componentes o elementos: componentes claves y vulnerabilidades técnicas.
- Planificación de las medidas y reducción de los riesgos: se clasifican en los siguientes elementos: evaluación de los riesgos, estrategia de protección, ponderación de los riesgos y plano de reducción de los riesgos.

[10] clasifican la seguridad en activa y pasiva, definiendo a la seguridad activa, como todas aquellas medidas para detectar las amenazas, y en caso de su detección generar los mecanismos adecuados para evitar el problema, que son el uso de contraseñas o claves de acceso, antivirus, cortafuegos o firewall. Y en el caso de la seguridad pasiva a aquellas medidas que una vez que se produzca el ataque o el fallo en la seguridad, hacer que el impacto sea el menor posible, activando mecanismos de recuperación del mismo, como son uso de respaldos, uso de redundancia en discos o discos RAID (Redundant Array of Inexpensive Disks).

También [12] indican que la prioridad de la seguridad informática es la conservación de la integridad de la información y el equipo en sí, piensa en los virus como algo dañino que puede dañar el sistema operativo, o el ordenador e incluso alentarlos sin poder trabajar con él, el peor de los casos

la pérdida completa de la información generando un desastre en la productividad de la organización.

Comenta además que la existencia de personas ajenas conocidas como piratas informáticos o hackers, quienes son aquellos que buscan tener acceso a la red empresarial para modificar, sustraer o borrar datos., donde tales personajes pueden, incluso, formar parte del personal administrativo o de sistemas, de cualquier compañía; de acuerdo con expertos en el área, más de 70 por ciento de las violaciones e intrusiones a los recursos informáticos se realiza por el personal interno, debido a que éste conoce los procesos, metodologías y tiene acceso a la información sensible de su empresa, es decir, a todos aquellos datos cuya pérdida puede afectar el buen funcionamiento de la organización.

En [13] se indica que la existencia de CERT®(Computer Emergency Response Team) a nivel mundial y de SEM (Survivable Enterprise Management) cuyo objetivo es ayudar a las organizaciones a garantizar que sus actividades de seguridad de la información estén alineadas con sus objetivos y metas organizacionales, tal es el caso de la UNAM-CERT (Equipo de Respuesta a Incidentes de Seguridad en Cómputo) está localizado en la Coordinación de Seguridad de la Información (CSI) de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación, de la UNAM. El UNAM-CERT(www.cert.org.mx/) se encarga de proveer el servicio de respuesta a incidentes de seguridad en cómputo a recursos de TI que han sido víctimas de algún "ataque", así como de publicar información respecto a vulnerabilidades de seguridad, alertas de la misma índole y realizar investigaciones de la amplia área del cómputo y así ayudar a mejorar la seguridad de la información, este cuenta con un portal que contiene información que tiene como finalidad proporcionar de manera dinámica y sencilla las herramientas básicas para proteger sus sistemas de información, con la idea de fortalecer y extender los beneficios de la cultura informática en México. En España existe el CCN-CERT (www.ccn-cert.cni.es) el cual fue creado para dar la Capacidad de Respuesta a Incidentes de Seguridad de la Información del Centro Criptológico Nacional, CCN (www.ccn.cni.es) [14]

De acuerdo con todas ellas, es competencia del CCN-CERT la gestión de ciberincidentes que afecten a sistemas del Sector Público, a empresas y organizaciones de interés estratégico para el país y a cualquier sistema clasificado. Su misión, por tanto, es contribuir a la mejora de la ciberseguridad española, siendo el centro de alerta y respuesta nacional que coopere y ayude a responder de forma rápida y eficiente a los ciberataques y a afrontar de forma activa las ciberamenazas

[15] indican que, en los últimos años, se ha visto el desarrollo de una mayor cantidad de ransomware, con mecanismos cada vez más complejos, que hacen casi imposible la recuperación la información, ya que los intentos por obtener las claves de descifrado requieren de mucho tiempo y procesamiento, debido a que los algoritmos de cifrado tienen como base la resolución de problemas matemáticos complejos. Es evidente que la proliferación del ransomware va en aumento y es muy probable que continúe

creciendo. Los hechos y los datos hacen pensar que estamos ante una amenaza que estará presente en los siguientes años, entre los principales motivos, por las ganancias ilícitas que representa para sus creadores, así como la cantidad de dispositivos y usuarios que podrán verse afectados. Esta situación se presenta gracias a los esquemas ineficientes de seguridad con los que cuentan la mayoría de las empresas a nivel mundial.

METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó el método de investigación descriptiva aplicándolo sin ninguna manipulación o modificación de los hechos y de la información investigada, basándose únicamente en la descripción de su ocurrencia, incluyendo la investigación documental. Como un estudio descriptivo se obtuvo información acerca del fenómeno objeto del estudio, describiendo la situación e identificando sus diferentes elementos para elaborar la evaluación de riesgos de seguridad informática.

El método OCTAVE se implementó en tres fases. En la fase 1, el equipo de análisis identifica los activos importantes relacionados con la información y la estrategia de protección actual para esos activos. Luego, el equipo determina cuáles de los activos identificados son los más críticos para el éxito de la organización, documenta sus requisitos de seguridad e identifica las amenazas que pueden interferir con el cumplimiento de esos requisitos. Para la fase 2, el equipo de análisis realiza una evaluación de la infraestructura de información para complementar el análisis de amenazas realizado en la fase 1 y para informar las decisiones de mitigación en la fase 3. Finalmente, en la fase 3, el equipo de análisis realiza actividades de identificación de riesgos y desarrolla plan de mitigación de riesgos para los activos críticos. Este esquema de trabajo debe ser repetitivo pues los sistemas de información rara vez son inmutables; más bien se encuentran sometidos a evolución continua tanto propia (nuevos activos) como del entorno (nuevas amenazas), lo que exige una revisión periódica en la que se aprende de la experiencia y se adapta al nuevo contexto.

IMPLEMENTACION

Así considerando la metodología OCTAVE, se inicia con la fase de Visión de la organización, en la cual se incluyó también un análisis de la utilización de la red.

Fase Visión de la Organización: Análisis de la situación actual. Se realiza primera mente la identificación de las áreas en la organización. esta información se obtuvo de dos simples preguntas que se realizaron a cada uno de los jefes por departamento, que son: ¿Cuál es su área? ¿Qué función tiene dentro de la empresa?, ¿Utilizan equipo de cómputo? Y dentro de las respuestas que se obtuvieron fueron las siguientes:

El área de Compras tiene dos computadoras con acceso a internet, con un multifuncional Konika que les apoya para realizar las siguientes actividades:

Cumplir los requerimientos de las demás áreas, para la adquisición de material de línea y de fabricación en tiempo y forma.

No hay restricciones sobre la cantidad de sesiones que un usuario puede iniciar.

No se han implementado a nivel de las políticas de seguridad el uso de contraseñas fuertes y el cambio obligatorio de estas en forma periódica.

No existe dentro de la administración de usuarios, directivas o políticas que deshabilite a los usuarios que por diversas razones se ausenten de sus puestos de trabajo en periodos temporales

Tabla 2. Suplantación de Identidad

SUPLANTACIÓN DE LA IDENTIDAD DEL USUARIO	
Tipos de activos: Aplicaciones (software)	Dimensiones: Confidencialidad Autenticidad del servicio Autenticidad de los datos Integridad
Descripción: Cuando un atacante consigue hacerse pasar por un usuario autorizado, disfruta de los privilegios de este para sus fines propios.	

Dentro del diagnóstico realizado, se observó que una de las principales problemáticas era el mal uso del correo electrónico, ya que este era utilizado de forma personal y no laboral por el cual se les había asignado, esto generó que ingresara a la red un virus ransomware el cual, encripta la información cambiando el nombre de los archivos agregando la extensión .odin o .zepto, esto causó pérdida de información a la empresa, debido a que este virus ingresó a través de dos equipos, uno perteneciente al área de ventas y el otro al área de compras, permitiendo que se propagara en los demás equipos generando un total de seis máquinas infectadas, las cuales tuvieron que ser formateadas, en el caso de la mayoría de los equipos afectados, no hubo pérdidas completas de la información, ya que se contaba con la existencia de los respaldos las cuales tenían un atraso de ocho días de actualización, debido a la programación con la cual fueron creados. Esto de forma general era parte de lo que generaba el tráfico de información, ocasionando que la bandeja de entrada de los correos, no se actualizarán de forma rápida, por el consumo excesivo de banda ancha que tenían.

Una vulnerabilidad es un punto débil en la seguridad de un sistema informático, a través de ésta se pueden presentar amenazas que pongan en peligro la confidencialidad e integridad de la información, por lo que al realizar el estudio en la red se encontraron las siguientes:

Humanas, donde se abren correos electrónicos de contactos desconocidos, realizan uso de memorias USB sin protección, en equipos internos y externos de la empresa, utilización de correo electrónico empresarial, como correo electrónico personal, falta de contraseñas de alta seguridad en los equipos, conexión de equipos personales a la red de la empresa (PC's, tabletas y celulares), ingresan a sitios y redes sociales, desde sus equipos de trabajo, falta de políticas y reglas de acceso.

Con respecto al Software: licencia de antivirus próximas a vencerse, uso de activadores para algunas paqueterías por

parte de los usuarios, desactivación de las actualizaciones de Windows, compartimiento entre los usuarios de licencias de ASPEL, carpetas compartidas con archivos personales (música, imágenes, etc.)

En la Fase 3. Planeación y como parte de una solución integral que se adapte a las necesidades del estudio de vulnerabilidad y de la organización, se realizó un plan estratégico en donde se recomendaron actividades por cada una de las vulnerabilidades identificadas, siendo implementadas de la siguiente forma:

En el caso de la Red, se propuso realizar la segmentación de la misma, se indicó que hay dos motivos fundamentales para dividir una red en segmentos. El primer motivo es aislar el tráfico entre fragmentos, obteniendo así un ancho de banda mayor por usuario. Si la red no se divide en segmentos, se congestionarían rápidamente con tráfico y saturación y virtualmente no ofrecerían ningún ancho de banda, quedando como se puede ver en la fig.2.

TOTAL DE IP	ID	DESCRIPCION
29	Global	Asignadas a equipos de uso global (Servidores, Gateways, etc)
121	CG	Asignadas a equipos de Controles Gráficos
	CG-HCP	Asignado a equipos inalámbricos de controles gráficos
99	IC-EQ	Asignado a equipos propios de Imaging Center (Servidores Gateways, etc)
	IC	Asignado a equipos de Imaging Center
	IC-DHCP	Asignado a equipos inalámbricos de Imaging Center
5	Reservadas	Reservadas para elementos de administración de la red (Puertas de enlace, etc.)

Fig. 2. Segmentación de la red.

Con respecto a cada una de las vulnerabilidades detectadas se indicó la problemática y la solución para cada una de ellas mostrándose como la tabla 3.

Tabla.3. Soluciones vulnerabilidades humanas

PROBLEMÁTICA	SOLUCIÓN
HUMANAS	
Abren correos electrónicos de contactos desconocidos	Realizar recomendaciones, en caso de recibir correos de destinatarios desconocidos, que no los abran e incluso que los bloqueen.
Uso de memorias USB sin protección, en equipos internos y externos de la empresa	Vacunar las memorias, mediante los antivirus, antes de utilizar las en los equipos de la empresa.
Uso de correo electrónico empresarial, como correo electrónico personal	Bloquear las páginas de redes sociales, multimedia, a través del host en cada equipo.
Falta de contraseñas de alta seguridad en los equipos.	Modificar las contraseñas, y recomendar que las cambien de forma periódica.
Conexión de equipos personales a la red de la empresa (PC's, tabletas y celulares)	Restringir las conexiones al límite del total de máquinas que requiera utilizar la empresa.
Ingresan a sitios y redes sociales, desde sus equipos de trabajo	Bloquear sitios web específicos.
Falta de reglas	Generar políticas de seguridad internas.

Se estableció un nivel de vulnerabilidades humanas, de comunicación, de software, sistemas de información y aplicaciones, a nivel físico y de hardware.

En relación con las políticas de seguridad interna y externa generadas, y de acuerdo con las necesidades y problemáticas que se encontraron dentro de la empresa, se elaboró un

reglamento para el uso de equipos, software y actualizaciones del mismo.

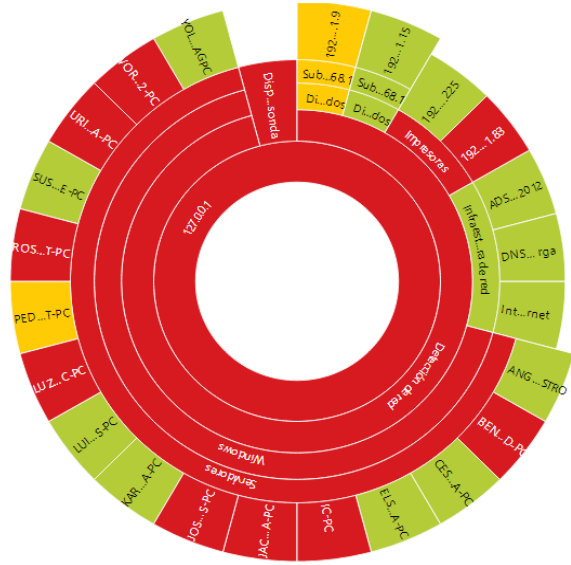


Fig. 3 Escaneo de la red (Primer Implementación)

Finalmente se muestra en la figura 3, los resultados obtenidos al utilizar el software PRTG como quedo trabajando la red, donde cada que se implementaban las soluciones se realizaba un análisis general, ya que los primeros análisis se realizaban una vez al mes y al implementar medidas de seguridad se analizaba la red cada semana para corroborar que la soluciones aplicadas realmente estuvieran siendo eficientes en el tráfico de la red, permitiendo que los empleados no tuvieran conflicto con sus correos o en el uso del internet para desempeñar sus funciones y que este no fuera una variante que les impidiera cumplir las metas del mes o afectara las planeaciones de cada jefe de área, como sucedía anteriormente.

En la figura 4 se muestra como con la continuidad de la aplicación de las estrategias disminuye el color rojo y se continua con color verde(13), quedando uno de color amarillo ya que en ese momento no estaba encendido el equipo por estar en espera de un mantenimiento correctivo, por lo que se puede visualizar que con la aplicación de políticas y del establecimiento e identificación de ip y segmentando la red, se fue disminuyendo las áreas que tenían conflictos de comunicación, ya que en cada área de la figura son el software utilizado se identifica la ip y el usuario con el equipo correspondiente que tenia asignado cada área.

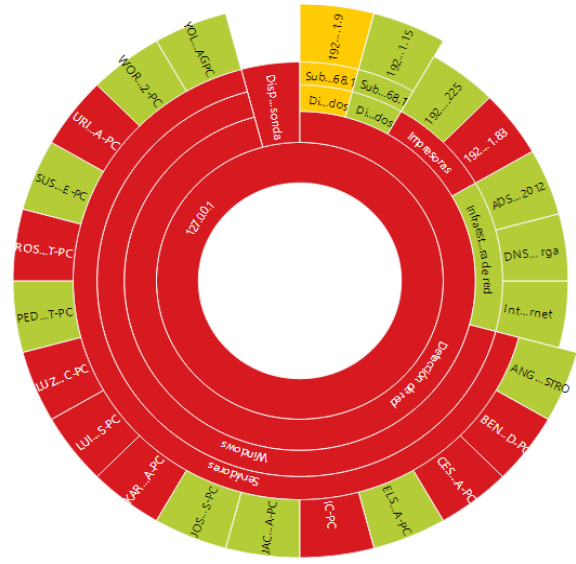


Fig.4. Segunda Secuencia de análisis.

III. RESULTADOS

La implementación de esta metodología se aplicó en una empresa de servicios, logrando mejorar la efectividad del negocio, en el seguimiento de la aplicación de la metodología se obtuvo una mejora en la seguridad, que incluso ha servido para las auditorías que se le realizan a la misma. Con respecto al servicio este se ha mejorado ya que se implementó la seguridad en contraseñas, se establecieron políticas de acceso, de utilización de dispositivos, además de configurar el correo y de instalar antivirus para el manejo de transacciones en línea. Con lo respecto al uso de redes sociales se definió a los usuarios que lo utilizarían y se implementó el validar el correo de los mismos para mejorar la seguridad, se realizan ya respaldos de información de manera continua de los equipos esenciales además de que se siguió el uso de software libre para el uso de la ofimática y así disminuir el riesgo y los costos de licenciamiento.

El aplicar las medidas de seguridad requiere una organización gestionada e informada con la participación del personal que interactúa con el sistema de información, estableciendo el responsable de la operación diaria, registrando las incidencias y la monitorización en general del sistema.

El análisis de riesgos proporciona un modelo en términos de activos, amenazas y salvaguardas para controlar las actividades y las acciones que se acometen en materia de seguridad para satisfacer las necesidades detectadas por el diagnóstico, considerando los siguientes elementos:

1. Activos, que son los elementos del sistema de información (o estrechamente relacionados con este) que soportan la misión de la Organización
2. Amenazas, que son cosas que les pueden pasar a los activos causando un perjuicio a la Organización

3. Salvaguardas (o contra medidas), que son medidas de protección desplegadas para que aquellas amenazas no causen daño.

Una vez que se aplicaron las soluciones y con la finalidad de conservar el estado de la seguridad en la empresa se enumeró una serie de recomendaciones como las que se indican a continuación:

1. Dialogar con el personal, haciéndoles saber cuáles serían las consecuencias por hacer uso indebido de su correo electrónico, además las pérdidas que le generarían a la empresa.
2. Deberán aplicar y apearse a los lineamientos establecidos en las políticas de seguridad informática internas.
3. Adquirir las licencias de software que requiera la empresa para realizar sus procesos o migrar sus paqueterías a software libre.
4. Realizar periódicamente la revisión de sus antivirus y firewall, así como los estados en que se encuentren sus equipos de cómputo y realizarles mantenimiento preventivo o correctivo si lo requieren.
5. Mantener bloqueadas las páginas desde el host, en caso de que el personal no se apege a las políticas internas de la empresa que se generaron.
6. Realizar un análisis de su instalación eléctrica y reorganizarla de acuerdo con la ubicación que tengan los equipos.
7. Modificar las contraseñas de forma periódica por seguridad de la información.

IV. CONCLUSIONES

Si bien con el manejo diario de recursos de la red lo normal es que aparezcan nuevos y diferentes tipos de incidentes problemas, aún se registraran fallas de seguridad de fácil resolución técnica las cuales ocurren en muchos casos por falta de conocimientos por parte de los usuarios o fallas técnicas por la operación diaria. En consecuencia, se requieren realizar acciones de concientización, con el fin de informar capacitar y brindar el conocimiento básico en el uso habitual de la red, esperando que sigan las recomendaciones ofrecidas.

Es necesario mantener un estado de alerta y actualización permanente a nivel software llámese antivirus, licencias, respaldos o en su caso el buen uso e instalación de software libre, vigilando el uso adecuado de estos.

La seguridad de los datos tiene que formar parte esencial de las organizaciones por lo tanto es bueno invertir en ella.

Debido a las constantes amenazas en que se encuentran las redes informáticas, es necesario que los usuarios y las empresas centren su atención en el grado de vulnerabilidad y en las herramientas de seguridad con las que cuentan para hacerle frente a posibles ataques informáticos que luego se pueden traducir en grandes pérdidas que en este caso fue una pérdida de información valiosa para la empresa.

Se pudo ver que actualmente con el uso de las Tecnologías de Información y Comunicaciones la evaluación de riesgos en los Sistemas de Información debe ser una actividad estratégica, sobre todo cuando la seguridad de estos en una organización que tiene como objetivo mantener la confidencialidad de sus clientes no debe permitir que sea hackeada, por lo que debe realizarse un análisis continuo para detectar las vulnerabilidades.

V. AUTORES

Hilda Díaz Rincón: docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, estudio la Maestría en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías, imparte actualmente cátedra en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información, integrante cuerpo académico "Ciencia, Tecnología y Sociedad"

José Antonio Navarrete Prieto: docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, realizó sus estudios de Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, actualmente es docente en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones.

Ilina Gabriela Laguna López de Nava, docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Ivonne Echevarría Chan, docente de tiempo parcial del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

Manuel Marban Cabrera: Estudiante de la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

REFERENCIAS

- [1] J. R. Jiménez Rojas, «La seguridad informática y el usuario final,» Revista Digital Universitaria, vol. 9, N° 4, 10 abril 2008.
- [2] DIRECCIÓN GENERAL DE CÓMPUTO UNAM, «La seguridad es responsabilidad de todos,» revista.seguridad.unam.mx, n° 30, 2017.
- [3] Security Artwork, «S2Grupo,» 02 abril 2012. [En línea]. Available: <https://www.securityartwork.es/2012/04/02/introduccion-al-analisis-de-riesgos-%e2%80%93-metodologias-ii>. [Último acceso: 02 octubre 2017].
- [4] B. R. Duque Ochoa, «coursehero,» [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/8047995/Metodolog%C3%83%C2%B2n-de-Riesgos/>. [Último acceso: 17 marzo 2017].
- [5] J.R. Bermeo Paucar, «Análisis de la auditoría en seguridad informática del departamento de tecnología de la UNEMI,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.securityartwork.es/2012/04/02/introduccion-al-analisis-de-riesgos-%e2%80%93-metodologias-ii>. [Último acceso: 02 enero 2017].

[6] J. M. Voutssas, «Preservación documental digital y seguridad informática,» Revista de Investigación bibliotecnológica, vol 24, n° 50, 2010 [En línea]. Available: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-358X2010000100008. [Último acceso: 02 enero 2018].

[7] Gobierno del Estado de Tabasco, «Gobierno del Estado de Tabasco,» [En línea]. Available: <http://dgtic.tabasco.gob.mx/sites/all/files/vol/dgtic.tabasco.gob.mx/fi/Manual%20de%20Seguridad%20Informatica%20Basica.pdf>. [Último acceso: 12 noviembre 2016].

[8] G. Escrivá, R. Romero, Y D. Ramada, «Seguridad Informática,» España: McMillan, 2011.

[9] J. Roa, «Seguridad Informática,» España: McGrawHill, 2013.

[10] R. Gómez, D. H. Pérez, Y. Donoso y A. Herrera, «Metodología y gobierno de la gestión de riesgos de tecnologías de la información,» Revista de Ingeniería, n° 31, pp. 109-118, 2010.

[11] Caralli. Richard, Stevens. James, Young. Lisa, and Wilson. William, "Introducing OCTAVE Allegro: Improving the Information Security Risk Assessment Process," Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania, Technical Report CMU/SEI-2007-TR-012, 2007. <http://resources.sei.cmu.edu/library/asset-view.cfm?AssetID=8419>. [Último acceso: 17 marzo 2017].

[12] A. Garcia Cervigón Hurtado y M. d. P. Alegre Ramos, Seguridad Informática, Madrid: Parainfo, 2011.

[13] UNAM, «Coordinación de Seguridad de la Información,» UNAM, [En línea]. Available: <https://www.cert.org.mx/content/acerca-de-la-csi>. [Último acceso: 03 enero 2018].

[14] MINISTERIO ESPAÑA, «Centro Criptológico Nacional,» CNN, [En línea]. Available: https://www.ccn.cni.es/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=3&la. [Último acceso: 03 enero 2018].

[15] R. Gómez, D. H. Pérez, Y. Donoso y A. Herrera, «Metodología y gobierno de la gestión de riesgos de tecnologías de la información,» Revista de Ingeniería, n° 31, pp. 109-118, 2010.

Planificación de Tareas en Sistemas Multicore a través de la Programación Paralela con OpenMP

Reyna García Belmont
*Depto. De Sistemas y
Computación*
*Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla*
Tlalnepantla de Baz, Edo. De
México
rgarciab@ittla.edu.mx

Ma. Del Consuelo Puentes Pérez
*Depto. De Sistemas y
Computación*
*Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla*
Tlalnepantla de Baz, Edo. De
México
cpunte@ittla.edu.mx

Luis Cabrera Hernández
*Depto. De Eléctrica y
Electrónica*
*Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla*
Tlalnepantla de Baz, Edo. De
México
lcabrerah@ittla.edu.mx

Gabriela Lotzin Rendón
*Depto. De Ciencias Económico
Administrativas*
*Instituto Tecnológico de Cd.
Victoria*
Ciudad Victoria, Tamaulipas
lotbrenvaz@outlook.com

Gabriel Torres Santiago
Depto. De Metal Mecánica
*Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla*
Tlalnepantla de Baz, Edo. De
México
gtorres@ittla.edu.mx

Abelardo Rivera Garibay
*Depto. De Sistemas y
Computación*
*Instituto Tecnológico de
Tlalnepantla*
Tlalnepantla de Baz, Edo. De
México
ariverag@ittla.edu.mx

Resumen—En la evolución de los microprocesadores, la velocidad era una de las principales características que contribuía en el rendimiento de las computadoras, en la actualidad Multi-Core es una transición de la tecnología mayor para los desarrolladores de aplicaciones, sin embargo, el hecho de que existan varios procesadores en un solo chip no garantiza el máximo provecho de los mismos. Para la mayoría de los usuarios, la cantidad de núcleos de su computadora sólo significa que funciona más rápido, sin embargo, el desarrollo de aplicaciones se puede optimizar a través de un modelo programación paralela como OpenMP (Open Multi-Processing) y aprovechar las prestaciones de una computadora con la finalidad de acelerar el ritmo de ejecución de las instrucciones y obtener respuestas en menor tiempo. Resolver un problema mediante el uso de procesamiento paralelo no es sencillo, pero si queremos que una aplicación llegue a ser escalable se debe de sacar provecho a los múltiples nodos de procesamiento.

Palabras clave: Arquitecturas Paralelas, MinGW, Multi-Core, OpenMP.

I. INTRODUCCIÓN

Hace algunos años, las computadoras se diferenciaban por la velocidad de CPU (Central Processing Unit), la cantidad de memoria instalada, la capacidad de disco duro, entre otros aspectos; pero a lo largo del tiempo esto ha ido evolucionando y los métodos de construcción de los equipos se han ido abaratando permitiendo al usuario final adquirir tecnología de CPU Multi-Core de tal manera que en la actualidad es habitual tener un equipo con procesador multinúcleo.

La tendencia es que cada vez haya más núcleos en los procesadores, no sólo por rendimiento sino por ventajas en cuanto a ahorro de energía, temperatura y las limitaciones existentes en cuanto a aumentar la velocidad de frecuencia de

reloj [1]. Sin embargo, en la actualidad existen desarrollos o bien programas habituales que son de único proceso, y al ejecutarse las tareas especificadas no se dividen para ejecutarse en más procesadores, sólo se ejecutan en uno mientras que los demás quedan en reposo a la espera de otras órdenes para ejecutar, es aquí donde el cómputo paralelo tiene un papel central en el desarrollo de aplicaciones.

Para implementar este tipo de programación existen herramientas que facilitan el trabajo paralelo, como son POSIX (Portable Operating System Interface, y X hace referencia a UNIX) Threads, OpenMP y MPI (Message Passing Interface),

Para efectos de este trabajo se considera sólo OpenMP cuya finalidad es cubrir en primera instancia el aspecto académico al proporcionar los conocimientos acerca de las arquitecturas Multi-Core, analizando su funcionamiento a través de la programación paralela e iniciarse en el diseño de aplicaciones de la misma índole.

II. INFLUENCIA DE LA TECNOLOGÍA EN LA EVOLUCIÓN DE LAS COMPUTADORAS

El desarrollo de las computadoras está relacionado con el avance de la tecnología a través del tiempo, en la primera etapa la construcción de la CPU así como de la memoria estaba basada en válvulas de vacío por lo que la velocidad de funcionamiento era igual en ambos módulos y su conjunto de instrucciones era elemental y reducido [2].

En la segunda etapa aparecen los circuitos integrados de pequeña y mediana escala que se destinan a la construcción de la CPU, mientras que la memoria principal era de núcleos de

ferrita permitiendo diseño de computadoras más pequeñas, rápidas y eficientes.

En la tercera etapa continuó la evolución de los circuitos integrados y el uso de chips de silicón en la fabricación de memorias rápidas, en especial la memoria caché (memorias de poca capacidad y alto precio) para reducir el número de accesos a la memoria principal para la obtención de datos de uso frecuente.

Durante la cuarta etapa se desarrollaron chips con mayor capacidad de almacenamiento y aparece la primera microcomputadora.

Posteriormente la evolución avanzó a pasos agigantados de tal forma que no se tiene bien definido cuando empieza la quinta y sexta etapa. Lo que caracterizó la quinta generación fue la aparición de las computadoras portátiles y grandes computadoras para trabajar procesos paralelos (Fig. 1).

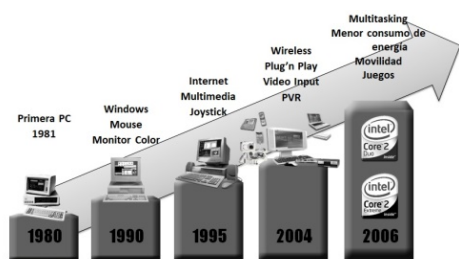


Fig. 1. Evolución de los Microprocesadores [3]

En la sexta etapa se empieza apreciar que el costo de los equipos es más accesible y empiezan a incluir arquitecturas paralelas lo que las hace más rápidas, con capacidad de almacenar cantidad enorme de información [4].

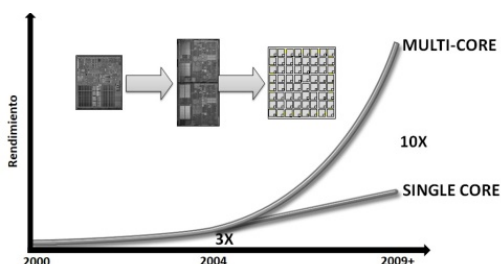


Fig. 2. Nivel de Rendimiento a través del Tiempo [3]

En la Fig. 2 se observa como la evolución de las arquitecturas se explota el paralelismo presentado como arquitectura Multi-Core, replicando elemento de proceso varias veces dentro de un mismo sistema buscando que sean estructuras escalables y permitiendo el nivel de paralelismo sin aumentar su complejidad, pero sí su rendimiento.

III. ARQUITECTURAS MULTICORE

Los avances tecnológicos siguen en curso y las arquitecturas Multi-Core, denominada chip-multiprocessor (CMP) se compone de n-núcleos en los que pueden correr hilos que pueden estar relacionados y compartir recursos [4].

Las arquitecturas de las computadoras han buscado mayor velocidad en el procesador, más memoria cache, más memoria

principal y realizar una comunicación más eficiente entre la memoria y el procesador, esto se había realizado a través del incremento de circuitos integrados y de ciclos de reloj en la ejecución de instrucciones, sin embargo la energía que se disipa con la velocidad de reloj y la densidad en los circuitos integrados han llegado a un límite, de aquí que surge el paralelismo a nivel instrucción a través de diversos núcleos en su arquitectura los cuales no han podido ser explotados de manera adecuada [5].

En la arquitectura Multi-Core se encuentra que el alambrado dentro del núcleo es más corto con la finalidad de que los accesos sean más eficientes, estas nuevas arquitecturas pesen que en su diseño proporciona más procesadores (núcleos), no incrementan la velocidad en cada uno de ellos.

Los procesos paralelos no son nuevos en la programación, pero realmente no han sido explotados y no se les ha dado la importancia que tienen y la arquitectura Multi-Core no ha sido explotada, de aquí la necesidad de conocer y utilizar estas arquitecturas con la finalidad de mejorar los procesos de cómputo [5].

El procesador Multi-Core esencialmente se diferencia por su latencia de comunicación ya que es típicamente menor y por el número de procesadores en la misma pastilla, estos procesadores ofrecen mayor escalabilidad y capacidad de usar recursos de hardware disponibles donde el software específicamente lo requiere, lo que puede reflejar mejoras en el tiempo de respuesta y rendimiento (Fig. 3).

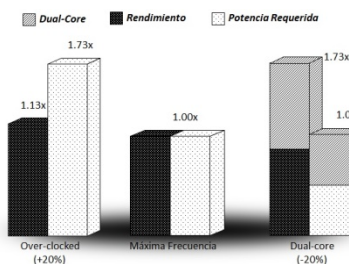


Fig. 3. Relación de desempeño en un escenario Multi-Core [6].

De acuerdo a lo mencionado en los avances tecnológicos en la fabricación de nuevos procesadores, las arquitecturas Multi-Core han mejorado el rendimiento en un factor de 1.73x con menos consumo de energía en comparación con un procesador de un solo núcleo en el cual se ha forzado la velocidad para trabajar.

IV. ARQUITECTURAS PARALELAS

Las arquitecturas paralelas hacen uso de varias unidades de procesos independientes para ejecutar distintas partes de una tarea de manera simultánea, a través de la división del trabajo de tal forma que se puedan ejecutar, sincronizando dichas tareas y evitando conflictos debido a dependencias entre ellas.

Como se ha mencionado el incremento de procesadores no mejora el rendimiento de manera general de hecho se ha llegado a empeorar la eficiencia de los sistemas, por lo que se recomienda realizar un balance entre los núcleos asignando tareas de igual tamaño o bien distribuidas lo mejor posible.

Michel J. Flynn en 1972, estableció una clasificación de paralelismo que hasta el día de hoy es utilizada y se basa en dos características:

- Número de instrucciones que se ejecutan en paralelo: Una instrucción o múltiples instrucciones.
- Número de fuentes de datos que se tratan en paralelo: Una entrada o múltiples entradas.

De acuerdo a estos elementos Flynn define cuatro tipos de arquitecturas [2]:

- Single Instruction Single Data (SISD). Este tipo de arquitectura utilizan un solo procesador y ejecutan una instrucción con un conjunto de datos simple de manera secuencial
- Single Instruction Multiple Data (SIMD). La arquitectura consiste en una serie de procesadores idénticos que trabajan de manera síncrona, los cuales poseen una memoria local compartida y ejecutan la misma instrucción sobre datos diferentes.
- Multiple Instruction Single Data (MISD). Este es un modelo teórico que efectúa diferentes operaciones para un conjunto de datos.
- Multiple Instruction Multiple Data (MIMD). Está conformada por n-procesadores que trabajan de manera asíncrona y por n-flujos de datos, este modelo es capaz de ejecutar un programa sobre diferentes datos, de manera simultánea.

V. TIPOS DE PARALELISMO

El hecho de que existan aplicaciones que demandan un alto rendimiento exige el uso de aplicaciones paralelas con la finalidad de tener una respuesta en tiempo razonable y procesar grandes volúmenes de información de manera efectiva. El proceso del paralelismo consiste en dividir los problemas grandes en varios pequeños y solucionarlos simultáneamente y así ejecutar más instrucciones en menos tiempo. Las técnicas en la que nos podemos basar es dividir por: funcionalidad o por rendimiento

A. Por Funcionalidad

Esta técnica consiste en asignar núcleos a funciones separadas hechas por la aplicación, esta forma mejora la capacidad de respuesta y funcionalidad logrado a través de un modelo de programación por descomposición funcional.

Los diferentes procesadores pueden ejecutar diferentes instrucciones en diferentes partes de los datos (MIMD) como se puede observar en la Fig.4.

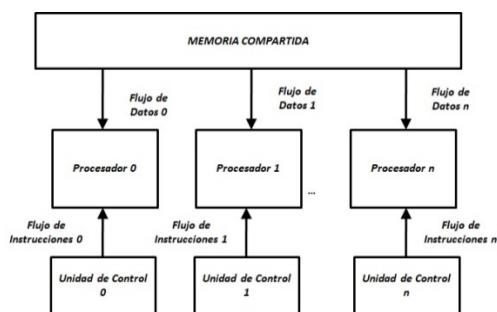


Fig. 4. Arquitectura MIMD

B. Por Rendimiento

Esta técnica es más complicada ya que se necesita tener profundo conocimiento de flujo de datos y estructuras de datos, mejora el desempeño de manera general y el modelo de programación se hace mediante una descomposición de datos.

A nivel de datos cada procesador realiza la misma tarea en diferentes partes de los datos (SIMD) como se muestra en la Fig. 5.

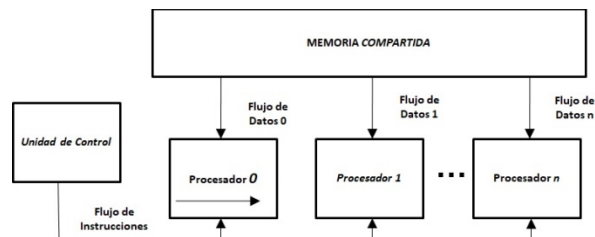


Fig. 5. Arquitectura SIMD

VI. LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN PARALELA

Muchos de los lenguajes de programación para memoria compartida o paso de mensaje son básicamente lenguajes secuenciales aumentados mediante un conjunto de llamadas de sistemas especiales, esas llamadas producen primitivas de bajo nivel para el paso de mensajes, sincronización de procesos y/o exclusión mutua. Dentro de las herramientas para el diseño de aplicaciones paralelas están: POSIX Threads, OpenMP, Message Passing Interface, OpenHMPP. Para efectos de este trabajo se describe OpenMP, debido a que es el modelo a utilizar [7].

OpenMP (Open Multi-Processing) es un estándar de multiprocesamiento simétrico de código abierto para el control de flujo de datos e instrucciones entre los diferentes núcleos, portable y compatible con diferentes versiones [8]. Este modelo de programación permite el diseño de aplicaciones para la programación multiproceso de memoria compartida en múltiples plataformas, soporta el paralelismo por datos y la paralelización incremental. Este estándar está definido para los lenguajes C, C++ y Fortran.

Las construcciones de OpenMP son directivas de compilación o programas que permiten implementar aspectos fundamentales de la programación paralela con la finalidad de introducir al programador a identificar las claves del rendimiento de un sistema en arquitecturas Multi-Core.

VII. MINGW

Minimalist GNU for Windows (MinGW) es un compilador que cuenta con un conjunto de herramientas GNU (mismas que se encuentran en GNU/Linux) pero compiladas para Windows, se utiliza en este trabajo para el uso de gcc que es un compilador de línea de órdenes que permite compilar y enlazar programas en C, generando el correspondiente archivo ejecutable.

VIII. DISEÑO DE APLICACIONES PARALELAS

Los desarrollos presentados en este trabajo consisten en ejemplificar los tipos de paralelismo expuestos en el punto V, ejecutados en un equipo Multi-Core.

A. Modelo de Paso de Mensajes

Esta aplicación consiste en representar el diseño del modelo cliente/servidor (Fig. 6), el cual es una forma de equilibrar un proceso de red hasta que se comparta la potencia de procesamiento entre computadoras que llevan a cabo servicios, permitiendo que las computadoras se ajusten a tareas especializadas para proporcionar un procesamiento efectivo de datos. El modelo es adaptado para representar el tipo de paralelismo por funcionalidad.

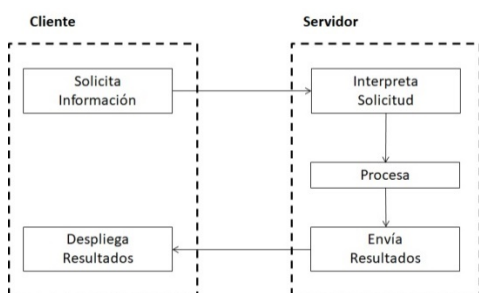


Fig. 6. Modelo Cliente-Servidor

El esquema de funcionamiento del modelo Cliente/Servidor consiste en los pasos descritos en la Fig. 6, donde:

1. El cliente solicita información al servidor.
2. El servidor recibe petición.
3. El servidor procesa la petición
4. El servidor envía respuesta a la petición y
5. Finalmente, el cliente recibe el resultado

Este trabajo expone acerca del modelo en una escala local para la mejor comprensión del uso del paralelismo, siguiendo un proceso de comunicación especificado en la Fig. 7.



Fig. 7. Proceso del Servidor

El proceso de servicio empieza con la creación de un socket el cual es un mecanismo de comunicación bidireccional de procesos, identifica el camino entre origen y destino para mantener comunicación a través de la conexión.

Para la definición del socket se utilizan las sentencias especificadas en la Fig. 8. Lo que se define realmente es la estructura que se utiliza para almacenar la información referente a la familia de la dirección, dirección IP y puerto del socket.

```

//Creación de socket
if((s = socket(AF_INET, SOCK_DGRAM, 0)) == INVALID_SOCKET)
{
    printf("No se puede crear socket : %d", WSAGetLastError());
}
printf("Creacion de Socket\n");
//Preparación de estructuras
server.sin_family = AF_INET;
server.sin_addr.s_addr = INADDR_ANY;
server.sin_port = htons( PORT );
    
```

Fig. 8. Creación de Socket

Realizada la definición del socket se procede al diseño del enlace (Fig. 9). La finalidad esencial del enlace es asociar el puerto local del equipo y el socket.

```

//Enlace
if( bind(s, (struct sockaddr*)&server, sizeof(server)) == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Error de Enlace Codigo de Error : %d", WSAGetLastError());
    exit(EXIT_FAILURE);
}
puts("Enlace Realizado");
    
```

Fig. 9. Enlace de Comunicación

Una vez establecido el enlace se ejecuta la recepción de datos (Fig. 10). Esto consiste en conectarse a la dirección del puerto definido en la estructura del socket.

```

//Recepción de Datos
if ((recv_len = recvfrom(s, dato2, BUFLen, 0, (struct sockaddr *) &si_other, &rlen)) == SOCKET_ERROR)
{
    printf("Recepción de Datos Fallida Codigo: %d", WSAGetLastError());
    exit(EXIT_FAILURE);
}
    
```

Fig. 10. Recepción de Datos

El servidor procesa los datos recibidos, donde un núcleo responde de acuerdo a la petición realizada con los datos enviados, es en este punto donde se utilizan las directivas de OpenMP para la paralelización, asignando a cada núcleo una función en especial (Fig. 11).

```

//Proceso de datos
#pragma omp parallel shared (d1,d2) num_threads(4)
{
    switch(omp_get_thread_num())
    {
        case 0:
            c[omp_get_thread_num()] = d1+d2;
            break;
        case 1:
            c[omp_get_thread_num()] = d1-d2;
            break;
    }
}
    
```

Fig. 11. Proceso de Datos

Una vez procesados los datos se sincronizan los núcleos a través del uso de `barriers` y se envía respuesta al cliente (Fig. 12).

```
#pragma omp parallel for
for (i=0;i<4;i++){
    printf("c[%d] = %d hilo %d\n",i,c[i],omp_get_thread_num());
    itoa(c[n],resultado,10);

    if (sendto(s,resultado,10,0, (struct sockaddr*)&si_other, slen) == SOCKET_ERROR)
    {
        printf("Fallo en el Envio Código: %d", WSAGetLastError());
        exit(EXIT_FAILURE);
    }
}
```

Fig. 12. Envío de Resultado al Cliente

El proceso de comunicación por parte del cliente se lleva a cabo de la misma forma descrita, solo intercambiando el orden de envío y recepción de datos.

Finalizado el proceso de codificación se realiza la compilación con los parámetros especificados en la Fig. 13. Es importante señalar que la opción `-lws2_32` se debe utilizar para compilar aplicaciones que usan `socket`.

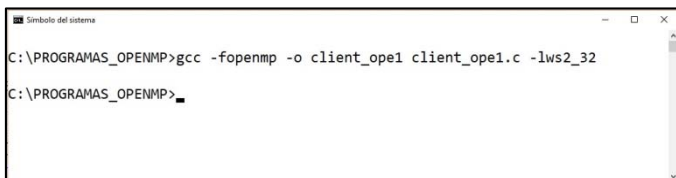


Fig. 13. Compilación de la aplicación

En la ejecución de la aplicación se observa la comunicación y vinculación de los programas manipulando los núcleos del equipo (Fig. 14 y Fig. 15).

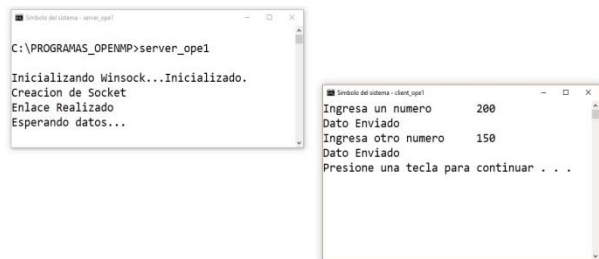


Fig. 14. Proceso de comunicación Cliente-Servidor

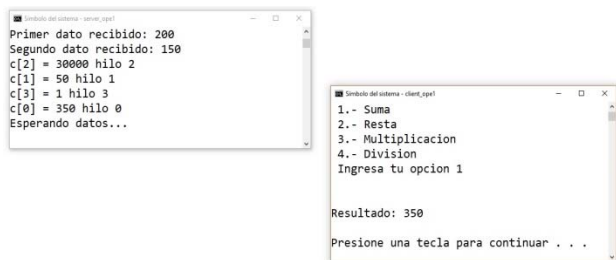


Fig. 15. Petición y atención del servicio solicitado

Como se puede observar en la Fig. 15 cada núcleo realiza una función distinta regresando sólo el resultado del servicio

solicitado por el cliente, con este proceso se ejemplifica la paralelización por funcionalidad.

B. Modelo de Tareas

Otro ejemplo que se puede observar es como paralelizar en base a rendimiento (Fig 16). Cada núcleo ejecuta la misma instrucción sin embargo cada unidad procesa datos distintos, operando todas las unidades de manera simultánea.

```
int main()
{
    int parte,suma=0;
    omp_set_num_threads(NHILOS);
    parte=DATOS/NHILOS;
    #pragma omp parallel
    {
        int i, Li,Lf, rank;
        rank=omp_get_thread_num();
        Li=(rank*parte)+1;
        Lf=(Li+parte-1);
        for(i=Li; i<=Lf; i++)
        {
            suma+=i;
        }
        printf("\nSubtotal: %d del hilo: %d \n",suma,omp_get_thread_num());
    }
    printf("\nValor de suma despues de paralelizacion: %d\n",suma);
}
```

Fig. 16. Código de proceso paralelo por rendimiento

La distribución equitativa del trabajo se realiza a través de la descomposición de un rango de datos en partes iguales, que a su vez son procesados, todos los núcleos realizan la misma función, pero con diferentes valores.

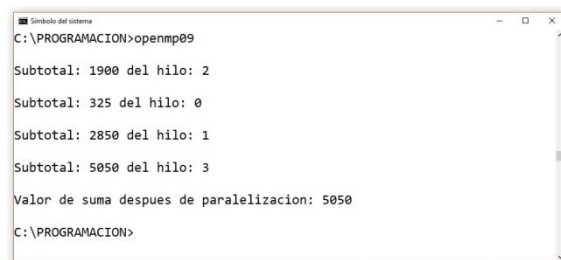


Fig. 17. Resultado del proceso paralelo por rendimiento

Aunque los diseños se ven básicos cabe señalar que son un buen ejemplo para entrar al mundo del cómputo paralelo en equipos pequeños y al alcance de todos.

Los ejemplos mostrados permiten ver de manera sencilla la programación paralela a través de OpenMP, cabe señalar que esta herramienta es un estándar muy versátil al alcance de todos y sobre todo que se puede trabajar tanto en ambiente Linux como Windows. La referencia sobre el uso de las directivas (pragmas) está disponible en la página oficial de OpenMP en <http://www.openmp.org>.

Lo que debe tener en cuenta que para diseñar programas paralelos y optimizar los sistemas Multi-Core, debemos entender el problema y el programa, identificar la carga de trabajo y cuellos de botella, determinar estrategias de descomposición del problema y realizar un balance de carga de trabajo equitativa, buscando en la paralelización manual oportunidad de optimizar recursos.

La paralelización que se ofrece en los equipos actuales cuentan con una forma automática, dónde en ocasiones la eficiencia paralela puede ser mala o bien estar limitada, en cambio con la paralelización manual se puede identificar

cuellos de botella y tratar de reducirlos, reordenar convenientemente un programa, paralelizar sólo segmentos clave, analizar la dependencia de datos o bien realizar comunicación y sincronización de procesos.

IX. CONCLUSIONES

Con el uso de equipos con arquitectura Multi-Core, algunos todavía tienen la creencia de que la paralelización de aplicaciones no es necesaria para maximizar el trabajo, debido a que el planificador del Sistema Operativo se encarga de distribuir el trabajo para optimizarlo. Efectivamente el que un computador cuente con dos núcleos o más, ofrece un mejor rendimiento que los convierte en una recomendación excelente para profesionistas que se mueven en entornos multihilo.

Sin embargo, el desarrollar aplicaciones paralelas no es sencillo, evaluar el rendimiento en paralelo es complejo, se requiere de algoritmos eficientes y el evaluar los resultados es complicado. Sin embargo, se ha dado la posibilidad de realizar programación en paralelo en sistemas de bajo costo y con herramientas accesibles de uso gratuito.

Es claro que la paralelización hoy en día es muy utilizada ya que a través de ella se permite la simulación de modelos complejos, diseño y automatización de proyectos de ingeniería, medicina, realidad virtual, comercio electrónico y procesamiento de imágenes. No es sencillo realizarlo debido a la dependencia de los datos trabajados en los sub-problemas, esto propicia el análisis de cómo deben estar relacionadas las variables ya que es un factor que impacta en el procesamiento paralelo.

Para resolver un problema de procesamiento paralelo, una opción es descomponer el problema en sub-problemas, los cuales se puedan procesar en paralelo, después los resultados obtenidos deben combinarse de una manera eficiente para determinar el resultado final de un problema.

La tendencia de los equipos actuales es que cada vez haya más núcleos en los procesadores ya no sólo por rendimiento sino por muchas otras ventajas mencionadas a los largo del trabajo, lo que implica que las aplicaciones que se desarrollan en la actualidad trabajen en entornos con múltiples núcleos, lo que hace realmente importante sacarle provecho a la programación en sistemas Multi-Core y aunque esto resulte complejo podemos empezar con practicar en nuestros equipos y con herramientas al alcance de todos.

Al realizar este trabajo se concluye que a pesar de que la tecnología nos da las herramientas para optimizar nuestros procesos, no es sencillo hacerlo ya que se necesita entender bien dichas herramientas y hacer a un lado la forma clásica de trabajar y avanzar de la mano con la tecnología.

REFERENCIAS

- [1] CampusMVP, «CampusMVP,» 22 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://www.campusmvp.es/recursos/post/Por-que-deberia-importarte-la-programacion-paralela.aspx>. [Último acceso: 17 Noviembre 2017].
- [2] J. M. Angulo Usategui, J. L. Gutierrez Temilño y I. Angulo Martínez, *Arquitectura de Microprocesadores "Los Pentium a Fondo"*, Primera ed., C. M. De la Fuente Rojo y C. Garcia Asensio, Edits., Magallanes, Madrid: Thomson, 2003, p. 435.
- [3] Intel, «El Reto del Paralelismo y Multicore,» Intel Lead Ahead, 2006. [En línea]. Available: academiamulticore.org/.../01%20-%20El%20reto%20de%20paralelismo%20y%20Mu... [Último acceso: 21 Noviembre 2017].
- [4] A. Suarez, «Arquitectura del Computador,» 14 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <http://arquitecturadelcomputadorsemestre6.blogspot.mx/p/evolucion-de-la-computadora.html>. [Último acceso: 2017 Noviembre 17].
- [5] E. Viso Gurovich, «El reto de las Arquitecturas Multinúcleo (Multicore),» *Miscelánea Matemática (Revista de Divulgación de la Sociedad Matemática Mexicana)*, n° 56, pp. 41-53, Enero 2013.
- [6] O. Micolini, *Arquitectura Asimétrica Multi-Core con Procesador Petri*, La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 2015, pp. 13-15.
- [7] OpenMP, «OpenMP,» Julio 2013. [En línea]. Available: <http://www.openmp.org/wp-content/uploads/OpenMP4.0.0.pdf>. [Último acceso: 8 Noviembre 2017].
- [8] A. P. Aslla, R. A. Montalvo y P. H. Rivera, «Revisitando la Programación en Paralelo,» *Revista de Investigación de Física*, vol. 14, n° 111401851, 2011.
- [9] I. R. Francesc Guim, *Arquitecturas Multihilo*, Catalunya: Universitat Oberta de Catalunya.

Análisis e incidencias del Cáncer Infantil en México con aplicación de Minería de Datos

1st Ruiz Pérez Julio
Cesar
UAEM
México
cesarrp35@gmail.com

2nd Rico Molina
Ricardo
UAEM
México

3rd Albarrán
Fernández Yaroslaf
Aarón
UAEM
México

4th Barajas Juárez Alexis
Uriel
UAEM
México
urieljuarez8@gmail.com

5th Rodríguez Paéz
Carmen Liliana
UAEM
México

6th Durán López
Víctor
UAEM
México

Resumen—En el presente trabajo se analizó una base de datos para identificar las incidencias y mortalidades de diferentes tipos de neuroblastomas en menores de 18 años. A través de técnicas de minería de datos. Se aplicó el algoritmo *Logistic Model Trees*, se caracteriza por la combinación de arboles de inducción y modelos de regresión logística, de igual forma el algoritmo *Random Forest* que utiliza arboles predictores para su clasificación. De acuerdo al comportamiento de estos algoritmos se obtuvo que el cáncer de ojo y digestivo son los más predominantes en personas de 0 a 18 años.

Palabras clave: Minería de datos, Cáncer infantil, incidencias, algoritmo, patrones.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente en México el 65% de casos detectados de cáncer infantil son en etapas avanzadas, con un índice de 5000 a 6000 nuevos casos donde se destaca la Leucemia con 52% del total, linfomas con 10% y tumores del sistema nervioso central con 10% además se estima un promedio de 2130 defunciones anuales a nivel nacional [1], [2]. En el resto del mundo hay un promedio de 8 millones de personas que mueren a causa de esta enfermedad. El cáncer es responsable de una de cada tres muertes prematuras por enfermedades no transmisibles. Las repercusiones sociales y económicas de este sobre las personas, sus familias y comunidades van a empeorar. Lo más alarmante es que el 70% de la carga recaerá sobre las regiones con menos recursos y mal equipadas para prestar la atención médica necesaria a los pacientes, desde los tratamientos básicos hasta los cuidados paliativos [3].

Esta neoplasia es la principal causa de muerte en todo el mundo según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en 2015 se registró un total de 8.8 millones de defunciones. [4]. En la población infantil es poco frecuente y solo representa entre el 0,5 % y 3 % de las neoplasias malignas en el mundo [5], la incidencia en menores de quince años oscila entre 100 y 180 casos nuevos por cada millón de personas, se ha reportado que el cáncer infantil constituye la segunda causa de muerte en la población con edades entre los dos y los diecinueve años. Se presentan cerca de 160 mil casos nuevos en todo el mundo y que aproximadamente el 56% de estos niños mueren a causa de la enfermedad [6]. En América Latina, la ocurrencia es de 128,5 casos por millón de individuos [7], [8], tan solo en el 2012 en México se reportaron 156,9 casos nuevos por millón de niños y adolescentes menores de dieciocho años de cáncer infantil [9], con un crecimiento de 10 mil a 12 mil nuevos casos por año, dentro de los que destacan: Leucemia,

Linfomas, Neuroblastomas y Nefroblastomas, el Instituto Mexicano de Seguro Social (IMSS), atiende anualmente 2500 casos de cáncer infantil con una tasa de bajas de 22%. [10], [11].

Estudios recientes de secuenciación completa del genoma humano han permitido obtener una visión global del conjunto de mutaciones que existen en los distintos tumores. Así, se ha podido determinar que los tumores sólidos más frecuentes en la infancia y la leucemia presenta una media de nueve mutaciones que dañan genes que pueden favorecer el desarrollo del cáncer. Asimismo, la investigación de las alteraciones cromosómicas ha permitido el desarrollo de nuevos sistemas de análisis más sofisticados, basados en nuevas tecnologías (TICS) cuyo avance ha aportado en satisfacer las necesidades operativas y de gestión actuales de centros de salud [12].

Esto lleva a pensar a las áreas de la salud una tarea importante para saber cuál de estos sistemas tecnológicos se deben adoptar a su integración para mejores resultados, la incorporación de las TICS a los sistemas de salud se han considerado como un motor de cambio para mejorar la calidad de vida de los seres humanos, esto favorece para seguir desarrollando herramientas dirigidas en áreas como la planificación, la información, la investigación, la gestión, la prevención y al tratamiento [13], [14]. Con ello las TICS sirven como un facilitador para la transformación del sistema de salud.

Su incorporación ha permitido disponer de grandes bases de datos con información clínica y así poder realizar tratamientos avanzados de los mismos, como cálculos estadísticos y análisis comparativos de series [15], como es el caso específico de la Minería de Datos (MD) [16].

La MD es una disciplina de gran importancia estratégica para la planeación y la toma de decisiones ya que identifica modelos ocultos que son fundamentales [17], esta se apoya con métodos matemáticos de análisis, como la estadística, la computación, la inteligencia artificial y las redes neuronales artificiales, siendo esta última la que hace que sea más fácil el análisis de grandes volúmenes de datos [18], [19]. A través de la aplicación de algoritmos automatizados.

La MD forma parte del procedimiento nombrado descubrimiento de conocimiento en base de datos “Knowledge Discovery in Databases” (KDD) “Fig. 1.”, el cual es un proceso de identificación de patrones válidos y útiles sobre un conglomerado de datos teniendo en cuenta un objetivo específico y claro, encontrar conocimiento relevante y útil [20].

Fig. 1. Diagrama de las fases de proceso del KDD. (Elaboración propia, 2017).



II. MATERIALES Y METODOS

Los datos recopilados para ser tratados fueron obtenidos por el Centro Nacional para la Salud de la Infancia y la Adolescencia (CeNSIA) [21], el cual cuenta con la Coordinación Administrativa a nivel de subdirección de área, cinco subdirecciones y nueve departamentos para el logro de sus funciones y objetivos, siendo una organización transparente y de acceso público a la información, como es este caso el cual es parte de la evaluación de impacto realizada por la Dirección de Prevención y Tratamiento del Cáncer en la Infancia y la Adolescencia.

III. SELECCIÓN DE DATOS

La muestra de estudio se conformó por 570 pacientes pediátricos con diagnósticos de cáncer, con un rango de cero a dieciocho años para un periodo de catorce años (2000-2014), tomando en cuenta las siguientes variables: tipo de cáncer, año de registro, sexo, edad, defunciones y total de defunciones, considerando el rango de edad como lo mencionan [22] [23] y el sexo [24].

IV. PRE PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta etapa se realiza una limpieza de los datos [25], para obtener patrones de calidad con los que se trabajaran, se eliminaron valores nulos e inconsistentes. Los datos obtenidos de la fuente obtenida, se limpiaron y analizaron para eliminar inconsistencias en los datos. Las variables más relevantes utilizadas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los atributos asociados a los tipos de cáncer. (Elaboración propia, 2017).

ATRIBUTO	DEFINICIÓN
AR	Año de registro
H	Hombre
M	Mujer
DMIA	Defunciones de menores de 1 año
DMIV	Defunciones de menores de 1 a 4 años
DMVIX	Defunciones de menores de 5 a 9 años
DMXXIV	Defunciones de 10 a 14 años
DMXXVII	Defunciones de 15 a 17 años
DTMXXVIII	Defunciones totales menores de 18 años
TNM	Tipo de Neoplasia Maligna
LE	Leucemias
LI	Linfomas
SENECE	Sistema Nervioso Central
NEU	Neuroblastoma
OJO	Ojo
REN	Renales
HEP	Hepáticos
OS	Óseos
TECOTEBLA	Tejido conectivo y tejidos blandos
GON	Gonadales
MAORGEFE	Mama y otros órganos genitales femeninos
ORGEMA	Otros órganos genitales masculinos
GLEND	Glándulas endocrinas
PI	Piel
DIG	Digestivos
OTORGURI	Otros órganos urinarios
RESINT	Respiratorios e intratorácicos
BOFA	Boca y faringe
OTTUES	Otros tumores no especificados

V. ANÁLISIS DE DATOS

Al encontrar los patrones significativos estos llevan a la etapa de minería de datos donde los procesos son clustering, clasificación, patrones secuenciales, asociaciones, regresión, clasificación, agrupamiento etc. [26].

VI. MINERÍA DE DATOS

La fase de minería de datos es una parte muy importante del proceso KDD, dando como resultados una a o varias representaciones dependiendo del modelo utilizado, este es un proceso iterativo ya que para resultados eficientes es necesario aplicar repetidas veces el método de minería de datos [27], [28].

VII. INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN

Después de realizar las fases anteriores se trabaja con los datos, en este caso se utiliza WEKA es el acrónimo de Waikato Environment for Knowledge Analysis surge a partir de la colaboración de investigadores del Machine Learning Laboratory de la Universidad de Waikato en Nueva Zelanda, como software de código abierto para un uso público, estandarizado por los términos de la GNU GPL con un enfoque de aprendizaje automático y minería de datos, del cual se han realizado las pruebas pertinentes en donde cuatro algoritmos han arrojado los mejores resultados para el conjunto de datos que se están trabajando [29].

VIII. CLASIFICACIÓN

La grafica 1 muestra los pacientes que tienen un tipo de Neoplasia Maligna, se tienen 19 tipos con un resultado de 30 pacientes totales por cada una de estas siendo 15 hombres y 15 mujeres en cada tipo de enfermedad.

Grafica 1. Tipos de Neoplasia Maligna por pacientes (Elaboración propia, 2017).



A. Logistic Model Trees (LMT).

Este algoritmo combina árboles de inducción y modelos de regresión logística lo cual lo constituye con funciones de regresión en las hojas como los árboles de decisión ordinales, se compone por un numero N de nodos internos o no terminales y un número M de hojas o nodos terminales. Para

atributos numéricos el nodo se constituye por dos nodos complementarios en la cual dependiendo de cómo se ordena ya sea de manera ascendente o descendente este será evaluado por un umbral y para atributos nominales de M valores el nodo se conforma por otros dos nodos auxiliares donde los casos se determinan de manera descendente en cada una de las ramas dependiendo el valor correspondiente al atributo [30].

B. Bagging.

Acronimo de bootstrap aggregation, este es un meta-Algoritmo implementado para obtener combinaciones de los modelos de un conjunto, disminuye la varianza y el sobreajuste, mejora la estabilidad y precisión del clasificador, para cada clasificador base se entrena con un subconjunto del total de los datos de entrenamiento, lo más común es aplicarlo en métodos de árboles de decisión [31].

Se implementa de la siguiente manera, dado un conjunto entrenamiento A de tamaño N , bagging crea M nuevos conjuntos de entrenamiento A^i de tamaño N^i , tomando elementos aleatorios del conjunto A , en ocasiones elementos del conjunto original pueden repetirse en los nuevos conjuntos. Si $N^i = N$, entonces los valores de N muy grandes, espera que cada A^i tenga una fracción equivalente al 63.2% elementos únicos de A y el resto sea duplicado. A partir de estos M conjuntos nuevos se generan M nuevos modelos de aprendizaje y la respuesta varea ya que para un clasificador se realiza un promedio de votación de las M respuestas y para una regresión se realiza una media [32].

C. Random Forest.

Es una combinación de árboles predictores para clasificar un elemento desde un vector de entrada aleatorio probado independientemente por cada uno de los árboles del bosque donde se escoge el árbol más votado del bosque para una mejor clasificación. [33].

Su funcionamiento utiliza una técnica de aprendizaje automático, cuando el número de elementos del conjunto de entrenamiento B es de tamaño N , realiza un estudio de N casos aleatorios con una sustitución de los elementos del conjunto B que se convertirá en el conjunto de entrenamiento nuevo para desarrollar el árbol.

Si existen M variables de entrada, se asigna un número m para cada nodo, aquí m variables se seleccionan ala zar del conjunto M y el mejor resultado de m se utiliza para poder dividir el nodo, y por defecto el valor de m se mantiene constante en el desarrollo del bosque. Aquí no existe ningún tipo de poda [34].

D. J48

Versión mejorada del algoritmo ID3, trabaja con valores continuos incorpora una poda de árbol además trabaja por inducción el cual genera la estructura de reglas a partir de subconjuntos, el árbol se genera mediante particiones de los datos realizadas recursivamente, de todas las posibles pruebas en que puede dividir el conjunto de datos, opta por tomar la prueba con mayor ganancia [35].

IX. RESULTADOS

Los resultados obtenidos por cada algoritmo se describen a continuación, estos son los cuatro con mejores resultados para la base de datos, el mayor porcentaje de fiabilidad es el algoritmo Logistic Model Trees (LMT) con un valor de 68.24%. “fig. 2.” se visualizan los resultados del algoritmo LMT donde los casos con algún tipo de cáncer se encuentran con más relevancia en el sexo masculino con un 70.5% que en el sexo femenino, el cual el cáncer sobresaliente es el de ojo.

Fig. 2. Clasificación de pacientes con un tipo de cáncer en un rango de edad de 0 a 18 años. (Elaboración propia, 2017).

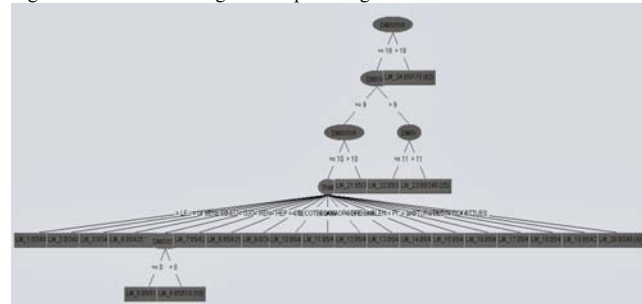
Correctly Classified Instances	389	68.2456 %
Incorrectly Classified Instances	181	31.7544 %
Kappa statistic	0.3649	
Mean absolute error	0.3534	
Root mean squared error	0.5021	
Relative absolute error	70.676 %	
Root relative squared error	100.4135 %	
Total Number of Instances	570	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,705	0,340	0,674	0,705	0,690	0,365	0,717	0,694	H
	0,660	0,295	0,691	0,660	0,675	0,365	0,717	0,700	M
Weighted Avg.	0,682	0,318	0,683	0,682	0,682	0,365	0,717	0,697	

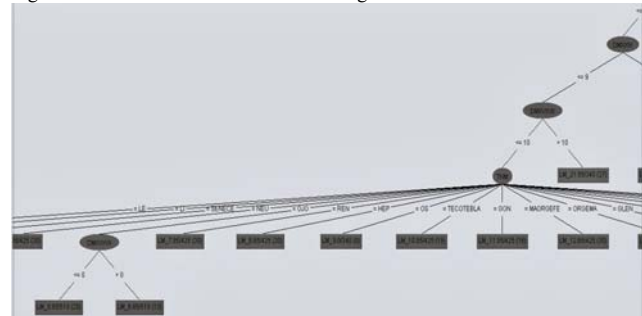
“Fig. 3.” se visualiza el árbol de decisión creado a partir del conjunto de datos por el algoritmo LMT.

Fig. 3. Árbol de decisión generado por el algoritmo LMT.



“Fig. 4.” se visualiza una relevancia en el Tipo de neoplasia maligna en Ojos se encuentran el mayor número de defunciones entre 15 y 17 años de edad de sexo masculino.

Fig. 4. Rama del árbol con el cáncer más significativo.



El Segundo mejor clasificador encontramos al algoritmo Bagging, en la “fig. 5” se observan los datos que arroja, en este se visualizan que tanto para sexo masculino y femenino

están con un 66.3% de casos correctamente clasificados, este al no ser un árbol se pueden ver por los resultados como la prevalencia de algún tipo de cáncer en el sexo masculino que en el sexo femenino.

Fig. 5. Clasificación de pacientes con algún tipo de Neoplasia Maligna con el algoritmo Baggin.

Correctly Classified Instances	378	66.3158 %
Incorrectly Classified Instances	192	33.6842 %
Kappa statistic	0.3263	
Mean absolute error	0.3822	
Root mean squared error	0.4504	
Relative absolute error	76.4352 %	
Root relative squared error	90.0852 %	
Total Number of Instances	570	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,663	0,337	0,663	0,663	0,663	0,326	0,748	0,770	H
	0,663	0,337	0,663	0,663	0,663	0,326	0,748	0,747	M
Weighted Avg.	0,663	0,337	0,663	0,663	0,663	0,326	0,748	0,759	

Como acreedor al tercer mejor clasificador se encuentra el algoritmo Random Forest, “fig. 6.” aquí se observa más casos en sexo masculino con algún tipo de neoplasia con un 67.4% que en casos de sexo femenino con 62.1%.

Fig. 6. Clasificación de pacientes con algún tipo de Neoplasia con el algoritmo Random Forest en un rango de edad de 0 a 18 años.

Correctly Classified Instances	369	64.7368 %
Incorrectly Classified Instances	201	35.2632 %
Kappa statistic	0.2947	
Mean absolute error	0.3785	
Root mean squared error	0.4706	
Relative absolute error	75.6918 %	
Root relative squared error	94.1231 %	
Total Number of Instances	570	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0,674	0,379	0,640	0,674	0,656	0,295	0,730	0,751	H
	0,621	0,326	0,656	0,621	0,638	0,295	0,730	0,722	M
Weighted Avg.	0,647	0,353	0,648	0,647	0,647	0,295	0,730	0,736	

Por último, se encuentra el algoritmo J48, “fig. 7.”, con un 63.5088% de instancias correctamente clasificadas, donde en la “fig. 6” se observa que hay un mayor número de casos con neoplasia en casos con sexo masculino adquiriendo un 62.8% a comparación del sexo femenino con 64.2%.

Fig. 7. Clasificación de pacientes con algún tipo de Neoplasia con el algoritmo RJ48 en un rango de edad de 0 a 18 años.

Correctly Classified Instances	362	63.5088 %
Incorrectly Classified Instances	208	36.4912 %
Kappa statistic	0.2702	
Mean absolute error	0.3749	
Root mean squared error	0.5303	
Relative absolute error	74.9781 %	
Root relative squared error	106.059 %	
Total Number of Instances	570	

=== Detailed Accuracy By Class ===

	TP Rate	FP Rate	Precision	Recall	F-Measure	MCC	ROC Area	PRC Area	Class
	0.628	0.358	0.637	0.628	0.633	0.270	0.686	0.661	H
	0.642	0.372	0.633	0.642	0.638	0.270	0.686	0.648	M
Weighted Avg.	0.635	0.365	0.635	0.635	0.635	0.270	0.686	0.655	

El árbol creado por el algoritmo se muestra en la “fig. 8”, donde las defunciones en el tipo de neoplasia maligna

neuroblastoma prevalecen en el sexo femenino y la hepatitis en el sexo masculino en menores de 18 años “fig. 9.”

Fig. 8. Árbol de decisión generado por el algoritmo RJ48.

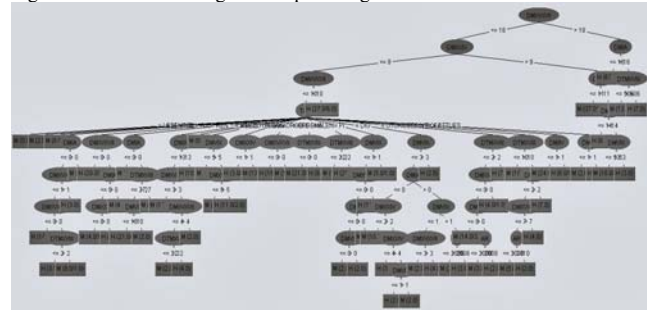
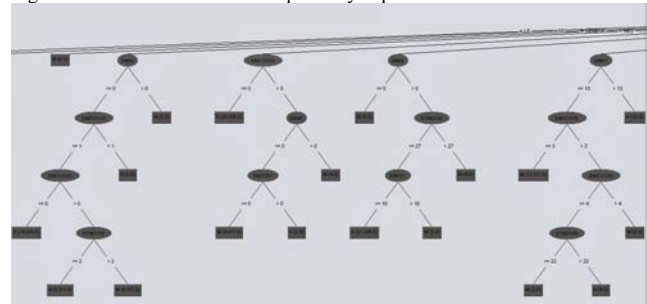
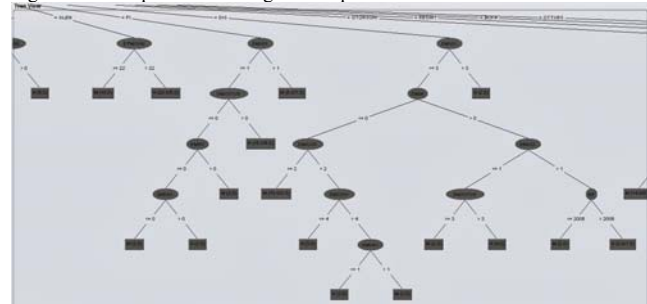


Fig. 9. Neuroblastoma extremo izquierdo y hepatitis extremo derecho.



En ambos sexos en un rango de 5 a 9 años el más representativo es la neoplasia maligna digestiva “fig. 10”.

Fig. 10. Rama tipo de cáncer digestivo equitativo en ambos sexos.



CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este trabajo indican que el cáncer en la niñez se representa en un grupo de 0-14 años; sin embargo, algunos registros también incluyen un grupo de 15-19 años. Con ello, se ha encontrado la frecuencia y los principales grupos de cáncer, de los que resalta la leucemia linfoblástica como uno de los tumores que más incide en niños de 0 – 15 años de edad, pero los más afectados son de rango de 1-5 años [36]. En México, el cáncer es la principal causa de mortalidad infantil en niños de entre 5 a 14 años según CeNSIA en el 2014, siendo la leucemia la causa de hospitalidad en jóvenes de 15 a 19 años datos obtenidos de INEGI en 2014 [37].

Se ha determinado que el cáncer es una enfermedad que comienza en el tejido nervioso de la glándula suprarrenal, el cuello, el tórax o la medula espinal. Es el más frecuente en los niños menores de un año y en los varones. Ocupa el segundo o tercer lugar de los tumores más frecuentes en la infancia. Finalmente, con este trabajo se observó que los tumores más frecuentes con dichos datos son la neoplasia maligna de ojos en un rango de 5 a 9 años y la neoplasia maligna digestiva en rango de 15 a 17 años.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo al Centro Universitario UAEM Nezahualcóyotl por el apoyo brindado a través del proyecto Análisis de sistemas estructuralmente complejos y transdisciplinarios con minería de datos y en especial al banco de datos del gobierno nacional “datos.gob.mx”, por poder en carácter público dicha base de datos.

REFERENCIAS

- [1]. Secretaría de salud. (2015, Agt 24). Cáncer Infantil en México. [Online]. Disponible: <https://www.gob.mx/salud/articulos/cancer-infantil-en-mexico>.
- [2]. Jaime Shalkow. “Cáncer infantil en México Situación Actual y Retos”. Programa Nacional de Cáncer Infantil. Washington DC, 2017, Feb.
- [3]. International Agency for Research on Cancer (IARC). (2017, Agt 17). The Problem Retrieved [Online]. Disponible: <http://gicr.iarc.fr/es/The-Problem>.
- [4]. Nota Descriptiva. Organización Mundial de la Salud (OMS). (Feb, 2017). Cáncer. [Online]. Disponible: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs297/es/>.
- [5]. Bravo L, Ramírez O, Álvarez MR, Ramírez N, Ardila J, Montenegro P. “Protocolo para el desarrollo de un sistema de vigilancia epidemiológico de cáncer infantil para las ciudades de Pasto, Neiva, Ibagué y Cali”, Vigicancer, 2013.
- [6]. Moreno F, Loria D, Abrieta G, Terracini, “B. Childhood cancer: Incidence and early deaths in Argentina”, E. J. 2000-2008, pp. 465-473, 2013.
- [7]. Camargo B, Oliveira M, Souto M, Souza R, Ferman S, Pompeaino C, “Cancer incidence among children and adolescents in Brazil: First report of 14 population-based cancer registries”, Int J. Cancer. vol. 126, pp. 715-720. 2009
- [8]. Rivera R, Shalkow J, Velasco L, Cardenas R, Zapata M, Olaya A, “Descriptive Epidemiology in Mexican children with cancer under an open national public health insurance program”, BMC Cancer. Vol. 14, pp. 790. 2014.
- [9]. Pedro Montes de Oca. (2017, Feb). Las Cifras sobre el Cáncer Infantil en México. [Online]. Disponible: <http://www.capitalmexico.com.mx/sociedad/las-cifras-sobre-cancer-infantil-en-mexico/>.
- [10]. Perla Miranda. (2017. Feb 15). IMSS pone en marcha plan para combatir el cáncer infantil. El Universal. [Online]. Disponible: <http://www.eluniversal.com.mx/articulo/nacion/sociedad/2017/02/15/imss-pone-en-marcha-plan-para-combatir-cancer-infantil>.
- [11]. José L. Ciani, Débora S. Guevara, Mauricio G. Magurno. (2010). TIC’s aplicadas a la gestión en centros de salud. [Online]. Disponible: <http://www.bioingenieria.edu.ar/grupos/geic/biblioteca/archivos/Trabypres/P10EPAr57.pdf>.
- [12]. Victoria Ramos González. (2007). Las TIC’s en el sector de la salud. [Online]. Disponible: <http://sukuun.com.mx/contenido/MAOS/Tareas/tarea1 TICSSectorSalud.pdf>.
- [13]. Carnicero J. y Rojas D. (2016). Sociedad Española de Informática de la Salud. La explotación de datos de salud: Retos, oportunidades y límites. Pamplona. [Online]. Disponible: <http://www.seis.es>.
- [14]. César Krall. (2006). Minería de datos (data mining). ¿Qué es? ¿Para qué sirve? [Online]. Disponible: http://www.aprenderaprogramar.com/index.php?option=com_content&view=article&id=252:mineria-de-datos-data-mining-ique-es-ipara-que-sirve-lo-partedv00105a&catid=45&Itemid=164.
- [15]. Óscar Palomo Miñambres. (2011. Sep, 28) Minería de Datos, Universidad Carlos III de Madrid, Leganés (Madrid-España). [Online]. Disponible: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/11-12/12mem.pdf>.
- [16]. Ian H. Witten & Eibe Frank, “Data Mining, Machine Learning tools and techniques”, CA, Second Edition, San Francisco, Editorial Morgan Kaufmann 2005
- [17]. M.V. Guzmán, H. Carrillo, E. Villaseñor, E. Valencia, R. Calero, L. E. Morán y A. Acosta. “Minería de Datos con Redes Neuronales Artificiales: Aplicación en Vacunas – Tuberculosis.”, Sin publicar.
- [18]. Usama Fayyad, Gregory Piatetsky-Shapiro, and Padhraic Smyth. Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. Providence, Rhode Island: American Association for Artificial Intelligence. (1997. Jul 27–31).
- [19]. Fani Rodríguez Flores, Leticia Flores Pulido, Emiliano Dávila de la Rosa. “Inteligencia de negocios y minería de datos aplicado a la industria refresquera”. Research in Computing Science 126, ISSN 1870-4069, pp. 65. (2016).
- [20]. Timarán-Pereira, S. R., Hernández-Arteaga, I., Caicedo-Zambrano, S. J., Hidalgo-Troya, A. y Alvarado Pérez, J. C. 2016. El proceso de

- descubrimiento de conocimiento en bases de datos. En Descubrimiento de patrones de desempeño académico con árboles de decisión en las competencias genéricas de la formación profesional pp. 63-86. Bogotá Colombia. Ed, Universidad Cooperativa de Colombia. [Online]. Disponible: <http://dx.doi.org/10.16925/9789587600490>.
- [21]. José Manuel Molina López, Jesús García Herrero. "Técnicas de análisis de datos aplicaciones prácticas utilizando microsoft excel y weka". Universidad de Madrid. Sin publicar.
- [22]. Cerda LJ, Romero SM, Wietstruck PA. Mortalidad por cáncer infantil en Chile. Modelo de transición epidemiológica en la infancia. *Rev Chil Pediatr.* 2008; 79 (5): 481-7
- [23]. Abdullaev FL, Rivera Luna R, Roitenburd Belacortu V, Espinosa Aguirre J, Pattern of childhood cancer mortality in México. *Arch Med Res.* 2003;31(5):526-31.
- [24]. Ribeiro KB, Buffler PA, Metayer C. Socioeconomic status and childhood acute lymphocytic leukemia incidence in Sao Paulo, Brazil. *Int Cancer* 2008;123(8):1907-12.
- [25]. Jiawei Han, Micheline Kamber. *Data Mining: Concepts and Techniques.* University of Illinois at Urbana-Champaign: The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems, Jim Gray, 2nd. Edition. Series Editorial. USA, 2006.
- [26]. Agustín José Calleja Gómez. 2. Minería de datos. en minería de datos con weka para la predicción del precio de automóviles de segunda mano. pp. 19-20 universidad politécnica de valencia: escuela técnica superior de informática aplicada. Dic, 2010
- [27]. Inza, I., Armañanzas, R. y Santafé, G. Una aproximación al software WEKA. Aprendizaje automático: Conceptos básicos y avanzados. Aspectos prácticos utilizando el software WEKA. Pearson Educación S.A., Madrid. . 2006. Sin publicar.
- [28]. Michael R. Berthold, Christian Borgelt, Frank Hppner, and Frank Klawonn. "Guide to Intelligent Data Analysis: How to Intelligently Make Sense of Real Data." Springer Publishing Company, Incorporated, 1st edition, 2010. ISBN 1848822596, 9781848822597
- [29]. Fernando Sancho Caparrini. (2017, Abr 23). Métodos combinados de aprendizaje. De DISQUS. Retrieved [Online]. Disponible: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=106>.
- [30]. C. D. (2012). Ventajas y desventajas del árbol de decisión. introducción a la programación. [Online] Disponible: <http://Ipg3.Blogspot.Com/2012/02/Ventajas-Y-Desventajas-Del-Arbol-De.Html>
- [31]. Gonzalo Franco Ceballos, Teodoro Álamo Cantarero. (2015). Bagging en estudio de Bootstrapping en algoritmos de clasificación, pp. 18-19. Sevilla, Departamento de Ingeniería de sistemas y automática escuela técnica superior de ingeniería universidad de Sevilla.
- [32]. Breiman, L. "Bagging predictors". *Machine Learning*, pp. 123-140. 1996.
- [33]. Maribel Tirados. (2014. May, 28). Algoritmo Random Forest. La comunidad de profesionales de Big Data. [Online]. Disponible: <http://www.bigdatahispano.org/noticias/algoritmo-random-forest/>.
- [34]. Paula Andrea Vizcaino Garzon. Aplicación de técnicas de inducción de árboles de decisión a problemas de clasificación mediante el uso de WEKA (Waikato Environment for Knowledge Analysis). Fundación Universitaria Konrad Lorenz facultad de ingeniería de sistemas, pp. 22-23. (2008).
- [35]. M. Servente, and R. García-Martínez. "Algoritmos TDIDT aplicados a la minería inteligente." *Revista del Instituto Tecnológico de Buenos Aires*, vol. 26: pp. 39-57. ISSN 0326-1840.
- [36]. Vargas, L. (2000). Cáncer en pediatría. Aspectos generales. *Revista chilena de pediatría* .
- [37]. Marco Antonio Hernández González, N. I. (2015). Fortalezas personales en padres de familia con y sin hijos diagnosticados con cáncer. *Revista electrónica de psicología iztacala*, 904 - 922.

Aplicación de la tecnología de Realidad Virtual para el estudio del movimiento unidimensional: una actividad didáctica

Morales-Ramírez Alejandra, Flores-Lara Jesús E., García Rodolfo Z., Amador-Reyes Juan J., Hidalgo-Cortés Cuauhtémoc
Centro Universitario Ecatepec

Universidad Autónoma del Estado de México

Estado de México, México

amoralesr@uaemex.mx, Jflores1453@alumno.uaemex.mx, zolagarcia@yahoo.com, jjamadorr@uaemex.mx, chidalgoc@uaemex.mx

Resumen. Dadas las ventajas que ofrece la Realidad Virtual (RV) en el área educativa, en el presente trabajo se reporta el desarrollo de una aplicación de RV para el estudio del movimiento unidimensional que tiene como finalidad ser una de las herramientas de apoyo didáctico que utiliza tanto el profesor como el estudiante dentro del aula de clases. A través los diferentes escenarios los estudiantes guiados y asesorados por el profesor podrán observar, explorar, experimentar y extraer conclusiones acerca de la teoría del fenómeno de caída libre, lo cual ayudará a que se construya un aprendizaje significativo.

Durante el desarrollo se encontraron algunas oportunidades de mejora en la metodología utilizada, como la incorporación de un repositorio de contenidos y la adecuación de las fases de diseño y desarrollo al pipeline de videojuegos, lo anterior con el objetivo de aumentar la productividad en un menor tiempo.

Por otra parte, la aplicación fue evaluada por un conjunto de profesores que imparten el tema del fenómeno caída en su clase, los cuales externaron que es muy probable que ésta propicie la comprensión de los conceptos presentados, permita que los alumnos disfruten aprender y puedan reforzar los temas vistos en clase fuera del aula. Empero, la actitud hacia el uso la encuentran ligeramente probable, ya que consideran que quizás no es una buena idea incorporarla en la clase, aquí se tendría que reflexionar cuales son motivos del porque ésta respuesta, ya pueden afectar otros factores como son: que les genere a los profesores trabajo extra, no contar con el equipo adecuado, no tener permiso de alguna autoridad académica superior, etc.

Como trabajo a futuro se pretende incluir otras actividades de RV que complementen la aplicación e incorporarla dentro de una clase con estudiantes de nivel secundaria, además aumentar la muestra de profesores para no limitar los resultados presentados.

Palabras Clave: Realidad Virtual, Leap Motion, Movimiento Unidimensional, Caída libre, Educación.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la tecnología se ha vuelto un factor de gran trascendencia en nuestra vida, el uso de las computadoras ha cambiado la forma en que trabajamos y llevábamos a cabo

actividades. Por ejemplo, la evolución de los dispositivos móviles, ha transformado la manera en que nos comunicamos y entretenemos, así como este caso se pueden encontrar miles y en la educación esto no ha sido distinto.

Por ejemplo, los profesores actualmente no solo usan libros para apoyarse en sus clases, si no también utilizan grabaciones, videos, pizarrones inteligentes y revistas electrónicas, así como redes sociales (Twitter, Facebook, YouTube etc.) para seguir en contacto con sus alumnos e incluso utilizan Skype para hacer video llamadas y conferencias en línea [1].

Otra herramienta práctica pero complicada, que ha empezado a relucir en el ámbito educativo y atraído una atención especial por su potencial es la RV [2], definida como un sistema informático generado por computadora [3] que puede simular de manera completa o parcial un ambiente (situación) real o ficticio [4, 5]. Y se clasifica según el nivel de inmersión con el usuario en: a) RV no inmersiva o de escritorio, en la que el usuario mediante una computadora de escritorio puede ver el espacio virtual y navegar en él a través del teclado y el ratón; y b) La RV inmersiva, que ofrece al usuario inmersión total mediante el uso de diferentes equipos de interacción como los sensores, guantes, lentes, diademas e incluso CAVES [3].

Además, la RV posee tres características fundamentales: inmersión, interacción e imaginación [3,6,7]. La inmersión es la característica más destacada de las tres, porque es donde el usuario encuentra una experiencia real, otorgándole la sensación de encontrarse dentro de los entornos tridimensionales. Dicha inmersión es determinada por las imágenes, la interacción, el comportamiento de los objetos y los entornos que dependiendo de la situación deberán ser los más semejante posible al mundo real.

La interacción por su parte, implica la posibilidad de tener control sobre el sistema creado y, por ende, que los cambios producidos en el mundo virtual dependan del usuario y no de una programación previa.

Finalmente, la imaginación que implica no solo una demostración de contenido multimedia, sino una herramienta de diseño, que refleje el pensamiento del diseñador de una manera visual, por ejemplo, antes de la exhibición de un edificio, la primera cosa que se debe hacer es la estructura a detalle de la construcción a través de una gran cantidad de boceto [3].

Características que han permitido que la RV ofrezca beneficios significativos en numerosas áreas del conocimiento como el entretenimiento, la formación, la difusión, la capacitación, el diseño, la terapia y la educación.

En cuanto a entornos virtuales desarrollados con RV enfocados a la educación se pueden distinguir los siguientes trabajos: “Aplicación de RV en la educación a distancia” [3], “Aplicación de RV en la educación médica” [6], “Aplicación y perspectiva de la tecnología de realidad virtual en la educación ideológica universitaria” [7], “Diseño e implementación de un mundo virtual tridimensional multiusuario para el aprendizaje del lenguaje” [8], “Diseño de RV inmersiva para la educación de geometría” [9], “Mundos virtuales en tercera dimensión y enseñanza a distancia: casos de estudios de mundos activos como medio para la educación a distancia” [10], “Diseño de un entorno para el desarrollo de la competencia digital docente en estudiantes universitarios: usabilidad, adecuación y percepción de utilidad” [11], “Un entorno de aprendizaje virtual 3d para la enseñanza de la química en la escuela secundaria” [12] y “Realidad virtual como entorno de aprendizaje en el contexto EFL de Irán: personal, técnica y pedagógica” [13].

Dichos trabajos de RV han demostrado ofrecer ventajas pedagógicas [13,14] dentro de la educación como las siguientes:

- Elevan el acceso a la capacitación.
- Ayudan a las personas a tener una visión global del tema de interés o que se encuentran estudiando.
- Permiten modificar los valores de algunas variables para verificar las consecuencias de estos cambios.
- Ayudan a la comprensión de conceptos y temas.
- Motivan al usuario a seguir aprendiendo.
- Animar a la participación más activa del alumno en el aprendizaje del tema.
- Ayudan a los estudiantes a experimentar directamente algunas propiedades físicas de objetos y eventos y a darse cuenta de las implicaciones reales de tales propiedades.

Sin embargo, a pesar de que la RV ofrece ventajas pedagógicas y una plataforma totalmente nueva en el proceso de enseñanza – aprendizaje, en la cual se puede generar una enorme gama de actividades e ideas para implementar teorías y prácticas o una combinación de ellas [9], para facilitar la representación de fenómenos que no serían posibles experimentar en un aula o en un laboratorio. En México son pocos los trabajos que se han creado con RV en el área de educación.

En este sentido, se buscó un área curricular de oportunidad para desarrollar una aplicación didáctica, lo cual se llevó a cabo a través del análisis de los resultados de la prueba

ENLACE 2012 que evalúa a los estudiantes desde tercer año de primaria hasta tercer año de secundaria para conocer el nivel educativo que hay en México en diversas áreas del conocimiento como son: matemáticas, español, ciencias e historia. Sin embargo, para delimitar el presente trabajo solo se tomaron en cuenta los resultados del área de ciencias a nivel secundaria.

De manera general se encontró lo siguiente:

- Cerca de un 61.7% de los estudiantes de nivel secundaria que realizaron esta prueba presentaron un nivel “elemental” en el área de ciencias ubicándolos por debajo del rango del dominio recomendado, ya que solo conocen lo básico.
- De los 761,073 alumnos que hicieron la prueba en el estado de México, se halló que 17.4% de los alumnos se encuentran en el rango de “insuficiente” en dicha área.
- Comparando los resultados obtenidos en el 2008 con los del 2012 se aprecia un solo un aumento del 0.3% al 0.7% en el nivel “excelente”, donde se encuentran aquellos estudiantes que conocen todos los conceptos y son capaces de integrarlos para resolver problema de su vida cotidiana. En cambio, el nivel “insuficiente” subió un 4%, 10 veces más que los alumnos en nivel “excelente”.
- En lo que respecta a los resultados por tema de conocimiento en área de ciencias menos de la mitad (40%) de los estudiantes se encuentra en un nivel “elemental”, en los temas: sociedad y tecnología; y manifestaciones de la materia.
- Mientras que el 60% de los alumnos presentan problemas en los tópicos: descripción del movimiento, leyes del movimiento, descripción de la materia, ubicándose en el rango de “insuficiente”, considerados como aquellos estudiantes que solo tienen la noción de los conceptos.

A pesar de que existe un aumento de alumnos en el grado de “excelente” a nivel nacional, es insignificante al contrastar con el aumento del grado de “insuficiente”, al igual haciendo una comparación más afondo de las dos aplicaciones (2008 y 2012) existe un aumento en el grado de “bueno”, pero no lo suficiente para equilibrar el grado de alumnos en situación “elemental” o “insuficiente”.

Por otro lado, los resultados de la prueba de PISA del 2015 que es aplicada por la Organización para la cooperación y el desarrollo económico (O.C.D.E) y que evalúa el dominio en matemáticas, lectura y ciencias a estudiantes de entre los 15 y 16 años de edad.

Arrojo los siguientes resultados:

- México se posicionó por debajo del promedio mundial en el puesto número 53 de los 69 que toman la prueba, dejándolo como el segundo país latinoamericano con la menor brecha de aprendizaje.
- En promedio los alumnos obtuvieron 416 puntos en el área de ciencias, dejando a México por debajo del promedio de la OCDE (493) y por debajo de países como Chile, Costa Rica, Qatar y Tailandia, por 90 puntos.
- Un poco más del 20% de los alumnos, no alcanzaron el nivel mínimo de competencias en el área de ciencias.

Esto quiere decir que los alumnos no son capaces de hacer uso básico del conocimiento de ciencias para identificar una respuesta apropiada, interpretar los datos e identificar las preguntas emergentes, de un experimento simple.

- Menos del 0.1% de los alumnos, se encuentran en el grado de excelencia en el área de ciencias (sin tener ningún avance desde el 2006). En estos niveles, los estudiantes pueden aplicar los conocimientos y habilidades científicas, con autonomía y creatividad en una gran variedad de situaciones.

Aunado a lo anterior, es importante recordar que los conocimientos del área de ciencias son importantes para el desarrollo de los estudiantes a nivel secundaria en la sociedad; el entender los fenómenos físicos, su interacción con el medio ambiente y la tecnología que deriva de ellos, les ayudan a resolver problemas que se les presenten en su vida cotidiana.

Motivos por los cuales, la presente investigación toma esta área de oportunidad para desarrollar una aplicación de RV enfocada al estudio del movimiento unidimensional, que se imparte durante el proceso de enseñanza – aprendizaje a los alumnos de segundo grado de secundaria, en México.

II. METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La metodología de desarrollo evolutivo para escenarios tridimensionales [15] es fundamentalmente el flujo de trabajo que se utilizó en el proceso de desarrollo de la presente investigación. Las fases y actividades establecen tareas que deben cumplirse hasta la entrega del producto final, listo para implementarse en un ambiente con usuarios y condiciones reales como se puede observar en la Fig. 1 y 2, y se explican en los siguientes apartados. Cabe resaltar que la metodología propone llevar a cabo algunas fases de manera secuencial. Sin embargo es importante mencionar que, si se cuenta con un equipo de desarrollo grande con especialistas en cada área se podría trabajar en paralelo en diferentes tareas para aumentar la productividad.

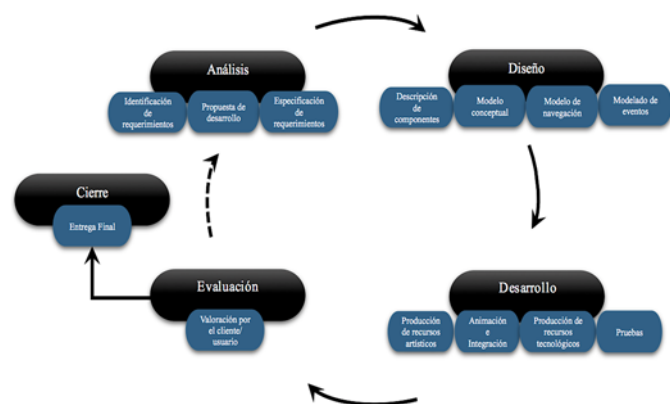


Fig 1. Metodología de desarrollo evolutivo para escenarios tridimensionales.

En la fase de desarrollo se trabajó bajo la secuencia de actividades que se muestran en la Fig. 2 de forma iterativa e

incremental con el objetivo de lograr la versión ejecutable de los escenarios que conforman la aplicación.

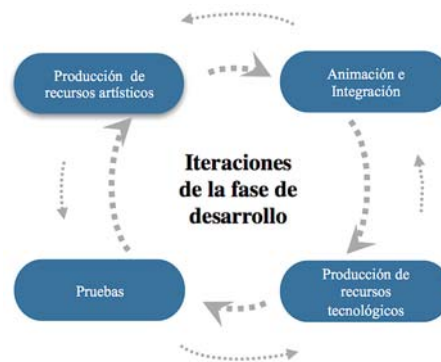


Fig 2. Fase de desarrollo.

A. Análisis

De acuerdo al área de oportunidad encontrada en la enseñanza de las ciencias en México descrita en la introducción, se decidió analizar el programa de la materia de ciencias que imparte la SEP en segundo año de secundaria con el objetivo de elegir un tema que pudiera ser representado con la tecnología de RV.

Después de hacer la revisión se llegó a la conclusión de elegir el tema percepción del movimiento y el trabajo de Galileo Galilei ya que son temas que son difíciles de representar dentro del salón de clases, por ejemplo, resulta inconveniente y peligroso tirar objetos de diversas características físicas desde un segundo piso para percibir el efecto de la caída libre.

Por lo que el equipo de desarrollo junto con un especialista en el área acordaron que la aplicación de RV estuviera integrada por seis escenarios tridimensionales; plaza de pisa, mirado de la torre, la luna, marte, júpiter y la cámara de vacío de la NASA. En el escenario de la plaza de pisa se propuso que se le diera la bienvenida al usuario y se representará a través de una breve explicación la historia y el concepto del fenómeno de caída libre, las cuales serán expuestas por la representación en 3D del Astrónomo Galileo Galilei considerado actualmente como el padre de la física moderna por sus descubrimientos de la teoría moderna de la caída libre que refuta la teoría de Aristóteles. En los cinco escenarios restantes el estudiante podrá experimentar y observar el comportamiento de este fenómeno lanzando objetos con diferentes características (forma, peso y tamaño) bajo diversos tipos de gravedad. De esta manera se pretende que, a través de estas experiencias los estudiantes puedan alcanzar un aprendizaje significativo.

B. Diseño

En esta fase se creó a través de diversos modelos el concepto de la aplicación, estableciendo como sería su contenido y definiendo las características de cada componente que la conforman como son los objetos bidimensionales y tridimensionales, los personajes, los escenarios, las secuencias de audio, los guiones, las dinámicas, etcétera.

En la descripción de componentes se esbozaron las características específicas de los objeto que iban a formar parte de los escenarios, con el propósito de definir y tener claro su aspecto.

TABLA 1. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES

Tipo de plantilla:		Descripción de objeto de interacción y contexto.		
Identificador:	Objeto:	Características:		
		Color:	Forma:	Textura:
Balón_B	Balón de básquet	Naranja y negro	Esférico	Cuero
Bola_B	Bola de boliche	Negro	Esférico	Resina
Portal_L	Portal luna	Negro y blanco	Circular	Paisaje
Portal_M	Portal marte	Negro y rojo	Circular	Paisaje
Portal_J	Portal Júpiter	Negro y amarillo	Circular	Paisaje
Portal_CV	Portal Cámara de Vacío	Negro y gris	Circular	Paisaje
Portal_MT	Portal mirador de torre	Azul y verde	Circular	Paisaje
Lámpara	Lámpara	Gris y amarillo	Cubica	Metal
Bloqueo	Valla	Gris	Tubular	Piedra

Nota: La tabla representa solo un extracto del conjunto de componentes que se encuentran incluidos dentro de los escenarios.

En el modelado conceptual se desarrollaron con ayuda de una tableta digitalizadora los bocetos de las diferentes perspectivas de los componentes principales, por ejemplo en las Fig. 3, 4 y 5 se observan algunos de ellos.

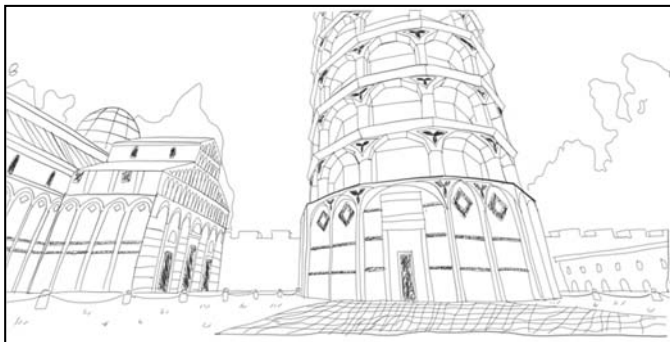


Fig 3. Diseño del bosquejo general de la distribución de la Plaza de Pisa.

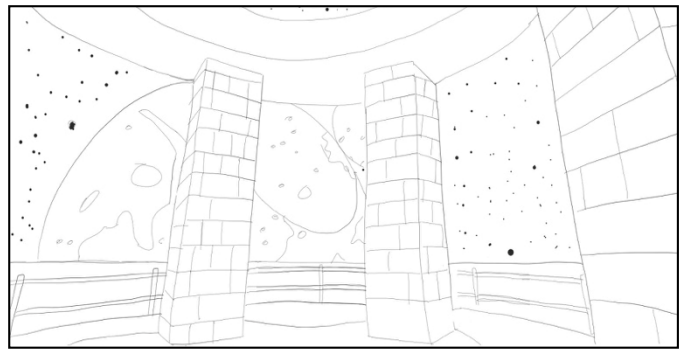


Fig 4. Diseño de la vista del mirador de la Torre de Pisa desde planeta Júpiter.

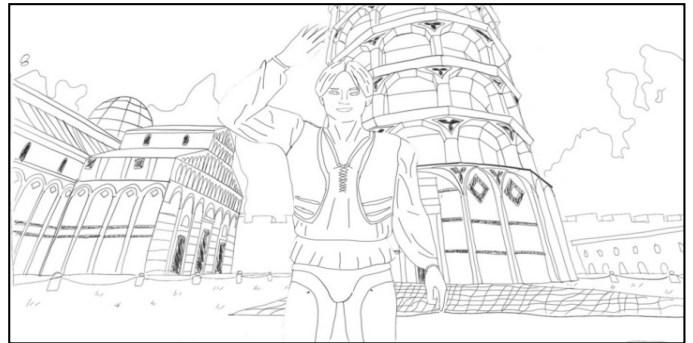


Fig 5. Diseño del inicio de la bienvenida al usuario.

En el modelado de navegación se formó el diagrama que describe como están organizados e interrelacionados los diferentes escenarios y la forma en que el usuario los podrá recorrer y llevar a cabo la experimentación del fenómeno de caída libre.

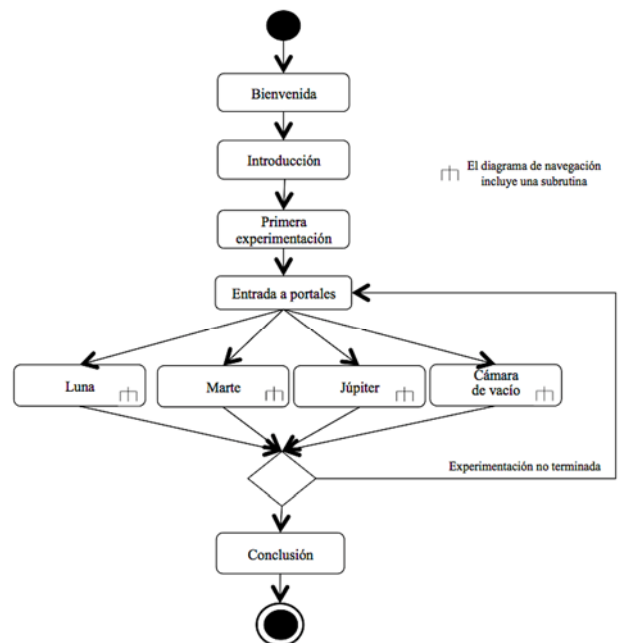


Fig 6. Diagrama de navegación de la aplicación didáctica.

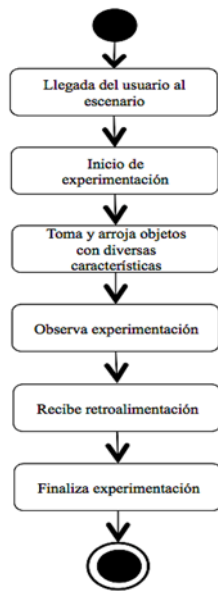


Fig 7. Diagrama de navegación de subrutina de experimentación.

Cabe mencionar que para navegar a través de todos los escenarios el usuario manejará una vista en primera persona en la cual se ve el mundo desde la perspectiva del protagonista, de este modo se obtiene un mejor aprendizaje [16]. Al mismo tiempo para lograr un mayor nivel de inmersión se utilizó Leap Motion como dispositivo de interacción entre el usuario y la aplicación (Fig. 8).

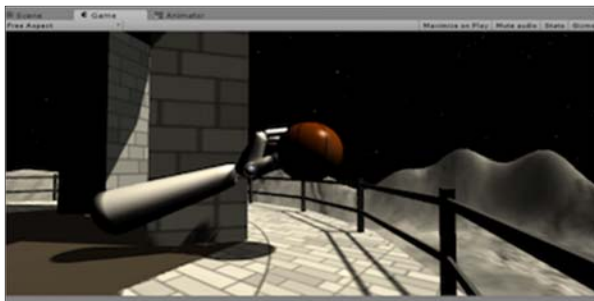


Fig 8. Vista en primera persona y uso de Leap Motion

Consecutivamente para realizar el modelado de eventos se establecieron las acciones que serán detectadas por la aplicación a través de los comportamientos que el usuario o los componentes realicen (Tabla 2). Cabe mencionar que los eventos tienen una estrecha relación con el modelo de navegación, debido a que los eventos generados son derivados del rumbo que el usuario elija tomar y de los componentes que intervienen durante la experimentación.

TABLA 2. EVENTOS DEL USUARIO

Descripción de eventos durante la navegación del usuario dentro de los entornos a través del dispositivo Leap Motion.	
Tipo de plantilla	
Eventos	Acción
Introducir y mover mano izquierda.	Gira cámara del motor de representación sobre el eje de las X y Y.
Introducir mano derecha.	Desplazamiento del personaje hacia delante.

Mover mano derecha hacia la izquierda.	Desplazamiento del personaje y rotación de cámara hacia la izquierda.
Mover mano derecha hacia la derecha.	Desplazamiento del personaje y rotación de cámara hacia la derecha.

Nota: La tabla solo es un extracto del conjunto de eventos que se activan durante la ejecución de la aplicación en tiempo real.

C. Desarrollo

Con el fin de reducir tiempo de desarrollo, antes de iniciar la producción de todos los componentes se verificó en el repositorio de contenidos de RV con el que cuenta el equipo de trabajo, si se contaba con algunos objetos (personajes humanoides, materiales, animaciones, skybox, etc.) que se pudieran reutilizar para el presente proyecto. Después para realizar la producción de los componentes faltantes se efectuaron en Autodesk Maya deformaciones a un conjunto de primitivas para obtener modelos con un alto nivel de detalle, sin embargo, posteriormente a éstos se les aplicaron diversas técnicas de optimización de geometría (overlapping, n-guns, triangulación, normal culling, face culling, etc.) para conseguir modelos con el menor número de polígonos posibles (Fig. 9). Lo anterior, con la intención de evitar que los dispositivos de ejecución tuvieran una excesiva carga gráfica.

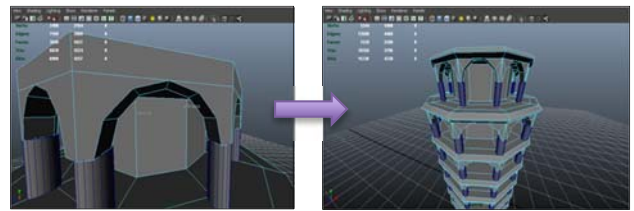


Fig 9. Optimización de polígonos.

Para realizar la texturización primeramente se crearon proyección UV de cada componente, como se observa en la Fig 10. Después, por las características del presente proyecto solo se definieron dos tipos de UV layout: a) color map (mapa de color) para las texturas de color y b) Normal map (mapa de normales) para simular superficies 3D en los componentes.

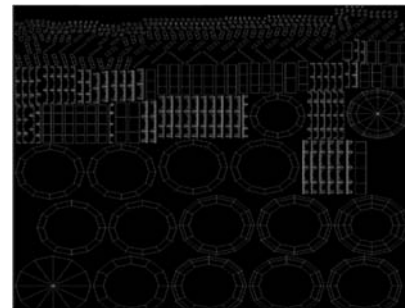


Fig 10. Proyección.

Inmediatamente, a través de un editor gráfico se diseñaron las texturas utilizando imágenes reales de cada monumento histórico Fig. 11, con el propósito de que se obtuvieran objetos 3D idénticos a los reales.

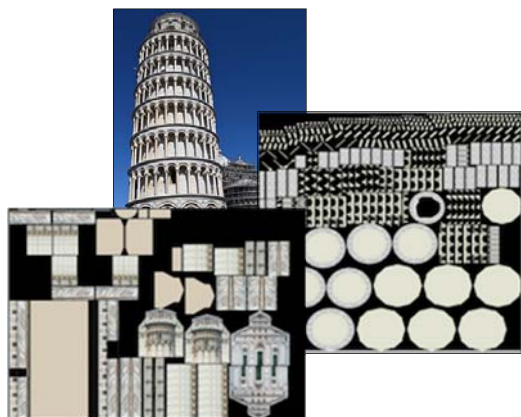


Fig 11. Diseño de texturas.

Finalmente, con la herramienta editor de texturas UV de Autodesk Maya se asignaron las texturas a los objetos como se observa en la figura 12.

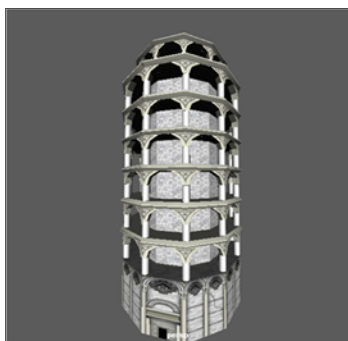


Fig 12. Asignación de texturas.

El personaje principal y sus animaciones no fueron creadas, ya que el equipo de desarrollo contaba con éstas, no obstante, para adaptarlo al contexto del proyecto se tuvieron que realizar ediciones a las texturas de su vestimenta y a las animaciones corporales y faciales (Fig 13).



Fig 13. Edición de animaciones corporales y faciales.

Posteriormente, se crearon los recursos artísticos faltantes para cada una de las escenas (luces, skybox, terrenos, audio, viento, rocas y vegetación) según las características definidas en las fases de análisis y diseño. Lo anterior, para que fueran representados lo más real posible y con un nivel de inmersión adecuado (Fig. 14).

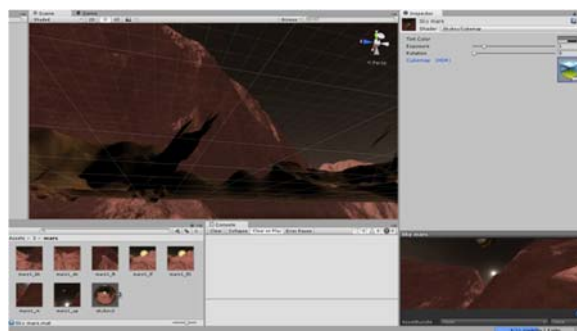


Fig 14. Terreno y ambientación del escenario Marte.

Tras haber creado los componentes 3D, se procedió a integrarlos, importándolos en formato .fbx dentro de los entornos virtuales (Fig. 15), y al mismo tiempo estructurándolos en diferentes capas de visualización, cada una dedicada a un tipo de componente diferente (por ejemplo, monumentos históricos, vegetación, personajes, etc.), lo que permite tener una mejor organización.



Fig 15. Integración de componentes 3D.

Además, se fueron ensamblando al mismo tiempo los recursos tecnológicos producidos con los lenguajes de programación Java y C# (Fig. 16), que fueron utilizados para: a) controlar la gravedad en los diferentes escenarios; b) el cambio de cámaras; c) el reciclaje de componentes; d) el tutorial de ayuda; e) el funcionamiento de las máquinas de estado y animaciones; f) la sincronización del audio con la animación correspondiente, etc.

```

1 public var principal : Camera ;
2 public var secundaria : Camera ;
3
4
5 function OnTriggerEnter(otherObj: Collider){
6
7     if ( otherObj.tag == "G" || otherObj.tag == "M" || otherObj.tag == "A" || otherObj.tag == "X" )
8     {
9         principal.GetComponent.<Camera>().enabled = false;
10        secundaria.GetComponent.<Camera>().enabled = true;
11    }
12
13
14 }
15

```

Fig 16. Programación del cambio de cámaras

Por último, se realizó el paquete ejecutable de la aplicación estableciendo las características técnicas para su representación en equipos de escritorio con Sistema Operativo Windows.

D. Evaluación

Con el objetivo de obtener información primeramente desde la perspectiva de los profesores que imparten el tema de caída libre en segundo grado de secundaria acerca de la utilidad y facilidad de uso de la aplicación de RV desarrollada, se aplicó el cuestionario de aceptación de la tecnología [17] a 7 profesores (3 mujeres, 4 hombres) de una escuela privada del Estado de México, con edad promedio de 34 años.

El cuestionario está compuesto por 23 preguntas presentadas en escala tipo likert con siete opciones de respuesta 1) extremadamente probable; 2) muy probable; 3) ligeramente probable; 4) ninguno; 5) poco probable; 6) bastante improbable y 7) extremadamente improbable. Y divididas en siete escalas: 1) utilidad percibida, 2) facilidad de uso percibida, 3) percepción de disfrute, 4) actitud hacia el uso, 5) la intención de utilizar, 6) calidad técnica del sistema y 7) competencia tecnológica.

Dado el análisis estadístico realizado (Tabla 3 y Fig. 17), se puede decir que los profesores consideran muy probable que la aplicación de RV desarrollada: a) Propicie la comprensión de los conceptos así como el aprendizaje dentro del aula (Utilidad percibida, \bar{x} =6.38 y DE = 0.52); b) Permita que los alumnos disfruten aprender (Percepción de disfrute, \bar{x} =6.29 y DE = 0.84); y c) Proporcione facilidad para que el estudiante siga aprendiendo por su cuenta y refuerce los temas vistos en clase (Intención de utilizar, \bar{x} =6.40 y DE =0.50).

En cuanto a la calidad técnica (\bar{x} =6.09 y DE =0.62) los profesores externan que la aplicación muestra una buena estructura, organización y funcionamiento de los recursos artísticos que la componen. Además se consideran capacitados para su manejo (Competencia tecnológica, \bar{x} =6.00 y DE =1.40), debido a que es fácil de usar y manejar (Facilidad de uso, \bar{x} =6.14 y DE =0.79).

Sin embargo, los profesores consideran ligeramente probable (Actitud hacia el uso, \bar{x} =4.81 y DE =0.63) que sea interesante y una buena idea incorporar la aplicación en la clase.

TABLA 3. FACTORES DE ACEPTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA

Utilidad percibida	Facilidad de uso	Percepción de disfrute	Actitud hacia el uso	Intención de utilizar	Calidad técnica de la aplicación	Competencia Tecnológica
\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}	\bar{x}
DE	DE	DE	DE	DE	DE	DE
6.38	6.14	6.29	4.81	6.48	6.09	6.00
0.52	0.79	0.84	0.63	0.50	0.62	1.40

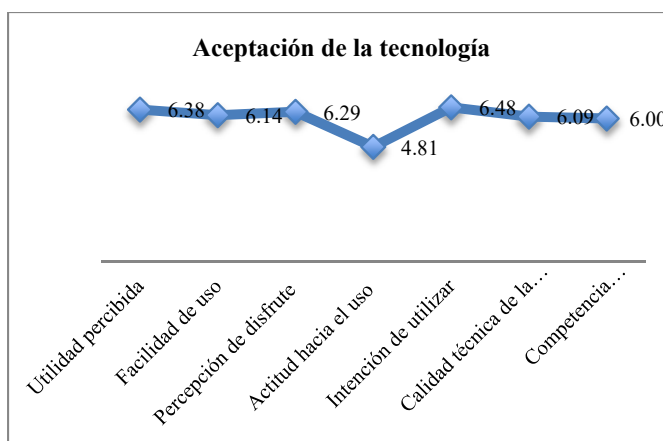


Fig 17. Factores de aceptación de la tecnología

III. CONCLUSIONES

Se logró hacer una aplicación de RV inmersiva la cual puede ser utilizada dentro del conjunto de herramienta de apoyo didáctico empleadas para impartir el tema del fenómeno de caída libre dentro de una clase.

Al crear el presente proyecto con la metodología elegida se encontraron las siguientes oportunidades de mejora que permitirán agilizar el desarrollo de este tipo de aplicaciones:

- Crear un repositorio de contenido para almacenar los recursos artísticos que se vayan desarrollando, con el objetivo de que posteriormente puedan ser reutilizados en otras aplicaciones y a su vez minimizar tiempos de producción.
- Adecuar las fases de diseño y desarrollo al pipeline de videojuegos, para que se puedan desarrollar varias actividades de manera paralela, como: el diseño y desarrollo de los recursos artísticos (ej. Personajes) con la producción de los recursos tecnológicos (ej. Scripts para el funcionamiento de las máquinas de estado).

Por otra parte, después de que los profesores utilizaron la aplicación de RV, a través del cuestionario de aceptación tecnológica externaron estar capacitados para utilizar los entornos debido a que son fáciles de usar y manejar. Además, consideran que los recursos artísticos que los componen presentan una buena estructura, organización y funcionamiento.

Aunado a lo anterior, evalúan en un rango de muy probable que la aplicación propicie la comprensión de los conceptos presentados, permita que los alumnos disfruten aprender y puedan reforzar los temas vistos en clase fuera del aula. Empero, la actitud hacia el uso la encuentran ligeramente probable, ya que consideran que quizás no es una buena idea incorporarla en la clase, aquí se tendría que reflexionar cuales son motivos del porque ésta respuesta, ya pueden afectar otros factores como son: que les genere a los profesores trabajo extra, no contar con el equipo adecuado, no tener permiso de alguna autoridad superior, etc.

Por último, se considera que la investigación aún tiene algunas limitaciones como el tamaño de la muestra de los profesores, lo cual restringió los análisis estadísticos y resultados, y que todavía no se ha implementado con estudiantes que son finalmente la población objetivo.

REFERENCIAS

- [1] B. Knutzen and D. Kennedy, "The global classroom project: Learning a second language in virtual environment," *Electronic Journal of e-Learning*, vol. 10 (1), pp. 90-106, 2012.
- [2] D. Kastoudi, "Using a Quest in a 3D Virtual Environment for Student Interaction and Vocabulary Acquisition in Foreign Language Learning," *European Association for Computer Assisted Language Learning EUROCALL*, 2011.
- [3] Z. Zhan, "The Application of Virtual Reality on Distance Education," *Intelligent Computing and Information Science*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 78-83, 2011.
- [4] C. Gurau, "Information and Communication Technologies in Support of the Tourism Industry," *IGI global*, 2007.
- [5] M. Perez, E. Zaber, and E. Islas, "Realidad virtual: Un panorama general," *Boletín IIE*, pp. 39 – 44, 2004.
- [6] Y. Shi, "Application of Virtual Reality Technology in Medical Education," *Frontier and Future Development of Information Technology in Medicine and Education*. Springer Netherlands, p. 467-476, 2004.
- [7] R. Hui-Zhen and L. Zhong-Fa, "Application and Prospect of the Virtual Reality Technology in College Ideological Education," *Fourth International Conference on Intelligent Systems Design and Engineering Applications*, 2013.
- [8] M. B. Ibañez, J. J. Garcia, S. Galan, D. Maroto, D. Morillo et al., "Design and implementation of a 3D multi-user virtual world for language learning," *Journal of Educational Technology & Society*, vol. 14, pp. 2-10, 2010.
- [9] H. Kaufmann and D. Schmalstieg, "Designing immersive virtual reality for geometry education," *Virtual Reality Conference, 2006. IEEE*, 2006.
- [10] M. D. Dickey, "Three dimensional virtual worlds and distance learning: two case studies of Active Worlds as a medium for distance education," *British journal of educational technology* vol. 36 (3), pp. 439-451, 2005
- [11] F. Esteve, J. Segura and M. Gisbert, "Diseño de un entorno para el desarrollo de la competencia digital docente en estudiantes universitarios: usabilidad, adecuación y percepción de utilidad," *RELATEC*, vol 13(2), pp. 35-47, 2014.
- [12] E. Shudayfat, F. Moldoveanu and A. Moldoveanu, "A 3D virtual learning environment for teaching chemistry in high school," *Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium*, vol. 23 (1) pp. 423-428, 2012.
- [13] A. Rahimi, N. S. Golshan and H. Mohebi, H. Virtual Reality as a Learning Environment in Iranian EFL Context: Personal, Technical, and Pedagogical, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, pp.136, 234 – 239, 2014.
- [14] A. Antonietti, C. Rasi, E. Imperio and M. Sacco, "The representation of virtual reality in education," *Education and Information Technologies*, vol. 5 (4), pp. 317-327, 2000.
- [15] A. Morales, L. E. Alviter, C. Hidalgo, J. J. Amador, J.A. Zúñiga, et al., "Metodología de Desarrollo Evolutivo de Escenarios Tridimensionales para la Creación de una Visita Virtual para el Centro Universitario UAEM Ecatepec," *Revista Colombiana de Computación*, vol. 16 (1), pp. 7-17, 2015.
- [16] G. Vera, J. Ortega, and M. Burgos, "La realidad virtual y sus posibilidades didácticas," *Étic@Net*, vol. 2, pp. 273-293, 2003.
- [17] A. J. Cabero, O. J. Barroso, and C. M. Llorente, "Technology acceptance model & realidad aumentada: estudio en desarrollo," *Revista lasallista de investigación*, vol. 13 (2), pp. 18-26, 2016.

Sistema de adquisición de datos para el desarrollo y análisis de actividades de experimentación del fenómeno de caída libre a través del procesamiento de imágenes digitales

Mendoza Yamilet, Hidalgo-Cortés Cuauhtémoc, García Rodolfo,
Morales-Ramírez Alejandra, Cruz Mark
Centro Universitario Ecatepec
Universidad Autónoma del Estado de México
Estado de México, México
yamiz_rw@hotmail.com, chidalgoc@uaemex.mx,
zolangarcia@yahoo.com, amoralesr@uaemex.mx,
mcruz707@profesoruaemex.mx

García Hiram
Instituto de Agro ingeniería Universidad del Papaloapan
Oaxaca, México
lihnetgarcia@unpa.edu.mx

Resumen. En la sociedad del conocimiento actual, la utilización adecuada de los dispositivos tecnológicos requiere de la comprensión de los fundamentos básicos de la ciencia y la tecnología. En este tipo de sociedades, esta condición es esencial y define las posibilidades de desarrollo de los individuos. A pesar de lo anterior, diferentes pruebas de evaluación del rendimiento escolar en niveles básicos demuestran que, en el área de la ciencia, una gran proporción de la juventud mexicana no cuenta con el nivel de conocimientos adecuado. Aun cuando este es un problema multifactorial, varios grupos de investigación educativa establecen la utilización de herramientas o sistemas computacionales como medio para enriquecer el aprovechamiento académico en la educación básica. En este sentido, en el presente trabajo se describe el desarrollo y utilización de un sistema de adquisición de datos, aplicable para la realización de diferentes experimentos de física básica. A través del procesamiento digital de imágenes capturadas mediante cámaras comerciales, el sistema permite a los usuarios analizar el comportamiento de objetos que describen un Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado. La utilización de este sistema ofrece los estudiantes mayores oportunidades de visualización, retroalimentación, reflexión y revisión de los conceptos, lo que conduce a la adquisición de un aprendizaje significativo. Unas de las actividades futuras será la utilización del sistema en actividades didácticas desarrolladas para grupos de estudiantes de educación básica.

Palabras Clave. Procesamiento de imágenes, caída libre, plano inclinado.

I. INTRODUCCIÓN

En la sociedad del conocimiento, la comprensión de la ciencia y la tecnología es una característica fundamental que influye de manera significativa en el desempeño en diferentes aspectos de la vida de los individuos (personal, social, profesional y cultural) [1]. Sin embargo, resultados de pruebas internacionales, que evalúan el nivel de conocimientos sobre ciencias y matemáticas, demuestran que una gran proporción de los jóvenes a nivel mundial no cuentan con los conocimientos necesarios para realizar actividades cognitivas complejas que les permitan desarrollarse satisfactoriamente en la sociedad del conocimiento [2, 3].

Como consecuencia de lo anterior, diferentes grupos de investigación han dedicado esfuerzos al estudio y optimización de los procesos de enseñanza aprendizaje aplicados a diferentes áreas de las ciencias relacionadas con la tecnología como las matemáticas, química y física. De manera general, a las conclusiones que llegan la mayoría de estos trabajos es que el bajo rendimiento académico es consecuencia de la aplicación de un sistema de enseñanza basado en la memorización de datos y procedimientos [3,4], con una cultura de complejidad aumentada de la teoría [5] en donde la falta de sentido práctico y el escaso o nulo entendimiento de los conceptos fundamentales ocasionan que los estudiantes salgan de los cursos prácticamente con el mismo nivel de conocimientos con el que entraron [4].

Para el caso de la enseñanza de la física, una posible solución al bajo desempeño de los estudiantes pasa por entender que el proceso de aprendizaje debe de estar basado en el constructivismo [6], en donde se fomente el desarrollo de

experiencias de laboratorio que permitan adquirir las competencias del saber-conocer y saber-hacer, aplicables en fenómenos observables en la vida cotidiana del estudiante [7, 8, 9]. Para alcanzar el objetivo anterior es necesaria la implementación de laboratorios de ciencias en cada una de las escuelas de educación básica. Desafortunadamente, en instituciones educativas de la mayoría de los países latinoamericanos, cumplir con estos requerimientos está prácticamente descartado por los elevados gastos de inversión, capacitación y mantenimiento que tendrían que ser destinados para el adecuado funcionamiento de los equipos de laboratorio.

En lo que refiere a los laboratorios de física básica, el avance de las tecnologías digitales puede establecerlos como una alternativa de solución para la adquisición de datos en experimentos de mecánica clásica. De esta forma, el procesamiento de imágenes de video mediante el uso de cámaras digitales, teléfonos celulares inteligentes y computadoras personales pueden sustituir a los costosos equipos de laboratorio, con un grado de exactitud razonable para niveles de formación básica. En este sentido, el uso de plataformas de desarrollo libres y la reducción de los costos de los dispositivos digitales pueden ofrecer una oportunidad de implementar estos laboratorios a precios más accesibles.

En este sentido, en el presente trabajo se muestra el desarrollo de un sistema de adquisición de datos basado en el procesamiento de imágenes digitales, obtenidas a través del uso de cámaras convencionales, el cual es aplicado para realizar experimentos de física básica (en particular caída libre).

La utilización de esta herramienta permitirá que los estudiantes se acerquen a los temas de física de una manera diferente, fomentando las actividades de experimentación y modelado, que promueven una mejor asimilación de los conceptos científicos [10]. De esta forma los involucrados en el proceso de enseñanza aprendizaje contarán con mayores oportunidades de visualización, retroalimentación, reflexión y revisión, lo que conduce a la adquisición de un aprendizaje significativo [6, 7, 8].

II. DESARROLLO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Debido a las facilidades de programación e implementación que ofrecen las herramientas de procesamiento de imágenes, el programa para la adquisición de datos fue desarrollado en MATLAB 7.11 2010b. En la Fig. 1 se presenta la interfaz gráfica que se encuentra conformada por los siguientes elementos:

I. *Menú principal.* A través de las opciones de este menú se carga el video que será utilizado durante el experimento y se exportan los datos (en formato de

Excel) tanto experimentales como modelados obtenidos del procesamiento de las imágenes.

- II. *Herramientas de calibración de imágenes y extracción de datos.* En esta área se encuentran los botones que son utilizados tanto para calibrar el cursor como para reiniciar el sistema para realizar otra actividad.
- III. *Ventana de visualización y reproducción del video.* En esta sección se muestra la reproducción del video del experimento y a través de sus diferentes opciones el usuario puede reproducir el video en velocidad normal o cuadro por cuadro; detener, retroceder o ir a una imagen determinada del video.
- IV. *Ventana de visualización gráfica.* En este espacio se pueden observar las gráficas experimentales o modeladas acerca de la posición del objeto.
- V. *Ventana de visualización tabular.* En este apartado se muestran los datos experimentales y modelados en formato de tabla para realizar análisis posterior.



Fig. 1. Interfaz gráfica del sistema de adquisición de datos.

III. PROCESO DE APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA EL FENÓMENO DE CAÍDA LIBRE

La aplicación del sistema de adquisición de datos para el análisis de experimentos de caída libre se basa en tres fases: a) Experimentación; b) Adquisición y procesamiento de datos; y c) Visualización de resultados (Fig. 2).

Fig. 2. Fase de aplicación del sistema de adquisición de datos



a) Experimentación

En esta fase se captura en video el experimento de caída libre a través de una cámara digital. No se requiere de instalaciones o equipamiento especializado, únicamente es

necesario utilizar como fondo en el video un elemento que sirva de escala de longitud lineal (regla, flexómetro, figura de longitud conocida, etcétera), la cual será empleada para la calibración del sistema durante la fase de adquisición y procesamiento de la información.

b) Adquisición y procesamiento de datos

En esta fase, primeramente, es necesario seleccionar el video en formato MP4 del experimento que se va a procesar para su análisis. Posteriormente, se realiza el proceso de calibración del programa que es una etapa medular para la extracción de los datos de la función de posición del objeto en estudio.

En los experimentos de una o dos dimensiones, la escala de la imagen se define a partir de la posición de dos puntos conocidos. Por simplicidad, durante la calibración se define el origen en la parte superior de la imagen digital. Mediante el cursor, el usuario selecciona la posición en la imagen de dos puntos (P1 y P2) para los cuales se ingresa la posición real del objeto a partir de la escala de referencia.

Con estas acciones el programa almacena, para estos dos puntos, la posición en píxeles ($x_{1P}, y_{1P}, x_{2P}, y_{2P}$) y la escala real ($x_{1R}, y_{1R}, x_{2R}, y_{2R}$). El factor de escalado a utilizar se calcula mediante la razón de la distancia euclidiana en píxeles respecto a la distancia real existente entre los dos puntos (1).

$$E = \frac{\sqrt{(x_{2P}-x_{1P})^2+(y_{2P}-y_{1P})^2}}{\sqrt{(x_{2R}-x_{1R})^2+(y_{2R}-y_{1R})^2}} \quad (1)$$

La utilización de este factor permite convertir la posición en píxeles de un objeto en la imagen digital, al equivalente de la posición en la escala real utilizada durante el experimento.

Una limitante en este método de extracción de datos experimentales es la distancia de enfoque del dispositivo de captura de video. La selección de la posición respecto al objeto debe de ser tal que el cambio de la escala de los objetos, que se encuentran en el centro o en los bordes de la imagen, sea despreciable. Experimentalmente esta condición es fácil de establecer mediante el uso de un fondo uniforme y colocando la cámara a una distancia de enfoque menor a cuatro metros.

Adquisición de los datos experimentales. Mediante la ventana de visualización del video el usuario puede reproducir cuadro por cuadro el movimiento del objeto. En cada imagen se debe seleccionar con el cursor la posición del objeto para que el programa calcule la posición real y el valor de la variable de tiempo con base al cuadro del video que se esté analizando.

Una vez que el programa calcula los datos de posición real del objeto y el valor de la variable de tiempo en base al cuadro

del video que se esté analizando, este modela el fenómeno a partir de la posición teórica del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado de la partícula. Inicialmente en el modelado del movimiento se desprecia el efecto de la resistencia del aire por lo que se considera una aceleración de 9.81 m/s². Sin embargo, mediante la barra de la aceleración que se encuentra en la sección de visualización gráfica es posible modificar este valor para considerar fenómenos donde la aceleración se vea reducida por algún factor, por ejemplo, el movimiento de un objeto en un plano inclinado o cuando el efecto de la resistencia al aire no sea despreciable.

c) Visualización de los resultados

A través de la ventana de visualización gráfica el sistema permite al usuario analizar mediante la representación gráfica, los resultados del experimento realizado y compararlos con el comportamiento teórico esperado. En la barra deslizante de esta ventana el usuario puede modificar el valor de la constante de gravitación utilizada por el sistema. Esta opción servir como punto de partida para que los usuarios reflexionen sobre los factores que puedan estar afectando el comportamiento del experimento. La representación gráfica del movimiento experimental y modelado puede ser seleccionada en función de las necesidades de la actividad didáctica planeada.

IV. PRUEBAS REALIZADAS

Con el objetivo de comprobar el funcionamiento del sistema de adquisición de datos de experimentos de caída libre se plantearon las siguientes actividades:

Actividad 1. Caída libre de objetos con similares condiciones geométricas pero diferentes masas.

Actividad 2. Movimiento de un objeto en un plano inclinado.

A. Actividad 1.

En la Fig. 3 se muestra el comportamiento teórico y experimental de dos experimentos realizados con esferas de diámetro aproximado de 8 cm y con masas de 130 gr y 10 gr, respectivamente. Como se puede observar, en el caso de la esfera de 130 gr, los resultados teóricos obtenidos utilizando el modelo de caída libre describen satisfactoriamente el comportamiento experimental del objeto. En el caso del objeto más ligero se observa que el comportamiento experimental no es modelado adecuadamente por el modelo de caída libre. Para estas condiciones, el modelado del movimiento del objeto requiere que se tomen en cuenta los efectos de la resistencia al aire, los cuales se hacen más significativos a medida que se reduce la masa de los objetos en movimiento o se incrementa la velocidad de los mismos.

Es importante resaltar que, aunque el tiempo de estos experimentos es menor que 500 ms, el procesamiento del video a través del sistema de adquisición de datos desarrollado permite realizar el análisis de 12 puntos a lo largo de la trayectoria, con un margen de error razonable para aplicaciones

didácticas. La relación entre el número de muestras que se pueden realizar con este método y el costo de los instrumentos del sistema desarrollado es mucho menor a la que pueden ofrecer algunos otros productos comerciales basados en la instrumentación por computadora de diferentes sensores de movimiento.

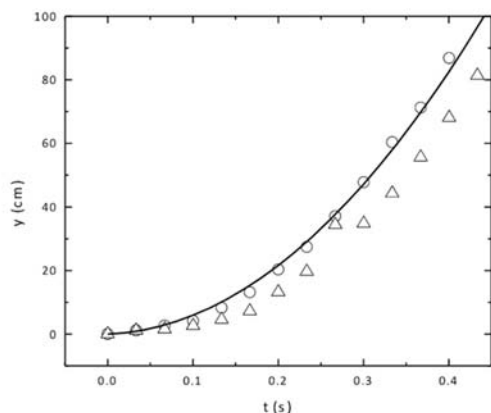


Fig. 3. Representación gráfica de la función de posición. ○ Esfera de 130 g; △ Esfera de 10 gr; - Modelo de caída libre.

B. Actividad 2.

Como se ha mencionado anteriormente, la rapidez con la que ocurren los experimentos de caída libre dificulta la instrumentación de los mismos. En niveles de enseñanza básica, no se cuenta con la formación y los instrumentos adecuados para analizar tal fenómeno. Esta situación ha hecho que a lo largo de la historia se busquen formas accesibles que permitan reproducir el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado en condiciones que sean de fácil medición. Galileo Galilei fue uno de los primeros filósofos que, interesado en el tema de caída libre, utilizó el concepto del plano inclinado para su estudio [11, 12].

Tomando como base esta anécdota histórica, es posible utilizar el sistema de adquisición de datos para la realización de un conjunto de experimentos que permitan analizar el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado (MRUA) a través del empleo del plano inclinado. De esta manera, los conocimientos adquiridos sobre el MRUA podrán ser fácilmente extrapolados para su aplicación al movimiento de un objeto en caída libre.

Para el estudio del MRUA de un objeto en un plano inclinado se utilizó el sistema desarrollado como se puede observar en la Fig. 4. En ambas actividades, la escala de referencia es definida a partir de una regla de 1 m de longitud. La calibración del sistema y el cálculo de la posición de los objetos se realizan a través de un sistema coordinado de dos dimensiones. En la Fig. 4-a se presenta la pantalla del sistema de adquisición de datos donde se muestra el comportamiento, experimental y modelado (con $g=9.81 \text{ m/s}^2$), del objeto en estudio. Como es de esperar, la inclinación del plano reduce la aceleración del objeto.

Mediante la barra deslizante del programa, el usuario puede ajustar la constante de aceleración que utilizará para el modelado de la posición del objeto (Fig. 4-b). Esta herramienta

proporciona a los usuarios una forma preliminar de analizar el efecto del ángulo de inclinación del plano sobre la aceleración resultante. Los datos experimentales obtenidos pueden ser exportados a un archivo de datos para su posterior análisis.

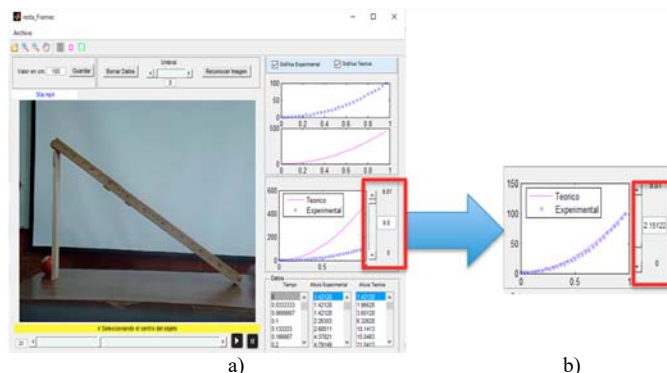


Fig. 4. Interfaz gráfica del sistema de adquisición de datos aplicada al estudio del MRUA mediante la utilización de un plano inclinado.

V. CONCLUSIONES

El sistema de adquisición de datos desarrollado posibilita la utilización de equipos digitales de uso cotidiano (cámaras, teléfonos inteligentes, computadoras, etcétera) para el análisis de experimentos básicos de cinemática. El procesamiento de videos permite a los usuarios extraer las funciones de movimiento de objetos captados a través de videos digitales.

La capacidad de multi-representación que incluye el sistema puede ser utilizada en la creación de actividades pedagógicas que fomenten el desarrollo de las competencias académicas relacionadas con la actividad científica entre las cuales destacan: la observación y la representación de los resultados experimentales, así como el análisis y modelados de los datos. En este sentido, es de esperar que la comparación de los resultados teóricos contra los conceptos descritos en la teoría o incluso contra conocimientos preestablecidos por los estudiantes, permitirán una mejor comprensión de los conceptos, así como un mayor grado del dominio de los temas analizados.

Cabe resaltar que, aun cuando el nivel de precisión del sistema está limitado a las características de los equipos utilizados, el estado actual de la tecnología digital permite que el nivel de precisión de los resultados obtenidos sea adecuado para fines didácticos, incluso en niveles de educación media superior.

En el presente trabajo se muestra la utilización del sistema de adquisición de datos para experimentos de MRUA en una y dos dimensiones. Sin embargo, la aplicabilidad del mismo incluye otros movimientos periódicos tales como el de péndulo simple, movimiento circular uniforme, etcétera. Una de las actividades futuras debe ser la de comprobar la utilización del sistema en actividades didácticas desarrolladas para grupos de estudiantes de educación básica.

REFERENCIAS

- [1] OECD, PISA, “Marco de evaluación de conocimientos y habilidades en ciencias, matemáticas y lectura,” 2006.
- [2] OECD, “Resultados PISA: Resumen ejecutivo,” 2009.
- [3] G. Valverde and E. Näslund-Hadley, “La condición de la educación en matemáticas y ciencias naturales en América Latina y el Caribe,” Banco Interamericano de Desarrollo, vol. IDBTN-211, pp.1-20, 2010.
- [4] A. V. Heuvelen, “Learning to think like a physicist: A review of research-based instructional strategies,” American Journal of Physics, vol. 59 (10), pp. 891-897, Octubre 1991.
- [5] G. D. Agudelo and G. García, “Aprendizaje significativo a partir de prácticas de laboratorio de precisión,” Latin America Journal of Physics Education, vol. 4 (1), pp. 149-152, 2010
- [6] J. Guisasola, M. Garmendia, A. Montero and J.I. Barragán, “Una propuesta de utilización de los resultados de la investigación didáctica en la enseñanza de la física,” Enseñanza de la Ciencia, vol. 30 (1), pp. 61-72, 2012.
- [7] F. Esquembre, “Computer in physics education,” Computer Physics Communications, vol. 147, pp. 13-18, Agosto 2002.
- [8] J. E. Martínez, “Obtención del valor de la aceleración de la gravedad en el laboratorio de física. Experiencia comparativa del sensor de un teléfono celular inteligente y el péndulo simple,” Revista EUREKA sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, vol. 12 (2), pp. 341-346, Febrero 2015.
- [9] SEP, “El trabajo experimental en la enseñanza de las ciencias con énfasis en física en la educación secundaria I,” 2011.
- [10] R. G. Camero-Berrones, M. Zapata-Torres, O. Calzadilla-Amaya, J. Guillen and J. Laría-Menchaca, “Desarrollo de un sistema para medir tiempos en experimentos de movimiento rectilíneo,” Revista Mexicana de Física, vol. 58 (1), pp. 18-23, Junio 2012.
- [11] L. R. Berrone, “Galileo y la génesis de la cinemática del movimiento uniformemente acelerado,” Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas – Llull, vol 24 (51), pp. 629-648, marzo 2001.
- [12] J. L. Álvarez, “El fenómeno de caída de los cuerpos,” Revista Mexicana de Física, vol. 58 (1), pp. 36-40, Junio 2012

Registro de Urgencias de Enfermería Evaluado bajo la Norma ISO/IEC 25000 para Productos de Software (SQuaRE - System and Software Quality Requirements and Evaluation)

Estefanía Cerrillo
División de Estudios de Posgrado
Tecnológico Nacional de México.
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, México
eka_3005@hotmail.com

Elisa Urquizo
División de Estudios de Posgrado
Tecnológico Nacional de México.
Instituto Tecnológico de la Laguna

Torreón, México

Enrique Cuán
División de Estudios de Posgrado
Tecnológico Nacional de México.
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, México

Diego Uribe
División de Estudios de Posgrado

*Tecnológico Nacional de México.
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, México*

Irma Andrade
Escuela de Licenciatura en
Enfermería
Universidad Autónoma de Coahuila
Torreón, México
irma.2405@hotmail.com

Resumen

La calidad del software es una preocupación de los ingenieros de software, ya que, todo proyecto tiene como objetivo producir software de la mejor calidad, y de ser posible que supere las expectativas de los usuarios. Es por lo que, la nueva familia de normas ISO/IEC 25000 son una guía que tratan de la calidad del producto y del proceso de desarrollo de software, proporcionando una guía para el uso de estándares internacionales, es identificada como: Requisitos y Evaluación de Calidad de Productos de Software (SquaRE-System and Software Quality Requirements and Evaluation). Gracias a esta norma la calidad del software puede ser estimada y medida. Se muestra la aplicación de la norma al proceso de evaluación de un software en la norma ISO/IEC 2501n:2005, en la vista externa de la categoría de Usabilidad, sus subcategorías y sus atributos. Se muestran los atributos, sus parámetros, fórmula y rangos de valores para ser aceptables. La valoración se realizó con la perspectiva del usuario final. Se concluye con resultados adecuadamente documentados de acuerdo con la norma ISO/IEC 25000:2005.

Palabras clave – SquaRE, ISO/IEC 25000:2005, calidad del software, atributos.

Abstract

Software quality is a concern of software engineers, since every project aims to produce the best quality software, and if possible exceed the expectations of users. That is why, the new family of ISO / IEC 25000 standards are a guide dealing with the quality of the product and the software development process, providing a guide for the use of international standards, it is identified as: Requirements and Evaluation of Quality of Software Products (Square-System and

Software Quality Requirements and Evaluation). Thanks to this standard, the quality of the software can be estimated and measured. The application of the standard to the process of evaluating a software in the ISO / IEC 2501n: 2005 standard is shown in the external view of the Usability category, its subcategories and its attributes. The attributes, their parameters, formula and ranges of values are shown to be acceptable. The assessment was made with the perspective of the end user. It concludes with suitably documented results in accordance with ISO / IEC 25000: 2005.

Keywords - Square, ISO / IEC 25000: 2005, software quality, attributes.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el mundo del desarrollo de software, es muy poco conocida y empleada la norma de calidad del producto norma ISO/IEC 25000, conocida como SquaRE (System and Software Quality Requirements and Evaluation), es una familia de normas que tiene por objetivo la creación de un marco de trabajo común para evaluar la calidad del producto software. La familia ISO/IEC 25000 es el resultado de la evolución de otras normas anteriores, especialmente de las normas ISO/IEC 9126, que describe las particularidades de un modelo de calidad del producto software, e ISO/IEC 14598, que abordaba el proceso de evaluación de productos software [1]; su objetivo principal es guiar el desarrollo de los productos de software con la especificación y evaluación de requisitos de calidad, así como, establecer criterios para la especificación de requisitos de calidad de productos software, sus atributos y su evaluación.

En la presente contribución se incluye una explicación de la norma ISO/IEC 25000 SQuaRE, mencionando las divisiones que componen a esta norma. Se exhibe un ejemplo práctico de la aplicación de la norma ISO/IEC 25000 sobre un producto de software que fue desarrollado para mejorar los procesos del personal de enfermería en el área de urgencias del Hospital General de Salubridad [2], ubicado en el municipio de Gómez Palacio, Durango; el cual ofrece los procesos de ingreso y egreso de pacientes, control de medicamentos, dietas, generación de indicadores mensuales, etc. Estos procesos son realizados por la aplicación de manera local, por lo cual, el consumo de recursos no es muy elevado, pero si el almacenamiento de información.

En este proceso se expone el concepto de usabilidad como métrica de software y se desarrolla su descripción desde la Vista Externa, sus 5 subcategorías y 28 atributos que se representan para evaluar. Se propone una metodología de evaluación de productos de software general y ajustable a cualquier tipo de producto de software. Se demuestra con 6 de los 28 atributos que conforman la característica de Usabilidad Externa.

Las pruebas se realizaron en un ambiente donde se expone al usuario final al software antes indicado. El resultado del proceso se muestra en las siguientes secciones, concluyendo en pruebas favorables conforme a los rangos especificados por la norma ISO/IEC 25000. El objetivo esencial ha sido el propiciar la aplicación del proceso de evaluación de la calidad en los desarrollos de software, mediante las normas estandarizadas y sus atributos. Esta contribución se justifica por el escaso conocimiento de las normas de calidad en el software como la ISO/IEC 25000.

II. MÉTODOS Y MATERIALES

La norma ISO/IEC 25000 para la evaluación se divide en tres vistas: interior, exterior y en uso, las cuales se divide a su vez en subcategorías que a su vez se componen de atributos. El modelo establece diez características, seis que son comunes a las vistas interna y externa y cuatro que son propias de la vista en uso, ver figura 1.



Figura 1: Tipos de Vistas

Esta familia de normas ISO/IEC 25000 se encuentra compuesta por cinco divisiones, ver figura 2.

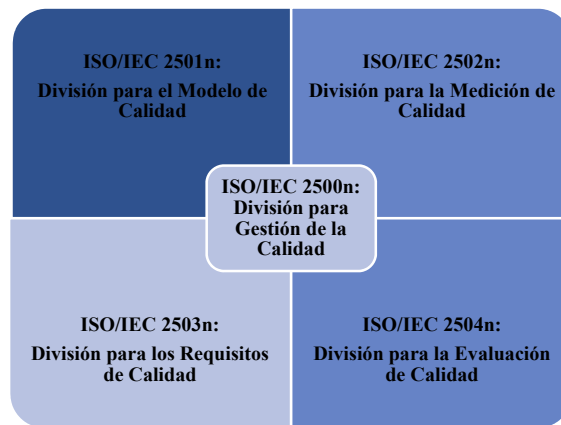


Figura 2: Divisiones ISO/IEC 25000:2005

1. Modelo de Calidad ISO/IEC 2501n SQuaRE

En este modelo se establecen las características de calidad que se van a tomar en cuenta al momento de evaluar las propiedades de un producto software determinado.

La calidad del producto software se puede interpretar como el grado en que dicho producto satisface los requisitos de sus usuarios aportando de esta manera un valor. Son precisamente estos requisitos (funcionalidad, rendimiento, seguridad, mantenibilidad, etc.) los que se encuentran representados en el modelo de calidad, el cual categoriza la calidad del producto en características y subcategorías [1].

El modelo de calidad definido por la ISO/IEC 25010 se encuentra compuesto por las ocho características de calidad que se muestran en la figura 3.



Figura 3: ISO/IEC 2501n

En la figura 3, localizamos la categoría de Usabilidad. El termino de Usabilidad surgió en el ámbito de

estudio Interacción persona-ordenador como una disciplina que busca que los usuarios se sientan cómodos al usar un software determinado. Si el software es capaz de atraer al usuario, tiene calidad, y podemos afirmar que hay una técnica de usabilidad correctamente aplicada, por lo que el nuevo paradigma es lograr que las aplicaciones de gestión marquen la diferencia entre adquirir un software diseñado para realizar las funcionalidades de este, y otro diseñado con el mismo objetivo, pero que además le facilite el trabajo al usuario [2].

La organización responsable de la estandarización ISO (International Standardisation Organization) propone dos definiciones del término Usabilidad:

1. El estándar ISO 9241-117 que forma parte de la serie ISO 9241a, define la usabilidad como "la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado" [3].
2. Algunos autores, como Beltré Ferreras, en sus trabajos resaltan que la definición del estándar ISO 9241-11 contiene en su norma una visión sobre la aceptabilidad de un producto, la cual se fundamenta en:
 - Eficacia (effectiveness): Representa la exactitud con la cual los usuarios alcanzan sus metas especificadas.
 - Eficiencia (efficiency): Los recursos gastados con relación a la certeza con la cual los usuarios logran las metas.
 - Satisfacción: La comodidad y la aceptabilidad del uso [4].

El software que se presenta para evaluación se desarrolló con la finalidad de mejorar los procesos, tales como, registro de enfermería, evaluar la productividad del personal y obtener indicadores de desempeño en el departamento de urgencias del Hospital General de Salubridad en la ciudad de Gómez Palacio, Durango; Este software cuenta con 3 módulos, que son: agregar paciente, imprimir identificación del paciente e ingreso y egreso de pacientes, generar los reportes de dieta, especialidad, movimiento diario de pacientes e indicadores por turno y mes de las actividades de enfermería. Estos procesos los realiza de manera local, por lo cual, el consumo de recursos no es muy elevado, pero si el almacenamiento de información.

Las características de R Urgencias [2]: versión 1.0.0, lenguaje de programación C#, sistema operativo Windows, plataforma «x86-64», tamaño 400 bytes, género entorno de escritorio, licencia propietaria, idiomas español.

Referido a la categoría de Usabilidad, sobre la cual se efectuaron las pruebas de calidad y se seleccionaron 6 atributos de entre un total de 28 y 5 subcategorías. Se efectuaron evaluaciones para los siguientes atributos: eficacia de demostración, funciones evidentes, comprensible entrada y salida, facilidad de aprendizaje para realizar una

tarea en uso, consistencia operacional en uso e interacción atractiva.

Estas valoraciones se realizaron conforme a cada uno de los aspectos detallados en la norma ISO/IEC 2501n SQuaRE y se han documentado los resultados en este instrumento, se registraron los tiempos de asimilación de la aplicación generando sus gráficos de aprendizaje. La norma ISO se aplicó por medio de entrevistas, cuestionarios y el uso del software por los usuarios objetivo en el contexto real de aplicación, este proceso se filmó con la intención de poder analizar cualquier detalle del proceso de pruebas.

La muestra de usuarios finales son el personal de enfermería del área de urgencias de los 4 turnos con un total de 18 personas, con los que cuenta este nosocomio, es decir, personal entre 22 y 55 años, técnicos en enfermería y licenciados en enfermería, expertos en el área de urgencias médicas y técnicas de enfermería, con las habilidades en su materia y en atención al paciente; pero con pocos o nulos conocimientos sobre el uso de computadoras, por ende, poco manejo de algún software especializado; razón por la que se impartió una capacitación de 8 horas sobre el uso del sistema, la cual fue impartida por la creadora del software, que es licenciada en sistemas computacionales administrativos y alumna de maestría en sistemas computacionales ; que a su vez aplicó la evaluación de la norma ISO/IEC 25000 en este producto de software; bajo la guía de la catedra en Calidad de Software de los coautores de este artículo.

Se incluye la tabla 1 como referencia de los atributos que se valoraran en este sistema, la cual es una traducción personal de las tablas originales que se encuentran en inglés.

Tabla 1. Atributos Usabilidad asociadas a norma ISO/IEC 2501n

Nombre de la Métrica	Propósito de las métricas	Método de aplicación	Mediciones, fórmula y cómputos de elementos de datos	Interpretación de los valores de medición y Tipo de Escala
Eficacia de demostración	¿Qué proporción de funciones puede el usuario operar con éxito después de una demostración o tutorial?	Observe el comportamiento del usuario que intenta ver la demostración / tutorial. La observación puede emplear un enfoque de monitoreo de acción cognitiva humana con una cámara de video.	A = Número de funciones operadas con éxito B = Número de demostraciones / tutoriales accedidos	$0 \leq X \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluta
Funciones evidentes	¿Qué proporción de funciones (o tipos de funciones) puede identificar el usuario en función de las condiciones de inicio?	Realice una prueba de usuario y entreviste al usuario con cuestionarios u observe el comportamiento del usuario. Cuente el número de funciones que son evidentes para el usuario y compárelas con el número total de funciones.	$X = A / B$ A = Número de funciones identificadas por el usuario (o tipos de funciones) B = Número total de funciones reales (o tipos de funciones)	$0 \leq X \leq 1$ Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluta
Comprensible entrada y salida	¿Pueden los usuarios comprender	Realice una prueba de usuario y entreviste al	$X = A / B$ A = Número de elementos	$0 \leq X \leq 1$

	qué se requiere como datos de entrada y qué se proporciona como salida por el sistema de software?	usuario con cuestionarios u observe el comportamiento del usuario. Cuente el número de elementos de datos de entrada y salida que entiende el usuario y compárelos con el número total de ellos disponibles para el usuario.	de datos de entrada y salida que el usuario entiende con éxito B = Número de elementos de datos de entrada y salida disponibles desde la interfaz	Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto
Facilidad de aprendizaje para realizar una tarea en uso	¿Cuánto tiempo lleva el usuario para aprender a realizar la tarea especificada de manera eficiente?	Observe el comportamiento del usuario desde el momento en que comienza a aprender hasta que comienza a operar de manera eficiente.	T = Suma del tiempo de operación del usuario hasta que el usuario logre realizar la tarea especificada en poco tiempo	0 < T Cuanto más corto es, mejor. Proporción
Consistencia operacional en uso	¿Qué tan consistente es el componente de la interfaz de usuario?	Observe el comportamiento del usuario y pregunte la opinión.	a) $X = 1 - A / B$ A = Número de mensajes o funciones que el usuario considera inaceptables, inconsistentes con las expectativas del usuario B = Número de mensajes o funciones	0 <= X <= 1 Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. Absoluto
			b) $Y = N / UOT$ N = Número de operaciones que el usuario consideró inaceptables e inconsistentes con las expectativas UOT = tiempo de operación del usuario (durante el periodo de observación)	0 <= Y Cuanto más pequeño y más cerca de 0.0 es mejor. Proporción
Interacción atractiva	¿Qué tan atractiva es la interfaz para el usuario?	Cuestionario para los usuarios	Cuestionario para evaluar el atractivo de la interfaz para los usuarios, después de la experiencia de uso	Depende de su método de puntuación del cuestionario Absoluto

Los resultados se muestran en la sección de Análisis de Resultados.

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados de la valoración realizada se muestran en las tablas 2 y 3, estas tablas exponen la totalidad de los datos requeridos por la norma SQuaRE, para la subcategoría de comprensibilidad, para el atributo de funciones evidentes de la categoría de usabilidad, este atributo trata sobre las funciones que el usuario puede identificar en función de las condiciones de inicio. Como se puede ver en las tablas los resultados fueron éxitos al localizarse dentro de los rangos que pide la norma SQuaRE.

La valoración de este software se llevó a cabo de la siguiente manera: en un primer momento se expuso al usuario final al software, sin haberle mostrado ningún tutorial, ni manual de usuario, solo se le otorgaron usuarios y

contraseñas de la aplicación y se le solicitó que la empleara como fuera comprendiendo los procesos de las funciones, se le pidió que externara en voz alta su pensamiento sobre el Software y sus funciones, para de esta manera evaluar la comprensión de los procesos. Se realiza el vaciado a la tabla de datos, se aplican las fórmulas y se obtienen los resultados. Esto revelará, que funciones son evidentes para el usuario. Un resultado óptimo debe de estar lo más cerca de 1, en dado caso de que no se llegue a ese valor, tendríamos que hacer cambios en el software para que este fuera más efectivos.

Tabla 2. Resultados atributo Funciones Evidentes- >Comprensibilidad. Parte 1

Nombre de la Métrica	Propósito de las métricas	Método de aplicación	Mediciones, fórmula y cómputos de elementos de datos	Interpretación de los valores de medición
Funciones evidentes	¿Qué proporción de funciones (o tipos de funciones) puede identificar el usuario en función de las condiciones de inicio?	Realice una prueba de usuario y entreviste al usuario con cuestionarios u observe el comportamiento del usuario. Cuente el número de funciones que son evidentes para el usuario y compárelas con el número total de funciones.	$X = A / B$ A = Número de funciones identificadas por el usuario (o tipos de funciones) B = Número total de funciones reales (o tipos de funciones) A = 15 B = 29 X = 0.86	0 <= X <= 1 Cuanto más cerca de 1.0 es mejor. 0 <= 0.86 <= 1

Tabla 3. Resultados atributo Funciones Evidentes- >Comprensibilidad. Parte 2

Tipo de escala métrica	Tipo de medida	Entrada de Medición	ISO/IEC 12207 SLCP Referencias	Audiencia Objetivo
Absoluto	A= Cuenta B= Cuenta X= Cuenta/ Cuenta	Manual de Usuario Reporte de operaciones (pruebas)	5.3 Prueba de Calificación 5.4 Operación	Desarrollador

Otros atributos aplicados fueron: comprensible de entrada y salida, es decir, que tanto pueden los usuarios entender que se requiere como datos de entrada y que datos se proporcionan como salida por el sistema de software, para lo cual se observa el comportamiento del usuario y se le pide que pregunte cada que no entienda que dato se le solicita en cada componente, de esta manera se va evaluando el número de elementos de datos de entrada y salida que el usuario entiende con éxito; se aplica la fórmula de $X = A/B$, donde A= los datos que se entienden con éxito entre B = el número total de elementos de entrada y salida disponibles; el resultado de esta operación debe salir lo más cerca de 1 para ser exitoso, si esto no se cumple, se deben revisar las instrucciones y tipos de datos donde el usuario batallo más y corregirlas para conseguir mayor comprensión; en nuestra prueba este atributo obtuvo un 0.85, es decir, valor exitoso para este software.

En el atributo de interacción ittractiva, se mide el uso que tiene la interfaz en el programa, para que el usuario se sienta cómodo a la hora de usarlo, es decir, que le guste, que sea

fácil de manejar, vistosa, etc. Los resultados varían en este atributo respecto a los anteriores, debido a que debemos hacer preguntas directamente al usuario sobre qué le pareció la interfaz.

Dejamos al usuario unos momentos a que usara la interfaz, después le hicimos las siguientes preguntas: ¿Qué te pareció la interfaz?, ¿Te agradan los colores?, ¿Es adecuada el orden de los componentes de la interfaz?, ¿Son entendibles las instrucciones?, ¿El tamaño y tipo de letra es adecuado?, ¿Los botones son del tamaño adecuado?, ¿Los iconos reflejan el significado correcto?, ¿El tamaño de las ventanas del sistema son adecuadas?, ¿La consideras difícil o fácil? Los resultados de estas cuestiones deben ser en su mayoría positivas, en este contexto, al usuario le gusto la interfaz y nos contestó afirmativamente en todas las preguntas.

IV. TRABAJO A FUTURO

Los trabajos a futuro son: el evaluar de una manera integral el sistema, de este modo ir creando versiones para su mejora; se pretende que el sistema forme parte de un macrosistema, que cubra las necesidades de cada uno de los departamentos de un hospital. Esperamos que esta evaluación origine un significativo análisis que contribuya a la creación de modelos de evaluación de calidad de productos de software y que de este instrumento resulten innovaciones y optimizaciones en el tema de calidad y la aplicación de las métricas para su implementación.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se expuso la norma SQuaRE ISO/IEC 25000:2005; en su subcategoría ISO/IEC 2501n la cual expone los atributos que evalúan la División para el Modelo de Calidad; las normas de este apartado presentan modelos de calidad detallados incluyendo características para calidad interna, externa y en uso del producto software. Actualmente esta división se encuentra formada por:

- ISO/IEC 25010 - System and Software Quality Models: describe el modelo de calidad para el producto software y para la calidad en uso. Esta Norma presenta las categorías y subcategorías de calidad frente a las cuales evaluar.

Se tomó en cuenta la subcategoría de usabilidad y algunos de sus atributos, aplicando herramientas sugeridas por la misma subcategoría; que fueron desde cuestionarios, la opinión del usuario, sus reacciones y dudas.

Este proyecto surge a la gran necesidad de crear software para ser aplicado en cualquier contexto, genera un mayor enfoque para la evaluación de la calidad en los sistemas de software. Existe la norma SQuaRE ISO/IEC 25000:2005, una herramienta efectiva y sencilla para indicar aciertos y puntos de mejora en el desarrollo de productos de ingeniería de software. Este trabajo espera contribuir a la construcción de pruebas de valoración del software para generar nuevas y mejores perspectivas de calidad.

VI. REFERENCIAS

- [1] P. I. 25000, «Portal ISO,» Portal ISO, 02 mayo 2017. [En línea]. Available: <http://iso25000.com/index.php/normas-iso-25000>. [Último acceso: 20 noviembre 2017].
- [2] E. Cerrillo Andrade, *RUrgencias*, Torró, Coahuila, 2017.
- [3] D. L. Perurena Cancio y I. M. Moráquez Bergues, «Usabilidad de los sitios Web, los métodos y las técnicas para la evaluación,» *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud*, vol. 24, n° 2, 2013.
- [4] ISO, «Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)-Part 11: Guidance on usability». 03 1998.
- [5] B. Ferreras, *Tesis doctoral: "Aplicación de usabilidad al proceso de desarrollo de páginas web"*, Madrid: Universidad Politecnica de Madrid., 2008, pp. 009-056.

Estefanía Cerrillo Andrade es Licenciada en Sistemas Computacionales Administrativos por la Universidad Autónoma de Coahuila, Maestrante en Sistemas Computacionales, Docente en la Universidad Autónoma de Coahuila.

Elisa Urquiza Barraza es Ingeniera Electrónica por el Instituto Tecnológico de la Laguna, con estudios de Maestría en Sistemas Computacionales por el ITESM, estudios de Maestría en Educación y Desarrollo Docente por la UIA, y Doctorado en Administración Estratégica por el Instituto Internacional de Administración Estratégica. Profesora Investigadora con más de 20 años de experiencia en licenciatura y posgrado. Es responsable de la Línea de Investigación de Tecnología Aplicada a la Educación del Posgrado en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de la Laguna.

Enrique Cuan Durón es Doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por Instituto Tecnológico de La Laguna en Torreón Coahuila, México y la Universidad de Poitiers, República Francesa. Es responsable del cuerpo académico en Ingeniería de Software del posgrado en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna.

Diego Uribe Agundis es Doctor en Ciencias de la Computación por University of Sheffield, UK. Es responsable de la Línea de Investigación en Sistemas Inteligentes del posgrado en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de La Laguna.

Irma Andrade Valles es Licenciada en Enfermería por la Universidad Autónoma de Coahuila, Maestra en Enfermería Comunitaria por la Universidad Autónoma de Nuevo León y Doctora en Educación con Acentuación en Competencias por el Instituto Didaxis. Miembro de la Academia de la Escuela

de Licenciatura en Enfermería de la UAdeC Unidad Torreón.
Profesora Investigadora con más de 20 años de experiencia
en licenciatura y posgrado. Es responsable del cuerpo
académico en Educación para la Salud y Formación
Universitaria.

Análisis de riesgos para la identificación de requerimientos en el desarrollo de un Portal Informativo

José Antonio Navarrete Prieto, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, posgrado_itla@yahoo.com.mx

Jose Antonio Gallardo Godínez, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, antonio_gal2002@yahoo.com.mx

Hilda Díaz Rincón, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, c_computo_sie@hotmail.com

Rebeca Viguera Echeverría, Estudiante de la Carrera de Ingeniería en Tics, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, hdtmateria4@gmail.com

Iliana Gabriela Laguna López de Nava, Departamento de Sistemas y Computación, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, México, ilianaxim@hotmail.com

Abstract— Aplicar la gestión de riesgos de proyectos en la implementación del software busca identificar y priorizar riesgos antes de que estos ocurran al otorgar un análisis de la información orientada a acciones dentro del desarrollo del portal web. El resultado del mismo permitió detectar los modos de falla de proceso que generan riesgos en el desarrollo del portal con la finalidad de disminuir la incertidumbre, ya que cuanto con más antelación se vayan reconociendo los posibles problemas en el proyecto permite tomar decisiones que para el caso de estudio resultó en la disminución de costos y tiempos al integrar las estrategias y los recursos necesarios en los requerimientos del Portal.

Keywords— *software, riesgo, portal, requerimiento*

I. INTRODUCCION

Un efectivo proceso de gestión de riesgos es un importante componente en todo proyecto de software exitoso y toma mayor importancia ya que involucra a toda la organización y el entorno de la misma.

La era tecnológica y la globalización de la economía, ha traído como consecuencia el aumento sustancial de los riesgos en general en el proceso de desarrollo del software. se pueden encontrar diversidad de problemas e imprevistos, como el incumplimiento de los plazos, presentar costos superiores a los presupuestados y dar lugar a productos de baja calidad. Estos problemas no pueden ser totalmente eliminados, es posible controlarlos y mitigarlos mediante la aplicación de técnicas de gestión y análisis de riesgos que ayudan a resolver los problemas de manera preventiva.

Se han producido amplios debates sobre la definición adecuada para riesgo de software y hay acuerdo común en que el riesgo siempre implica dos características: incertidumbre al considerar la probabilidad de que ocurra y pérdida, cuando este se convierte en una realidad.

Así la gestión de riesgos permite definir en forma estructurada, operacional y organizacional, una serie de actividades para gestionar los riesgos de los proyectos a lo largo de todas las fases de su ciclo de vida de desarrollo de software. Por otro lado, es necesario que las herramientas, métodos e infraestructura utilizada sea adaptada a la realidad en donde se realiza el proyecto, de esta forma se logra que cada organización haga uso de estos recursos de manera eficiente, considerando las estrategias necesarias para gestionar los riesgos de acuerdo al contexto en cada organización.

El propósito de este análisis es, identificar los riesgos en la empresa "Phicom Tecnologías S. A. de C. V." que se puedan presentar en el desarrollo del proyecto, con el propósito de mitigar los posibles problemas en la implementación del portal, para analizarlos, calcular la exposición y en base a ello poder priorizarlos, para establecer estrategias de control y solución, basándose en lo que establece el PMBOK (Project Management Body of Knowledge) y SEI (Software Engineering Institute) de donde se extraerán conclusiones sobre la eficacia de cada uno de los procesos definidos en la gestión de riesgos como identificación, evaluación, plan de contingencia, documentación y control.

II. DESARROLLO

La gestión de riesgo es solo una faceta del proceso de desarrollo de software que comienza junto con la definición y

continúa a través de la planificación, ejecución y control, hasta la finalización y clausura del proyecto. Sin embargo, el análisis, seguimiento y control de riesgos es una de las áreas más débiles del proceso de desarrollo [1]. En efecto, el riesgo puede ser reducido a través del de este proceso [2]. El uso de metodologías de software inapropiadas, pobre planificación, monitoreo y control, agregan riesgo a un proyecto. Mucho se ha escrito acerca de los efectos negativos de las subestimaciones en la programación de un proceso de desarrollo, lo cual resulta en un acortamiento de las actividades de éste [3,4].

Dentro de esta investigación es necesario revisar los conceptos de las diversas metodologías principales sobre la gestión de riesgos en los proyectos y que pueden ser aplicada en el desarrollo de software, toda vez que es realizada la revisión, se establece considerar lo que establece el PMBOK y los fundamentos de SEI realizando las adaptaciones necesarias para la empresa.

El proceso de recopilar, analizar y verificar las necesidades del cliente o usuario para un sistema es llamado ingeniería de requerimientos, la meta de la ingeniería de requerimientos es entregar una especificación de requisitos de software correcta y completa, por lo que se mencionan otros conceptos de ingeniería de requerimientos como son:

“Ingeniería de Requerimientos ayuda a los ingenieros de software a entender mejor el problema en cuya solución trabajarán. Incluye el conjunto de tareas que conducen a comprender cuál será el impacto del software sobre el negocio, qué es lo que el cliente quiere y cómo interactuarán los usuarios finales con el software”. [5]

“La ingeniería de requerimientos es el proceso de desarrollar una especificación de software. Las especificaciones pretenden comunicar las necesidades del sistema del cliente a los desarrolladores del sistema”. [6].

En síntesis, el proceso de ingeniería de requerimientos se utiliza para definir todas las actividades involucradas en el descubrimiento, documentación y mantenimiento de los requerimientos para un producto de software determinado, donde es muy importante tomar en cuenta que el aporte de la Ingeniería de requerimientos vendrá a ayudar a determinar la viabilidad de llevar a cabo el software (si es factible llevarlo a cabo o no), pasando posteriormente por un subproceso de obtención y análisis de requerimientos, su especificación formal y para finalizar con el subproceso de validación donde se verifica que los requerimientos realmente definen el sistema que quiere el cliente. La Ingeniería de Requerimientos cumple un papel primordial en el proceso de producción de software ya que, se enfoca un área fundamental: la definición de lo que se desea producir y su principal tarea consiste en la generación de especificaciones correctas que describan con claridad, sin ambigüedades en forma consistente y compacta, las necesidades de los usuarios o clientes; de esta manera, se pretende minimizar los problemas relacionados por la mala gestión de los requerimientos en el desarrollo de sistemas, es aquí donde a través de un inicial análisis de riesgo se logra establecer una mejor comunicación con los involucrados para el desarrollo del portal, además de optimizar el uso de recursos tanto humanos como materiales en el desarrollo del mismo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es muy frecuente escuchar entre los expertos del desarrollo de software, que un gran número de los proyectos de software

fracasan por no realizar una adecuada definición, especificación, y administración de los requerimientos. Dentro de esa mala administración se pueden encontrar factores como la falta de participación del usuario, requerimientos incompletos y el mal manejo del cambio a los requerimientos. Además de considerar algunos de los riesgos como los que se mencionan a continuación:

- Acceso a la base de datos y robo de información personal de la empresa y de la información de sus sistemas de información.
- La alteración del código fuente con el fin de cambiar lo que se muestra o ser utilizado por otros.
- Los comentarios que tengan palabras altisonantes, dan una mala imagen a la empresa e incomodan a otros usuarios que visitan la página.
- El no tener control para usuarios que pueden ingresar al sistema, ocasiona que cualquier persona no autorizada entre y altere la información que se almacena en él.
- El no pagar periódicamente el alojamiento ocasiona que el sitio no esté visible y la empresa se quede sin sitio web

MARCO TEÓRICO

El proceso de Gestión de Riesgo puede ser modelado por un conjunto de cinco actividades: Identificar, Analizar, Planificar, Gestionar y Controlar, como se muestran en la figura 1



Fig.1: Diagrama del Proceso de Gestión de Riesgos.

Fuente Elaboración propia con base en [7]

A pesar de que el diagrama muestra acciones secuenciales, todas las actividades ocurren continua y concurrentemente, puesto que los riesgos son controlados en paralelo mientras, al mismo tiempo, nuevos riesgos son definidos y analizados. A su vez, la planificación de un riesgo puede generar el descubrimiento de otros nuevos riesgos.

Identificación. Esta actividad es la primera en la Gestión de Riesgo y consiste en localizar los riesgos, anticipándose a ellos, de manera de evitar que se transformen en problemas, ya que antes de gestionar los riesgos, hay que identificarlos. La identificación de riesgos es una actividad que implica llevar hechos intangibles, como son incertezas o debilidades del equipo, en riesgos tangibles, que pueden ser descritos y medidos. Cada miembro del equipo tiene la responsabilidad de identificar riesgos y el equipo de Gestión de Riesgo es el encargado de encauzar la información recolectada acerca de los riesgos identificados [8].

La idea de la identificación de riesgos es la de detectar la mayor cantidad posible de éstos y de manera iterativa dado que siempre existe la posibilidad de riesgos no detectados o emergentes. El nivel de exposición varía en el tiempo como

resultado de decisiones y acciones tomadas previamente en el proyecto y cambios externos impuestos, es por esto que se plantean varias técnicas que ayudan al desarrollo de este paso y brindan una perspectiva de detalle según lo requiera el proyecto, tal y como lo presenta Eddy Castillo en el “Proyecto de Elaboración de la metodología de riesgos” [9].

[10], menciona que la guía del PMBOK divide la Gestión del Riesgos en 6 procesos: Planificación de la Gestión de Riesgos, Identificación de Riesgos, Análisis Cualitativo de Riesgos, Análisis Cuantitativo de Riesgos, Planificación de la Respuesta a los Riesgos, y Seguimiento y Control de Riesgos, ver tabla 1.

Tabla 1. Procesos de la Gestión de Riesgos PMBOK

Procesos	Descripción
Planificación	Define el alcance y objetivos del proceso de gestión de riesgos, y asegura que el proceso de riesgo es integrado totalmente en la administración del proyecto
Identificación	Identifica tantos a riesgos conocibles como factibles.
Análisis Cualitativo	Evalúa las características clave de los riesgos individuales permitiendo priorizarlos para posteriores acciones.
Análisis Cuantitativo	Evalúa los efectos combinados de riesgos en el global del proyecto.
Planificación de Respuestas	Determina las estrategias y acciones de respuestas apropiadas para cada riesgo individual y global, y los integra a un plan de administración consolidado.
Monitoreo y control	Implementa acciones concertadas, revisa cambios en exposiciones a riesgos, identifica si se requieren acciones adicionales y evalúa la efectividad del proceso de gestión de riesgos.

Fuente: [11].

Para [12], el método de gestión de riesgo(SEI - Software Engineering Institute), fue definido con el fin de establecer las bases necesarias para la aplicación de software, donde el objetivo es alcanzar un enfoque disciplinado y sistemático para llevar a cabo el proceso y a medida que se van desarrollando cada una de las fases establecidas, se obtiene información de las mejores prácticas y se analiza los parámetros necesarios y comunes para crear un marco de trabajo general, de tal forma que sea aplicable a diferentes ámbitos.

Este método presenta un ciclo continuo, en el que se maneja un flujo lógico de información entre las fases que lo componen, consta de cinco pasos fundamentales ver tabla 1, como la identificación, el análisis, la planificación, el seguimiento y control, y la comunicación. Como mejores prácticas se encuentra que en la fase de identificación se llevan a cabo evaluaciones de riesgos utilizando la taxonomía y la fase de comunicación que se define como el núcleo de todo el proceso.

Tabla 2. Pasos Método de Gestión de Riesgos SEI

1. Identificación	El objetivo es encontrar los principales riesgos antes de que afecten negativamente a un proyecto, por lo tanto, debe llevarse a cabo por medio de una técnica que permita identificar los riesgos de forma continua la cual fue nombrada taxonomía.
2. Análisis	Transformación de los datos de los riesgos en información para llevar a cabo su gestión. Cada riesgo debe conocerse lo suficiente como para
3. Planificación	Incluye acciones de manejo de los riesgos, priorizándolos y llevando a cabo un plan de gestión.
4. Seguimiento y Control	Fase necesaria para la aplicación eficaz de un plan. Se debe verificar la integración con la gestión global del proyecto.
5. Comunicación	Se considera como un elemento indispensable para que el proceso sea viable, debido a que facilita la interacción entre todas las fases anteriores.

Fuente: [11].

El método de identificación basado en taxonomías trabaja agrupando las distintas fuentes de riesgos en varias categorías para realizar un proceso sistemático. Provee un marco para organizar los datos y la información. Adicionalmente, la estructura fundamental consta de tres niveles y subniveles en que se detallan todos los posibles componentes implicados en el análisis a realizar, tal como lo plantea [13] en su artículo “Review of Risk Management Methods”.

METODOLOGÍA

En este trabajo se utilizó el método de investigación descriptiva como lo indica que se aplica sin ninguna manipulación o modificación de los hechos y de la información investigada, basándose únicamente en la descripción de su ocurrencia, incluyendo la investigación documental. Como un estudio descriptivo se obtuvo información acerca del fenómeno objeto del estudio, describiendo la situación e identificando sus diferentes elementos.

Esta propuesta estuvo sometida a la adaptación del funcionamiento de la empresa y será utilizado como modelo de trabajo para contar con una estructura en el desarrollo de la gestión del riesgo para la implementación del portal en mención. Se realiza toda la descripción detallada de cada metodología sin necesidad de registrarse con un modelo en específico, se detalla el paso a paso, y su filosofía con el fin de tomar los recursos necesarios para un mayor entendimiento.

Es evidente que pocas pymes utilizan todavía de una forma explícita y sistemática métodos concretos para gestionar los riesgos en sus proyectos, por suponer que la implementación pudiera entorpecer el desarrollo que podría ser demasiado compleja para su adaptación.

Kontio y Basili citados por [13] sugieren en el reporte técnico “Empirical Evaluation of a risk management Method” que hay tres razones principales para la baja tasa de divulgación en tecnologías de gestión del riesgo como: la falta de conocimiento sobre posibles métodos y herramientas, las limitaciones prácticas y teóricas de los marcos de gestión de riesgos que entorpecen la facilidad de uso, y el bajo desarrollo de informes con evaluaciones sistemáticas o científicas que proporcionen viabilidad y beneficios.

La idea de la identificación de riesgos es la de localizar y detectar la mayor cantidad posible de éstos de manera iterativa

dado que siempre existe la posibilidad de riesgos no detectados o emergentes. El nivel de exposición varía en el tiempo como resultado de decisiones y acciones tomadas previamente en el proyecto y cambios externos impuestos, es por esto que se plantean varias técnicas que ayudan al desarrollo de este paso y brindan una perspectiva de detalle según lo requiera el Proyecto.

IMPLEMENTACION

Durante el desarrollo del proyecto, se consideró tener especial cuidado en las amenazas del plan del proyecto, es decir, si los riesgos del proyecto se hacen realidad, es probable que la planificación temporal del desarrollo del portal web se retrase y que los costos aumenten, cabe señalar que en esta etapa se tuvieron algunos percances, tales como presupuesto, planificación temporal, personal (asignación y organización), recursos, clientes y requisitos, donde su impacto en el desarrollo del portal web se ve reflejado en la tabla 3

Tabla 3. Riesgos de un Portal Web.

Riesgo	Estrategia de recompensa
Personal	Capacitación al personal en cuanto al uso del portal y del sistema.
Clientes y Requisitos	Establecer una buena comunicación con el director de la empresa y con el ingeniero de sistemas para cumplir sus expectativas.
Planificación	Organizar el trabajo para evitar retrasos.
Recursos	Optimizar los recursos para obtener el mejor resultado.
Impacto	Diseñar un sitio web que sea atractivo para los clientes y la empresa sea promovida.
Presupuesto	Se considerará en base a las horas de trabajo que se invirtieron para llevar a cabo el desarrollo del sitio.

Fuente: Elaboración propia

En el contexto de los riesgos técnicos se identificaron ciertos problemas potenciales en el diseño del portal web, tales como: implementación de interfaz, verificación y mantenimiento. Además, las ambigüedades de especificaciones, incertidumbre técnica, técnicas anticuadas y las "tecnologías punta" son también factores de riesgo ya que en cierto momento del diseño surgieron nuevos requerimientos a solicitud del departamento de sistemas, para ello se presenta la tabla 4.

Tabla 4 Riesgos Técnicos de un Portal Web

Riesgo	Estrategia de recompensa
Diseño	Desarrollar un sitio atractivo y que se adapte a los diferentes navegadores para que sea de fácil uso al usuario.
Implementación	Brindar capacitación al personal de la empresa para el uso del portal y del sistema.
Interfaz	Realizar una interfaz que sea capaz de procesar las solicitudes de los diferentes usuarios.
Pruebas	Establecer un periodo de 20 días para realizar las diferentes pruebas dentro del sitio cada vez que se realice una modificación.

Mantenimiento	Establecer un periodo de 90 días para realizar mantenimiento en el sitio y este tenga mejoras continuas, pero este mantenimiento puede ser correctivo, adaptativo o perfecto, por lo que el plazo del mantenimiento puede variar.
----------------------	---

Fuente: Elaboración propia

En lo que se refiere a los riesgos del negocio, donde estos riesgos amenazan la viabilidad del proyecto se consideraron cuatro principales elementos tal como se aprecia en la tabla 5.

Tabla 5. Riesgos del negocio

Riesgo	Estrategia de recompensa
Riesgo Estratégico	Realizar modificaciones al sitio que sean requeridas por el cliente.
Riesgo de Mercadotecnia	Presentar el sitio a otras compañías mediante internet.
Riesgo de perder contacto con el personal	Firmar contrato con el director de la empresa.
Cierre del negocio.	Ofrecer el sitio a otras empresas y hacer las modificaciones que requiera el nuevo cliente.

Fuente: Elaboración propia

Durante la planeación del riesgo, se determinaron cuáles serían los posibles riesgos durante el desarrollo del portal web, analizando cada uno y calcular la exposición para posteriormente poder priorizarlos estableciendo estrategias de control y resolución que permitan ejercer una correcta supervisión de los mismos.

Es por esta razón que los riesgos deben de ser identificados para que pueda llevarse a cabo el proyecto de desarrollo del portal web en los tiempos establecidos y con los costos previstos.

Para ejercer una adecuada gestión y supervisión de los riesgos mencionados, se elaboró un plan de acción y un plan de contingencia para cada uno de ellos. En la tabla 6, se presenta el análisis de la planeación del riesgo que se detectó en la empresa "Phicom Tecnologías S. A. de C. V.", una vez que se realizó esta dinámica se presentó a la empresa y esta fue autorizada.

Tabla 6. Planeación del Riesgo

Elemento de Trabajo	Elementos considerados
Inventario de activos	Hardware y Telecomunicaciones, Software, Personas y Costos
Equipo de trabajo	El equipo de trabajo para el desarrollo del portal está conformado por el director de la empresa, Ingeniero en Sistemas, Personal Administrativo y Desarrollador.
Director de la empresa	Indicar un plan de trabajo para que en compañía del Ingeniero en Sistemas desarrolle el proyecto en un periodo determinado. Comprobar que el portal a desarrollar cumpla con los requerimientos establecidos. Supervisar el cumplimiento del desarrollo del portal. Brindar el apoyo económico para el alojamiento del portal.
Ingeniero en Sistemas	Interactuar con el residente para desarrollar el portal. Mantener los equipos de cómputo configurados y actualizados.
Personal Administrativo	Brindar información de los programas de servicio, así como la misión, visión, valores y políticas de la empresa para integrarlas en el portal.

Desarrollador	Desarrollar el portal web en compañía del Ingeniero en Sistemas. Brindarle mantenimiento al portal cada 90 días. Participar en las actividades encomendadas dentro del área de sistemas.
----------------------	--

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de los riesgos, también denominada taxonomía del riesgo, para este proyecto sirve de ayuda, ya que permite elaborar un enfoque coherente, reproducible y medible, todo esto se realiza en base a las listas de clasificación que permiten pensar con mayor amplitud sobre los riesgos que pueden afectar al proyecto, dado que se dispone de una lista de áreas del proyecto susceptibles de esconder riesgos. Una vez que se realizó el plan de riesgo, se facilitó el desarrollo de la tabla 7, en donde se muestran los principales elementos de la taxonomía de los riesgos detectados durante el desarrollo y el diseño del portal web

Tabla 7. Taxonomía del riesgo

Elementos	Riesgos	Fuente
Planificación	Errores en la estimación de presupuesto	Director General
Planificación	Cambio de políticas de gastos	Personal Administrativo
Planificación	Seguridad y alojamiento del portal	Ing. En Sistemas
Planificación	Soporte y mantenimiento del portal	Ing. En Sistemas
Planificación	Falta de experiencia del personal en el desarrollo e implementación del portal	Ing. En Sistemas
Equipo de Trabajo	Dificultad de comunicación entre los miembros durante el desarrollo	Director General Personal Administrativo
Equipo de Trabajo	Entrega de información fuera de tiempo	Personal Administrativo

Fuente: Elaboración Propia

Continuando con las fases se identifican dentro del portal de la empresa los riesgos principales con las probabilidades estimadas de forma relativa a cada uno de ellos, como se pueden ver en la tabla 8.

Tabla 8. Probabilidad del riesgo

Riesgo	Expresión	Probabilidad
Errores en la estimación de presupuesto	Altamente probable	5%
Cambio de políticas de gestión	Poco probable	40%
Seguridad del Portal	Alta	60%
Soporte y Mantenimiento	Media	30%
Inexperiencia del equipo en el desarrollo e implementación del portal	Altamente probable	25%
Dificultad de la comunicación entre los miembros del equipo	Media	70%
Desconocimiento sobre lenguajes y herramientas de desarrollo tecnológico por parte del grupo	Media	20%

Fuente: Elaboración propia

III. RESULTADOS

Una vez realizado el análisis se procedió a establecer los requerimientos para el portal, por ello se procedió a llevar a cabo el proyecto del portal web, en la compañía “Phicom Tecnologías S. A. de C. V.”, iniciando con la entrevista al director de la misma, así como al ingeniero del área de sistemas y computación, donde se plantearon los aspectos de la interfaz, el ambiente físico, los tipos de usuarios, la funcionalidad y la documentación que este deberá incluir para que sea óptimo su funcionamiento y se logren las expectativas de la empresa.

Se estableció que la funcionalidad del portal será aplicable a la organización para que esta tenga un sitio web propio, así como también las personas ajenas a ella la conozcan y si están interesados en una oferta de trabajo

Para el diseño del portal web, se tomaron en cuenta los siguientes requisitos funcionales:

Entorno de Desarrollo

Para la elaboración del portal web, se hizo uso de los lenguajes de programación HTML5, CSS3, Bootstrap y PHP, ya que son los lenguajes por los cuales se realizan interfaces web dinámicas y accesibles en cuanto a contenidos de bases de datos.

Seguridad de los Datos

Es necesario e importante que dentro del portal los datos estén protegidos, de no hacerlo, se corre el riesgo de que sean utilizados para otros fines. Por eso mismo se propuso que dentro del portal se implementara un sistema de información, para que el administrador monitoree los archivos, imprima y administre los comentarios del foro.

Correo Electrónico

Dentro del portal web, existe un formulario de contacto para que los usuarios envíen correos, para ello es importante conseguir un hosting, dentro de ese hosting crear una cuenta de correo electrónico y configurarla para que los mensajes puedan llegar a otro destino independiente del mismo

Alojamiento

Es importante que, una vez hechas las pruebas necesarias para visualizar el contenido y la interacción con la base de datos dentro del portal, se tenga la oportunidad de pagar por un dominio, desde el sitio de la empresa sea visible.

Posicionamiento en el SEO

Una vez que se tenga un dominio con terminación .com, .com.mx, .net, .org, se busque un sistema que permita al usuario poner palabras claves para que su sitio sea visible en los buscadores web de alta demanda como Google, Yahoo, Bing.

Contenido

El contenido del portal será presentado de una manera animada en cuanto a algunas imágenes, y el organigrama de la empresa. En el caso del foro y la bolsa de trabajo, el contenido se presentará de manera dinámica ya que ambos cuentan con una base de datos que presenta los temas de una forma organizada.

Existen también secciones donde aparece un chat en línea y un contador de visitas, así como también una barra social para que los visitantes sigan en las redes sociales más populares.

IV. CONCLUSIONES

La aplicación del análisis de gestión de riesgos permitió apreciar en un mayor nivel de detalle los requerimientos y que junto con el desarrollo de la experticia para la utilización de distintas técnicas reconocidas en el ámbito de proyectos, hizo posible la consecución de mejores resultados

La mejor forma de minimizar las consecuencias de un riesgo es tener planificadas acciones preventivas que ayuden a amortiguar el golpe o a reducir el riesgo.

En la medida en que se diseñen actividades preventivas que puedan cumplir con su función, el proyecto se distorsionará menos y en el caso de que estas acciones preventivas fallen, habrá que realizar actividades correctivas o de emergencia que es interesante tener previstas con anterioridad.

Además, el adecuado análisis y gestión de riesgos permitirá que pueda llevarse a cabo un proyecto dentro de los tiempos establecidos y los costos previstos.

Los profesionales de la información debemos ahora aprender a integrar y adaptar las nuevas herramientas informáticas a nuestras necesidades y particularidades, mejorando nuestros servicios y productos.

El desarrollo del portal se inició con este análisis aplicándose posteriormente la ingeniería de requerimientos considerando cada uno de los riesgos que se previeron en la fase de identificación y al pasar a la fase de desarrollo se minimizaron los tiempos en un 35% obteniendo con ello un ahorro en tiempo y de forma económica, ya que esto le permitió a la empresa establecer los posibles gastos que se realizarían para el mismo así como considerar los recursos de hardware y software para el desarrollo además de indicar el entorno en el que se implementara el mismo

V. AUTORES

José Antonio Navarrete Prieto: docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, realizó sus estudios de Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología, actualmente es docente de tiempo completo de la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla y es el líder del cuerpo académico "Ciencia, Tecnología y Sociedad"

Hilda Díaz Rincón: docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, estudio la Maestría en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnologías en la (UPAEP) 2009-2011, actualmente es docente de tiempo completo de la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla y forma parte del cuerpo académico "Ciencia, Tecnología y Sociedad"

Iliana Gabriela Laguna López de Nava, docente de tiempo completo del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, forma parte del cuerpo académico "Ciencia, Tecnología y Sociedad", actualmente es Coordinadora de Tutorías en el Departamento de Sistemas y Computación.

José Antonio Gallardo Godínez, docente de tiempo parcial del Instituto Tecnológico de Tlalnepantla en el departamento de Sistemas y Computación.

Rebeca Viguera Echeverría: Estudiante de la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, en el Instituto Tecnológico de Tlalnepantla.

REFERENCIAS

[1] J. D. Raz T and E. Michael, "Use and benefits for project risk management", *International Journal of Project Management* 19, 2001, pp.9-12.

[2] W. S. Humphrey, "Characterizing The Software Process: A Maturity Framework", *IEEE Software*, Volume 5, Number 3, March, 1988, pp. 73-79.

[3] B. Boehm, "Software Risk Management: Principles and Practices", *IEEE Software*, Volume 1, 1999, pp. 32-41.

[4] S. L. Pfleeger, "Software Engineering: Theory and Practice", Prentice-Hall, 1998.

[5] R. Pressman, "Software Engineering: A Practitioners Approach", McGraw Hill, 1996.

[6] R. Pressman, "Ingeniería de Software. Un enfoque práctico", McGraw Hill, 2006.

[7] Van Scoy, R., *Software Development Risk: Oportunity, Not Problem*. Technical Report CMU/SEI-92-TR-30, Septiembre de 1992.

[8] Gallager, B., Alberts, C., Barbour, E., *Software Acquisition Risk Management Key Process Area (KPA) – A Guidebook Version 0.02*, CMU/SEI-97-HB-002, 1997

[9] E. Castillo, "Proyecto de elaboración de la metodología de gestión de riesgos en proyectos de desarrollo de software para la empresa consultora CV3", 2009.

[10] M. Talledo, "Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)", 2009, 4a edición.

[11] E. Castillo, "Análisis de Riesgos en la Implementación de un Software de Conciliación entre Plataformas en Claro Telecomunicaciones", Universidad of Newcastle, INFT 6300, 2013. Disponible en la Web: <https://www.coursehero.com/file/26524538/AN%C3%81LISIS-DE-RIESGOS-EN-LA-IMPLEMENTACI%C3%93N-DE-UN-SOFTWARE-DE-CONCILIACI%C3%93N-ENTRE-PLATAFORMAS-EN-CLARO-T/>

[12] Carnegie Mellon University. *Software Engineering Institute*. "Risk Management", 2013. Disponible en la Web: <http://www.sei.cmu.edu/risk/?location=secondary-nav&source=9185>

[13] Stern, R., Arias, J. "Business Intelligence Journal "REVIEW OF RISK MANAGEMENT METHODS". 2011.

[14] Esteves, J., Pastor, J. "Implementación y Mejora del Método de Gestión Riesgos del SEI en un proyecto universitario de desarrollo de software", 2005.

Sistema embebido para el control de asistencia motriz, autodiagnostico de personas y freno regenerativo en sillas de ruedas.

1st Gustavo A. Jiménez F.
Area de investigacion de la
escuela profesional de
ingenieria.
Universidad de Ixtlahuaca CUI.
Toluca, México.
aldair.jimenez@uicui.edu.mx

2nd Juan C. Romero V.
Area de investigacion de la
escuela profesional de
ingenieria.
Universidad de Ixtlahuaca CUI.
Toluca, México.
juan.romero@uicui.edu.mx

3rd Jorge E. Mastache M.
Area de investigacion de la
escuela profesional de
ingenieria.
Universidad de Ixtlahuaca CUI,
Tecnologico de estudios
superiores de Jocotitlan TESJo.
Toluca, México.
mastache@uicui.edu.mx

4th Cesar L. Ramirez C.
Area de investigacion de la
escuela profesional de
ingenieria.
Universidad de Ixtlahuaca CUI,
Tecnologico de estudios
superiores de Jocotitlan TESJo.
Ixtlahuaca de Rayon, México.
cesar.leon@uicui.edu.mx

Abstract—This article presents the design and application of an embedded system that provides support to people attending the disabled who use a wheelchair. The system is capable of sensing the force applied to the handlebar of the chair by means of a passive transducer that converts a mechanical displacement produced by a force into a change of resistance. The aid of the system is able to be given in both directions of rotation, through a quadrature encoder coupled to the axis of the wheel that determines the direction of rotation of the chair (back-forward). These signals are processed by a microcontroller that through a current power stage, is sent to the motors that are on the axis of the chair, the hair to mention that the sensed force is proportional to the effort that the person who drives the chair. Additionally, the self-diagnosing system fixed the patient in the chair, sensing their vital signs as their heart rate and temperature, with the aid of photodiode sensors that emit infrared signals and a thermocouple sensor that adapt to the patient's body, visualizing the data on an LCD screen located on the side of the chair. The regeneration of the lost energy of the system with a radial synchronous generator of permanent magnets and inner rotor of low power with which the speed of rotation is transmitted towards the rotor, to recover the energy produced by the mechanical system, increasing the useful life of the battery that powers the system

Keywords— *embedded system, self-diagnosis, permanent magnet generator*

I. INTRODUCCION.

Impulsar una silla de ruedas suele ser un poco desgastante para las personas que asisten a un discapacitado, entre las principales discapacidades encontramos enfermedades degenerativas, accidentes, entre otras. Para impulsar al

paciente, se requiere de un esfuerzo proporcional al peso del usuario, en consecuencia al esfuerzo también podría ocasionar daños a la persona que asiste.

En ocasiones se requiere del monitoreo constate de signos vitales del paciente, como el ritmo cardiaco y temperatura, por lo que suele ser complicado llevar un control de la persona lesionada, un sensor termopar y un sensor de pulso cardiaco adquieren los datos para un monitoreo frecuente visualizando un autodiagnóstico en una pantalla LCD.

En este artículo se presenta el diseño del sistema, además del acoplamiento de los sensores de temperatura, ritmo cardiaco y presión. Los sistemas embebidos son parte fundamental del proyecto, ya que en la actualidad la tecnología empleada en el diseño y desarrollo de los sistemas embebidos es económico, robusto y accesible, por lo que el desarrollo del sistema se vuelve más factible.

En la actualidad se han desarrollado sistemas de asistencia enfocados a la automatización de sillas de ruedas, las sillas son manejadas con joystick o una botonera que apoyan a la persona que manipula la silla [1].

Así como este sistema existen otros que van enfocados a las personas que no son capaces de manipular la silla por si mismos, en este caso se ha recurrido al manejo de voz como medio, a través de una interfaz electrónica, que reconoce y procesa instrucciones por comando de voz, como “adelante”, “atrás”, “izquierda”, etc.[2]

En la revisión del estado del arte nos encontramos con un sistema de control adaptativo que presenta alternativas de mando en base a sensores ultrasónicos que se puede aplicar en espacios reducidos como en las casas de los pacientes [3].

El sistema que se presenta en este artículo está propuesto para el apoyo motorizado a sillas de ruedas, mediante uno o más motores que son acoplados al eje de la silla, sin necesidad de modificar su estructura y en consecuencia generar tracción a la silla mediante la fuerza detectada en los sensores.

La implementación de los componentes electrónicos implican un consumo de energía de la batería que alimentará al sistema, repercutiendo en la distribución de la energía eléctrica, condicionada por los costos de generación y accesibilidad, marcando una tendencia en el consumo doméstico de la energía, este tipo de sistemas eléctricos de asistencia motorizada cuenta con una alimentación de 12v a 24v con un amperaje de 18Ah a 25Ah, el cual requiere un promedio de 20 a 25 horas de carga.

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de detectar el ritmo cardíaco y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable hacia la persona que dirige la silla de ruedas. Con la presencia de un consumo de energía notorio por parte del sistema, se implementa un sistema de recuperación de energía perdida, mediante el acoplamiento de un generador de imanes permanentes situado en el eje de la rueda, por medio del giro de esta, se logra a través de la excitación una retroalimentación de la energía perdida por el sistema extendiendo el tiempo de uso de la batería que alimenta el sistema.

Es un sistema de fácil uso, así como accesible, este proyecto supera los principales obstáculos que genera la adquisición de un equipo electrónico de asistencia, teniendo una adaptación más amigable al entorno en el que se desarrollan las personas discapacitadas y por supuesto tendrán mejor comodidad los discapacitados y sus asistentes.

II. SISTEMAS EMBEBIDOS.

Los sistemas embebidos se pueden definir como todo sistema que no es una computadora, se define como un sistema electrónico diseñado específicamente para realizar funciones dedicadas y que está acoplado o es parte de algún dispositivo de hardware completo [4].

Los sistemas embebidos se pueden programar directamente en el lenguaje ensamblador del microprocesador incorporado sobre el mismo, o también utilizando los compiladores específicos como C y C++. Los sistemas embebidos suelen tener en una de sus partes una computadora con características especiales conocida como microcontrolador, que viene a ser el cerebro del sistema [5].

El microcontrolador utilizado en este sistema, para hacer la etapa de control es el Arduino Mega 2560 es una versión ampliada de la tarjeta original de Arduino y está basada en el

microcontrolador Atmega2560 (figura 1), fabricado por la empresa DFRRobot y puede ser programado con el Arduino IDE.



Figura 1. Arduino Mega 2560 [6].

Con el Microcontrolador se hace un control de las señales que se reciben al utilizar el sistema y sea procesada esta información.

III. SENSOR DE PRESION (GALGA EXTENSIOMETRICA) Y ENCODER DE CUADRATURA.

Una galga extensiométrica es un dispositivo transductor pasivo que se utiliza para la detección de esfuerzos aplicados (figura 2). Las galgas son fabricadas con alambres resistentes de diámetros, para detectar la tensión aplicada sobre el dispositivo, este cambio de resistencia debe ser proporcional a la fuerza ejercida [7].

La galga extensiométrica puede ser adherida en la superficie de interés para construir un sistema para transformar las microdeformaciones en variables eléctricas y sean fácilmente medibles (figura 2).



Figura 2. Galga Extensiométrica [8].

Esta resistencia de detección de fuerza es un componente pasivo que actúa como una resistencia variable, con la resistencia a disminución en respuesta a la creciente fuerza aplicada [9].

Este dispositivo está acoplado al manillar, que normalmente es donde se asiste una silla de ruedas, la detección de la fuerza está dado por medio del contacto humano con el sensor, por consiguiente se hace sensible a la fuerza producida por una persona (figura 3).

Cabe mencionar que la fuerza aplicada sobre el sensor no es lineal acorde a la fuerza aplicada por la persona, por lo que el voltaje que se suministra impacta directamente a la respuesta del motor que está acoplado al eje de la silla.



Figura 3. Prototipo, sensor de fuerza en el manillar

El control de este sistema puede darse en ambos sentidos de giro (enfrente-atrás), llevando acoplado a una de las ruedas de la silla un encoder de cuadratura, teniendo dos salidas que al mismo tiempo generan ondas cuadradas que se defasan entre sí según el sentido de desplazamiento de las ruedas (figura 4).

Este sentido de defasamiento es el que permite detectar el sentido de giro de la rueda acoplada al encoder, esta señal es interpretada por el microcontrolador, cuando llega primero.

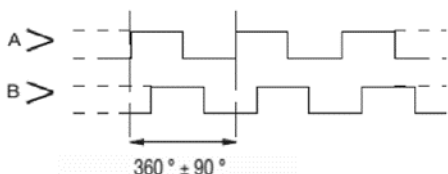


Figura 4. Defasamiento del encoder de cuadratura

Las señales deberán llegar al microcontrolador de la siguiente manera: primero llegara el pulso de la señal A, y posteriormente el pulso de la señal B y por consecuente las ruedas de la silla giran en un sentido, pero si la detección de los pulsos por el microcontrolador es contraria y primero llega la señal B y posterior a ello llega la señal A, el sentido de giro será invertido [10].

Una de las características de dicho control es lograr el éxito del desplazamiento de la silla en el entorno en el que se encuentra, detectando el sentido de giro de esta, el cual está dado por una funcionalidad y mecanismo de dirección automática especializada para satisfacer una de las necesidades de la persona que asistirá al discapacitado en la silla de ruedas.

IV. SENSOR DE RITMO CARDIACO Y TEMPERATURA

El sensor de ritmo cardiaco que es conocido también como oxímetro de pulso (figura 5), este sensor opera la saturación de

oxígeno al comparar cuanta luz roja e infrarroja es absorbida por la sangre, al medir cuanta luz alcanza al fotodetector [11].



Figura 5. Sensor de ritmo cardiaco

Al comparar la cantidad de luz que se absorbe, la solución a este es analizar únicamente la absorbancia de la sangre arterial, ignorando los efectos de los tejidos que rodean el dedo del paciente. Por ende cualquier absorbancia variable en el tiempo se debe a la sangre arterial que circula en el dedo [12].

El sensor de ritmo cardiaco o sensor de un oxímetro de pulso costa de un led que emite una longitud de onda de 660 nm (rojo), que es absorbido mayoritariamente por la hemoglobina desoxigenada, mientras que el segundo led emite una longitud de onda de 920 nm (infrarrojo) la que es absorbida mayoritariamente por la hemoglobina oxigenada, el cual es captada por medio del sensor (figura 6), el cual muestra la señal del pulso de la persona [13].

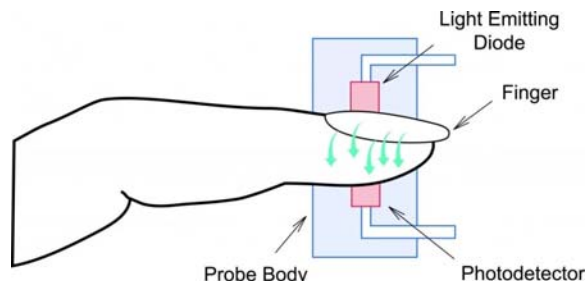


Figura 6. Sensor y componentes

Para la determinación del pulso cardiaco se usa la señal pulsada que proviene del dedo del paciente. Se detecta el número máximo del pulso, lo que genera una señal, cuyo periodo es igual al ritmo cardiaco, cada latido activará un temporizador que medirá el tiempo transcurrido entre los latidos y dicho tiempo transcurrirá por un minuto, obteniendo el número de pulsaciones del paciente por minuto.

La temperatura corporal en un paciente es vital para un mejor diagnóstico, dicho dato nos permite evaluar la diferencia de la regulación térmica que se presenta en el cuerpo humano, acorde a los cambios en la temperatura ambiental y la intensidad de la actividad realizada. La temperatura normal de un ser humano (tabla 1), de acuerdo a la Asociación Médica

Americana, puede oscilar entre 36.5°C y 37.2°C, esta temperatura puede variar según el paciente que es atendido [13].

Niños 5 a 9 años	98.3°F	36.83°C
Niños 9 a 13 años	98°F	36.67°C
Niños 13 años a adultos	97.8 a 99.1°F	36.56 a 37.28°C

Tabla 1. Temperatura corporal por edad aproximada



Figura 8. Toma de temperatura

El sensor utilizado es el termistor Ntc (Sensor de Temperatura), el cual es un dispositivo basado en materiales semiconductores, cuya resistencia varía con la temperatura (figura 7).



Figura 7. Sensor de temperatura

Los termistores al igual que otro dispositivo construido en base a semiconductores tienen algunos parámetros que son de suma importancia para su elección y especificaciones con mayor frecuencia:

1. Resistencia a potencia cero: Es la resistencia del termistor cuando no existe efecto de autocalentamiento.
2. Variación de la resistencia con la temperatura: Es la sensibilidad; típicamente de 40 Ohmios/°C, dependiendo del sensor.
3. Constante de disipación de potencia: Es la potencia requerida para que el termistor aumente su temperatura en un grado Celsius respecto al medio que lo circunda.
4. Estabilidad: Es la capacidad de un termistor para mantener sus características dentro del rango 0.03 °C/año en un periodo de 12 años.
5. Autocalentamiento: Es la potencia disipada en el termistor.
6. Temperatura máxima: Es la temperatura máxima en la cual el termistor conservará su operación con características de estabilidad aceptables (-75°C – 150°C) [13].

La temperatura de las personas normalmente es tomada de manera interna o parte del cuerpo humano donde es concentrada, el dato es tomado presionando el brazo del paciente con el tórax como se muestra en la figura 8.

V. GENERADOR DE IMANES PERMANENTES

Un generador de imanes permanentes es un generador síncrono en el que se ha sustituido el bobinado de excitación, normalmente en el rotor, por un sistema formado por imanes permanentes que suministran un campo de excitación constante [16]. Los generadores pueden ser clasificados según la dirección del campo magnético generado, así como la disposición de los imanes, estos pueden ser axiales o radiales.

- Generadores de flujo axial: el eje de giro es paralelo al campo magnético de los imanes
- Generadores de flujo radial: el eje de giro es perpendicular al campo magnético de los Imanes

En los generadores de flujo axial (figura 9), los imanes se disponen sobre un disco de hierro que gira alrededor de un eje perpendicular que pasa por su centro. Así pues, el campo magnético de los imanes es paralelo al eje de giro, y de ahí la frase “flujo axial” que realmente significa campo magnético paralelo al eje de giro.

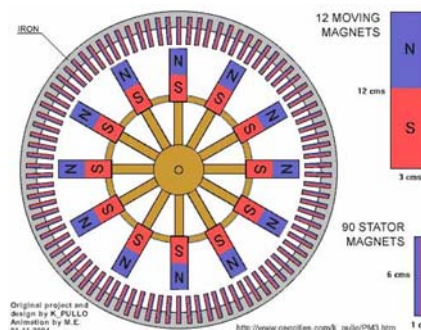


Figura 9. Generador de flujo axial.

En los generadores de flujo radial (figura 10), los imanes se colocan sobre la superficie lateral de un cilindro que gira alrededor de su propio eje. En este caso el campo magnético de los imanes es perpendicular al eje de giro, y por tanto va en dirección radial, y de ahí la frase “flujo radial” que realmente significa campo magnético en dirección radial o perpendicular al eje de giro.

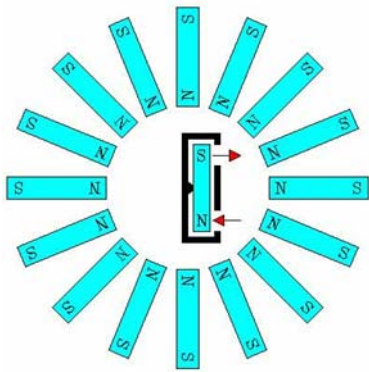


Figura 10. Generador de flujo radial

El acoplamiento de un generador de imanes permanentes en el sistema consiste en el movimiento de un imán frente a una bobina, este movimiento circular dependerá del producto de la velocidad angular que se tiene, por el radio de giro del imán o distancia radial del imán al eje de giro. La energía eléctrica, se manifiesta por la aparición de bordes de un arrollamiento que está colocado a la proximidad de un campo magnético variable creado por un imán [17].

El flujo magnético es generado por el imán permanente que es utilizado como órgano de frenado en la silla, empleando corriente inducida y son creadas a partir de la variación de un flujo de energía magnética dentro del motor. El uso de los imanes permanentes proviene del magnetismo residual, sustituyendo el bobinado de excitación alojado en el rotor, por un sistema formado por imanes permanentes suministrando un campo de excitación constante, por lo que al cargar el generador cae la tensión sin opción de regulación, al ocupar energía puede convertirla de un rango de tensión variable a tensión continua, lo que nos permitirá el almacenamiento de la energía en la batería.

El generador estará acoplado al eje de la silla en uno de los motores (figura 11), para recuperar la energía que se despende.

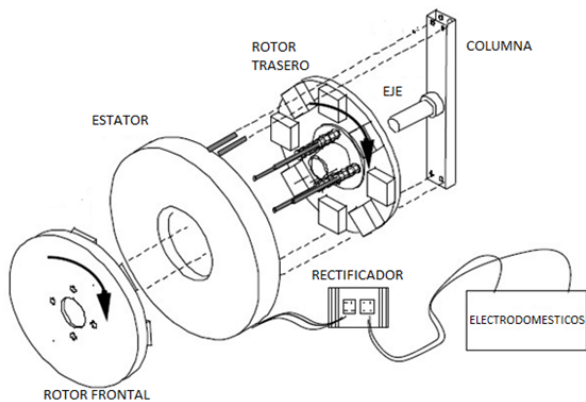


Figura 11. Generador de imanes

El generador produce la inducción del estator mediante el tipo de imanes permanentes (figura 12), que generan un campo magnético, la idea de este generador consiste en el movimiento de un imán frente a la bobina, siendo estos movimientos circulares, que tiene una velocidad tangencial. Los generadores cuentan con un circuito equivalente, que parte de la tensión generada por la inducción magnética que se produce, aunque dicha tensión es la de salida.

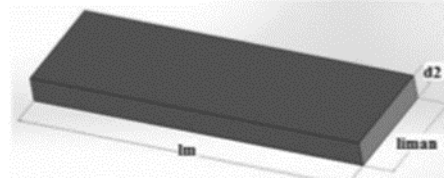


Figura 12. Imanes permanentes

VI. DESARROLLO DEL SISTEMA

El primer paso para el desarrollo fue interpretar mediante el micro controlador el esfuerzo realizado por la persona que impulsa la silla. Para lograrlo se utilizó el sensor de fuerza que varía su resistencia al ser deformado (figura 13).



Figura 13. Sensado de la fuerza aplicada

Es posible detectar el cambio de resistencia al conectarse en un divisor de voltaje, como se muestra en la figura 14. La misma figura muestra la conexión de los dispositivos requeridos para el control del circuito de potencia (puente H), que permite activar un motor de CD mediante la señal del encoder de cuadratura y proporcionar así una tracción a la silla.

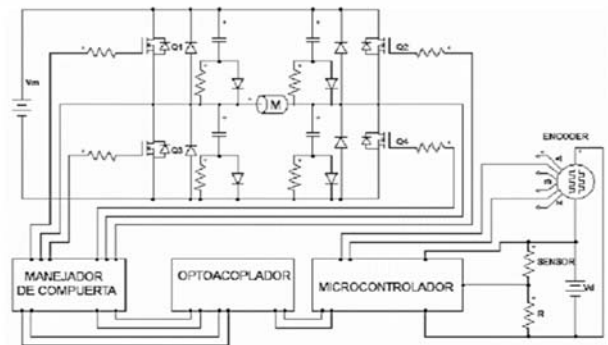


Figura 14. Conexión de los dispositivos

El puente H está formado por cuatro transistores MOSFET que permiten controlar la velocidad del motor en ambos sentidos de giro. Esto se logra al controlar la activación de los transistores mediante señales moduladas en ancho de pulso (PWM). Si modificamos el ancho de pulso generado por el microcontrolador, de acuerdo al esfuerzo detectado por el sensor (figura 15), se podría variar la velocidad del motor.

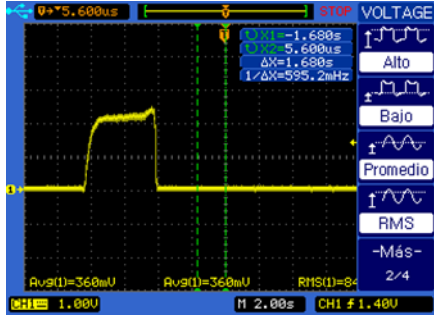


Figura 15. Deformación del sensor de fuerza

Esto nos indica que si se disminuye el esfuerzo en el manillar de la silla, se reduce la velocidad del motor o viceversa a mayor esfuerzo, mayor será el ancho de pulso que se genera y la velocidad aumentará. El circuito repite la señal de PWM que proviene del microcontrolador y permite proporcionar valores de voltaje y corriente que conmutan los transistores. Cada transistor cuenta con su red de snubber, lo que protege al transistor contra cambios en la magnitud del voltaje, entre el colector y emisor de los mismos.

En la figura 16 se muestra el sistema embebido desarrollado, y las etapas que lo conforman, destacando el encoder de cuadratura, manillar con sensor de fuerza, sistema de desarrollo Romeo, motor eléctrico de CD a ¼ HP y su circuito manejador, así como el sistema de baterías que alimentan al motor y al sistema digital.



Figura 16. Prototipo del sistema embebido para la asistencia motriz

Los sensores de temperatura y ritmo cardiaco son acoplados al sistema para la detección de los signos vitales del paciente, la temperatura del paciente es tomada del brazo del mismo presionándolo hasta obtener el dato, visualizando dichos datos en una pantalla LCD (figura 17).



Figura 17. Visualización de los datos en pantalla

El acoplamiento del sensor de ritmo cardiaco se tomara a partir del dedo índice del paciente (figura 18), por lo tanto en base a esto se puede determinar si el ritmo cardiaco de la persona es normal. Por regla general, la frecuencia normal en reposo oscila entre 50 y 100 latidos por minuto.



Figura 18. Toma de ritmo cardiaco de la persona

Siendo estas las etapas que conforman el sistema, está diseñado para la persona que asiste a un discapacitado que no cumple con las condiciones de manipular una silla de ruedas el mismo, además de brindar ayuda al disminuir su esfuerzo, el sistema cumple con determinar datos de la persona postrada en la silla.

El siguiente paso es el desarrollo de nuestro freno regenerativo, donde se sustituirá el bobinado de excitación alojado en el rotor, por un sistema formado por imanes permanentes suministrando un campo de excitación constante, por lo que al cargar el generador cae la tensión sin opción de regulación, al ocupar energía puede convertirla de un rango de tensión variable a tensión continua, lo que nos permitirá el almacenamiento de la energía en la batería. El generador estará acoplado al eje de la silla en uno de los motores (figura 19), para recuperar la energía que se despende.



Figura 19. Generador de imanes

RESULTADOS

El sistema cumple con reducir el esfuerzo que realizan las personas al impulsar la silla de ruedas, así mismo detectar el sentido de giro de la silla (hacia atrás o adelante), ajustándose a cualquier tipo de silla convencional. Además de comunicar los sensores de fuerza sobre el manillar de la silla, que se conectan directamente con el microcontrolador que recibe además las señales del encoder de cuadratura, y así acoplar el motor a la rueda de la silla como se muestra en la figura 20.

Cabe mencionar que los resultados obtenidos de la caracterización de la galga extensiométrica, donde se registró una tensión asociada a la fuerza vista por el sensor, no es lineal acorde a la fuerza que se aplica por la persona (figura 21).



Figura 20. Prototipo del sistema embebido

Por lo tanto, la respuesta del voltaje entregado por el divisor tampoco lo es, impactando de manera directa con la respuesta del motor de CD.

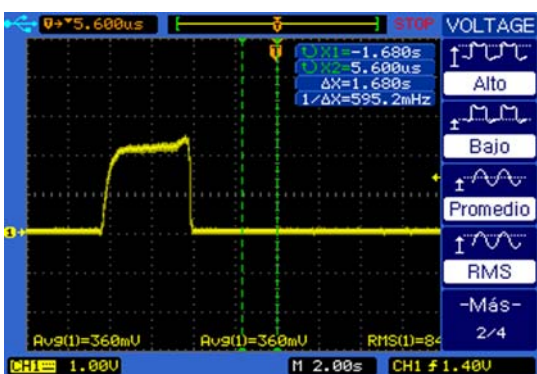


Figura 21. Caracterización de la galga extensiométrica

Así mismo detectar el ritmo cardiaco en el dedo índice del paciente (figura 22), y temperatura de la persona postrada en la silla, mostrando los datos en una interfaz amigable (Figura 23) con la persona que dirige la silla de ruedas. Dicho lo anterior fue posible modificar la velocidad y sentido de giro del motor que proporciona tracción mediante la técnica de control que relaciona la detección del esfuerzo y dirección de desplazamiento de la silla.

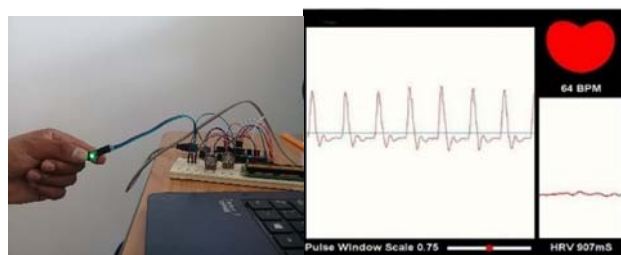


Figura 22. Toma del ritmo cardiaco



Figura 23. Datos de temperatura mostrados en LCD

Se puede mejorar el diseño utilizando técnicas de control predictibles, así como adaptar un mecanismo a las sillas de ruedas convencionales, con algún tipo de motor desmontable. Además de proponer mejoras en base a las pruebas que se realizaron al sistema, es un sistema muy amigable con el entorno y las personas que lo manipulan y en caso de ser requerido, se podría cambiar el diseño del sistema para tener una mejor comodidad incluso para el paciente.

En cuanto al generador de imanes se induce un voltaje en el estator mediante un campo magnético producido por una corriente continua, que circula a través de las bobinas que van en el rotor del motor. La corriente es proporcionada por unos anillos colocados en la flecha del rotor y alimentados con unas escobillas de carbón, a este arreglo le llamamos colector de imanes (figura 24).



Figura 24. Colector de imanes.

Este tipo de generador produce la inducción del estator mediante este tipo de imanes permanentes (figura 25), que generan un campo magnético, la idea de este generador consiste en el movimiento de un imán frente a una bobina, siendo este un movimiento circular, teniendo una velocidad tangencial. Los generadores cuentan con un circuito equivalente, que parte de la tensión generada por la inducción magnética que se produce, aunque dicha tensión no es de salida.



Figura 25. Imanes permanentes

Las partes esenciales del generador están dadas por dos partes, un estator y un rotor, que como su nombre lo dice uno se mantiene estático y el otro se mantiene en un movimiento constante. El rotor, es la parte que está en constante movimiento dentro de nuestro generador, con materiales ferromagnéticos y láminas de acero, este se encuentra acoplado al eje móvil con el que interactúa con el proceso mecánico. Los imanes van en la superficie exterior del rotor, donde el número de imanes que se colocan coincide con el número de polos del motor (figura 26).

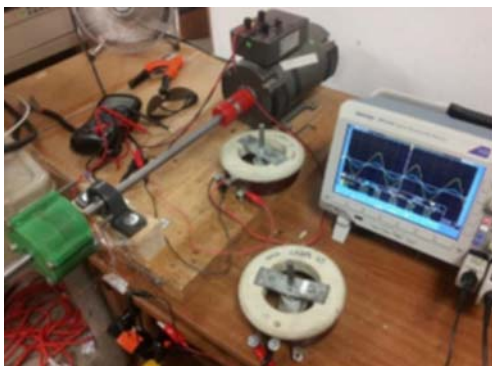


Figura 26. Imanes permanentes.

VII. CONCLUSIONES

El sistema está enfocado a las personas que asisten a un discapacitado que tiene la necesidad de postrarse en una silla de ruedas, siendo en muchas ocasiones uno de los problemas a los que se enfrentan muchas personas, el poder asistir a una persona con estas características.

El sistema cumple con disminuir el esfuerzo que se realiza al impulsar la silla de ruedas, en muchas ocasiones el esfuerzo debe ser proporcional al peso del usuario por lo que es un gran problema para estas personas que asisten, el sistema junto con sus características es capaz de dar un impulso a la silla, sin necesidad de forzar su movimiento, además de ser un sistema amigable con las personas y de fácil uso ya que no se requieren métodos de entrada como teclados o botones que interfieran en el manejo del sistema.

En muchas ocasiones tener un control de las personas en cuanto a signos vitales, es un poco incomodo cuando se trasladan en sillas de ruedas. El sistema es capaz de tomar las medidas con el uso de sensores que facilitan el trabajo de la persona que asiste al discapacitado, y tener un mejor control del estado de la persona que se encuentra postrada en la silla, dichos datos son visualizados en una interfaz amigable con el usuario, mostrando los datos de una manera entendible y así poder hacer lectura de los mismos.

El consumo de la energía por parte del sistema, es un factor a tomar en cuenta, puesto que su alimentación es a base de corriente directa, la aplicación del sistema de energía será compensado por un generador de imanes permanentes, logrando que el sistema recupere la energía consumida, almacenado nuevamente en la batería, alargando su vida para que el sistema tenga un mejor desempeño y durabilidad cumpliendo sus funciones de monitoreo y desplazamiento del paciente.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad de Ixtlahuaca CUI, por el apoyo brindado para la realización de este proyecto, tanto material como moral, siendo una universidad comprometida con el desempeño de sus alumnos, brindando la oportunidad de mostrar su interés hacia la investigación de esta manera, tanto a sus alumnos como a los docentes que desempeñan dentro de ella, así mismo agradecer el apoyo brindado a mi compañero Juan Carlos, una persona que siempre muestra interés hacia el proyecto, dejando su empeño y dedicación con sus aportaciones hacia el mismo, al mismo tiempo agradecer al M. en C. Jorge Mastache por su dedicado tiempo y colaboración dentro del proyecto, siendo el una persona fundamental para que se llevase a cabo la realización de este trabajo de investigación y poder llevar a cabo el prototipo del proyecto.

REFERENCIAS

- [1] Auat; Navegación Autónoma Asistida Basada en SLAM para una Silla de Ruedas Robotizada en Entornos Restringidos. Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial.8.81-92. 2011.
- [2] Paredes, M.; Gutiérrez.Silla de ruedas controlada por voz. Memorias del 6° Congreso Nacional de Mecatrónica. Inst. Tecnológico de San Luis Potosí – Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C. 6. 179-187. 2007.
- [3] Mario Rojas; Control adaptativo para navegación de una silla de ruedas inteligente empleando lógica difusa tipo1 y tipo2. Tecnológico de monterrey, Campus Ciudad de Mexico. Research in computing Science 91. 2015.
- [4] Sol Pedre; Sistemas embebidos. Laboratorio de robotica y sistemas embebidos. Departamento de computación FCEN. 2012.
- [5] UNED; controladores industriales de diseño de alto nivel. Sistemas Embebidos. Ingeniería de los sistemas embebidos.2013

- [6] Arduino Mega 2560, s.f., Arduino, descargado de: <https://www.arduino.cc/ArduinoBoardMega2560>.
- [7] Ramon pallás Areny. (2003). Sensores y acondicionadores de señal. Barcelona(España): Carles ParcerisasCivit.
- [8] FSR400, fuerza de detección de Resistencias, STEADLANDS, descargado de: <https://steadlands.com/product/fsr400-interlink-electronics>.
- [9] POLOLU. (2017). sensor de fuerza FSR. 19/06/2017, de POLOLU Sitio web: <https://www.pololu.com/product/1695>
- [10] D. Schultz, M. Allen, SF Barrett . (2011). Dotar a una silla de ruedas automatizada con un puerto de infrarrojos del codificador rueda de odómetro. 24/06/2017, de ISA Sitio web: <https://www.isa.org/store/equipping-an-automated-wheelchair-with-an-infrared-encoder-wheel-odometer-biomed-2011/122220>
- [11] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(4-6). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [12] Solibella Bencomo. (2016). aplicacion para el monitoreo de frecuencia cardiaca. En revista ingenieria UC(6-7). Universidad de Carabobo: Solibella et al.
- [13] Alexis Meneses. (2011). Grupo de investigacion Biomedica. 25/06/2017, de Dalcame Sitio web: http://www.dalcame.com/tc.html#.WVBeCWg1_IW
- [14] Aleida Cantor Rudas. (2016). Frecuencia cardiaca despues de la exposicion a longitudes de onda del espectro visible en areas del cuerpo humano. Revista de Ingenieria UC, 23, 2-7.
- [15] Ramirez Lopez. (2015). aplicacion de la biotelemetria para tres signos vitales. Ciencia y Poder aereo, 10, 2-8.
- [16] Generadores de imanes permanentes, OBEKI S.A
- [17] Robert Mimeur. (2005). Electromagnética de precisión. Barcelona, España: Reverte.

Optimización del proceso de carga de una batería LiPo utilizando el dispositivo integrado TP4056

O. Alejandro Islas
Faculty of Chemical Sciences
and Engineering
Universidad Autónoma de
Baja California
Tijuana, Mexico
osbel.islas@uabc.edu.mx

Mauricio A. Sanchez
Faculty of Chemical Sciences
and Engineering
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Mexico
mauricio.sanchez@uabc.edu.mx

Leocundo Aguilar
Faculty of Chemical Sciences
and Engineering
Universidad Autónoma de
Baja California
Tijuana, Mexico
laguilar@uabc.edu.mx

Luis-Enrique Palafox
Faculty of
Chemical Sciences and
Engineering
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Mexico
lepalafox@uabc.edu.mx

Abstract— Este artículo muestra una alternativa al proceso de carga convencional con un dispositivo integrado de carga modelo TP5046 para baterías Polímero de Litio (Li-Po; del inglés *Lithium Polymer*). Mediante el control de la corriente entregada a la batería a través de la oscilación de la misma se ha demostrado experimentalmente que ésta forma de cargado tiene mayor eficiencia en el proceso de carga ya que cuando se compara con el método normal de carga, este es más rápido hasta en un 23% en el mejor de los casos, demostrando experimentalmente que a través de la variación simple de parámetros en la carga es posible optimizar la carga en baterías del tipo Li-Po.

I. INTRODUCCIÓN

La carga de baterías es un proceso que conlleva más que solamente conectarlas y suministrarles corriente continuamente hasta que quede completamente cargada, existen diversos factores que pueden modificarse para mejorar la eficiencia en la carga. Cuando se hace referencia al término eficiencia en este artículo se refiere a realizar un trabajo en el menor tiempo posible y gastando la menor cantidad de energía posible, para esto es necesario considerar algunos aspectos esenciales del método de carga y de las baterías.

El método de carga convencional típicamente está dividido en tres etapas, cada una de ellas tiene funciones específicas y diferentes, el objetivo final es cargar una batería de forma segura para asegurar el correcto funcionamiento y prolongando el tiempo de vida de la batería [1]. Específicamente en las baterías de Li-Po existen diversos factores que deben tomarse en cuenta para desarrollar métodos eficientes de carga, por ejemplo, las sobre cargas y las descargas de estas baterías son los principales factores que afectan el rendimiento y la capacidad de retención de la energía, también nos encontramos con características electromecánicas que tienen internamente como su resistencia interna y la forma en que se organizan los electrones. Estos factores deben ser tomados en cuenta para desarrollar un método de carga diferente al convencional

El proceso de carga propuesto en el artículo mejora el tiempo de carga, a su vez gasta menos energía comparado con el método convencional por la oscilación de la corriente

utilizando un controlador TP4056 [2]. La principal característica de este método es que cambia el ciclo de carga modificando la forma en que se suministra energía a la batería durante un periodo de tiempo definido, durante ese tiempo, el rendimiento del proceso de carga es mayor al proceso de carga convencional.

Para el desarrollo de la experimentación se utilizó una arquitectura modulada, estos módulos tienen funciones distintas y operando de manera sincrónica. El principal objetivo de esto es la escalabilidad para generar actualizaciones [3], en total se tienen cuatro módulos, módulo microcontrolador (μC), módulo de carga, módulo de control de batería y módulo de baterías. Los resultados del método de carga propuesto mejoran en tiempo y energía de un ciclo de carga completo, esto en comparación con el ciclo de carga con el dispositivo convencional hasta 23% comparado con el tiempo de carga en el método común.

II. ANTECEDENTES

A. Metodo de Carga en Tres Etapas

La mayoría de los dispositivos para cargar baterías de Li-Po dividen el proceso de carga en tres modos de operación, estas son:

- Corriente por goteo (TC; del inglés *Trickle Current*): Si el voltaje de la batería está por debajo de un voltaje específico (típicamente 2.5V) el dispositivo empieza a operar en modo TC, en el cual la corriente suministrada por el dispositivo no es continua, si no por pulsos o por cortos periodos de tiempo.
- Corriente Continua (CC; del inglés *Constant Current*): Después de que la batería alcanza un voltaje mayor al voltaje específico para operar en este modo (típicamente 2.5V) el dispositivo comienza a suministrar corriente de manera continua, por lo que se almacena corriente rápidamente dentro de la batería.
- Voltaje Constante (CV; del inglés *Constant Voltage*): Cuando el voltaje de la batería rebaza el voltaje específico para comenzar a operar en este modo

(típicamente 4.1V) la corriente comienza a disminuir poco a poco hasta que el voltaje de la batería se establece en 4.2V. Una vez alcanzado este voltaje la batería está completamente cargada.[4], [5]

En esta propuesta se utiliza un dispositivo con un controlador TP4056 desarrollado por ASIC Corp, se contempló el uso de este dispositivo desde el inicio ya que integra circuitos de protección para sobrecargas. En la Fig. 1 se muestra el ciclo de carga para una batería de 1000mA con este dispositivo.

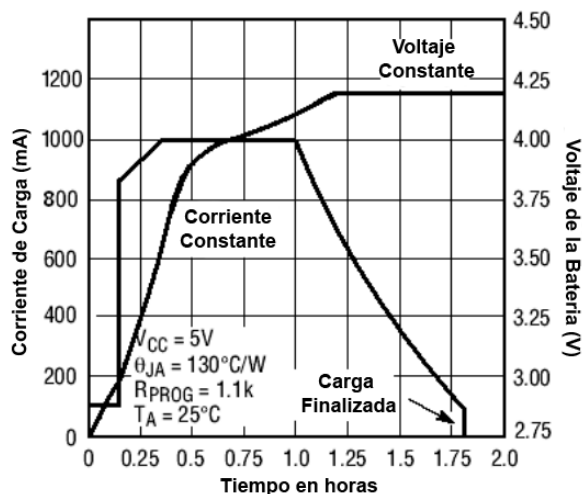


Fig. 1. Ciclo de carga para baterías de 1000mA [6].

B. Metodo de Carga por Pulsos

El método de carga que se propuso utiliza pulsos generados por el dispositivo TP4056, a diferencia de la carga típica esta método se basa cambiar el patrón de carga generando diferentes niveles de corriente en el modo CC de la carga en tres etapas [5], por lo que existen dos características importantes en este método. Una de ellas es el tiempo, se pretende buscar la manera más eficiente que permita una carga más rápida de la batería. La otra característica es la cantidad de energía que el dispositivo debe suministrar para lograr una carga completa gastando la menor cantidad de energía. Estos datos son generados empíricamente y el principal objetivo es buscar la manera más eficiente para poder cargar una batería.

III. ARQUITECTURA

El sistema propuesto está conformado por cuatro módulos independientes, cada módulo tiene una función distinta:

- Módulo μC : Este se encarga de generar las señales de control para los diferentes dispositivos, así como recolectar información de las baterías como el voltaje y la corriente.
- Módulo de Carga: En este módulo se encuentran dos dispositivos funcionando paralelamente por cada batería conectada, el primero es el dispositivo de carga TP4056 y el segundo es un potenciómetro digital. El objetivo de este módulo es suministrar la energía para cargar las baterías.

- Módulo de Control de Batería: Es importante hacer las mediciones de la forma correcta por lo que este módulo se encarga de desconectar la batería del circuito de carga para medir voltaje y volverla conectar para permitir la medición de corriente.
- Módulo de Baterías: En este módulo se encuentran las baterías, las cuales proporcionan los datos necesarios para generar los resultados.

El sistema recibe como parámetros el tiempo de duración de cada pulso y la corriente que se va a suministrar en cada pulso generado, actualmente es posible conectar hasta cuatro baterías al sistema, modificar el patrón de carga de manera independiente en cada batería y obtener mediciones individuales. Como se había mencionado anteriormente, los pulsos y la corriente que se va a suministrar a cada batería actualmente son empíricos, sin embargo, el sistema fue diseñado para implementar un algoritmo genético que busque de manera evolutiva un resultado óptimo.

IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Cada módulo fue desarrollado para funcionar de manera sincronizada, el control y el muestreo de datos se hace desde el módulo μC el cual utiliza un Arduino Mega 2560 para su operación, para el control se utilizan los puertos de propósito general, así podemos activar y desactivar componentes de forma síncrona con el sistema. Las muestras de datos que recolecta el módulo μC se hacen con el convertor analógico digital (ADC; del inglés *Analog Digital Converter*) de arduino, este hace un muestreo (Voltaje de la batería) cada segundo. Las líneas de control que salen del módulo μC controlan el módulo de carga y el módulo de control de batería. El módulo de carga está conformado por dos dispositivos, el primero es el circuito de carga para baterías Li-Po TP4056 y el segundo es un potenciómetro digital MCP4131-103 de 10kOhm, este último funciona con un protocolo de comunicación Bus SPI (del inglés *Serial Peripheral Interface*) para controlar 129 resistencias conectadas en serie dentro del circuito integrado [7]. El motivo por el cual existe este potenciómetro digital es porque el micro controlador TP4056 cuenta con un pin Rprog para programar una resistencia, dependiendo del valor de la resistencia es posible cambiar la corriente que se suministra a la batería, los valores se pueden observar en la Tabla 1.

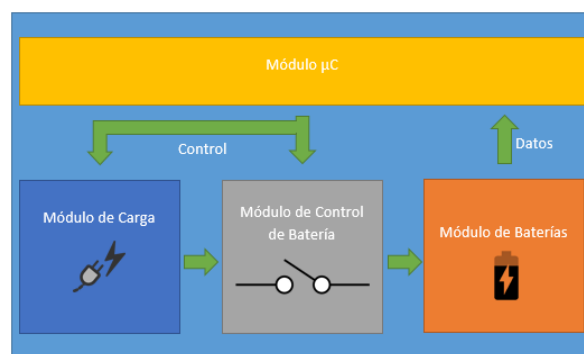


Fig. 2. Arquitectura del sistema en módulos.

TABLA 1. VALORES DE PROGRAMACIÓN PARA RPROG [6].

Valores para Rprog	
Rprog (k)	IBAT (mA)
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1.66	690
1.5	780
1.33	900
1.2	1000

Hasta este punto ya podemos generar pulsos mediante la oscilación del valor de la resistencia en el potenciómetro, estos pulsos son enviados al módulo de control de batería, este se encarga de crear la conexión entre el módulo de carga al módulo de baterías y del módulo de μC hacia el módulo de baterías. Este módulo solo cuenta con un dispositivo, un arreglo de cuatro relevadores que son controlados por el módulo μC , el motivo por el cual es necesario este módulo es para permitir un correcto muestreo de datos del módulo de batería. Para poder realizar una medición correcta de una batería es necesario desconectarla del circuito de carga, tomar una muestra y volverla a conectar para así continuar con el ciclo de carga, sin este módulo se estaría tomando mediciones erróneas de la batería, ya que se tomaría el voltaje que suministra el circuito de carga en vez del de la batería. El módulo de baterías cuenta con cuatro baterías de tipo Li-Po de 500mA. Actualmente el diseño cuenta con un Arduino Mega2560, un arreglo de relevadores de cuatro canales, 4 circuitos de carga TP4056, 4 potenciómetros digitales MCP4131-103 y cuatro baterías de tipo Li-Po, tal como se muestra en la Fig. 3.

V. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Los experimentos fueron desarrollados en un cuarto con temperatura ambiente y utilizando las medidas de seguridad que indican los fabricantes de las baterías de tipo Li-Po, utilizando una bolsa no inflamable en todos los experimentos de carga y descarga de las baterías. El principal problema con las baterías de tipo Li-Po es su nula tolerancia a las descargas y sobre cargas, en el segundo caso pueden ocasionar liberación de gases y hasta explosiones por lo que es indispensable tomar estas medidas.

En el caso específico de este sistema, determinamos que los valores de carga completa de una batería son de 4.1V ya que los circuitos dejan de cargar a diferentes voltajes las baterías, sin embargo, un común denominador de estos mismos es que sobrepasan esta medida al finalizar el ciclo de carga. También es importante tomar en cuenta que el tiempo del ciclo de carga es más extenso por el módulo de control de batería, ya que este desconecta la batería del circuito de carga para hacer la

medición de datos, esto hace que el ciclo tarde más tiempo del ciclo normal, sin embargo, es proporcional si se hace la resta del tiempo gastado en las mediciones, esta medición se hace con la siguiente formula:

$$T_c = (r * 0.05) - t_f \tag{1}$$

en donde T_c es el tiempo de carga, r el número de muestras y t_f tiempo de carga final.

El valor de 0.05 se determinado por mediciones realizadas con osciloscopio, este es el tiempo que se tarda el módulo de control de batería en realizar su función para el muestreo de las cuatro baterías. El voltaje de las baterías que son conectadas al circuito de carga inician todas con el mismo voltaje, se descargan cuidadosamente hasta llegar a 3.1V, a partir de ahí, comienzan con el ciclo de carga. Como se mencionó anteriormente, en cada ciclo de carga o experimento, dos baterías son cargadas de forma típica, esto significa que el circuito de carga realiza su trabajo de forma normal, el ciclo de carga de las otras dos baterías es alterado por el sistema para generar el patrón de carga propuesto. Una de las particularidades del circuito de carga TP4056 es que la corriente suministrada (en este caso específico utilizando baterías de 500mA) tiene un comportamiento inversamente proporcional al voltaje de la batería, esto significa que, mientras el voltaje de la batería va aumentando por el ciclo de carga, la corriente que se suministra va disminuyendo hasta que la batería alcanza el voltaje específico para indicar que está cargada. Esto fue un detalle muy importante para el desarrollo del experimento ya que el patrón de carga generado por el módulo de carga de batería, oscila entre los 500mA y 1000mA, esto significa que solamente se puede modificar el patrón de carga hasta que el dispositivo pueda proporcionar los 500mA ver Fig. 4, después de esto el proceso de carga comienza a operar de forma típica. Para evitar que las condiciones iniciales o que las características individuales de cada batería produjeran algún tipo de alteración en el resultado se fueron intercambiando en cada experimento, por lo que las baterías que en el experimento anterior fueron cargas de forma normal, en el siguiente son cargadas con el patrón de carga propuesto y así sucesivamente. Los resultados concluyeron con una mejora de un 13% hasta 23% en el tiempo de carga, comparando el mejor de los casos en el tiempo de carga normal y el peor con el mejor de los casos en la carga con pulsos respectivamente.

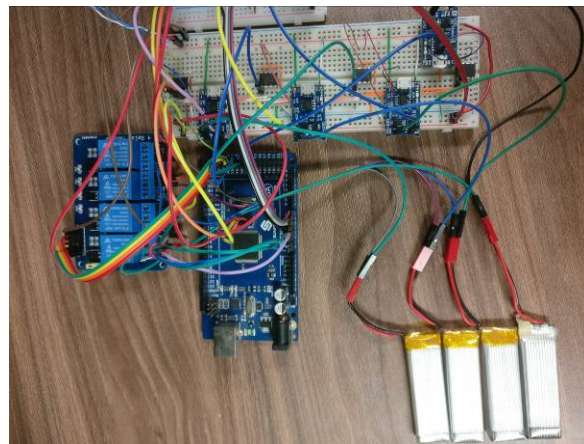


Fig. 3. Fotografía del sistema.

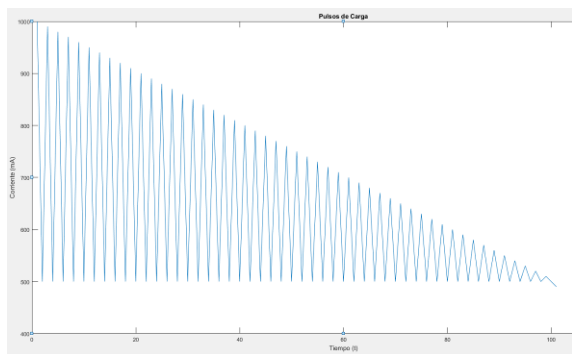


Fig. 4. Patrón de carga oscilatorio hasta 500mA.

Los tiempos de carga se pueden observar en la Tabla 2. Se realizaron en total cinco experimentos por lo que se juntaron 20 series de datos para obtener estos resultados. Cada serie de datos cuenta con más de 10,000 mediciones por lo que se registró todo el proceso de carga en cada uno de ellos, si se hace una comparación en el comportamiento del proceso de carga normal y el proceso de carga con pulsos se puede notar una diferencia en los primeros minutos de carga, que es en donde funciona el patrón de pulsos. El comportamiento en la carga de baterías es parecido a una función logarítmica, sin embargo, en el proceso de carga por pulsos se puede observar que la pendiente de la curva crece mayormente en los primeros minutos, esto es lo que hace la diferencia en contra del proceso de carga normal, ver Fig. 5. en donde la curva de color naranja representa el proceso de carga por pulsos y la azul el proceso de carga normal, cuando el proceso de carga por pulsos finaliza, la carga comienza a suministrarse de manera típica por lo que el comportamiento de la curva de su ciclo de carga comienza a comportarse como el del proceso de carga normal.

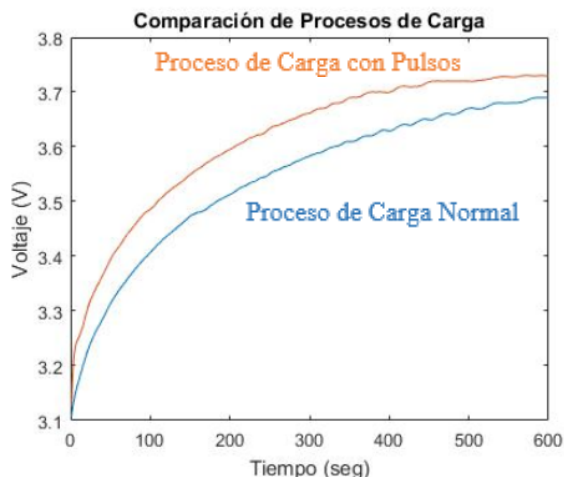


Fig. 5. Comparación de muestras del proceso de carga normal y proceso de carga con pulsos.

TABLA 2. TABLA DE RESULTADOS EN TIEMPO (SEG).

Tabla de tiempo del ciclo de carga		
Ciclo de carga	Peor de los Casos (seg)	Mejor de los Casos (seg)
Normal	8345	7892
Pulsos	6830	6073

VI. CONCLUSIONES

Un sistema de control y monitoreo para la carga de baterías de tipo Li-Po es descrito en este artículo. El sistema facilita la comparación entre dos procesos diferentes de carga por la capacidad de recolección de datos. Para el desarrollo se utilizaron dispositivos que en un principio no fueron diseñados para realizar este trabajo de la manera planteada en el artículo, sin embargo, se pudo modificar su forma de trabajo para obtener las condiciones necesarias, este es el caso del dispositivo TP4056 y los potenciómetros digitales MCP4131-103. Esto abre una posibilidad a la existencia de más maneras para realizar el proceso de carga de baterías y, por ende, formas más eficientes. El método que utilizamos está limitado a lo que el dispositivo TP4056 puede ofrecernos, sin embargo, se consiguió un buen resultado, capaz de comprobar que si es posible cargar una batería en menos tiempo si se modifica el patrón de carga en base al tiempo en el que se suministra energía.

VII. TRABAJO FUTURO

Aún existen muchas posibilidades que pueden implementarse en el sistema para que este pueda ofrecernos mejores resultados, por ejemplo, si se tiene la posibilidad de modificar el ciclo de carga completo en vez de solamente un tiempo específico, el tiempo de carga final puede disminuir significativamente en comparación con los resultados presentados en este artículo. Esto puede realizarse mediante el uso de un algoritmo genético multi-objetivo, estos se utilizan para optimizar muchos de los problemas ingenieriles que tienden a tener un mayor grado de dificultad, en este caso específico es necesario tener en cuenta diversos factores como el valor de cada objetivo y la suma ponderada de estos [8]. Se pueden utilizar otras métricas para medir la eficiencia del proceso de carga planteado utilizando otros dispositivos como lo son los lectores de corriente, con ellos podemos obtener la energía por unidades de tiempo $W \cdot hr$.

VIII. REFERENCIAS

- [1] E. Ayoub and N. Karami, "Review on the charging techniques of a Li-Ion battery," *2015 Third Int. Conf. Technol. Adv. Electr. Electron. Comput. Eng.*, pp. 50–55, 2015.
- [2] L. R. Chen, "Design of duty-varied voltage pulse charger for improving Li-ion battery-charging response," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 56, no. 2, pp. 480–487, 2009.
- [3] F. Baronti, G. Fantechi, E. Leonardi, R. Roncella, R.

- Saletti, and I. Elettronica, “Hierarchical Platform for Monitoring , Managing and Charge Balancing of LiPo Batteries,” 2011.
- [4] C. H. Lin *et al.*, “Fast charging technique for Li-Ion battery charger,” in *Proceedings of the 15th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS 2008*, 2008.
- [5] H. T. Q. Chi, D. H. Park, and D. C. Lee, “An advanced fast charging strategy for lithium polymer batteries,” in *2015 IEEE 2nd International Future Energy Electronics Conference, IFEEC 2015*, 2015.
- [6] N. T. P. A. Corp, “TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8,” *Data Sheet*. p. 3, 2015.
- [7] MicroChip, “Mcp413x/415x/423x/425x.” p. 82, 2007.
- [8] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, “Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial,” *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 91, no. 9, pp. 992–1007, 2006.

Industria 4.0, Prendas Inteligentes: Andon como Sistema de Información para la toma de decisiones

Roberto David Vera-Torres
Ing. Sistemas Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
roberto.vera@test.edu.mx

Laura Alvarado Santander
Ing. Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
laura.alvarado@test.edu.mx

Jorge Armas Martínez
Ing. Sistemas Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
j_am_06@hotmail.com

Juan de Dios Enriquez
Guadarrama
Ing. Sistemas Computacionales
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
dios.eg.96@gmail.com

Manuel Alberto Degollado Salazar
Ing. Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
manumane@outlook.es

Resumen— Un sistema Andon es un sistema de comunicación visual y auditivo utilizado en la industria que permite a los trabajadores interactuar de manera simple con todas las áreas relacionadas con la producción, con el objetivo de solucionar los problemas que se presenten en las líneas de producción durante la jornada laboral en el momento en que ocurren, evitando que el operario tenga que trasladarse hasta los diferentes departamentos involucrados en busca de asistencia. En la presente investigación se presenta el desarrollo del prototipo de un Sistema Andon como Sistema de Información, haciendo uso de tecnologías inalámbricas instaladas en prendas inteligentes.

Este prototipo fue desarrollado y probado en la empresa “Tapicería Salazar S. A de C.V.”, obteniendo como resultados la reducción de tiempos de espera, transporte, abastecimiento de materiales y asistencia mecánica en un 66%, de igual forma se incrementó la productividad diaria en un 9%. Propiciando sistemas de producción innovadores y orientados a las personas, que permite a la empresa responder eficientemente a las necesidades de los clientes y de intensificar la flexibilidad de la cadena de producción como uno de los objetivos principales de la industria 4.0.

Palabras clave—Sistema Andon, Prendas inteligentes, Sistemas de información, Industria 4.0, tecnología inalámbrica.

I. INTRODUCCIÓN

Resulta indudable la aceleración que se ha producido en el desarrollo tecnológico en los últimos años, día con día las

nuevas tecnologías son más usadas en todos los ámbitos de nuestras vidas, dichas tecnologías buscan solucionar problemas individuales o colectivos que nos afectan de una o de otra forma, entre tantas novedades, Internet se ha convertido en el medio de comunicación y acceso a la información más importante e indispensable no solo en el sector social también en el sector productivo está teniendo un gran impacto, este concepto está marcando una tendencia en el desarrollo industrial que hoy se conoce como “Industria 4.0” la cual tiene como finalidad desarrollar plantas industriales más inteligentes y respetuosas del ambiente a través de cadenas de producción mejor comunicadas entre sí y con los mercados. La industria 4.0 trabaja de manera conjunta en el desarrollo de sistemas de información automatizados para tener una gran cantidad de información en tiempo real, lo que permite una pronta y oportuna toma de decisiones para el área gerencia y apoyando directamente al personal operativo en el desempeño de sus tareas y en la simplificación de procesos complejos [1].

En la presente investigación se realizó la innovación en el desarrollo del prototipo de un Sistema Andon aplicado en Prendas Inteligentes, el cual consiste la activación de señales inalámbricas instaladas directamente en las prendas de trabajo de los operarios, la cual les permite una comunicación más rápida con las áreas de la empresa encargadas de resolver contingencias en las células de manufactura, por otra parte permite el registro de cada uno de los incidentes, así como el tiempo de paro y la causa de las problemáticas, en una base de datos que de manera inmediata puede ser consultada por supervisores y gerentes del proceso productivo ayudando a la pronta toma de decisiones, mejorando la productividad y comunicación dentro del proceso.

II. MARCO TEÓRICO

Industria 4.0

Actualmente el uso de tecnologías en la industria ha ido en aumento, el empleo masivo de sensores, expansión de redes y comunicaciones inalámbricas, así como el aumento de la potencia computacional a bajo costo, son tecnologías base que están transformando la forma de producir y que son nombradas en conjunto “Industria 4.0” [2]. Esta revolución digital aumentará la velocidad y calidad en la productividad e información. El flujo continuo de información, será superior al empleado tradicionalmente, ya que toda la interconexión permite una comunicación interna y externa en tiempo real, facilitando la toma de decisiones de forma instantánea. A fin de lograr las ventajas y beneficios propuestos por la Industria 4.0, las empresas necesitan invertir en equipo, tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) y análisis de datos a través de toda la cadena de valor [3]. Las tecnologías base que apoyan a la industria 4.0 son, ver Fig. 1:

1. Internet Industrial de las cosas (IIoT)
2. Sistemas ciber-físicos (CPS)
3. La Nube
4. Ciberseguridad
5. Big Data
6. Realidad Aumentada
7. Simulación
8. Fabricación Aditiva
9. Robots

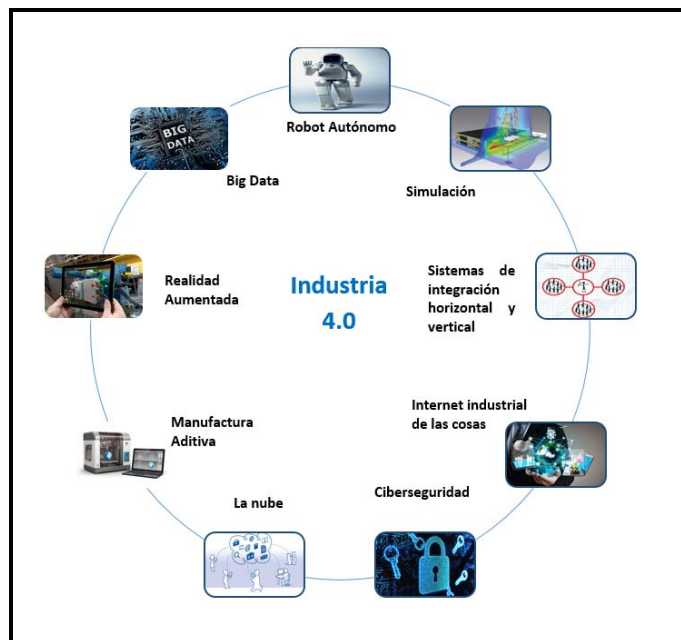


Fig. 1: Tecnologías base que apoyan a la industria 4.0

Tecnologías de la información y comunicación

Debido al entorno cambiante y dinámico del mercado las empresas necesitan estar en constante innovación para

responder a la demanda de los clientes, las nuevas tecnologías de información y de comunicación (TIC's) aportan a las empresas herramientas técnicas y científicas como internet, intranet, correo electrónico, tiempo compartido, bases de datos, procesadores de palabras, cuadernos electrónicos, pronósticos, sistemas de información gerencial, modelos de simulación, realidad virtual, entre otros [4]. Todas estas herramientas tienen un impacto directo en las compañías, clientes, proveedores, distribuidores y nuevas empresas [5].

De acuerdo a Huber [6] el uso de las TIC's en la industria ha reflejado efectos positivos en el desempeño de sus funciones especialmente una mejor y más rápida toma de decisiones en todo tipo de operaciones industriales.

Automatización

La automatización industrial es una disciplina que involucra principalmente a las especialidades de la ingeniería electrónica, industrial, mecánica, mecatrónica y de sistemas computacionales que va desde un sencillo “sistema de control”; hasta la instrumentación industrial, sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar y controlar las operaciones de procesos y plantas industriales [7].

Prendas inteligentes

Las prendas inteligentes hacen referencia a la unión de la microelectrónica y el textil a partir de la incorporación de una nueva propiedad a los polímeros textiles, la conductividad.

En la incorporación de elementos electrónicos a la vestimenta humana han sido claves la sustitución de estructuras rígidas por otras flexibles y la miniaturización.

Así, las prendas de vestir pueden incorporar, por ejemplo, pequeños sensores, o diminutas fibras conductoras. El problema es que estos elementos no deben afectar al estilo de la prenda ni a su tacto, es decir, que permitan al trabajador hacer sus actividades de manera normal sin poner en riesgo su salud, y ser suficientemente robustos para, en determinados casos, resistir el lavado, la limpieza en seco o incluso los desgarros.

La energía necesaria para que el dispositivo electrónico funcione puede proceder de pequeñas baterías cosidas al tejido. En el futuro se prevé que la energía proceda del movimiento del portador de la prenda o incluso de la energía solar [8].

Andon

La importancia de un sistema Andon en la industria resulta fundamental, ya que son muchas las empresas que lo usan para evitar desperdicios dentro de su producción, ofreciendo así una mejor calidad en sus procesos de fabricación.

El Andon es un sistema visual y auditivo que permite alertar sobre problemas ocurridos en la línea de producción en tiempo real, tales como averías de maquinaria, faltante de materiales, problemas de calidad, paros de emergencia, cambio de lotes de producción entre otros, utilizando el siguiente código de colores:

- Azul-Calidad
- Verde-Materiales
- Rojo-Mantenimiento
- Amarillo-Cambio de lote

De forma habitual el usuario del sistema Andon en el instante en que encuentra algún tipo de problema en la línea de producción el operador se traslada hacia donde se encuentra la botonera que encenderá el sistema dejando abandonado su área de trabajo y la pieza en proceso.

III. ESTADO DEL ARTE

Existen numerosos desarrollos de prendas inteligentes para uso cotidiano, sin embargo, actualmente los desarrollos para el sector industrial han sido muy poco abordados, entre los prototipos de uso cotidiano podemos citar los siguientes trabajos:

La “smart T-shirt”, con aplicaciones en medicina militar, consta de una red de fibras ópticas y conductoras que puede enviar datos de un soldado herido de bala, acerca de la localización y la naturaleza de la herida, que son recibidos en una central en la que el médico puede evaluar la herida y aconsejar el tratamiento. Esto podría tener también aplicaciones para bomberos, policías, entre otros, [9].

AITEX y UNIFAM han desarrollado una alfombra inteligente de detección de personas, que puede ser utilizada como alarma de intrusión, como contador de entrada a hoteles, centros comerciales [10].

Por otra parte, Alcoser Cachipundo [11] presenta un desarrollo, de una prenda de vestir o accesorio que lleva integrado un sistema embebido, el cual monitorea el pulso cardíaco y cuenta con la funcionalidad de establecer posibles arritmias cardíacas que pueden presentarse en el Nodo SA del corazón, y que se obtienen a través de un análisis de las variaciones de la frecuencia cardíaca o HVR. Para la construcción de este proyecto se utilizó la placa LilyPad Simblee que cuenta con una antena RF que crea una red Bluetooth Low Energy y cuenta con una aplicación móvil que permite descubrir e interactuar con el hardware Simblee, además de un sensor de pulso que basa su lectura en los cambios de luz provocados en los tejidos de la piel y su elección se fundamenta en los requerimientos que solventan las necesidades de los usuarios.

John Freddy [12] diseñó un prototipo que permite procesar los cambios presentados en un sistema de sensores resistivos acoplados a un micro-controlador Arduino LilyPad. Diseñó un guante y una interfaz gráfica en el programa Matlab, en la cual se puede caracterizar y visualizar los movimientos realizados por cada una de las articulaciones que poseen los dedos de la mano.

El dispositivo final se espera que permita convertir los movimientos de los caracteres del lenguaje de señas en caracteres alfabéticos y lograr su reproducción audible para facilitar la comunicación entre las personas que sufren de discapacidad auditiva y los que no la sufren.

En el trabajo de Christopher Andrés Gutiérrez Cisternas [13] se presenta un dispositivo “wearable”, que consiste en un sistema de monitoreo continuo de signos vitales y variables ambientales, con sensores no invasivos y transmisión inalámbrica de datos, para determinar el estado de salud actual del usuario y las condiciones de su entorno, con el fin de entregar asistencia médica si se requiere.

Una vez que las señales son digitalizadas se realiza un pre-procesamiento en el MCU, para posteriormente ser enviado mediante un módulo Bluetooth (BT) a un computador personal, el cual es utilizado como central de monitoreo. El software diseñado tiene dos modos: Adquisición, donde se despliega una interfaz que permite visualizar en tiempo real las señales, parámetros fisiológicos y variables ambientales, y Revisión de Datos, que consiste en una interfaz que muestra los datos adquiridos por el sistema, con el objetivo de tener almacenada la información y pueda ser revisada por un profesional capacitado.

IV. DISEÑO DEL SISTEMA ANDON EN PRENDA INTELIGENTE

En la presente investigación se desarrolla el prototipo de una prenda industrial inteligente que funciona como un sistema Andon, dicha prenda tiene la capacidad de conectarse de manera inalámbrica con un sistema audiovisual de alertas. Cuando un operario tiene un problema en su área de trabajo tales como falta de materiales, avería en la maquinaria, problemas de calidad, dificultades en el cambio de referencia de los productos, entre otros, emite un llamado de ayuda oprimiendo un botón instalado en su prenda de trabajo (chaleco, casaca, bata, etc.), activando el sistema Andon, el cual mediante un código de colores informa al personal a cargo dentro de la planta que existe un problema en un área de trabajo que requiere su atención inmediata para evitar pérdidas de productividad.

Al mismo tiempo el prototipo alimenta un sistema de información alojado en una base de datos que registra todos los llamados realizados por los operarios, capturando información como tipo de falla, duración del paro en la línea de producción, frecuencia de ocurrencia de las fallas. Generando reportes y estadísticos útiles para la pronta toma de decisiones por parte de la gerencia y los responsables de la administración del proceso; de esta manera se optimizan tiempos de respuesta ante cualquier contingencia, ver Fig. 2.

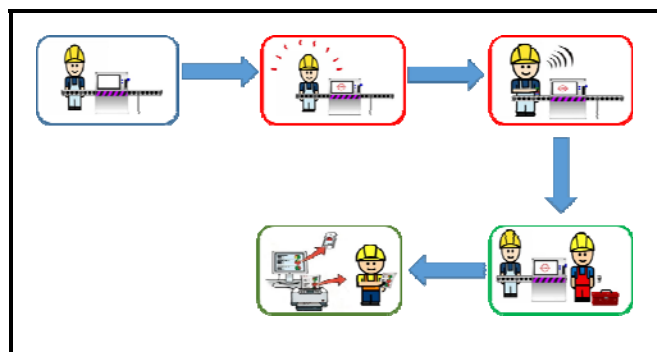


Fig. 2: Funcionamiento de la Prenda Inteligente como Sistema Andon

Diseño del sistema Andon en prenda inteligente

La prenda inteligente se compone por un sistema formado por un arduino lilypad, que administra los pulsos que el operario generó mediante una botonera instalada en un lugar estratégico de la prenda, clasifica su respuesta de acuerdo a la contingencia ocurrida, dichas señales se transmiten vía inalámbrica por medio de un módulo bluetooth, este sistema se alimenta con una batería de 9V, ver Fig. 3.

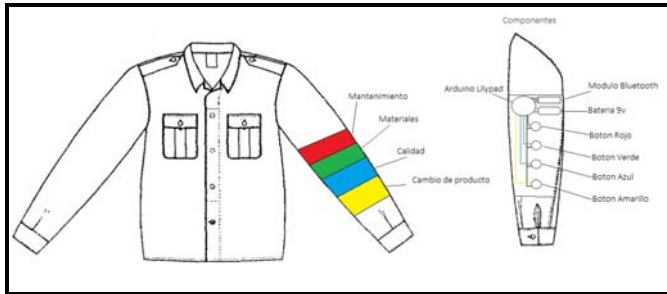


Fig. 3: Diseño de la Prenda Inteligente

El prototipo instalado en la prenda de trabajo del operario se puede observar en la Fig. 4



Fig. 4. Dispositivo en la prenda inteligente

Las señales emitidas por la prenda inteligente son captadas por un sensor bluetooth receptor, que canaliza dichas señales a un módulo arduino mega que clasifica la señal y activa el Sistema Andon de acuerdo a señal recibida. A su vez esta información es enviada a una base de datos que registra el tipo de falla, el tiempo en que se dio solución al problema, frecuencia de cada tipo de anomalía, para la generación de reportes que ayuden a la pronta toma de decisiones, el diseño de la base de datos se puede observar en la Fig. 5.

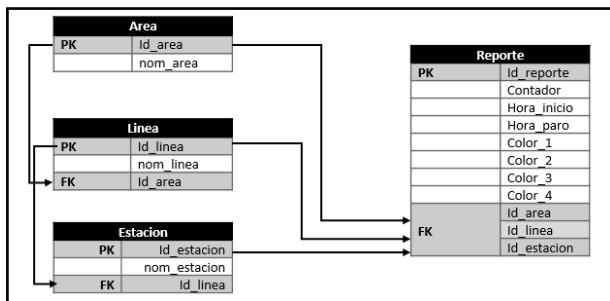


Fig. 5. Diseño de la base de datos

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la empresa “Tapicería Salazar S. A de C.V.” ubicada en el Municipio de Lerma Tultepec Estado de México, la cual se dedica a la producción de tapizado de sillas. Se realizó un análisis del comportamiento de los trabajadores para resolver las diferentes problemáticas que se presentaban durante la jornada laboral y se observó que de manera general lo operarios realizan recorridos en busca de materiales, asistencia mecánica, o ayuda para solucionar problemas de calidad. Lo cual representa para la empresa pérdida de productividad y un sistema deficiente de comunicación, lo cual hace lento el proceso de toma de decisiones.

En la figura 6 se muestra el registro de problemas reportados por los operarios, tales como, calidad del producto, falta de materiales, falla mecánica y cambio de producto.

Se realizó el registro en un periodo de un mes en el área de tapizado.

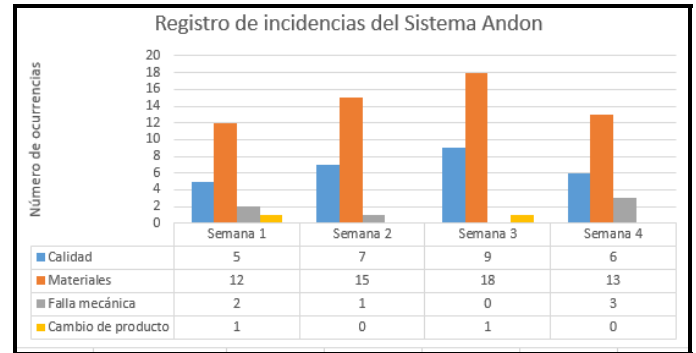


Fig. 6: Registros de ocurrencias de problemáticas en el área de tapizado.

Como se puede observar para el presente caso la problemática con mayor ocurrencia es el abastecimiento de materiales en las estaciones de trabajo, consumiendo 4.35 hrs. durante este periodo, tiempo que representa una pérdida de productividad al operario.

En la Fig. 7 se muestra el diagrama de flujo que describe el procedimiento realizado por los operarios para resolver un caso relacionado con calidad y de falta de materiales sin el uso del sistema andon.

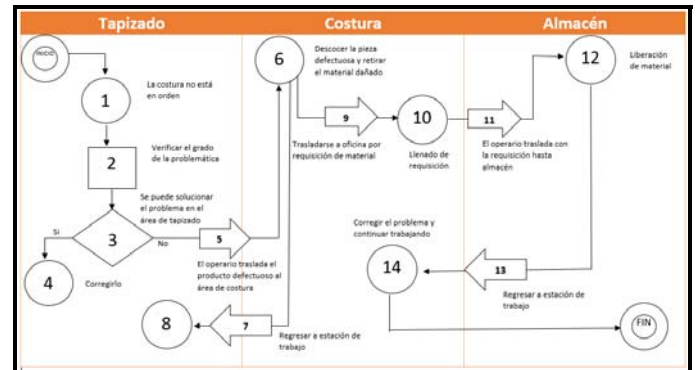


Fig. 7: Procedimiento para solucionar el problema de calidad y materiales en producción sin el sistema andon.

Entre los tiempos de recorrido, documentación, autorización y liberación de los materiales; el estudio de tiempos muestra que en promedio un operario pierde 1 hr. 5 minutos por cada vez que encuentran esta falla ver tabla 1, cada operario realiza en promedio 1.5 paros al día lo que representa una pérdida de productividad del 15 % en cada estación de trabajo.

Tabla 1. Análisis de tiempos y movimientos de los trabajadores sin el sistema Andon

ACTIVIDAD SIN SISTEMA ANDÓN	TIEMPO POR ACTIVIDAD EN TRASLADO	METROS DE TRASLADO
1.-La costura no está en orden	5 minutos	
2.-Verificar la problemática y observar su grado	5 minutos	3 metros
3.-Observar el material de tapizado si se puede solucionar	5 minutos	5 metros
4.-El problema no es de tapizado si no de costura igual.	5 minutos	6 metros
5.-Dejar en costura las fundas que no sirven para el tapizado	5 minutos	6 metros
6.-Pedir material en almacén, antes ir a oficina para orden.	10 minutos	5 metros
7.-El tapizado no es aprobado	5 minutos	
8.-Inspección del problema con el dueño, ir a almacén.	10 minutos	5 metros
9.-Dar en almacén orden de requerimiento de material para falla de tapizado y costura.	10 minutos	6 metros
10.-Tener material para seguir tapizando ir a área de tapizado.	5 minutos	5 metros
FIN	Tiempo de solución sin prototipo : 1 hora 5 minutos	40 metros recorridos

En la Fig. 8 se muestra el Layout de la distancia recorrida entre áreas por parte del operario cuando tiene problemas de calidad en la costura.

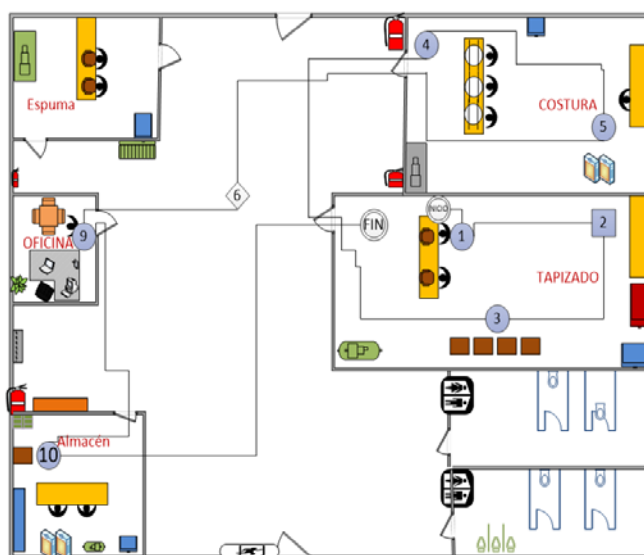


Fig. 8. Layout "Tapicería Salazar S. A de C.V."

Una vez instalado el prototipo del sistema Andon con prendas inteligentes en la "Tapicería Salazar", el operario pulsa el botón de ayuda de falta de materiales y calidad de tal modo que el operador no se traslada de su área de trabajo y en el departamento de almacén se alerta la señal del problema de manera inmediata y estos responden asistiendo los materiales hasta la estación de trabajo. Por otra parte, el área de calidad también recibe el llamado asistiendo también hasta el área de trabajo para solucionar la problemática, como lo muestra el diagrama de flujo en la Fig. 9

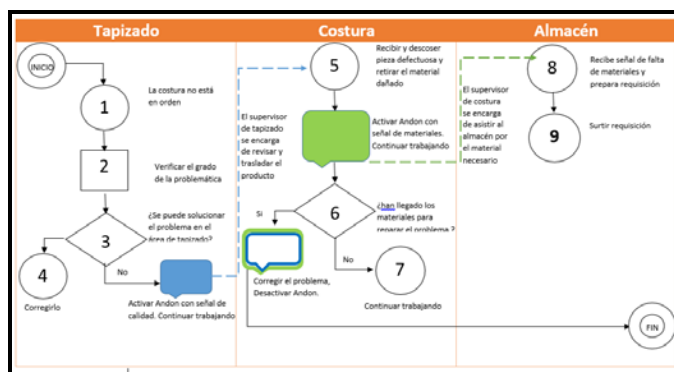


Fig. 9. Procedimiento para solucionar el problema de calidad y materiales en producción con el sistema andon con prendas inteligentes.

Se volvió a realizar el análisis del comportamiento de los trabajadores obteniendo los resultados de la tabla 2.

Tabla 2. Análisis de tiempos y movimientos de los trabajadores con el Sistema Andon con prendas inteligentes

ACTIVIDAD CON EL SISTEMA ANDON CON PRENDAS INTELIGENTES	TIEMPO POR ACTIVIDAD EN TRASLADO	METROS DE TRASLADO
1.-La costura no está en orden	5 minutos	
2.- Verificar la problemática y observar su grado	10 minutos	3 metros
3.- Observar el material de tapizado si se puede solucionar	5 minutos	5 metros
10.-(almacén) tener material para seguir tapizando	5 minutos	Con el sistema andón activado con prendas inteligentes se reducen las actividades, de tal modo que el operador no se traslada de su área de trabajo y en almacén se alerta la señal del problema de manera inmediata.
FIN	20 minutos para solucionar el problema	8 metros

De acuerdo al análisis de producción y los datos obtenidos por los dueños de la empresa, sin el prototipo de Andon con prendas inteligentes se tapizan en promedio 120 sillas al día. Una vez instalado el sistema de Andon con prendas inteligentes la producción se vio favorecida aumentando 8 sillas más diarias.

VI. CONCLUSIONES

Se desarrolló el prototipo de Andon en prendas inteligentes como un sistema de comunicación e información el cual se piloteo en la empresa “Tapicería Salazar S. A de C.V.” de ésta manera se evaluó la eficiencia y viabilidad del uso de prendas inteligentes en el sector industrial como un sistema de información y administración de los procesos en tiempo real mediante el uso de tecnologías inalámbricas. Dentro de los beneficios de la implementación de la prenda inteligente se obtuvieron:

- Eliminación de recorridos de 40 a 8 metros evitando abandonar la estación de trabajo y el producto en proceso.
- Disminución de tiempo de respuesta por parte de los mandos medios para el abastecimiento de materiales de un promedio de 15 a 5 min lo que representa una reducción del 66% de tiempo muerto por paros debidos a la falta de material en la estación de trabajo.

- Incremento en la productividad de 120 sillas a 128 sillas diarias, aumentando 9% en su productividad diaria.

VII. TRABAJOS FUTUROS

De acuerdo a todas las ventajas que ofrece la implementación de un sistema Andon flexible de comunicación inmediata, se plantea desarrollar una aplicación móvil que se conecte a la base de datos generada en este proyecto, de esta manera cualquier mando medio o alto podrá tener acceso de manera inmediata desde cualquier lugar con acceso a internet.

REFERENCIAS

- [1] Lombardero R. J. L., 2015, “Problemas y retos de gestión empresarial en la economía digital: estudio comparado y sistémico de competencias directivas”, Tesis Doctoral, Facultad de ciencias políticas y económicas, Universidad Camilo Jose Cela, Madrid.
- [2] Navarro M. A., Sabalza L. X., 2016, “Reflexiones sobre la industria 4.0 desde el caso vasco”, *Ekonomiaz* No. 89, 1.
- [3] De La Fuente López, E. y Mazaeda Echevarría, R., 2016. Repositorio Documental, “Industria 4.0”, Universidad de Valladolid. Escuela de Ingenierías Industriales.
- [4] Ochoa R. J. 2010, “El uso estratégico de las tecnologías de información y comunicación para incrementar la innovación en las empresas”, Congreso de la red de investigadores en competitividad.
- [5] Poter, M. 2001. “Strategy and the Internet”, *Harvard Business Review*, Vol. March pp. 63-78.
- [6] Huber, G. P. 1990 “A theory of the effects of advanced information technologies on the organizational design, intelligence, and decision making”, *Academy of Management Review*, pp. 47-71.
- [7] Poma D. J., Tello Y. R., Berrospi Q. E., 2011, “Gestión de base de datos con SCADA para control automatizado de una válvula de control proporcional”, *Sistema e informática*, Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Perú.
- [8] Sánchez M. J., 2007, “Los tejidos inteligentes y el desarrollo tecnológico de la industria textil”, Asociación Nacional de Peritos Industriales, Madrid, España.
- [9] J. Cegarra, Textiles inteligentes. *Revista de la Industria Textil*, N° 432, Noviembre (2005), 52-63.
- [10] J. Mumbrú, Textiles inteligentes, *Revista de la Industria Textil*. N° 412, Noviembre (2003), 78-96.
- [11] Alcoser C. J. H., y Michilena C. J. R., 2017, “Desarrollo de un Wearable de Monitoreo y Detección de Anomalías en la Señal Cardíaca a través de la comparación de una Señal ECG y la utilización de Tecnología Bluetooth y Plataformas de Software y Hardware Libre para el Cuidado de la Salud Cardiovascular”, *FICA, VOL. 1, NO. 1*, Universidad técnica del norte facultad de ingeniería en ciencias aplicadas, Ecuador.
- [12] Remolina L. F., Lara V. F. A., Genes D. J. M., Yanes G.L., 2014, “Resistive signal processing device from sensing system flex”, Facultad de Ingeniería Electrónica. Universidad Pontificia Bolivariana, Montería, Colombia.
- [13] Gutiérrez C. C. A., 2016, “Sistema de Monitoreo Continuo de Signos Vitales con Sensores No Invasivos y Transmisión Inalámbrica de Datos”.

Protocolo ultra ligero con confidencialidad en la comunicación para redes IoT con nodos de bajo poder de cómputo

Evangelina Lara
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California, UABC
Tijuana, México
lara.evangelina@uabc.edu.mx

Leocundo Aguilar
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California, UABC
Tijuana, México
laguilar@uabc.edu.mx

Jesús A. García
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California, UABC
Tijuana, México
garcia.jesus@uabc.edu.mx

Resumen—“Internet of Things” idealiza un mundo donde los objetos cotidianos pueden intercambiar información entre ellos sin intervención humana de manera que permitan a un usuario tomar decisiones más inteligentes en un contexto dado. Para que los diversos dispositivos IoT puedan interactuar entre ellos deben utilizar un protocolo de comunicación en común. En este documento se presenta un protocolo para redes IoT con nodos de bajo poder de cómputo y recursos limitados. En la propuesta los nodos se comunican por medio de una red de baja potencia y existe un nodo gateway que actúa como puente entre esta red e Internet. El nodo gateway recibe los paquetes de los nodos, los filtra, procesa y transmite a una aplicación en la nube para que estén disponibles para el usuario y otros dispositivos. Se presenta además una implementación del protocolo usando microcontroladores de 8 bits.

Keywords—IoT, protocolo, cifrado, Salsa20

I. INTRODUCCIÓN

La sociedad se está orientando hacia un mundo cada vez más conectado. La tendencia actual es “Internet of Things”, donde los objetos cotidianos pueden intercambiar información entre ellos sin intervención humana. Algunos ejemplos de tales datos son humedad e iluminación actual en un invernadero, la localización de una unidad de transporte público, la presión del agua y gas en una tubería, etc., de manera que permitan a un usuario la toma de decisiones más inteligentes.

El concepto “Internet of Things”, abreviado IoT, idealiza un mundo donde las *cosas* cuentan con un medio de conexión e identificación que permite que se comuniquen entre ellas a través de la red Internet. La intención es que se encuentren en *todas partes, todo el tiempo* y en *todas las cosas* de forma que al comunicar los datos que perciben sus sensores y el estado de sus actuadores se pueda tener un mayor conocimiento del contexto actual [1]–[3].

Para que los diversos dispositivos IoT puedan ser capaces de interactuar entre ellos, es necesario que utilicen un protocolo de comunicación en común. Se han realizado muchas propuestas de protocolos para IoT [4]–[6], sin embargo no son viables en sistemas con recursos limitados y bajo poder de cómputo. En este documento se presenta una enfocada a estos sistemas, donde los nodos se comunican por medio de una red

de baja potencia y existe un nodo gateway que actúa como enlace entre esta red e Internet. Este método tiene las siguientes ventajas:

- **Costo:** La red puede estar compuesta de n nodos de bajo poder de cómputo y bajo costo y un solo nodo gateway con más recursos que procese los paquetes que recibe de ellos y los transmita a la red Internet.
- **Consumo de energía:** Los nodos se comunican entre ellos a través de una red de baja potencia y solo los datos filtrados y procesados se transmiten a una aplicación en la nube.
- **Tamaño de la red:** Por cada n nodos, solo uno está ocupando una dirección IP, por lo que se pueden tener múltiples dispositivos conectados con una cantidad limitada de direcciones IP.

Con respecto a las tecnologías comúnmente usadas en las WSN, por sus siglas en inglés Wireless Sensor Networks, tales como Zigbee, WirelessHART [7] y Z wave [8] se tienen las siguientes ventajas:

- **Adaptabilidad:** El protocolo es de alto nivel y no está sujeto al uso de un transceiver en específico. Por lo que el consumo de energía, costo, y potencia y distancia de transmisión pueden configurarse de acuerdo a los requerimientos de la aplicación. De igual forma, también es abierta la elección de la modulación a usar en el transceiver de baja potencia, lo que permite establecer el grado de inmunidad al ruido del sistema.
- **Pertenencia a múltiples redes:** Los distintos nodos pueden pertenecer a múltiples redes simultáneamente. Y los nodos sensores pueden solicitar el ingreso a cualquier red en todo momento. La decisión de aceptarlo recae en el nodo gateway el cual tomaría en cuenta las reglas de negocio y el contexto actual.
- **Conectividad con Internet con baja inversión:** El nodo gateway permite que los nodos de su red tengan acceso a la ya existente infraestructura y servicios disponibles en la red Internet. Igualmente faculta a un usuario el acceso y control de forma remota de estos dispositivos.

- Regulaciones en radio frecuencia: Al no estar el protocolo atado a un transceiver en específico, se puede elegir un radio que cumpla con las regulaciones del espectro de frecuencia de la región específica y que no cause interferencia en los dispositivos inalámbricos que se encuentren en el área cercana.

Debido a la creciente preocupación respecto a los ataques a la seguridad a los que están expuestos los dispositivos IoT [9]–[11], el protocolo propuesto provee confidencialidad en la comunicación. Esto se logra usando un algoritmo criptográfico para cifrar los mensajes enviados de manera que solo los nodos que conocen la llave secreta pueden acceder al contenido de los mismos. Si un dispositivo no autorizado obtiene un paquete, al no contar con la llave no le va a ser posible descifrarlo y por lo tanto lo único que se ve son bytes sin sentido.

Considerando que los algoritmos de cifrado de flujo requieren menos recursos computacionales en comparación con los de bloques [12], se eligió uno de este tipo para proveer confidencialidad en los mensajes transmitidos entre nodos.

Se eligió el algoritmo de cifrado Salsa20 [13], el cual fue desarrollado por Daniel J. Bernstein y forma parte del portafolio del proyecto eStream [14]. Este se desarrolló de 2004 a 2008 y su propósito fue la identificación de algoritmos de flujo seguros. Salsa20 utiliza una llave de cifrado de 128 o de 256 bits. En este protocolo se utiliza la versión de 128 bits para que el algoritmo tenga un menor impacto en un sistema con recursos limitados. Recibe 512 bits de entrada y tras realizar 20 rondas donde manipula la llave, “nonce”, un contador y unas constantes, produce 512 bits de salida. En criptografía, un “nonce” es un valor que permite cifrar más de un mensaje utilizando la misma llave secreta. Debe ser único para cada mensaje y, junto con la llave, es necesario conocerlo para poder realizar el descifrado.

Dentro de las propuestas de protocolos para IoT se han realizado algunas enfocadas a sistemas con bajo poder de cómputo tales como las que se presentan a continuación.

En [15] se describe un mecanismo para comunicar el estado de la calidad ambiental en base a la medición del nivel de monóxido y dióxido de carbono, gas LP, alcohol, luz, sonido y humedad. En esta propuesta cada nodo contaría con los sensores y un módulo WiFi para transmitir los datos a la nube. La ventaja de nuestra propuesta con respecto a esta es que no requiere que cada nodo tenga un módulo WiFi lo cual supone un ahorro en el costo de cada nodo, en el gasto de energía y permite tener una mayor cantidad de nodos por cada “Access Point” a conectarse.

La infraestructura en [16] es similar a la anterior a excepción que opera con módulos GSM, donde nuestro protocolo presenta igualmente las ventajas de ahorro de costo y energía.

En [17] se utiliza el protocolo MQTT y una interfaz Ethernet para comunicar el estado de pacientes y dispositivos en un hospital. Las desventajas de este enfoque son que al no ser inalámbrico las ubicaciones posibles del sistema se limitan drásticamente solo a los lugares donde se pueda costear la infraestructura cableada. Por otra parte, el requerimiento de memoria y procesamiento se eleva ya que requiere ejecutar el

stack TCP/IP más el de MQTT. Para esta aplicación nuestra propuesta tiene además la ventaja de que al existir el nodo gateway, que conoce el panorama completo del contexto porque recibe los paquetes de todos sus nodos, hace posible que se puedan tomar decisiones de forma inmediata y sin la intervención del usuario en caso de una situación de emergencia.

En este documento se presenta una propuesta de protocolo de comunicación con confidencialidad ultra ligero para nodos de bajo poder computacional en redes IoT. Para validar su funcionalidad se realizó una implementación usando microcontroladores de 8 bits, donde el protocolo requiere 12,244 bytes de memoria de programa y 441 bytes de memoria de datos para su ejecución. La propuesta tiene muy bajo impacto sobre un sistema con recursos limitados.

El resto del documento sigue esta estructura: la Sección II describe la propuesta de protocolo, en la Sección III se encuentra la implementación realizada, los resultados están en la Sección IV, las conclusiones en la sección V y los agradecimientos en la Sección VI.

II. DESCRIPCIÓN

A. Protocolo

La red tiene una topología estrella integrada por n nodos sensores y un nodo gateway en el centro de la red, tal como se muestra en la Fig. 1, donde NG denomina a nodo gateway y NS a nodo sensor. En un inicio la red está conformada solo por el nodo gateway, quien se encuentra a la espera de paquetes de solicitud de ingreso por parte de un nodo sensor. Una vez recibido el paquete, el nodo gateway inscribe al nodo sensor en su lista de nodos reconocidos y a partir de ese momento pueden mantener una comunicación bidireccional. El nodo gateway puede integrar a nuevos nodos sensores a su red en cualquier momento.



Fig. 1. Red con topología estrella compuesta por un nodo gateway en el centro y n nodos sensores.

La responsabilidad del nodo sensor es la obtención de información contextual de su entorno por medio de sensores y actuadores a los que tiene acceso y su envío al nodo gateway; la información recabada permite la toma de decisiones por parte del usuario o de un sistema que tenga acceso a ella. La responsabilidad del nodo gateway es actuar como puente entre la red de baja potencia de la que forma parte junto con los nodos sensores y la red Internet. El nodo gateway recibe los datos contextuales enviados por los nodos sensores, los desempaqueta, filtra, les da el formato adecuado y los envía a una aplicación en la nube que se encarga de hacerlos disponibles a usuarios y sistemas. La Fig. 2 presenta el diagrama de comunicación entre los elementos de la red.



Fig. 2. Diagrama de comunicación entre el nodo sensor, nodo gateway y aplicaciones en la nube.

La dinámica de interacción entre los elementos de la red es la siguiente:

1. El nodo gateway está a la espera de recibir una petición por parte del nodo sensor de unirse a la red. Este paquete es denominado de sincronización.
2. El nodo sensor envía un paquete de sincronización al nodo gateway y queda a la espera de una contestación de aceptación.
3. Al recibir la petición de sincronización, el nodo gateway puede aceptar o rechazarla. Si acepta, envía un acuse de recibido, caso contrario no contesta.
4. Una vez recibido el acuse, el nodo sensor ya puede enviar paquetes con información contextual al nodo gateway. A su vez, el nodo gateway puede enviar los datos a las aplicaciones en la nube y recibir comandos de ellas que indican acciones a realizar por parte del nodo sensor.

El diagrama completo describiendo esta dinámica se presenta en la Fig. 17, mostrando el caso de uso desarrollado en la Sección III.

La Fig. 3 presenta el diagrama de flujo de la incorporación de un nodo sensor a la red.



Fig. 3. Diagrama de flujo del proceso de incorporación de nuevos nodos a la red.

Para tener confidencialidad en la comunicación, los mensajes se envían cifrados. Para esto se utiliza el algoritmo de cifrado de flujo Salsa20. De esta forma si un dispositivo no autorizado accede a un paquete no tiene manera de conocer el

contenido del mismo. La Fig. 4 indica el procedimiento para cifrar un mensaje.

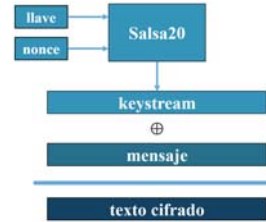


Fig. 4. Procedimiento de cifrado de un mensaje por medio del algoritmo de flujo Salsa20.

El paquete de sincronización no se cifra. En su carga útil contiene el “nonce” inicial que el nodo sensor y nodo gateway deben usar para comunicarse.

Para evitar la colisión de paquetes, el nodo que requiere transmitir un paquete sensa primero el medio y si determina que está libre procede a transmitirlo, de otra manera espera un tiempo aleatorio para volver a sensar. El valor medido es el nivel de potencia de las señales recibidas y se utiliza la escala RSSI, por sus siglas en inglés Received Signal Strength Indicator. En la Fig. 5 se muestra el procedimiento para determinar si es viable transmitir un paquete en un momento dado.

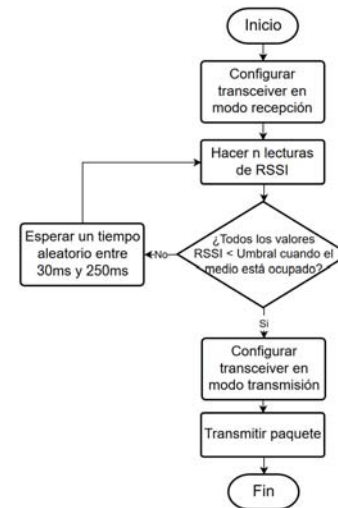


Fig. 5. Diagrama de flujo para resolver si el medio está libre para transmitir.

En la siguiente subsección se presentan los diferentes tipos de paquetes que se transmiten en la red y su estructura.

B. Paquetes

Todos los paquetes tienen los siguientes campos:

- Preámbulo: Indica al nodo que está escuchando el canal que se prepare para la recepción de un paquete. Son mínimo dos bytes.
- Red: Tres bytes que establecen la red a la que pertenece el nodo destino del paquete.

- Destino: Un byte que contiene el identificador del nodo a quien va dirigido el paquete. Si este campo contiene la dirección FFh significa que es un broadcast. Si un nodo se auto asigna la dirección FFh, significa que está en modo promiscuo y recibe todos los paquetes que se transmiten en su red.
- Fuente: Un byte con el identificador del nodo que transmite el mensaje.
- Tipo: Indica qué tipo de paquete es. Es de un byte de longitud.
- Carga útil: Contiene la información a enviar. Son nueve bytes.
- Checksum: De dos bytes de longitud, se calcula a partir del campo destino hasta el último byte de la carga útil.
- Fin: Se utiliza un byte 0 como indicador de fin de paquete.

La Fig. 6 muestra la estructura de los paquetes.

P ₁	P ₂	R ₁	R ₂	R ₃	Destino	Fuente	Tipo	Carga útil	Checksum	Fin
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	---------	--------	------	------------	----------	-----

Fig. 6. Estructura de los paquetes, donde P₁ y P₂ son el preámbulo y R₁, R₂ y R₃ son los bytes de la red.

Como se mencionó anteriormente, el preámbulo indica a un nodo receptor que se va a iniciar la transmisión de un mensaje. Considerando que el receptor pudiera no estar listo en el instante en que la fuente inicia la transmisión, se suele enviar los bytes del preámbulo mas de una vez cada uno, es decir n instancias de P₁ seguidas de n instancias de P₂, para darle oportunidad al receptor de recibir el mensaje. En el momento en que éste logra recibir un byte de P₁ se queda a la espera de P₂ y posteriormente de los bytes de la red. Si la red que contiene el paquete no es a la que pertenece el dispositivo, se detiene la recepción y se descartan los bytes recibidos. La Fig. 7 presenta el diagrama de estados de la recepción de los bytes del preámbulo y la red.

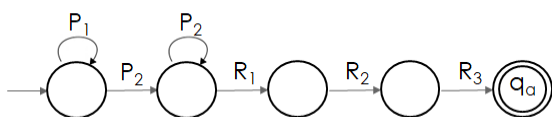


Fig. 7. Diagrama de estados para la recepción del preámbulo y la red de un paquete. Una vez que se han validado estos datos, se procede al almacenamiento del resto de la información que se está recibiendo.

Con tres bytes usados para identificar la red de baja potencia, la cantidad soportada por el protocolo es de 2²⁴ con 254 nodos cada una. Un nodo gateway puede responder a una o más redes. La decisión acerca de la cantidad de estas depende de la disponibilidad de direcciones IP, los recursos de cómputo en el nodo gateway y el tráfico que fluye en cada una de las redes. Para lograr un diseño óptimo, se pueden utilizar herramientas de simulación de redes como las presentadas en [18], [19].

Los tipos de paquetes que se transmiten en la red son:

- SYNC: Es enviado por parte del nodo sensor al nodo gateway para solicitar el ingreso a la red. Contiene como carga útil el “nonce” inicial a utilizar para comunicarse entre ellos con confidencialidad. El paquete no se cifra.
- INFO: El paquete contiene información contextual y es transmitido por el nodo sensor al nodo gateway. O son comandos enviados al nodo sensor por parte del nodo gateway, los cuales pueden tener origen en acciones solicitadas por una aplicación en la nube. El paquete se transmite cifrado.
- ACK: Lo envía el nodo receptor para indicarle al transmisor que recibió su paquete sin errores. Si es una contestación a una solicitud de ingreso, el paquete no se cifra, en otro caso se envía cifrado.

La Fig. 8 muestra los intercambios de mensajes entre el nodo sensor, nodo gateway y una aplicación en la nube para el envío de información contextual y comandos a ejecutar.

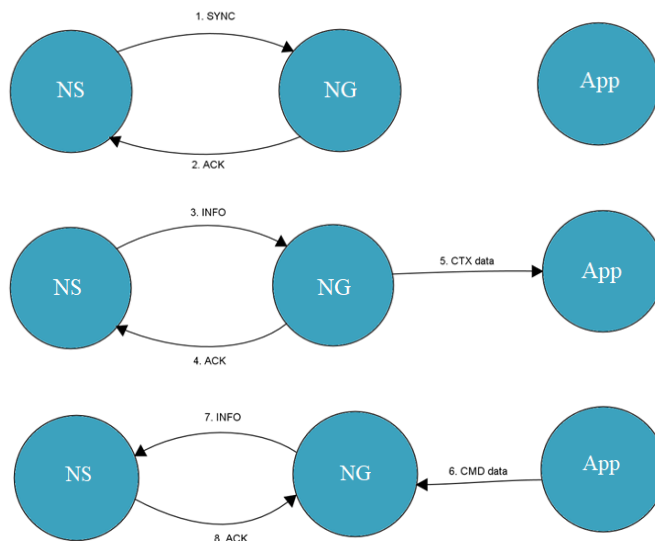


Fig. 8. Intercambio de mensajes entre el nodo sensor, nodo gateway y una aplicación en la nube.

Cuando el nodo sensor envía un paquete tipo INFO y no recibe un ACK por parte del receptor, vuelve a enviar el paquete. En caso que siga sin recibir una contestación, el nodo sensor considera que hay una discrepancia en el “nonce” o que el nodo gateway lo dio de baja de su red y por lo tanto vuelve a solicitar la sincronización con el nodo gateway por medio de un SYNC.

La red descrita está enfocada a permitir que nodos de baja potencia tengan acceso a servicios en la nube con una baja inversión. Sin embargo, como se muestra en la Fig. 9, cada nodo sensor podría pertenecer a otras redes con topologías y protocolos diferentes y acceder a esta red únicamente para transmitir o recibir datos de aplicaciones en la nube.

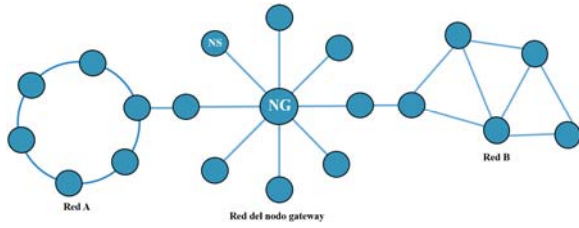


Fig. 9. Pertenencia de los nodos a distintas redes.

III. PRUEBAS

El protocolo se implementó usando un microcontrolador con bajo poder de cómputo y recursos limitados para el nodo sensor. El nodo gateway está compuesto por dos sistemas, uno encargado de comunicarse con el nodo sensor y otro con la aplicación en la nube.

Para el nodo sensor se utilizó un board LiSANDRA [20], el cual tiene los siguientes componentes:

- Atmega644p [21]: Microcontrolador de 8 bits, con 64 Kbytes de memoria de programa tipo flash, 2 Kbytes de memoria EEPROM y 4 Kbytes de memoria RAM.
- Módulo RF Linx TRM-418-LT [22]: Transceiver que opera a 418 MHz. La transmisión es tipo *OOK*, por sus siglas en inglés On-off keying. Se comunica con el microcontrolador por medio de un puerto UART. Provee en un pin la lectura de RSSI por medio de un voltaje analógico proporcional a la potencia de la señal recibida. Es capaz de recibir y transmitir datos seriales hasta 10,000bps, y es capaz de comunicarse en distancias de hasta 1000m.

El sistema del nodo gateway encargado de comunicarse con el nodo sensor es también un LiSANDRA. En la Fig. 10 se puede apreciar este board.



Fig. 10. Módulo LiSANDRA.

Los datos contextuales que envía el nodo sensor al nodo gateway es la aceleración x , y y z del módulo cada 25 segundos. Esta información se obtiene por medio del acelerómetro ADXL335 [23], el cual retorna los valores por medio de tres voltajes analógicos proporcionales a la aceleración detectada. Su escala es $\pm 3g$. En la Fig. 11 se puede ver el board del acelerómetro, el cual se monta a LiSANDRA tal como se ve en la Fig. 12.

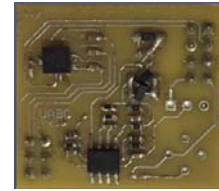


Fig. 11. Módulo con el acelerómetro ADXL335.

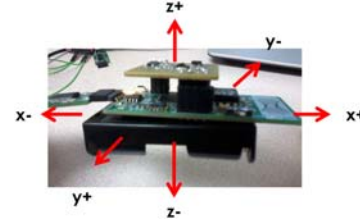


Fig. 12. Módulo LiSANDRA con el acelerómetro.

Se realizó la implementación del protocolo propuesto en lenguaje C, la Fig. 13 presenta los distintos módulos que integran el sistema del nodo sensor y sus relaciones. El sistema del nodo gateway no incluye el módulo SensorAceleración.

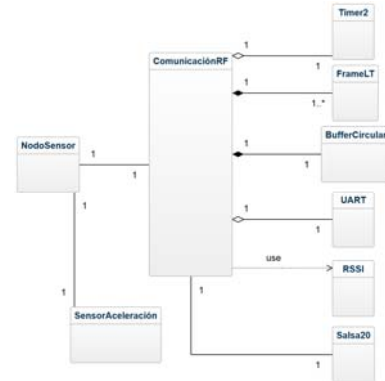


Fig. 13. Módulos que integran el sistema del nodo sensor.

La cantidad requerida de memoria de programa es 12,244 bytes y de memoria de datos es 441 bytes, equivalentes al 18.7% y 10.8% de la memoria disponible en el microcontrolador respectivamente.

Para verificar que el sistema opere de forma correcta, se hizo que el nodo gateway enviara por UART los valores de aceleración que recibe del nodo sensor. Por medio de un adaptador serie a USB y un software terminal se puede visualizar esta información en una computadora. La Fig. 14 muestra un ejemplo de los datos desplegados. Los valores enviados corresponden a la medición que retorna el convertidor análogo-digital del microcontrolador del voltaje en los pines x , y y z del ADXL335. La resolución de Atmega644p es de 10bits y su voltaje de referencia es 3V. La aceleración detectada para el caso $x = 118$, $y = 136$ y $z = 151$ es $x = -2.302g$, $y = -2.198g$ y $z = -2.11g$.

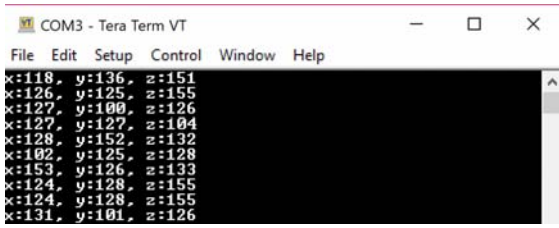


Fig. 14. Despliegue en pantalla de los datos de aceleración recibidos por el nodo gateway.

La latencia en la obtención de paquetes a causa del procesamiento requerido por el protocolo se muestra en la Fig. 15. Estos datos consideran el tiempo necesario para:

1. Empaquetado, cifrado y envío del paquete por parte del nodo sensor al nodo gateway.
2. Recepción en el nodo gateway. Descifrado y verificación que el destino y checksum sean correctos.
3. Empaquetado, cifrado y envío del ACK del nodo gateway al nodo sensor.
4. Recepción en el nodo sensor. Descifrado y verificación que el destino y checksum sean correctos.

La velocidad del microcontrolador es 8 MHz. Como se puede apreciar en la Fig. 15 el tiempo de procesamiento no es significativo.

Mínimo	Máximo	Media	Típico
5ms	38ms	21.5ms	24ms y 25ms

Fig. 15. Latencia en la obtención de paquetes en la red.

Para el envío de los datos a una aplicación en la nube se requiere de un módulo WiFi. Una opción es el dispositivo Electric Imp el cual opera en el estándar 802.11 b/g/n [24], este se conecta al nodo gateway por medio del puerto UART de ambos. De esta forma cuando el nodo gateway recibe los datos de aceleración del nodo sensor, los transmite al Electric Imp por serie y éste a su vez los envía a un servicio en la nube. La Fig. 16 muestra este módulo que tiene una estructura similar a una SD card, junto con un board del proveedor Sparkfun.



Fig. 16. Módulo con el acelerómetro ADXL335.

Las aplicaciones programadas para Electric Imp constan de dos partes: *Agent* y *Device*. En *Agent* se realizan todos los procesos correspondientes a servicios en la nube ya que es el mediador entre el dispositivo y los recursos en Internet. En *Device* se programan las acciones a realizar en el dispositivo. De manera que *Device* recibiría por UART los datos del nodo gateway y los haría accesibles a *Agent* para que los transmita a la aplicación en la nube.

Una opción de aplicación en la nube es Xively [25], que permite la recepción y envío de datos y mensajes. Los datos se pueden configurar como *Time Series* para visualizar en forma de gráfica sus cambios en el tiempo.

La Fig. 17 muestra el diagrama completo de interacción de los elementos de la red.

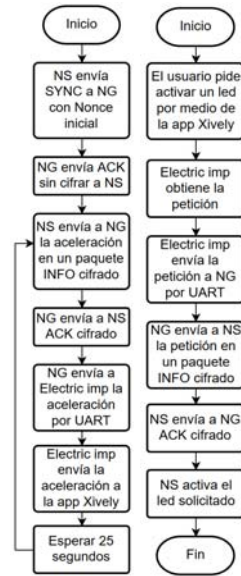


Fig. 17. Dinámica de interacción de los elementos de la red en el caso de uso descrito en esta sección.

IV. RESULTADOS

Con el protocolo propuesto se logró crear una red IoT usando dispositivos de bajo poder de cómputo y recursos limitados, permitiendo una comunicación eficiente sin que el protocolo sea una sobrecarga para el sistema. Esto último debido a que la implementación requirió, en el caso del microcontrolador Atmega644p, poco más de 12 KBytes de memoria de programa y solo 441 bytes de memoria de datos.

La topología de la red es robusta respecto a la desconexión inesperada de nodos sensores. Ya que cada par de nodos posee una llave y nonce particulares para intercambiar mensajes entre ellos, la pérdida de un nodo sensor en la red no afecta la comunicación de los otros nodos. Si posteriormente el nodo dañado se recupera, puede volver a solicitar la integración a la red por medio de un paquete de sincronización. Sin embargo, cuando el nodo afectado es el nodo gateway, los nodos sensores tendrían que solicitar el acceso a alguna red disponible o esperar a que se recupere el dispositivo para poder tener acceso a los servicios en la nube.

En las redes IoT los dispositivos operan por medio de baterías por lo que un reto en ellos es el uso eficiente de energía. En el transceiver de baja potencia del caso de uso descrito anteriormente la potencia de la señal se puede configurar por medio de una resistencia en el pin LADJ. Esto permite adaptar el sistema de forma que se ajuste a los requerimientos potencia y las limitaciones de energía de la aplicación. En la Fig. 18 se presenta el requerimiento de energía. El consumo típico en reposo es de 11.5 µA.

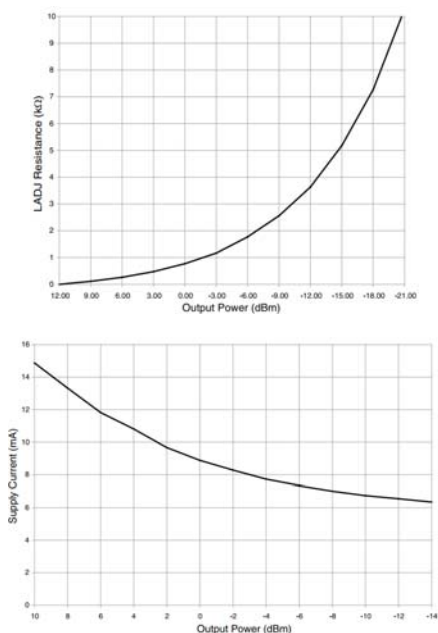


Fig. 18. Consumo de energía del TRM-418-LT [22].

Una preocupación constante en las redes IoT es la seguridad. Cuando los dispositivos cuentan con recursos limitados se tiene que decidir entre asignarlos a la aplicación o a proveer seguridad por lo que es común que no cuenten con ella. En la propuesta descrita en este documento fue posible proveer confidencialidad en la comunicación usando pocos recursos de cómputo.

El tamaño del “nonce” del algoritmo Salsa20 es de 8 bits, lo que permite cifrar 2^{64} mensajes con la misma llave secreta. Con una llave de 128 bits, el espacio de mensajes que es posible cifrar es de $2^{128} \times 2^{64}$, lo cual supera por mucho el tráfico que se pueda presentar en la red.

Debido a que tras múltiples análisis no se han reportado ataques mejores a la búsqueda exhaustiva [13], en este protocolo se utiliza la versión de 20 rondas de Salsa20, es decir, Salsa20/20. Con rondas reducidas se han logrado los ataques que se presentan a continuación. En Salsa20/5 es posible realizar un ataque diferencial que permite recuperar la llave [26], al igual que en Salsa20/8 [27]. Un ataque de llaves relacionadas en Salsa20/7 se describe en [28].

V. CONCLUSIONES

En este artículo se describió un protocolo de comunicación para redes IoT con nodos de bajo poder computacional y recursos limitados. Para tener confidencialidad en la comunicación la información transmitida se cifra por medio de un algoritmo de flujo. Aún con esto, el protocolo tiene muy bajos requerimientos de memoria, de procesamiento y por consiguiente de uso de energía.

Para lograr una seguridad más completa en la comunicación, además del requerimiento de confidencialidad también se debe cumplir el de integridad, por lo que como trabajo futuro está el uso de un algoritmo hash para detectar modificaciones maliciosas en los paquetes transmitidos.

VI. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a CONACYT por el apoyo brindado para la realización de este trabajo por medio del número de referencia 536467.

REFERENCIAS

- [1] M. Weiser, “The computer for the 21st Century,” *IEEE Pervasive Comput.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–25, 2002.
- [2] C. Perera, A. Zaslavsky, P. Christen, and D. Georgakopoulos, “Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 16, no. 1, pp. 414–454, First 2014.
- [3] S. Kraijak and P. Tuwanut, “A survey on IoT architectures, protocols, applications, security, privacy, real-world implementation and future trends,” in *11th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM 2015)*, 2015, pp. 1–6.
- [4] A. Al-Fuqaha, M. Guizani, M. Mohammadi, M. Aledhari, and M. Ayyash, “Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications,” *IEEE Commun. Surv. Tutor.*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, Fourthquarter 2015.
- [5] N. Naik, “Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP,” in *2017 IEEE International Systems Engineering Symposium (ISSE)*, 2017, pp. 1–7.
- [6] J. M. H. Ontiveros, E. I. González, J. E. O. Tiznado, J. J. S. López, P. A. R. Figueroa, and C. C. Wilson, “Protocolo MAC aplicado a 802.15.4 eficiente en el consumo de energía,” *Ing. E Investig.*, vol. 30, no. 1, pp. 71–74, 2010.
- [7] “IEEE Standard for Low-Rate Wireless Networks,” *IEEE Std 802154-2015 Revis. IEEE Std 802154-2011*, pp. 1–709, Apr. 2016.
- [8] “Alliance Overview - Z-Wave Alliance.” [Online]. Available: <https://z-wavealliance.org/z-wave-alliance-overview/>. [Accessed: 01-Feb-2018].
- [9] I. Alqassem and D. Svetinovic, “A taxonomy of security and privacy requirements for the Internet of Things (IoT),” in *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 2014, pp. 1244–1248.
- [10] D. Papp, Z. Ma, and L. Buttyan, “Embedded systems security: Threats, vulnerabilities, and attack taxonomy,” in *2015 13th Annual Conference on Privacy, Security and Trust (PST)*, 2015, pp. 145–152.
- [11] M. Nawir, A. Amir, N. Yaakob, and O. B. Lynn, “Internet of Things (IoT): Taxonomy of security attacks,” in *2016 3rd International Conference on Electronic Design (ICED)*, 2016, pp. 321–326.
- [12] A. J. Menezes, P. C. Van Oorschot, and S. A. Vanstone, *Handbook of applied cryptography*. CRC press, 1996.
- [13] “The eSTREAM portfolio page.” [Online]. Available: <http://www.ecrypt.eu.org/stream/e2-salsa20.html>. [Accessed: 27-Nov-2017].

- [14] M. Robshaw, "The eSTREAM Project," in *New Stream Cipher Designs*, M. Robshaw and O. Billet, Eds. Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 1–6.
- [15] A. Djajadi and M. Wijanarko, "Ambient Environmental Quality Monitoring Using IoT Sensor Network," *Internetworking Indones. J.*, vol. 8, no. 1, 2016.
- [16] D. Anu, T. Selvasankari, and R. Srinivasan, "RENEWABLE ENERGY AGRICULTURE MONITORING SYSTEM USING FUZZY BASED PID CONTROLLER," 2017.
- [17] P. Kanase and S. Gaikwad, "Smart Hospitals Using Internet of Things (IoT)," 2016.
- [18] S. Mehta, N. Ullah, M. H. Kabir, M. N. Sultana, and K. S. Kwak, "A Case Study of Networks Simulation Tools for Wireless Networks," in *2009 Third Asia International Conference on Modelling Simulation*, 2009, pp. 661–666.
- [19] T. d J. M. Sanguino, C. S. López, and F. A. M. Hernández, "WiFiSiM: An Educational Tool for the Study and Design of Wireless Networks," *IEEE Trans. Educ.*, vol. 56, no. 2, pp. 149–155, May 2013.
- [20] L. Aguilar, G. Licea, and J. A. Garcia-Macias, "LiSANDRA: A Low-Cost Experimental Wireless Sensor Network," in *2010 IEEE Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference*, 2010, pp. 259–264.
- [21] "ATmega644 - 8-bit AVR Microcontrollers." [Online]. Available: <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATMEGA644>. [Accessed: 01-Dec-2017].
- [22] "LT Series RF Transceiver Module," *Linx Technologies*. [Online]. Available: <https://linxtechnologies.com/wp/product/lt-series-rf-transceiver-module/>. [Accessed: 15-Jan-2018].
- [23] "ADXL335 Datasheet and Product Info | Analog Devices." [Online]. Available: <http://www.analog.com/en/products/mems/accelerometers/adxl335.html#product-overview>. [Accessed: 15-Jan-2018].
- [24] "Electric Imp - the industry leading Internet of Things (IoT) platform delivering connectivity that transforms." [Online]. Available: <https://electricimp.com/>. [Accessed: 15-Jan-2018].
- [25] "IoT Platform for Connected Devices| Xively by LogMeIn." [Online]. Available: <https://www.xively.com/>. [Accessed: 15-Jan-2018].
- [26] P. Crowley, "Truncated differential cryptanalysis of five rounds of Salsa20," 375, 2005.
- [27] J.-P. Aumasson, S. Fischer, S. Khazaei, W. Meier, and C. Rechberger, "New Features of Latin Dances: Analysis of Salsa, ChaCha, and Rumba," in *Fast Software Encryption*, 2008, pp. 470–488.
- [28] S. Fischer, W. Meier, C. Berbain, J.-F. Biasse, and M. J. B. Robshaw, "Non-randomness in eSTREAM Candidates Salsa20 and TSC-4," in *Progress in Cryptology - INDOCRYPT 2006*, 2006, pp. 2–16.

Optimización del punto máximo de potencia en un sistema de recuperación de energía solar

Roberto Santiago Roque Martínez.
 Área de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Universidad de Ixtlahuaca CUI. Estado de México, México.
 santiago.roque@uicui.edu.mx

Luis Enrique Arzate Fabián,
 Área de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Universidad de Ixtlahuaca CUI. Estado de México, México.
 enrique.arzate@uicui.edu.mx

Salvador Sarmiento Sánchez,
 Área de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Universidad de Ixtlahuaca CUI. Estado de México, México.
 salvador.sarmiento@uicui.edu.mx

Jorge Edmundo Mastache Mastache.
 Área de Investigación de la Escuela Profesional de Ingeniería Universidad de Ixtlahuaca CUI. Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlan. Estado de México, México.
 mastache@uicui.edu.mx

Resumen—Desarrollando un análisis energético de la zona centro de México, se obtuvo como resultado una alta demanda de energía eléctrica generada en un lapso de tiempo, mejor conocida como “horas pico”, después de una investigación se presenta una manera de cómo reducir la demanda eléctrica generada por la sociedad, desarrollando un sistema de recuperación de energía eléctrica en estructuras de tránsito, con la utilización de paneles solares, los cuales se encargan de recolectar esa energía que posteriormente con la interconexión a red, alimentará las líneas de energía eléctrica dando un mejor servicio a un menor costo de producción.

Palabras clave— panel solar; celda; temperatura; irradiancia; electricidad; convertidor; MPPT.

I. INTRODUCCIÓN.

Actualmente existen diversos problemas eléctricos en México, uno de ellos es la sobrecarga en las líneas eléctricas esto ocasionado por la alta demanda en ciertas horas del día llamadas “horas pico”, éstas ocurren debido a que la energía producida en las subestaciones no es suficiente para dar un suministro eficaz (figura 1).

Uno de los lugares donde más ocurre esto es en el centro del país, especialmente en el Estado de México. Muchas veces esto ocurre gracias al consumo ilegal de la energía eléctrica y a la falta de la producción de la misma.

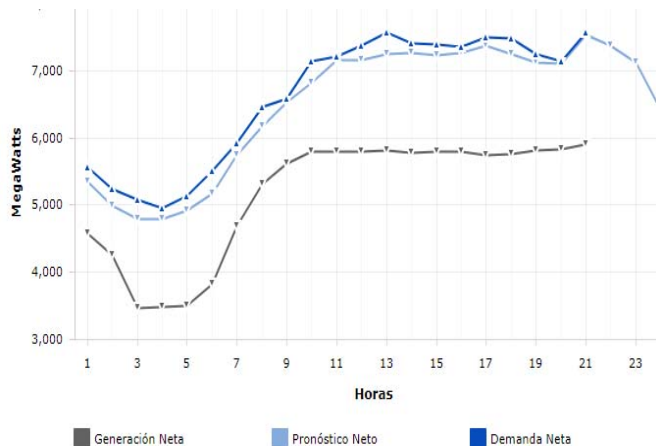


Figura 1. Demanda y producción de energía en la zona central [1].

Hoy en día se han implementado nuevas formas de solucionar este problema con la implementación de energías renovables como la eólica, solar e hidráulica.

Sin embargo, hablando de la producción de energía mediante el sol (celdas fotovoltaicas) observamos que no producen la energía total que deberían, debido al uso de convertidores de corriente de estado ON-OFF, esto quiere decir que sólo se activan cuando la irradiancia y la temperatura están en su punto más alto.

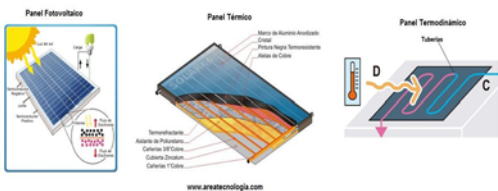


Figura 2. Activación al punto máximo [6]

En la figura 2 podemos observar que el comportamiento de los paneles solares es activarse cuando se llega a un punto específico de radiación. Al ser de esta forma el funcionamiento no aprovechamos totalmente la producción de energía de un panel.

Por lo tanto, vale la pena mencionar que la solución a esto es la implementación de un seguidor de punto máximo de potencia o MPP por sus siglas en inglés (Maximum Power Point), de esta manera se logra captar la mayor energía posible, siguiendo este punto a lo largo y ancho de los paneles aprovechando la totalidad de la energía que nos transmite el sol.

Además, este sistema es capaz de realizar un seguimiento y sensado de las señales de radiación utilizando el sistema de optimización por enjambre de partículas o PSO por sus siglas en inglés (Particle Swarm Optimization). [8]

De esta manera amplificamos la producción de energía reduciendo la tensión de las líneas eléctricas y bajando los costos de producción además de lograr colocar los paneles solares en estructuras de tránsito o edificios, aprovechando estos espacios para aumentar la captación de energía y creando ambientes más cálidos y amigables con el medio ambiente.

II. SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA EN ESTRUCTURAS DE TRÁNSITO

A partir de los problemas antes mencionados se pudo establecer lo siguiente, que los sistemas fotovoltaicos son una solución viable al problema energético que estamos viviendo. Presentando un sistema de recuperación de energía como el que se está desarrollando será notable la disminución en el costo de producción de la electricidad.

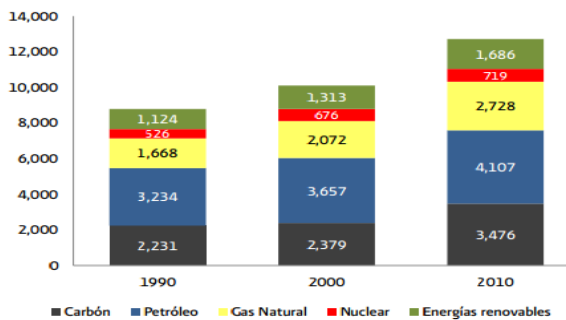


FIGURA 3. Distribución de la demanda mundial de energía, 1990-2010.

Fuente: International Energy Agency. 2012. World Energy Balances

Como se puede observar en la figura 3, se sabe que un 13.5% de toda la energía en México es generada por energías renovables, y que en 20 años el crecimiento ha disminuido, por lo tanto, buscamos acrecentar ese número de tal manera que reduzcamos el uso de combustibles que al momento representa un 43%. Y lo que se busca es que en 2021 la energía que se genere en el país debe de ser del 30% de energías limpias.

Para la recuperación de energía utilizaremos paneles solares los cuales estarán instalados en estructuras de tránsito, puentes peatonales, edificios gubernamentales etc. los cuales se encargarán de recolectar esa energía que posteriormente con la interconexión a red alimentar las líneas de energía eléctrica.

Y así disminuir la gran demanda de energía en las líneas eléctricas, cuyo efecto provocará la disminución de costo para la generación de energía eléctrica. De esta manera se utilizarán estructuras que todo el tiempo están fijas y están recibiendo energía que de una u otra manera no se utiliza. Así mismo ahorrar el uso de superficies en miles de hectáreas de terreno para la instalación de los mencionados, esto reducirá el costo en la compra de miles de hectáreas de terreno que bien pueden ser utilizadas para otras aplicaciones.

El sistema de recuperación de energía que se plantea en este artículo consta de un panel que está conectado a un sensor de efecto hall que posteriormente se conectará a un convertidor de corriente directa a corriente directa y después pasará a un convertidor de

corriente alterna para que finalmente se conecte a las líneas eléctricas como se puede observar en la figura 3. diagrama de bloques.

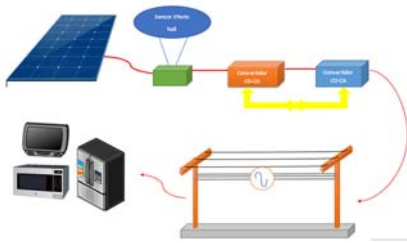


Figura 4. Diagrama a bloques del sistema.

III. PANEL SOLAR.

El panel solar fotovoltaico es un sistema capaz de captar la energía recibida del sol a la Tierra, y convertirla en electricidad de corriente continua. Se compone de células fotovoltaicas que transforman la energía solar en voltaje.

A esto se suman los equipos eléctricos, y, en particular, los convertidores de CD-CD o buck y el convertidor CD-CA mejor conocido como back to back que transforma la corriente continua en corriente alterna y que posteriormente está conectada a la distribución de la red pública de electricidad para alimentar los hogares de la población. [4]

En el panel influyen varios factores para que la generación de energía que nos entregue sea la necesaria para estar interconectadas a la red pública, estos factores son la radiación solar y la temperatura.

IV. FACTORES A CONSIDERAR EN EL PANEL SOLAR.

La temperatura de la celda posee un efecto importante sobre el valor de la tensión en circuito abierto (V_{oc} es máximo valor de tensión en extremos de la celda y se da cuando esta no está conectada a ninguna carga). Así, al aumentar la temperatura, la tensión de circuito abierto disminuye el voltaje por cada grado centígrado que aumenta la temperatura en el caso del silicio disminuye $2.3 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.

Además, como consecuencia de la variación de V_{oc} , a medida que aumenta la temperatura, provoca a su vez, que la eficiencia de la celda haga lo propio: disminuir al aumentar la temperatura (se reduce entre

el 0,4 y 0,5% por $^\circ\text{C}$ en las celdas de silicio). La figura 5 ilustra las variaciones de las principales características eléctricas de una celda solar en función de la temperatura.

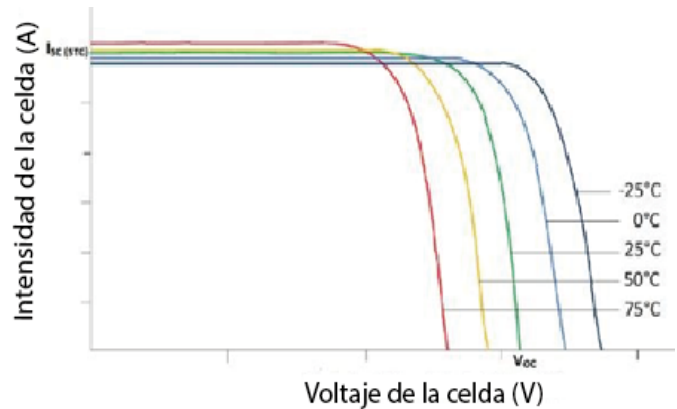


Figura 5. Efecto de temperatura en la celda. [3]

La irradiancia también tiene ciertos efectos como son la tensión y corriente que genera en una celda depende directamente de la iluminación recibida. La corriente de cortocircuito de la celda es directamente proporcional a la irradiancia como se muestra en la figura 6, disminuyendo a medida que se reduce la irradiancia. La tensión de circuito abierto varía poco con la irradiancia, aunque también decrece, a efectos prácticos se puede considerar constante

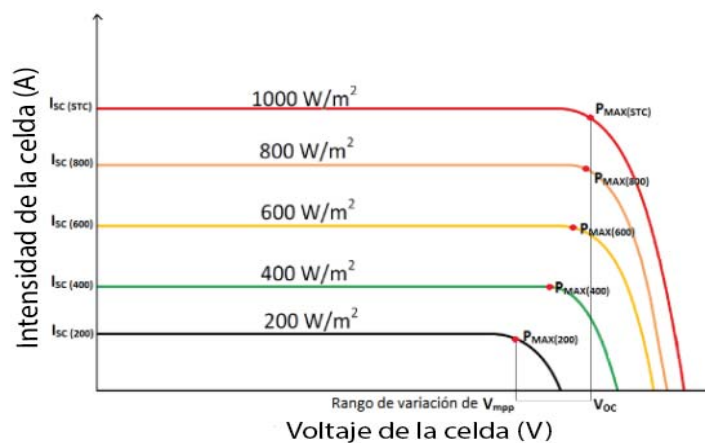


Figura 6. V-I respecto a la irradiancia. [3]

Por la necesidad de que nuestro panel sea autosuficiente se necesita de un sensor para un mejor funcionamiento en nuestro caso utilizamos un sensor de efecto Hall.

En conclusión, el voltaje de circuito abierto de una celda depende exclusivamente de su temperatura (T_c), y la temperatura de trabajo de las células depende exclusivamente de la irradiancia y de la temperatura ambiente. [3]

VI. SENSOR DE EFECTO HALL

El sensor de efecto Hall se basa en la tensión transversal de un conductor que está sometido a un campo magnético. Colocando un voltímetro entre dos puntos transversales de un cable se puede medir esa tensión. Sirve del efecto Hall para la medición de campos magnéticos o corrientes, o para la determinación de la posición.

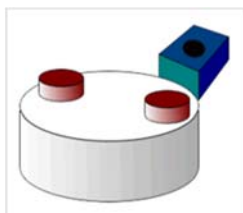


Figura 7. Sensor Hall.

VII. CONVERTIDORES.

El convertidor CD-CD o también llamado convertidor Buck es un circuito que consta de resistencia, capacitor e inductor, además de que se controla por una señal modulada por ancho de banda (figura 8) y su función esencial es transformar los niveles de voltaje en otros esperando que sean los niveles deseados.

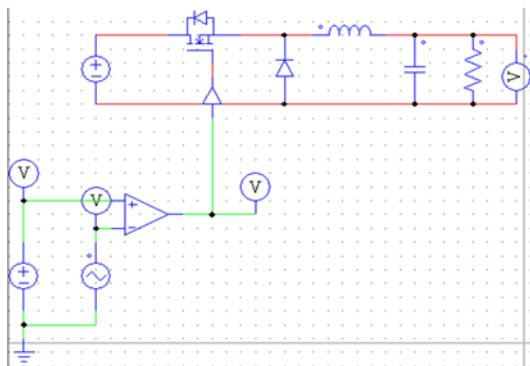


Figura 8. Circuito característico de convertidor CD-CD

El circuito trabaja de la siguiente manera: cuando la señal del PWM está activado el transistor conduce, la corriente va desde la fuente de entrada hasta el capacitor, cargando a su paso la bobina. El diodo no puede conducir corriente ya que se está polarizando

inversamente, la corriente pasa por la bobina para que esta se cargue y posteriormente se almacene en el capacitor. Cuando el PWM se encuentra desactivado la fuente no puede conducir corriente al circuito y se aprovecha la energía del inductor, almacenada en forma de campo magnético, para hacer circular una corriente por el circuito y que además sigue alimentando el capacitor para mantener el voltaje de salida estable. [7].

Para optimizar el convertidor CD-CD se hace uso de la técnica del MPP para sacar un mayor provecho a la energía obtenida.

El convertidor CD-CA mejor conocido como convertidor Back to Back El convertidor BTB está formado por convertidores VSC, como se muestra en la Figura 11; el convertidor del lado de la red eléctrica es VSC_1 y el convertidor del lado de la carga es VSC_2 . La carga puede ser pasiva, activa u otra red eléctrica. VSC_1 y VSC_2 comparten el bus de corriente directa (CD) a través del capacitor C_{cd} , el cual permite que ambos VSC se puedan controlar de manera independiente en cierto rango de potencia. VSC_1 y VSC_2 puede actuar como un rectificador o un inversor en función de la dirección del flujo de potencia.

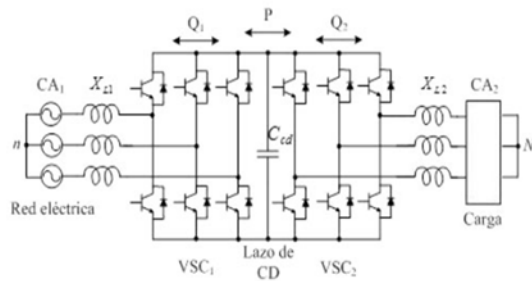


figura 10. Convertidor Back to Back

La fuente controlada de tensión V_{pwm1} representa la tensión generada en las terminales del convertidor VSC_1 y es proporcional a la tensión de CD, así como la señal de modulación PWM. La potencia aparente (S) suministrada por la fuente de energía se calcula considerando una reactancia de línea sin pérdidas y está dada por:

$$S = \frac{V_1 V_{PWM} \text{Sen}(\theta_1 - \theta_2)}{\omega_1 L_1} + \frac{V_1^2 - V_1 V_{PWM} \text{Cos}(\theta_1 - \theta_2)}{\omega_1 L_1} j \quad (1)$$

donde:

V_1 y θ_1 son la magnitud y la fase de la fuente de alimentación.

V_{pwm1} y θ_2 son la magnitud y la fase de la fuente de tensión controlada.

ω_1 representa la frecuencia de línea. [5]

VIII. SEGUIDOR DE MÁXIMA POTENCIA (MPP)

Las técnicas de seguimiento del MPP se utilizan para maximizar la energía entregada por los sistemas fotovoltaicos. En general, dicho seguimiento se realiza utilizando un convertidor continua-continua (DC/DC), el cual es controlado mediante una señal modulada en ancho de pulso (PWM). De esta manera se modifica la corriente extraída del panel y, por lo tanto, su potencia.

En la figura 9 se observa como el MPP varía de acuerdo a las condiciones ambientales. En este caso se muestran tres curvas correspondientes a tres situaciones.

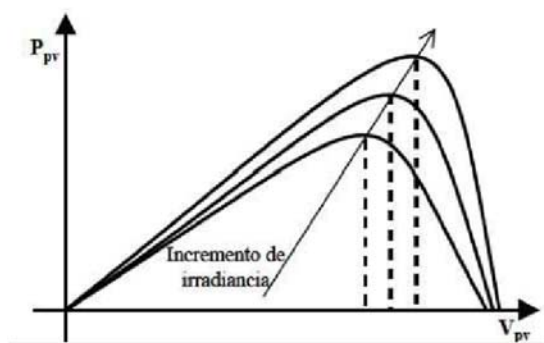


Figura 9. Familia de curvas Potencia – Tensión para diversas condiciones de operación.

Los convertidores DC/DC se pueden dividir en tres bloques:

- Conmutación.
- Elemento de acumulación de energía.
- Filtrado de la señal.

La conmutación se encarga de trocear la señal de entrada según la frecuencia y el ciclo de trabajo que se le quiera dar al elemento conmutador. La acumulación de la energía se rige por primer bloque, ya que éste determinará cuándo será liberada hacia la carga del sistema. Y finalmente se filtra la señal conmutada [4].

Después de que la señal paso del convertidor CD-CD pasa al convertidor de CD-CA para convertir la señal

extraída del panel para que se conecten a las líneas de la red pública.

IX. ALGORITMOS GENÉTICOS

Los algoritmos genéticos (GA, por sus siglas en inglés), establecen una analogía entre el conjunto de soluciones de un problema y el conjunto de individuos de una población. Consiste en un algoritmo matemático que transforma un conjunto de objetos matemáticos individuales con respecto al tiempo, usando operaciones modeladas de acuerdo al principio de reproducción y supervivencia del más apto.

Después de investigar los diferentes tipos de convertidores de potencia se llegó a la conclusión de que aún no existe un convertidor realmente eficiente.

Para optimizar el convertidor CD-CD de nuestro proyecto se utilizarán algoritmos por enjambre de abeja para recuperar la mayor cantidad de energía posible.

Los algoritmos por enjambre de abeja se basan en el modelo de recolección de alimento de abejas y que consiste en que las abejas organizan su proceso de manera en que cada grupo tiene una función específica, las abejas observadoras son aquellas que solo realizan un escaneo de la ruta en la que se va a trabajar, posteriormente, las abejas exploradoras van a realizar la búsqueda de un nuevo punto a donde trabajar en este caso conseguir alimento. finalmente, la abeja empleada es la candidata o la mejor solución en su caso es la que recolecta el alimento.

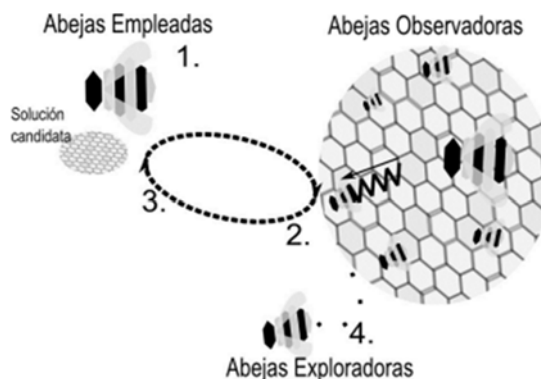


Figura 11. Elementos de la optimización de enjambre de abejas.

En resumen, son algoritmos basados en la mecánica de la selección natural y de la genética, con un intercambio de información. De ésta manera se utilizará el método de punto máximo de potencia (MPP) éste es eficiente si se trata de maximizar la energía entregada por los sistemas fotovoltaicos, en ésta es usado un convertidor de CD a CD que será controlado mediante una señal modulada por ancho de pulso (PWM Pulse Width Modulation).

X. RESULTADOS

Las simulaciones presentadas como resultado se realizaron con el Software Psim que es un programa especializado en la simulación de circuitos eléctricos. Como resultado del inicio del estudio energético de la zona norte del estado de México, concretamente la ciudad de Ixtlahuaca se obtuvo la gráfica mostrada en la figura 13 que fue generada en la simulación del panel solar (Figura 12) e ingresando los datos de temperatura e irradiancia en el municipio de Ixtlahuaca, Estado de México (tabla 1).

FECHA Y HORA	RADIACIÓN SOLAR(W/m²)	TEMPERATURA °C
19/06/2017 07:00	0	4.6
19/06/2017 07:10	0	4.4
19/06/2017 07:20	0	4.3
19/06/2017 07:30	0	4.4
19/06/2017 07:40	0	4.3
19/06/2017 07:50	0	4.2
19/06/2017 08:00	0	4.2
19/06/2017 08:10	0	4.3
19/06/2017 08:20	0	4.3
19/06/2017 08:30	0	4.4
19/06/2017 08:40	0	4.4
19/06/2017 08:50	0	4.3
19/06/2017 09:00	0	4
19/06/2017 09:10	0	3.7
19/06/2017 09:20	0	3.7
19/06/2017 09:30	0	3.8
19/06/2017 09:40	0	3.8
19/06/2017 09:50	0	3.8
19/06/2017 10:00	0	3.8
19/06/2017 10:10	0	3.8
19/06/2017 10:20	0	3.8
19/06/2017 10:30	0	3.8
19/06/2017 10:40	0	4
19/06/2017 10:50	0	3.9
19/06/2017 11:00	0	3.6
19/06/2017 11:10	0	3.6
19/06/2017 11:20	0	3.5
19/06/2017 11:30	0	3.7
19/06/2017 11:40	0	4
19/06/2017 11:50	0	3.9
19/06/2017 12:00	4	3.8
19/06/2017 12:10	11	3.9
19/06/2017 12:20	23	3.8
19/06/2017 12:30	28	3.7
19/06/2017 12:40	43	3.9
19/06/2017 12:50	66	3.8
19/06/2017 13:00	94	3.6
19/06/2017 13:10	118	3.6
19/06/2017 13:20	150	3.9
19/06/2017 13:30	180	4.1
19/06/2017 13:40	207	4.4
19/06/2017 13:50	233	4.6
19/06/2017 14:00	270	4.7

Tabla 1. Radiación solar y temperatura de Ixtlahuaca. [1]

Tabla 1. Temperatura e irradiancia en el estado de México.

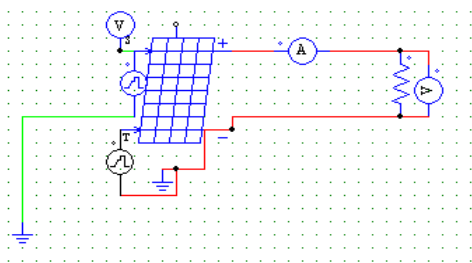


Figura 12. Simulación de panel solar en Psim.

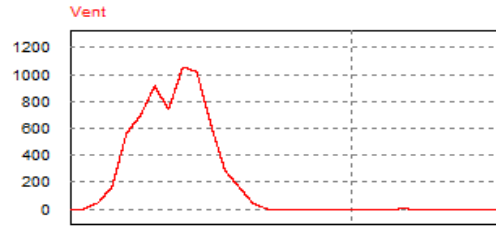


Figura 13. Gráfica de comportamiento del panel.

También se realizó la simulación del comportamiento del convertidor buck para observar su comportamiento

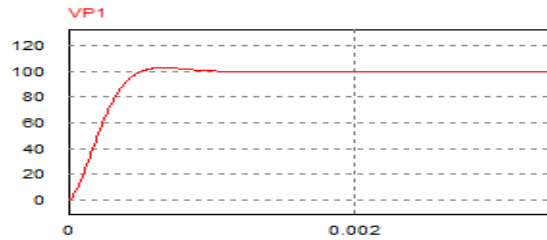


Figura 14. Comportamiento del convertidor Buck

Finalmente se realizó la medición de voltaje y corriente de un panel solar que se monitoreo cada 10 minutos.

H	M	corriente[A]	voltaje[V]
7	35	0.01	12.32
7	40	0.01	12.9
7	45	0.01	13.22
7	50	0.01	13.63
7	55	0.01	13.83
8	00	0.01	14.57
8	5	0.01	15.56
8	10	0.01	16.16
8	15	0.02	16.65
8	20	0.02	17.16
8	25	0.02	17.45
8	30	0.02	17.58
8	35	0.02	17.82
8	40	0.02	18.24
8	45	0.02	18.48
8	50	0.02	18.52
8	55	0.02	18.61
9	00	0.02	18.87
9	5	0.02	19.19
9	10	0.02	19.49
9	15	0.02	19.78
9	20	0.02	19.86
9	25	0.02	19.83
9	30	0.02	19.12
9	35	0.02	19.33
9	40	0.02	19.35
9	45	0.02	19.34
9	50	0.02	19.36
9	55	0.02	19.33
10	00	0.02	19.42
10	5	1.14	19.5
10	10	1.23	19.25
10	15	1.3	19.27
10	20	1.42	19.1
10	25	1.47	19.04
10	30	1.44	18.8
10	35	1.42	18.67
10	40	1.45	18.73
10	45	1.35	18.63
10	50	1.37	18.71
10	55	1.42	18.81
11	0	1.86	18.94
11	5	1.49	18.9
11	10	1.48	18.72
11	15	1.43	18.65
11	20	1.42	18.55
11	25	1.31	18.41
11	30	1.49	18.77
11	35	1.44	18.6
11	40	1.43	18.51
11	45	1.47	18.57
11	50	1.45	18.63
11	55	1.44	18.6
12	00	1.45	18.5

Tabla 2. Niveles de corriente y voltaje.

Y se obtuvieron como resultado las siguientes gráficas:



Figura 16. Corriente del panel solar.

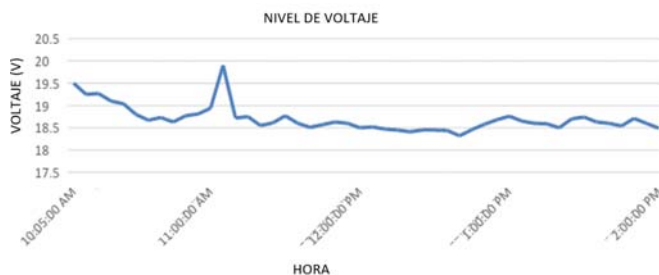


Figura 17. Voltaje del panel.

XI. CONCLUSIONES.

En la actualidad existen varios convertidores de corriente para los paneles solares, sin embargo, estos no son lo suficientemente efectivos y no logran recaudar la mayor parte de la energía que se está recibiendo.

Esto sucede a que los convertidores actuales funcionan como ON-OFF esto quiere decir que cuando se llega a cierto nivel de radiación y de temperatura estos empiezan a trabajar convirtiendo la energía solar en electricidad.

Es por ello que se busca Eficientar a través de algoritmos de búsqueda, los convertidores de corriente asociados para que a partir de que se perciba un nivel de irradiancia el convertidor empiece a trabajar. De esta manera generar energía eléctrica a un bajo costo además de una manera limpia y amigable con el medio ambiente.

XII. REFERENCIAS

[1]S. M. Nacional, «Servicio Meteorológico Nacional,» [En línea]. Available: http://smn.cna.gob.mx/tools/GUI/EMAS_reporte_v2.

[php?id=238&formato=xls&tipo=1s](http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html). [Último acceso: 18 junio 2017].

[2] Tecnología «<http://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>.» [En línea] [Último acceso: 3 de noviembre de 2017]

[3]«ingelibre,» 9 Noviembre 2014. [En línea]. Available:

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/11/09/influencia-de-la-irradiacion-y-temperatura-sobre-una-placa-fotovoltaica/>. [Último acceso: 26 junio 2017].

[4]S. Cuestas, «<http://www.cricyt.edu.ar/asades/modulos/averma/trabajos/2012/2012-t004-a015.pdf>,» [En línea]. [Último acceso: 17 octubre 2017].

[5] S. C. M. D. J. G. Janeth Alcalá. [En línea]. Available:

https://www.researchgate.net/publication/269998790_Analisis_del_Convertidor_CACDCA_Back_to_Back_para_la_Gestion_del_Flujo_de_Potencia. [Último acceso: 26 septiembre 2017].

[6]el mundo de los paneles solares «<https://panelessolaresfotovoltaicosgratis.com/funcionamiento-de-los-paneles-solares-fotovoltaicos>» [en línea], [Último acceso: 20 de octubre de 2017].

[7] Argos, «Nomadas Electronicos,» 12 abril 2015. [En línea]. Available: <https://nomadaselectronicos.wordpress.com/2015/04/12/convertidores-dcdc-buck/>. [Último acceso: 30 mayo 2017].

[8] A. Aguilar, 07 agosto 2014. [En línea]. Available: <http://www.lania.mx/~emezura/util/files/thesis-AdanAguilar.pdf>. [Último acceso: 24 octubre 2017].

Dimensionamiento de Sistema Fotovoltaico para el Gimnasio “Rodrigo Valle” en CETYS Universidad.

Sebastián Ayala
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
sebastian.ayala@cetys.edu.mx

Diego Bobadilla
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
diego.bobadilla@cetys.edu.mx

Ernesto Salgado
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
ernesto.salgado@cetys.edu.mx

Mario Fuentes
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
mfuentes@cetys.edu.mx

Adolfo Esquivel
Escuela de Ingeniería.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
adolfo.esquivel@cetys.mx

Resumen—Se presentan las necesidades de energía eléctrica en la iluminación interna del Gimnasio Rodrigo Valle en el CETYS Universidad, para ser suministrada por un sistema fotovoltaico. Se toman en cuenta la insolación y temperatura promedio anual que se registran en la región para el adecuado dimensionamiento del sistema, se considera la geolocalización del inmueble para la correcta inclinación y orientación de los paneles solares.

Palabras clave—sistema fotovoltaico, paneles solares, energía eléctrica, styling, insolación.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día las industrias y sociedades modernas presentan una gran dependencia de las fuentes de energía, por ejemplo electricidad, nuclear, petróleo entre otras fuentes de energía.[1] La mayor parte de la energía utilizada por el ser humano procede de la combustión de combustibles fósiles tales como el carbón, gas natural y petróleo, tomando en cuenta que alguna de ellas se utiliza para la generación de energía eléctrica. Su utilización es necesaria y fundamental para la mayoría de los equipos electrónicos. Sin embargo, estos recursos que anteriormente se mencionaron, son recursos limitados por lo que las fuentes de energías renovables presentan una solución para atender la demanda excesiva de la energía eléctrica, así como también una forma de apoyo para la preservación del medio ambiente. Dentro de estas fuentes de energía sobresale la energía solar fotovoltaica debido al encarecimiento de las energías convencionales y los aumentos de la contaminación. [2]La energía solar fotovoltaica se divide en dos grupos, que son la fotovoltaica aislada de la red eléctrica la cual se caracteriza por tener sistemas de acumulación de energía y fotovoltaica conectada a la red general de la compañía eléctrica.

Algunos de los beneficios de la energía solar fotovoltaica son:

- No producen emisiones de sustancias contaminantes líquidas o gaseosas.
- Es una fuente de energía inagotable.
- No existe ruidos, ni peligros asociados a la existencia de partes móviles.

- En la mayoría de los casos genera un impacto visual positivo, ya que por lo general se instalan sobre tejados, lo cual genera una valoración estética.
- Ahorro de dinero en el recibo de luz emitido por la compañía eléctrica.

En el presente documento se muestra el proyecto del dimensionamiento de un sistema fotovoltaico que cubra la demanda eléctrica para el “Gimnasio: Rodrigo Valle”

en CETYS Universidad Campus Tijuana. El objetivo de este trabajo se centra en realizar, por medio de determinados procesos y estándares, una propuesta adecuada para lograr que dicha instalación pueda ser suministrada de energía eléctrica de una fuente limpia. Asimismo, este dimensionamiento considera los factores económicos que implican, ya que debe ser un proyecto cuya inversión sea conveniente para la institución. A través de las siguientes secciones se mostrarán los rubros específicos que se tomaron en cuenta para el dimensionamiento final que se propuso a CETYS Universidad, así como los cálculos específicos que están basados en literatura orientada a este tipo de instalaciones.

II. OBJETIVO

- A. Diseñar un sistema fotovoltaico que cubra la demanda eléctrica para el “Gimnasio: Rodrigo Valle” en Cetys Universidad Campus Tijuana. Tomando en cuenta geolocalización, temperatura e insolación en la región.

III. MARCO TEÓRICO

A continuación, se presentan ciertos conceptos técnicos cuyo conocimiento es necesario para comprender de manera adecuada el dimensionamiento propuesto.

A. Insolación:

[1]Se define como la cantidad de energía en forma de radiación solar que llega en un lugar o área en la tierra en un día determinado. Su unidad de medida es watt-hora/metro cuadrado ($W\cdot h/m^2$). Si la ubicación es un buen sitio de energía solar, la irradiancia puede llegar arriba de $1000 W/m^2$ en un lapso de 3 horas aproximadamente.

Ahora bien, si la ubicación se encuentra presente factores como neblina, es una zona con poco sol entre otros factores, la insolación promedio será menor y la insolación será máxima cuando el panel solar se encuentre en la posición horizontal hacia el sol [3] para ello será necesario que el ángulo azimuth siga el sol a todo momento. El panel solar captará mejor la radiación solar si se coloca a un ángulo de 90° y mejor en horas pico, por esa razón se recomienda que esté en una buena posición, sin embargo esa posición dependerá de la latitud y clima del lugar.

B. Módulo Fotovoltaico:

El voltaje producido por una sola celda no es suficiente para que genere una potencia útil, para ello se agrupan un conjunto de celdas a lo que se le denomina módulo fotovoltaico o solar [2].

C. Inversor Fotovoltaico

En los sistemas fotovoltaicos que alimentan cargas de corriente alterna, se requieren inversores u onduladores que básicamente convierten la corriente continua a alterna [1]. Cabe mencionar que existen dos tipos de inversores, aislados y conectados a la red. Para la selección de un inversor es necesario tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- *Tipo:* que la selección sea la correcta de acuerdo a la aplicación.
- *Tamaño:* debe ser adecuado a la carga de operación.
- *Voltaje:* compatibilidad con el voltaje de la batería o controlador del sistema.
- *Eficiencia:* generalmente los inversores tienen de un 60% a 90% de eficiencia, esta puede variar dependiendo de la carga. La mayoría de los inversores no operan a su máxima eficiencia debido a que estos tienden a ser menos eficientes cuando las cargas son del 50% de su capacidad.

C. Ecuaciones

Cálculo de número total de módulos solares [4]:

$$N_{TOTAL} = L_{MDCRIT} / (P_{MPP} * HSP * PR) \quad (1)$$

Donde:

N_{TOTAL} = Número total de módulos solares.
 L_{MDCRIT} = Consumo medio por hora por día
 HSP = Horas Solares Pico (son las horas que resultan de dividir la energía por unidad de superficie a lo largo de un día típico).
 PR = factor global de funcionamiento = 0.9
 P_{MPP} = Potencia Pico de cada panel. (Dato dado por el fabricante).

Cálculo de consumo de potencia por día

$$\text{Consumo hr/día} = \text{consumo total} \cdot \text{horas de uso por día}$$

Conversión de VoltAmperios → Watts

$$P = VA \cdot FP = \text{Watts} \quad (2)$$

donde:

P = Potencia
 FP = factor de potencia que es igual a 0.6 debido a que:
 VA = Potencia Aparente VoltAmperios

Cálculo de Potencia de inversor

$$P_{inv} = 1.2 \cdot P_{AC} \quad (3)$$

donde:

P_{inv} = Potencia de inversor
 P_{AC} = Potencia de las cargas en alterna

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y RESULTADOS

A. Dimensionamiento Fotovoltaico

Para poder realizar el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para el “Gimnasio: Rodrigo Valle” en Cetys Universidad Campus Tijuana, se tomaron varios aspectos en cuenta:

- Consumo total de la iluminación del techo
- Características de la región
- Horas Solar Pico
- Cantidad y tipo de módulos
- Inversor a utilizar

El primer paso para encontrar el consumo total de la iluminación del techo es tomar en cuenta todas las luminarias utilizadas sobre la superficie. Una vez que se conocía el consumo de cada una de las luminarias, se comparó los valores encontrados en los cuadros de cargas y la potencia de cada luminaria dándonos los valores que se encuentran en la Tabla 1.

Tabla 1.

Tablero “D” =	29,465	VA
Tablero “E” =	35,833	VA
Consumo total =	65,298	VA

El Tablero “D” se refiere a un cuadro de carga, conteniendo en el mismo un conjunto de luminarias

sumándonos un consumo de 29,465 VA. En el Tablero “E” tenemos otro conjunto de luminarias sumando un consumo de 35,833 VA.

La suma de estos dos tableros, o cuadros de carga, nos da un total de 65,298 VA que es nuestro consumo total para la iluminación del techo del gimnasio.

Ahora que se tiene el consumo total en VA (Voltamperios), sigue convertir este valor a Watts para poder continuar con el proceso del diseño del sistema fotovoltaico. Para convertir los Voltamperios a Watts, se multiplica el consumo total en VA por 0.6, que es el factor de corrección potencia para la corriente alterna que se obtiene de CFE Una vez que se tiene el consumo total en Watts, ahora se busca obtener el consumo que hay en un día, y esto se hace multiplicando el consumo total por las horas en las que se hace uso del sistema de iluminación. Como horas de uso elegimos 5 hrs, ya que normalmente el gimnasio sólo se ilumina durante la noche, abarcando desde las 17:00hrs hasta las 22:00 hrs. En la Tabla 2 se puede observar el cálculo hecho.

Tabla 2

Factor de Potencia	0.6
Horas de consumo/día	5
39178.8	W
39.1788	kW
195.894	kWh/día

Teniendo ya el consumo en kWh/día podemos entonces podemos ya conocer cuánto es lo que se consume al mes, dependiendo del número de días que tiene el mes. La Tabla 3 muestra una tabla con el consumo que se tiene al mes durante un año.

El dato más importante que se debe tomar de las tablas anteriores es la del consumo en un día que tiene un valor de 195.894 kWh/día, que es lo que nos servirá para calcular el valor el número de paneles que utilizamos dependiendo de la potencia máxima que tenga dicho panel.

Tabla 3.

Mes	Días	Consumo kWhr/mes
Enero	31	6072.7295
Febrero	28	5485.0460
Marzo	31	6072.7295
Abril	30	5876.8350
Mayo	31	6072.7295
Junio	30	5876.8350
Julio	31	6072.7295
Agosto	31	6072.7295
Septiembre	30	5876.8350
Octubre	31	6072.7295

Noviembre	30	5876.8350
Diciembre	31	6072.7295
Promedio kWh/mes		5958.4600

Antes de esto, se deben tomar en cuenta las características más importantes de la región, siendo estas la latitud y longitud que gracias a estos datos podemos los aspectos que debemos tomar en cuenta para nuestro modulo. La latitud en el gimnasio es de 32.506 y la longitud es de -116.92, dándonos la ubicación para conocer las HSP (Horas Solar Pico) necesarias para elegir nuestro módulo fotovoltaico.

Como nuestro sistema fotovoltaico es conectado a la red eléctrica, depende más que nada del valor de HSP más alto durante el verano ya que se quiere absorber la mayor energía posible durante este tiempo, a diferencia de un sistema aislado que busca tener sus arreglos de módulos fotovoltaicos dependiendo de las HSP más bajas durante el invierno. Para obtener el ángulo de inclinación de los paneles que nos dará las HSP necesarias, tenemos que agregarle 15° a la latitud donde se encuentra el gimnasio, así dándonos la inclinación necesaria del panel con el valor de las HSP que le llegarían. Con estos valores, se obtuvo la tabla de la Tabla 4 que contiene los datos necesarios por el cálculo de número de paneles necesarios, así como su potencia.

Tabla 4.

Módulo FV (Wp)	355.9	Factor de corrección de potencia	0.9
HSP	5.49	Consumo	195.89
Carga necesaria en AC	35.682	Watts necesarios	39646.73
Carga necesaria en DC	39.647		

Como se observa en la tabla anterior, ya se tomó en cuenta un módulo fotovoltaico de 300 Wp. Lo más importante que se debe tomar en cuenta del módulo fotovoltaico es su potencia pico que es la potencia máxima que genera, su eficiencia, la corriente y voltaje que tienen en su salida lo cual se usará para elegir los inversores.

Los parámetros del panel solar *Sunmodule Plus SW 280 Duo* son:

- $P_{MAX} = 355.9$ Wp
- $U_{MPP} = 31.8$ V
- $I_{MPP} = 8.95$ A
- Eficiencia 21.23%

Con la potencia pico del panel solar y el consumo total en watts, se encontró el número de paneles solares que se necesitan para satisfacer la demanda que requiere cumplirse. Dividiendo el consumo total entre la multiplicación de las horas solar pico por la potencia máxima del panel solar a usar

nos da el número total de paneles a usar, como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5.

Número total de módulos necesarios	113
Potencia a instalar (kWp)	40

Ahora sigue en asegurar que este número de paneles solares se puedan situar en el techo del gimnasio. Tomando las dimensiones del techo y de cada módulo solar, calculamos que no hay gran problema en colocar los 113 módulos en el techo ya que el área del techo es de 2941.9698 m² y el área de cada panel es de 1.676675 m² dándonos un área total a ocupar de

El último paso para el dimensionamiento es agregar un inversor, que básicamente es tomar la potencia producida por el panel, con su corriente y voltaje. Para el arreglo de los paneles, se organizaron en 7 cadenas de 11 módulos en serie dándonos 349.8 V, una corriente de 8.95 A y una potencia de 3.13kW promedio para cada una de las cadenas de 11 módulos. Para los paneles restantes se organizaron en 3 cadenas de 12 módulos en serie con valores de 381.6 V, una corriente de 8.95 A y una potencia de 3.41 kW promedio para cada una de las cadenas de 12 módulos. Con estos valores solo siguió en buscar un inversor que cumpliera las características mencionadas anteriores. Elegimos un inversor autónomo el cual no requiere banco de baterías, que es un ahorro más al sistema fotovoltaico ya que se requiere un inversor para cada cadena de paneles solares. El modelo del inversor elegido fue un Eaton 4K que recibe en la entrada 4000 Watts, 13 amperes de corrientes eléctrica y un rango de tensión de 320 – 720 V. Con este último paso llegamos al arreglo requerido para compensar el consumo de electricidad para la iluminación del techo del gimnasio.

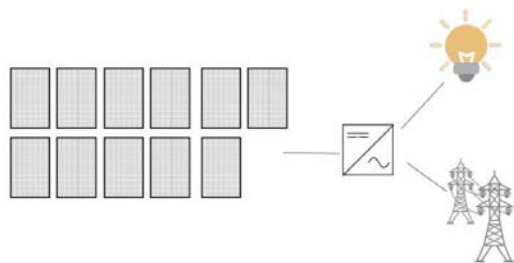


Figura 1. Arreglo de paneles solares para un sistema fotovoltaico

V. CONCLUSIONES

Si bien las energías limpias son un tema de vanguardia y que cada vez se incorporan más al mercado global como alternativa para reducir el impacto ambiental, aún estamos muy lejos de explotar de manera importante los beneficios brindados por la naturaleza. Por medio de la implementación de proyectos de este tipo, como sociedad nos acercamos cada vez más a un escenario en el que se puede obtener una cantidad considerable de energía por medio de tecnologías que permitan este proceso.

Si bien es cierto, la solución de un problema de ingeniería consta de varios pasos. En este caso se originó de la necesidad de cubrir la capacidad energética que requiere la iluminación del gimnasio, para ello la ayuda visual de los planos de construcción dieron una visión sobre la magnitud a la que se estaba enfrentando, gracias a ellos se pudieron observar cuantas luminarias y cuanta energía consume cada una de ellas. Con esta información en mano y con los cálculos necesarios se pudo localizar un dispositivo de panel solar que pudiera suministrar dicha demanda. Se tomaron en cuenta factores de eficiencia, potencia, voltaje y corriente, así como las dimensiones del panel descrito. Cabe recalcar que después de ver los planos, se hizo notar que la superficie del techo en donde se colocarían los paneles no es del todo plana, para esto se requerirá de una estructura de soporte para los dispositivos. Una vez conseguido esto, se obtuvieron los cálculos para determinar qué tipo de inversor se va a manejar en este proyecto, el cual, dado las necesidades que tiene que cumplir y por el espacio que se tiene se optó por un Eaton 4K, el cual cuenta con gran capacidad y con la ventaja de ser compacto, utilidad que a su vez eleva su costo. Con este estudio de investigación se puede observar que un futuro se puede crear un sistema fotovoltaico que sustente la iluminación del gimnasio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Ing. Jorge García director de Planta Física del CETYS Universidad campus Tijuana y a sus colaboradores por el apoyo en los datos de carga instalada en el Gimnasio "Rodrigo Valle" del campus.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Harper, Instalaciones y Sistemas Fotovoltaicos, México: Editorial Limusa, 2014.
- [2] F. J. G. Sales, S. S. Chilet and S. O. Grau, Convertidores electrónicos: energía solar fotovoltaica, aplicaciones y diseño, España: Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia, 2011.
- [3] M. Richmond, "Celestial Coordinates," [Online]. Available: <http://spiff.rit.edu/classes/phys440/lectures/coords/radec.html>.
- [4] M. P. Aparicio, Energía solar fotovoltaica: Cálculo de una

instalación aislada, Marcombo, S.A. (ediciones técnicas),
2009.

Combinación convexa del algoritmo de proyecciones afines con orden evolutivo y el algoritmo NLMS

E. Pichardo
 Instituto Politécnico Nacional,
 ESIME Culhuacan
 México, México
 edua_95pim@hotmail.es

X. Maya
 Instituto Politécnico Nacional,
 ESIME Culhuacan
 México, México
 xomaro94@hotmail.com

J. G. Avalos
 Instituto Politécnico Nacional,
 ESIME Culhuacan
 México, México
 javaloso@ipn.mx

J. C. Sanchez
 Instituto Politécnico Nacional,
 ESIME Culhuacan
 México, México
 jcsanchezgarcia@gmail.com

Resumen—Los algoritmos de proyecciones afines son altamente utilizados en el desarrollo de aplicaciones de filtrado adaptativo, debido a que presentan una alta velocidad de convergencia, la cual se incrementa conforme el orden de proyección aumenta, sin embargo, esto provoca que su complejidad computacional sea muy elevada, por lo que las implementaciones en hardware se vuelven muy complicadas. Con el fin de reducir la carga computacional, en este artículo se presenta la combinación convexa del algoritmo de proyecciones afines con orden evolutivo (E-APA – Evolving-Affine Projection Algorithm) y el algoritmo normalizado de mínimos cuadrados promediados (NLMS – Normalized Least Mean Square). Para validar la propuesta se realizó la simulación del algoritmo en las estructuras de identificador de sistemas y de cancelación de eco acústico. Los resultados experimentales demuestran que el algoritmo propuesto presenta una mayor reducción del error cuadrático medio en comparación de los algoritmos convexos convencionales y una disminución significativa del costo computacional en comparación del algoritmo de proyecciones afines.

Keywords—Algoritmo de proyecciones afines, algoritmo de proyecciones afines con orden evolutivo, combinación convexa, algoritmo NLMS.

I. INTRODUCCIÓN

El filtrado adaptativo es una técnica utilizada en muchas aplicaciones de procesamiento de señales, entre las que se encuentran: identificación de sistemas, equalización de canales, cancelación de eco acústico, control activo de ruido, entre otros. Los filtros adaptativos modifican sus características de manera automática para conseguir un objetivo. La Fig. 1 muestra la estructura general de un filtro adaptativo, el cual consta de dos partes, un filtro digital (comúnmente por su simplicidad, un filtro de respuesta al impulso finita), y un algoritmo adaptativo, además, $x(n)$ representa la señal de entrada al filtro, $y(n)$ es la señal de salida del filtro adaptativo, $d(n)$ es la señal deseada y $e(n)$ es la señal de error, la cual es la diferencia entre $y(n)$ y $d(n)$. La función del algoritmo adaptativo es ajustar los coeficientes del filtro para minimizar la señal de error.

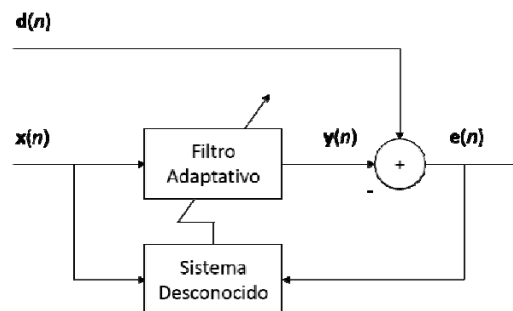


Fig. 1. Estructura general de un filtro adaptativo.

Existen diversos algoritmos adaptativos, uno de los más conocidos es el algoritmo de mínimos cuadrados promediados (LMS – Least Mean Square), utilizado en una gran variedad de aplicaciones debido a su robustez y baja complejidad computacional, sin embargo, sus características de estabilidad y velocidad de convergencia dependen de la correcta elección de un factor de convergencia, el cual típicamente es seleccionado bajo prueba y error. Por esta razón, existen diversas modificaciones que tienen como objetivo mejorar el funcionamiento del algoritmo. Una de las variantes más utilizadas es el algoritmo normalizado de mínimos cuadrados promediados (NLMS – Normalized Least Mean Square), el cual utiliza un factor de convergencia que es regularizado por la potencia de la señal de entrada, esto provoca que el algoritmo sea más estable y que alcance la convergencia con mayor velocidad en comparación al algoritmo LMS [1].

Otro algoritmo que es ampliamente utilizado es el de proyecciones afines (APA – affine projection algorithm) [2]. Este algoritmo presenta una velocidad de convergencia mayor que la del algoritmo NLMS, debido a que utiliza múltiples vectores de entrada para el cómputo de la ecuación de actualización de coeficientes. A dichos vectores se les conoce como vectores de re-uso o también orden de proyección (M). El comportamiento del algoritmo APA varía según el orden de proyección (M) elegido, de esta manera si el número de vectores de re-uso es alto la velocidad de convergencia se incrementa, sin embargo, el algoritmo presenta un mayor desajuste, es decir el error en estado estacionario se reduce en menor cantidad, además, existe un incremento del costo computacional, el cual puede ser demasiado alto para muchas aplicaciones. Para solucionar los problemas que presenta el

algoritmo APA diversos autores han desarrollado distintas modificaciones [3-6]. En algunas de estas propuestas los autores proponen algoritmos que determinan dinámicamente el orden de proyección con el fin de reducir la carga computacional. En [6] se presenta un método evolutivo que aumenta o disminuye el tamaño de orden de proyección al comparar la señal de error con un umbral obtenido a partir del estado estacionario del error cuadrático medio (MSE – Mean Square Error). Al utilizar este método se logra una velocidad de convergencia más alta, menor carga computacional y un error de estimación menor que el del algoritmo APA.

Existen además otras propuestas muy novedosas [7-10], donde se combina el funcionamiento de dos filtros adaptativos que ofrecen características complementarias, con la finalidad de obtener un filtro general cuyo rendimiento sea mejor que cada filtro trabajando por separado, esta estrategia es conocida como combinación convexa.

El objetivo de la combinación convexa es mejorar el desempeño de los algoritmos adaptativos haciendo que el funcionamiento del algoritmo convexo sea mejor que el funcionamiento de cada algoritmo por separado, o que al menos, la aproximación sea tan buena como la que ofrece el mejor de los dos algoritmos utilizados en la combinación. Anteriormente ya se han realizado combinaciones convexas de algoritmos APA [7-9], las cuales proveen la alta velocidad del algoritmo y reducen la complejidad computacional al combinarse con un algoritmo de bajo costo, sin embargo, un problema que aún queda por resolver es el costo computacional que se presenta al realizar los cálculos para los algoritmos APA.

En este trabajo, se presenta la combinación convexa de un algoritmo de proyecciones afines con orden de proyección evolutivo, y un algoritmo normalizado de mínimos cuadrados promediados. El objetivo de la combinación propuesta es el de mantener la alta velocidad de los algoritmos APA y reducir el costo computacional. El algoritmo propuesto se probó en dos aplicaciones: identificador de sistemas y cancelador acústico de eco. Los resultados experimentales demuestran la efectividad de la propuesta, al mantener la alta velocidad de convergencia y reducir significativamente la carga computacional.

II. ALGORITMO DE PROYECCIONES AFINES

El algoritmo APA está basado en proyecciones afines sub-espaciales [2]. Como se mencionó anteriormente, el cálculo de la ecuación de actualización de coeficientes implica el uso de más de un vector de entrada. En (1) se muestra la ecuación de actualización de coeficientes del algoritmo APA.

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + \mu \mathbf{X}(n)(\mathbf{X}^t(n)\mathbf{X}(n) + \delta \mathbf{I}_M)^{-1} \mathbf{e}^*(n) \quad (1)$$

donde $\mathbf{w}(n)$ representa el vector de coeficientes, μ es el factor de convergencia, δ un parámetro de regularización, \mathbf{I}_M una matriz identidad de tamaño $M \times M$, $\mathbf{e}(n)$ es la señal de error y $\mathbf{X}(n)$ la matriz de la señal de entrada formada por los vectores $\mathbf{x}(n)$ dados por:

$$\mathbf{X}(n) = [\mathbf{x}(n), \mathbf{x}(n-1), \dots, \mathbf{x}(n-M+1)] \quad (2)$$

La señal de error $\mathbf{e}(n)$ se calcula como se muestra a continuación:

$$\mathbf{e}(n) = \mathbf{d}(n) - \mathbf{w}^*(n)\mathbf{X}(n) \quad (3)$$

donde $\mathbf{d}(n)$ es el vector de la señal deseada, el cual está compuesto de la siguiente forma:

$$\mathbf{d}(n) = [\mathbf{d}(n), \mathbf{d}(n-1), \dots, \mathbf{d}(n-M+1)] \quad (4)$$

III. ALGORITMO DE PROYECCIONES AFINES CON ORDEN EVOLUTIVO

Como se mencionó anteriormente, al usar un alto orden de proyección el costo computacional y el error en estado estacionario aumentan. Por este motivo, es deseable utilizar alguna estrategia para calcular el tamaño adecuado del orden de proyección. En [6] se propone un método que ajusta dinámicamente el orden de proyección de acuerdo con el valor del estado estacionario del MSE. Dicha propuesta presenta como principal característica una alta velocidad de convergencia y una reducción en el costo computacional.

El método por medio del cual es posible ajustar el número de vectores de re-uso de manera dinámica, se basa en el siguiente umbral:

$$M(n) = \begin{cases} \min\{M(n-1) + 1, M_{\max}\}, & \text{si } \eta(n) < \mathbf{e}^2(n) \\ M(n-1), & \text{si } \theta(n) < \mathbf{e}^2(n) \leq \eta(n) \\ \max\{M(n-1) - 1, 1\}, & \text{si } \mathbf{e}^2(n) < \theta(n) \end{cases} \quad (5)$$

donde $M(n)$ es el número de vectores de re-uso para la iteración n , y M_{\max} el orden de proyección mayor a utilizar.

Por último, como se observa en (5), es necesario conocer los valores superior e inferior de los umbrales, $\eta(n)$ y $\theta(n)$, los cuales se encargan de determinar el nivel del error cuadrático medio en estado estacionario y están dados por:

$$\eta(n) = \sigma_v^2 \frac{\mu M(n-1) + 2}{2 - \mu} \quad (6)$$

y

$$\theta(n) = \sigma_v^2 \frac{\mu k(n-1) + 2}{2 - \mu} \quad (7)$$

IV. ALGORITMO CONVEXO

La estructura básica de los filtros convexas se muestra en la Fig. 2 [9], donde se deduce que la señal de salida del filtro está dada por:

$$\mathbf{y}(n) = \lambda(n)\mathbf{y}_1(n) + (1 - \lambda(n))\mathbf{y}_2(n) \quad (8)$$

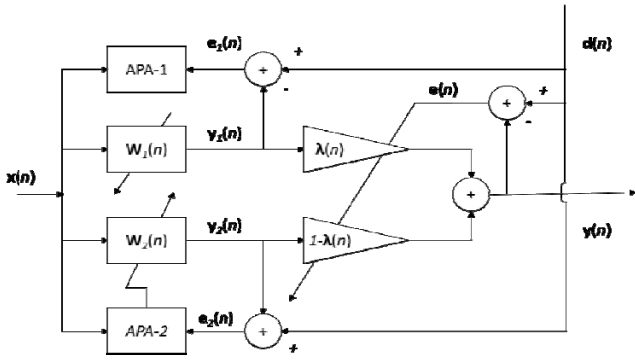


Fig. 2. Estructura general del filtro convexo

donde $y_1(n)$ es la señal de salida del filtro 1, $y_2(n)$ es la señal producida por el segundo filtro y $\lambda(n)$ es un parámetro de mezcla que controla la combinación de ambos filtros en cada iteración, el cual se obtiene como sigue:

$$\lambda(n) = \frac{1}{1+e^{-a(n)}} \quad (9)$$

siendo $a(n)$ actualizado en cada iteración para minimizar el error cuadrático instantáneo del filtro combinado, $e(n)^2 = (d(n) - y(n))^2$ [9,10]. De esta manera, la actualización de $a(n)$ se lleva a cabo como se expresa en (10).

$$\begin{aligned} a(n+1) &= a(n) - \frac{\mu_a}{2} \nabla J(n) \\ &= a(n) + \mu_a e(n) (e_2(n) - e_1(n)) \lambda(n) (1 - \lambda(n)) \end{aligned} \quad (10)$$

Es importante mencionar que μ_a es un factor que controla los cambios de $a(n)$ en cada iteración, y debe ser ajustado a un valor grande para que el filtro convexo sea más rápido. Además, $a(n)$ es el parámetro que en cada iteración intenta obtener las mejores características de cada filtro. El uso de (9) es importante ya que permite que $\lambda(n)$ se mantenga en un umbral entre 0 y 1, lo cual hace posible la discriminación entre un filtro u otro.

Para que los valores en $\lambda(n)$ y $(1-\lambda(n))$ no sean iguales a 0, y, por ende, afecte al funcionamiento del filtro, se limitan los valores de $a(n)$ para que se encuentren dentro del rango [-4,4]. También es importante hacer notar que la estabilidad del filtro convexo está asegurada pues $\lambda(n) \in (0,1)$, esto siempre y cuando, los filtros utilizados en la combinación también sean estables [9].

La estructura convexa aprovecha las características de velocidad y estabilidad de los algoritmos que combine. De la Fig. 2 se observa que los filtros no se encuentran acoplados y funcionalmente no dependen el uno del otro. Por lo tanto, al combinar un filtro APA con orden de proyección alto con un algoritmo NLMS, la combinación tomará las mejores características de ambos filtros, en este caso una alta velocidad de convergencia, estabilidad y un bajo costo computacional.

Se han desarrollado varias propuestas para combinar dos filtros APA [7-9], sin embargo, en dichas propuestas el costo computacional no cambia dado que el orden de proyección del algoritmo APA es estático. Por esta razón, se propone la combinación de un algoritmo APA con orden evolutivo y un algoritmo NLMS. De esta forma, el algoritmo APA ajustaría su

orden de proyección hasta encontrar el nivel mínimo del error cuadrático, sin necesidad de mantener el mismo orden de proyección durante todas las iteraciones necesarias, reduciendo así la carga computacional del algoritmo. Posteriormente, entraría en funcionamiento el algoritmo NLMS, lo que provocaría que el costo computacional se reduzca y el filtro se vuelva más estable, ya que es bien conocido que el algoritmo APA puede ser bastante inestable debido a la operación de inversión de matrices requerida para la actualización de los coeficientes.

V. RESULTADOS DE SIMULACIÓN

El algoritmo propuesto se simuló en el software MATLAB, en las estructuras de identificación de sistemas y cancelación acústica de eco. Para evaluar su funcionamiento, se comparó los resultados obtenidos con el algoritmo APA, y el algoritmo convexo que combina el APA y un NLMS [9].

A. Identificador de sistemas

El identificador de sistemas es una aplicación que permite conocer la respuesta de un sistema desconocido. La Fig. 3 presenta la estructura utilizada para esta prueba. Para este experimento se utilizó como sistema desconocido un filtro FIR de longitud $N=120$, cuya respuesta fue obtenida haciendo uso del comando de MATLAB `who=fir1(120-1, 0.4)`. La señal de entrada $v(n)$ es una secuencia Gaussian blanca con varianza unitaria que es filtrada por un sistema con función de transferencia $H(z)=0.35+z^{-1}+0.35z^{-2}$ para obtener a la señal de referencia $x(n)$, y así producir una señal altamente coloreada. Además, para evaluar las habilidades de seguimiento de los algoritmos, se multiplicó la función del sistema desconocido por -1 a la mitad de las iteraciones del experimento.

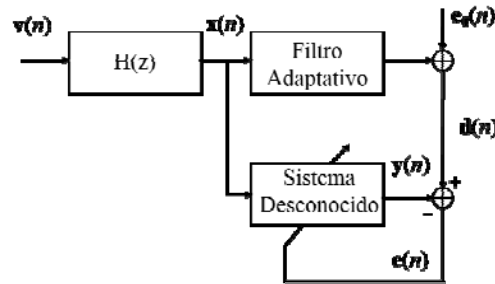


Fig. 3. Estructura general de un identificador de sistemas

Todos los algoritmos APA se probaron con un orden de proyección $M=30$ y los factores de convergencia fueron ajustados a prueba y error para que cada algoritmo obtuviera el mejor rendimiento. El factor μ_a fue ajustado a un número muy alto ($\mu_a=400$) para asegurar la rápida convergencia de los algoritmos convexos [9], y los vectores a y λ se inicializaron en ceros. La señal deseada fue contaminada con una secuencia de ruido Gaussiano blanco con relación señal a ruido (SNR – Signal Noise Rate) $SNR=30$ dB.

Para evaluar el funcionamiento se obtuvieron las curvas de aprendizaje del MSE y la derivación cuadrática promediada (MSD – Mean Square Derivation), calculada como $MSD=20*\log_{10}(\|w(n)\|_2 / \|w_{opt}\|_2)$ [11], donde

$w_{opt}=who/norm(who)$. Los resultados se obtuvieron al llevar a cabo un total de 500 experimentos individuales con 8000 iteraciones.

La Fig. 4 muestra el MSE obtenido, donde se observa que los tres algoritmos poseen la misma velocidad de convergencia, sin embargo, el algoritmo propuesto reduce en mayor grado el error en estado estacionario en comparación a los otros algoritmos. La Fig. 5 muestra la gráfica del MSD, en la que se puede apreciar que el algoritmo propuesto reduce en 10 dB el MSD en comparación con el algoritmo convexo APA presentado en [9] y reduce en casi 15 dB en comparación de la versión original del algoritmo APA.

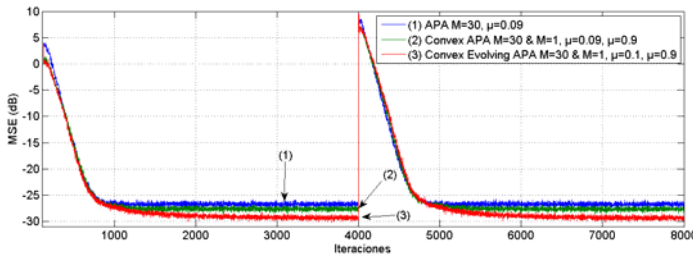


Fig. 4. MSE obtenido con los algoritmos APA, Convex APA y Convex Evolving APA.

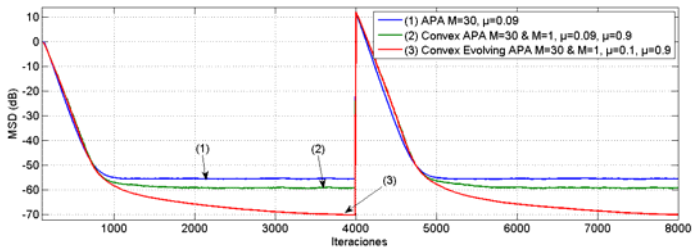


Fig. 5. MSD obtenido con los algoritmos APA, Convex APA y Convex Evolving APA.

En la Fig. 6 se muestra como varía el orden de proyección en el algoritmo propuesto. Como se puede observar, el número de vectores de re-uso se ajusta de manera dinámica, llegando hasta solo usar un orden de proyección de 2 en gran parte del experimento, a comparación de los otros algoritmos que mantienen el mismo orden de proyección durante todas las iteraciones.

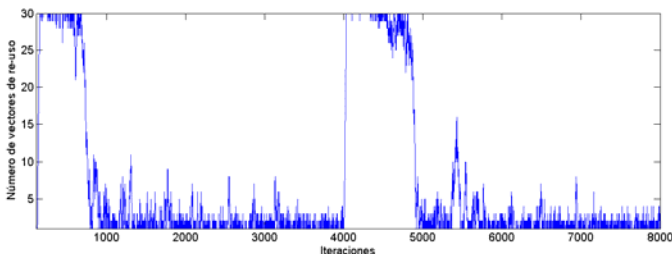


Fig. 6 Número de vectores de re-uso utilizados por el algoritmo Convex Evolving APA.

B. Cancelador de eco acústico

La Fig. 7 muestra la estructura general de un cancelador de eco acústico [12]. Donde $x(n)$ es una señal de habla

proveniente desde una habitación lejana, $d(n)$ es la suma del eco proveniente de la señal, $y(n)$, y otros sonidos que se produzcan cerca de la habitación, $e_0(n)$.

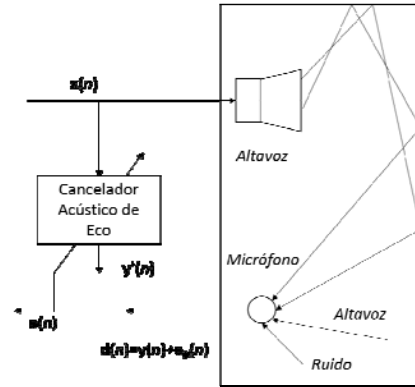


Fig. 7 Estructura general de un cancelador de eco acústico

La cancelación acústica de eco tiene como objetivo modelar el camino acústico y generar una réplica de la señal con eco, y así eliminar a $y(n)$ y solo transmitir la señal residual $e(n) = e_0(n)$ [13].

Para realizar las pruebas se utilizó la respuesta al impulso de longitud 512 obtenida en [12]. Como señal de entrada se utilizó una señal de voz muestreada a 8 KHz, y se contaminó a la señal de eco con un ruido Gaussiano blanco con una $SNR=30dB$. Al igual que en el experimento realizado para el identificador de sistemas, todos los algoritmos APA contaron con una orden de proyección igual a 30. En un inicio a y λ se inicializaron en ceros, μ_a fue ajustado a $\mu_a=400$ y la longitud de todos los filtros fue $N=512$. Los factores de convergencia de cada uno de los algoritmos fueron ajustados para que se alcanzara el mejor rendimiento de cada uno.

El funcionamiento de los algoritmos se evaluó mediante la mejora de pérdida de retorno del eco (ERLE – Echo Return Loss Enhancement), y la desalineación normalizada, calculada como $20 \cdot \log_{10}(\|w_0 - w(n)\|_2 / \|w_0\|_2)$, donde w_0 es la respuesta al impulso del camino acústico. Las Fig. 8 y Fig. 9 muestran las gráficas del ERLE y la desalineación respectivamente. Como se observa, el algoritmo que presenta un mejor nivel de ERLE es el APA seguido del algoritmo propuesto. En este caso el funcionamiento de los algoritmos convexos se degrada al utilizar un filtro de alto orden.

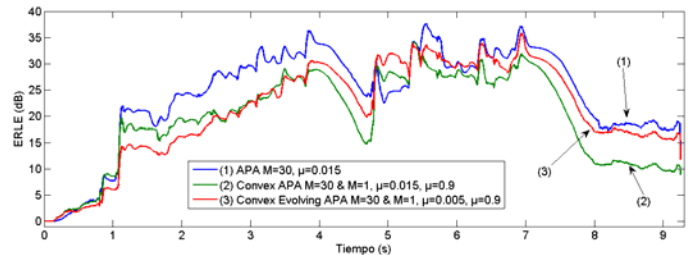


Fig. 8 Curvas ERLE obtenidas con los algoritmos APA, Convex APA y Convex Evolving APA.

De la gráfica de desalineación se confirma que la mayor velocidad y rendimiento se presenta en el algoritmo APA

convencional, sin embargo, al pasar el tiempo el algoritmo convexo propuesto alcanza a reducir el nivel de desalineación en más de 6 dB's con respecto al algoritmo presentado en [9] y en más de 10 dB's con respecto al algoritmo APA convencional.

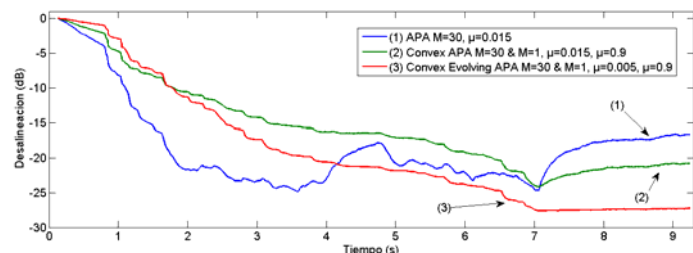


Fig. 9 Curvas de desalineación obtenidas con los algoritmos APA, Convex APA y Convex Evolving APA.

La Fig. 10 muestra el orden de proyección del algoritmo convexo propuesto. Como se puede apreciar, a lo largo del experimento el algoritmo evolutivo reduce su orden de proyección, lo cual se verá reflejado en un costo computacional menor.

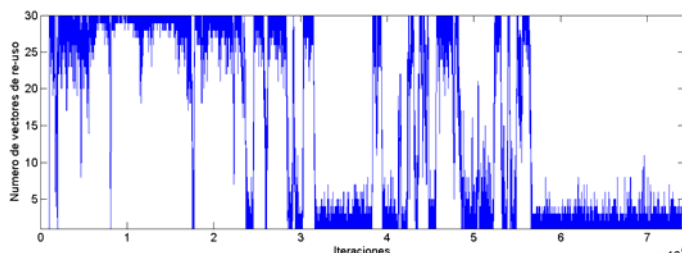


Fig. 10 Número de vectores de re-uso utilizados por el algoritmo Convex Evolving APA.

VI. CONCLUSIONES

En este artículo se presentó la combinación convexa de un algoritmo de proyecciones afines con orden evolutivo y un algoritmo NLMS. Los resultados demuestran que el algoritmo propuesto presenta buenas propiedades de convergencia, además, para filtros de orden bajo reduce de mejor forma el error en estado estacionario en comparación con el algoritmo APA convencional y la combinación convexa de algoritmos APA. Por otra parte, para filtros de orden alto, como los que se usan comúnmente en sistema canceladores de eco acústico, el algoritmo propuesto presentó una menor velocidad de convergencia, pero mantuvo la reducción del error en estado estacionario. Cabe mencionar que la principal ventaja de la propuesta se presenta en la reducción del costo computacional, el cual se reduce ampliamente debido a que el orden de

proyección disminuye conforme el proceso de adaptación avanza.

El algoritmo presentado es una buena opción para el desarrollo de aplicaciones de filtrado adaptativo, en las que se busque una alta velocidad de convergencia, un bajo costo computacional y mayor estabilidad.

REFERENCIAS

- [1] M. Kuo and D. Morgan, *Active noise control systems: algorithms and DSP implementations..* New York: Wiley, 1996.
- [2] K. Ozeki and T. Umeda, "An adaptive filtering algorithm using an orthogonal projection to an affine subspace and its properties", *Electronics and Communications in Japan (Part I: Communications)*, vol. 67, no. 5, pp. 19-27, 1984.
- [3] MoonSoo Chang, NamWoong Kong and PooGyeon Park, "An Affine Projection Algorithm Based on Reuse Time of Input Vectors", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 17, no. 8, pp. 750-753, 2010.
- [4] S. Kong, K. Hwang and W. Song, "An Affine Projection Algorithm With Dynamic Selection of Input Vectors", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 14, no. 8, pp. 529-532, 2007.
- [5] Seong-Eun Kim, Se-Jin Kong and Woo-Jin Song, "An Affine Projection Algorithm With Evolving Order", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 16, no. 11, pp. 937-940, 2009.
- [6] J. Yoo, J. Shin, H. Choi and P. Park, "An Affine Projection Algorithm with Evolving Order Using Variable Step-Size", *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, pp. 5-8, 2013.
- [7] J. Choi, S. Kim and S. Kim, "Adaptive combination of affine projection and NLMS algorithms", *Signal Processing*, vol. 100, pp. 64-70, 2014.
- [8] C. Ren, Z. Wang and Z. Zhao, "Adaptive combination of affine projection and NLMS algorithms based on variable step-sizes", *Digital Signal Processing*, vol. 59, pp. 86-99, 2016.
- [9] M. Ferrer, M. De Diego, A. Gonzalez and G. Pinero, "Convex combination of affine projection algorithms.", *In Signal Processing Conference*, no. 17, pp. 431-435, 2009.
- [10] J. Arenas-García, M. Martínez-Ramón, Á. Navia-Vázquez and A. Figueiras-Vidal, "Plant identification via adaptive combination of transversal filters", *Signal Processing*, vol. 86, no. 9, pp. 2430-2438, 2006.
- [11] M. Bhotto and A. Antoniou, "Affine-Projection-Like Adaptive-Filtering Algorithms Using Gradient-Based Step Size", *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 61, no. 7, pp. 2048-2056, 2014.
- [12] B. Farhang-Boroujeny, *Adaptive filters: theory and applications*, John Wiley & Sons, 2013.
- [13] C. Paleologu, S. Ciochina and J. Benesty, "Variable Step-Size NLMS Algorithm for Under-Modeling Acoustic Echo Cancellation", *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 15, pp. 5-8, 2008.

Análisis sobre la dinámica de un sistema inmune-tumoral

Zyanya Anaya Soto
 Instituto Politécnico Nacional
 CITEDI
 Tijuana, Baja California
zanaya@citedi.mx

Konstantin Starkov
 Instituto Politécnico Nacional
 CITEDI
 Tijuana, Baja California
konst@citedi.mx

Resumen— En este trabajo se presenta la dinámica que existe entre el crecimiento tumoral y el sistema inmune de un modelo tridimensional no lineal. Se estudia la estabilidad del modelo y se obtienen los puntos de equilibrio. Se encuentran cotas máximas supremas e ínfimas de células cancerosas, linfocitos citotóxicos T y células complejas, dentro del ortante no negativo. Se generan condiciones para un politopo positivo que contiene los conjuntos compactos invariantes.

Palabras claves— sistema no-lineal, tumor, sistema inmunológico, dinámica última, politopo positivo invariante.

I. INTRODUCCIÓN

Es importante comprender los sistemas biológicos y el comportamiento de las células para facilitar la interpretación de las ecuaciones de estado y los resultados posteriores. Los antígenos son moléculas capaces de desencadenar una reacción en el sistema inmunológico (SI), por lo que el SI las detecta como peligrosas. Los encargados de destruir las células infectadas son los linfocitos citotóxicos T (CTL), sin embargo, no siempre cumplen con su objetivo ya que las células infectadas pueden pasar desapercibidas e incluso desactivar a las CTL. [1]

La relación que existe entre las células tumorales y el sistema inmune es no lineal. Por la complejidad que representan estos sistemas, se utilizan funciones localizadoras y utilizando la derivada de Lie se logran encontrar las acotaciones de los conjuntos compactos invariantes en el tiempo. Estas acotaciones generan un politopo donde se encuentra contenido el conjunto atractor.

La teoría de Lyapunov es utilizada para analizar la estabilidad de los puntos de equilibrio por medio de “funciones candidatas”, permitiendo encontrar estabilidad local o global. Para estudiar la estabilidad local se utiliza la matriz Jacobiana, obteniendo sus eigenvalores y analizando los signos.

En la Sección II se describe detalladamente el modelo de crecimiento canceroso al igual que los parámetros utilizados en el modelo. La Sección III hace referencia a conocimientos preliminares acerca de teorías y definiciones. El dominio de las cotas definidas positivas y la localización de todos los conjuntos compactos invariantes, son descritos en la Sección IV. En la Sección IVA se realiza un mejoramiento de cotas y en la Sección

V se dan las condiciones para la existencia de un punto de equilibrio y de un segundo caso con dos puntos de equilibrio.

II. MODELO MATEMÁTICO

El sistema de ecuaciones diferenciales obtenido de [2] y descrito detalladamente en [1], examina la interacción global de un tumor canceroso, dado por:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= rx \left(1 - \frac{x}{\gamma}\right) - kxy + a_1, \\ \dot{y} &= \frac{a_2 z}{z + a_0} - \mu y - kxy + a_3 z + \sigma, \\ \dot{z} &= kxy - a_4 z \end{aligned} \quad (1)$$

En el sistema (1) se utilizan las siguientes notaciones: \dot{x} es el crecimiento de un tumor de acuerdo a la relación espacio-tiempo, $x(t)$; la notación $rx(1 - x/\gamma)$ representa el crecimiento logístico y $-kxy + a_1$ representa la cinética local del crecimiento. Donde $a_1 = k_{-1} + k_2(1 - p)$; y las variables r , k_{-1} y k_2 son definidas positivas. En \dot{y} se representa la proliferación de los CTL en el tiempo, $y(t)$; la reacción en contra de las células tumorales está dada por $\frac{a_2 z}{x + a_0}$, la cinética local por $-kxy + a_3 z$, el aminoramiento de CTL es $-\mu y$ y σ es un suministro. Donde $a_3 = k_{-1} + k_2 p$; las variables x , r , a_2 , a_0 , k , k_{-1} , k_2 y p son definidas positivas. Con \dot{z} denotamos las células complejas en el tiempo $z(t)$; lo que se representan con la cinética local $kxy - a_4 z$, donde $a_4 = \delta + k_{-1} + k_2$. Para lo anterior se denota que $a_4 - a_3 > 0$; $a_4 - a_1 > 0$. El conjunto vectorial correspondiente es denotado por \bar{F} . En el cual se considera un sistema dinámico (1) localizado en el ortante no negativo $\mathbf{R}_{+,0}^3 = \{x \geq 0; y \geq 0\}$ debido a la interpretación biológica de sus variables. [1]

Los parámetros utilizados en [2] de forma normalizada, están descritos por

$r = 0:18 \text{ dia}^{-1}$	$\gamma = 500$
$k_1 (0:1; 0:4) \text{ dia}^{-1}$	$a_2 = 29:88 \text{ dia}^{-1}$
$a_0 = 20.19$	$\mu = 0:0412 \text{ dia}^{-1}$
$\sigma = 0:0136 \text{ dia}^{-1}$,	$k_{-1} = 24:0 \text{ dia}^{-1}$
$k_2 = 7:2 \text{ dia}^{-1}$	$\delta = 0 \text{ dia}^{-1}$

Posteriormente se darán las condiciones para las que el sistema (1) posee un único punto de equilibrio llamado Punto de Equilibrio Libre de Tumor (PELT). También se dan las condiciones con las cuales el sistema (1) tiene dos puntos de equilibrio. El PELT y el Punto de Equilibrio Tumor Persistente (PETP).

III. PRELIMINARES Y NOTACIONES

Es conveniente recordarle al lector algunas definiciones que aportan mayor comprensión de este trabajo. Considerando un sistema no lineal como:

$$\dot{x} = F(x) \quad (2)$$

donde $x \in \mathbf{R}^n$, es un conjunto de vectores n-dimensional representado como $F(x) = (F_1(x), \dots, F_n(x))^T$. Sea $h(x) \in \mathbf{C}^\infty(\mathbf{R}^n)$ una función localizadora, tal que h no es la primera integral del sistema (2). La función h se utiliza en la solución para el problema de localización de los Conjuntos Compactos Invariantes (CCI) y es llamada función localizadora. Con $h|_U$ denotamos la restricción de h en el conjunto de $U \subset \mathbf{R}^n$.

Por lo que $S(h)$ es el conjunto $\{x \in \mathbf{R}^n | L_F h(x) = 0\}$, y $L_F h(x)$ es la derivada de Lie de la función $h(x)$ a lo largo de (2). Suponiendo que el conjunto U es el de nuestro interés, para la localización del CCI se utilizarán las siguientes indicaciones de manera general.

$$h_{inf}(U) := \inf\{h(x) | x \in U \cap S(h)\};$$

$$h_{sup}(U) := \sup\{h(x) | x \in U \cap S(h)\}$$

Aserción. Para toda $h(x) \in \mathbf{C}^\infty(\mathbf{R}^n)$ todos los CCI del sistema (2) localizados en U estan contenidos en el conjunto $K(U; h)$ definido por la siguiente fórmula

$$\{x \in U | h_{inf}(U) \leq h(x) \leq h_{sup}(U)\}.$$

Este método es utilizado exitosamente en estudios sobre la dinámica de diferentes modelos de cáncer, ver [3-6].

IV. EXISTENCIA DE UN DOMINIO DEFINIDO POSITIVO Y LA LOCALIZACIÓN DE UN DOMINIO DE CONJUNTOS COMPACTOS INVARIANTES

Proposición 1. *El sistema (1) posee un politopo positivamente invariante.*

Prueba. Dada la función $h_1 = \theta x + y + \theta z$ y la condición

$$\theta > \frac{a_2 + a_3}{a_4 - a_1}. \quad (3)$$

Entonces

$$L_F h_1 \leq \frac{\theta r \gamma}{4} - \frac{\theta r}{\gamma} \left(x - \frac{\gamma}{2}\right)^2 + ((a_1 - a_4)\theta + a_2 + a_3) - \mu y + \sigma,$$

para el conjunto

$$M_1 = \left\{ (x, y, z) \mid \frac{\theta r}{\gamma} \left(x - \frac{\gamma}{2}\right)^2 + ((a_1 - a_4)\theta + a_2 + a_3) \leq \frac{\theta r \gamma}{4} + \sigma \right\}$$

la desigualdad $L_F h_1 \geq 0$ es verdadera. Tal que M_1 es un dominio acotado, se toma φ como un valor suficientemente grande para el dominio $M_2 := \{h_2 < \varphi\}$ que contiene M_1 . En las cotas de M_2 se satisface la desigualdad $L_F h_1 < 0$.

Por lo tanto M_2 es acotada de manera positiva en el dominio invariante, llegando a las conclusiones deseadas. ■

Proposición 2. *Todos los CCI del sistema (1) están contenidos en el politopo*

$$\Pi := \left\{ 0 \leq x, z \leq x_{max} = z_{max} := \frac{(r + a_4 - a_1)^2 \gamma}{4\gamma(a_4 - a_1)}; \right. \quad (4)$$

$$\left. y_{min} := \frac{\sigma}{kz_{max} + \mu} \leq y_{*max} := \frac{\rho z_{max} + \sigma}{\mu} \right\}.$$

Prueba. Aplicando la función $h_2 = x + z$ y utilizando la expresión $L_F h_2$, obtenemos que

$$(a_4 - a_1)h_2|_{S(h_2)} = \left\{ -\frac{rx^2}{\gamma} + (r + a_4 - a_1)x \right\}|_{S(h_2)}$$

$$\leq \frac{(r + a_4 - a_1)^2 \gamma}{4\gamma(a_4 - a_1)}.$$

Por lo tanto, se concluye que la localización del conjunto K_1 es definida por

$$\left\{ 0 \leq x \leq x_{max} := \frac{(r + a_4 - a_1)^2 \gamma}{4\gamma(a_4 - a_1)} \right\};$$

$$\left\{ 0 \leq z \leq z_{max} := \frac{(r + a_4 - a_1)^2 \gamma}{4\gamma(a_4 - a_1)} \right\}.$$

Después se utiliza la función $h_3 = y$. Si

$$\rho = \frac{a_2 + a_0 a_3}{a_0} \quad (5)$$

Se obtiene la desigualdad $(\mu + kx)y \leq \rho z + \sigma$ que se satisface en el conjunto $S(h_3)$. Lo que permite encontrar

$$\mu y \leq \rho z_{max} + \sigma$$

en el conjunto $S(h_2) \cap K_1$. Por tanto, el conjunto K_{2*} está dado por

$$\left\{ 0 \leq y_{*max} := \frac{\rho z_{max} + \sigma}{\mu} \right\}.$$

Utilizando las cotas (4) podemos originar el acotamiento conservativo para y . Para lograr este objetivo se aplica la función $h_3 = y$. De manera que el conjunto $S(h_2) \cap K_1$ este contenido por el conjunto definido como $y(kx_{max} + \mu) \geq \sigma$, lo que permite encontrar el conjunto K_3 definido por

$$\left\{ y \geq y_{min} := \frac{\sigma}{kz_{max} + \mu} \right\}.$$

Entonces $\Pi = K_1 \cap K_{2*} \cap K_3$. ■

Proposición 3. *Suponiendo que*

$$a_4 > a_3 + \frac{a_2}{a_0}$$

entonces todos los CCI se localizan en el conjunto

$$K_{3*} := y \leq y_{max} := \frac{\sigma}{m}$$

Prueba. Sea

$$m := \min \left\{ \mu; a_4 - a_3 - \frac{a_2}{x + a_0} \right\},$$

se aplica la función $h_4 = x + z$. Entonces $S(h_4)$ se define por la desigualdad

$$\mu y + \left(a_4 - a_3 - \frac{a_2}{x + a_0} \right) z = \sigma.$$

Después $S(h_4)$ está contenida en el conjunto definido por la desigualdad de

$$\mu y + \left(a_4 - a_3 - \frac{a_2}{a_0} \right) z \leq \sigma.$$

Obteniendo así el conjunto K_{3*} . Y finalmente obteniendo la localización del politopo

$$\Pi_* := K_1 \cap K_2 \cap K_{3*}.$$

A. Cotas mejoradas

Al aplicar $h_5 = x - y$, se obtiene que

$$L_f h_5 = rx \left(1 - \frac{x}{\gamma} \right) + a_1 z - \frac{a_3 z}{x + a_0} + \mu y - a_3 z - \sigma.$$

Percatándonos que $S(h_5)$ está dado por la fórmula

$$\mu(x - y) = (r + \mu)x - \frac{rx^2}{\gamma} + a_1 z - \frac{a_3 z}{x + a_0} - a_3 z - \sigma,$$

la cual implica que

$$\mu h_5|_{S(h_5)} \leq \frac{(r + \mu)^2 \gamma}{4r} - \sigma + z \left(a_1 - \frac{a_3}{x + a_0} - a_3 \right).$$

Proposición 4. Suponiendo que

$$a_1 - \frac{a_3}{x + a_0} - a_3 < 0 \tag{6}$$

todos los CCI están localizados en el conjunto

$$\left\{ x - y \leq \frac{(r + \mu)^2 \gamma}{4r\mu} - \frac{\sigma}{\mu} \right\}.$$

Corolario. Si se satisfacen (5) y la desigualdad

$$(r + \mu)^2 \gamma \leq 4\sigma r \tag{7}$$

todos los CCI se localizan en el conjunto $K_5 := \{x - y \leq 0\}$.

Proposición 5. Si las condiciones (5) y (7) se satisfacen entonces todos los CCI se localizan en el conjunto K_{3+}

$$\{y \geq y_+ := \frac{-\mu}{2k} + \frac{1}{2k} \sqrt{\mu^2 + \frac{k(r + \mu)^2}{r\gamma}}\}$$

Prueba. Empleando h_3 , tendremos que en $S(h_3) \cap K_5$ la desigualdad

$$\sigma \leq \sigma + z \left(a_1 - \frac{a_3}{x + a_0} - a_3 \right) = y(\mu + kz) \leq y(\mu + ky)$$

es validada. Entonces $S(h_3) \cap K_5$ está contenida en el conjunto definido por

$$y \geq y_+ := \frac{-\mu + \sqrt{\mu^2 + 4k\sigma}}{2k}.$$

Obteniendo la localización del conjunto K_{3+} . ■

Como se muestra en la Fig. 1, el atractor caótico se localiza dentro del politopo formado por las cotas antes mencionadas. Donde las cotas de las células cancerosas, las células citotóxicas y las células complejas se representan con una escala logarítmica para poder observar el atractor.

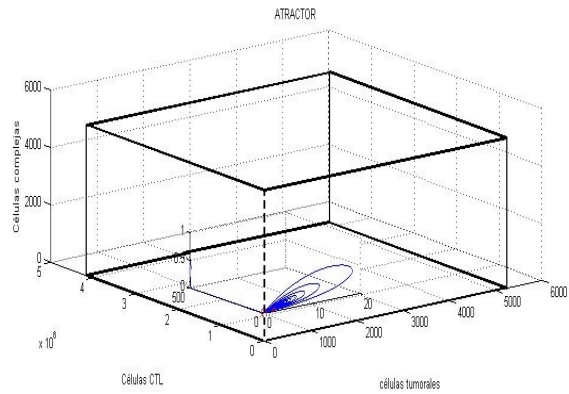


Fig. 1 Atractor caótico dentro del politopo.

V. PUNTOS DE EQUILIBRIO

Se observa que el PELT es $E_1 = (0, \sigma\mu^{-1}, 0)^T$. Los eigenvalores obtenidos por la linealización del campo vectorial de (1) evaluado en E_1 está dado por

$$\begin{pmatrix} r - b & 0 & a_1 \\ -b & -\mu & A \\ b & 0 & -a_4 \end{pmatrix}$$

Sus eigenvalores estarán dados por

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} (r - b - a_4 \pm \sqrt{b^2 - 2br + r^2 - 2ba_4 + 4a_1b + 2ra_4 + a_4^2}); \tag{8}$$

$$\lambda_3 = -\mu.$$

Y la condición para la estabilidad local asintótica en E_1 se representa como

$$\sigma > \frac{a_4 r \mu}{(a_4 - a_1) k}.$$

El sistema (1) puede poseer un PETP. En ejemplificación, los puntos de equilibrio contienen las primeras coordenadas positivas. Realizando los cálculos de manera directa la

coordenada x con respecto a (9), el PETP se define como una raíz positiva de la ecuación

$$x^3 + \frac{A_2\gamma(a_4 - a_1) - A_1r + r\gamma(a_3 - a_4)}{r(a_4 - a_3)}x^2 + x \frac{A_1r\gamma + A_2\gamma(a_4 - a_1)(a_0 - \gamma) + \sigma\gamma(a_4 - a_1)}{r(a_4 - a_3)} + \frac{\sigma\gamma(a_4 - a_1)a_0 - A_2\gamma^2a_0(a_4 - a_1)}{r(a_4 - a_3)} = 0 \quad (9)$$

dado que

$$A_1 = a_2 + a_0(a_3 - a_4);$$

$$A_2 = \frac{a_4\gamma\mu}{k\gamma(a_4 - a_1)}.$$

Entonces

$$B_1 = \frac{A_2\gamma(a_4 - a_1) - A_1r + r\gamma(a_3 - a_4)}{r(a_4 - a_3)};$$

$$B_2 = \frac{A_1r\gamma + A_2\gamma(a_4 - a_1)(a_0 - \gamma) + \sigma\gamma(a_4 - a_1)}{r(a_4 - a_3)};$$

$$B_3 = \frac{\sigma\gamma(a_4 - a_1)a_0 - A_2\gamma^2a_0(a_4 - a_1)}{r(a_4 - a_3)}.$$

Suponiendo que se satisface la discriminante, entonces

$$\Delta = 18B_1B_2B_3 - 4B_1^3B_3 + B_1^2B_2^2 - 4B_2^3 - 27B_3^2 < 0 \quad (10)$$

Y si $\sigma > A_2\gamma$ entonces no existe PETP.

Si se satisfacen (10) y

$$\sigma < A_2\gamma, \quad (11)$$

y la raíz de (9) es mayor que γ , entonces no existe el PETP debido a que la coordenada y y la coordenada z de los puntos de equilibrio están dados por la fórmula

$$y_* = \frac{a_4r(\gamma - x_*)}{\gamma(a_4 - a_1)k};$$

$$z_* = \frac{kx_*y_*}{a_4} \quad (12)$$

Si (10) y (11) se satisfacen y la raíz de (9) es menor que γ , entonces existe solamente un PETP. Esto es por las ecuaciones en (12).

VI. CONCLUSIÓN

En este trabajo se localizaron las cotas que permiten la existencia del politopo del sistema (1) y se realizó el mejoramiento de las cotas en y . Se comprueba que el politopo es localizado en el ortante positivo. Además, se demuestra que los CCI se encuentran dentro del politopo. Se generan las condiciones en (9) para la existencia de dos posibles puntos de equilibrio: PELT y PETP.

REFERENCIAS

[1] Matzavinos, Anastasios, Mark AJ Chaplain, and Vladimir A. Kuznetsov. "Mathematical modelling of the

spatiotemporal response of cytotoxic Tlymphocytes to a solid tumour." *Mathematical Medicine and Biology*, 2004, vol. 21, no 1, p. 1-34.

- [2] d'Onofrio, Alberto, and Armando Ciancio. "Simple biophysical model of tumor evasion from immune system control." *Physical Review E*, 2011, vol. 84, no 3, p. 031910.
- [3] Starkov, Konstantin E., and Diana Gamboa. "Localization of compact invariant sets and global stability in analysis of one tumor growth model." *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 2014, vol. 37, no 18, p. 2854-2863.
- [4] Krishchenko, Alexander P., and Konstantin E. Starkov. "On the global dynamics of a chronic myelogenous leukemia model." *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2016, vol. 33, p. 174-183.
- [5] Starkov, Konstantin E., and Alexander P. Krishchenko. "On the global dynamics of one cancer tumour growth model." *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 2014, vol. 19, no 5, p. 1486-1495.
- [6] Starkov, Konstantin E., and Corina Plata-Ante. "On the global dynamics of the cancer AIDS-related mathematical model." *Kybernetika*, 2014, vol. 50, no 4, p. 563-579.
- [7] Krishchenko, Alexander P., and Konstantin E. Starkov. "Localization of compact invariant sets of the Lorenz system." *Physica Letters A*, 2006, vol. 353, no 5, p. 383-388.

Manejo de Silla de Ruedas Eléctrica por Comandos de Voz Personalizado

A. Muñoz Martínez
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
movlwportab@hotmail.com

G. E. Vázquez Alcaraz
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
gilberto.vazquez@tectijuana.edu.mx

J. R. Cárdenas Valdez
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
jose.cardenas@tectijuana.edu.mx

C. E. Vázquez López
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
carlos.vazquez@tectijuana.edu.mx

A. H. López Corral
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
angel.corral@tectijuana.edu.mx

M. J. García Ortega
Instituto Tecnológico de Tijuana
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Tijuana, B.C.
manuel.garcia@tectijuana.mx

Resumen— Este trabajo es un desarrollo tecnológico para personas con parálisis de tipo motriz que no tienen control de los movimientos de sus miembros como son las manos, brazos y piernas. En este trabajo se desarrolla el diseño e implementación de un algoritmo de reconocimiento de voz basado en la transformada de Fourier discreta para control del movimiento de los motores de una silla de ruedas eléctrica. Esto es mediante la aplicación de técnicas de procesamiento digital de señales en el lenguaje de programación LabView utilizando la transformada de Fourier discreta. El algoritmo compara entre dos muestras de voz, realizando un análisis en la estimación de la frecuencia fundamental, las frecuencias formantes, y el coeficiente de correlación entre espectros de frecuencias como proceso para reconocimiento de una voz específica. Los resultados obtenidos basados en el estudio de la frecuencia muestran un buen desempeño aún en condiciones con ruido ambiental. Los criterios de validación establecidos son 0.65 para el coeficiente de correlación normalizada, 0.70 de correlación cruzada y 65 para el porcentaje de aproximación entre frecuencias fundamentales lo que garantiza que la persona bajo prueba tiene único acceso al control del prototipo.

Palabras clave— Correlación cruzada, reconocimiento de voz, silla de ruedas eléctrica, transformada de Fourier discreta.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen seres humanos que sufren de algún tipo de parálisis motriz como lo es la cuadriplejía, tetraplejía y según el INEGI en el 2014 de 120 millones de habitantes en México existen 7.2 millones que sufren de algún tipo de discapacidad donde el 33.58% sufren de parálisis de piernas,

brazos y manos. Las personas con esta enfermedad dependen de alguien más para realizar tareas rutinarias debido a la incapacidad de movimiento en sus extremidades [1].

Existe diversos esfuerzos relacionados en el estado del arte que aportan con el problema de inactividad motora, principalmente derivados de problemas cerebrales que impulsan su movilidad dentro de la sociedad [2-5], así como de análisis de movimientos para adultos con problemas de tipo cerebral [6], alguno de estos trabajos derivados del tema de clasificación de señales, sin embargo, se ha explotado poco la posibilidad de independizarse en cuanto al desplazamiento a través de la voz, se tienen programas de reconocimiento de forma gratuita como es el Microsoft Speech Platform SDK [7], pero este detecta la voz humana en general de cualquier persona a diferencia de este trabajo el cual se adecua a una voz personalizada.

Este proyecto busca brindar la oportunidad de independizarse a aquellas personas que sufren cuadriplejía o que requieren del apoyo de movilidad dentro de un establecimiento sin bordes, con una herramienta que sea sencilla de operar sin sacrificar la seguridad durante el traslado y sobre todo que sea exclusiva para la persona interesada.

El desarrollo de este trabajo brinda al paciente la posibilidad de realizar una tarea tan cotidiana como lo es el desplazamiento de un lugar a otro, en un área previamente acondicionada. En la primera etapa de este trabajo se trabajó sobre SDK, pero se tuvo la inconveniencia de que obedecía las órdenes de los comandos de voz de cualquier usuario, lo que no garantiza la seguridad y difiere de los objetivos establecidos para el desarrollo del mismo. La literatura muestra programas dedicados al reconocimiento de voz [7-8] que se pueden adecuar a este proyecto, la aportación de este trabajo es el desarrollo de un sistema de reconocimiento de voz específico basado en la transformada de Fourier discreta para el estudio y

procesamiento de la voz [8-9]. Las señales obtenidas se analizan en el dominio de la frecuencia y es en base a este método que se controla el puente H y dirección de la base de la silla.

Este trabajo se organiza de la siguiente manera: en la sección 2 se muestra el desarrollo de la silla de ruedas en sus etapas de hardware y simulación en Labview, en la sección 3 se desglosan los principales resultados obtenidos y finalmente en la sección 4 se muestran las conclusiones y trabajos futuros.

II. DESARROLLO

A. Sillas de ruedas eléctrica

El concepto general de este proyecto se basa en una silla convencional con la única diferencia que se le ha agregado un control mediante un sistema de reconocimiento de comandos de voz implementado en LabView [10], y utilizando los motores de voz de SDK11. La silla de ruedas requiere de un laptop, como se muestra en la Fig. 1, un micrófono el cual funcionará como periférico de entrada para obtener los comandos de voz del usuario así como un par de audífonos, los cuales pudieran omitirse durante el funcionamiento normal del proyecto. Una vez reconocido el comando de voz mediante programación se genera la orden a la etapa de potencia que los motores giren de acuerdo al comando ordenado y mediante una interfaz entre LabView y la etapa de potencia de la silla de ruedas la cual está diseñada con un controlador arduino y un puente H.



Fig. 1. Diseño conceptual del prototipo desarrollado.

Los comando de voz analizados en el dominio de la frecuencia clasifican de acuerdo a la frecuencia obtenida las cuatro opciones disponibles del prototipo, la silla podrá girar a la izquierda o derecha, avanzar o retroceder, además de detenerse o aumentar su velocidad.

B. Sistema de reconocimiento personalizado

En términos generales el sistema de reconocimiento personalizado de voz toma como entrada la señal de un micrófono [11], este sistema se encarga de detectar los comandos de voz para el control de la silla de ruedas eléctrica. En este sistema se requiere guardar la muestra de voz que será utilizada por el algoritmo de reconocimiento como el patrón a

seguir y una vez detectado se almacena y se busca en una base de datos como se muestra en la Fig. 2. La muestra de voz de referencia que corresponde al comando de voz detectado son utilizadas por el algoritmo de reconocimiento de voz cuya función es comparar ambas muestras y decidir si la voz del comando detectado coincide con la muestra de voz almacenada en la base de datos y en el caso de que coincida con la muestra de voz el comando se ejecutará.

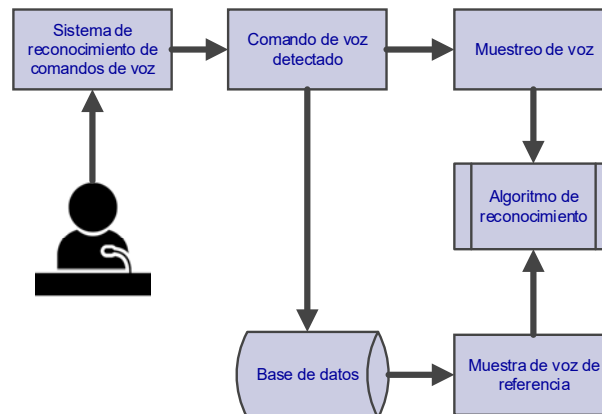


Fig. 2. Diagrama a bloques del sistema de reconocimiento de voz personalizado.

C. Algoritmo de Reconocimiento de Voz

En la Fig. 3 se ilustra un diagrama de flujo que muestra los pasos para el algoritmo de reconocimiento de voz [12], el primero consiste en trasladar ambas muestras de voz al dominio de la frecuencia [9] (muestra de voz del comando detectado y muestra de voz de referencia almacenada en base de datos) y se implementa la transformada de Fourier para el análisis de las muestras [13]. En el segundo paso del algoritmo se obtiene la frecuencia fundamental y las frecuencias formantes de ambas muestras de voz las cuales serán comparadas en base a su amplitud y frecuencia; el tercer paso consiste en calcular el coeficiente de correlación normalizada y correlación cruzada de una muestra de voz respecto a la otra como forma de evaluar la similitud de las señales y por último se determina el nivel de similitud entre ambas muestras de voz mediante unos parámetros establecidos se valida la ejecución del comando detectado.

D. Análisis del espectro de frecuencias

En la primera etapa del algoritmo de reconocimiento de voz consiste en hacer un estudio en el dominio de la frecuencia, para esto se utiliza la herramienta FFT Power Spectrum y PSD a partir de una muestra de sonido en formato wav [13], y se obtiene el espectro en frecuencia mediante la transformada de Fourier como se observa en la Fig. 4. En la primera parte del programa de reconocimiento se abre una muestra voz desde una ubicación en específico y esta muestra es graficada en el programa donde se muestra la señal en el dominio del tiempo, así como un VI que aplica la transformada de Fourier para obtener el espectro en frecuencia que será visualizado en la gráfica en color magenta.

Identify applicable funding agency here. If none, delete this text box.

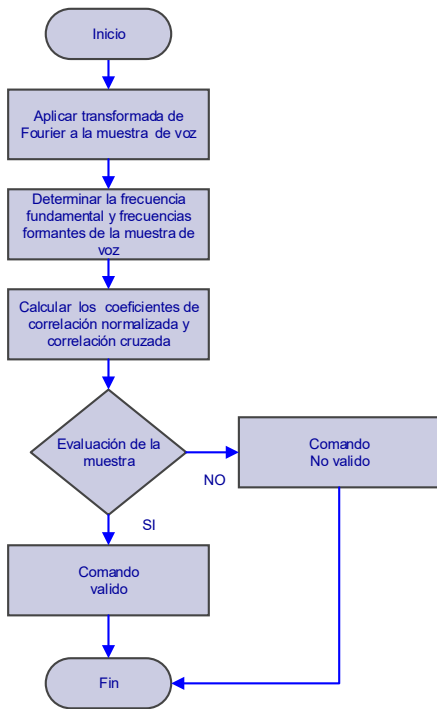


Fig. 3. Diagrama de algoritmo de reconocimiento de voz.

Por último mediante la herramienta de unbundle a la salida del VI de la FFT Power Spectrum [14] se obtiene la señal del espectro de potencia donde la posición representa la frecuencia y la amplitud de cada elemento que conforman la señal que será utilizada por los diferentes códigos implementados para el algoritmo de reconocimiento de voz.

E. Frecuencias Formantes y Frecuencia Fundamental

Una vez obtenido el espectro en frecuencia se procede a realizar un SubVI para obtener la frecuencia fundamental y las frecuencias formantes, y así conocer los parámetros importantes de la muestra de voz como se muestra en la Fig. 4.

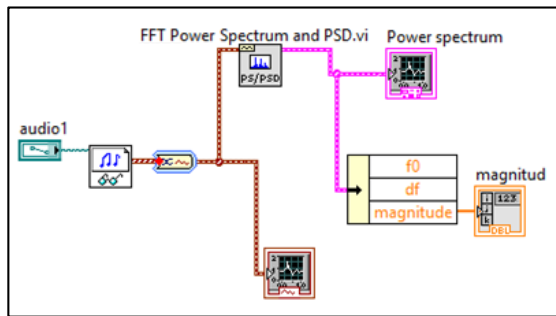


Fig. 4. Análisis del espectro de frecuencia a partir de una muestra de sonido

En la Fig. 5, se muestra el SubVI Formantes Voz [14] (icono en color azul) encargado de obtener las frecuencias formantes y la frecuencia fundamental a partir del arreglo "magnitud" obtenido anteriormente, véase Fig. 4. El SubVI tiene como salida dos valores numéricos, la primera el valor máximo el cual corresponde a la amplitud encontrada dentro del espectro, y por otro lado la frecuencia fundamental que corresponde a la señal con la amplitud máxima detectada,

además de dos arreglos que obtienen las frecuencias formantes con sus respectivas amplitudes que serán utilizados en el algoritmo de detección de la voz.

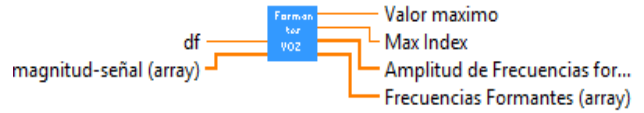


Fig. 5. SubVI de Frecuencia Formantes

En la Fig. 6, se muestra el panel frontal del código a bloques implementado para obtener las frecuencias formantes, y se observa en la parte izquierda de la representación de la muestra de voz en el dominio del tiempo, y a la derecha de ésta se encuentra la gráfica del espectro en frecuencia. También se observan dos arreglos que corresponden a las frecuencias formantes y sus amplitudes, en la parte inferior izquierda se tienen dos indicadores que representan la frecuencia fundamental y su amplitud. Para la muestra de audio utilizada se tiene una frecuencia fundamental de 193 Hz tal y como se aprecia en la gráfica del espectro de frecuencia. Como primer paso para obtener la frecuencias formantes se separa el espectro de frecuencia de la voz humana en segmentos de 100 Hz, en cada segmento se busca la frecuencia con mayor amplitud (frecuencia formante), y esta se almacena en el arreglo FF [], así como también la amplitud de la misma en el arreglo FF [], y con ayuda de un contador se aumentara la posición cada que se completan 100 Hz.

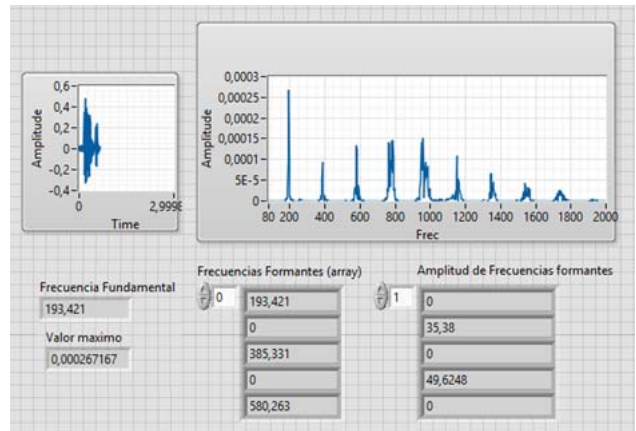


Fig. 6. Panel frontal que muestra las frecuencias formantes y la frecuencia fundamental.

Para encontrar la frecuencia fundamental se busca dentro del arreglo FF [] de las frecuencias formantes, ya que la frecuencia fundamental corresponde a la frecuencia formante de mayor amplitud.

F. Correlación normalizada

A continuación se presenta el código utilizado para realizar la correlación normalizada y correlación cruzada para dos muestras de audio que definen la relación entre ambas muestras de voz [11], [15]. En la Fig. 7, se muestra el SubVI implementado que calcula el coeficiente de correlación normalizado y el coeficiente de correlación cruzada. Los datos de entrada representados como los arreglos de magnitud y

magnitud2 corresponden a la señal que conforma el espectro en frecuencia de cada una de las muestras de audio.

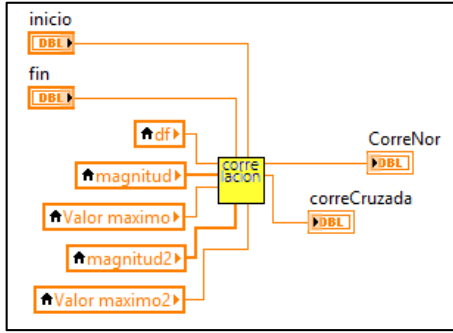


Fig. 7. SubVI de Correlación.

Los valores máximos de ambas señales para transformar la amplitud de las señales a una escala de 0 a 100 y las entradas inicio y fin establecen el rango de frecuencia el cual se aplicará la correlación. Posteriormente, se tienen a la salida dos indicadores, uno que corresponde al coeficiente de correlación normalizado y el otro que corresponde al coeficiente de correlación cruzada que son utilizados para validar el comando. La correlación normalizada calcula un valor de semejanza entre dos señales, como se muestra en (1).

$$R_{(x,y)} = \frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} (x[n] * y[n])}{\sqrt{\sum x^2[n] * \sum y^2[n]}} \quad (1)$$

En (1) se muestra el término del numerador corresponde a la correlación simple entre dos señales, y que consiste en la sumatoria del producto de $x[n]$ por $y[n]$, donde $x[n]$ y $y[n]$ donde $x[n]$ corresponde a la señal de entrada y $y[n]$ al patrón de referencia corresponden a las muestras de voz en el dominio del tiempo discreto.

G. Correlación cruzada

La correlación cruzada consiste en buscar la máxima similitud entre dos señales al desplazar una de las dos. Para obtener el coeficiente de correlación cruzada es necesario realizar el mismo algoritmo utilizado en la correlación normalizada, solo que esta vez la señal $y[n]$ será desplazada hacia la izquierda y hacia la derecha, para encontrar la máxima correlación con $x[n]$. En (2) se muestra esta relación:

$$R_{(x,y)} = \frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} (x[n] * y[n + \tau])}{\sqrt{\sum x^2[n] * \sum y^2[n + \tau]}} \quad (2)$$

H. Reconocimiento de Voz VI

En la Fig.8 se muestra el VI de reconocimiento de voz para la implementación en LabView [12], el cual toma como entradas dos rutas, la primera establece la ubicación de la muestra de voz de referencia ubicada en la base de datos y la segunda representa la ubicación de la muestra de audio de la voz del comando detectado. Por ultimo este VI cuenta con una salida booleana cuya función es validar la voz detectada al compararla con la voz de referencia siempre y cuando la similitud entre ambas muestras sea igual o superior a los parámetros establecidos como tolerancia. Estos parámetros o coeficientes son considerados para dos tipos de ambientes; el primero como ambiente cerrado donde en este no hay ruido de otros medios captados más que el del paciente y donde los coeficientes son más estrictos, esto es para la correlación

cruzada normalizada (CCN) de 0.85 y para la correlación cruzada (CC) de 0.90 y 85 para el porcentaje de aproximación entre frecuencias fundamentales (AFF).

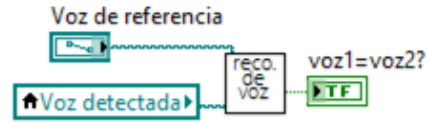


Fig. 8. VI de Reconocimiento de Voz.

El segundo que es para este trabajo son los coeficientes de ambiente abierto para todo tipo de sonido captado por el micrófono en un ambiente abierto y estos valores se fijaron para un resultado aceptable de similitud como: 0.65 para la (CCN), 0.70 de (CC) y 65 (AFF).

El panel frontal del programa que emplea el VI para el reconocimiento de voz, mostrado en la Fig. 9, en el cual se indican las dos rutas de ubicación de ambas muestras de voz (la de referencia y la detectada) y también se observa una gráfica que representa la señal en el dominio del tiempo y una que muestra el espectro de frecuencia para ambas muestras de voz. En la parte inferior derecha se tienen tres controles para definir los criterios para validar la voz detectada, por ultimo dos indicadores de la frecuencia fundamental que corresponden a cada muestra de voz y un indicador booleano que indica si la voz detectada coincide con la voz en la base de datos según los criterios establecidos.

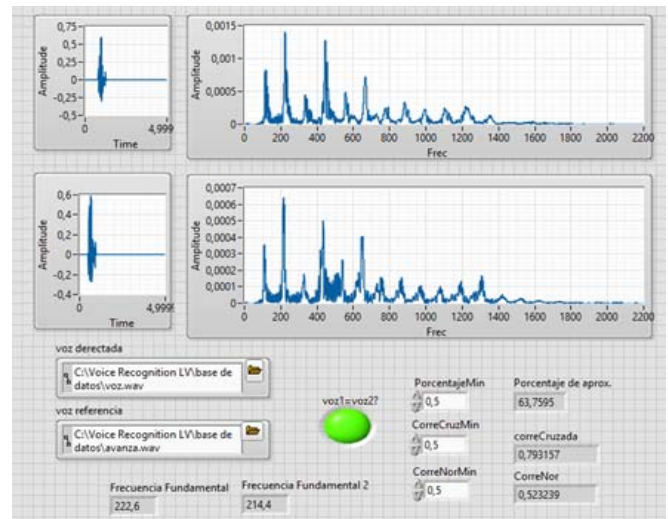


Fig. 9. Reconocimiento de voz-Panel frontal

III. RESULTADOS

A. Prueba Del Algoritmo De Reconocimiento De Voz

Para probar el algoritmo de reconocimiento de voz fue necesario comparar la voz de un usuario respecto a si misma y también respecto a otras para implementar los comandos de los diferentes movimientos de la silla de ruedas (avanza, detente, gira a la izquierda, gira a la derecha y retrocede). El primer paso consiste en obtener muestras de voz de diferentes

personas para cada comando y de esta manera observar el comportamiento del algoritmo de reconocimiento de voz. Se obtuvieron muestras de voz de 50 personas de edades entre los diez a treinta años y de diferente sexo. En las Figs. 10 y 11, se observa el espectro de frecuencia de la voz de dos personas.

Es importante mencionar que se han establecido diferentes rangos de frecuencia con el fin de obtener mejores resultados, el primero comprende el rango de frecuencia entre 20 y 1000 Hz, el segundo rango comprende la frecuencia entre 1000 Hz y 1500 Hz, y el tercero comprende el rango de frecuencia entre 1500 a 3000 Hz. Esto se muestra en las Figs. 10 y 11, de izquierda a derecha respectivamente.

El programa necesario para lograr esta implementación consiste en emplear el Sub VI que se observa en la Fig. 7 creado para el cálculo de coeficientes de correlación, estableciendo los rangos de frecuencia anteriormente mencionados, en orden descendente comenzando por el rango de 20 Hz a 1000 Hz.

B. Detección de comandos de voz

Como punto de partida se han establecido como criterio mínimo de la validación, los siguientes, estos son: 0.65 de coeficiente de correlación normalizada, 0.70 de correlación cruzada y 65 para el porcentaje de aproximación entre frecuencias fundamentales.

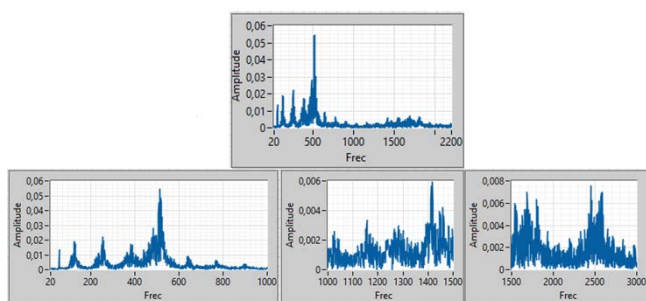


Fig. 10. Frecuencia de voz de la persona-1 (imagen superior), dividida en 3 rangos.

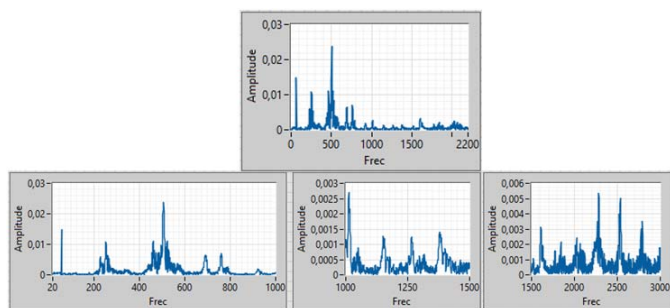


Fig. 11. Frecuencia de voz de la persona-2 (imagen superior), dividida en 3 rangos.

A continuación se presentan las tablas correspondientes a la comparación de las muestras de voz del comando “avanza”, tomando en cuenta la respuesta en frecuencia de 5 personas diferentes de un total de 50 y estas son consideradas con los valores de coeficientes con mayor discrepancia. En la tabla 1, se observan los coeficientes de correlación cruzada, en la tabla

2 se observan los coeficientes de correlación normalizada. Por último la tabla 3, corresponde al porcentaje de aproximación de las frecuencias formantes. En color rojo se muestran los valores que superan el mínimo establecido para ser validada la voz del usuario de la silla.

TABLE I. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN CRUZADA PARA MUESTRAS DEL COMANDO “AVANZA”.

	0.2-1 KHz	1-1.5 KHz	1.5-3 KHz	20-22 KHz
persona1	0,7559	0,7707	0,8589	0,7442
persona2	0,6374	0,7376	0,7915	0,6353
persona3	0,5852	0,7072	0,6132	0,5754
persona4	0,6838	0,745	0,8219	0,6788
persona5	0,5807	0,5814	0,6457	0,446

Como se observa en cada una de las pruebas realizadas solo la voz de la persona 1 será válida, ya que es la única en la que todos los coeficientes de correlación normalizada y cruzada, así como el porcentaje de aproximación de frecuencias formantes supera el mínimo establecido para validar la voz; 0.70, 0.65 y 65% sucesivamente. Estas pruebas comparativas se llevaron a cabo también para los como comandos: retrocede, derecha, izquierda y detente.

TABLE II. COEFICIENTES DE CORRELACIÓN NORMALIZADA PARA MUESTRAS DEL COMANDO “AVANZA”.

	0.2-1 KHz	1-1.5 KHz	1.5-3 KHz	20-22 KHz
persona1	0.6868	0.6955	0.7827	0.684
persona2	0.5476	0.6551	0.71	0.5472
persona3	0.4987	0.5633	0.438	0.4975
persona4	0.5864	0.698	0.757	0.589
persona5	0.5779	0.515	0.4724	0.435

TABLE III. TABLA 3. PORCENTAJE DE APROXIMACIÓN DE FRECUENCIAS FORMANTES PARA EL COMANDO “AVANZA”

Porcentaje por persona (%)	
persona1	74.016
persona2	51.149
persona3	60.413
persona4	55.814
persona5	37.78

IV. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En la implementación del algoritmo de reconocimiento de voz personalizado se obtuvo un análisis del estudio de la frecuencia con resultados aceptables, ya que cumplen con los valores mínimos establecidos de los coeficientes definidos por la correlación cruzada normalizada (0.65), correlación cruzada (0.70) y porcentaje de frecuencias formantes (65), para un ambiente abierto. El método de autenticación de la voz utilizando se basa únicamente en la estimación de la frecuencia fundamental la cual presenta resultados aceptables al comparar voces en diferentes rangos de edad y de género, sin embargo al comparar muestras de voz de personas de edades jóvenes entre los diez y doce años con el mismo género y misma edad presenta se obtuvo un porcentaje de error más alto comparado con los otros casos de personas de más edad debido a la diferencia de frecuencias en ese rango de edad.

En este trabajo se utilizó la transformada de Fourier discreta analizando por secciones las frecuencias en el espectro, algo similar al método basado en el cálculo de los Coeficientes Cepstrales de las frecuencias de Melde MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients), ya que con estos coeficientes se obtiene un mejor reconocimiento en la detección de los comandos de voz para cualquier aplicación dicha técnica es un punto de mejora del sistema desarrollado.

AGRADECIMIENTO

Este trabajo fue apoyado económicamente en parte por la Dirección de Estudios de Posgrado e Investigación del Tecnológico Nacional de México TecNM, con proyecto clave de registro 5427.14P. También se agradece el apoyo del área de trabajo y material de equipo de laboratorio brindado por el departamento de ingeniería en electrónica del instituto tecnológico de Tijuana.

REFERENCIAS

- [1] http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/aproposito/2015/di_scapacidad0.pdf
- [2] D. Bryant, J. Boyd and J. Harris, "An infant smart-mobile system to encourage kicking movements in infants at-risk of cerebral palsy," in IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts (ARSO), Texas, USA, 2017.
- [3] J. Gallagher, N. Preston and R. Holt, "Assessment of upper limb movement with an autonomous robotic device in a school environment for children with Cerebral Palsy," in IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR), Singapore, Singapore, 2015.
- [4] G. Androwis, R. Foulds and D. Jewaid, "The Neural Contribution to Passive Joint Movement in Individuals with Cerebral Palsy," in 39th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC), NY, USA, 2013.
- [5] T. Hirotsu, Y. Iwasaki and A. Waller, "Assessing quality of movement in a child with cerebral palsy by using accelerometers," in ICME International Conference on Complex Medical Engineering (CME), Kobe, Japan, 2012.
- [6] K. Higuchi, H. Itaka and R. Sakamoto, "Analysis of involuntary movement and development of a writing assistance system for adults with tension athetosis type cerebral palsy," in IEEE Conference on Control Applications (CCA), Juan Les Antibes, France, 2014.
- [7] Peter D. Doolittle, *Electronically Hearing: Computer Speech Recognition*, 1st Edition. Howard W. Sams & Co. Inc., 1994.
- [8] Pelton, Gordon E., "Voice Processing," MacGraw-Hill. Singapore, 1992.
- [9] Peralta Fernando and C. Aníbal, "Reconocedor y analizador de la voz," Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2002.
- [10] Sunrise Medical Inc., pp. 01 Guardian Aspire Service Manual, 2003.
- [11] Flores Espinoza Andrés, Reconocimiento de palabras aisladas en castellano, Inictel. Dirección de Investigación y Desarrollo, 1993.
- [12] L.R. Rabiner, R.W.Schafer, *Digital Processing of Speech Signals*. New Jersey, NJ, USA: Prentice-Hall, 1978
- [13] Plannerer, Bernd, "An Introduction to Speech Recognition. Institut für Phonetik und Sprachliche Kommunikation," University of Munich, Munich, Germany, 2005.
- [14] National Instruments Corporation, "LabView Basics I Introduction Course Manual. Version 8.0," National Instruments Corporation, Texas E.U.A, 2006.
- [15] D. A. Forsyth and J. Ponce, "Computer Vision a Modern Approach," Prentice Hall, 2003.

Diseño de Sistemas Caóticos de Multi-enrollamientos y Multi-direcciones usando SNLF

Jorge Fernando Cortés-Avilez
Universidad de Sonora
UNISON
Hermosillo, Sonora, México
choche.fernando@gmail.com

Aldo Bonilla-Rodríguez
Instituto Politécnico Nacional
IPN-UPIITA
Ciudad de México, México City
aldo.bonilla.r@gmail.com

Rodrigo Y. Serrato-Andrade
Instituto Politécnico Nacional
IPN-UPIITA
Ciudad de México, México City
serrato.yaocztin@hotmail.com

Gamaliel Entrambasaguas-León
Instituto Politécnico Nacional
IPN-UPIITA
Ciudad de México, México City
gamaliel.e.leon@gmail.com

Andrés Calvillo-Téllez
Instituto Politécnico Nacional,
IPN-CITEDI
Tijuana, Baja California, México
calvillo@citedi.mx

J.C. Núñez-Pérez
Instituto Politécnico Nacional,
IPN-CITEDI
Tijuana, Baja California, México
jnunez@ipn.mx

Resumen— Este artículo muestra el procedimiento para el desarrollo de un sistema caótico de “n” enrollamientos en 1-2-3 direcciones basado en las funciones no lineales saturadas, SNLF. El artículo describe el proceso de análisis del sistema, su creación a base de las SNLF’s, y se muestran simulaciones computacionales de los sistemas generados. Además, se desarrolló una interfaz gráfica en el software Matlab® para agregar flexibilidad al proceso de diseño y obtención de los resultados. El diseño de este sistema se coloca al nivel del estado del arte actual en el diseño de aplicaciones para los sistemas caóticos.

Palabras clave— Chua, multi-enrollamientos, multi-direccionales, sistemas caóticos, sistemas no lineales, SNLF.

I. INTRODUCTION

La teoría del caos se puede resumir en que ciertos tipos de sistemas dinámicos son muy sensibles a las variaciones en las condiciones o variables iniciales de un modelo. Estas pequeñas modificaciones, al inicio, provocan diferencias muy significativas y totalmente distintas en un comportamiento futuro, lo que complica la predicción a largo plazo.

Debido al alto grado de sensibilidad a las condiciones iniciales y que son altamente impredecibles, los sistemas caóticos se utilizan comúnmente en campos de la ingeniería. Es por eso que una de sus principales aplicaciones se encuentra en el diseño e implementación de sistemas de comunicación de seguridad caótica, es decir, generadores de señales caóticas que impliquen técnicas de criptografía que busquen preservar la

privacidad y seguridad de la información transmitida y recibida. A su vez se cuenta con la problemática del desarrollo de sistemas electrónicos que logren ejecutar la tarea de proteger la información de manera segura durante su transmisión.

Los algoritmos caóticos basados en series de funciones no lineales saturadas (SNLF, por sus siglas en inglés) y el Circuito de Chua son algunos de los más utilizados en la literatura donde se reportan aplicaciones en sistemas de seguridad. En los últimos años, estos dos sistemas han sido los más populares para implementación de caos debido a su implementación factible, no linealidad estática y características de bifurcación. Estas funciones permiten el incremento del grado de impredecibilidad al generar multi-enrollamientos, y al mismo ofrecen multi-estabilidad. En este trabajo se obtendrán sistemas caóticos en 1-D (una dirección), 2-D y 3-D, es decir, en los ejes “x”, “y” y “z”. Esta multi-dirección se obtiene añadiendo 1, 2 o 3 funciones linealizadas a tramos (PWL) a las series de funciones no lineales saturadas, respectivamente, y como se puede deducir, entre más alto sea el grado de enrollamiento y dirección resultará más complejo y aumentará el grado de seguridad de transmisión.

Este artículo está organizado de la siguiente manera: en la sección II se presenta la teoría fundamental de los sistemas caóticos basados en SNLF. En la sección III se presenta la simulación en Matlab. La sección IV presenta el desarrollo la interfaz gráfica, también discute los resultados, los cuales fueron comparados con los artículos reportados en el estado del arte. Finalmente, las conclusiones derivadas de este trabajo son descritas en la Sección V.

II. DESARROLLO

A. Funciones No Lineales Saturadas, SNLF

Un oscilador caótico basado en funciones no lineales saturadas (SNLF) puede ser descrito por el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales [1].

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= y \\ \frac{dy}{dt} &= z \\ \frac{dz}{dt} &= -ax - by - cz + d_1 f(x; k, \alpha, h, p, q) \end{aligned} \quad (1)$$

donde a , b , c y d_1 son coeficientes reales positivos propuestos, con valores en el intervalo $[0 \ 1]$. También se requiere establecer el valor de las condiciones iniciales $x(0)$, $y(0)$ y $z(0)$ debido a la interdependencia de las variables de estado.

El sistema presenta un comportamiento dinámico no lineal gracias a la función saturada desestabilizante $f(x; k, \alpha, h, p, q)$. El propósito de dicha función es retroalimentar al sistema y mantenerlo oscilando sin la necesidad de una variable de entrada extra en el sistema. Además, esta función desestabilizante es la causante del comportamiento caótico en el sistema. La SNLF puede ser descrita mediante una función PWL cuya forma dependerá del número de enrollamientos requeridos en el sistema caótico. La aproximación PWL de la SNLF está dada por:

$$f(x; k, \alpha, h, p, q) = \sum_{i=-p}^q f_i(x; k, \alpha, h) \quad (2)$$

B. Oscilador Caótico de Chua

El diodo de Chua puede generar “n” número de enrollamientos en un sistema dinámico gracias a su comportamiento de resistencia negativa no lineal [2]. El sistema mencionado anteriormente se puede observar en la figura 1.

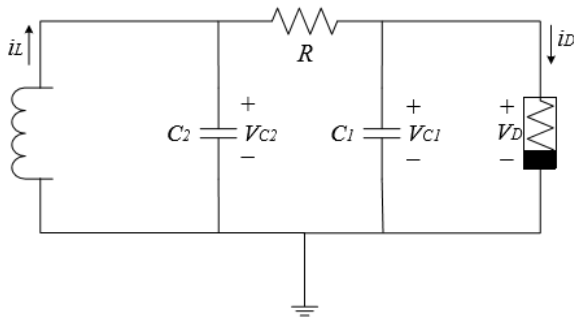


Fig. 1. Circuito basado en el diodo de Chua [2].

Del circuito anterior se pueden obtener las ecuaciones diferenciales que describen su comportamiento aplicando las leyes de Kirchoff, quedando expresadas como el Sistema de ecuaciones diferenciales (3)

$$C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} = G(V_{C_2} - V_{C_1}) - g(V_{C_1})$$

$$C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} = G(V_{C_1} - V_{C_2}) + i_L \quad (3)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = -V_{C_2}$$

Donde $G = \frac{1}{R}$, V_{C_1} , V_{C_2} , i_L son los voltajes en los capacitores C_1 , C_2 y la corriente en el inductor, respectivamente. Además, se define la función del diodo de Chua, la cual otorgará la no linealidad al sistema:

$$g(V_{C_1}) = G_P V_{C_1} + \frac{1}{2}(G_A - G_P)[|V_{C_1} + P| - |V_{C_1} - P|] \quad (4)$$

El sistema de ecuaciones diferenciales anterior puede ser transportado a una forma adimensional normalizada. lo anterior se logra realizando los siguientes cambios de variables:

$$x = \frac{V_{C_1}}{P}, y = \frac{V_{C_2}}{P}, z = \frac{i_L}{PG}, \tau = \frac{tC_2}{G}$$

Y tomando en cuenta que $\alpha = \frac{C_2}{C_1}$, $\beta = \frac{C_2}{LG_2}$, $m_0 = RG_A$, y $m_1 = RG_P$, se obtiene que:

$$\frac{dx}{d\tau} = \alpha[y - x - g(x)]$$

$$\frac{dy}{d\tau} = x - y + z \quad (5)$$

$$\frac{dz}{d\tau} = -\beta y$$

$$g(x) = m_1 x + \frac{1}{2}(m_0 - m_1)[|x + 1| - |x - 1|]$$

donde como se dijo anteriormente, la función $g(x)$ es la responsable del comportamiento no lineal del diodo de Chua.

C. Oscilador Caótico de Chua basado en SNLF

El oscilador de Chua más básico está descrito por una SNLF de doble enrollamiento; sin embargo, el número de enrollamientos generados en el sistema puede ser incrementado gracias a un aumento en el número de tramos de la función saturada. Habitualmente la función desestabilizante del oscilador de Chua es expresada como en (5), para el caso más básico, sin embargo, una expresión más generalizada [3] está dada por la siguiente función:

$$G(x) = m_{2n-1}x + \frac{1}{2} \sum_{i=q}^{2n-1} (m_{i-1} - m_i)(|x + b_i| - |x - b_i|) \quad (6)$$

donde m representa la pendiente entre tramos, b son los puntos de quiebre de la función, q es un parámetro que varía de acuerdo el número de enrollamientos del sistema y n representa el número de enrollamientos del sistema.

Dentro de la función desestabilizante (6) el término q debe adoptar el valor de “1” para sistemas que generen $2n$

enrollamientos, mientras que adquiere el valor de “2” cuando se requieran $2n - 1$ enrollamientos en el sistema.

Como se observa en la ecuación (6), la función tendrá tantas pendientes como mesetas se requieran; lo mismo pasa con los puntos de quiebre. Sin embargo, en este trabajo se toman todas las pendientes m_{2i-1} iguales y todas las pendientes m_{2i} iguales, quedando lo siguiente:

$$m_0 = m_2 = m_4 = m_6 = \dots = m_{2i} \quad (7)$$

$$m_1 = m_3 = m_5 = m_7 = \dots = m_{2i-1} \quad (8)$$

Teniendo en cuenta que las expresiones (3) y (4) representan al modelo básico del oscilador caótico de Chua de dos enrollamientos, entonces para el diseño de un oscilador de tres enrollamientos se puede expresar la función (6) como:

$$G(x) = m_5x + \frac{1}{2} \sum_{i=2}^5 (m_{i-1} - m_i)(|x + b_i| - |x - b_i|) \quad (9)$$

Tomando en cuenta las expresiones (7) y (8), y realizando el análisis pertinente, la función (9) puede ser reescrita como:

$$G(x) = m_1x + \frac{1}{2} [(m_1 - m_0)(|x + b_1| - |x - b_1|) + (m_0 - m_1)(|x + b_2| - |x - b_2|)] \quad (10)$$

Si se siguen generando enrollamientos basados en las descripciones anteriores, se puede llegar a la conclusión de que sólo se alternan los valores de las pendientes y los puntos de quiebre cambian, de modo que la función $G(x)$ también puede ser descrita como:

$$G(x) = m_1x + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} (-1)^i (m_1 - m_0)(|x + b_{n-i}| - |x - b_{n-i}|) \quad (11)$$

La expresión (11) es el resultado de la realización de varias pruebas con el comportamiento del sistema; ésta se dedujo durante el desarrollo del presente trabajo para poder realizar una expresión más compacta, generalizada y fácil de entender. La expresión (11) posee mayor facilidad para su implementación en software, a diferencia de la expresión (6).

Con la ecuación (11) se puede generar una función PWL simétrica para n cantidad de enrollamientos, ya que existen únicamente dos dependencias: en los puntos de quiebre y en el número de enrollamientos. Además, no hay forma analítica de obtener los valores de los puntos de quiebre, por lo que es necesario establecer estos parámetros de antemano.

D. Diseño del Oscilador Caótico de Chua basado en SNLF

El oscilador caótico basado en SNLF descrito en (1) tiene su función desestabilizante $f(x; k, \alpha, h, p, q)$ más básica expresada como:

$$f(x) = \begin{cases} k & x > \alpha \\ sx & -\alpha \leq x \leq \alpha \\ -k & x < -\alpha \end{cases} \quad (12)$$

donde el parámetro k representa la saturación del sistema, α es el punto de quiebre en la función y s la pendiente entre tramos.

El trabajo fue apoyado con el proyecto de investigación “SIP-IPN 20180020”.

La figura 2 muestra el comportamiento de la función no lineal saturada más básica de dos enrollamientos.

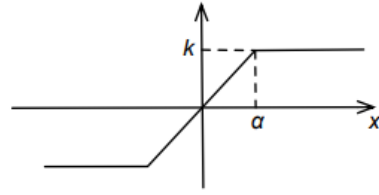


Fig.2. SNLF de dos enrollamientos [2].

Estas funciones, al igual que en el caso del oscilador de Chua, pueden generar n cantidad de enrollamientos con la adecuada descripción matemática. Para un caso más general en el comportamiento del sistema (1), la función desestabilizadora (2) puede adoptar la siguiente forma [3]:

$$f(x; k, \alpha, h, p, q) = \begin{cases} (2q + 1)k & x > qh + \alpha \\ \frac{k}{\alpha}(x - ih) + 2ik & |x - ih| \leq \alpha \\ & -p \leq i \leq q \\ (2i + 1)k & ih + \alpha < x < (i + 1)h - \alpha \\ & -p \leq i \leq q - 1 \\ -(2p + 1)k & x < -ph - \alpha \end{cases} \quad (13)$$

donde cada nueva meseta es representada por el término de la forma nk ; y n representa el número de enrollamientos, p y q son enteros reales positivos, y h representa el tiempo de saturación.

El parámetro h_i debe cumplir con la siguiente condición:

$$h_i = \pm mk \quad (14)$$

donde, para generar un numero de enrollamientos n pares se usa

$$i = 1, \dots, \frac{n-2}{2} \quad (15)$$

$$m = 2, 4, \dots, (n-2) \quad (16)$$

En caso de que se requiera generar un número impar de enrollamientos, entonces los parámetros i y m deben cumplir con las siguientes condiciones:

$$i = 1, \dots, \frac{s-1}{2} \quad (17)$$

$$m = 1, 3, \dots, (s-2) \quad (18)$$

Siguiendo la expresión (13) se puede encontrar una función desestabilizadora para n cantidad de enrollamientos para el sistema de ecuaciones (1). Se observa una dependencia de cinco parámetros en la expresión (13), a saber, k, α, h, p y q . La incorrecta selección de estos parámetros provocará la convergencia o divergencia del oscilador. Además, la expresión (13) presenta una mayor dificultad de implementación en comparación con (11).

Tomando en cuenta lo anterior, en este trabajo se optó por llevar a cabo una descripción más compacta de la expresión (13), por lo que se utilizó la expresión (11). Esta función simplificada también fue utilizada en el oscilador de Chua y no presentó problemas al ser adaptada para la generación de enrollamientos

en múltiples direcciones, en concreto, al generar enrollamientos en una, dos y tres direcciones.

Para la creación de osciladores caóticos crecientes en dichas direcciones, se hizo uso de la siguiente expresión matricial [4]:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\Phi(x, y, z) \quad (19)$$

donde,

$$\mathbf{X} = [x, y, z]^T \quad (20)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -a & -b & -c \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{d_2}{b} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{d_3}{c} \\ d_1 & d_2 & d_3 \end{bmatrix} \quad (22)$$

En la expresión (19), d_2 y d_3 son números reales en el intervalo [0 1]. La expresión (19) es una expresión general para el desarrollo de osciladores caóticos en una, dos y tres direcciones, mientras que las matrices \mathbf{A} y \mathbf{B} son descripciones específicas para el sistema (1). La matriz Φ representa el conjunto de funciones no lineales saturadas, de modo que su descripción para generar enrollamientos en una, dos y tres direcciones queda representada en las expresiones (23), (24) y (25), respectivamente:

$$\Phi(x, y, z) = \begin{bmatrix} f(x; k_1, \alpha, h_1, p_1, q_1) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\Phi(x, y, z) = \begin{bmatrix} f(x; k_1, \alpha, h_1, p_1, q_1) \\ f(y; k_2, \alpha, h_2, p_2, q_2) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\Phi(x, y, z) = \begin{bmatrix} f(x; k_1, \alpha, h_1, p_1, q_1) \\ f(y; k_2, \alpha, h_2, p_2, q_2) \\ f(z; k_3, \alpha, h_3, p_3, q_3) \end{bmatrix} \quad (25)$$

Se observa cómo el número de funciones no lineales saturadas se incrementa conforme aumentan las direcciones de crecimiento. Estas direcciones, al tener sus propios parámetros de operación, pueden generar enrollamientos de manera independiente, pudiéndose por tanto obtener osciladores de $n \times m \times l$ enrollamientos. Sin embargo, en este trabajo sólo se reportaron osciladores simétricos, es decir, aquellos que constan de n , $n \times n$ y $n \times n \times n$ enrollamientos.

Finalmente, se realizó una aplicación en Matlab® con el fin de configurar la gran cantidad de funciones para la creación de los osciladores. Tal programa es capaz de presentar los diferentes planos en los cuales se observa el oscilador caótico basado en SNLF. Además, la interfaz permite generar y representar los distintos planos de manera individual según sea requerido.

III. SIMULACIÓN

Primeramente, se realizaron las simulaciones de los comportamientos obtenidos por las SNLF desarrolladas con la

expresión (13) y se comparan con los obtenidos con la expresión (11). En las figuras 3, 4 y 5 se pueden observar las funciones PWL generadas por la descripción (13), para el caso de dos, tres y cuatro enrollamientos, respectivamente. Se puede observar en tales figuras cómo el número de enrollamientos genera planos espaciados en la función; es decir, pequeños “escalones” que representan el número de enrollamientos del sistema.

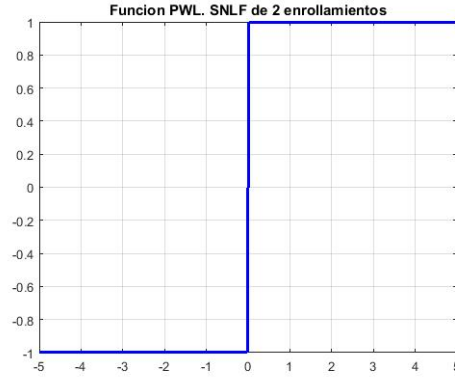


Fig. 3. Comportamiento del SNLF de 2 enrollamientos.

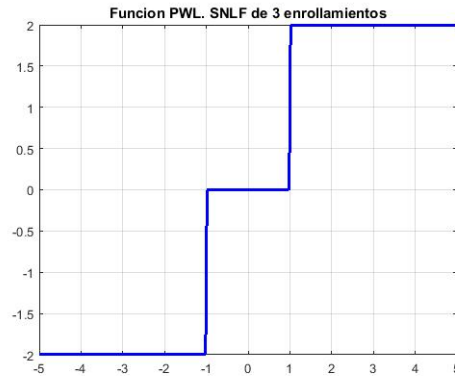


Fig. 4. Comportamiento del SNLF de 3 enrollamientos.

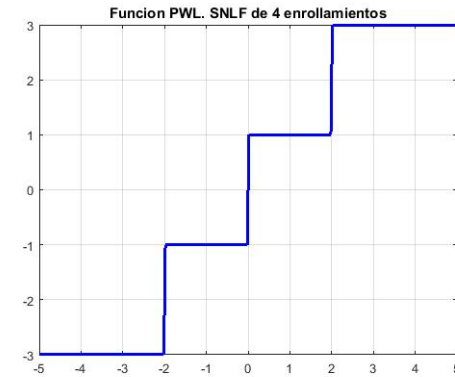


Fig. 5. Comportamiento del SNLF de 4 enrollamientos.

Y como segundo paso a continuación, en las figuras 6, 7 y 8 se muestran los comportamientos de las SNLF desarrolladas con la expresión (11), para los casos de dos, tres y cuatro enrollamientos. Al comparar las curvas 3-5 con las 6-8 se

comprueba y verifica que los resultados de simulación son idénticos.

enrollamientos respectivamente, donde se proyecta el plano X - Y del espacio de estados donde se ubica el oscilador caótico.

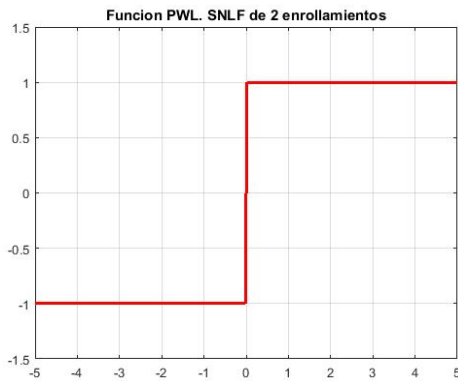


Fig. 6. Comportamiento del SNLF de 2 enrollamientos con expresión (11).

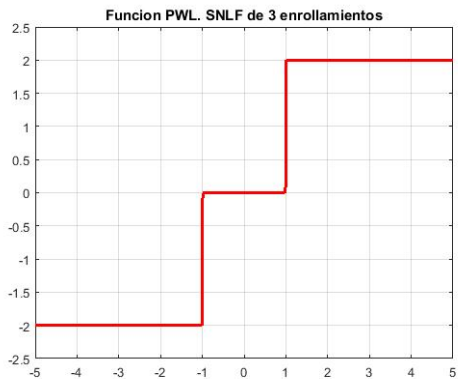


Fig. 7. Comportamiento del SNLF de 3 enrollamientos con expresión (11).

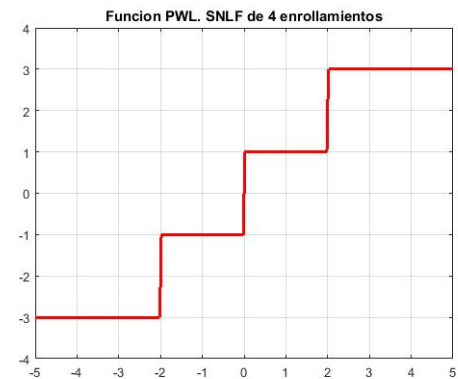


Fig. 8. Comportamiento del SNLF de 4 enrollamientos con expresión (11).

IV. RESULTADOS

La obtención del mismo resultado para las expresiones (11) y (13) demuestra que por lo menos para este caso la expresión (11) es capaz de satisfacer los criterios de diseño. Una vez observado el comportamiento de las SNLF, dichas expresiones fueron implementadas en la creación de osciladores con múltiples direcciones y de múltiples enrollamientos.

Los comportamientos obtenidos se muestran en las figuras 9, 10 y 11 para los osciladores de dos, tres y cuatro

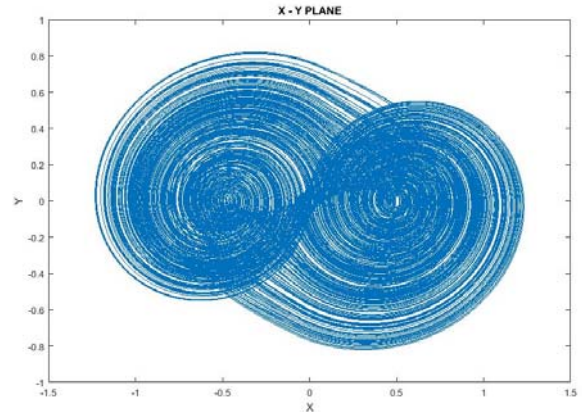


Fig. 9. Oscilador caótico SNLF de 2 enrollamientos en 1D

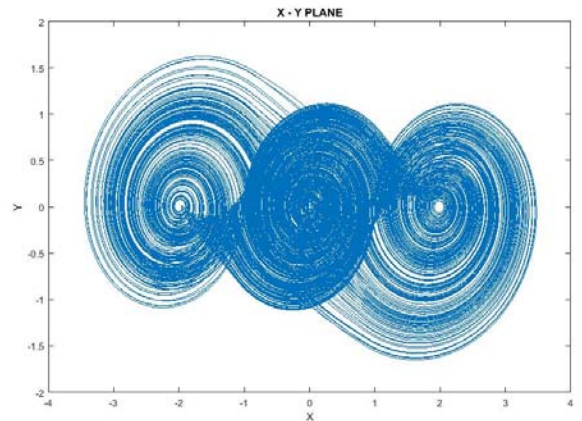


Fig. 10. Oscilador caótico SNLF de 3 enrollamientos en 1D

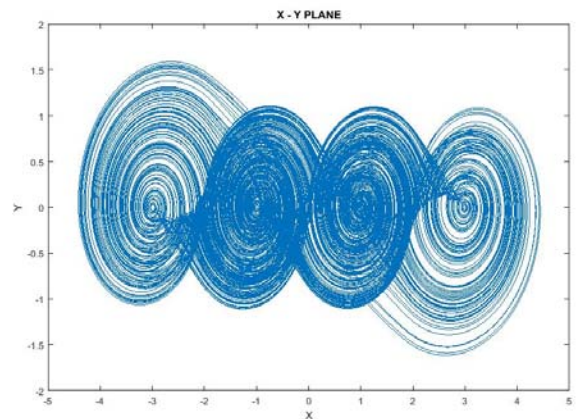


Fig. 11. Oscilador caótico SNLF de 4 enrollamientos en 1D

Los resultados obtenidos en las figuras 9, 10 y 11 corresponden a osciladores generados en una sola dirección, sin embargo, el sistema es capaz de generar sistemas de diferentes dimensiones y de hasta $10 \times 10 \times 10$ enrollamientos.

Las figuras 12, 13 y 14 muestran un oscilador caótico del tipo SNLF en una, dos y tres direcciones, respectivamente.

Todos los osciladores poseen “10” enrollamientos en las direcciones propuestas.

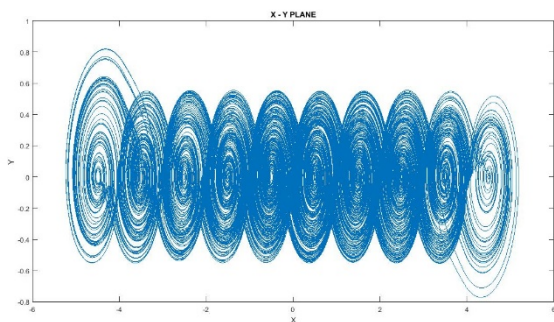


Fig. 12. Oscilador caótico SNLF de 10 enrollamientos en 1-D.

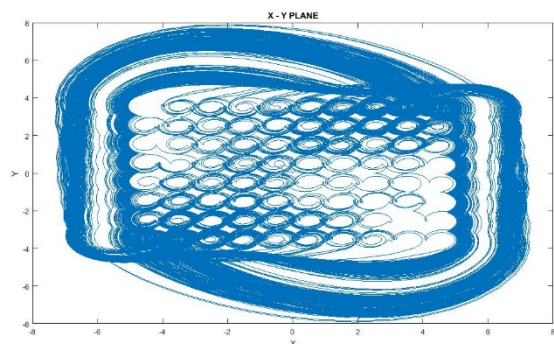


Fig. 13. Oscilador caótico SNLF de 10 enrollamientos en 2-D.

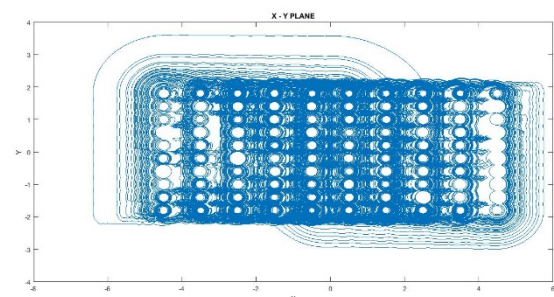


Fig. 14. Oscilador caótico SNLF de 10 enrollamientos en 3-D.

Finalmente, en la figura 15 se puede observar la aplicación desarrollada en Matlab® con el fin de poder manejar de manera más eficiente las funciones de creación y visualización de osciladores. La aplicación generada es capaz de mostrar enrollamientos en las tres direcciones, con dimensiones que van desde los dos hasta los “n” enrollamientos por dirección.

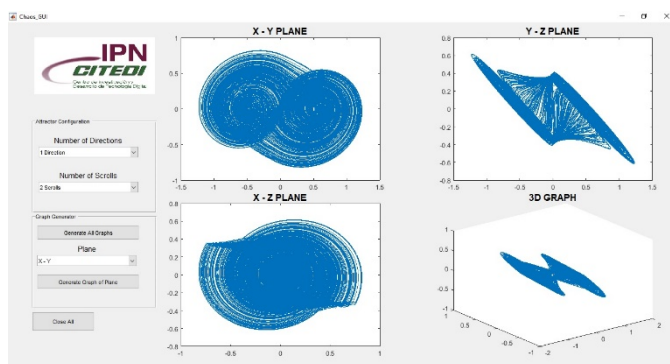


Fig. 15. Interfaz desarrollada en Matlab®.

En comparación con el estado del arte actual [1-14], este trabajo reporta por primera vez el diseño de una interfaz gráfica de usuario que permite la configuración de cualquier sistema caótico de “n” enrollamientos y además en las direcciones ó los ejes “x”, “y”, “z”. Esta interfaz permitirá el diseño metodológico de nuevos osciladores caóticos con múltiples enrollamientos y direcciones para diversas aplicaciones.

V. CONCLUSIONES

La generación de osciladores caóticos basado en las descripciones SNLF pudo ser realizada de una manera general y compacta a través de una interfaz gráfica generada en Matlab®. La adaptación hecha a partir de la descripción de la función del diodo de Chua con SNLF permite generar “n” x “m” x “l” enrollamientos empleando una metodología simple de entender e implementar. La expresión adaptada de los osciladores de Chua permitió un óptimo desarrollo de “n” enrollamientos usando la interfaz gráfica. El sistema es capaz de generar una cantidad cualquiera de enrollamientos sin tener dependencia de los puntos de quiebre, sólo de los parámetros k , a y n .

REFERENCES

- [1] E. Tlelo Cuautle, et al., "Simulation and Experimental Realization of Multi-Scroll Chaotic Oscillators," *Journal of Engineering Science and Technology*, Vol. 6, No. 4, pp. 1-8, 2013.
- [2] P. J. Obeso Rodelo, "Diseño e implementación en un FPGA de oscilador caótico para aplicaciones en sistemas de seguridad," M.Sc. disertación, Instituto Politécnico Nacional, CITEFI, Tijuana B.C., Enero 2016.
- [3] V. H. Carbajal Gómez, "Synchronization of Chaotic Oscillators Optimized by Applying Evolutionary Algorithms," Ph.D. disertación, Instituto Nacional de Física, Óptica y Electrónica, Diciembre 2015.
- [4] E. Tlelo-Cuautle, et al., "FPGA Realization of Multi-Scroll Chaotic Oscillators", *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Elsevier. Vol. 27, No. 1-3, pp. 66-80, Octubre 2015..
- [5] J. M. Muñoz Pacheco, et al., "OpAmp, CFOA and OTA-Based Configurations to Design Multi-Scroll Chaotic Oscillators," *Trends in Applied Sciences Research*, 2012.
- [6] Tao Yang, Leon O. Chua, "Piecewise-linear Chaotic Systems with a Single Equilibrium Point," *International Journal of Bifurcation and Chaos*, Vol. 10, No. 9, 2000.
- [7] Carlos Sánchez López, et al., "Design and Applications of Continuous-Time Chaos Generators " *Chaotic Systems*, Intech Open Science, DOI: 10.5772/14325, 14 Febrero 2011.
- [8] Xinzhi Liu, Xuemin (Sherman) Shen y Hongtao Zhang, "Multi-Scroll Chaotic and Hyperchaotic Attractors

- Generated from Chen System," International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 22, No. 2, 2012.
- [9] R. Trejo Guerra, et al., "Realization of multiscroll chaotic attractors by using current-feedback operational amplifiers," Revista Mexicana de Física 56 (4) 268-274, Agosto 2010.
- [10] Zeraouia Elhadj y J. C. Sprott, "Generating 3-Scroll Attractors from one Chua Circuit," International Journal of Bifurcation and Chaos, Vol. 20, No. 1, 2010.
- [11] J. Lü y G. Chen, "A Brief Overview of Multi-Scroll Chaotic Attractors Generation," documento PDF consultado el 03 de diciembre de 2017.
- [12] Jinhü Lü, K. Murali, Sudeshna Sinha, Henry Leung y M. A. Aziz-Alaoui, "Generating multi-scroll chaotic attractors by thresholding," Physics Letters A 372, 2008..
- [13] E. Tlelo-Cuautle, et al., "On the Verification for Realizing Multi-scroll Chaotic Attractors with High Maximum Lyapunov Exponent and Entropy". Advances and Applications in Chaotic Systems. Studies in Computational Intelligence, vol 636. Springer, 2016.
- [14] J. Muñoz, E. Tlelo Cuautle, Electronic Design Automation of Multi-scroll Chaos Generators, BenthamBooks, ISBN: 978-1-60805-664-4, 2010.

Nuevo Algoritmo para la Contabilización de Peces empleando Momentos Invariantes de Hu

Juan Miguel Hernández
Ontiveros
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
juan_miguel@uabc.edu.mx

Everardo Inzunza-González
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
einzunza@uabc.edu.mx

Enrique Efrén García-Guerrero
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
egarcia@uabc.edu.mx

Oscar Roberto López-Bonilla
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
olopez@uabc.edu.mx

Abraham Flores-Vergara
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
venumc@uabc.edu.mx

Oscar Adrian Aguirre-Castro
Facultad de Ingeniería,
Arquitectura y Diseño
Universidad Autónoma de Baja
California
Ensenada, México
<mailto:oscar.aguirre@uabc.edu.mx>

Abstract— El propósito de este trabajo es la implementación de un nuevo algoritmo que identifica y contabiliza peces de diferentes especies: Bagres, Besugos, Sierras, Tilapias y Totoabas. La principal aportación del método es la fusión de las características de invariabilidad a la posición, rotación y escala de los momentos de Hu, con el conteo propio de peces. Se lleva a cabo la identificación y el conteo, a partir de una imagen bajo diferentes condiciones de ruido. Los resultados de exactitud obtenidos con el algoritmo propuesto están dentro del rango de 92.66% y 95.18% bajo diferentes condiciones de ruido en las imágenes digitales. Por lo tanto, de los resultados obtenidos se infiere la potencialidad del algoritmo propuesto para ser aplicado en diferentes escenarios de producción acuícola.

Keywords— Contador de peces, Procesamiento digital de imágenes, Moments de Hu, Reconocimiento de patrones.

I. INTRODUCTION

Diversos productores de la industria de la acuicultura en Baja California, han expresado la necesidad prioritaria en los procesos acuícolas, el poder contabilizar de manera rápida y confinable, la cantidad de una especie marina en particular, con el fin de mantener sus inventarios o lograr hacer una transacción comercial lo más apegada a la cantidad realidad. Actualmente los grandes estanques de agua contienen miles y en algunos casos millones de alevines ó juveniles de peces, los cuales actualmente los contabilizan de forma manual o artesanal, la cual es una tarea tediosa, lenta, costosa y con alta vulnerabilidad de error por cansancio o fatiga humana. El problema se complica con la cantidad de peces dentro del estanque, el tipo de pez y las condiciones bajo las que se encuentra la especie acuícola.

Una alternativa de solución es tomar una imagen digital a pequeñas cantidades o muestras de la especie acuícola de interés, y hacer un conteo manual sobre dicha imagen impresa previamente. En un proceso acuícola el problema de la producción y comercialización de una especie, resulta ser complejo, pues dependiendo del tipo de producto, es difícil conocer la cantidad que nacen en una corrida y mucho menos la cantidad exacta que se vende en una transacción comercial, al ser miles o millones de alevines o juveniles los que se puedan comercializar en un momento dado.

En la actualidad existen pocos trabajos publicados en la literatura en los que se reporta la capacidad de contabilizar especies acuícolas e identificarlas de forma simultánea y eficiente. Por lo que, la motivación del presente trabajo, es iniciar con la propuesta de un nuevo algoritmo que contabilice e identifique peces a partir de una imagen digital, a fin de dar una alternativa de solución al problema de conteo e identificación de especies acuícolas en tiempo real. de manera confinable y automatizada. El algoritmo que se propone en éste trabajo, se basa en una parte en el reconocimiento de patrones empleando los siete momentos invariantes de Hu.

A continuación, se mencionan algunos trabajos relacionados que se han encontrado en la literatura, en el año 1951 y 1952, E. Fix & J. L. Hodges [1, 2] son los primeros autores que utilizan métodos de identificación de patrones, los cuales se basan principalmente en métodos estadísticos, creando las bases de lo que posteriormente se llamaría reconocimiento de patrones.

Harley et. al. y Cover & Hart [3,4] realizaron algunos estudios sobre la aplicación de la teoría estadística para la clasificación de las imágenes mediante el reconocimiento de patrones.

Por otra parte, en Gonzalez & Woods [5] establecen que existen dos formas de abordar la representación de una región: i) Hacerlo en términos de sus características externas,

básicamente su contorno y *ii*) En términos de sus características internas, estudiando los niveles de gris que comprenden la región y sus relaciones. El algoritmo propuesto en este trabajo, basa también su operatividad en la segunda forma de descripción de un objeto, en donde los momentos de Hu cubren esta alternativa.

En 1962, Hu [6] plantea la aplicación de momentos estadísticos que estuvieran normalizados a la rotación, traslación y escala, quedando establecidos en siete momentos invariantes.

Reiss, Rothe et. al., y Huang & Leng [7, 8, 9] abordan diversas formas de análisis de la teoría de los momentos a partir de los momentos de Hu, exponiendo de manera independiente las funciones y expresiones matemáticas utilizadas en cada tipo de invarianza (escalado, transformaciones lineales y cambios de iluminación).

Zion et. al. y Fan & Liu [10, 11] proponen una máquina de visión y procesamiento de imágenes para la detección automática de las especies de peces vivos.

Zion [12] describe y discute ampliamente la evolución del estado del arte del campo de la visión por computadora aplicada en acuicultura en los últimos 25 años. Algunos de los principales usos de la visión por computadora es el conteo de especímenes, medición de tamaño, estimación de masa, detección de sexo, control de calidad, monitoreo del comportamiento, entre otros. Fabic et. al. [13], proponen un método para detectar y contabilizar peces bajo el agua. Ferrero et. al. [14] proponen dos métodos ópticos de bajo costo, el primero está basado en transmisores y receptores infrarrojos, los cuales detectan la presencia de un pez cuando el haz de luz es dividido por la silueta del pez. El segundo método usa dos cámaras, una tarjeta comercial para la adquisición de datos y un programa desarrollado en LabView™ para procesar las imágenes. En Li et. al. [15] proponen un sistema que contabiliza peces a partir de la binarización de una imagen y gradientes normalizados. Una revisión extensa de las técnicas de análisis de video para investigar y/o monitorear la biodiversidad en las regiones costeras es dada por Mallet & Pelletier [16]. Por otra parte, Huang & Wang [17] y Gonzalez & Woods [18] describen técnicas de pre-procesamiento digital de imágenes ampliamente utilizadas en la literatura para la binarización de imágenes y detección de objetos, las cuales también son empleadas en este trabajo. Recientemente los autores Hernández-Ontiveros et. al. [19] reportaron el desarrollo e implementación de un nuevo sistema embebido para la contabilización de peces ornamentales, mediante el uso de técnicas de procesamiento digital de imágenes y herramientas de software libre.

Tomando en consideración el panorama teórico-experimental sobre la contabilización e identificación de diferentes tipos de especímenes bajo diferentes condiciones, el objetivo de este trabajo es desarrollar un nuevo algoritmo para la contabilización de peces empleando los momentos invariantes de Hu, con la finalidad de aplicarlo para resolver una necesidad real en los procesos de producción acuícola. El algoritmo propuesto ofrece la ventaja con respecto a lo reportado en la literatura, de que fusiona la identificación de

diferentes especies marinas, independientemente de la posición, rotación y escala que guardan en una imagen, con el conteo propio de cada espécimen. Acorde a las necesidades actuales y como punto de partida, el algoritmo propuesto se centra particularmente en la identificación y contabilización de peces de las especies: Bagres, Besugos, Sierras, Tilapias y Totoabas. No estando limitado el algoritmo a incrementar el tipo de peces a identificar y más aún a implementarse a otros tipos de especies marinas o biológicas.

II. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A. Momentos Invariantes de Hu

En este trabajo se aborda el problema de la identificación de peces bajo el concepto de los siete momentos invariantes de Hu. Éstos momentos se encuentran a su vez, basados en los momentos centrales normalizados, reformulados por Hu para permitir la invariancia rotacional. Para ésta tarea se emplean dos métodos: ejes principales y momentos invariantes absolutos, derivando expresiones de invariantes algebraicas aplicadas a la generación de momentos bajo transformaciones rotacionales. Hu [6] define los momentos normalizados no escalados como:

$$v_{pq} = \mu_{pq} / (\mu_{00})^\gamma, \quad (1)$$

siendo

$$\gamma = 1 + ((p + q)/2). \quad (2)$$

Donde p y q son las dimensiones de la imagen, dando lugar al conjunto de siete momentos los cuales son invariantes a traslación, rotación y escala:

$$\Phi_1 = \mu_{20} + \mu_{02}, \quad (3)$$

$$\Phi_2 = (\mu_{20} - \mu_{02})^2 + 4(\mu_{11})^2, \quad (4)$$

$$\Phi_3 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})^2 + (3\mu_{21} - \mu_{03})^2, \quad (5)$$

$$\Phi_4 = (\mu_{30} + \mu_{12})^2 + (\mu_{21} + \mu_{03})^2, \quad (6)$$

$$\Phi_5 = (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] + (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2], \quad (7)$$

$$\Phi_6 = (\mu_{20} - \mu_{02})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2] + 4\mu_{11}(\mu_{30} + \mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03}), \quad (8)$$

$$\Phi_7 = (3\mu_{21} - \mu_{03})(\mu_{30} + \mu_{12})[(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - 3(\mu_{21} + \mu_{03})^2] - (\mu_{30} - 3\mu_{12})(\mu_{21} + \mu_{03})[3(\mu_{30} + \mu_{12})^2 - (\mu_{21} + \mu_{03})^2], \quad (9)$$

donde

$$\mu_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x - x_c)^p (y - y_c)^q f(x, y) dx dy, \quad (10)$$

es el momento central del objeto $f(x, y)$ y (x_c, y_c) son las coordenadas del centroide.

B. Descripción del Algoritmo

El algoritmo propuesto en éste trabajo, contabiliza e identifica simultáneamente, las especies de peces presentes en una imagen digital. La fig. 1 muestra el diagrama de flujo del algoritmo propuesto.

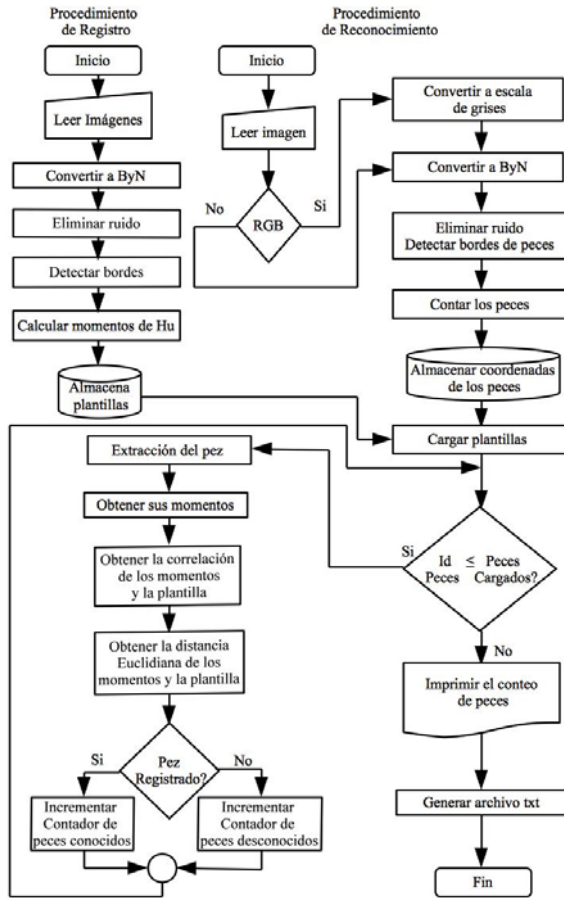


Fig. 1 Diagrama de flujo del algoritmo propuesto.

El algoritmo propuesto en éste trabajo, contabiliza e identifica simultáneamente las especies de peces presentes en una imagen digital. El algoritmo recibe una imagen principal de entrada, la cual puede ser a color (RGB) o en escala de grises, se reduce el ruido mediante el uso de morfología en una imagen binaria usando conectividad 8 y se realiza un procesamiento para encontrar cuantos peces en este caso, existen dentro de ella. Una vez que se obtienen los datos de la cantidad de peces, se extrae un pez a la vez y se calculan sus siete momentos invariantes de Hu, los cuales servirán para identificar a que especie corresponde el pez detectado. Es decir, el algoritmo realiza la identificación del pez mediante dos procesos, el primero se basa en la correlación con una imagen extraída de una plantilla que cuenta con los momentos de las imágenes a identificar, y que en éste caso corresponde a los peces que se muestran en la fig. 2.

La ecuación de la correlación utilizada es:

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \underline{A})(B_{mn} - \underline{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \underline{A})^2\right) \left(\sum_m \sum_n (B_{mn} - \underline{B})^2\right)}} \quad (11)$$

donde A y B son coeficientes a los que se les calcula la correlación, pudiendo ser ambos vectores o matrices siempre del mismo tamaño. \underline{A} y \underline{B} corresponden a los promedios aritméticos de A y B respectivamente.

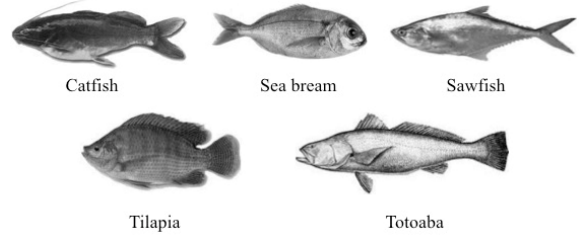


Fig. 2 Plantilla base para identificación de peces.

El otro proceso de identificación o reconocimiento de la imagen implementada en el algoritmo propuesto, es la distancia Euclidiana, formulada por la siguiente ecuación:

$$d_E(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (12)$$

donde P y Q son los puntos a medir y p_i y q_i son sus coordenadas cartesianas respectivas, esta distancia Euclidiana debe ser menor a un error mínimo de reconocimiento o umbral de reconocimiento para que el pez u objeto bajo análisis sea identificado, el valor de este umbral se establece a criterio del desarrollador.

Particularmente en el algoritmo se propone que los peces a reconocer sean: Bagre, Besugo, Sierra, Tilapia y Totoaba y que forman la plantilla base de identificación (fig. 2).

A partir de las ecuaciones (11) y (12), el algoritmo entrega dos resultados para la toma de decisión en cuanto a la identificación de un pez se refiere. Cuando de la imagen original se identifica un pez con su correspondiente en la plantilla base (fig. 2), el valor de la correlación normalizada es muy cercano a 1 (uno), mientras que el valor de la distancia Euclidiana es muy cercano a 0 (cero). El factor de ponderación que toma en cuenta el algoritmo para definir a que especie corresponde el pez a identificar, es el valor de la menor desviación que arroje el cálculo para la correlación o la distancia Euclidiana.

III. RESULTADOS

La fig. 3 muestra la imagen principal a procesar, de donde, el algoritmo propuesto identifica y contabiliza los peces presentes. En un primer experimento ó prueba, esta figura no cuenta con ruido estadístico de ningún tipo, es decir, se prueba bajo condiciones ideales, en este ejemplo se presentan 70 peces de distintos tamaños, distribuidos aleatoriamente y los cuales están agrupados en 5 especies de la siguiente manera: 16 Bagres, 17 Besugos, 17 Sierras, 5 Tilapias y 15 Totoabas.

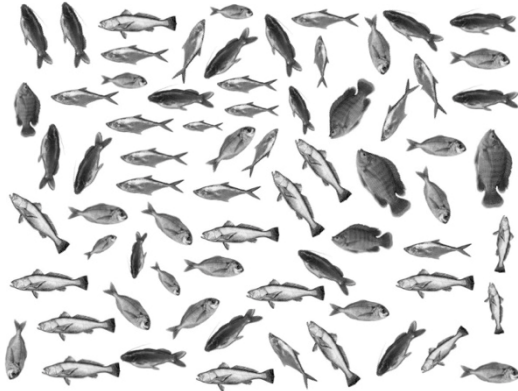


Fig. 3 Setenta peces de cinco especies diferentes, colocados aleatoriamente y de distintos tamaños.

La fig. 4(a) muestra la imagen principal (fig. 3) en blanco y negro la cual se obtiene utilizando el método de Otsu descrito por Huang & Wuang y Gonzalez & Woods [17, 18], que corresponde al paso inicial para realizar el procesamiento de la imagen. La fig. 4(b) muestra la identificación individual de cada pez acotándolo con un rectángulo verde.

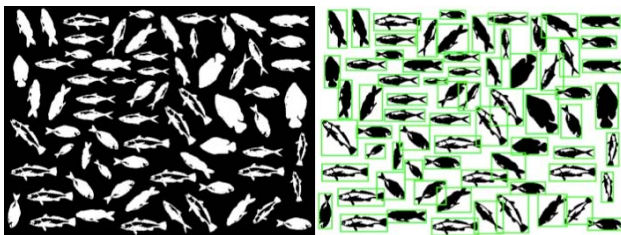


Fig. 4 (a) Imagen original binarizada, (b) Resultado de la identificación de cada pez.

Una vez que el algoritmo identifica a un pez, lo despliega en pantalla de forma individual y calcula sus siete momentos de Hu. La fig. 5, muestra un ejemplo de la extracción individual los peces de la imagen original dada en la fig. 3.

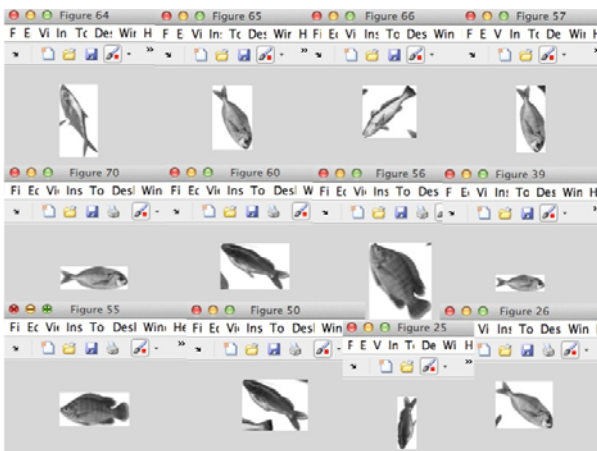


Fig. 5 Ejemplo de resultado de la extracción individual de los peces de la imagen original.

La fig. 6 muestra un ejemplo del resultado que despliega el algoritmo propuesto, en donde se muestra la cantidad de peces encontrados y el tipo de especie al que corresponde. Acorde con la distribución original de peces definida en la fig. 3, el programa identifica correctamente los 70 peces, obteniendo una exactitud del 100% en el conteo e identificación de los peces y bajo condiciones ideales.

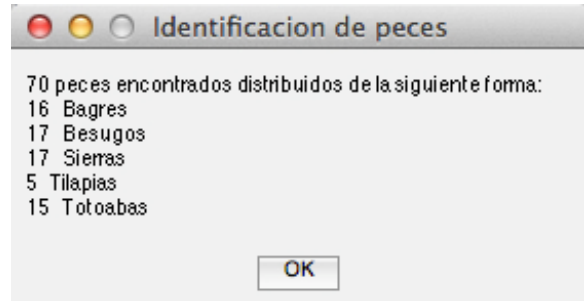


Fig. 6 Ejemplo del resultado de la identificación y conteo de peces mostrado en pantalla.

Los momentos invariantes de Hu de la plantilla de la fig. 2, se muestran en la tabla I.

TABLA I. MOMENTOS INVARIANTES DE HU DE LOS PECES A IDENTIFICAR.

NOMBRE DEL PEZ	MOMENTOS INVARIANTES DE HU						
	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	ϕ_5	ϕ_6	ϕ_7
BAGRE	6.575	13.78	27.9	27.47	55.38	34.4	55.67
BESUGO	6.717	14.22	26.18	28.63	56.25	35.88	56.89
SIERRA	6.673	14.06	25.94	27.57	54.36	35.48	55.95
TILAPIA	6.957	15.28	27.27	28.79	57.23	38.62	57.13
TOTOABA	6.582	13.78	26.34	27.58	54.84	34.67	55.02

En la fig. 7 se muestra la imagen original (fig. 3) alterada con ruido del tipo sal y pimienta para la identificación y conteo de peces bajo el algoritmo propuesto. Bajo estas condiciones de ruido, se observa que el ruido afecta en forma mínima al conteo final de peces y presenta una ligera desviación en la identificación. Bajo estas condiciones de ruido en la imagen, se obtiene una exactitud del 95%.

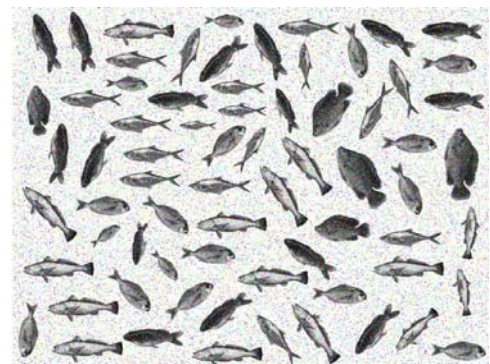


Fig. 7 Imagen original con ruido del tipo sal y pimienta.

En la fig. 8 se muestra la figura original (fig. 3) alterada con ruido Gaussiano para la identificación y conteo de peces empleando el algoritmo propuesto. Bajo estas condiciones de ruido, se observa que el ruido nuevamente no afecta al conteo final de peces y presenta una ligera desviación en la identificación. Es decir, bajo estas condiciones de ruido en la imagen, se obtiene una exactitud del 92%.



Fig. 8 Imagen original con ruido Gaussiano.

Por otra parte, usando los primeros tres momentos de Hu para cada una de las especies de la plantilla base (fig. 2) y dados en la tabla I, se construye la fig. 9 que muestra el comportamiento de los peces a identificar. Esta figura muestra además la distribución de los 70 peces mostrados en la fig. 7, alterada con ruido del tipo sal y pimienta. En ésta figura se hace evidente varios traslapes entre los momentos, particularmente entre las especies del pez Sierra y el Tilapia. Esto da lugar a las desviaciones que se presentan en el proceso de identificación.

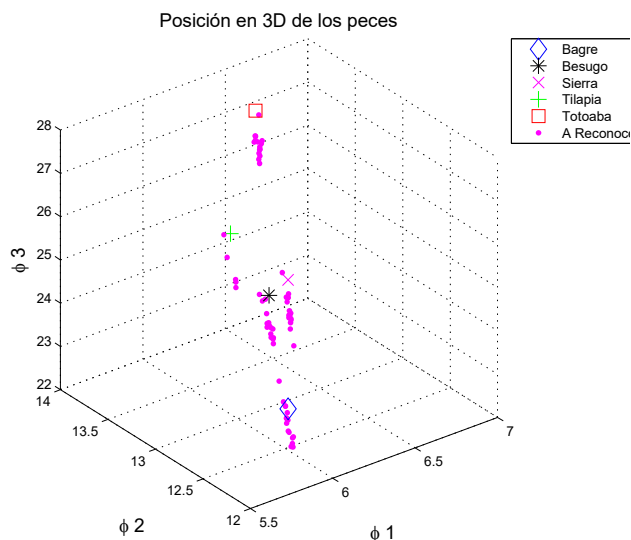


Fig. 9 Distribución en 3D de peces a identificar bajo ruido del tipo sal y pimienta.

En la Tabla II, se presentan varias pruebas de validación para el algoritmo propuesto. Para cada una de las pruebas de validación, la imagen original a procesar como la mostrada en

la fig. 3, es diferente. Se cambian: i) la cantidad total de peces presentes en la imagen con un rango de variación de 30 a 70, ii) la cantidad de peces distribuidos por especie y iii) su distribución aleatoria. Esto se muestra en la primera columna de la tabla, cada imagen es alterada con ruido del tipo sal y pimienta, y del tipo Gaussiano. En la tabla se muestra para cada caso, la cantidad total de peces contabilizados y la cantidad de peces identificados correctamente acorde a su distribución por especie. Para cada análisis se presenta el porcentaje estimado de la exactitud del proceso de identificación. Se observa que cuando la imagen original es alterada bajo ruido del tipo sal y pimienta, el algoritmo propuesto tiene una exactitud promedio en la etapa de identificación por especie, más alto (95.16%) que cuando se altera con ruido del tipo Gaussiano (92.65%). La cantidad total de peces presentes en las imágenes originales bajo análisis, no presenta ninguna desviación independientemente del tipo de ruido que es utilizado. Comparando los resultados con los reportados en la literatura por Fan & Liu [11] con una exactitud promedio de 94.41% empleando redes neuronales y 98.73% empleando LS-SVM. Mientras que en el trabajo reportado por Hernández et. al. [19] obtienen una exactitud promedio de 96.64%, tal como se observa en la tabla II, el método propuesto obtiene resultados promedios entre 92.65% y 95.16% bajo diferentes condiciones de ruido, por lo tanto, se deduce que los resultados del algoritmo propuesto son competitivos a los reportados en el estado del arte.

TABLA II. VALIDACIÓN DEL ALGORITMO CON IMÁGENES QUE TIENEN RUIDO SAL Y PIMIENTA Y GAUSSIANO .

CANTIDAD DE PECES EN LA IMAGEN ORIGINAL	APLICACIÓN DEL RUIDO SAL Y PIMIENTA. DENSIDAD DE RUIDO 0.04		APLICACIÓN DEL RUIDO GAUSSIANO. MEDIA 0 Y VARIANZA 0.04	
	TIEMPO DE PROCESAMIENTO (S)	EXACTITUD (%)	TIEMPO DE PROCESAMIENTO(S)	EXACTITUD (%)
30	0.74	93.33	0.67	100
38	0.94	94.64	0.84	84.21
46	0.99	95.65	1.01	91.3
54	1.24	96.3	1.2	92.6
62	1.36	96.77	1.47	93.55
70	1.5	94.29	1.49	94.29
	PROMEDIO =	95.16	PROMEDIO =	92.65

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo se valida la implementación del algoritmo propuesto para el conteo e identificación de peces de diferentes especies. Se logra una fusión entre las características de invariabilidad a la posición, rotación y escala proporcionados por los momentos de Hu, con el conteo propio de peces de diferentes especies. A partir de procesar una imagen principal bajo diferentes condiciones de ruido, se visualiza la potencialidad del algoritmo para aplicaciones en ambientes acuícolas. El algoritmo se puede integrar en las diferentes etapas de un proceso de cultivo piscícola, a fin de

optimizar significativamente el tiempo de conteo e identificación de algunas especies de interés, así como también en la comercialización del producto.

El algoritmo propuesto bajo las condiciones particulares de análisis y validación, trabaja con una confiabilidad del 100% para el proceso de conteo de peces bajo condiciones ideales y presenta una ligera desviación en la etapa de identificación operando en un rango promedio del 92 al 95% de exactitud, bajo diversas condiciones de ruido presente en la imagen principal. Por lo tanto, el método propuesto es competitivo con los reportados en la literatura actual.

Acorde a los resultados presentados, se deduce la factibilidad y potencialidad de implementar el algoritmo propuesto en entornos reales de aplicación de cultivos acuícolas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue apoyado por el proyecto de investigación aprobado en la 18ª Convocatoria Interna de Proyectos de Investigación de la UABC, con el número 485 y vigente para los años 2015-2017. Al CONACyT por la beca brindada a los investigadores J.M. H. O., A.F.V. y O.A.A.C. en apoyo a sus estudios de posgrado. Al PRODEP por el apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento otorgado al investigador Dr. Everardo Inzunza González para el periodo 2016-2017.

REFERENCIAS

- [1] E. Fix and J. L. Hodges, Discriminatory Analysis, Nonparametric Discrimination: Consistency Properties, Technical report, USAF School of Aviation Medicine, Randolph Field, 1951.
- [2] E. Fix and J. L. Hodges, Discriminatory Analysis: Small Sample Performance. Technical report, USAF School of Aviation Medicine, Randolph Field, 1952.
- [3] T. Harley, J. Bryan, L. Kanal, D. Taylor, J. Grayum and H. Kellett, Semi-Automatic Imagery Screening Research Study and Experimental Investigation, Technical report, Philco, 1963.
- [4] T. M. Cover and P. E. Hart, Nearest Neighbor Pattern Classification, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 13, 1967, pp. 21-27.
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, 3rd ed., New Jersey: Prentice Hall, 2008, pp. 378-422.

- [6] M. K. Hu, Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, IEEE Transactions on Information Theory, vol. 8, 1962, pp. 179-187.
- [7] T. H. Reiss, The Revised Fundamental Theorem of Moment Invariant, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 13, 1991, pp. 830-834.
- [8] I. Rothe, H. Süsse and K. Voss, The Method of Normalization to Determine Invariants, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 18, 1996, pp. 366-376.
- [9] Z. Huang and J. Leng, Analysis of Hu's Moment Invariants on Image Scaling and Rotation, IEEE International Conference on Computer Engineering and Techn., 2010, pp. 476-480.
- [10] B. Zion, A. Shklyar and I. Karplus, Sorting Fish by Computer Vision, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 23, pp. 175-187, 1999.
- [11] L. Fan and Y. Liu, Automate Fry Counting using Computer Vision and Multi-class least squares support Vector Machine, Aquaculture, vol. 380-383, pp. 91-98, 2013.
- [12] B. Zion, The Use of Computer Vision Technologies in Aquaculture – A review, Computers and Electronics in Agriculture, vol. 88, pp. 125-132, 2012.
- [13] Fabric, J., Turla, I., Capacillo, J., David, L., Naval, P. Fish Population Estimation and Species Classification from Underwater Video Sequences using Blob Counting and Shape Analysis. IEEE International Underwater Technology Symposium (UT), 1-6, 2013.
- [14] Ferrero, F., Campo, J., Valledor, M., Hernando, M. Optical Systems for the Detection and Recognition of Fish in Rivers. 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD), 1-5, 2014.
- [15] Li, X., Hao, J., Qin, H., Chen, L. 2015. Real-time Fish Localization with Binarized Normed Gradients, MTS/IEEE Washington Oceans, 1-5, 2015.
- [16] D. Mallet and D. Pelletier, Underwater Video Techniques for observing Coastal Marine Biodiversity: A review of sixty years of publications (1952-2012), Fisheries Research, vol. 154, pp. 44-62, 2014.
- [17] Huang, D. Y., Wang, C. H. Optimal multi-level thresholding using a two-stage Otsu optimization approach, Pattern recognition letters, 30, 275-284, 2009.
- [18] Gonzalez, R., Woods, R. Digital Image Processing, Pearson, USA, 2016.
- [19] Hernández-Ontiveros, J.M., Inzunza-González, E., García-Guerrero, E.E., López-Bonilla, O.R., Infante-Prieto, S.O., Cárdenas-Valdez, J.R., Tlelo-Cuautle, E., Development and implementation of a fish counter by using an embedded system, Computers and Electronics in Agriculture, 145, pp. 53-62, 2018.

Prueba piloto para la medición de cargas cognitivas en un niño con Trastorno del Espectro Autista al desarrollar actividades de aprendizaje

José Jaime Esqueda Elizondo
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
jjesqueda@uabc.edu.mx

Erik Omar González Ramírez
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
erik.gonzalez7@uabc.edu.mx

Sara Jessica Brito Calvo
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
sbrito@uabc.edu.mx

Cecilia Solano Mendivil
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
cecilia.solano@uabc.edu.mx

Valeria López López
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
valeria.lopez.lopez@uabc.edu.mx

Karla Denisse Castañeda Vera
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
castaneda.karla@uabc.edu.mx

Marco Antonio Pinto Ramos
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
mpinto@uabc.edu.mx

María Guadalupe Reyes Rivera
Jardín de Niños Elisa Barragán
Lechón
San Luis Potosí, San Luis Potosí
vitareyes11@gmail.com

Súa Madaí Rosique Ramírez
Universidad Autónoma
de Baja California
Tijuana, Baja California, México
sua.rosique@uabc.edu.mx

Abstract— This paper shows the development for a pilot test for determining the cognitive load of a 10-year-old boy with Autism Spectrum Disorder while he performs some learning activities. The electroencephalographic signal of the boy are taken during the activities and then processed in Matlab with Wiener-Khintchine Theorem and Continuous Wavelet Transform in order to detect the moments that generated more electric activity. This activity is registered via the power estimate and it is quantified and used to determine the regions that registered more electrical activity.

Keywords—Cognitive load, learning activities, Autism Spectrum Disorder, Wavelet Transform, Wiener-Khintchine Theorem

Resumen— Se presenta el desarrollo de una prueba piloto para la determinación de la carga cognitiva de un niño de 10 años con Trastorno del Espectro Autista al desarrollar actividades de aprendizaje. Mediante el desarrollo de varias pruebas con diversas actividades de aprendizaje se detectan y miden los momentos de mayor actividad electroencefalográfica en cada prueba. Se cuantifica la potencia estimada y las regiones que tuvieron mayor actividad mediante el uso de Transformada Wavelet y Teorema de Wiener-Khintchine en Matlab.

Palabras clave: Carga cognitiva, Actividades de aprendizaje, Trastorno del Espectro Autista, Transformada Wavelet, Teorema de Wiener Khintchine.

I. INTRODUCCION

Desde su gestación, en los seres humanos se desarrollan diversos procesos biológicos y cognitivos que contribuyen en el desarrollo integral durante su ciclo vital. En el proceso de comunicación inicial existen ciertas conductas innatas que le permiten expresar sus necesidades biológicas, entre ellas el llanto. Estas conductas instintivas de adaptación que van incrementando su complejidad conforme su edad cronológica requieren de un enorme esfuerzo mental por parte del infante. Posteriormente, durante la niñez podemos observar un avance significativo en la adquisición del conocimiento ya que de acuerdo Piaget esta etapa es clave para el desarrollo cognoscitivo.

Existe un vínculo estrecho entre la ciencia y la docencia, que actualmente es puesta en práctica en el ámbito académico por medio de la psicopedagogía, la cual tienen su base en los estudios del comportamiento humano en conductas de aprendizaje dentro un marco científico, no obstante, es bien sabido que puede encontrarse que ciertas áreas del conocimiento o instituciones no cuentan con especialistas del comportamiento humano o docentes que dominen las técnicas psicopedagógicas lo cual puede traer como consecuencia que ante los síntomas que presenta un niño acerca de un trastorno, discapacidad o enfermedad comúnmente sean confundido por el docente con un mal comportamiento o un diagnóstico erróneo como retraso mental que pudiera retirarle del ambiente educativo regular y ser canalizado a educación especial cuando

en realidad lo único que se debe hacer es ajustar ciertas técnicas de aprendizaje [8].

Generalmente los docentes conocen y detectan los estilos de aprendizaje que externa cada niño dentro y fuera del aula. Pero esto va más allá, un claro ejemplo está en las actividades que se realizan, ellos aun estando atentos cada uno de manera diferente reconstruyen la información en su propia concepción mental. Es ahí donde entra el valor cualitativo y cuantitativo de la carga cognitiva que cada niño realiza en la resolución de problemas.

Se define a la carga cognitiva como el esfuerzo mental relacionada con la memoria de trabajo, es decir, qué tanta actividad mental se requiere para realizar una tarea [1]. Este esfuerzo cambia de persona a persona, por lo que es interesante analizar cómo desarrolla una actividad una persona con trastorno del espectro autista para determinar su carga cognitiva correspondiente.

El trastorno del espectro autista ocasiona discapacidad cualitativa de interacción social, así como discapacidad cualitativa en la comunicación. Se caracteriza por tener patrones restringidos, repetitivos y estereotipados, de comportamiento, intereses y actividades. Visto como si fuera una epidemia, este trastorno afecta de una manera muy acelerada a una población de niños, en 2004 se decía que uno de cada 10,000 niños [2], mientras que en 2017 el Center for Disease Control and Prevention (CDC) de Estados Unidos sugiere que actualmente hay una prevalencia de 1 en 68 niños, por lo que es necesario generar investigación al respecto [3].

En cuanto a la distribución anatómica de la actividad cerebral, los investigadores hablan de predominancia de actividad eléctrica en el hemisferio derecho, como las actividades emparejadas le denotan predominancia al hemisferio derecho [4].

Dentro de los algoritmos empleados actualmente en electroencefalografía para la estimación de parámetros se encuentran: estimación espectral, periodogramas, método de máxima entropía, modelos autorregresivos (AR) y de promedio móvil (MA), modelos autorregresivos con promedio móvil (ARMA), máxima verosimilitud, transformada Wavelet y otros más que se basan en otros tipos de distribuciones energéticas en Tiempo – Frecuencia [11].

El objetivo de este protocolo de prueba es cuantizar la potencia de las señales electroencefalográficas (EEG) en cada electrodo adquirida cuando un niño con Trastorno del Espectro Autista (TEA) desarrolla actividades de aprendizaje [5].

Los niños con TEA son buenos aprendices visuales. Se suele utilizar dibujos, gráficos y representaciones visuales durante la enseñanza [6], así se debe favorecer la vía visual. Estas estrategias cuentan entre sus ventajas con la predictibilidad, ayudando a disminuir la ansiedad y las conductas desafiantes. Ayudan a los niños con TEA a organizar la información, dando una estructura más comprensible; y con todo esto, aumenta las probabilidades de lograr una mayor autonomía [6].

II. METODOLOGÍA

Se presenta la metodología empleada para la medición de la actividad eléctrica al desarrollar actividades de aprendizaje en la Fig. 1. La detección de la carga cognitiva se obtiene al aplicar transformada Wavelet y Teorema de Wiener-Khintchine para determinar la potencia eléctrica generada al desarrollar diversas actividades de aprendizaje [9]. En este caso, se agregan más actividades como: contar objetos, formar palabras, resolver un laberinto y relacionar palabras con imágenes [7].

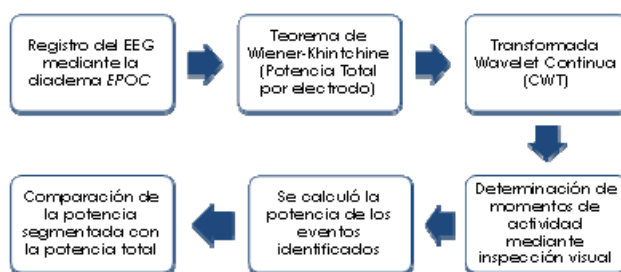


Fig. 1. Diagrama a bloques del procesamiento efectuado.

De acuerdo con la Fig. 1, primero se adquiere la señal electroencefalográfica de cada prueba mediante la plataforma EPOC Emotiv, mostrada en la Fig. 2, donde también se presenta la distribución de los electrodos [10]. En la Tabla I se presentan las características de esta. Posteriormente se aplica en Matlab el Teorema de Wiener Khintchine a las señales adquiridas para determinar la potencia total por cada canal [5]. A continuación, se procesa cada canal mediante Transformada Wavelet para determinar los momentos de mayor actividad en los escalogramas e identificar los segmentos de tiempo correspondientes para dichos momentos [13].

TABLA I. CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA EPOC EMOTIV

EEG HEADSET	
Número de canales	14 canales, 2 referencias (CMS,DLR)
Nombre de los canales	AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4
Frecuencia de muestreo	128 Hz ,128 SPS, (2048 Hz interno)
Resolución	ADC de 16 bits, 2 bits se descartan como ruido instrumental, 0.51uV
Conectividad	Bluetooth 4.0, 2.4 GHz
Ancho de banda	0.2 - 45Hz, Filtrado Digital para evitar interferencias de 50 y 60 Hz



Fig. 2. Plataforma EPOC Emotiv (izquierda) y distribución de los electrodos (derecha).

III. PRUEBAS DESARROLLADAS

Para las pruebas se trabajó con un niño con trastorno del espectro autista de 10 años y se utilizaron materiales didácticos

similares a los que usa en su escuela. Los materiales empleados sólo se le mostraron hasta que se realizara la prueba. Se trabajó en un esquema similar al que está acostumbrado, con una persona (maestra o terapeuta) que le suministra el material y le dice si lo hizo bien o no. Asimismo, la prueba se graba en video para tener registro de esta y sirva de guía para apoyar al análisis obtenido con la Transformada Wavelet Continua.

A. Prueba laberinto

Para la prueba del laberinto se trabajó con el que se muestra en la Fig. 3. Esta prueba tuvo una duración de 90 segundos y cometió varios errores que fueron corregidos durante la misma prueba.

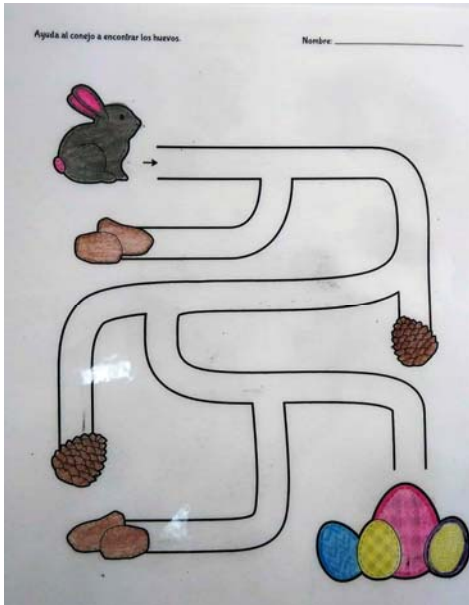


Fig. 3. Laberinto empleado

En esta prueba se obtuvieron las potencias por electrodos mostradas en la Fig. 4. Se observa que el electrodo F4 fue el que registró la máxima actividad, seguido de O2 y de P7.

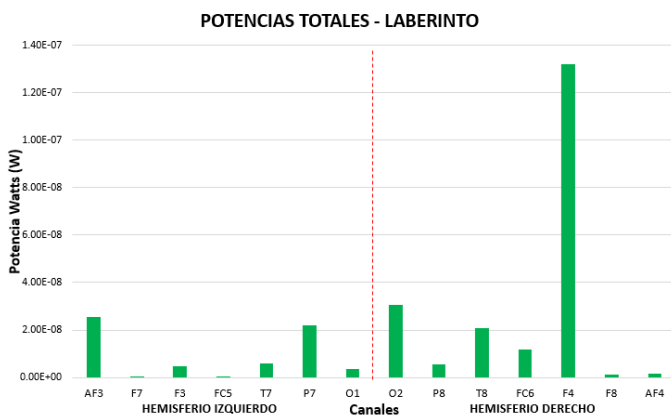


Fig. 4. Potencias por electrodo obtenidas en la prueba de laberinto.

B. Prueba contar objetos

Para esta prueba se trabajó con la hoja mostrada en la Fig. 5. En este caso el niño debe contar los objetos que hay en cada recuadro y encerrar el número correspondiente. Esta prueba tuvo una duración de 90 segundos.



Fig. 5. Ejercicio empleado para la prueba de contar.

En la Fig. 6 se muestran las potencias obtenidas en cada electrodo durante la prueba. Se observa que el electrodo que registró mayor potencia fue el T8, seguido de T7 y F4.

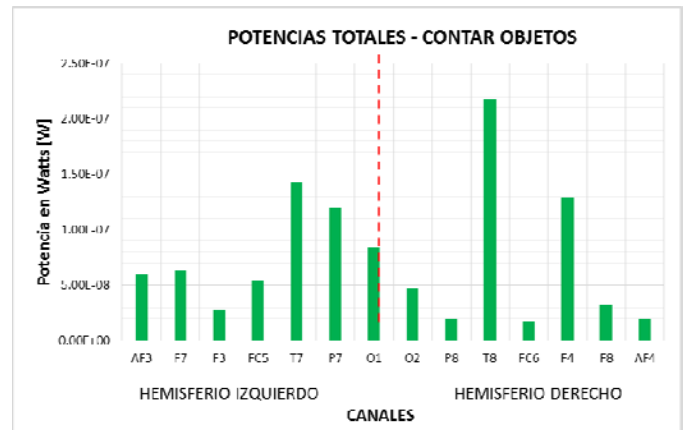


Fig. 6. Potencias por electrodo obtenidas en la prueba de contar objetos.

C. Prueba formar palabras

Esta prueba consiste en que el niño forme la palabra que se le muestra en una figura, por ejemplo, se le muestra únicamente la figura de una manzana y con letras debe formar la palabra, tal como se muestra en la Fig. 7. Esta prueba tuvo una duración de 90 segundos también.



Fig. 7. Prueba de formar palabras.



Fig. 9. Hoja de la actividad de relacionar palabra con imagen.

En la Fig. 8 se muestran las potencias por electrodo estimadas en la prueba de formar palabras. Se observa que ambos hemisferios tuvieron actividad similar, aunque tuvo mayor predominancia el hemisferio derecho. El electrodo que registró mayor actividad fue el T7, seguido de F4 y T8.

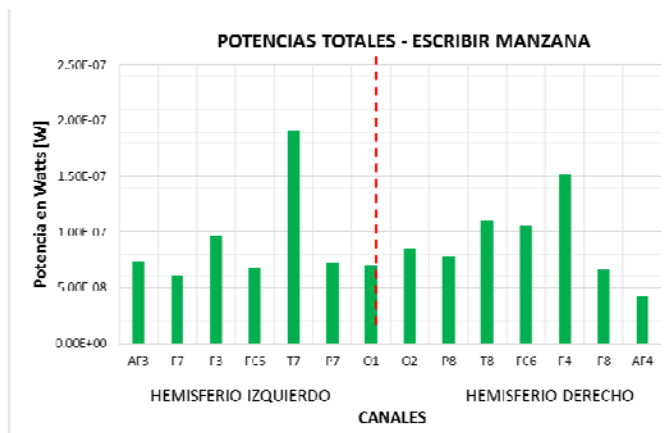


Fig. 8. Potencias por electrodo obtenidas en la prueba de formar palabras.

En la Fig. 10 se muestran las potencias registradas por electrodo en esta prueba. Se observa que el electrodo F4 fue el que presentó mayor potencia, seguido de T8 y P8.

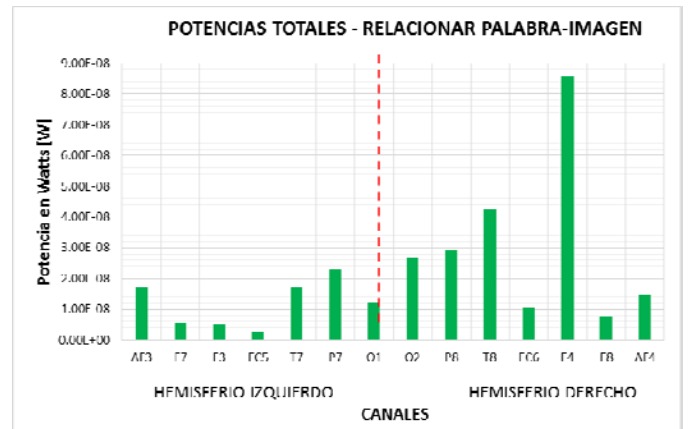


Fig. 10. Potencias por electrodo obtenidas en la prueba de relacionar palabra con imagen.

D. Prueba de relacionar palabras con imágenes

Para esta prueba se trabajó con la hoja mostrada en la Fig.9 [7]. En esta prueba el niño debe relacionar la columna de las imágenes o figuras con la palabra correspondiente mediante una línea. Esta prueba tuvo una duración de 65 segundos en los cuales el niño se equivocó en algunas y finalmente las corrigió.

IV. ANÁLISIS CON TRANSFORMADA WAVELET

En esta sección se presenta el análisis obtenido con la transformada Wavelet para cada una de las pruebas. Cabe notar que no siempre los electrodos que tuvieron mayor potencia tuvieron momentos de alta actividad [7].

Se obtiene la Transformada Wavelet por cada canal y mediante inspección visual al escalograma obtenido se determinan los momentos de tiempo en los que hubo mayor potencia y otra vez mediante la autocorrelación se determina la potencia de ese intervalo de tiempo, tal como se muestra en la Fig. 11. El programa solicita los puntos de inicio y fin en un vector para calcular la potencia del intervalo y el porcentaje que representa de la potencia total [12].

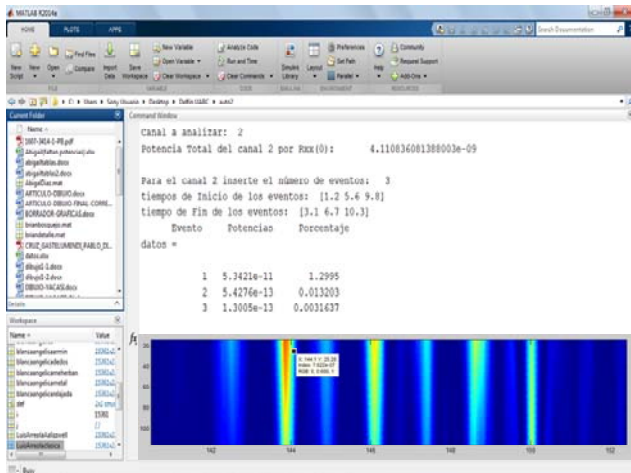


Fig. 11. Determinación de los intervalos de activación mediante el escalograma y la potencia mediante el Teorema de Wiener Khintchine

En esta sección se presentan las gráficas de dispersión de las pruebas desarrolladas, en las que se muestran los momentos de actividad importante en todos los electrodos en función del tiempo para cada prueba determinados por la Transformada Wavelet, con la cual se pueden apreciar los momentos de actividad conjunta de todos los electrodos. En el eje horizontal se presenta la línea de tiempo, mientras que en el eje vertical se presentan los electrodos para todas las gráficas con el nivel de potencia que registraron.

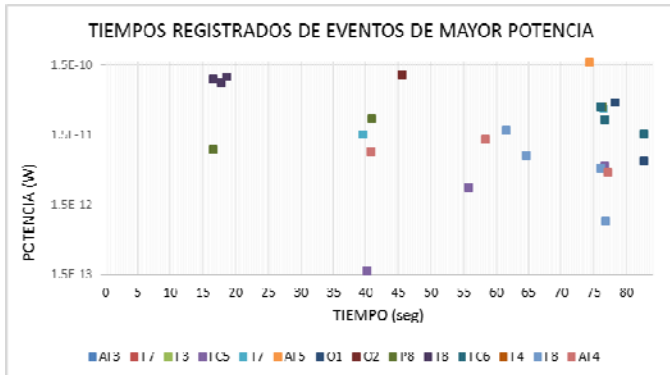


Fig. 12. Gráfica de dispersión de la prueba de laberinto.

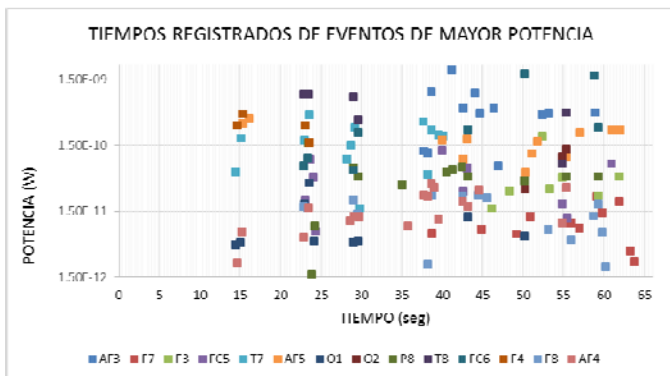


Fig. 13. Gráfica de dispersión de la prueba de contar objetos.

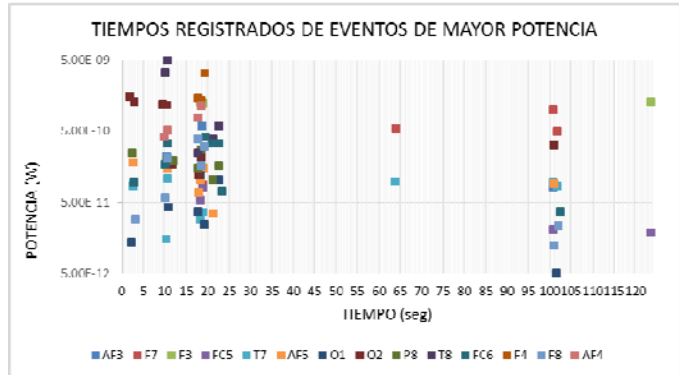


Fig. 14. Gráfica de dispersión de la prueba de formar palabra.

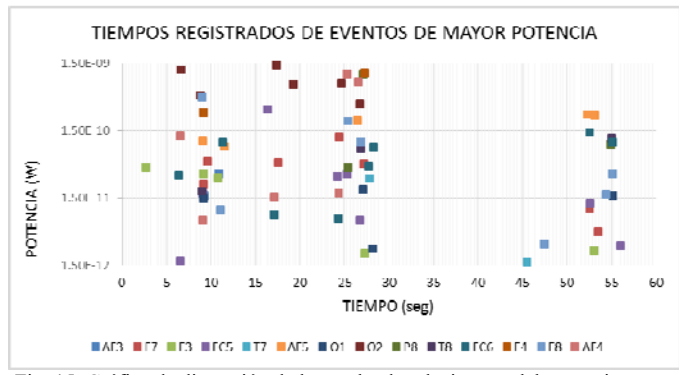


Fig. 15. Gráfica de dispersión de la prueba de relacionar palabra con imagen.

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados obtenidos con la transformada Wavelet y se presenta en la tabla 2 el comparativo de las pruebas realizadas. Se observa una reincidencia notable en los electrodos O1, AF3, F3, P7, FC5.

TABLA II. ELECTRODOS CON ACTIVIDAD IMPORTANTE EN TODAS LAS PRUEBAS.

Prueba realizada	Electrodos repetidos con actividad importante por pruebas					
Laberinto	AF3	F3	F7	FC5	F4	-
Formar palabra	F3	AF3	FC5	O2	O1	P7
Contar objetos	T7	P7	T8	F4	O1	F7
Relacionar palabra – imagen	F7	AF3	F3	FC5	O1	P7

VI. CONCLUSIONES

Se concluye que al procesar la señal electroencefalográfica con esta metodología pueden determinarse los momentos que generaron mayor potencia eléctrica y corroborar en el video de la prueba qué situación se presentó en el momento del pico de potencia para determinar si eso influyó en la actividad. Asimismo, permite saber si la estrategia didáctica empleada está funcionando si es necesario modificarla. Se observa en

estas pruebas que hay una serie de electrodos que siempre registran actividad importante, la cual no necesariamente son los de mayor potencia.

REFERENCIAS

- [1] Paas Fred, Tuovinen Juhani, Tabbers Huib, "Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory", *Educational Psychologist*, vol 38, 2003, pp. 63-71.
- [2] Blaxil M. F., "What's going on: the question of time trends in autism", *Public Health Rep*, 2004.
- [3] Centers for Disease Control, "Prevalence of the Autism Spectrum Disorders (ASD)", 2017.
- [4] Latorre Ángel, Bisseto David, Terruel Jerónima, Transtornos y dificultades del desarrollo: Evaluación, intervención y casos prácticos, Universidad de Valencia, 2011, pág. 318.
- [5] José Jaime Esqueda, Enrique E. Bermúdez, Laura Jiménez Beristain, Yesenia Rojo Ramírez, Paul Eriel Mungía, José Ma. Zaragoza Villa, "Análisis de señales electroencefalográficas en un niño con autismo realizando diferentes actividades de aprendizaje", Congreso Internacional en Ingeniería Electrónica. Mem. Electro 2015, Vol. 37, pp 181-186, Chihuahua, Chih. México.
- [6] [Online]. Available: <https://autismodiario.org/2013/01/17/uso-de-estrategias-visuales-para-promover-la-autonomia-personal-de-las-personas-con-tea-desde-terapia-ocupacional/>. [Accessed: 15- Dec- 2017].
- [7] Esqueda Elizondo José Jaime, De la Rosa Vargas José Ismael, Bermúdez Encarnación Enrique Guadalupe, Roa Rico David Octavio, González Vivas Blanca Anjélica, González Ramírez Erik Omar, Brito Calvo Sara Jessica, López Quezada Sarai, Solano Mendivil Cecilia del Carmen, Pinto Ramos Marco A., Jiménez Beristain Laura, Trujillo Toledo Diego Armando, Chávez Guzmán Carlos Alberto, "Procesamiento de señales EEG de un niño con TEA al desarrollar actividades de lectoescritura: determinación de potencia y cronología de eventos", vol. 39, pp. 235-240.
- [8] Myers SM, Johnson CP, "Management of children with autism spectrum disorders". *Pediatrics*, 2007.
- [9] Kridsakron Yaomane, Seth Pan-ngum, Pasin Irasena Na Ayuthaya, "Brain Signal Detection Methodology for Attention Training using minimal EEG channels", 2012 tenth International Conference on ICT and Knowledge Engineering, 2012.
- [10] Matthieu Duvinage, Thierry Castermans, Thierry Dutoit, M. Petieau, T. Hoellinger, C. De Saedeleer, K. Seetharaman, and G. Cheron, "AP300-Based quantitative comparison between the Emotiv EPOC headset and a medical EEG device," in *Proc. Biomedical Engineering*, track 764-071, February 15-17, 2012.
- [11] John G. Proakis. Dimitris G. Manolakis (2007). *Digital Signal Processing principles, algorithms, and applications*, PRENTICE HALL / PEARSON. S.B.N. 0-13-187374-1.
- [12] Ramesh Srinivasan, Willia R. Winter, Jian Ding, Paul L Nunez, EEG and MEG coherence: measures of functional connectivity at distinct spatial scales of neocortical dynamics, *J Neurosci Methods*, October 2007.
- [13] B. Boashash, *Time frequency Signal Analysis and Processing: A Comprehensive Reference*, Elsevier, Oxford, UK, 2003.

Manufactura de prototipo de robot de 6 GDL

Roxana García Andrade
Instituto Tecnológico de Nuevo León
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170
roxanaitnl@gmail.com

Arnoldo Fernandez Ramirez
Instituto Tecnológico de Nuevo León
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170
arnoldo028@gmail.com

Armando Martínez Reyes
Instituto Tecnológico de Nuevo León
Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170
armando2k@hotmail.com

José Francisco Macías Solís
Instituto Tecnológico de Nuevo León
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Guadalupe, Nuevo León C.P. 67170
macias.itnl@gmail.com

Resumen — En este trabajo se presenta el diseño y desarrollo de un robot de 6 GDL en base a prototipos realizados en los últimos años en el Tecnológico Nacional de México dentro del Instituto Tecnológico de Nuevo León para fines didácticos. La construcción del robot se llevó a cabo con la ayuda del software Solidworks así como la simulación con el software Matlab. Se ha desarrollado una interfaz gráfica para el robot de 6 GDL, con esta interfaz se puede mostrar el diseño de los eslabones creados para el robot. El esquema cinemático se ha obtenido con los parámetros Denavit-Hartenberg modificados, para representar el robot en la interfaz. La comunicación entre la interfaz y el robot se realiza a través del puerto de comunicación serial. Se generó una trayectoria simple mediante la manipulación de dos de las seis variables articulares, que corresponden a dos de los GDL del robot.

Palabras Clave: interfaz, trayectoria, robot didáctico, diseño, simulación.

I. INTRODUCCION

El presente trabajo desarrolla una interfaz gráfica para ejecución de trayectorias simples. Es necesario investigar qué arquitectura será necesaria para diseñar el robot, esto incluye el diseño de los eslabones y la selección de los actuadores que proporcionarán el movimiento deseado cada uno de los eslabones. Este es controlado a través de una interfaz gráfica. Se desea que el robot ejecute tareas de líneas rectas y curvas definidas en el plano en que se localiza la base del robot.

El modelo de cinemática inversa es usado generalmente para resolver el problema de dibujar caminos en un sistema de robot dibujador, pero, hay algunos problemas; para la solución de trayectorias que no son en un plano [1]. Este documento presenta un método de control de robot, basado en el comportamiento manipulando un pincel. El movimiento diferencial fue adoptado en vez de puntos transversales. La simulación verifica la viabilidad del robot a base de comportamiento. La plataforma experimental en robots de 6 grados de libertad, dibujó una orquídea, presentando algunos comportamientos complejos

La técnica original llamada Bifeng fue usada en la orquídea que el experimento dibuja, se muestra que el esquema de

control a base de comportamiento, puede ser aplicado al dibujo con robots. Una instalación robótica que produce los dibujos de la cara humana es Paul un dibujador ingenuo que no tiene un alto nivel de conocimiento de las estructuras constitutivas de la cara humana [2].

En la tecnología de manufactura los mecanismos de medición 3D y reconstrucción geométrica juegan un papel clave [3]. En los últimos diez años las técnicas 3D son cada vez más populares, sin embargo, el mercado demanda que dichas técnicas sean baratas, rápidas y fáciles de utilizar. Este trabajo presenta el diseño y la construcción de un brazo digitalizador para ser utilizado en la digitalización y reconstrucción 3D. Describe la relación entre el diseño ideal por computadora y las desviaciones naturales del proceso de construcción. Para la calibración cinemática del brazo se utilizan las funciones de transformación geométrica 3D. La calibración de forma se logra a través de un cuadro experimental de mediciones utilizando un patrón de calibración. Como resultado se muestra la digitalización de un objeto 2D en el espacio R^3 .

II. ANTECEDENTES

Anteriormente se realizaron prototipos de dedos robóticos, en el Tecnológico Nacional de México dentro del Instituto Tecnológico de Nuevo León los cuales se mencionan a continuación:

Dedo robótico, periodo: Ene-Jun 2013, utilizando un PIC mediante programación C++.

Dedo robótico, periodo: Ene-Jun 2013, se realizó utilizando la placa *Arduino uno*, mediante programación de software Arduino.

Además de proyectos de residencia sobre sistemas multi robots de prensión y de manipulación, en el periodo Ago.-dic. 2013.

En este trabajo se presenta un simulador para ser utilizado como recurso educativo digital en la enseñanza de la cinemática directa de robots manipuladores dentro de la materia robótica, en esta primera etapa de desarrollo [4]. La idea de elaborar esta herramienta se debe a ciertos inconvenientes encontrados en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la robótica. Enseñar la cinemática de estos robots, sin la posibilidad de contar con

estos, es un problema. Las tecnologías de la información y de comunicación (TIC's) constituyen un gran apoyo para desarrollar recursos educativos que permitan mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje de materias con estos contenidos o similares.

En este trabajo se presenta un simulador que se utiliza como herramienta pedagógica didáctica en la enseñanza del cálculo de la cinemática directa de robots manipuladores de 6 grados de libertad (GDL), en diferentes materias del área de robótica [5]. En las materias de robótica se implementó una estrategia basada en el desarrollo de un simulador para ayudar a los estudiantes a transferir conceptos matemáticos, informáticos, científicos y tecnológicos aplicados al modelado matemático de robots manipuladores de 6 GDL.

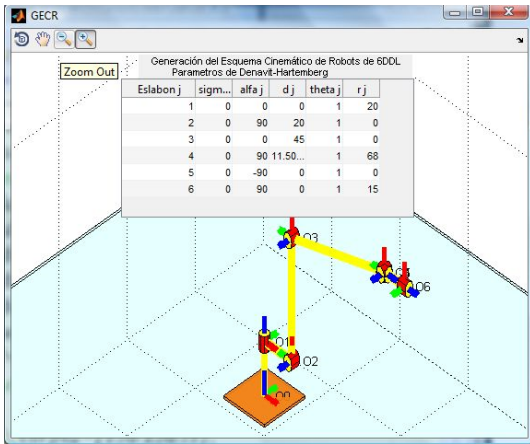


Fig. 1. Modelo simplificado robot Motoman K6SB para configuración

III. MODELADO CINEMÁTICO

El problema cinemático directo consiste en determinar cuál es la posición y orientación del extremo final del robot, con respecto a un sistema de coordenadas que se toma como referencia, conocidos los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos de los elementos del robot.

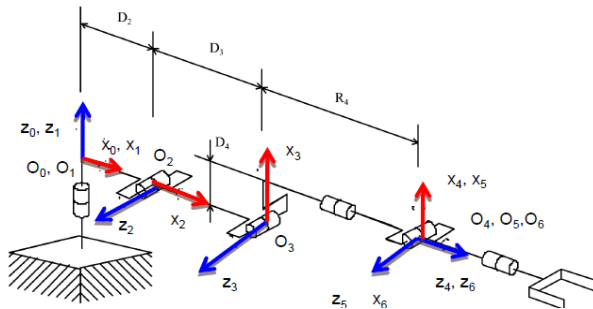


Fig. 2. Representación de los ejes x y z

La matriz de transformación del marco j-1 al marco j se puede obtener como función de los siguientes cuatro parámetros para j = 1, ..., n:

α_j : Angulo entre los ejes x_{j-1} y Z_j alrededor de x_{j-1}

d_j : Distancia entre Z_{j-1} y Z_j a lo largo de x_{j-1} .

θ_j : Angulo entre los ejes x_{j-1} y x_j alrededor de Z_j .

r_j : Distancia entre x_{j-1} y x_j a lo largo de Z_j .

Parámetros de Denavit-Hartenberg

A continuación, en la tabla 1 se muestra los parámetros de Denavit-Hartenberg para el robot.

Tabla I Parámetros de brazo robot 6 grados de libertad

Articulación	Σ	$\alpha_j(^{\circ})$	d_j	θ_j	r_j
1	0	0	0	θ_1	0
2	0	90	D_2	θ_2	0
3	0	0	D_3	θ_3	0
4	0	90	D_4	θ_4	R_4
5	0	-90	0	θ_5	0
6	0	90	0	θ_6	0

A. Modelado directo de posición.

El modelo directo, es la relación que permite determinar la matriz columna x de coordenadas operacionales del robot correspondiente a una configuración dada q.

Este modelo se expresa como:

$$x = f(q) \tag{1}$$

El modelo geométrico directo de un robot se puede obtener a partir de la matriz de transformación homogénea del robot que define al marco n del eslabón terminal con respecto al marco 0 de la base del robot. En el caso de robots de estructura simple la matriz de transformación está dada por:

$${}^0_nT = {}^0_1T {}^1_2T \dots {}^{n-1}_nT \tag{2}$$

En resumen, las 3 matrices de transformación homogénea correspondientes al robot son las siguientes.

Sustituyendo los datos para el eslabón 1 se obtiene la matriz

$${}^0_1T = \begin{pmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & D_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{3}$$

Con los del eslabón 2 se obtiene la matriz 1_2T .

$${}^1_2\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C\theta_2 & -S\theta_2 & 0 & D_2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_2 & C\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Sustituyendo los datos para el eslabón 3 se obtiene la matriz ${}^2_3\mathbf{T}$.

$${}^2_3\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C\theta_3 & -S\theta_3 & 0 & D_3 \\ S\theta_3 & C\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Y con los del eslabón 4 se obtiene la matriz ${}^3_4\mathbf{T}$.

$${}^3_4\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C\theta_4 & -S\theta_4 & 0 & D_4 \\ 0 & 0 & -1 & R_4 \\ S\theta_4 & C\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Sustituyendo los datos para el eslabón 5 se obtiene la matriz ${}^4_5\mathbf{T}$.

$${}^4_5\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C\theta_5 & -S\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -S\theta_5 & -C\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

Y con los del eslabón 6 se obtiene la matriz ${}^5_6\mathbf{T}$.

$${}^5_6\mathbf{T} = \begin{pmatrix} C\theta_6 & -S\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S\theta_6 & C\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

IV. INTERFAZ DE ROBOT 6 GDL

A. Interfaz Gráfica

La interfaz gráfica diseñada para el robot de 6 grados de libertad se basa en la interfaz usada para el robot Motoman, se muestra el esquema del robot y el diseño original de los eslabones creados para el robot en Fig. 3 importados mediante el complemento Simmechanics del software SolidWorks.

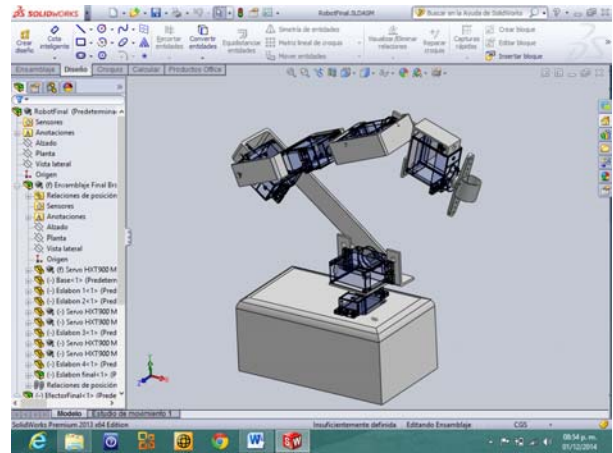


Fig. 3. Diseño del robot en SolidWorks.

Para localizar cada uno de los eslabones móviles se utilizó como referencia el esquema simplificado del robot (En el esquema simplificado se utilizan solamente líneas y cilindros). En la figura 4 se observan cada uno de los eslabones móviles del robot posicionados y orientados en una configuración $\mathbf{q} = [0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$, en este punto la interfaz gráfica es ya utilizable mediante las barras de deslizamiento.

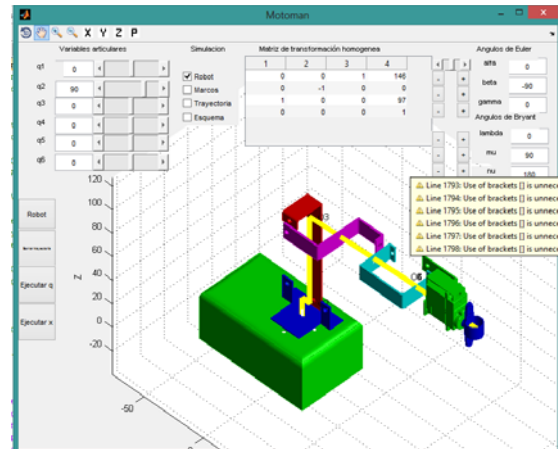


Fig. 4. Interfaz gráfica robot de 6 GDL, configuración $\mathbf{q} = [0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$.

En la siguiente figura se muestran la interfaz con el esquema simplificado y la interfaz con las geometrías generadas en SolidWorks, las diferencias en cuanto a la estética son más que evidentes

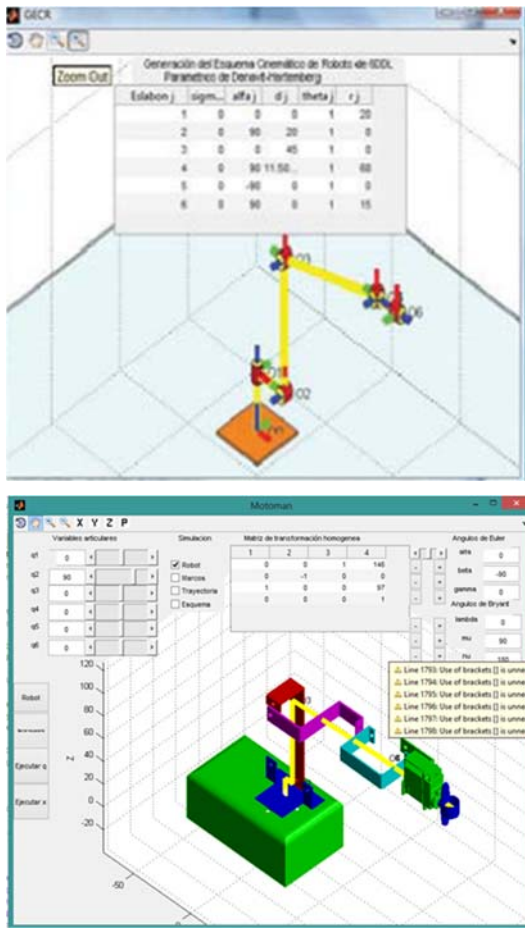


Fig. 5. Diferencia entre interfaces

El esquema se obtuvo mediante las distancias obtenidas con los parámetros de Denavit-Hartenberg, D2, D3, D4 y R4, para representar el esquema real del robot en la interfaz gráfica.

Los eslabones se encuentran alineados tanto a los orígenes como al esquema del robot.

B. Interfaz de comunicación

Para establecer la comunicación entre la interfaz y el robot se utiliza un puerto de comunicación serial, el cual se abre al darle click en el botón "Iniciar Comunicación".

Al realizar esta acción, el puerto serial al cual está conectada la placa Arduino Mega se abre, en ese momento, al dar click en las barras de deslizamiento, todos los cambios producidos en los valores de las variables articulares ($q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$), se verán reflejados tanto en la interfaz gráfica como en el robot.

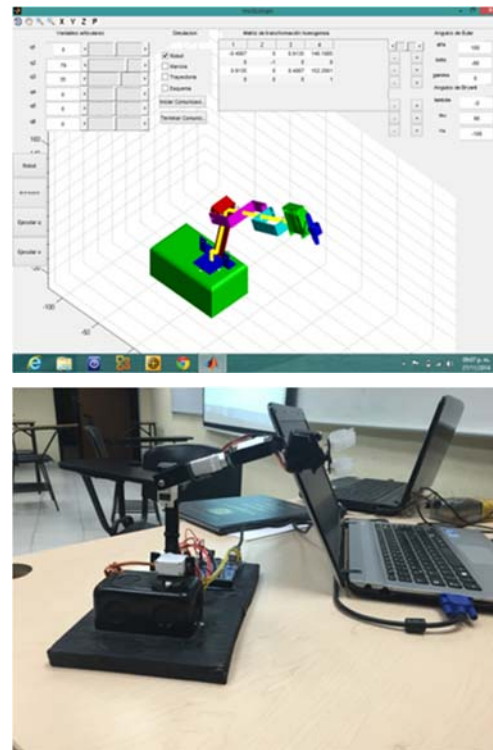


Fig. 6. Comunicación establecida entre la interfaz y el robot.

Enseguida en la TABLA I, se presenta el programa que se cargó en la placa Arduino Mega para que, mientras el puerto serial este abierto, lea toda la información que se está escribiendo en el mismo y se transmite a cada uno de los servomotores del robot.

TABLE I. PROGRAMA ARDUINO MEGA

<pre>#include<Servo.h> Servo servo[6]; int pin[6]= { 1,2,3,4,5,7, }; void setup() { //servo[0].attach(3); for(int i=0;i<6;i++) { servo[i].attach(pin[i]); } Serial.begin(9600); } int grados;</pre>	<pre>void loop() { if (Serial.available()){ for (int i=0;i<6;i++) { grados=Serial.parseInt(); } if(grados>0&&grados<180) { servo[i].write(grados); delay(15); } } }</pre>
--	--

C. Trayectorias

En las Figs. 7 y 8 se muestran la secuencia del robot prototipo mediante ciclos "for", ya que dicha declaración es usada para repetir un bloque encerrado entre llaves. Dándole tanto una inicialización en grados para el servomotor, como una condición y un incremento.



Fig. 7. Posición inicial de la secuencia

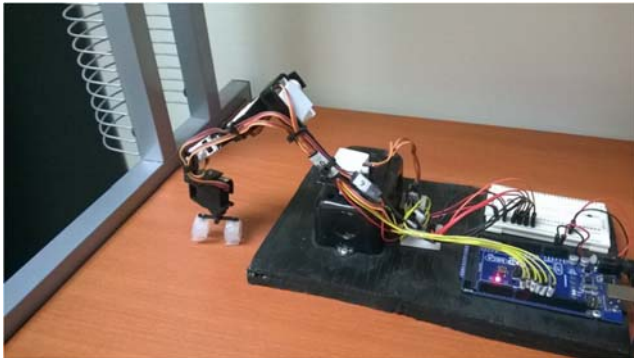


Fig. 8. Posición final

D. Trayectoria en el espacio articular

En esta sección se muestra, a manera de ejemplo, la generación de una trayectoria simple mediante la manipulación de dos de las seis variables articulares, que corresponden a dos de los grados de libertad del robot.

Este ejemplo nos permite validar lo siguiente:

- El diseño del robot propuesto.
- La construcción del robot.
- La interfaz gráfica.
- La estrategia de comunicación

La trayectoria que se generó es una trayectoria de tipo no lineal, para la cual se hicieron variar solamente los valores de q_3 y q_1 de la configuración inicial $\mathbf{q} = [0^\circ, 90^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ, 0^\circ]$.

A la variable articular q_3 , se le asignó el valor de 1° , y la variable q_1 tomo valores del rango aproximado de -65° a 65° .

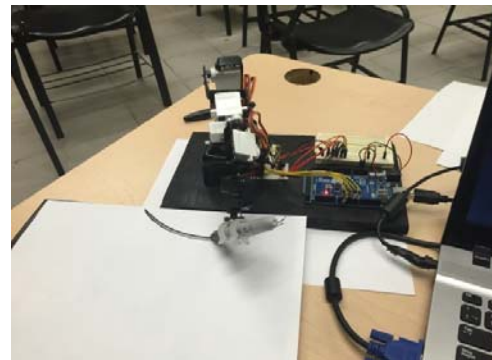


Fig. 9. Trayectoria no lineal, cuando q_3 va de -65° a 65° .

Una vez que se completo el primer trazado de la trayectoria, se hizo nuevamente variar q_3 en el rango de -65° a 65° para volver a trazarla, pero en esta ocasión en sentido contrario. En la figura 10 se muestran un par de imágenes de lo anterior.

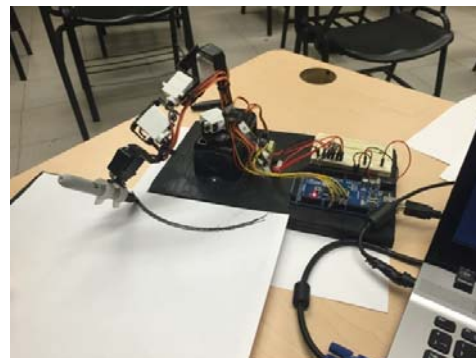


Fig. 10. Repaso de la trayectoria de ejemplo.

V. DISEÑO Y CONSTRUCCION

A. Diseño en Solidwork

Mediante el software de diseño para modelado mecánico SolidWorks 2013 se elaboró cada uno de los eslabones mediante dibujos de línea con acotaciones con la finalidad de obtener un modelo a escala con medidas reales y se ensamblaron cada uno de ellos mediante relaciones de posición junto con su servomotor (articulación) para la construcción del ensamble final

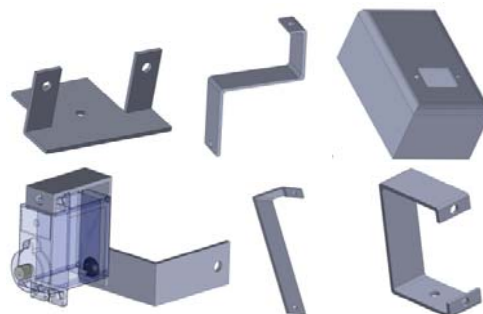


Fig. 11. Base y eslabones del robot

Al igual que en el eslabón 5 se diseñaron dos piezas para formar mediante un ensamble el efector final, mediante

relaciones de posición concéntricas y coincidentes. El efector final está unido junto a la articulación q6.

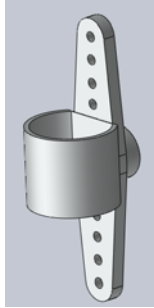


Fig. 12. Efecto final

Luego de haber insertado todos los diseños (eslabones), lo siguiente es utilizar la herramienta relaciones de posición en donde nos ofrece varias opciones de relaciones tales como coincidente, paralela, perpendicular, tangente y concéntrica.

Según cual sea el tipo de relación que se requiere, en nuestro caso se utilizó los tipos de relación coincidente y concéntrica. Coincidente para las relaciones de posición de alguna cara del eslabón en donde dicha cara pudiera sostener al servomotor y al mismo eslabón. Y concéntrica para aquellas relaciones de posición en donde se localizará una articulación la cual permitiría a al eslabón girar sobre el mismo eje de la relación concéntrica o para mantener el servomotor fijado al eslabón sin tener el problema que al momento de querer girar el eslabón este gire junto con el servomotor.

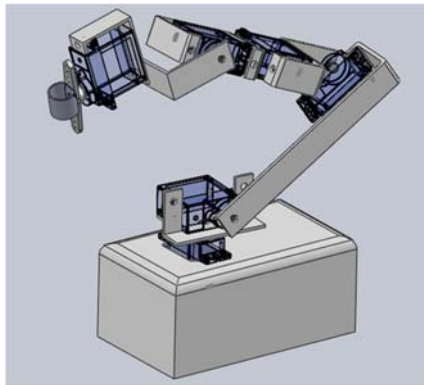


Fig. 13. Ensamble final de Robot prototipo

B. Construcción

Las piezas o eslabones del prototipo de robot fueron hechos a base de aluminio con el cual se fabrican las ventanas en el hogar, dicho aluminio fue cortado con segueta, tomando de base las medidas antes establecidas para cada eslabón, así mismo se lijo cada una de las piezas y se realizaron cada uno de los orificios con un taladro en los cuales los servomotores se fijarían con sus tornillos.

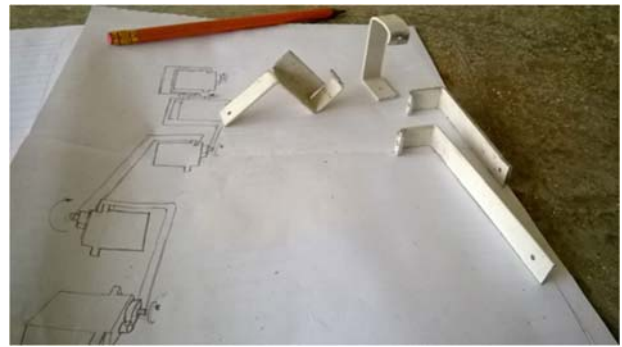


Fig. 14. Elaboración de los eslabones

VI CONCLUSIONES

El diseño de cada uno de sus eslabones fue hecho mediante SolidWorks, con la finalidad de simular el movimiento del conjunto de eslabones unidos mediante articulaciones. Para observar, en simulación, que no existiera algún impedimento producido por la geometría de los eslabones del robot

Mediante relaciones de posición, en SolidWorks, se ensamblaron en forma virtual cada uno de los eslabones unidos por las articulaciones para formar el ensamble final del robot. Lo anterior nos permitió simular el movimiento producido por cada una de sus articulaciones.

Se logró generar una trayectoria no lineal mediante las sliders q1 y q3 a través de la interfaz gráfica, lo cual el robot pudo dibujar un semicírculo sobre una hoja de papel

Cabe mencionar que, gracias a la adición de los botones de inicio y término de comunicación en la interfaz gráfica, se logró evitar problemas en la comunicación entre el robot y la interfaz, anteriormente se abría y se cerraba el puerto serial cada vez que se utilizaba, por ejemplo, al darle click a las barras de deslizamiento y no daba tiempo suficiente para que reaccionara el robot.

REFERENCIAS

- [1] Yang Junyou, Qiu Guilin, Ma Le, Bai Dianchun, Huang Xu, "Behavior-based Control of Brush Drawing Robot", 2011 International Conference on Transportation, Mechanical, and Electrical Engineering (TMEE) Changchun, China, December 16-18.
- [2] Patrick Tresset, Frederic Fol Leymarie Department of Computing, "Portrait drawing by Paul the robot", Article history: Received 4 September 2012, Received in revised form 20 January 2013, Accepted 27 January 2013, Available online 9 February 2013
- [3] Francisco Eugenio López Guerrero, Pedro Nicolás Garza Patrón, Francisco Ramírez Cruz, Javier de la Garza Salinas. "Brazo digitalizador para la captura de geometrías", Ingenierías, Vol. XVII, No. 63, Abril-Junio 2014,
- [4] Enrique Cuan Duron¹, Arnoldo Fernández Ramírez², Eliza Urquiza Barraza¹, "Desarrollo de un Recurso Educativo Digital de Apoyo a la Materia de Robótica", Instituto Tecnológico de la Laguna¹, Instituto Tecnológico de Nuevo León², 2013.
- [5] Enrique Cuan Duron¹, Arnoldo Fernández Ramírez², Eliza Urquiza Barraza¹, "Recurso Educativo Digital Para la Determinación del Modelado de Robots de 6 GDL",

Instituto Tecnológico de la Laguna¹, Instituto Tecnológico de Nuevo León², 2014

Construcción de un robot Lego SEGWAY

Jesus A. Álvarez-Cedillo
Instituto Politécnico Nacional
Upiicsa
Cdmx, México
Jaalvarez@Ipn.Mx

Teodoro Álvarez-Sánchez
Instituto Politécnico Nacional
Citedi
Tijuana México
Talvarezs@Ipn.Mx

Jacobo Sandoval-Gutierrez
Universidad Autónoma Metropolitana
CAMPOS LERMA
ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO
jacobosandoval@correo.ler.uam.mx

Resumen— Entre las alternativas modernas de transporte de pasajeros orientadas a tramos cortos se cuenta un tipo de vehículo cuyo funcionamiento está basado en el equilibrio humano. Consiste en un transporte eléctrico poco convencional, que, aunque no ha logrado introducirse en la asociación actual como vehículo, presenta unas características muy convenientes para transportarse por la ciudad debido a su tamaño y maniobrabilidad. Además, es ecológico, ya que funciona íntegramente con alimentación eléctrica, lo cual disminuiría en consideración la adulteración producida por los coches en las grandes ciudades. En este artículo se muestra el desarrollo, diseño y implementación de un robot tipo SEGWAY basado en la plataforma Lego Mindstorms. El robot utiliza el giroscopio y el acelerómetro para su control y el programa utilizado fue programado en una variante del lenguaje C Usando BrickOS.

Palabras Claves— *Péndulo invertido de dos ruedas, PID, robot LEGO, robot equilibrista, robot SEGWAY*

I. ESTADO DEL ARTE

Los péndulos invertidos constituyen un banco de pruebas completo e interesante para la ingeniería de control. Uno de los más estudiados de esta familia de artefactos es el denominado péndulo invertido sobre un vehículo.

Desde los años 70 se han realizado varios proyectos con péndulos invertidos. Un investigador líder en esta área es el Profesor Furuta, quien desde entonces ha realizado notables aportes teóricos y experimentales concernientes a este problema de control [16].

Los investigadores Grasser et al. (2002) del Laboratorio de Electrónica Industrial del Swiss Federal Institute of Technology, construyeron un prototipo de un vehículo de dos ruedas basado en un péndulo invertido llamado Joe, al cual le colocaron pesos en la varilla del péndulo para simular el peso de un ser humano en baja escala [17].

Sherman (2005), construyó el péndulo invertido sobre dos ruedas que tienen su centro de gravedad por encima de las ruedas llamado Balibot [18].

Anderson (2003), construyó un robot de balanceo sobre dos ruedas denominado nBot. El robot utiliza el controlador del robot HC11 desarrollado para el MIT 6.270 Curso de Robótica, el controlador del robot mismo que se utiliza en la LegoBot y SR04 [19].

Ooi (2003), como proyecto de final de carrera en la escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Western Australia, realizó la construcción de un péndulo invertido sobre dos ruedas [20].

También se han construido péndulos invertidos sobre dos ruedas utilizando la plataforma Lego Mindstorm, Hassenplug (2002), construyó un robot péndulo invertido sobre dos ruedas que constantemente intenta ajustar su punto de equilibrio, utilizando un acelerómetro para detectar la inclinación más no utilizaba el giroscopio, llamado Legway [21].

Hurbain's (2007), construyó el NXTwat en la Universidad de Waseda en Japón, construyó el NXRway-G. Yamamoto (2008), construyó el NXTway-GS, el cual balancea y además desplaza el robot con la utilización de un control remoto [22].

II. METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se desarrolla la metodología empleada para la construcción del robot SEGWAY con LEGO. Se trata mantener en equilibrio el robot.

La base del robot está construida con piezas del Lego Mindstorms NXT 2.0. Este robot utilizará un sensor de proximidad infrarrojo y como software para realizar el control se empleará Labview.

El NXT es un equipo de robótica que parte de la idea de construir un robot mediante la unión de piezas y de la programación de acciones, de forma sencilla, a través del ensamblado de bloques con instrucciones concretas (LEGO Grupo, 2012) [12].

NXT es el segundo robot de la línea LEGO Mindstorms. Sus principales características técnicas son:

1. Mini-computadora o Brick con una capacidad de almacenamiento en memoria RAM de 64 Kb e incluye cuatro puertos de entrada utilizados para conectar los diferentes sensores y tres puertos de salida usados para interconectar los motores. [13]
2. Seis motores que permiten movimientos precisos y ser controlados mediante el sensor de rotación, así como una sincronización en el tiempo de ejecución de una acción (rotación) con otros motores. [13]

3. Sensores que proporcionan información del mundo o contexto donde se ubica el robot, esto es, información de los objetos externos que rodean al robot NXT. Los sensores básicos en un robot NXT son: luz, sonido, tacto, color, ultrasónico y de rotación. [SEP]
4. Software que permite detectar objetos, determinar su ruta de desplazamiento e identificar su ubicación o localización. [SEP]

El set Lego Mindstorms NXT trae contiene entre sus sensores cuatro tipos diferentes que se describen a continuación:

1. Sensor de luz: mide el nivel de brillo o luminosidad, y tiene la capacidad de distinguir entre los colores negro blanco y gris. El sensor tiene en su parte frontal un led emisor de luz que permite medir tanto el reflejo de la luz como la luz ambiente. Este mismo sensor se puede configurar como sensor de color, el cual permite diferenciar entre seis colores (negro, azul, verde, amarillo, rojo y blanco). Este sensor genera un valor numérico que se corresponde con los colores mencionados. [SEP]
2. Sensor de sonido: mide el nivel de sonido que hay alrededor. Este sensor únicamente es capaz de medir la intensidad del sonido que está recibiendo, siendo incapaz de diferenciar tonos distintos. La intensidad se mide en un rango de 0 a 100 siendo 0 el más suave y 100 el más alto. Puede llegar a medir hasta 90 dB. [SEP]
3. Sensor táctil: detecta cuando está presionado el botón delantero del sensor. Determina el estado del sensor basándose en una señal lógica de verdadero o falso. Este sensor puede trabajar con tres estados que son: pulsado (presionar y liberar), liberado o presionado. [SEP]
4. Sensor de ultrasonidos: mide la distancia entre el sensor y un objeto, este sensor emite ondas sonoras de alta frecuencia y mide el tiempo que tarda en retornar cada onda. A partir del tiempo y conociendo la velocidad de propagación del sonido se determina la distancia a la que se encuentra el objeto. Este sensor tiene algunos inconvenientes, ya que los objetos a detectar pueden tener forma o texturas que dificulten al sensor realizar su medición. La superficies planas y solidas son las más fáciles de detectar. El sensor de ultrasonidos llega a detectar entre un rango de 0 a 254 cm, con un margen de error de +/- 3 cm. [SEP]

A. ACTUADORES [SEP]

El actuador que se empleara para la construcción del robot es el que proporciona Lego. Es un servo motor que incorpora un sensor de rotación que mide velocidad exacta y distancia e informa de ello al ladrillo inteligente Lego Mindstorms NXT. Esto permite el control del motor con 1 grado de precisión. Es posible poner varios motores funcionando en paralelo a la misma velocidad. Cada motor incluye un engranaje reductor y

un sensor de rotación. Esto permite controlar los movimientos del robot con exactitud gracias a él podremos sincronizar varios motores para que funcionen a la misma velocidad o a diferentes velocidades al controlar por software el nivel de potencia de cada uno de ellos. La Figura 1 muestra el engranaje de este actuador.

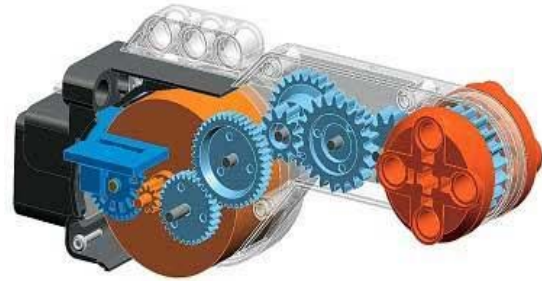


Fig. 1. Servomotor Lego. [SEP]

El kit Lego Mindstorms NXT ofrece una serie de piezas que permite la construcción de múltiples variantes que tengan un mismo fin. En el caso del robot SEGWAY se pueden encontrar varias configuraciones. Las mostradas a continuación tienen en común que están construidas en el eje vertical, aunque pueden encontrarse otras configuraciones en los que los elementos se disponen de forma más horizontal sobre el eje de las ruedas.

La configuración del robot consiste de una estructura construida sobre el eje de giro de las ruedas motoras, intentando concentrar toda la masa del robot sobre dicho plano. La configuración se muestra en la Figura 2.

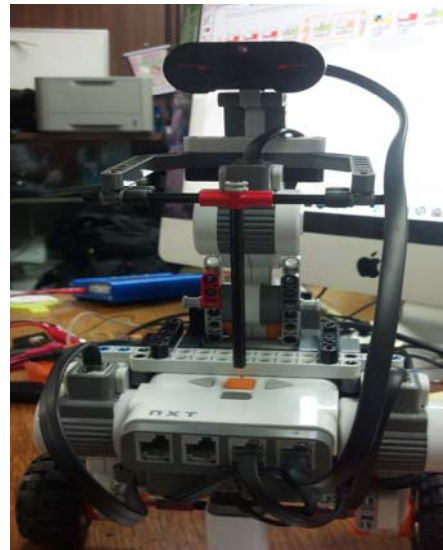


Fig. 2. Configuración del robot SEGWAY.

Se ha escogido esta configuración, por tratarse de una estructura que posibilita el control del SEGWAY con un tercer motor adicional colocado en el pasajero, que puede resultar interesante estudiar al finalizar el SEGWAY básico.

En el cual se trata de una configuración que no presenta una distribución de la masa simétrica, lo que complicaría el control ya que el momento de inercia hacia los dos lados del eje de rotación de las ruedas no sería el mismo. Para intentar igualarlo y obtener una mejor distribución y por consiguiente un mejor control del sistema se ha realizado una modificación en la construcción del robot. Esta modificación se encuentra en la parte delantera del robot, en la cual se han añadido una serie de piezas lego con el único fin de conseguir equilibrar la distribución del peso del robot a lo largo del eje mostrado en la siguiente Figura 3.



Fig. 3. Configuración final del robot SEGWAY.

Para la obtención de datos del sistema, se ha optado en este primer caso por la utilización del sensor de luz del LEGO NXT. Este sensor permite utilizarse para distintos fines como son distinguir colores, seguir líneas o calcular una distancia mediante infrarrojos. Esta última aplicación es la que se utilizará para el cálculo de la distancia del sensor hasta el suelo. Observa la Figura 4.



Fig. 4. Sensor de luz Lego.

El sensor infrarrojo utilizado se encuentra dentro del grupo de tipo difuso o auto reflex, en donde el transmisor y receptor se encuentran encapsulados en el mismo sitio alineados. De este modo cuando un objeto se interpone en el camino del haz que emite el transmisor, la luz se ve reflejada y el receptor es capaz de recibirla. Por eso es de gran importancia que el objeto o la superficie en la que se refleja la luz sean suficientemente reflexivos y estén dentro de la distancia de actuación del sensor. Vea Figura 5.

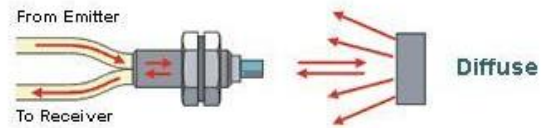


Fig. 5. Sensor infrarrojo difuso.

Cuando un objeto se interpone en el camino del haz de luz emitido, esta rebota hacia el receptor. La forma de medir la distancia a la que se encuentra el objeto es mediante la medición del tiempo que tarda el haz en realizar el recorrido desde que sale del emisor hasta que es recibido por el receptor. A partir de ese tiempo y conociendo la velocidad de propagación del haz de luz infrarroja se puede determinar la distancia a la que se encuentra el objeto.

III. ALGORITMO DE CONTROL

El control PID es uno de los numerosos algoritmos de control utilizados en la industria y la robótica. El PID significa algoritmo de control Proporcional, Integral y Derivativo. Para demostrar este algoritmo, considere lo siguiente.

Nuestro objetivo es lograr y mantener el equilibrio del robot. El primer enfoque fue eliminar la inclinación mediante la aplicación de torque externo en las ruedas. Esto, hasta ahora, ha demostrado no ser efectivo.

El robot deberá alcanza la configuración de inclinación cero en cada ciclo. En cada configuración de inclinación cero, el robot alcanza una velocidad de rotación significativa (oscilación del péndulo) aumentando la inclinación en el lado opuesto. De hecho, tal comportamiento puede ser autopropulsado y no se puede encontrar un equilibrio estable. Para estabilizar el robot la velocidad de inclinación y de rotación deberán ser cero (para evitar que oscile más allá de la configuración estable). Este requisito puede ser suficiente para iniciar el modelado, o podemos ir aún más allá y considerar que la aceleración de rotación y velocidad sean cero.

El caso en el que se controlan la inclinación y la velocidad de rotación se denomina algoritmo PI (Proporcional e Integral). El caso más avanzado cuando se controlan las tres

cantidades se conoce como PID (Proporcional, Integral y Derivativo).

Para aplicar el control PID, definamos la velocidad de rotación como error. Entonces, dado que el desplazamiento angular (o inclinación) es igual a la integral de la velocidad angular, la inclinación representará la porción I (o la parte integral) del controlador PID. Finalmente, dado que la aceleración angular es igual a la derivada de la velocidad angular, la aceleración angular representará la porción D (o la porción derivada) del controlador PID. Con la definición de error anterior, la ecuación de control para el controlador PID tendrá la siguiente forma:

$$T = k1. \phi + k2. v + k3. a \quad (1)$$

donde T es el par aplicado, ϕ es la inclinación, v es la velocidad angular del CPU, "a" es la aceleración angular del CPU y multiplicadores $k1, k2, k3$ son las constantes de proporcionalidad o coeficientes de ganancia. Estas constantes representan nuestra entrada para el algoritmo de control.

Se ha implementado un control PID en el entorno de programación de Labview. Este programa permite la interacción entre el PC y el bloque NXT con la simple instalación del paquete para Lego Mindstorms NXT.

El programa está dividido en 3 partes diferenciadas:

a) Adquisición de la posición de equilibrio: el sensor infrarrojo realiza 4 medidas de la posición de equilibrio y realiza la media aritmética para obtener la posición vertical. Además, emite un sonido cada vez que realiza una medición. De este modo se calcula el Set-Point del controlador. Observe la Figura 6.

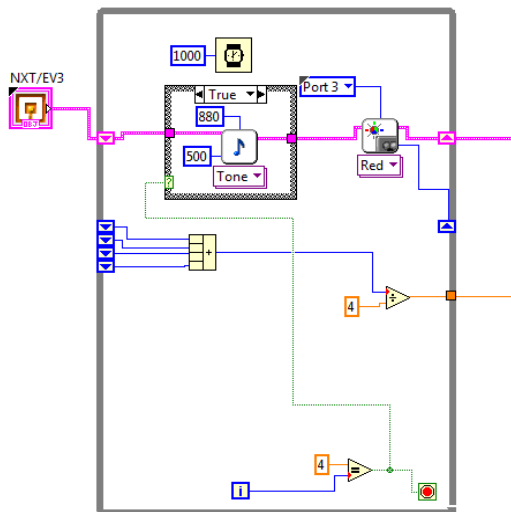


Fig. 6. Cálculo del set-point en Labview.

b) Cálculo de la acción de control mediante PID: Se calcula la acción de control mediante la comparación de la distancia inicial y la que se va midiendo continuamente mediante el citado sensor infrarrojo.

A. Parte Proporcional

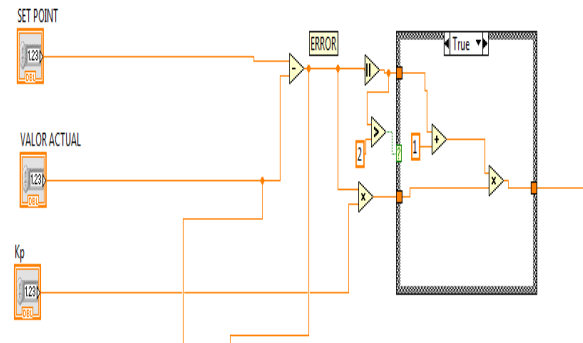


Fig. 7. Control proporcional en Labview.

En la figura 7 se puede observar la configuración clásica de un control proporcional que responde a la formula siguiente:

$$Ap = error * kp \quad (2)$$

Donde Ap es el valor proporcional. Siendo el error:

$$\varepsilon = setpoint - valor actual \quad (3)$$

Además de esto, el programa incorpora un bucle para conseguir una mayor rapidez de respuesta cuando el error se hace muy grande. Esto se consigue incrementando el valor de la acción proporcional cuando el robot se encuentra en dicha situación. El límite establecido se sitúa cuando el error es mayor a 2.

B. Parte Integral

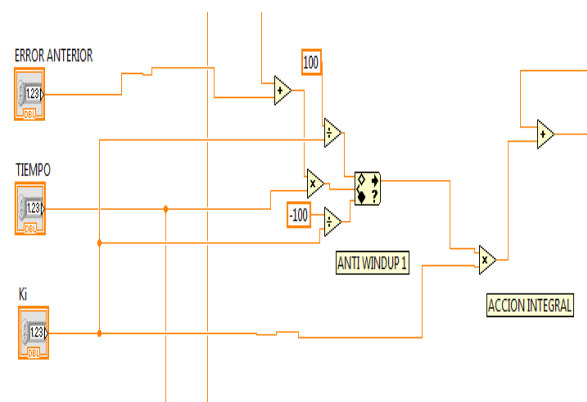


Fig. 8. Control integral en Labview.

En la Figura 8 se puede observar la parte integral del controlador PID. En el esquema se sigue la fórmula siguiente correspondiente a la acción integral.

$$Accionintegral = erroranterior + error * tiempo * Ki \quad (4)$$

En los controladores integrales se puede dar un efecto llamado windup. Esto ocurre cuando la acción de los motores se satura (el motor tiene un límite de velocidad), ya que, aunque esta se encuentre saturada, el controlador integral sigue integrando el error haciéndose este cada vez mayor. Como consecuencia de que el error se prolongue en el tiempo, puede darse la situación de que aunque este se reduzca la acción derivativa nos lleve a dar una respuesta mayor de la necesaria [17]. Vea la Figura 9.

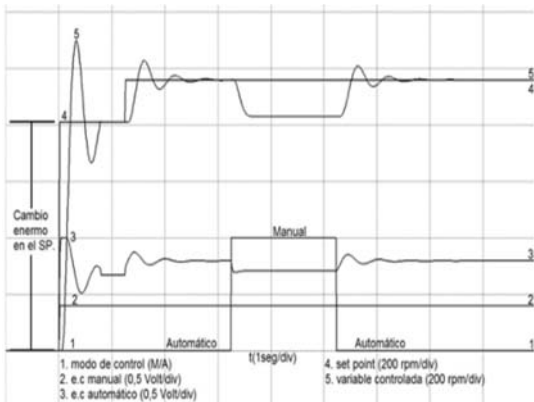


Fig. 9. Explicación grafica del efecto windup.

Para evitar este efecto se pueden seguir tres métodos:

- Limitación del término integral
- Integración condicional
- Seguimiento integral

En este caso se ha optado por colocar un limitador que sature la acción integral entre los valores 100/Ki y -100/Ki. El valor 100 corresponde al valor máximo que puede alcanzar el motor NXT, referido a la potencia que se le aplica.

C. Parte Derivativa

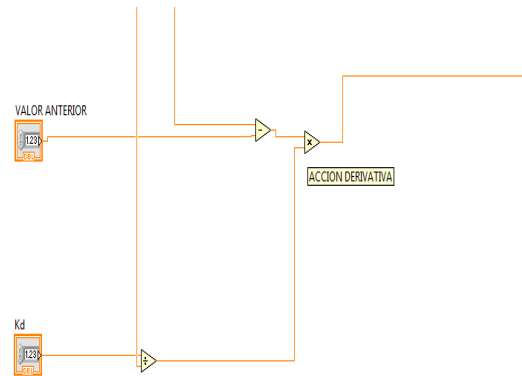


Fig. 10. Control derivativo en Labview.

De acuerdo a la Figura 10. La acción derivativa se anticipa a lo que va a suceder para conseguir estabilizar el robot. Sigue la siguiente fórmula:

$$ad = valoractual - valoranterior * \frac{Kd}{tiempo}$$

Además de actuar sobre los motores, el programa también realiza acciones complementarias para poder visualizar en tiempo real tanto el error que se está produciendo, como la acción de control y también una gráfica en la que se puede seguir la referencia y el valor actual en el que se encuentra el robot.

Por otro lado, también se han introducido dos coeficientes para poder controlar las acciones de avance y retroceso de los motores en caso de que hacia uno de los lados caiga más rápido que hacia el otro.

RESULTADOS OBTENIDOS

En cuanto a los resultados obtenidos en Robot basado en Lego Mindstorms NXT. Se puede comprobar la versatilidad que ofrece Lego a la hora de realizar robots automatizados a pequeña escala.

Se observa las deficiencias que acarrea el utilizar unos servomotores que no son de uso profesional, como puede ser la holgura mecánica que presenta el acoplamiento de las ruedas con el eje de giro del motor.

También se ha comprobado el amplio uso que se le puede dar a la herramienta Labview, que proporciona soporte para poder programar en multitud de soportes conseguir una comunicación con distintos protocolos. Las rotaciones en torno a los ejes x, y, z son llamadas peralte (roll), inclinación (pitch), orientación (yaw).

El Pitch graficado a 0 grados se muestra en la Figura 11.

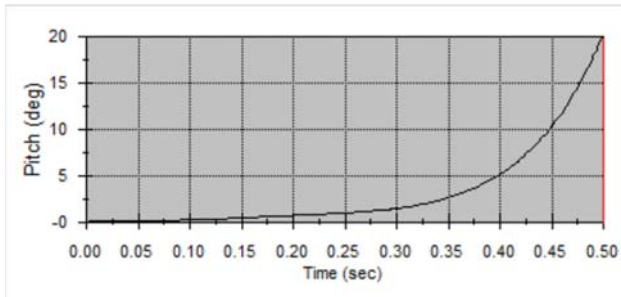


Fig. 11. Rotación en el eje y Pitch a 0 grados.

El Pitch graficado a 15 grados se muestra en la Figura 12.

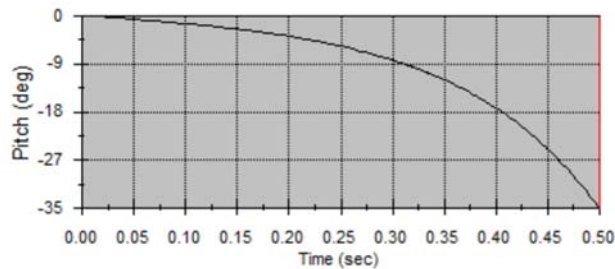


Fig. 12. Rotación en el eje y Pitch a 15 grados.

Se observó que el robot experimento una inclinación hacia adelante continua, una indicación de que el algoritmo de control aún no es efectivo. Observe la Figura 13.

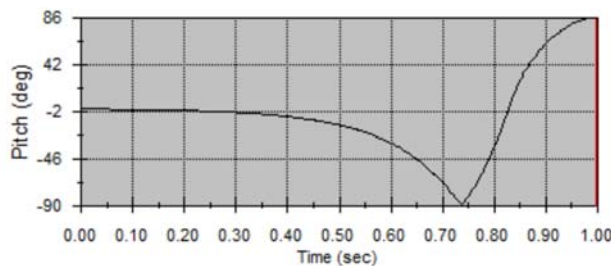


Fig. 13. Rotación en el eje y Pitch a 15 grados.

Cuando el robot se inclina hacia atrás (tono positivo) se genera una velocidad angular de -30 grados/seg. Poco después, el robot gana posición y se inclina hacia adelante. Este es un signo para cambiar la velocidad del motor a +30 grados/segundo. A partir de ese punto, el robot aumenta su inclinación hacia adelante hasta que pierde el equilibrio por completo, es decir, la velocidad del motor rotatorio no puede contrarrestar la inclinación hacia adelante del robot.

A partir de ese punto, el robot aumenta su inclinación hacia adelante hasta que pierde el equilibrio por completo, es decir, la velocidad del motor rotatorio no puede contrarrestar la inclinación hacia adelante del robot. Para solucionar esto, la

velocidad de los motores rotativos deberá funcionar a 60 RPM. Vea Figura 14.

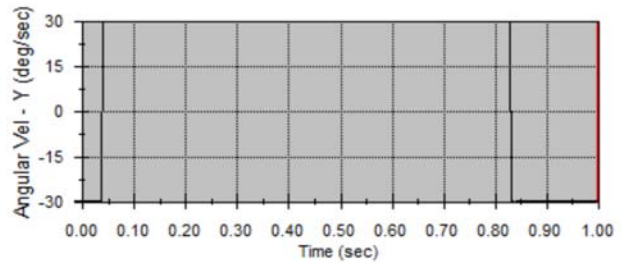


Fig. 14. Rotación en el eje y Pitch a 60 RPMS.

El sistema de control del robot no controla la velocidad directamente. Por el contrario, controla la potencia transmitida a las ruedas. Por lo tanto, mejoraremos el algoritmo al controlar el par aplicado, que está directamente relacionado con la potencia. Observe la Figura 15.

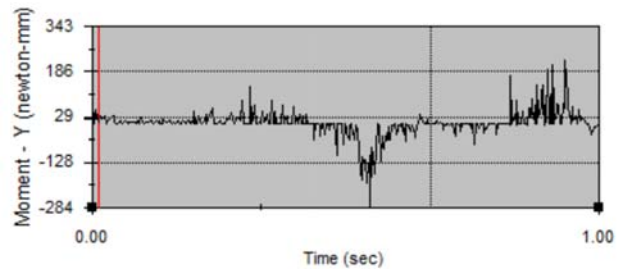


Fig. 15. Torque máximo detectado 343 Newton-mm.

Finalmente, el robot mantiene su posición horizontal observe la estabilización correcta del control PID. Figuras 16, 17,18 ,19 y 20.

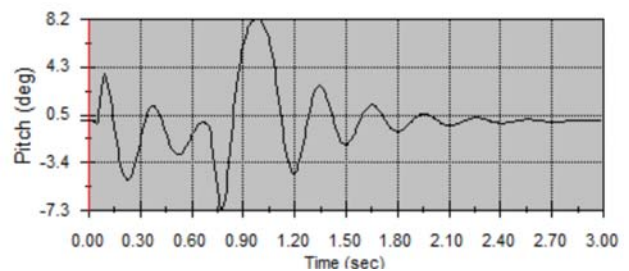


Fig. 16. Inclinación (pitch) en grados sobre tiempo.

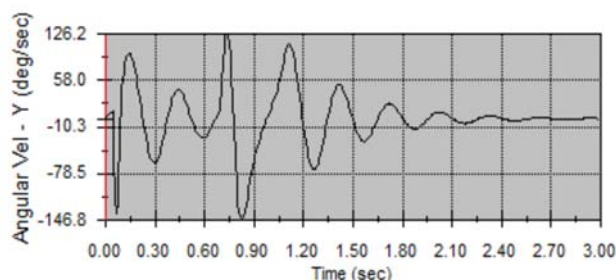


Fig. 17. Velocidad Rotacional.

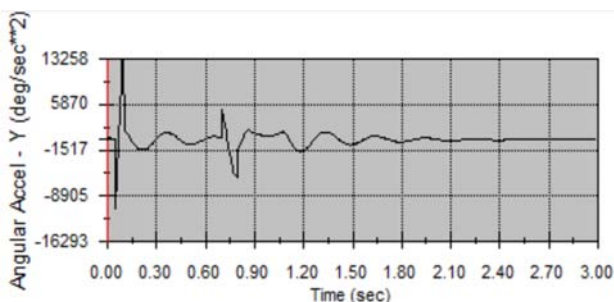


Fig. 18. Aceleración Rotacional.

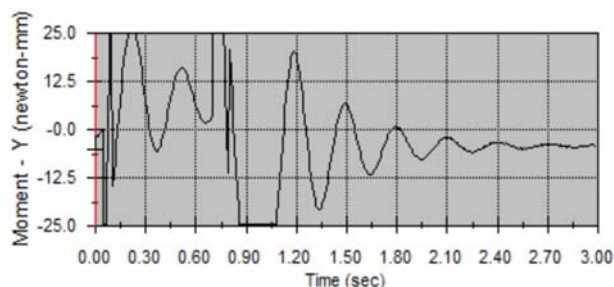


Fig. 19. Torque aplicado.

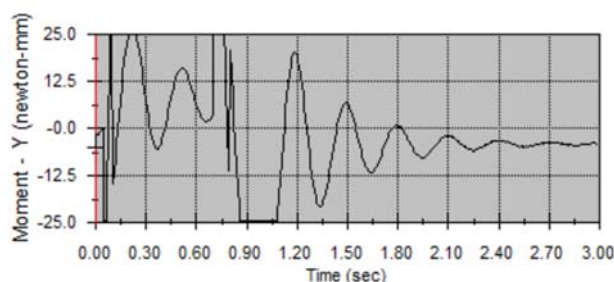


Fig. 20. Velocidad rotacional de la rueda.

CONCLUSIONES

Como conclusión general se puede decir que el robot basado en Lego ha servido como introducción a la hora de diseñar un robot SEGWAY, y ha contribuido a detectar los errores y dificultades que se pueden dar en su construcción y

programación. Después del trabajo realizado se podría trabajar en las siguientes tareas:

Control de posición del pasajero en el robot basado en Lego para dirigir el SEGWAY hacia adelante o hacia atrás.

Añadir la posibilidad de comunicarse de forma inalámbrica mediante un mando de control.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo al Instituto Politécnico Nacional a través de la Secretaría de Investigación y Posgrado a los proyectos SIP 20180023, 20180824 y a la Unidad Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas, Centro de Investigación y Desarrollo de Tecnología Digital. Asimismo, al Programa de Estímulo al Desempeño de los Investigadores y al Programa de Estímulo al Desempeño Docente (EDD).

REFERENCIAS

- [1] Ogata K, "Sistemas de Control en Tiempo Discreto," Ed. Prentice Hall Hispanoamericana S.A., pp. 625-626, 1996.
- [2] Watanabe R, "Motion Control NXTway Lego SEGWAY," Universidad de Waseda, Japon, disponible en http://web.mac.com/ryo_watanabe/ (Septiembre 2008).
- [3] Yamamoto Y, "NXTway-gs (self-balancing two-wheeled robot) Controller Design," disponible en <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19147> (Septiembre 2008).
- [4] Lego Mindstorms NXT, 2009, <http://www.mindstorms.lego.com> (Octubre 2008).
- [5] Ogata K, "Dinámica de Sistemas," Ed. Prentice Hall Hispanoamericana, pp. 551-555, 1987.
- [6] Karthikeyan R. Karthik, S. & Vignesh, S. Snitch, "Design and development of a mobile robot for surveillance and reconnaissance," In 2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems. pp. 1-4, 2015.
- [7] Krinkin K, Stotskaya E. & Stotskiy Y, "Design and implementation Raspberry Pi-based omni-wheeled mobile robot," In Artificial Intelligence and Natural Language and Information Extraction, Social Media and Web Search FRUCT Conference (AINL-ISMW FRUCT), 2015. pp. 39-45.
- [8] McLurkin J, "Using multi-robot systems for engineering education: Teaching and outreach with large numbers of an advanced, low-cost robot," IEEE Transactions on Education, 56(1), pp.24-33, 2013.
- [9] McMillan K, G. & Considine M D, PROCESS/INDUSTRIAL INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK 5th ed., McGraw-Hill, 1999.
- [10] NXP Semiconductors, UM10204 I2C-bus specification and user manual, pp.64, April 2014.
- [11] Obster, M, Kalkov, I. & Kowalewski, S, "Development and execution of PLC programs on real-time capable

- mobile devices,” 19th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA, 2014.
- [12] Ogata K, “Modern Control Engineering, Raspberry Pi Foundation, Raspberry Pi FAQs - Frequently Asked Questions” Available at:<https://www.raspberrypi.org/help/faqs/>[Accessed March 8, 2016].
- [13] Sandeep V, “Globally accessible machine automation using Raspberry pi based on Internet of Things,” International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2015, pp.1144–1147, 2015.
- [14] Severance C, “Eben Upton: Raspberry Pi” Computer, 46 (10), pp.14–16, 2013.
- [15] Tso, F.P. et al, “The Glasgow raspberry Pi cloud: A scale model for cloud computing infrastructures,” Proceedings International Conference on Distributed Computing Systems, pp.108–112, 2013.
- [16] Furuta K, Hara S, & Mori, S, “A class of systems with the same observer,” IEEE Transactions on Automatic Control, 21(4), pp 572-576, 1976.
- [17] Grasser, F., D’arrigo, A., Colombi, S., & Rufer, A. C.JOE, “A mobile, inverted pendulum,” IEEE Transactions on industrial electronics, 49(1), 107-114, 2002.
- [18] Sherman, B., & Sherman, M. BaliBot, “An inverted pendulum robot,” Available at: <http://home.earthlink.net/%7Ebobotronics/index/balibot.html> (accessed 26 April 2005).
- [19] Anderson, D. P, “nBot balancing robot,” Internet, 2007.
- [20] Ooi, R. C, “Balancing a two-wheeled autonomous robot,” University of Western Australia, 3, 2003.
- [21] Hassenplug, S. Steve’s, “LegWay.Team Hassenplug,” 2002.
- [22] Watanabe, R, “Motion control of nxtway (lego segway),” Universidad de Waseda, Japón, disponible en [http://web.mac.com/ryowatanabe/\(Septiembre2008\)](http://web.mac.com/ryowatanabe/(Septiembre2008)), 2007.

Learning Digital Communications through Software Defined Radio

Victor M. Hinostrza Zubía
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, México
vhinostr@uacj.mx

Héctor Garcés Guzmán
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Ciudad Juárez, México
hgarces@uacj.mx

Abstract— for the past several years, society has demanded new products or services such as: transporting people or objects from point A to B quickly, directly, and precisely, autonomous vehicles, and same day product delivery. In actual networks the premise is that the devices connected need to be authenticated using secure digital communications. Moreover, since the early 1990s Software Defined Radio SDR has changed the landscape of radio engineering and has become an invaluable research, development, and educational tool. Particularly SDR has changed the way the telecommunication industry produces new solutions to technical challenges. As a consequence, the use of SDR for teaching digital communications in electrical and computer engineering is an opportunity to create application-oriented hands-on active-learning opportunities to students. This paper reports the development of laboratory activities using LabVIEW software and USRP 2920 hardware.

Keywords—*Software Defined Radio, Digital Communications*

I. INTRODUCTION

Nowadays, society is growing increasingly interconnected with billions of devices such as: cars, smart meters, gadgets, etc. This connectivity brings many benefits, but it also increases vulnerability. How can we be absolutely sure that a fuel sensor in a car reports the data to a trusted device? Communication services have had an exponential growth, the driving force behind this is the steady increase in demand for text messages, social networks, video streaming and content sharing. Besides the intensification of use of software into network operations is expected to revolutionize the way network and computing infrastructures are designed and operated to delivered services and applications in an agile and cost effective way. Technology is always in continuous evolution, promoting an accelerated advancement in all branches of science, especially in telecommunications, areas such as mobile networks, fiber optics, satellite links and data networks. Students in this discipline need to know the new communication techniques and to be updated in all these areas. The development of this work is focused on the education and comprehension of the concepts seen mainly in the subjects of Communication and Signal Processing of the UACJ.

This article discusses the development of a new platform for teaching the analysis of waveforms and data using Software Defined Radio by eight laboratory practices. The software used was the LabVIEW development platform and the hardware were the modules USRP 2920 from NI. With the intention to study the basic concepts of digital communications such as modulation, synchronization, channel estimation, frame detection, OFDM synchronization in OFDM and channel coding. Nowadays, students are responsible for assembling modules designed for implement certain communication techniques, and using several general purpose laboratory equipment to evaluate the performance of those circuits. Failures related to assembly mistakes, use of defective components and inappropriate use of equipment, makes the learning experience more difficult.

This new laboratory activities will allow the students to focus their efforts on more relevant aspects of digital communications, reducing assembling errors and using time efficiently to understand the theoretical concepts involved in the experiment. With the use of this new platform students no longer waste their time creating a lot of wire connections that make the lab experiment more susceptible to human failure [1-3].

Each of the eight laboratory practices were programmed and tested with satisfactory results. Apart from developing the practices, a manual was developed, which will help the students to understand and verify the concepts seen in the subjects related to Digital Communications. All this without having to program, or having to modify the LabVIEW programs [4]. This will facilitate the use of the USRP modules. In the same way and considering the time required to carry out each of the practices, it is guaranteed that the student will only be in charge of modifying the parameters described in the manual. As a result professor have more class time to reinforce the concepts of Digital Communications and analyze practical applications.

II. SOFTWARE DEFINED RADIO

The term Software Defined Radio was coined in 1995 by Stephen Blust, for a radio communication system where components that have been typically implemented in hardware, for example filters are instead implemented by means of software in a digital system [5-6]. The Wireless Innovation Forum, working in collaboration with the Institute of Electrical

and Electronics Engineers IEEE define SDR as “Radio in which some or all the physical functions are software defined” [7]. Software Defined Radio SDR has increasingly become an invaluable research, development, and educational tool within the telecommunications sector, changing paradigms in actual radio hardware. Due to advances in digital signal processors, radio frequency hardware and software, SDR has matured into a reliable tool that now is part of almost every communication engineer’s toolbox. As shown in Figure 1 the typical SDR architecture consist of antenna, RF front end, analog to digital converter ADC, digital to analog converter DAC and data processing. An ideal SDR is often considered to be an ADC/DAC connected directly to an antenna.

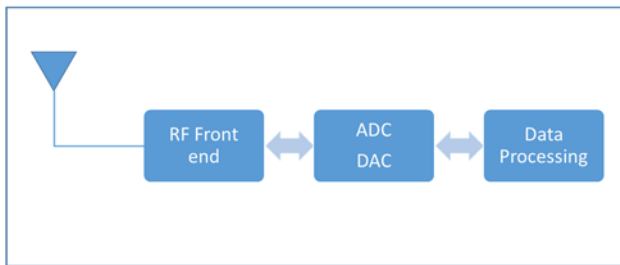


Figure 1. Typical SDR architecture.

ADC/DAC convert the continuous time signals to discrete time binary sequences, their performance can be summarized by a few parameters: signal to noise ratio SNR, number of bits per sample, spurious free dynamic range, and power dissipation. Data processing is used primarily for number crunching operations in signal processing algorithms. Specifically pre modulation and post detection functions, detection, equalization, demodulation, frequency synthesis and channel filtering. Furthermore data processing is implemented through modifiable software or firmware devices such as Field Programmable Gate Array FPGA, Digital Signal Processors DSP, General Purpose Processors GPP, and programmable System on Chip SoC. Fast Fourier Transform FFT is one of the most common operations performed by data processing subsystem, particularly spectrum monitoring where FFT extracts frequency domain information from a series of time domain samples to resolve the signal into a set of frequency bins. Application specific processors and Field Programmable Gate Array FPGA devices are used for FFT, which may be too complex for efficient implementation in a DSP.

The use of SDR has become a great tool for laboratory work given students an approach to real world in digital communications, and prepare them for industry challenges that they will face after finishing their studies. Recently some SDR platforms have been develop among them are: Universal Software Radio Peripheral USRP, the combined ZedBoard with Xilinx Zynq-7000 FPGA and AD-FMCOMMS5-EBZ SDR platform, the NooElec NESDR Mini SDR USB Stick and USRP E300 [8].

III. UNIVERSAL SOFTWARE RADIO PERIPHERAL

The advantage of using SDR in laboratory asignments is that the modifications required are made using comands and computer instructions rather than circuits modifications, which allows the tasks to be performed quickly and in a more controlled way. USRP (Universal Software Radio Peripheral) is a platform for the development of radio defined by software that allows the development of digital radios, providing all the infrastructure of digital RF processing. In addition to all the advantages that an SDR can bring, such as flexibility, ease of maintenance and adaptation, the development of a radio using USRP and GNU Radio.

USRP (Universal Software Radio Peripheral) is a platform for the development of radio defined by software that allows the development of digital radios, providing all the infrastructure of digital RF processing. In addition to all the advantages that an SDR can bring, such as flexibility, ease of maintenance and adaptation, the development of a radio using USRP and GNU Radio. The complexity of an SDR architecture becomes transparent for the developer, leaving it to focus more on the algorithms and less on the hardware integration aspects, besides making the radios design as easy as connecting the blocks.

With the use of tools that the platform provides, the details of physical implementation lose importance in the creation of new RF solutions, prioritizing high-level development, more focused on the algorithm than on its architecture. Among the various solutions already developed on the USRP, such as MIMO (Multiple-input Multiple-output) and OpenBTS (Open Base Transceiver Station), a UNIX application that provides a GSM communication interface, aims to create a new network for mobile phones.

The system provides, for example, a good solution in the implementation of mobile networks in rural areas, where conventional networks have no reach. There are also applications in several communication areas, such as the application of a Bluetooth network, the application of a PLC (Power Line Communications) between a motor and a frequency converter or the various applications in the area of cognitive radio and SDR.

Transmitter	
Frequency range	50 MHz to 2,2 GHz
Frequency step	< 1 KHz
Maximum output power	
50 MHz to 1,2 GHz	17 dBm to 20 dBm
1,2 to 2,2 GHz	15 dBm to 18 dBm
Gain range	0 to 31 dB
Gain step	1 dB
Frequency accuracy	25 ppm
Instantaneous bandwidth	
16 bits sample	20 MHz
8 bits sample	40 MHz
Sampling frequency maximum I/Q	

16 bits sample	25 Ms/s
8 bits sample	50 Ms/s
DAC	2 channels of 400 Ms/s 16 bits
DAC SFDR	80 dB

Figure 2. USRP main characteristics

The Universal Software Radio Peripheral USRP is a peripheral that is designed specifically for the implementation of radio software systems. In order to carry out the development of a communications system based on software platforms.

The main characteristics, shown in figure 2, of the USRP are a primary RF transmission and reception port that is used for the transmission and reception of radio frequency signals. It has an SMA (female) connector, which is a threaded connector for coaxial cable with 50 Ohms impedance and is an output or input port for an individual channel, which allows working with frequencies up to 30 GHz. However, for NI-USRP 2920, can only be used up to 2.2 GHz. Other secondary RF reception port is a terminal only for the input of radio frequency signals, which in turn is also composed of an SMA (female) connector with a characteristic impedance of 50 ohm for the input of an individual channel. The input port for external reference signal is an input terminal for an external signal used by the oscillator that is generated internally in the NI-USRP 2920. This signal is used as an external reference. This terminal is composed of a SMA (female) 50 Ohms impedance connector and accepts an input of a single reference signal. Accepts signals within the 10 MHz range from zero dBm to 15 dBm.

It has an input port for time reference signal is an input terminal for pulse timing per second (PPS) signals. This terminal is composed of a SMA (female) 50-ohm impedance connector and accepts an input of an individual signal. In this port, it accepts voltages from zero V to 3.3 V TTL and signals from zero V to five V TTL. It has a MIMO Expansion Port, is a port assigned to make the connection of two or more NI-USRP devices, which acts as a switch using a compatible MIMO cable for this type of connectivity. One Gigabit Ethernet port, this port is responsible for the connection between a computer and the NI-USRP, is a port that accepts RJ-45 connectors and twisted pair cables compatible with gigabit Ethernet from category 5 to 6. The transmission rate is 10, 100, or 100 Mbps.

IV PROPOSED LABORATORY ASIGMENTS

In this section, the eight developed laboratory assignments in the USRP are described; all of them are dedicated to the area of digital communications. These assignments were elaborated in part by NI in the Digital Wireless Communication manual provided with the USRP. The purpose of these assignments was to serve as didactic support and practical reinforcement to the students, on the concepts seen in the subjects of the communications area.

Assignment 1 is an introduction to NI RF hardware, aims to evaluate the performance of BPSK and QPSK modulation methods. To do this the Bit Error Rate BER is measured when transmitting on a channel with Gaussian white noise additive

AWGN at different values of the SNR signal-to-noise ratio. Assignment 2 performs a QAM baseband modem. The objective of this laboratory is to introduce the basic concepts of modulation and detection such as: constellation mapping, oversampling, pulse formation, adapted filtering, maximum probability detection, and error probability calculation. Assignment 3 is about Synchronization: retrieving symbol time in narrowband channels, we consider the symbol recovery time, also known as symbol synchronization. Time recovery is one of many synchronization tasks. Assignment 4 is about channel estimation and equalization in a communication system using a narrowband channel model [9-10]. Figure 3 shows a typical outputs layout where several parameters are programmed and evaluated after a signal is received. By example, signal level, constellations, frequencies and more.

Assignment 5 works on Frame Detection and Frequency Offset Correction, a particular method for frequency shift correction called the Moose algorithm, which is a method for frame detection based on the correlation. Assignment 6, the frame and support of the synchronization is realized by the formation of a single modulated carrier. In this laboratory, synchronization will be performed using a modulated OFDM training sequence, using the short training sequence, as defined by the IEEE 802.11a standard, to perform synchronization. Assignment 7 and 8 are about channel coding in OFDM systems using a complex technique of broadband modulation used to transmit digital information through a communications channel, combining powerful coding methods plus interleaving for error correction at the receiver. COFDM modulates the information in multiple orthogonal carrier frequencies where each is modulated in amplitude and phase and carries a very low symbol rate in addition to having a high spectral efficiency. A modulation specifically designed to combat multipath effects and other types of interferences affecting receivers is obtained [11-12].

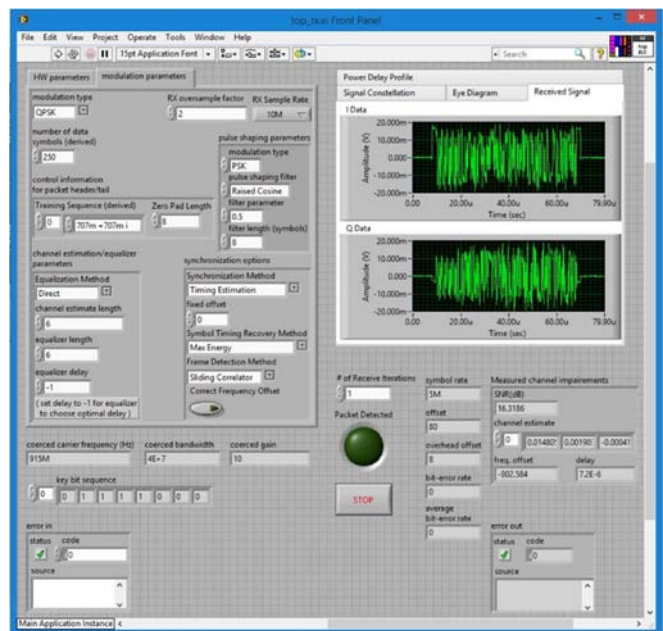


Figure 3. Result for Assignments 4

Following some examples of the assignments are described, showing the inputs that have to be programmed and the expected outputs. In assignment 3 Channel estimation and Equalization is considered by using a communication system with a narrowband channel model. This laboratory introduces the transmission-reception in a selective frequency channel, where multiple trajectories in the propagation environment create distortions in the transmitted correction and require more complicated processing of the receiver. The main concepts explored in this section are: the linear least squares estimation and the linear equalization. The objective is to understand the need for channel equalization. The estimation and equalization steps benefit from making some additional assumptions about the propagation channel. It is reasonable to assume that the propagation channel is causal and FIR (finite impulse response). It is causal because, the propagation channel cannot predict the future. It is FIR because there are no perfectly reflective environments and the energy of the signal decays according to the distance between the transmitter and the receiver.

outputs. Initially, we have to program parameters related to the expected received signal, such as; frequency, modulation and OFDM frame characteristics.

After successfully transmitting the packet, the frequency response of the narrowband channel is observed, using the channel response graph located on the front panel of the OFDM receiver. The instantaneous power delay profile is also examined using the appropriate graphic on the front panel of the same VI. On the other hand, the response profile in frequency and power delay of the broadband channel in the OFDM receiver is observed. Finally, it is perceived how the performance of an OFDM system degrades in the presence of a frequency shift.

It is observed how a frequency offset affects the constellation of the received signal. The impact of a frequency offset on BER performance is also noted by increasing the amount of frequency shift in your 200 Hz system and observing how the signal constellation and BER performance varies. To understand how a frequency offset affects OFDM systems, it is convenient to think of a frequency offset as a change in the frequency domain. This displacement can cause what is known as carrier interference.

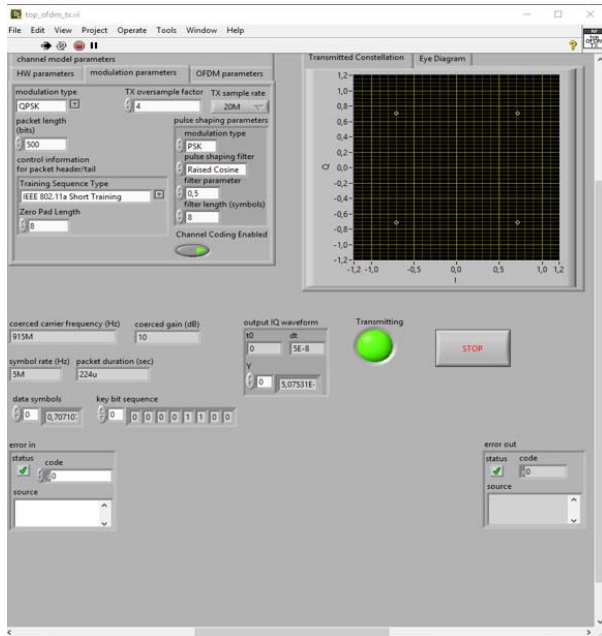


Figure 4. OFDM constellation in assignment 6

In assignment 6 called OFDM modulation and frequency domain equalization, the characteristics of OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing, a multi-carrier modulation technique, was into practice. OFDM is a transmission technique with a special structure that allows a low complexity of linear equalization in the receiver. Although the design of an OFDM system has several important differences from the single carrier system considered in previous sessions, it must still perform many of the same functions (i.e., channel estimation, equalization, and frequency of deviation estimation). In this laboratory, the functions related to the estimation of synchronization and the channel in the time domain are performed using the same training sequence that was used in assignment 5. Figure 4 shows an example of the receiver

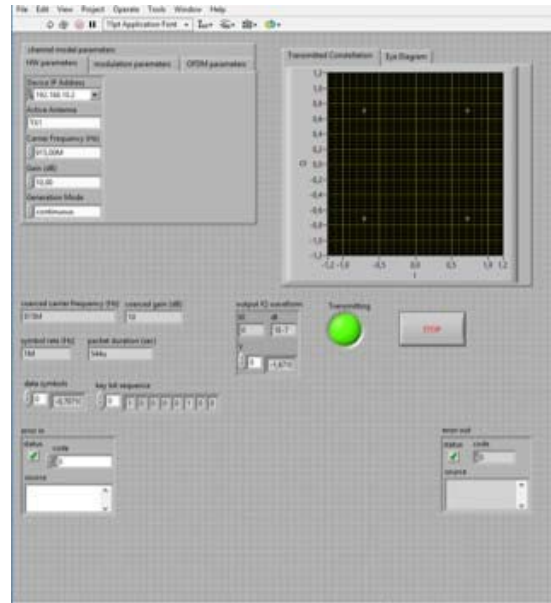


Figure 5. Modulation paramentres for OFDM training sequence in assignment 6

For assignment 7, two algorithms were used in LabVIEW, Schmid and Cox (SCA), which takes advantage of the periodic structure of the OFDM training sequence to perform frame and frequency synchronization. In addition, the Schmid and Cox Algorithm is an intelligent specialization of the Moose algorithm to OFDM waveforms. It uses the periodicity created in the OFDM symbol to perform frequency-offset correction and frame synchronization. A major difference over the Moose algorithm is that it consists of two steps of frequency offset correction. The first step corrects the displacements that are a fraction of $1/N$, the spacing of the subcarrier. The second step corrects the integer displacements that are multiples of the subcarrier separation. The whole number shift is performed

using a second specially constructed training symbol. For this practice, the Noise Power parameters were set to -Inf dB and the Delay to 80 μ sec. In this lab experiment, we will learn about how noise affects SCA and an optimization to SCA that increases the robustness of this frame and the frequency synchronization method for OFDM systems.

Assignment 8 is about coding of channels in OFDM systems, is a complex technique of broadband modulation used to transmit digital information through a communication channel, which combines powerful coding methods plus interlacing for the correction of errors in the receiver. COFDM modulates the information in multiple orthogonal carrier frequencies where each one is modulated in amplitude and phase and has a very low symbol rate as well as having a high spectral efficiency. A modulation specifically designed to combat multipath effects and other types of interference affecting receptors is obtained. It is a type of OFDM modulation especially appropriate for the needs of terrestrial broadcasting channels, using the DAB and digital terrestrial television systems. The COFDM modulation performs a division of the transmission channel in both the frequency domain and the time domain. In the frequency domain is sub-bands sub-narrow sides of frequency, and in the time domain is divided into a set of time segments. Figure 5 shows a sample of the interface to program the OFDM parameters, such as; number of frames, number of frequencies and signal level

IV. CONCLUSIONS

At the end of this work, we can highlight the great potential of the concept of radio defined by software. It was found that the SDR platform offers the opportunity to define a wireless communication system whose most important functions as the type of modulation, the central frequency, the bandwidth and all the functions of the physical layer of a standard can be implemented and evaluated without any change in hardware. With these laboratory assignments all the concepts seen in the subjects of communications will be reinforced, deeply deepening in the meaning of modulation, QPSK, BPSK among many other concepts, in the same way the knowledge in the LabVIEW software is reinforced. The laboratory assignments were taken based in the main topics seen in the classes; Digital Communications and Mobile Communications systems. The results of this project are still under evaluation. It has been used in two semesters and the assignments still require some improvement and testing. So far the project seems to be of help to reduce the time and preparation to do the laboratory assignments for the students as for the instructor.

REFERENCES

- [1] André L. G. Reis; André F. B. Selva; Karlo G. Lenzi; Sílvio E. Barbin; Luís G. P. Meloni, Software defined radio on digital communications: A new teaching tool, WAMICON 2012 IEEE Wireless & Microwave Technology Conference (2012), 1 – 8.
- [2] A. F. B. Selva, A. L. G. Reis, K. G. Lenzi, L. G. P. Meloni and S. E. Barbin, Introduction to the Software-defined Radio Approach, *IEEE Latin America Transactions* **10**, (2012), 1156-1161.
- [3] Jim Hoffmeyer, Il-Pyung Park, Stephen Blust, Radio Software Download for Commercial Wireless Reconfigurable Devices, *IEEE Radio Communications*, (2004), 526-552.
- [4] Joe Mitola, The Software Radio Architecture, *IEEE Communication Magazine* (1995), 26-38.
- [5] <http://www.wirelessinnovation.org/>, accessed March 3, 2017.
- [6] Friedrich K. Jondral, Software-Defined Radio—Basics and Evolution to Cognitive Radio, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, (2005), 275-283.
- [7] Joaquín del Río Fernández, Shahram Shariat-Panahi, David Sarriá Gandul, Antoni Manuel Lázaro. “LabVIEW Programación para Sistemas de Instrumentación”, Alfaomega, 1st. edition, México, December 2012.
- [8] A. M. Wyglinski *et al.*, “Revolutionizing Software Defined Radio: Case Studies in Hardware, Software, and Education,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, no. 1, Jan. 2016, pp. 68-75.
- [9] Yuechun W., Man K., Jiaotong X., Maunder R., “A Flexible Software Defined Radio-based UHF RFID Reader Based on the USRP and LabView”, SoC Design Conference (ISOCC), 2016.
- [10] Welch T., Shearman T., “Teaching Software Defined Radio Using the USRP and LabVIEW”, 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).
- [11] [2] C.R.A. Gonzalez, C.B. Dietrich, S. Sayed, H.I. Volos, J.D., J.H. Reed, and F.E. Kragh, “Open-source SCA-based core framework and rapid development tools enable software-defined radio education and research,” in *IEEE Communications Magazine*, Vol. 47, Issue 10, 2009, pp. 48 – 55.
- [12] T.B. Welch, T. Kent, C.H.G. Wright, and M.G. Morrow, “An Affordable Software Defined Radio,” in *Proceedings of IEEE DSP/SPE Workshop*, pp. 791 – 796, January 2009.
- S. Katz and J. Flynn, “Using software defined radio (SDR) to demonstrate concepts in communications and signal processing courses,” in *Proceedings of IEEE Frontiers in Education Conference*, pp. 1 – 6, 2009.

Predicción de la pérdida de la señal por trayectoria de Dron

Ingeniería electrónica y de comunicaciones

Antonio Gómez Roa

Escuela de Ciencias de la Ingeniería
y Tecnología (ECITEC), UABC
Tijuana, B. C.
gomez_roa@uabc.edu.mx

Andrés Calvillo Téllez

Instituto Politécnico Nacional
CITEDI
Tijuana, B. C.
acalvillo@ipn.mx

José Cruz Núñez Pérez

Instituto Politécnico Nacional
CITEDI
Tijuana, B. C.
nunez@citedi.mx

Resumen— Este artículo trata aspectos importantes del análisis de certidumbre de funcionalidad de comunicación entre un dron y un radiocontrol. En primera instancia se estima el máximo alcance para operar dentro del estándar de frecuencia libre de 900 MHz, que fija la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente a 36 dBm, la potencia del transmisor de 30 dBm y hasta 6 dBi la ganancia de la antena; el segundo, predice el alcance máximo que se puede obtener. Considerando los parámetros de calidad del enlace como potencia radiada, ganancia de antenas, atenuación por propagación en espacio libre, margen de desvanecimiento y nivel de recepción de la señal. Los resultados obtenidos en MATLAB® muestran la gráfica referente a: la relación que existe entre la suma de Ganancias Vs distancia de propagación y el rango permisible antes de que el nivel de RSSI alcance su valor mínimo de -100dB.

Palabras Clave—alcance; pérdidas; radiocomunicación;

I. INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de comunicaciones a la par que los drones están evolucionando más allá de su origen para convertirse en poderosas herramientas de negocios. La demanda de drones ha dado un salto al mercado de consumo, y ahora están siendo puestos en aplicaciones comerciales y gubernamentales desde la agricultura hasta la oceanología.

En oceanología, se puede emplear una red de sensores, para facilitar la obtención de parámetros de interés marítimo, donde un dron puede coleccionar información de un rango amplio.

La relevancia de este trabajo radica en predecir la pérdida de la señal del dron considerando la máxima amplitud del rango que requiere desplazarse, superando los numerosos factores que afectan el rendimiento, el alcance, la disminución de potencia recibida, que tienen un impacto en la medición de RSSI.

El rango de la radiocomunicación, depende de la pérdida o atenuación de la señal de radiofrecuencia que sufre acentuación debido al alejamiento o extensión de la trayectoria y se presenta en la medida en que se aleja el dron del punto donde se ubica el radiocontrol. Es de tal relevancia que, si se pierde la señal por

completo debido a que se rebasaron los niveles de los parámetros de radiocomunicación, se presenta una condición de pérdida de enlace y es una condición difícil para recuperar el dron. En la estimación de la pérdida de trayectoria de señal de radio se consideran algunos parámetros del sistema de comunicaciones, en especial la Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE). El PIRE es la suma logarítmica de las atenuaciones de señal presentes en la línea de transmisión, así como en los conectores y la ganancia de la antena. También se considera la altura y la geoposición tanto del dron como del radiocontrol [1-5].

El sistema de comunicación inalámbrica del dron está a cargo del radiomódem RFD900, este módulo opera en frecuencias cercanas a los 900 MHz con una potencia de transmisión de 30 dBm y una sensibilidad del receptor de -121 dBm. Este módulo, posee un estimador de la calidad del enlace RSSI (indicador de intensidad de la señal recibida).

Como el dron empleara parte del espectro electromagnético es necesario observar las disposiciones oficiales, en este caso observar la Norma Oficial Mexicana NOM-121-SCT1-2009. La norma establece las condiciones técnicas de operación que deberán de un sistema de radiocomunicación que utilice el espectro radioeléctrico en la banda de frecuencias libre de uso industrial, científico, y médico en el rango de 902-928 MHz.

Se establece que la potencia máxima de transmisión entregada a las antenas de los sistemas no deberá exceder de 1 W, pudiéndose utilizar antenas de transmisión con ganancia direccional máxima de 6 dBi de manera que se obtenga una Potencia Isotrópica Radiada Equivalente (PIRE) máxima de 4 W o 36 dBm. Si se utilizan antenas de ganancia direccional mayor a 6 dBi, la potencia total de entrada a las mismas y la correspondiente densidad de potencia, deberán ser reducidas en la misma cantidad que la ganancia direccional exceda de 6 dBi [6-10].

II. DESARROLLO

En la figura 2 se muestra, la radiocomunicación de la orilla de la playa de Rosarito, hasta la isla Coronado, mar adentro donde el dron realiza un recorrido de aproximadamente un rango

de 17 km y para la predicción de la pérdida de la señal se emplea al modelo de pérdida de propagación en el espacio libre, para predecir el nivel de potencia de la señal que arriba al receptor del dron.



Fig. 1. Radiocomunicación del trayecto del dron.

A. Pérdida en Trayectoria

La pérdida en trayectoria por el espacio libre se suele definir como la pérdida de potencia sufrida por una señal de radio al propagarse en línea recta por el vacío, sin absorción ni reflexión de energía en objetos cercanos, las pérdidas son directamente proporcionales a la distancia de separación entre transmisor y receptor, la ecuación que define a la pérdida en trayectoria por el espacio libre es [10-15]:

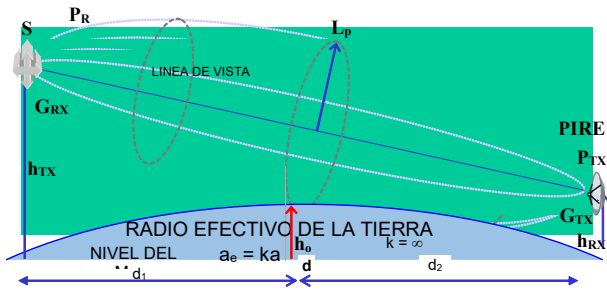


Fig. 2. Pérdida de la señal por trayectoria

$$L_P = \left(\frac{4\pi D}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{4\pi D f}{c}\right)^2 \quad (1)$$

Donde:

- L_P = pérdida en trayectoria por el espacio libre
- D = distancia entre transmisor y receptor [km]
- f = frecuencia de la portadora [Hz]
- λ = longitud de onda [m]
- c = velocidad de la luz en el espacio libre [3×10^8 m/s]

Expresada la ecuación 1 en decibeles, resulta la siguiente ecuación:

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi f D}{c} = 20 \log \frac{4\pi}{c} + 20 \log f + 20 \log D \quad (2)$$

Cuando la frecuencia se expresa en MHz y la distancia en km, se tiene:

$$L_{P(dB)} = 20 \log \frac{4\pi(10)^6(10)^3}{3 \times 10^8} + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)}$$

$$L_{P(dB)} = 32.4 + 20 \log f_{(MHz)} + 20 \log D_{(km)} \quad (3)$$

B. Balance de Potencia

El desempeño de un radioenlace se calcula de la siguiente manera [16-20]:

$$P_r = T_x - L_t + A_t - L_p + A_r - L_r \quad (4)$$

Donde:

- P_r = Potencia de recepción (dBm)
- T_x = Potencia de transmisión (dBm)
- L_t = Pérdida de la línea de transmisión (dB)
- A_t = Ganancia relativa de la antena respecto a una isotrópica (dBi)
- L_p = Pérdida en espacio libre (dB)
- A_r = Ganancia de la antena de recepción con respecto a una isotrópica (dBi)
- L_r = Pérdida de línea en el receptor (dB)

El Margen de umbral se define como:

$$M_u = P_r - U_r \quad (4)$$

Donde:

- M_u (dB) = Margen de umbral
- P_r (dBm) = Potencia de recepción
- U_r (dBm) = Umbral de recepción o sensibilidad del equipo receptor.

C. Margen de desvanecimiento y objetivo de confiabilidad

Al propagarse una onda electromagnética por la atmosfera terrestre, la señal puede tener pérdidas intermitentes de intensidad, además de la pérdida normal en la trayectoria. Esas pérdidas se pueden atribuir a diversos fenómenos, que incluyen efectos de corto y largo plazo. Esta variación en la pérdida de la señal se llama desvanecimiento y se puede atribuir a perturbaciones meteorológicas como lluvia, nieve, granizo, etc.; a trayectorias múltiples de transmisión y a una superficie terrestre irregular. Para tener en cuenta el desvanecimiento temporal, se agrega una pérdida adicional de transmisión a la pérdida en trayectoria normal. A esta pérdida se le llama margen de desvanecimiento.

El margen de desvanecimiento se incluye en la ecuación de ganancia del sistema para considerar las características no ideales y menos predecibles de la propagación de las ondas de radio, como por ejemplo la propagación por trayectorias múltiples (pérdidas por trayectorias múltiples) y la sensibilidad del terreno. El margen de desvanecimiento también tiene en cuenta los objetivos de confiabilidad del sistema.

$$F_M = 30 \log D + 10 \log(6ABf) - 10 \log(1 - R) - 70 \quad (6)$$

Siendo:

- F_M = margen de desvanecimiento [dB]
- D = distancia entre transmisor y receptor [km]
- f = frecuencia de la portadora [GHz]
- A = factor de rugosidad
- = 4 sobre agua o sobre un terreno muy liso

= 1 sobre un terreno promedio
 = 0.25 sobre un terreno muy áspero y montañoso

B = factor de la peor condición mensual en una probabilidad anual

= 1 para pasar una disponibilidad anual a la peor base mensual
 = 0.5 para áreas calientes y húmedas
 = 0.25 para áreas continentales promedio
 = 0.125 para áreas muy secas o montañosas
 (1-R) = objetivo de confiabilidad

Para que el sistema diseñado cumpla con el objetivo de confiabilidad, se requiere que el margen de umbral del sistema (M_u), sea mayor al margen de desvanecimiento (F_M), así:

$$M_u \geq F_M \quad (7)$$

La relación entre los valores RSSI (indicación de la intensidad de la señal recibida) y la distancia es la base y la clave para la determinación de distancia y posicionamiento en las redes de sensores inalámbricos como se muestra en la siguiente ecuación [21]:

$$10 \log P_R = 10 \log P_T + 10n \log d \quad (8)$$

Siendo:

n = factor que determinar la relación entre la intensidad de las señales recibidas y la distancia de transmisión de la señal

III. RESULTADOS

La tabla 1 presenta los parámetros obtenidos de la predicción de la pérdida de la señal del radioenlace radiocontrol-dron.

La figura 3 muestra el balance del presupuesto del radioenlace.

La figura 4 presenta la gráfica de distancia y altitud del dron con respecto al nivel de RSSI del dron donde a un rango de 16 km, alcanza el 68% de Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida.

TABLE I. PARAMETROS DEL RADIOENLACE DEL DRON

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
Potencia del transmisor	P_{TX}	30	dBm
Ganancia de la Antena de Transmisión	G_T	3	dBi
Potencia Isotrópica Radiada Efectiva	PIRE	33	dBm
Distancia	D	16000	m
Atenuación en el Espacio Libre	L_{FS}	-115	dB
Ganancia de la Antena de Recepción	G_{RX}	3	dBi
Potencia de Recepción	P_R	-42	dB
Umbral o Sensibilidad de Rx	S	-121	dBm
Margen de desvanecimiento	FM	20	dB

Parámetro	Variable	Valor	Unidad
Margen de umbral	M	42	dB
Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida	RSSI	68	%

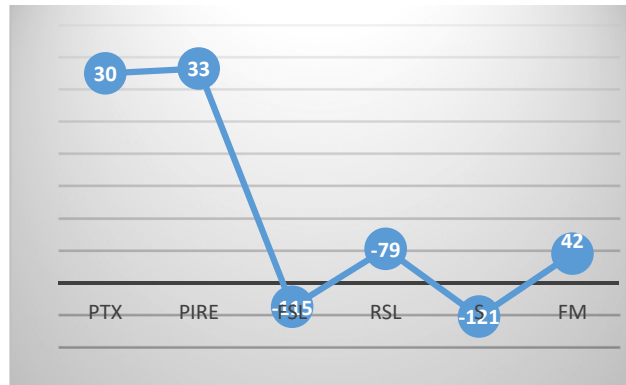


Fig. 3. Grafica del desempeño de la predicción del desvanecimiento de la señal

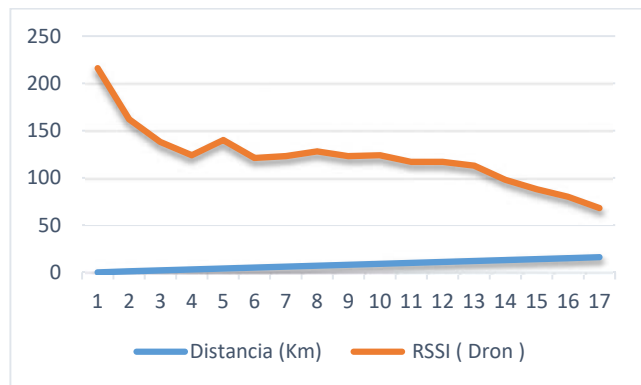


Fig. 4. Grafica de los valores de RSSI, altitud del vehículo vs distancia

IV. CONCLUSIONES

Las antenas presentaron una ganancia de 3dBi suficiente para permitir efectuar radioenlaces como el propuesto del PIRE de 33 dBm y un rango máximo de 16 km para un 68% de Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida. Estas características son fundamentales en el desempeño del enlace. El sistema de recepción de señal, presenta una sensibilidad que le permitió percibir el nivel de señal que llega al punto de recepción, de manera que el proceso de demodulación se pueda llevar a cabo para la recuperación de la información transmitida. En la trayectoria del enlace no hay obstrucciones considerables a la línea de vista, si bien la antena del radiocontrol se encontraba a nivel del suelo, el dron se sustentaba a una altitud de 500 m sobre el nivel del mar (ASNM), no representa un problema si se desea implementar el enlace. Partiendo de los cálculos de pérdidas de propagación, nivel de intensidad de la señal de recepción, margen de desvanecimiento y el criterio de un margen por condiciones topográficas y meteorológicas (F_M) se establece que el radioenlace punto a punto de frecuencia de

operación de 900 MHz tiene el nivel de señal adecuado para garantizar la demodulación en el equipo de recepción.

Considerando que la autonomía del dron se debe a la batería y que la misma alimenta al amplificador del radiocomunicador, se puede variar la potencia del transmisor y la ganancia de las antenas, respetando la norma que indica que el máximo PIRE es de 36 dBm, limitando al transmisor a 30 dBm.

Un recorrido en el rango de los 16 km, presenta un elevado consumo de energía y se debe estimar la energía suficiente que garantice el regreso del Dron. Si se emplean antenas superiores a 6 dBi ya sea de 9 a 12 dBi, se sostendría la norma, se alcanzaría el rango de distancia del recorrido y se ahorraría energía en batería, ya que se puede reprogramar el transmisor para una potencia de 27 a 24 dBm con estas antenas.

Algunos dispositivos poseen una Indicación mínima de la intensidad de la señal recibida (RSSI) o una relación señal / ruido (SNR). Un valor mínimo de RSSI de -65 dBm equivalente a una SNR de 20 dB con un nivel de típico de ruido de -85 dBm. Se requiere un mínimo de aproximadamente 10 dB de SNR \pm 2 dB para mantener una comunicación segura y confiable.

V. REFERENCIAS

- [1] Freeman, R. L. (2015). Telecommunication system engineering. John Wiley & Sons.
- [2] Freeman, "Radio System Design for Telecommunications", Wiley & Sons, 1987.
- [3] J. D. Parson, "The Mobile Radio Propagation Channel", Wiley & Sons, 1992.
- [4] J. Doble "Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile, Artech House, 1996.
- [5] H.L. Bertoni, et al., "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications," Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, pp. 1333-1359, 1994.
- [6] J.B. Andersen, T.S. Rappaport, and S. Yoshida, "Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels," IEEE Communications Magazine, pp. 42-49, 1995.
- [7] W.C.Y. Lee, "Mobile Communications Design Fundamentals," Second Edition, Wiley & Sons, 1993.
- [8] CCIR (now ITU-R) Report 567-4, "Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using the frequency range 30 MHz to 3 GHz" International Telecommunication Union, Geneva, 1990.
- [9] CCIR (now ITU-R) Report 567-4, "Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using the frequency range 30 MHz to 3 GHz" International Telecommunication Union, Geneva, 1990.
- [10] Gibson J. (1996), The Communications Handbook Press / IEEE Press
- [11] Wayne T. (2003), *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. Cuarta edición. Pearson Educación.
- [12] Townsend A. (1996) Digital Line-of-Sight Radio Links: a handbook. Prentice Hall. UK.
- [13] ARRL (1990), UHF/Microwave Experimenter's Manual (American Radio Relay League).
- [14] Hall, M.P.M., Barclay, L.W. and Hewitt, M.T. (1996), Propagation of Radiowaves (Institution of Electrical Engineers,).
- [15] Parsons, J.D (1992), The Mobile Radio Propagation Channel, Wiley & Sons.
- [16] Doble, J., (1996) Introduction to Radio Propagation for Fixed and Mobile Communications Artech House.
- [17] Bertoni, H.L., Honcharenko, W., Maciel, L.R. and Xia, H.H., (1994), UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications, Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 9, September, pp. 1333-1359.
- [18] Andersen, J.B., Rappaport, T.S. and Yoshida, S., (1995), Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels, IEEE Communications Magazine, January, pp. 42-49.
- [19] Lee, W.C.Y., (1993), Mobile Communications Design Fundamentals, Second Edition (Wiley & Sons, 1993).
- [20] Cruz Figueroa Torres, José Luis Medina Monroy, Ricardo Arturo Chávez Pérez and Andrés Calvillo Téllez (2014) circular monopole antenna with defected ground plane for UWB applications ISSN: 1870-4069, Research in Computing Science, Vol.64, Pag.207-214.
- [21] XU, Jiuqiang, et al. Distance measurement model based on RSSI in WSN. Wireless Sensor Network, 2010, vol. 2, no 08, p. 606.

Hardware implementation of a 64-QAM modulator using phase and amplitude schemes in FPGA

O. Ramírez Rosas
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
oscar.ramirez.itt@gmail.com

J. R. Cárdenas-Valdez
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
jose.cardenas@tectijuana.edu.mx

M. J. García Ortega
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
manuel.garcia@tectijuana.mx

A. Sotelo Orozco
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
arturo.sotelo@tectijuana.mx

G. E. Vazquez Alcaráz
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
gilberto.vazquez@tectijuana.mx

A. H. Corral Domínguez
Depto. de Ingeniería Eléctrica y
Electrónica
Instituto Tecnológico de Tijuana
Tijuana, Mexico
angel.corral@tectijuana.mx

Abstract— A digital modulation scheme as 64-QAM have two stages for I and Q channels is implemented in hardware through the DSP builder tool. The obtained precision of the output signal that involves amplitude and phase changes is proved in the scope. The aim of this work is to provide a design tool for 64-QAM modulation using simulation in order to send a bit stream that can be audio or video using this system. The random bit stream, amplitude and phase stages are developed in Matlab/Simulink, this architecture is analyzed, synthesized and fitted for the Cyclone V development board of Altera. This work as design tool is able to digitally modulate any information, the stages properly conveys the amplitude and phase properties of the carrier signal. The frequency range established by the board allow to work with the frequencies of 2 MHz – 10 MHz with high resolution. The generated data by simulation are adequated to the embedded DAC in the HSMC card. The RF input signal of 7.7 MHz is reached in the output stage of the system and the whole resources of the board allow to send any bit stream information in real time.

Keywords—64-QAM, FPGA, hardware, HSMC, RF.

I. INTRODUCTION

Due to the increasing need of digital transmission systems with a wide range of bit rate, there is a strong motivation to the researchers related to the design of digital schemes for this purpose. To make possible this digital transmission the hardware developers require the availability of simulation tools, a simulation approach is the quadrature amplitude modulation (QAM), a proved modulation for a bit stream with a wide range of data.

This global tendency requires in order to handling the increasing number of users the use of digital modulation based on high bandwidth transmission, N-QAM has been developed to achieve the users requirements. N-QAM due to the high

spectral efficiency is an attractive modulation technique for wireless communications [1]. However, the severe amplitude and phase changes involved in the wireless channels degrade the bit-error rate (BER) performance of the N-QAM system. This digital modulation is basically used to send data by cable on the downstream channel networks. It supports transmission speeds up to 28 Mbps over a single 6 MHz channel [2].

Some works have been done by designers related to hardware and system level, not only through software [3], but also in hardware implementation [4-6] or even designing a complete layout for this purpose by the authors of this work [7]. In this paper, we develop an accurate approach for 64-QAM implemented in hardware through a FPGA development board. In particular, each stage for the phase and amplitude changes are developed in Simulink, the information can be introduced by simulation and the obtained output in the acquisition card can be coupled to a transmission antenna for a wireless application for a further application. This proposed novel technique by the authors does not requires additional training for digital stream that must be transmitted, this type of system is an accurate alternative if known information requires to be send to the air by an antenna, the potential users as researchers of hardware developers can save up to \$4,000 USD if a digital QAM modulator is required.

This paper is organized as follows: in the section 2 is presented the 64-QAM model and proposed stages, in section 3 is presented the simulation of the system, in section 4 is presented the hardware implementation of the system in the development board. Finally, in section 5 are summarized the main conclusions.

II. 64-QAM MODEL

Schemes as 64-QAM requires a higher signal-to-noise ratio (SNR) compared with other digital modulation measured by the same bit error rate (BER). The N-QAM stages can be divided by I and Q signals. A 64-QAM symbol represents 6

Identify applicable funding agency here. If none, delete this text box.

bits during the stream pack, the M-ary QAM can be represented by (1) and (2) [8]:

$$s(t) = A_1\gamma_1(t) + A_2\gamma_2(t) \quad (1)$$

$$q = \log_2 M \quad (2)$$

where $\gamma_1(t) = \sqrt{2/T_s} \cos(2\pi f_c t)$ for $0 < T < T_s$ otherwise $\gamma_1(t) = 0$ and $\gamma_2(t) = -\sqrt{2/T_s} \sin(2\pi f_c t)$ for $0 < T < T_s$, otherwise $\gamma_2(t) = 0$, in which T_s represents one symbol's transmission time interval, f_c is the carrier frequency and A_1 as well as A_2 represent the orthogonal carrier coefficients. In the Fig. 1 can be seen the stages of the 64-QAM modulator, at the beginning is divided the carrier signal, after two stages are in charge of the phase shifting, two amplitude blocks represent the amplification stages involved in the multiplexing process of the I and Q signals.

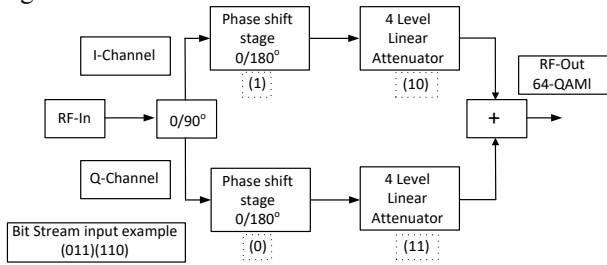


Fig. 1. General overview of the 64-QAM system.

The 64-QAM modulation allows to mix two signals that have the same bandwidth that will be separate in the receptor chain. This condition exploits the available bandwidth. The I(t) and Q(t) signals are modulated by two carrier with the same frequency but with a phase unbalance of 90 degrees. In (3) is expressed mathematically the obtained signal.

$$s(t) = I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t - 90) =$$

$$I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t) \quad (3)$$

The received signal is demodulated through the signal $r_i(t)$ which is proportional to $s(t)$ in the local oscillator and $s(t)$ can be recovered and the components I(t) and Q(t) are recovered in a further stage in the receptor chain.

The ideal form of $s(t)$ can be expressed by (4) to (7) .

$$I(t) = r_i(t)\cos(2\pi f_0 t) \quad (4)$$

$$= I(t)\cos(2\pi f_0 t) + Q(t)\sin(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_0 t) \quad (5)$$

$$= I(t)\cos(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_0 t) - Q(t)\sin(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_0 t) \quad (6)$$

$$= I(t)\cos(2\pi f_0 t)^2 - Q(t)\sin(2\pi f_0 t)\cos(2\pi f_0 t) \quad (7)$$

and can be expressed by trigonometric functions by (8)

$$I(t) = 0.5 * I(t) [1 + \cos(4\pi f_0 t)] - 0.5 * Q(t) \sin(4\pi f_0 t) =$$

$$= 0.5 * I(t) + 0.5 * [I(t)\cos(4\pi f_0 t) - Q(t)\sin(4\pi f_0 t)] \quad (8)$$

The spurious πf_0 signal can be removed by a filter stage and the output signal Q(t) and I(t) will have a clear form that through a local oscillator and the bit stream can be recovered by the receptor chain [2].

III. 64-QAM SIMULATION

The simulation was developed in Simulink and is divided in two parts, the first stage comprise the phase shifting of the carrier signal as is noted in the Fig. 2 where is added a bit stream that randomly send the information for each layer, one bit is in charge of the phase shift. The input signal was defined with a frequency of 7.7 MHz, this frequency was defined based on the board capability established in order to obtain the best resolution of the output signal.

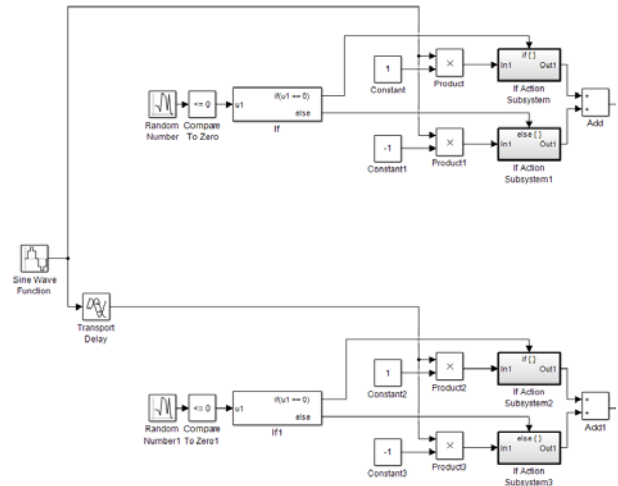


Fig. 2. Input signal with a carrier of 7.7 MHz and random bit stream for 64-QAM.

The amplitude changes are controlled by two amplitude blocks, these stages represent the amplitude modification that can be applied to both signals I(t) and Q(t), the Fig. 3 shows the second part that comprises the whole 64-QAM modulator. Should be noted that both stages are controlled by four bits that randomly modify the amplification stage, an added is placed at the end of the modulator before to pass the signal to the power amplifier in a transmitter chain if a wireless transmission is required.

involves the amplitude and phase shifting stages required by a QAM modulation. The main objective was reached and hardware developers now have an additional design tool to test systems that can be applied for modeling and transmission chains. The simulation stage avoids the noise that can affect if digital bit stream must be modulated.

This platform is a proper tool to test digital information that requires a receptor chain. As further work is required a study in order to properly couple an antenna to the acquisition card and measure the spectral behavior of the wireless information with a vector network analyzer. This proposed system is an accurate and economical option for researchers and potential users that can save from \$1,000 up to \$4,000 if a digital modulator is required for any application.

REFERENCES

- [1] J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [1] X. Tang, M. Alouini and Andrea J. Goldsmith, "Effect of Channel Estimation Error on M-QAM BER Performance in Rayleigh Fading," in IEEE transactions on communications, vol. 47, no. 12, December 1999.
- [2] ANSI/SCTE, Society of Cable Telecommunications Engineers, ANSI/SCTE 07 2006 Digital Transmission Standard For Cable Television, Engineering Committee, 2006.
- [3] Cárdenas-Valdez, J. R., et al., Amplification of 4-, 8-, 16-, 32- and 64-QAM through the Memory Polynomial-Model as Special Case of the Volterra Series Implemented in a RF Satellite Link, in IEEE Ninth Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, pp. 349-352, Cuernavaca, November 2012.
- [4] Yan, S. et al., Generation of 64-QAM signals using a single dual-drive IQ modulator driven by 4-level and binary electrical signals, Optical Fiber Communication Conference and Exposition and the National Fiber Optic Engineers Conference, pp. 1-3, Anaheim, USA, March 2013.
- [5] Gnauck, A. H. et al., Generation and Transmission of 21.4-Gbaud PDM 64-QAM Using a Novel High-Power DAC Driving a Single I/Q Modulator, Journal of Lightwave Technology, vol. 30, no. 4, December 2011.
- [6] Besnoff, J. and Ricketts, D. Quadrature Amplitude Modulated (QAM) Communication Link for Near and Mid-Range RFID Systems, pp. 151-157, San Diego, USA, April 2015.
- [7] Jorge Andrés Hernández Carrillo, José Ricardo Cárdenas Valdez, Virgilio Rosendo Pérez, Manuel de Jesús García Ortega and Andrés Calvillo Téllez "DESIGN AND FABRICATION OF A 64-QAM MODULATOR FOR ANALYSIS OF SIGNALS BETWEEN STAGES," XIII Semana Nacional de Ingeniería Electrónica, Guanajuato, pp, 193-209, 2017.
- [8] Correa, R. Performance Analysis Of M-QAM with Viterbi Soft-Decision Decoding, master of science in electrical engineering thesis, Naval Postgraduate School, March 2003.

Casa Domótica con IoT

Alejandro Espericueta
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
alejandro.espericueta@gmail.com

Alan Rangel
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
alan.rangel@cetys.edu.mx

Marco Sánchez
Ingeniería Mecatrónica.
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
antonio.sanchez@cetys.edu.mx

Adolfo Esquivel
Escuela de Ingeniería
CETYS Universidad
Tijuana, B.C.
adolfo.esquivel@cetys.mx

Resumen—Se presenta un proyecto de Internet de las CosasIoT (por sus siglas en inglés), para el control de dispositivos domésticos, controlados en forma remota, se utilizará como servidor una Raspberry PI 3 con un código abierto de NODE-RED basado en Linux, se desarrolla el servidor web para la conexión a internet, diseñando con ello una página dinámica que cuenta con conexión a la red y con diversas funciones de manipulación de servicios utilizando el servicio de internet, además es capaz de recibir y enviar mensajes FTP. Se utilizan sensores de temperatura, movimiento e intensidad luminosa para el control de energía y confort.

Palabras clave—domótica, NODE-RED, IoT, sensores.

I. INTRODUCCIÓN

Hoy en día la tecnología va avanzando de manera radical por lo que busca la eficiencia de los dispositivos electrónicos, por otra parte, también se busca hacer más rápidas y eficientes las tareas del hombre. Nuestro proyecto busca como principal objetivo implementar un sistema de seguridad con video cámaras que estén trabajando en tiempo real y poder monitorearlas donde sea que nos encontremos, esto para la protección contra ataques de robo o cualquier otra inseguridad que se presente.

De igual forma, se busca ayudar con el consumo energético de los hogares con el simple hecho de tener el control más amplio de todos los aparatos conectados a la red eléctrica y poder manipularlos en tiempo real sin la necesidad de estar frente a ellos, esto con ayuda de la red de internet, donde podemos, a través de una página web, monitorear cada dispositivo eléctrico y poder cambiar su estado de encendido a apagado y viceversa, esto con la seguridad de que el medio de comunicación esté dentro de los estándares de seguridad contra ataques de intervención de terceros.

II. OBJETIVO

Diseño y construcción de maqueta de una casa automatizada (domótica) en la cual se implemente un sistema de seguridad efectivo con ayuda de NODE RED y otros diferentes dispositivos tales como PLC, Raspberry Pi 3, entre otros. Tener el control de todo el sistema de seguridad

implementado en la casa, envío y recepción de información en tiempo real a un dispositivo móvil. Además de monitorear también en tiempo real cada dispositivo conectado a la red eléctrica del hogar, tal es el caso de: video cámaras, luces, sensores de temperatura, humedad, tc., esto con el objetivo de tener una mayor eficiencia en el consumo de energía y agilizar las tareas del hogar, implementando alta tecnología que es de bajo costo factible para comercializar.

III. MARCO TEÓRICO

Las siguientes patentes relacionadas al proyecto nos sirvieron de base para el eficiente desarrollo del proyecto.

- Patente No. **ES2304780T3** Servidor web con función de automatización integrada y acceso directo adicional al nivel de comunicación en tiempo real de la ethernet en tiempo real [1] Sistemas para manejo de CNC (Computer Numerical Controlled), envío y monitores de datos críticos, para la fabricación de piezas complejas con taladro fresador automatizado.
- Patente, **ES2364003T3** Sistema y métodos de control de aparatos domésticos en un entorno de red [2], Control de dispositivos electrónicos dentro de hogares domésticos a través de un servidor web montado en un computador centralizado dentro de la casa, utilizando únicamente para propósitos de funcionalidad del proyecto.
- **KNX**: Estándar mundial para todas las aplicaciones de control de viviendas y edificio, abarcando el control de iluminación y sistemas de seguridad, ofrece una gran gama de productos para automatización de bajo costo para aplicaciones, así como sistemas de instalación de modo fácil, KNX es un estándar aprobado a nivel europeo (CENELEC EN 50090 y CEN EN 13321-1) e internacional (ISO/IEC 14543-3). Ofrece productos de “Plug and Play” es decir dispositivos fáciles de instalar.

- **SIEMENS:** Como fabricante de tecnología ofrece alternativas a clientes para interfaz de usuario fáciles de utilizar con base en sus productos actuales, el sistema configurable tiene la característica de ser escalable y así el cliente tiene la oportunidad de hacerlo más complejo conforme a las necesidades que vayan surgiendo. Por ejemplo, una base de datos de proceso integrada y una inteligencia de planta garantizan la transparencia en la producción. Numerosas opciones y complementos amplían el alcance del rendimiento.

SIEMENS (SF) Visibility in production: SIMATIC WinCC V7 SCADA System [3].

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El proyecto está diseñado para proponer una solución eficiente y de bajo costo a los requerimientos del comercio actual, sus principales funciones son la seguridad y la eficiencia energética. Para ello se utiliza como servidor una Raspberry Pi 3 con un código abierto de NODE-RED basado en Linux, se desarrolló el servidor web para la conexión a internet, diseñando con ello una página dinámica que cuenta con conexión a la red y con diversas funciones de manipulación de servicios utilizando el servicio de internet, tendrá comunicación a un PLC usando el protocolo Modbus, además es capaz de recibir y enviar mensajes FTP. Se utiliza el protocolo TCP/IP protocolo como canal para envío y recepción de datos a través de la Raspberry Pi y un PLC con puerto Ethernet y soporte de puerto MODBUS TCP-IP, se utilizara uno de la familia de Automation Direct C0-12DRE-2-D Tendrá conexión con sensores de temperatura, movimiento y de intensidad luminosa para tener un control más extenso, así mismo cuenta con la tecnología de transmisión de video en tiempo real con el objetivo de transmitir en vivo audio y video del interior del hogar, se desarrolló una maqueta para simular una casa y se colocaron los dispositivos electrónicos simulándolos con led de diversos colores.

V. PROCEDIMIENTO

Para llevar a cabo este proyecto, se utilizó Node Red como código de programación y para la conexión a internet, utilizando como servidor una Raspberry Pi para poder hacer el control de las luminarias y las temperaturas. Para la simulación de las luminarias se implementaron LED's conectados a las salidas físicas del PLC los cuales cumplían con cambiar el estado lógico de encendido y apagado, esto por medio del protocolo de comunicación MODBUS (TCP-IP) el cual tiene una dirección IP que está programada en el servidor web que puede ser manipulado desde cualquier dispositivo móvil con acceso a internet.



Figura 1: Diversos dispositivos capaces de controlar el sistema. TCP/IP

Se conectó un sensor DHT11 para visualizar la temperatura a la que se encuentra la casa, además de medir la humedad.



Figura 2: Sensores de temperatura, control y visualización desde la red de internet.

Para poder controlar las luminarias y sensores es necesario fijar una IP en el servidor (Node Red), esta IP la proporciona la Raspberry Pi al inicializar Node Red en la misma, una vez que se tiene la IP lo que se hace es entrar de la siguiente manera: IP:puerto/ui. Ejemplo: 192.168.1.66:1880/ui, y con esto podemos entrar a la página web que se creó con Node Red y para poder entrar a la programación se necesita entrar a la misma página evitando la parte de ui, por ejemplo: 192.168.1.66:1880

VI. RESULTADOS

Como resultado tuvimos el control de las luminarias de un sistema automatizado mediante un PLC usando protocolo Modbus como se muestra en la Figura 1., además, mediante un sensor DHT11, se pudo observar la temperatura ambiente a la que se encuentra la casa, así como también la humedad y presión de la misma, todo esto conectado a una Raspberry Pi con acceso a WiFi y a un código de Node Red el cual nos permite visualizarlo en una página web. Así mismo, desde la

página web se podían enviar correos a los diferentes usuarios registrados en el servidor web.

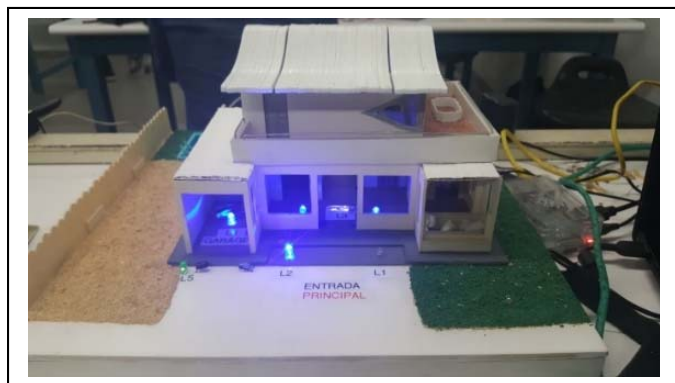


Figura 3. Maqueta física del proyecto

En el mercado podemos encontrar una diversa cantidad de productos, aunque enfocados a diferentes áreas específicas, es decir, con capacidades muy limitadas, por otra parte, la adquisición de esta tecnología es costosa, nuestro objetivo es desarrollar tecnología propia con la robustez que nos demanda el mercado. Desde hace algunos años la automatización en sistemas cerrados se ha vuelto popular por lo que ha desencadenado un estallido de diversas tecnologías con las cuales podemos controlar a través de servidores web desde pequeñas casas particulares de aplicaciones muy simples hasta avanzados sistemas industriales que manejan complejas funciones matemáticas y recopilación de datos muestrales por sensores de alta tecnología esto sin decir que el costo de esta tecnología es muy alto puesto que requiere de una personalización para adaptarlo a la aplicación deseada.

Algunas empresas líderes mundiales dedicadas al desarrollo tecnológico como SIEMENS ofrecen soluciones de automatización, con transferencia y monitores de datos a través de servidores web en tiempo real por otra parte, KNX estándar mundial para todas las aplicaciones de control de viviendas y edificio, abarcando el control de iluminación y sistemas de seguridad, ofrece una gran gama de productos para automatización, así como sistemas de instalación de modo fácil, KNX es un estándar aprobado a nivel europeo (CENELEC EN 50090 y CEN EN 13321-1) e internacional (ISO/IEC 14543-3).

Con esta tecnología de bajo costo podemos ofrecer los mismos servicios con la seguridad y los estándares de calidad competitivos con un costo competitivamente muy bajo es por esto que podemos concluir que nuestro objetivo y alcances están dentro de lo esperado.

REFERENCIAS

- [1] Servidor web. (03/04/2003) Servidor web con función de automatización integrada y acceso directo adicional al nivel de comunicación en tiempo real de la ethernet en tiempo real recuperado de: <https://patents.google.com/patent/ES2304780T3/es?q=AUTOMATIZACION>
- [2] Universal Electronics Inc (2008/10/16) Sistema y métodos de control de aparatos domésticos en un entorno de red) recuperado de: <https://patents.google.com/patent/ES2364003T3/es?q=AUTOMATIZACION>
- [3] SIEMENS (SF) Visibility in production: SIMATIC WinCC V7 SCADA System, recuperado de: <http://w3.siemens.com/mcims/human-machine-interface/en/visualizationsoftware/scada/pages/default.aspx>
- [4] INEGI. (2017). ENCUESTA NACIONAL DE SEGURIDAD PÚBLICA URBANA CIFRAS CORRESPONDIENTES A MARZO DE 2017. Recuperado de: http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2017/ensu/ensu2017_04.pdf
- [5] Node-Red. (2017) Flow-based programming for the Internet of Things. Recuperado de: <https://nodered.org/>
- [6] Node-Red. (2017) Running on Raspberry Pi. Recuperado de: <https://nodered.org/docs/hardware/raspberrypi>
- [7] IBM. (2017). Connecting Raspberry Pi as a Device to Watson IoT using Node-RED. Recuperado de: <https://developer.ibm.com/recipes/tutorials/deploy-watson-iot-node-on-raspberry-pi/>

Remote soil moisture measurements of a Baja California vineyard using a Wireless Sensor Network

César Ortega-Corral
Universidad Tecnológica de Tijuana
Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Fracc. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253.
México
cesar.ortegac@uttijuana.edu.mx

Oscar Ricardo Acosta Del Campo
Universidad Tecnológica de Tijuana
Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Fracc. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253.
México
oscar.acosta@uttijuana.edu.mx

Florencio López-Cruz
Universidad Tecnológica de Tijuana
Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Fracc. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253.
México
florencio.lopez@uttijuana.edu.mx

José Alfredo Ruelas
Universidad Tecnológica de Tijuana
Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Fracc. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253.
México
alfredo.ruelas.alvarez@hotmail.com

Jesús Enrique López-Montoya
Universidad Tecnológica de Tijuana
Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10
Fracc. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253.
México
jenrique.lopez@uttijuana.edu.mx

ABSTRACT

We present deployment strategies and results of a Wireless Sensor Network (WSN) that measures vineyard soil moisture variations; as well as other parameters such as soil temperature, air temperature and relative humidity. A manually controlled drip irrigation system operates at the test site, and our intent was to characterize its behavior. The corresponding soil moisture measurements were done using hygrometric sensors. Before experimentation was done, soil samples were gathered from the vineyard with which the measuring WSN nodes were calibrated, using soil samples with different water content levels. After deployment, the measured data was analyzed and compared to determine their relationship. From such an analysis, the grape grower came to conclusions that helped to understand the effectiveness of the amount of water that was dripped, and of the drip irrigation schedule. Finally, several issues are brought up that have to do with long-term reliable monitoring of viticulture development.

ADDITIONAL KEYWORDS AND PHRASES

Wireless Sensor Network, Precision Agriculture, Soil Moisture.

1 INTRODUCTION

Water conservation is a very important issue, especially in regions where it is scarce. This is the case for Baja California, Mexico, where there are no year round rivers or lakes [1-2]. Most of the little rain fall filters underground, and many agricultural activities depend on ground water sources to feed their irrigation systems. Different water saving techniques are deployed, such as drip irrigation, micro-irrigation, irrigation scheduling, dry farming, rational grazing, water retaining compost and mulch, drought resistant crops, etc. [3,4]. This topic is ever present in the field of Precision Agriculture, which aims at implementing various techniques that help in optimizing resources and crop yields. And

although Precision Agriculture is a very wide application area, one main goal is having an adequate soil moisture content level, and that the soil is of a good enough quality for the type of vegetation that is growing [5].

Many challenges in modern agriculture are now overcome using sensor networks, they measure real-time soil conditions [6], and recently such systems may be part of the Internet of Things [7]. Wireless technology is at the center of much of these sensor networks, which avoids cabling an entire farming surface. In general, Wireless Sensor Networks (WSN) are applied for remote monitoring of physical phenomenon, processes, animals and persons. To convey information efficiently, many WSN schemes have been developed with three different possible topologies: point to point, point to multi-point and mesh architectures. The goal of most WSN is to transfer data from a source node (or end point) towards a remote sink node connected to a base station with a gateway.

2 BACKGROUND

2.1 Soil Moisture Content

In agriculture, it is known that soil holds different water amounts that depend on its composition and natural evaporation. Soil may be made up by silt or clay, or by a combination of any of them. One such combination is called loam, which is a mixture of equal parts of sand, silt and clay. The soils water holding capacity has two bounds, a lower limit that is called “permanent wilting point” (PWP), and an upper limit called “field capacity” (FC) [8]. If the upper limit is exceeded then the soil gets water saturated and drainage or run-off occurs, which doesn’t feed the plants, because in those circumstances their roots can’t absorb water due to differential pressure, and it also may cause soil erosion reducing soil quality. Figure 1, taken from [9], shows the percentage % of water volume that soil can retain, which depends on its type. Soil is classified as sand, loam, silt, or clay. Sometimes, loam and silt can be confused with one another. In general, both loam and silt are a result of

different types of pulverized organic matter mixed with minerals, such as mix of fine grained sand, hummus and decomposed vegetation, dragged by running water, such as rivers and creeks [10].

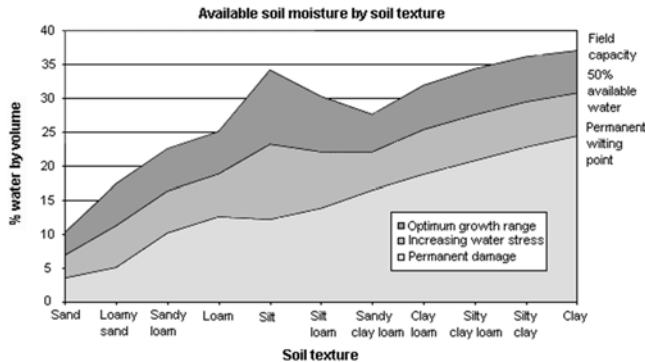


Figure 1: Soil moisture ranges, which depends on the type of soil.

At the vineyard test site, the type of soil is a combination of sand with loam, which could be considered loamy sand. In Figure 1, the corresponding range for the type of soil of the testbed is roughly between 10% and 18% (although it might be up to discussion). So the considered overall range is less than 5% for extremely dry soil conditions, and over to 20% for water saturated soil.

2.2 Related work

An important Earth Science field of study is called “evapotranspiration” [11-13], which is a term commonly used that describes natural processes of water loss due to a combination of land surface to atmosphere evaporation and transpiration, which includes soil percolation. And although traditionally there have been several WSN vineyard deployments [14-16], much of their research has been focused on how to transfer their WSN node data to the end user, and not on determining soil moisture trends and variability. Recently, some WSN developers have started to look

into evapotranspiration issues [17-19]. This is important because real-time WSN soil moisture estimation bridges the gap between a purely communication driven deployment and an advanced data driven analytical Precision Agriculture solution, which is centered on the data. The latter is relevant in determining a precise amount of water to be used for drip irrigation scheduling, be it a manually activated system or with full automation features.

3 HARDWARE AND SOFTWARE EXPERIMENTAL DETAILS

3.1 Outdoor Wireless Sensor Network Architecture and its Base Station

For this application, a multi-hop WSN was deployed, as illustrated in Figure 2, where end-point (EP) sensor nodes relay their measured sensor data towards intermediate router nodes, which in turn send the relayed EP messages to the overall WSN base station (BS). In this case, the BS is an Intel Edison with Arduino breakout board [20,21], on top of which an XBee Arduino Shield with its radio is mounted. For convenience, the XBee radios, manufactured by Digi Inc. [22], were configured with firmware that operates a proprietary multi-hop WSN routing protocol called DigiMesh [23]. As its name indicates, DigiMesh is capable of creating mesh wireless networks. Meanwhile, the Intel Edison has other resources such as a Low power BlueTooth (BLE) interface, as well as a WiFi interface through which the end user can access it’s Yocto Linux operating system with a SSH (Secure Shell) connection. It is worth mentioning that a Web server application was developed to enable remote soil moisture monitoring plotted on “dashboards”.

The Intel Edison was coded using Python that listens on the serial interface for XBee received messages. The captured data is filtered and stored in the Edison FLASH memory.

3.2 WSN nodes for Precision Agriculture

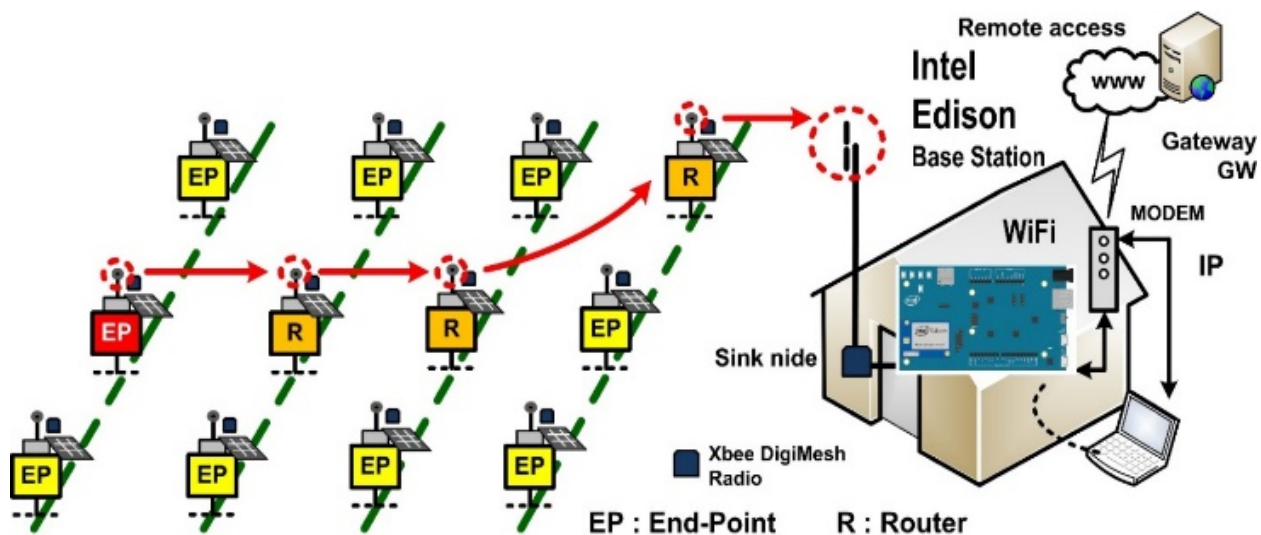


Figure 2: Multi-hop WSN communications scheme.

After careful technology selection, the Arduino FIO board was selected due to its low power consumption, and because it has an onboard radio interface [24], which is suited for the well-known XBee Pro WSN transceiver, which has a 1Km range. Figure 3 illustrates an End-Point nodes resources: the XBee radio mounted on the Arduino FIO microcontroller. The Arduino FIO board is constructed around an 8-bit Atmel micro-controller, and it has 8 analog sensor inputs pins and 14 general purpose digital input or output pins.

The Soil Moisture (SM) sensor is an inexpensive Grove hygrometric conductivity sensor [25]. The disadvantage of using these kind of sensors is that they are in direct contact with the soils humidity, which corrodes the sensors metal plating. When the sensor is polarized is when the sensor damage accelerates. A simple way to extend the sensors “lifespan” is to turn it on only when the measurement needs to take place. This on/off technique is easily deployed polarizing the sensor with one of the microcontrollers output pins, which when it’s pulled up to a logical 1, it exhibits a 3.3v electrical signal output that here is used to feed the hygrometers voltage divider through which the soil conductivity is measured.

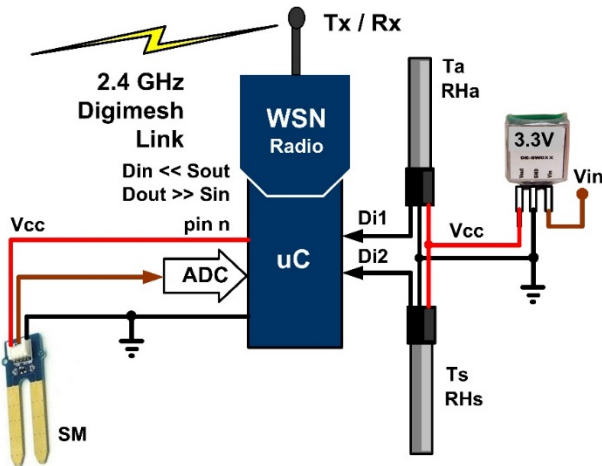


Figure 3. Wireless End-Point for soil moisture measurements.

Besides implementing a soil moisture hygrometer, the system measured temperature and relative humidity using two digital Sensirion SHT10 sensors, encapsulated and commercialized by Adafruit [26]. Two SHT10 were used, one SHT10 for air temperature and relative humidity measurements (Ta and RHa), and another SHT10 was buried so as to measure the soils temperature and relative humidity, (Ts and RHs), as indicated by the manufacturer.

3.3 Hygrometric sensor data interpretation and calibration

To ensure correct EP sensor readings, a sufficient amount of vineyard soil was gathered from the target experimental site with which soil samples were prepared for sensor calibration. Soil was left to dry to almost 2%, and afterwards soil was put in nine containers and mixed with different amounts of water using a measuring cup.

For the forthcoming sensor calibration, a professional capacitive soil moisture sensor and acquisition system, called Vernier LabQuest [27], was used to determine the amount of moisture each prepared soil container had. Repeated measurements were done and mean values were determined. These values are listed in Table 1, along with Analog to Digital conversion (ADC) discrete values by the test SM sensor node of Figure 3.

Table 1. Soil samples with their respective measured values.

Soil container	Soil Moisture % LabQuest – Sensor	Microcontroller ADC levels
1	2	168
2	4	390
3	5	465
4	7	555
5	9	590
6	11	630
7	14	680
8	23	730
9	26	765

From the knowledge of these few discrete values, using MatLab, a curve fit script was implemented to determine the in between values correlated with the SM percentages. The resulting curve fit process yielded the missing information. In Figure 3, the second degree curve is shown that is the direct representation of the ADC discrete levels and their relation with the measured soil moisture percentages obtained previously with a calibrated LabQuest SM sensor system.

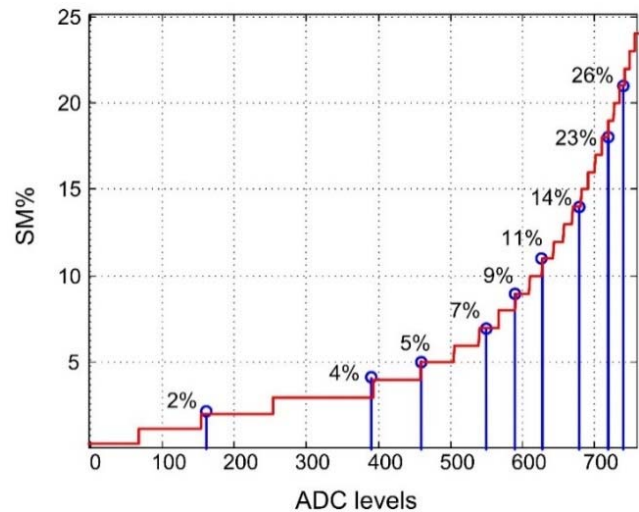


Figure 4. Soil moisture curve fit, from which a SM lookup table was generated.

These SM ADC levels are useful so as to create a “look-up” table (or SM sample vector) and include it in the EP sampling software. This avoids doing mathematical calculations and lengthy processing, because the microcontroller just looks up the SM% value using the ADC level as a fixed array search index. Meaning that this process is a simple memory data fetch of pre-calculated SM values.

3.4 Vineyard and SM test node placement

Deployment of the experimental SM WSN, composed of five EP nodes and a Base Station, was done at a Quinta Monasterio winery fledgling vineyard, located in Valle de Guadalupe, Baja California, Mexico. Figure 5 shows a satellite image of the vineyard and the geographical coordinates where the equipment was placed.

In Figure 5, EP node 1 sends its wireless messages to the WSN BS using EP node 5 acting as a WSN router. This is because there is an obstacle (aluminum structure) that prevents direct line of sight between EP node 1 and the BS antenna. Although distance it is not an issue, obstacles are when buildings and structures are part of the landscape. Actual placement of the WSN was done near drip irrigation emitters. Usually, these emitters are almost exactly above the vines root-system, so as to optimize water usage. In Figure 6, an EP WSN node is placed strategically next to an emitter, and consequently the soil moisture sensor is buried right next to the grapevines roots.

It is worth mentioning that for this experiment, EP node 1 and EP node 2 only had a double battery pack, while the rest of the nodes had solar panels for recharging their batteries.

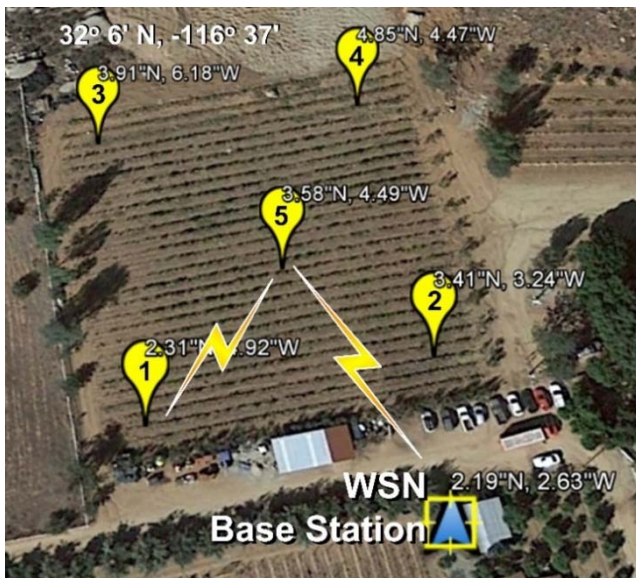


Figure 5. WSN node placement on the vineyard test site.

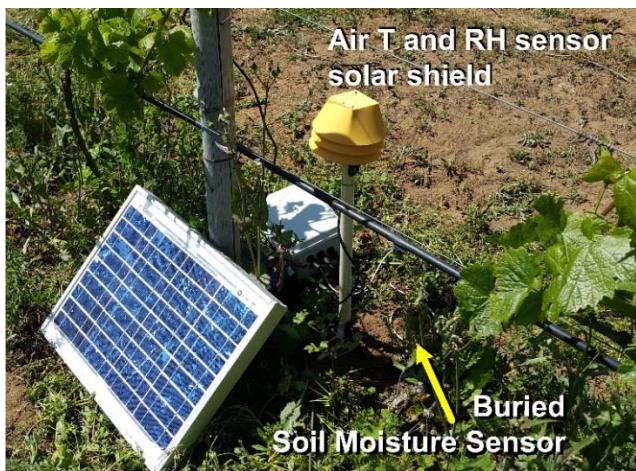


Figure 6. EP node placement, with buried soil moisture sensor and air T and RH sensors.

4 RESULTS AND DISCUSSION

For testing purposes, the deployed WSN was left running unsupervised during seven days, with oversampling at a rate of three samples per minute. The measured variables were: Air temperature (T_a), relative humidity (RH), soil temperature (T_s), soil moisture (SM), and battery voltage (V_{bat}). All variables could be monitored remotely, accessing the BS dashboards published through an installed WiFi web server using.

Although our goal is to measure soil moisture, one of the most important variables in any process is temperature. In precision agriculture it is no exception, air temperature information can help in understanding the reasons for crop failure or success. As Figure 7 shows, air temperature at the vineyard oscillated between extremes; for example, on April 2nd (4/02), measured temperature reach 35°C during the day and it fell to almost 30°C the next morning. These conditions are important to note due to the possibility of frost conditions that might damage grapes on the vine.

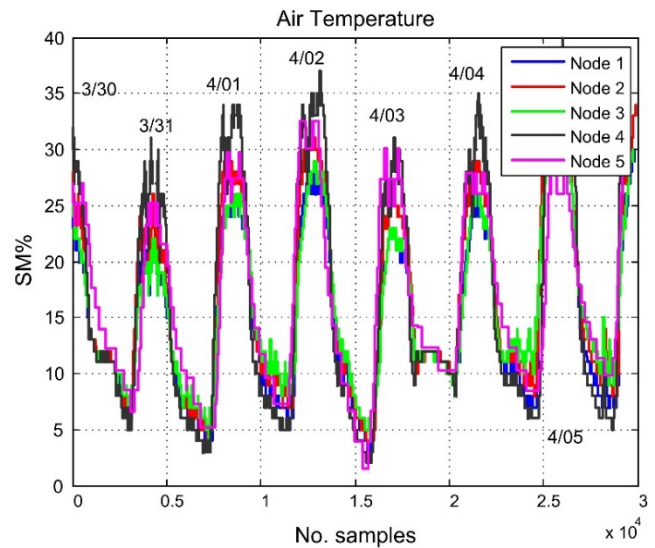


Figure 7. Air temperature measured by all the WSN nodes.

On the other hand, Figure 8 shows the measured vineyards air relative humidity, and although the Baja California wine country is near the Pacific Ocean (almost 30 Km away), during some nights humidity doesn't reach 100%. Also, the semi-arid conditions are evident in Figure 8 because daytime humidity kept below 40%, and on March 5th (4/05) RH reached below 20%, which is considered very dry air.

For long term operation, these WSN nodes were provisioned with solar panels to re-charge batteries. In Figure 9, typical voltage curves are shown that reflect the solar panel charging behavior. It is evident that the panels and batteries used are more than adequate, because voltage supply kept above the 12 VDC nominal level.

Soil or ground temperature is more stable then air temperature, this is apparent in Figure 10. In contrast with the air temperature plot, the measured soil temperature kept between 30°C maximum

temperature and 10°C minimum, while air temperature had a larger temperature deviation, as shown in previous Figure 7.

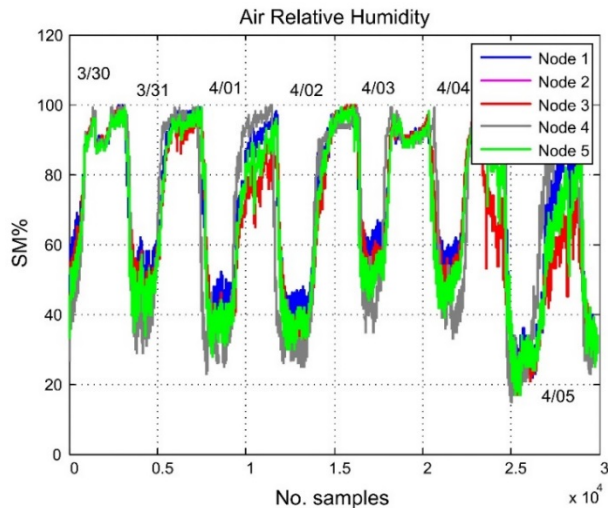


Figure 8. Air relative humidity, measure by all the WSN nodes.

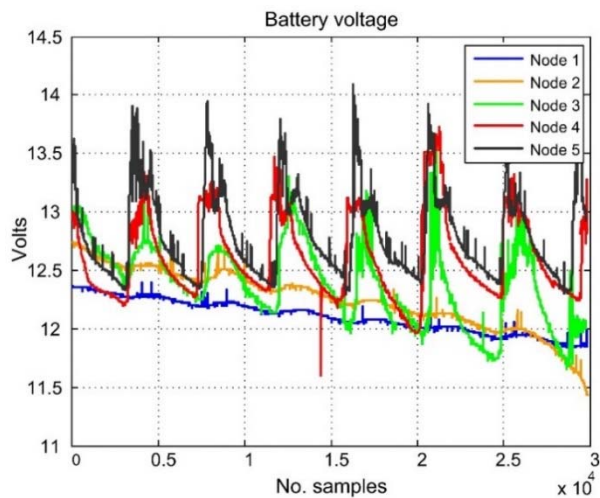


Figure 9. WSN node battery voltage as it charges with solar panels and it depletes during the day.

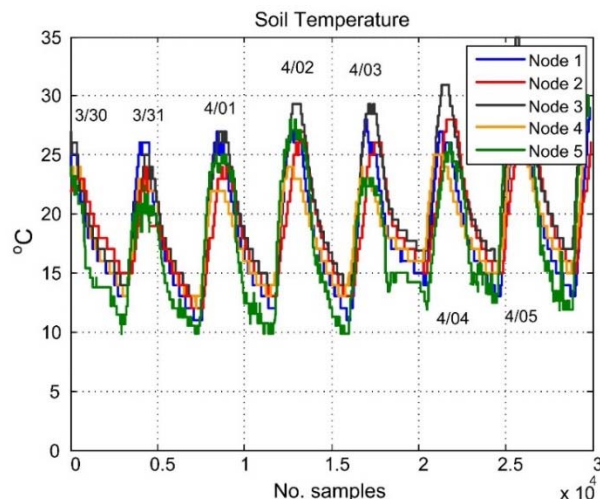


Figure 10. Soil temperature measured by all the WSN nodes.

Figure 11 shows the most important variable we set out to measure: soil moisture content. And it is the most important variable because it indicates the effectiveness of the vineyards drip irrigation system. Which for the moment at Quinta Monasterio is a manual operation. They use empirical scheduling for opening and closing the irrigation valves out on the field. Figure 11 illustrates SM measurements made by three WSN nodes, where EP node 3 measured less moisture variability compared to the others, at a 13.25% average, which is near the drip irrigations goal, which is to keep the SM at around 15%. Meanwhile, both EP nodes 1 and 2 measured a ampler SM content variation. After reviewing sensor node placement, EP node 3 was placed on the vineyards upper left corner (Figure 5), where the soil is slightly different, sandier, and on top of a 15° slope with regards to the rest of the vineyards surface.

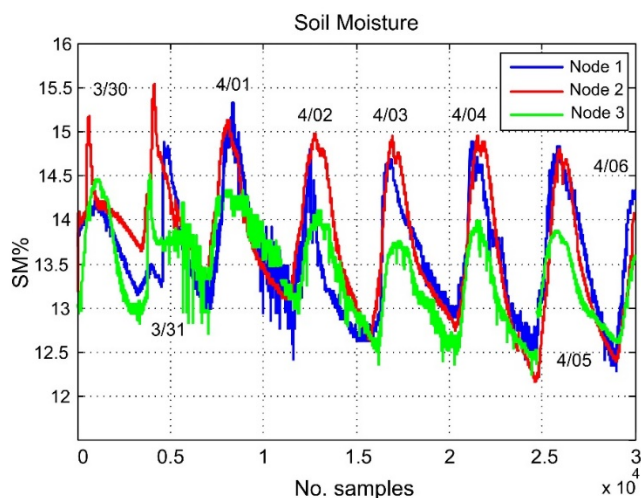


Figure 11. Soil moisture measured by three of the WSN nodes.

Common sense indicates that it is almost impossible to have uniform moisture levels all over a vineyards surface; especially if it is on a hill or slope, and if the soil is heterogeneous in nature.

5 Challenges and future work

In trying to keep a balanced soil moisture level in semi-arid conditions, many challenges arise that need to be met; such as (1) determining the type of irrigation system, (2) calculating the amount of water to be used per surface area, and (3) deploying an efficient irrigation schedule, so as to reduce water waste. From a business perspective, a cost-benefit analysis is necessary to determine if the investment justifies a full automated irrigation system, and the extent of the sensor coverage over a large cultivation area as well. It is pointless to install an instrumentation were it is not needed or where the measured variable does not represent a typical field observation point.

Future work involves deploying real-time evapotranspiration calculations, which can help Earth Science researchers in characterizing local soil percolation, and in recording the atmospheric evaporation process. These calculations also opens the possibility for a water optimizing approach, which could lead to an

expert system with an innovative combination of a time scheduled and state driven automated drip irrigation system,

6 Conclusions and final remarks

Informed decisions are taken only when there is available and timely information. Many Precision Agriculture deployments require data gathering processes, so as to ensure that the correct techniques are applied. Now, there is wide use of WSN for most any application, Precision Agriculture is no exception. In fact, WSN are at the heart of many smart farming technologies and trends.

In developing countries, smart farming may not be a plausible solution if cost is an issue. But if technologies are thought out in a way that less expensive hardware is deployed efficiently, while doing careful calibration, using inexpensive sensors could be the solution to enable large scale WSN deployments for smart vineyard management.

ACKNOWLEDGMENTS

We acknowledge and like to thank Reynaldo Rodríguez for letting us experiment on his property, he is the general manager and owner of Quinta Monasterio Winery, at El Porvenir, Valle de Guadalupe, Baja California, Mexico. Reynaldo is not just the owner of a Winery, he is currently working on various projects aimed at producing technology for wine fermentation and storage.

REFERENCES

[1] JEFFREY PETER MALINOWSKI. 2004. *Water Supply and Prospects in Baja California*. Master's Thesis. University of California at Davis.

[2] JOSUÉ MEDELLÍN-AZUARA, ET. AL. 2013. *Pre-Feasibility Assessment of a Water Fund for the Ensenada Region Infrastructure and Stakeholder Analyses*. The Nature Conservancy.

[3] EMANUELE BONAMENTE, ET. AL. 2015. *The Water Footprint of the Wine Industry: Implementation of an Assessment Methodology and Application to a Case Study*. Sustainability Open Access Journal. 12190-12208; doi:10.3390/su70912190.

[4] KATHRYN NEWHOUSE, ANGELA WAN, AND SARAH WIGHTMAN. 2014. *Lessons from the 2014 Drought: Water Conservation and California Vineyards*. Dow Sustainability Fellowship White Paper. University of Michigan School of Natural Resources and Environment.

[5] RODOLFO BONGIOVANNI, JAMES LOWENBERG-DEBOER G. 2004. *Precision Agriculture and Sustainability*. Journal Precision Agriculture. 5(4):359-387. DOI: 10.1023/B:PRAG.0000040806.39604.aa.

[6] SUNIL N. MORE AND MININATH NIGHOT. 2016. *A Review of Wireless Sensor Network for Agriculture*. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication. Volume: 4 Issue: 6. ISSN: 2321-8169. 53–913.

[7] RAHEELA SHAHZADI, ET. AL. 2016. *Internet of Things based Expert System for Smart Agriculture*. (IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 7, No. 9, 2016.

[8] L. BRILLANTE, O. MATHIEU, B. BOIS, C. VAN LEEUWEN, AND J. LÉVÊQUE. 2015. *The use of soil electrical resistivity to monitor plant and soil water relationships in vineyards*. SOIL, 1, 273–286, 2015. www.soil-journal.net/1/273/2015/. doi:10.5194/soil-1-273-2015.

[9] REBECCA SHORTT, ANNE VERHALLEN AND PAM FISHER. 2011. *Monitoring Soil Moisture to Improve Irrigation Decisions*. FactSheet Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. Ontario, Canada.

[10] D.E. MACKENZIE AND A.G. CHRISTY. 2005. *The role of soil chemistry in wine grape quality and sustainable soil management in vineyards*. Water Science and Technology. Vol. 51, No 1 pp 27–37.

[11] Yuei-An Liou and Sanjib Kumar Kar. *Evapotranspiration Estimation with Remote Sensing and Various Surface Energy Balance Algorithms—A Review*. Energies 2014, 7, 2821–2849; doi:10.3390/en7052821.

[12] Lincoln Zotarelli, Michael D. Dukes, Consuelo C. Romero, Kati W. Migliaccio, and Kelly T. Morgan. *Step by Step Calculation of the Penman-Monteith Evapotranspiration (FAO-56 Method)*. Document AE459 by the Agricultural and Biological Engineering Department, UF/IFAS Extension. Original publication date February 2010. Revised August 2015.

[13] Jordi PAscual-Ferrer and Lucila Candela. *Case Studies: Water balance on the Central Rift Valley*. Global Dimension in Engineering Education, 2015.

[14] Tamoghna Ojha, Sudip Misra, Narendra Singh Raghuvanshi. *Wireless sensor networks for agriculture. Computers and Electronics in Agriculture*. Volume 118 Issue C, October 2015. Pages 66-84.

[15] Jenna Burrell, Tim Brooke, and Richard Beckwith. *Vineyard Computing: Sensor Networks in Agricultural Production*. PERSASIVE Computing. January-March 2004. IEEE. 1536-1268/04

[16] Richard Beckwith, Dan Teibel, and Pat Bowen. *Report from the Field: Results from an Agricultural Wireless Sensor Network*. Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04).

[17] N. G. Shah, U. B. Desai, I. Das, S. N. Merchant and S. S. Yadav. *In-Field Wireless Sensor Network (WSN) for estimating evapotranspiration and leaf wetness*. International Agricultural Engineering Journal 2009, 18(3-4):43-51

[18] Joaquín Gutiérrez, Juan Francisco Villa-Medina, Alejandra Nieto-Garibay, and Miguel Ángel Porta-Gándara. *Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2013.

[19] Diofantos G. Hadjimitsis and Giorgos Papadavid. *Remote Sensing for Determining Evapotranspiration and Irrigation Demand for Annual Crops*. Remote Sensing of Environment: Integrated Approaches, Chapter 2. InTech Publishing, 2013.

[20] INTEL EDISON ARDUINO BOARD. 2017. <https://www.arduino.cc/en/ArduinoCertified/IntelEdison>. Last visit: 6/01/2017.

[21] INTEL CORP. 2017. *Get Started with the Intel® Edison Development Board on Windows* 64-bit*. <https://software.intel.com/en-us/get-started-edison-windows>. Last visit: 6/01/2017.

[22] DIGI INTERNATIONAL INC. 2009. *XBee®/XBee-PRO® RF Modules*. Product Manual v1.xEx - 802.15.4 Protocol.

[23] DIGI INTERNATIONAL INC. 2017. *XBee/XBee-PRO DigiMesh 2.4*. Radio Frequency (RF) Module User's Guide.

[24] ARDUINO. 2017. *X Arduino FIO board*. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardFio>. Last visit: 6/01/2017.

[25] SEEDSTUDIO. 2015. *Grove - Moisture Sensor*. http://www.mouser.com/ds/2/744/Seeed_101020008-838655.pdf. Last visit: 6/01/2017.

[26] SENSERION. 2011. *Datasheet SHT1x (SHT10, SHT11, SHT15). Humidity and Temperature Sensor IC*. https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/Sensirion_Humidity_SHT1x_Datasheet_V5.pdf. Last visit 6/01/2017.

Análisis de cobertura en VHF para red instalada del Club de Radio-experimentadores de Baja California

Eduardo Álvarez Guzmán
Ing. Electrónica, FCQI
UABC
Tijuana, México
ed_alvareg13@uabc.edu.mx

Victor Damián Pinilla Morán
Facultad de Ingeniería, C.U.
UNAM
Ciudad de México, México
xelvp@fmre.mx

Edith García Cárdenas
DECAT
Universidad Iberoamericana
Tijuana, México
egarcía@ibero.edu.mx

Juan Téllez
XE2SI
CREBC, Grupo Cimsa
Tijuana, México
xe2si@grupocimsa.com

María Jesús Ruiz Soto
Ing. Electrónica, FCQI
UABC
Tijuana, México
ruizm93@uabc.edu.mx

Abstract— Se presenta el análisis de cobertura para la red instalada por el Club de Radio Experimentadores de Baja California. El análisis de cobertura permite revisar la huella de propagación para las estaciones repetidoras del club, e identificar las zonas con capacidad de enlace a las estaciones repetidoras ya que las actividades de apoyo en casos de desastre natural, exige a sus miembros contar con la mejor cobertura dentro de la región, para cumplir con sus funciones de apoyo. El resultado ofrece un mapa que facilite los enlaces en casos de emergencia.

Keywords— Patrón de Cobertura, UHF, SIG

I. INTRODUCCIÓN

El 19 de Septiembre de 1985, la ciudad de México se vio sacudida por un sismo de 8.1 [1], en ese evento, la red primaria de Teléfonos de México (para entonces una paraestatal), colapsó, dejando a la ciudad incomunicada y sin conexión internacional, incluyendo la conectividad de acceso a las estaciones terrenas del sistema satelital del Morelos I [2]. Como respuesta, la liga nacional de Radio Experimentadores AC [3] (hoy conocida como la Federación Mexicana de Radio Experimentadores), se volcó a ofrecer servicios de enlace con otros puntos del país y del mundo, ofreciendo intercambio de información mediante la coordinación de la transmisión de mensajes. El 7, 8 y 19 de septiembre de 2017 México se vio afectado por sismos de magnitudes mayores a 7.0, varias ciudades del estado de Oaxaca, y diversas localidades del centro de la república, se vieron afectados, sufriendo el colapso de edificios, vías de acceso y servicios de telecomunicaciones. Los radio-experimentadores nuevamente prestaron servicios de enlace, siendo el caso más representativo, el relacionado con el caso de la Escuela Enrique Rébsamen. Los problemas de desastres naturales, impactan de manera importante al bienestar de la población en la zona afectada, y en ocasiones, se presenta una gran dificultad para hacer llegar la ayuda requerida a puntos en los que la conectividad o el acceso a servicios de telecomunicaciones se ha visto interrumpido. Los grupos de radio experimentadores, cumplen la función de apoyo en casos

de desastres naturales, y como parte de las funciones que realizan junto con su interés en su pasatiempo, se preparan continuamente para casos de emergencia, en consecuencia, algunos grupos preparan sus sistemas para no depender de la energía eléctrica, y dotar de movilidad a sus sistemas de radiofrecuencia. Sin embargo, la planificación de estos servicios, suele realizarse con base en la experiencia, o en la disponibilidad de espacios físicos que proveen los mismos radio-experimentadores, por lo cual en ocasiones no es necesariamente óptima la cobertura de los sistemas de radio experimentación. Tras años de trabajo y compromiso con su afición el CREBC (Club de Radio Experimentadores de Baja California) ha ido instalando infraestructura de apoyo para poder contar con enlaces de radio móviles. Las bandas que tradicionalmente emplean para éstas funciones se encuentra a título primario en el Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF) [4] entre los 1446 y los 148 MHz (considerado como Ultra Alta Frecuencia, también referido como UHF por sus siglas en inglés: *Ultra High Frequency*), de acuerdo con la NOM-EM-086-SCT1-1994 [5]. El distintivo del club es XE2BNC y se emplea como distintivo en transmisiones con lapsos de 1 hora. Uno de los compromisos del club, es ofrecer apoyo de comunicaciones en casos de emergencia. Las comunicaciones a través de onda corta (OC) no dependen de una instalación física de infraestructura, ya que emplean el espacio libre como medio de transmisión, y la coordinación para realizar esta actividad exige realizar ejercicios de simulacro, que se realizan a nivel nacional. Con visión previsor, el CREBC ha instalado una red de estaciones re-transmisoras, en un intento de mantener una cobertura en la mayor parte del territorio de Baja California con transmisores de corto alcance en la banda de UHF. Estas re-transmisoras emplean también el sistema *Winlink*, con el cual es posible intercambiar correo electrónico a través de enlaces de radio (suponiendo que el enlace por internet este disponible). Esta herramienta permite transmitir mensajes escritos, reduciendo problemas por la confusión que puede producir el mensaje hablado, al pasar entre distintos operadores de estaciones de radio, o por el efecto de degradación que el ruido puede tener sobre la señal recibida.

Agradecemos el apoyo del Club de Radio-Experimentadores de BC, AC.

II. ESCENARIO DE IMPLEMENTACIÓN

La orografía e la ciudad de Tijuana, que es donde se encuentra el CREBC, se encuentra en una zona geográfica con gran cantidad de cerros cañones, barrancas y arroyos, lo cual hace que la comunicación mediante ondas de radio, en la banda de UHF, encuentre dificultades para propagarse. Las señales en la banda UHF se propagan principalmente por línea de visibilidad directa (también referido como Línea de Vista, o conocido como LOS, por las siglas en inglés: *Line Of Sight*), por lo que la presencia de obstáculos en su dirección de propagación, impiden la transmisión eficiente de la señal. Dado que estas frecuencias no pueden aprovecharse de las capas ionosféricas en su proceso de propagación, su transmisión está limitada por el horizonte. Factores topográficos como montañas, valles, e incluso la curvatura de la tierra (en condiciones libres de obstáculos se estima que la distancia máxima del enlace se encuentra entre 48 y 64 km), limitarán el alcance del enlace. Estas características pueden aprovecharse mediante la estrategia de re-uso de frecuencia, y la instalación de estaciones repetidoras que superen la posición física del usuario, al colocarse a una altura mayor por encima de los obstáculos circundantes [6] la antena de la repetidora, puede alcanzar una mejor cobertura. Una ventaja adicional de la banda UHF es que es viable emplearla para enlaces locales, y deja libre las frecuencias con propagación ionosférica para su uso en enlaces de grandes distancias. Adicionalmente un alcance corto, permite reutilizar las frecuencias cada cierta distancia, por lo cual, es posible incrementar la cobertura en el terreno, a través de estaciones repetidoras, y al desarrollar una estrategia de reutilización de frecuencia, se puede incrementar la eficiencia del ancho de banda, al ser compartido por varios usuarios.

A. Modelo de propagación.

El análisis del patrón de radiación de las antenas, aunadas con el análisis de propagación de los haces, con el comportamiento del terreno, permite estimar la potencia recibida para los usuarios en distintas posiciones geográficas. Este ha sido un problema importante para la mayoría de los sistemas de telecomunicaciones inalámbricas. Afortunadamente se han desarrollado diversas herramientas que ofrecen la solución para el problema. Ejemplo de ello es el Modelo de propagación de haces de Longley-Rice, empleado como referencia de acuerdo a la recomendación ITU-R P1546 [7].

Este modelo, permite calcular la potencia recibida en función de diversos parámetros, como es la distancia, potencia, y efectos de dispersión y refracción, empleando el cálculo de la ecuación de Friss:

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2 L_{pol} L_r}{(4 \pi r)^2} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1),$$

donde P_r representa la potencia recibida, P_t la potencia transmitida G_t la ganancia de la antena transmisora, G_r la ganancia de la antena receptora, L_{pol} las pérdidas por diferencias o cambios de polarización L_r las pérdidas del receptor, r es la distancia entre el transmisor y el receptor, y λ la longitud de la onda. El modelo se considera válido para el intervalo de frecuencias de 40 MHz hasta 60 GHz, y aprovechan técnicas de óptica geométrica (particularmente el modelo de 2 haces con

reflexión en tierra), efecto de difracción por borde afilado, y l dispersión de campo lejano. El cálculo de estos parámetros se realiza normalmente con el apoyo de sistemas de cómputo, y existen diversos programas que resuelven los modelos como el de Longley-Rice, y que también nos ofrecen información relevante para cálculo. Dependiendo de la versión del algoritmo implementado, es posible determinar pérdidas a partir de la ecuación tradicional de pérdidas por espacio libre, expresada como:

$$FSL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(f) + 32.44 \quad [dB] \quad (2),$$

donde d corresponde a la distancia entre transmisor y receptor, y f la frecuencia de operación.

Esta expresión es relativamente simple, pues es posible interpretar la distancia como la operación de módulo 2 desde la posición en la que se encuentra la antena transmisora hasta la antena receptora. Esto se puede expresar también mediante la ecuación de dispersión en espacio libre, expresada como:

$$FSL = 20 \log_{10}((h_1 - h_2)^2 + d^2) + 20 \log_{10}(f) - 147 \quad [dB] \quad (3),$$

donde h_1 es la altura del transmisor y h_2 la altura del receptor. Estas herramientas ya se han compilado en sistemas como el denominado *SPLAT!*[8] o el *RadioMobile*[9], que nos ofrecen la posibilidad de estimar el efecto de la transmisión a frecuencias específicas y ambos son usados en diversos trabajos de análisis de propagación de radiofrecuencia [10]. El uso de las herramientas de cálculo de propagación, permite estimar entonces las regiones en las que es más probable recibir las señales transmitidas, y determinar con cierto grado de certidumbre las zonas en las que el enlace se ve afectado por obstáculos, o con niveles de atenuación que reducen la confiabilidad. El conoce esta información, permite a los usuarios establecer criterios de acciones que impacten de manera favorable el enlace, ya sea cambiando de posición, estableciendo enlaces con otros radio experimentadores, o planificando nuevas estaciones retransmisoras para mejorar la cobertura requerida en casos de emergencias.

B. Modelo topográfico.

Los datos necesarios para determinar la propagación, incluyen la curvatura de la tierra y los obstáculos presentes; sin embargo, poco permiten identificar si no se cuenta con las alturas correspondientes del terreno. La información correspondiente se puede obtener a través de los datos recabados por el radar de apertura sintética [8] en los experimentos desarrollados por el transbordador espacial (*Shuttle Radar Topography Mission*) que en su versión 1 alcanza una resolución de hasta 30 metros, y en su versión 3 una resolución de alrededor de 90 metros. El mapa de baja california, puede asociarse con los parámetros de altura obtenidos mediante el radar de apertura sintética y dado que los datos topográficos se encuentran asociados a coordenada geográficas, es posible incluir en el mapa de relieve información pertinente, referente a marcadores geográficos conocidos por los habitantes de la región, así como marcadores correspondientes a ciudades o concentraciones de población. ¡El programa *SPLAT!* [9], permite generar mapas que pueden vincularse con los sistemas de *Google Maps*, mediante mapas con formato klm, tal que pueden agregarse otros detalles geográficos disponibles en esta plataforma. Para

el presente documento, se emplea únicamente el formato de relieve, junto con marcadores adicionales para la descripción del terreno. En caso necesario, es posible incluir marcadores para los puntos donde se establezcan bases de operación en caso de apoyo en situaciones de emergencia.

III. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la simulación propuesta, se consideran los parámetros típicos para el tipo de terreno de la región, las antenas receptoras se proponen a una altura de aproximadamente 2 metros de altura (suponiendo el caso de antenas montadas en unidades móviles, como automóviles de los radio experimentadores), y se trabaja para la frecuencia de 146,065 Mhz. El resultado se muestra en la figura 1. Como se puede apreciar, el trabajo desarrollado hasta la fecha muestra una cobertura del terreno, que permitiría en caso de emergencias, dar apoyo a todo el terreno de la zona de Tijuana. Para el presente mapa, no se ha contemplado incluir otras estaciones retransmisoras administradas por otros radio experimentadores, sin embargo, ofrece la posibilidad de establecer criterios de cobertura para la instalación de otras estaciones terrenas. Es notorio cómo algunas cañadas y montañas no permiten una recepción de la señal; de modo que al contar con un mapa de cobertura, aquellos radio experimentadores que se encuentran en las zonas sin cobertura, pueden identificar la región más cercana, o de más fácil acceso, que permitiría establecer el enlace, o la instalación de una segunda repetidora portátil, para dotar a esas zonas con una cobertura de comunicación. La experiencia de los integrantes del Radioclub reporta que la cobertura mostrada en la simulación es similar a la observada en las distintas coordenadas físicas en las que han realizado enlaces a través de las repetidoras desde sus unidades móviles. Las zonas que no muestran color en el mapa, se encuentran sin cobertura, y es necesario superar o rodear el obstáculo para asegurar el enlace, o bien colocarse en una

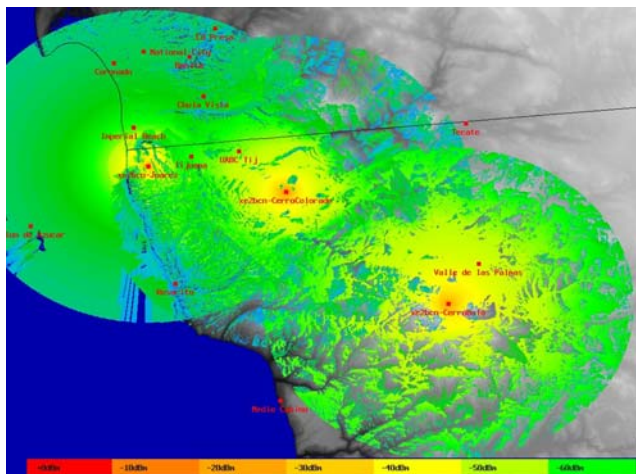


Fig. 1. Mapa de cobertura de estaciones repetidoras del CREBC en la zona de Tijuana.

coordenada geográfica en la cual se obtenga cobertura de la estación repetidora

IV. CONCLUSIONES

Se observa que si bien el mapa de cobertura obtenido por la simulación, no es perfecto, permite contar con un criterio de selección o ubicación para encontrar las posiciones geográficas más cercanas para alcanzar la cobertura de las estaciones repetidoras del club de radio experimentadores de Tijuana. La posibilidad de identificar zonas de cobertura, potencializa la capacidad de respuesta de los radio- experimentadores, en las condiciones de desastres naturales, o para apoyo en casos de emergencia, en los que resulta valiosa la participación de la sociedad de radio experimentadores. El sistema de repetidoras, permite ofrecer en la zona de Tijuana, una cobertura considerable, y el patrón de cobertura aproximado, probablemente pueda optimizarse mediante el uso de antenas con diferentes patrones de radiación. Estos parámetros, al estar disponibles para el sistema de protección civil, pueden permitir correlacionar datos con los mapas de riesgo y asegurar el acceso de comunicaciones en casos de emergencia dentro de la zona en estudio.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la participación e información del Club de Radio Experimentadores de Tijuana (CREBC).

REFERENCIAS

- [1] Instituto de Geofísica en colaboración con el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (25 de septiembre de 1985). Informe y evaluación preliminar del sismo del 19 de septiembre de 1985. Archivado desde el original el 5 de junio de 2012. Consultado el 27 de Diciembre de 2017.
- [2] Carlos Tomasini. La tecnología y el sismo de 1985 Unocero noticias, disponible en: <https://www.unocero.com/noticias/la-tecnologia-y-el-sismo-de-1985>, Consultado el 20 de Diciembre de 2017.
- [3] FMRE La Radioafición mexicana en la nueva Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión. Disponible en: <http://www.fmre.org.mx/participacion.html>.
- [4] IFT, acuerdo mediante el cual el pleno del instituto federal de telecomunicaciones modifica el programa anual de uso y aprovechamiento de bandas de frecuencias 2017, DOF - Diario Oficial de la Federación, 03-mar-2017. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5475274&fecha=03/03/2017. [Consultado: 13-dic-2017].
- [5] SCT, NORMA Oficial Mexicana Emergente NOM-EM-086-SCT1- 1994, Estaciones del servicio de aficionados, DOF - Diario Oficial de la Federación, 15-dic-1994. [En línea]. Disponible en: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4776600&fecha=15/12/1994. [Consultado: 13-dic-2017].
- [6] R. L. Freeman, Radio System Design for Telecommunication, 3rd Edition. Wiley-IEEE Press, 2007.
- [7] UIT Métodos de predicción de punto a zona para servicios terrenales en la gama de frecuencias de 20 a 3000 MHz Recomendación UIT- R P1546, (09/2013), Serie P. Disponible en [https://www.itu.int/rec/R- REC-P.1546-5-201309-I/es](https://www.itu.int/rec/R-REC-P.1546-5-201309-I/es) [Consultado: 8/01/2018].
- [8] J. A. Magliacane, SPLAT! A Terrestrial RF Path Analysis Application For Linux/Unix, 2008, <http://www.qml.net/kd2bd/splat.html>
- [9] R, Coude, *RadioMobile*, July 2010, <http://www.cplus.org/rmw/english>

Estrategias para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas de seguridad en una empresa fundidora de la comarca lagunera

Dra. Sara María Velázquez Reyes
Departamento de Posgrado e Investigación
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México
saravelazquezreyes@gmail.com

M.C. María Cristina García Carrillo
Departamento de Posgrado e Investigación
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México
mc_garciac@hotmail.com

M.I.I. Benigno Landeros Arenas
Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México
beniland13@hotmail.com

M. en C. Pantaleona Campa Núñez
Departamento de Ingeniería Química
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México
pc_995@hotmail.com

Ing. Salvador Fuentes Jiménez
Estudiante de la Maestría en Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coah. México
salvadorfava@hotmail.com

Resumen— En 1979 se creó la Fundidora Especializada del Nazas, S.A. de C.V. (FENSA), en el ramo de la industria metal mecánica. Es una empresa familiar, cien por ciento lagunera, en donde laboran 80 personas, por lo que es considerada PYME de acuerdo al INEGI [5]. FENSA, se distingue por elaborar piezas que difícilmente otra fundición puede fabricar, su objetivo es ser líderes en la fabricación de piezas de gran tamaño y aleaciones especiales con excelente calidad, lo que le ha permitido ser un proveedor confiable para empresas nacionales e internacionales. Su ubicación en el Parque Industrial de la ciudad de Gómez Palacio, Dgo. ha sido estratégica para poder surtir a sus clientes. La empresa está enfocada a los sectores: Metalúrgico, minero, construcción y partes para equipo de bombeo. Así como atender pedidos de todo tipo de fundiciones ferrosas, bajo especificaciones internacionales o las proporcionadas por el cliente a nivel regional, nacional e internacional. El presente proyecto llevado al cabo en FENSA consiste en el desarrollo de estrategias para la implementación de un enfoque sistémico de seguridad, debido a que no se cuenta con un programa eficiente de seguridad en la empresa.

Palabras clave— *estrategias, normas oficiales mexicanas, seguridad.*

I. INTRODUCCIÓN

Se reconoce que de acuerdo a [1], la prevención de los factores de riesgo ocupacionales es la base para una gestión activa de la seguridad y salud en el trabajo por lo tanto toda empresa debe planificar acciones preventivas a partir de la identificación de los riesgos, evaluarlos y controlarlos, para no

afectar la integridad del trabajador y los recursos materiales de la misma empresa.

La gestión de seguridad y salud, ayuda a la empresa a prevenir los accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, de factores que interfieren en el desarrollo normal de las actividades de la empresa.

FENSA se ha planteado la iniciativa de establecer un sistema de gestión de seguridad que le permita establecer planes permanentes de mejora en sus procesos, así como adoptar una adecuada filosofía de seguridad, situación de la que no dispone actualmente. Para lo cual en este proyecto se realizó un diagnóstico para determinar las condiciones de seguridad de trabajo en la empresa de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas de la STPS.

Posteriormente se aplicaron herramientas de ponderación y análisis, con la información obtenida se elaboraron estrategias para la implementación de un enfoque sistémico de gestión en seguridad en FENSA.

De acuerdo a la Ley Federal del Trabajo[6], en su artículo 132, fracción XVI, consigna la obligación del patrón de instalar y operar las fábricas, talleres, oficinas, locales y demás lugares en que deban ejecutarse las labores, de acuerdo con las disposiciones establecidas en el reglamento y las normas oficiales mexicanas en materia de seguridad, salud y medio ambiente de trabajo, a efecto de prevenir accidentes y enfermedades laborales, así como de adoptar las medidas preventivas y correctivas que determine la autoridad laboral.

El Reglamento Federal de Seguridad y Salud en el Trabajo establece en su artículo 10 la facultad de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social para expedir Normas con fundamento en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su reglamento, la Ley Federal del Trabajo y el presente Reglamento, con el propósito de establecer disposiciones en materia de seguridad y salud en el trabajo que eviten riesgos que pongan en peligro la vida, integridad física o salud de los trabajadores, y cambios adversos y sustanciales en el ambiente laboral, que afecten o puedan afectar la seguridad o salud de los trabajadores o provocar daños a las instalaciones, maquinaria, equipos y materiales del centro de trabajo.

Las normas oficiales mexicanas que emite la Secretaría del Trabajo y Previsión Social determinan las condiciones mínimas necesarias para la prevención de riesgos de trabajo y se caracterizan por que se destinan a la atención de factores de riesgo, a los que pueden estar expuestos los trabajadores.

II. METODOLOGÍA

A. Investigación documental

1. Fue recopilada información para el marco teórico de este trabajo en relación con la seguridad e higiene industrial, sistemas de gestión de seguridad, evaluación de riesgos, referencia legal de la seguridad en México, Normas Oficiales Mexicanas.
2. Se consultó sobre cómo realizar un análisis FODA.
3. Se investigó cómo realizar un diagrama de Pareto (80, 20)
4. Se investigó cómo realizar un diagrama de Ishikawa (método de las 6 M's)
5. Se consultó sobre el análisis de condiciones inseguras en los centros de trabajo.
6. Fueron consultadas las publicaciones y actualizaciones de las Normas Oficiales Mexicanas que aplican en el centro de trabajo de estudio.
7. Se llevó a cabo el análisis de condiciones inseguras en los centros de trabajo operativo de la Fundidora Especializada del Nazas.

B. Fase de Reconocimiento

Determinación de los actos inseguros y las condiciones inseguras que pueden provocar accidentes de trabajo.

Como se menciona en [2], los daños causados por los accidentes de trabajo pueden afectar de manera directa al trabajador en su integridad física y económica. La investigación de accidentes de trabajo nos ayudará a determinar las causas que los ocasionan y proponer medidas para prevenir su recurrencia.

Una ventaja que tiene este trabajo es que se podrá realizar la investigación de accidentes de manera inmediata con la finalidad de obtener información más precisa y confiable de

las causas que originaron el accidente y observar los procedimientos administrativos que sigue FENSA.

En lo que se pudo observar es que al momento de que ocurre un accidente es reportado inmediatamente al departamento de seguridad, donde lo que hacen es ir rápidamente a donde se suscitó el accidente para comprobar la severidad del percance, lo siguiente es verificar la salud del trabajador accidentado, para esto se le llama al servicio médico de primeros auxilios en este caso a la empresa AR MÉDICA los cuales valoran al trabajador accidentado curan y estabilizan, ellos determinan si es necesario que vaya a la clínica del seguro social que le corresponda para que le hagan un chequeo más a fondo de ser necesario.

C. Fase de Evaluación

Con relación al análisis de la información y las observaciones realizadas para el caso de estudio, se detectaron actos inseguros y condiciones inseguras en las áreas operativas de la empresa.

En las áreas administrativas no se realizaron análisis esto debido a que el número de accidentes en esas áreas son mínimos y ligeros.

Se inició con lo que se observó durante los recorridos realizados en la planta, donde se detectaron condiciones inseguras en las instalaciones de FENSA, así como actos inseguros que se visualizaron cuando los trabajadores realizaban sus actividades de trabajo.

Para poder analizar a detalle se estratificó por áreas de trabajo con las cuales se cuentan:

- Moldeo
- Carpintería
- Fusión
- Tratamiento térmico
- Soldadura y corte
- Maquinado
- Mantenimiento

En los talleres se observaron diversas anomalías, fallas y omisiones de obligaciones que marcan puntos específicos de la Norma Oficial Mexicana (NOM) correspondiente como se muestran en las tablas.

De acuerdo a [4], las técnicas de la metodología de investigación en la cual se basó para realización son: análisis de la investigación documental y de campo. En la investigación de campo fueron utilizadas como herramientas de apoyo la entrevista a los trabajadores, la observación directa en la forma en que los trabajadores ejecutan las tareas encomendadas y en las condiciones físicas en las que se encuentran las instalaciones del área de estudio.

En dicha investigación fueron realizadas diversas anotaciones en cuanto a los actos inseguros y condiciones inseguras observadas. Las cuales se explicarán a detalle, los pasos más sobresalientes a seguir en la metodología de investigación se describen a continuación:

III. DESARROLLO

A. Investigación de campo

1. Fueron aplicadas entrevistas a los trabajadores con relación a las causas que pensaban que originaban los accidentes de trabajo y las consecuencias que consideraban que existe a sufrir un accidente.

2. Se realizó el análisis FODA de FENSA.

3. Se revisó el historial de accidentes de la empresa, para después realizar los diagramas de Pareto e Ishikawa, para determinar cuáles tipos de accidentes y en qué áreas de trabajo se estaban presentando.

4. Se realizaron los análisis de riesgo potencial de las áreas de soldadura y corte, hornos de fusión, tornos, cubilote, sierra carpintería, hornos de tratamiento térmico, recuperadora y molinos de arena.

5. Así también se realizaron los instructivos de operación de esas áreas enfocados a la seguridad.

6. Lo anterior, fue verificado mediante la observación directa de los trabajadores durante la ejecución de sus tareas en su área de trabajo.

7. También se realizó la observación directa a las instalaciones de FENSA.

8. Se realizó la revisión de la situación actual de la empresa ante los requerimientos de las normas oficiales mexicanas en cuestión de seguridad.

9. Como en las normas oficiales marca que se debe contar con los programas de mantenimiento se hizo la revisión para ver si estaban completos.

B. Aplicación de herramientas

Lo primero que se hizo fue realizar el análisis FODA de la empresa, ver Tabla 1, donde se detectaron las fortalezas que tenía la empresa las cuales son las que se tienen que mantener, se detectaron las debilidades que tiene la empresa, detectando las debilidades se procedió a ver las áreas de oportunidad que la empresa puede aplicar para convertir esas debilidades detectadas en fortalezas, por último se detectaron las amenazas las cuales son todos los factores externos a la empresa que la pueden afectar de forma negativa a la empresa.

TABLA 1. FODA de FENSA

FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> - Líderes en el mercado nacional e internacional - Buena ubicación - Buena calidad del producto - Apoyo de la gerencia con recursos - Cumplimiento con las normas internacionales en gestión de calidad - Firmas de contratos de manufactura con multinacionales - Personal capacitado - Proactividad en la gestión - Conocimiento del mercado - Procesos de calidad - Recursos humanos con buena motivación - Producto posicionado en el mercado - Servicio privado de emergencias (AR) 	<ul style="list-style-type: none"> - Incorporar el uso de nuevos equipos - Capacitar a los trabajadores en cuestión de seguridad - Cubrir los puntos faltantes de las normas de seguridad - Implementación, verificación y auditorías en los procesos claves de la empresa en cuanto a su interacción con el sistema de gestión de Seguridad - Actualizar el archivo de los programas de mantenimiento de las máquinas. - Crear área de servicio médico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinaria obsoleta (carpintería) - Maquinaria sin mantenimiento - Maquinaria sin guardas de seguridad - Incumplimiento con algunos puntos de las normas - Falta capacitación del personal en cuestión de seguridad - Falta de seguimiento y evaluación del desempeño - Poco espacio entre áreas (soldadura y tratamiento térmico) - Falta de seguimiento protección civil en programa contra incendios. - Falta de divulgación de seguridad y salud ocupacional - Falta de señalización en algunas áreas. - Falta de coordinación del personal en algunas áreas - Lesiones, accidentes por la falta de ergonomía 	<ul style="list-style-type: none"> - Conflictos laborales - Cambios legislativos - Aumento en el precio de materias primas - Sanciones o multas por el incumplimiento con las normas de seguridad - Alta rotación del personal - Competencia global - Siniestros - Contingencias ambientales - Paridad cambiaria

Una vez realizado el análisis FODA se elaboró el diagrama de Pareto e Ishikawa para priorizar los problemas.



Fig. 1. Diagrama de Pareto

De acuerdo con los resultados del diagrama Pareto el porcentaje de impacto de cada uno de los incumplimientos de las normas de seguridad se presentan en la Tabla 2.

TABLA 2. Porcentaje del impacto de incumplimiento

NORMA	% DE IMPACTO DE INCUMPLIMIENTO
NOM-001-STPS. Edificios, locales e instalaciones	19
NOM-027-STPS. Soldadura y corte	19
NOM-004-STPS. Sistemas y dispositivos de seguridad	14
NOM-020-STPS. Recipientes sujetos a precisión, criogénicos y generadores de vapor y calderas.	14
NOM-002-STPS. Prevención y protección contra incendios	10
NOM-022-STPS-2015 Electricidad estática, selección, uso y manejo en los centros de trabajo	10
NOM-029-STPS-2011 Mantenimiento de instalaciones eléctricas	10
NOM-005-STPS-1998. Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas.	4
TOTAL	100%

De las debilidades encontradas en FENSA, se realizaron análisis mediante el diagrama de Ishikawa, el cual se muestra en la Figura 2.

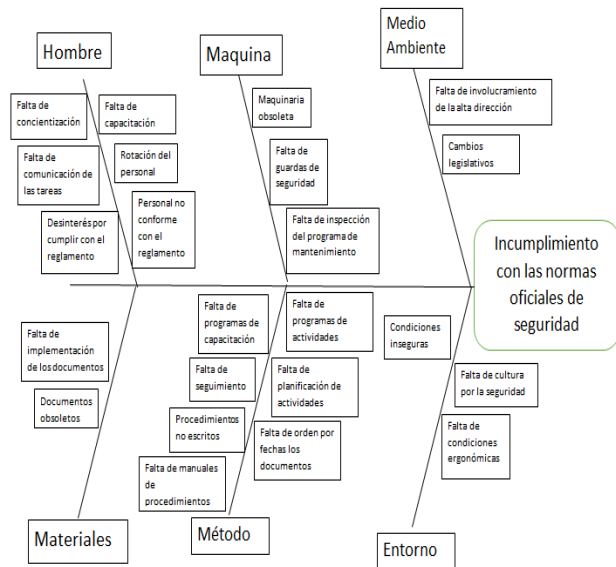


Fig. 2. Diagrama de Ishikawa de incumplimiento de las normas

Posteriormente se realizó un análisis de la situación actual de la FENSA de cómo está en relación con lo que pide las Normas Oficiales Mexicanas.

Para realizar este análisis lo que se hizo fue una lista de verificación de los requerimientos que piden las Normas Oficiales Mexicanas, mencionadas en [6], ver Tabla 3. De esta forma se tiene un mayor panorama para ver con que es lo que está cumpliendo y que es lo que les está faltando por cumplir de cada una de las normas que aplican a la empresa FENSA.

TABLA 3. Verificación de cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas

NOMBRE DE LA NORMA	NÚMERO DE OBSERVACIONES
NOM-001-STPS-1999. Edificios, locales e instalaciones.	4 no conformidades
NOM-002-STPS-2000. Prevención y protección contra incendios.	2 no conformidades
NOM-004-STPS-1999. Sistemas y dispositivos de seguridad en maquinaria.	3 no conformidades
NOM-005-STPS-1998. Manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas.	Una no conformidad
NOM-006-STPS-2000. manejo y almacenamiento de materiales.	Se cumplen con todas las conformidades
NOM-009-STPS-2011. Trabajos de altura.	Se cumplen con todas las conformidades
NOM-017-STPS-2001. Equipo de protección personal.	Se cumplen con todas las conformidades
NOM-020-STPS-2011. Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o caldera	3 no conformidades
NOM-022-STPS-2015. Electricidad estática, selección, uso y manejo en los centros de trabajo	2 no conformidades
NOM-027-STPS-2008. Soldadura y corte	4 no conformidades
NOM-029-STPS-2011. Mantenimiento de instalaciones eléctricas	2 no conformidades

IV. ESTRATEGIAS PROPUESTAS PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NOM DE LA STPS

A. Estrategias para lograr un enfoque sistémico

Las no conformidades a las normas se tienen que atender para eliminar o reducir los riesgos, en la Tabla 4 se enlistan las estrategias y los objetivos que se pretenden lograr para cumplir con las NOM de la STPS.

TABLA 4. Estrategia y objetivos para el cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas

ESTRATEGIA	OBJETIVO
Aplicación de las 5 S's en todas las áreas de la empresa.	Mantener en condición de orden y limpieza las áreas de trabajo
Elaboración de un procedimiento para eliminar los obstáculos y riesgos para trabajar en alturas	Eliminar los obstáculos en los pasillos de tránsito peatonal en todas las áreas de trabajo, de tal manera que permita el tránsito seguro
Elaboración de un programa de mantenimiento para conservar la delimitación de los pasillos de tránsito peatonal y/o vehicular	Delimitar las áreas de riesgo mediante franjas amarillas de 5 cm. de ancho, a fin de permitir la libre circulación (peatonal y vehicular), para que se prevengan accidentes y hacer cumplir que las respeten todos los trabajadores y operadores con transporte
Programación de una revisión cada 15 días por parte de mantenimiento a la estructura del horno de fusión	Mantener en condiciones de seguridad el techo, paredes, columnas y estructuras, para prevenir algún accidente
Revisión semanal de los extintores	Mantener libre de obstáculos el acceso a los extintores instalados y que se encuentren en su área designada
Instalación de las protecciones necesarias a los elementos móviles de la maquinaria y equipo	Instalar protecciones de seguridad que resguarde a las partes en movimiento de la maquinaria y equipo
Revisión semanal del botiquín que cuente con el material necesario	Abastecer de material médico de primeros auxilios a los botiquines
Colocación de las puertas de los gabinetes eléctricos	Colocar portacandados de seguridad para el bloqueo de energía en los tableros y controles eléctricos de la maquinaria y equipo, para evitar mal uso y accidentes
Acondicionamiento de área específica para el almacenamiento de sustancias peligrosas	Poner un sistema de ventilación en el área donde se almacenan las sustancias inflamables
Elaboración de un inventario actualizado de los equipos que se encuentran instalados en el centro de trabajo	Generar un expediente de cada equipo para su control y mantenimiento
Elaboración del manual con los procedimientos de operación, revisión y mantenimiento de los equipos, en idioma español	Elaborar una bitácora de cada maquinaria y equipo, para su mantenimiento y conservación
Capacitación del personal en cursos de riesgos eléctricos	Elaborar el documento que acredite que se informa a todos los trabajadores y la comisión de seguridad e higiene sobre los riesgos que representa el contacto con la electricidad y la manera de evitarlos.
Elaboración de los procedimientos de seguridad que deben ser aplicados por los trabajadores	Analizar riesgos potenciales para las actividades de soldadura y corte que se desarrollen en el centro de trabajo
Elaboración de un acuerdo con AR para que cada año se les realice un chequeo médico a los trabajadores	Prevenir enfermedades propias de la empresa fundidora

CONCLUSIONES

El diagnóstico presenta las no conformidades que la empresa FENSA tiene que cubrir, por lo que se les presentaron estrategias para poder convertirlas en conformidades y estar al corriente con las Normas vigentes de la STPS. La empresa FENSA está en la mejor disposición de que se lleven a cabo, para lo cual se han hecho reuniones con todos los involucrados para que se apliquen y lograr que se tenga un enfoque sistémico de seguridad en toda la empresa.

Se recomienda que se implementen las estrategias y se vuelva a hacer una medición para verificar que los porcentajes de cada una de las no conformidades fueron reducidos o eliminados. De igual manera, darles seguimiento a las normas que ya se están cumpliendo.

AGRADECIMIENTO

El presente proyecto ha sido financiado en un 85% por el Tecnológico Nacional de México (TNdeM), en su programa de Convocatoria de Apoyo a Proyectos de Investigación 2017 y en un 15% por la empresa Fundidora Especializada del Nazas, S.A. de C.V. (FENSA)

REFERENCIAS

[1] Asfahl, C. Jay “*Seguridad Industrial y salud*” cuarta edición. Editorial: Pearson Educación.

[2] Falagán Rojo, M.J., et.al. “*Manual Básico de prevención de riesgos laborales: Higiene Industrial, Seguridad y Ergonomía*”.

[3] Grimaldy y Simons “*La Seguridad Industrial su administración*” Editorial: Alfaomega

[4] Hernández Sampieri, Roberto, et.al. “*Metodología de la Investigación*” Editorial: Mc Graw Hill

[5] INEGI “Micro, pequeña y mediana empresa” Disponible en:
http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2009/pdf/M_PYMES.pdf

[6] STPS. Secretaría del Trabajo y Prevención Social. “*Marco normativo de seguridad y salud en el trabajo*” Disponible en:
<http://asinom.stps.gob.mx:8145/Centro/CentroMarcoNormativo.aspx>

Elaboración de una matriz de impacto ambiental en la Fundidora Especializada del Nazas S.A. de C.V.

Una experiencia organizacional

M.C. María Cristina García Carrillo	Dra. Sara María Velázquez Reyes	Ing. Víctor Manuel Chiw Landeros	M.I.I. Benigno Landeros Arenas
Departamento de Posgrado e Investigación	Departamento de Posgrado e Investigación	Alumno de la Maestría en Ingeniería Industrial	Departamento de Ingeniería Industrial
Instituto Tecnológico de la Laguna	Instituto Tecnológico de la Laguna	Instituto Tecnológico de la Laguna	Instituto Tecnológico de la Laguna
Torreón, Coahuila, México mc_garciac@hotmail.com	Torreón, Coahuila, México saravelazquezreyes@gmail.com	Torreón, Coahuila, México victorchiw_landeros@gmail.com	Torreón, Coahuila, México Beniland13@hotmail.com

Resumen— FENSA es una organización del giro metal mecánico ubicada en la ciudad de Gómez Palacio, Durango, que se distingue por elaborar piezas de aleaciones especiales de alta calidad para los sectores metalúrgico, minero, construcción y partes para equipo de bombeo. Para mejorar su competitividad, ha visualizado una gran oportunidad de mejora en su programa de medio ambiente.

La regulación ambiental en las organizaciones se está convirtiendo en uno de los aspectos centrales de la agenda industrial, y para las organizaciones implica la capacidad de prevenir y corregir las contingencias ambientales sin convertirse en una carga que ahuyente a los inversionistas y sin frenar el desarrollo industrial y económico. [1]

El artículo presenta una metodología para realizar una matriz de impacto ambiental enfocada a concientizar a los trabajadores para que ellos mismos encuentren los impactos ambientales generados por las actividades que practican. Dicha metodología involucra documentar los impactos ambientales mediante el método de Informe Preventivo de SEMARNAT, la preparación de material didáctico, una reunión para informar a los trabajadores implicados, una actividad entre los mismos para interrelacionar los impactos ambientales con las actividades de la empresa y la emisión de los resultados y recomendaciones.

Palabras clave — *matriz de impacto ambiental, conciencia ambiental en la gerencia, herramientas de calidad.*

I. INTRODUCCIÓN

La Evaluación del Impacto Ambiental por Informe Preventivo es el mecanismo previsto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) mediante el cual la autoridad establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o que puedan rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para

proteger el ambiente, con el objetivo de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre los ecosistemas. [2][3][4] La Evaluación de Impacto Ambiental llevada a cabo en la empresa Fundidora Especializada del Nazas S.A. de C.V. fue realizado con el propósito de proteger el ambiente y obtener un conjunto de ventajas competitivas que se pueden observar en la concertación de las inversiones y los costos de las obras, en un diseño integrado al medio ambiente y en una aceptación de la empresa ante sus partes interesadas.

El artículo trata cómo a partir de un estudio de impacto ambiental realizado en una empresa fundidora, y cuyos resultados tienen como objetivo que el personal identifique y evalúe el impacto al medio ambiente derivado de las emisiones que generan las actividades propias de operación, permitan a la Alta Dirección analizar diversas estrategias necesarias para minimizar dichos impactos. Una de las estrategias consistió en la aplicación de una metodología propuesta por Leopold (1971), que consiste en la aplicación de una matriz de interrelación y cuyas ventajas son que no requiere de medios sofisticados para aplicarla, presenta un barrido muy completo del proyecto y el medio receptor, su uso es sencillo, y además proporciona información para determinar las acciones necesarias que permitan mitigar el impacto al ambiente. [5][6]

II. METODOLOGÍA

La metodología utilizada en el presente estudio se muestra en la Fig. 1, la cual inicia con la elaboración del documento “Evaluación de Impacto Ambiental”, que en el caso de FENSA se utilizó el Informe Preventivo previsto en el Art. 31 de la LGEEPA. Después es preciso preparar Material de exposición para la Junta de Informe de la Evaluación Ambiental, una vez que termine la exposición el personal procederá a elaborar una matriz de impacto ambiental del área que tengan a cargo o que les sea afín, al finalizar entregarán sus resultados para ser evaluados y el consultor que aplica la actividad emitirá las recomendaciones.



Fig. 1. Metodología de la Investigación

III. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Como parte de su mejora continua, FENSA inició una serie de estudios de laboratorio para medir sus emisiones, descargas y disposiciones de residuos. Una vez que se obtuvieron esos resultados, se procedió a documentarlos y utilizarlos para realizar su evaluación de impacto ambiental y obtener información para mejorar su desempeño ambiental.

Una buena forma de hacer frente al problema es que todos los involucrados deben de participar y emitir sus propias soluciones. Por ello es vital, que todos los trabajadores tengan el mismo planteamiento del problema y puedan priorizar los asuntos más urgentes, por lo que es conveniente el trabajo en equipo y hacer un espacio para que cada quién dé su comentario sobre cada situación específica y todos juntos puedan llegar a un consenso.

IV. APLICACIÓN

A. Elaboración de una Evaluación de Impacto Ambiental.

En una evaluación ambiental realizada por un consultor se colocan los siguientes requisitos: 1) los datos generales del proyecto, de la empresa y el responsable del informe, 2) la legislación y normatividad aplicable, 3) los aspectos técnicos y ambientales, como: la localización, dimensiones y características del proyecto, el uso de suelo, la descripción detallada del proceso y su ciclo de vida, la identificación de las sustancias empleadas, los estudios de descargas de agua, emisiones a la atmósfera y residuos, así como ruido y el gasto de energía, etc., 4) elegir un método para evaluar el impacto ambiental, como por ejemplo: las matrices de Leopold o de cribado, el diagrama de flujo, la lista de control, el método de superposición y de Batelle-Columbus, entre otros. En los siguientes pasos se trabajará con la matriz de Leopold, y 5) preparar posibles medidas correctivas y preventivas para aminorar o corregir el impacto ambiental.

B. Preparación del material de exposición.

En este apartado se debe planear la exposición teniendo en mente la claridad con que se van a exponer los impactos significativos, ya que la percepción de cada participante puede ser diferente. Se recomienda que las diapositivas contengan el Informe Preventivo y se explique el método de cómo realizar la matriz de impacto ambiental.

C. Junta de Informe de la Evaluación Ambiental.

Se debe concretar una cita con los ingenieros, supervisores y gerentes de las diferentes áreas de la empresa. Los puestos que deben asistir son los siguientes: 1) responsables de calidad, medio ambiente y seguridad, 2) gerentes del proceso de producción, 3) encargado del área administrativa y contabilidad y 4) responsable del almacén de la empresa.

D. Elaboración de Matriz de Impacto Ambiental

Al término del informe se procede a implementar una matriz de Leopold, que es una metodología que proporciona una identificación de impactos ambientales. Básicamente se trata de una matriz que presenta, en las columnas, las acciones del proyecto y, en las filas, los componentes del medio y sus características, como se muestra en la TABLA I.

TABLA I. MATRIZ DE INTERRELACIÓN POR IMPACTO AMBIENTAL

INSTRUCCIONES			Construcción de nuevas áreas	Área administrativa y RR HH	Proceso de fundición y maquinado	Mantenimiento
1. Identificar todas las acciones (Situadas en la parte superior de la matriz) que impactan en el proyecto. 2. En la esquina superior izquierda de cada cuadrito, calificar de 1 a 10 la MAGNITUD del posible impacto. 10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima. Delante de cada calificación poner + si el impacto es beneficioso. En la esquina inferior derecha de cada cuadrito calificar de 1 a 10 la IMPORTANCIA del posible impacto (por ejemplo si es regional o simplemente local). 4. El texto que acompaña la matriz consistirá en la discusión de los impactos más significativos, (los están señalados con las mayores calificaciones) y aquellos cuadritos alistados con números superiores.						
1. Indicadores abióticos.	1.1 Agua	1.1.1 Calidad del agua superficial				
		1.1.2 Calidad del agua subterránea				
		1.1.3 Cambios en el nivel freático.				
	1.2 Suelo	1.2.1 Erosión.				
		1.2.2 Constitución del suelo.				
		1.2.3 Calidad del suelo.				
		1.2.4 Vertederos de RSU				
		1.2.5 Vertederos de residuos peligrosos				
		1.2.6 Sismología y hundimientos				
	1.3 Atmósfera	1.3.1 Calidad del aire				
1.3.2 Polvos						
1.3.3 Ruido.						
1.3.4 Temperatura						
2. Indicadores bióticos	2.1 Flora	2.1.1 Vegetación natural.				
		2.1.2 Vegetación inducida.				
		2.1.3 Biodiversidad.				
	2.2 Fauna	2.2.1 Animales terrestres.				
		2.2.2 Aves.				
		2.2.3 Biodiversidad.				
3. Factores humanos.	3.1 Estética	3.1.1 Paisaje natural y armonía visual.				
		3.1.2 Paisaje inducido.				
	3.2 Socio-economía.	3.2.1 Generación de Empleo.				
		3.2.2 Salud.				
		3.2.3 Cultura y educación.				
		3.2.4 Nivel de vida.				
		3.2.5 Desarrollo regional.				
		3.2.6 Recreativo.				
		3.2.7 Conflictos viales				
	Relaciones ecológicas	Insectos portadores de enfermedades				
Salinización de suelos						
Invasión de malezas						

PARÁMETROS PARA DETERMINAR LOS VALORES DE LA MATRIZ DE IMPACTO AMBIENTAL [6]

Con el objeto de asignar un valor específico que permita establecer un peso a los impactos ambientales provocados por las actividades de la empresa FENSA S.A. de C.V., a cada una de las interacciones entre indicadores de impacto y actividades de impacto se le asignara un valor considerado; dichos valores a utilizar serán los que a continuación se indican.

- Clase: Indica el tipo de impacto de consecuencias del impacto: positivas o benéficas (+) y negativas o perjudiciales (-)
- Magnitud (M): Corresponde al grado o nivel de alteración que sufre un factor ambiental a causa de las actividades del proyecto (siendo 2.5 la alteración mínima y 12 la alteración máxima).

Para calcular la magnitud de forma más objetiva se utiliza la TABLA II:

TABLA II. TIPOS DE FACTORES PARA CALCULAR LA MAGNITUD

TIPOS DE FACTORES			FACTOR
INTENSIDAD	Grado de incidencia de la acción sobre el factor, en el ámbito específico en que actúa	Afección mínima	0.5
		Situaciones intermedias	1
		Destrucción total	2
MOMENTO	Tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto en el ambiente	Inmediato	4
		Corto plazo: Menos de un año	2
		Mediano plazo: entre 1 y 5 años	1
		Largo plazo: más de 5 años	0.5
PERSISTENCIA	Tiempo que permanece el efecto desde su aparición hasta que retorna a sus condición inicial	Efecto fugaz: menos de un año	0.5
		Efecto temporal: entre 1 y 10 años	1
		Efecto permanente: más de 10 años	2
RECUPERABILIDAD	Posibilidad de reconstrucción, total o parcial, del factor afectado como consecuencia del proyecto	Recuperable de forma inmediata	0.5
		Recuperable a medio plazo	1
		Irrecuperable	2
CERTIDUMBRE	Grado de seguridad con el que se espera que se produzca el efecto	Improbable	0.5
		Probable	1
		Cierto	2

A la magnitud de cada interacción se le deben de sumar los cinco tipos de factores. Por ejemplo, podemos tener un impacto con las características referenciadas en la TABLA III:

TABLA III. EJEMPLO DE LA SUMA DE CINCO FACTORES

I	Afección mínima	0.5
M	Largo plazo: más de 5 años	0.5
P	Efecto fugaz: menos de un año	0.5
R	Recuperable a medio plazo	1
C	Probable	1

Esta suma da un total de Magnitud de 3.5 que se redondea a 4. El ejemplo muestra un bajo impacto ambiental.

- Importancia (I): Evalúa el peso relativo que el factor ambiental considerado tiene dentro del ambiente que puede ser afectado por el proyecto (siendo 1: insignificante y 10 la máxima significación). La importancia nos indica el área de influencia o hasta donde se extiende el impacto. Para una mayor exactitud se puede hacer uso de la TABLA IV:

TABLA IV. TIPOS DE FACTORES PARA IDENTIFICAR LA EXTENSIÓN

Dentro de la Empresa	1
Local o Vecinal	2
Municipal	4
Estatad	6
Nacional	8
Internacional	10

PROCEDIMIENTO PARA LA UTILIZACIÓN DE LA MATRIZ DE LEOPOLD [6]

- Construcción de la matriz: Colocar las acciones que puedan producir un impacto en las filas y los factores ambientales susceptibles de recibir impactos en las columnas.
- Identificación de interacciones existentes: Se toma la primera actividad de la empresa (en el área de las Columnas) y se va examinando cada factor ambiental que se cruza con dicha acción (Fila). Donde se considere que existe alguna afectación se traza una línea diagonal; esto indica que allí hay un impacto ambiental. Se continúa este procedimiento hasta terminar con todas las casillas de la matriz.
- Cálculo de las interacciones: Para cada interacción se evalúan los tres parámetros indicados (clase, magnitud e importancia), y se colocan según a Fig. 2:

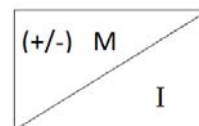


Fig. 2. Ejemplo de los elementos de cada casilla.

- Elaboración de documento explicativo de las interacciones más importantes: La matriz debe acompañarse de una redacción breve y concisa sobre la interacción producida, donde se indique:
 - El impacto que se produce y su descripción
 - Los datos técnicos que se consideraron para asignar la calificación dada.
 - Las consecuencias del impacto

V. EMISIÓN DE RESULTADOS

Para agrupar los datos generados en la matriz de impacto ambiental se usa la TABLA V, en donde:

- NO IMPACTO. Significa las casillas en 0/0, es decir, que no existe una interacción.
- No. IMPACTO POSITIVO. En esta casilla se cuentan los impactos benéficos para el medio ambiente.
- No. IMPACTO NEGATIVO. En esta casilla se cuentan los impactos que dañen el medio ambiente
- Promedio de IMPACTOS. En esta casilla se promedian el número de impactos negativos y positivos (no promediar el NO IMPACTO). Ejemplo:

$$(-7 + 14) / 2 = 3.5 \quad (1)$$

TABLA V. CONCENTRADO DE LOS RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

NÚMERO	NO IMPACTO	6
	IMPACTO POSITIVO +	7
	IMPACTO NEGATIVO -	14
PROMEDIO	IMPACTO	-3.5/4

Haciendo uso de las tablas III y IV, identificamos la magnitud (valor de -3.5) e importancia (valor de 4) del resultado de la evaluación de los impactos ambientales de FENSA, que corresponde a una afectación negativa mínima a nivel municipal.

Se recomienda investigar las soluciones previstas en la literatura especializada para esos niveles de impacto. [7][8]

CONCLUSIONES

Después de haber realizado un estudio de impacto ambiental utilizando la matriz de Leopold, los indicadores obtenidos señalan que la situación actual de la empresa FENSA, tiene un desempeño con una afectación mínima al ambiente, para lo cual, como parte de su mejora continua, dicha organización está comprometida a realizar las acciones pertinentes que coadyuven a lograr un mejor desempeño ambiental en su localidad.

Se recomienda concientizar a los trabajadores para que ellos mismos realicen la evaluación de los impactos ambientales generados por las actividades de la organización, utilizando la metodología desarrollada en el presente artículo.

AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, TecNM; al Programa para el mejoramiento del profesorado, PRODEP; así como a la empresa Fundidora Especializada del Nazas, S.A. de C.V. por el apoyo brindado para la realización del presente artículo.

REFERENCIAS

- [1] M. C. García Carrillo, S. M. Velázquez Reyes, B. Landeros Arenas y V. M. Chiw Landeros. (Noviembre del 2017) "Análisis diagnóstico de las oportunidades de mejora en los aspectos ambientales en la Fundidora Especializada del Nazas. S.A. de C.V." Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2017, vol. 9, No. 6, pp. 2150-2154.
- [2] Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México, 28 de enero de 1988.
- [3] SEMARNAT, 2002 "Guía para la presentación del Informe Preventivo", Ciudad de México, México. Consultado el 25 de enero del 2018. En: <http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Gu%C3%ADas%20SEMARNAT/MIA.%20Informe%20Preventivo%20y%20DTU/Informe%20Preventivo/Informe%20Preventivo.pdfR>.
- [4] R. Walss (2001) "Guía Práctica para la Gestión Ambiental" Ciudad de México, México. McGraw-Hill
- [5] L. B. Leopold, F. E. Clarke, B. B. Hanshaw y J. R. Balsley (1971) "A procedure for evaluating environmental impact." En: Circular US Geological Survey. No. 645.
- [6] G. Arboleda, 1994 "Una propuesta para la identificación y evaluación de impactos ambientales". En: Crónica Forestal y del Medio Ambiente. No. 9; p. 71-81.
- [7] Grupo del Banco Mundial, 2007 "Guías sobre medio ambiente, salud y seguridad para fundiciones". Washington, Estados Unidos. Consultado el 25 de enero del 2018. En: <https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/a8a9d8804886581db436f66a6515bb18/0000199659ESes%2BFoundries.pdf?MOD=AJPERES>
- [8] J. G. Henry y G. W. Heinke (1999) *Ingeniería Ambiental*. Naucalpan de Juárez, México. Prentice-Hall.

Optimización simulación para la calendarización del mantenimiento preventivo de una máquina

Laura Alvarado Santander¹
laura.santander@hotmail.com

Luis Eduardo Urbán Rivero^{1,2}
lurbanrivero@gmail.com

Rosa Isela Cedano Uribe¹
iselacedanouribe@gmail.com

1 División de Ingeniería Industrial, Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco
Carretera Tenango - La Marquesa Km. 22, Tianguistenco, Estado de México.

2. Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas, Universidad Autónoma Metropolitana Cuajimalpa
Av. Vasco de Quiroga 4871, Col. Santa Fé, Cuajimalpa, Ciudad de México.

Abstract—One of the most important problems in optimization is the modeling. The process of build a model and apply some technique to solve. Unfortunately exist several problems which is not easy get a model, due is difficult build an explicit form. One tool for this situation is using simulation as a black box evaluator with controllable variables and not controllable random variables which determines de performance of a system. In this work we deal with the preventive maintenance of machines by using techniques of simulation and optimization

Keywords—Simulation, Preventive Maintenance, Optimization.

Resumen—Uno de los principales problemas en la optimización en general es el modelado, es decir obtener un modelo para posteriormente aplicar alguna técnica de optimización adecuada. Sin embargo, existen situaciones en las que el modelo no se presenta de manera explícita o encontrar el modelo es sumamente complicado. Para estos casos es necesario el uso de la simulación para conocer el desempeño de un sistema. En este trabajo se abordará el caso particular del mantenimiento preventivo a máquinas utilizando técnicas de optimización- simulación.

Keywords—Simulación, Optimización, Mantenimiento Preventivo.

I. INTRODUCCIÓN

La optimización simulación se puede ver en general como el siguiente modelo.

$$\text{Min} F(x, \xi) \dots [1]$$
$$x \in D$$

Donde x es el conjunto de las variables de entrada, que se pueden modificar en el proceso de optimización. ξ Es el conjunto de variables aleatorias y D es el espacio de búsqueda de x .

Como se puede ver aunque se haya encontrado el “óptimo” $x_{\xi_i}^*$, este es el “óptimo” en sólo la i -ésima observación de las variables aleatorias (ξ_i). Existen múltiples técnicas para afrontar esta dificultad. La más común es la aproximación estocástica [1] que hace el siguiente remplazo en la función objetivo.

$$\text{Min } f(x) = \text{Min } E(F(x, \xi)) \dots [2]$$

Es decir encontrar el conjunto de variables x que minimizan f es equivalente a encontrar el conjunto de valores de x que minimizan el valor esperado de un conjunto de observaciones de las variable aleatorias. La aproximación estocástica abarca un conjunto amplio de métodos para realizar esta operación. La técnica más común es la conocida como Aproximación de Prueba Promedio (SAA por sus siglas en inglés). El remplazo particular para este método es el siguiente.

$$E(F(x, \xi)) = f_n(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(x, \xi_i) \dots [3]$$

Por lo que el problema a resolver es

$$\text{Min } f_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(x, \xi_i) \dots [4]$$

Por otro lado existen muchos problemas en Ingeniería en donde obtener una forma explícita de F es sumamente complicado o impráctico, por lo que una forma de obtener un valor de F es mediante un proceso de simulación. Dicha simulación da un resultado y , dadas unas variables de decisión x y unas variables aleatorias no controlables propias del proceso.

1.1 Simulación de eventos discretos

Una herramienta muy útil en la simulación de procesos en la industria es el uso de la simulación de eventos discretos. Ya que se puede determinar una lista finita de posibles escenarios que modifican el valor de las variables y que marcan el cambio del estado del sistema. Existen gran cantidad de herramientas que hacen esta tarea posible, tanto en software libre como comercial. En nuestro caso utilizaremos una aplicación libre conocida como SimPy que permite hacer simulación de eventos discretos usando el lenguaje de programación Python. Dentro de Python se aplicarán los procedimientos de optimización para resolver el problema antes mencionado.

1.2. Antecedentes

El problema como afrontar el mantenimiento preventivo ha sido abordado por diversos autores, desde diferentes puntos de vista. Por mencionar a algunos, en [2] y [3] se trabaja el problema asumiendo que se conoce a priori todos los trabajos que va a realizar una máquina. Se asume que las fallas tienen una distribución Weibull y sólo se puede hacer un PM hasta que se acabe de realizar una tarea y se minimiza el tiempo esperado que la máquina está fuera de operación asignando una serie de pesos a cada tiempo fuera. Este modelo en [2] es tratado mediante búsqueda exhaustiva en casos pequeños y en [3] es tratado con algoritmos genéticos para instancias más grandes.

2. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

En la industria el mantenimiento preventivo resulta de suma importancia en cuanto a la operación de maquinaria, la cual es susceptible a fallas. Sobre todo, en el caso en el que un mantenimiento preventivo mejora la disponibilidad de una máquina en comparación con un mantenimiento correctivo. En este punto es necesario dar la definición de mantenimiento preventivo y correctivo.

Mantenimiento preventivo es el que se realiza antes de que ocurra falla.

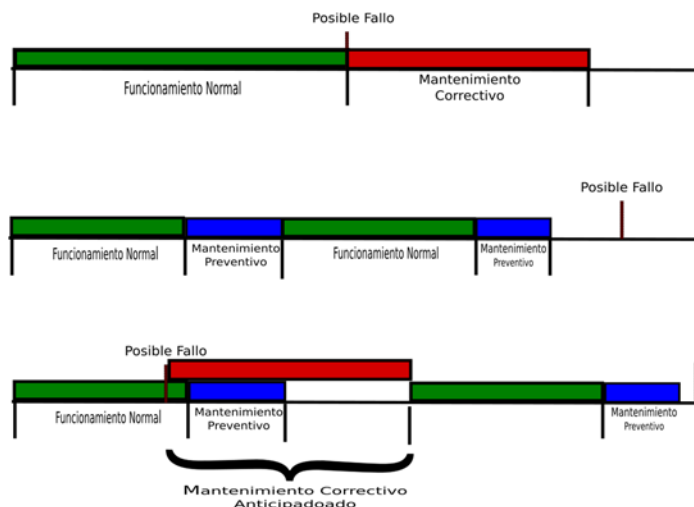
Mantenimiento correctivo es el que se realiza para la reparación de una máquina una vez ocurrida la falla.

Con lo anterior está claro que para nuestro caso se busca maximizar la disponibilidad de una máquina bajo las siguientes condiciones

- Los mantenimientos preventivos se dan en el momento que están planificados de manera determinista. Es decir, si el mantenimiento preventivo está programado darse cada 30 días. Después de 30 días de operación de la máquina, su operación se suspende. Entra el procedimiento de mantenimiento preventivo cuyo tiempo de realización el cual puede ser determinista o aleatorio.
- Los mantenimientos preventivos dejan la máquina como si fuera nueva.
- Los tiempos entre fallos de la máquina tienen una distribución (Exponencial o Weibull) y una vez que se realiza un mantenimiento preventivo, se vuelve a muestrear el tiempo para que falle de nuevo la máquina.
- Los mantenimientos correctivos se dan si se cumple el tiempo muestreado del fallo de la máquina. Los tiempos para mantenimientos correctivos pueden ser deterministas o aleatorios, pero son más mayores en tiempo que los preventivos.

Dicho lo anterior un ciclo de funcionamiento de la máquina quedaría como sigue.

Fig. 1. Ciclos posibles en una máquina



Como se puede ver en la Fig. 1. El escenario ideal es el segundo ya que los mantenimientos preventivos tratan de evitar los mantenimientos correctivos de mayor duración, aunque la naturaleza aleatoria de estos provoca que en algunos casos sea inevitable. El objetivo es maximizar la disponibilidad de la máquina sin embargo debido a la aleatoriedad del proceso habrá casos como la tercera parte de la Fig. 1. Donde el fallo se presenta antes de que se pueda hacer el mantenimiento preventivo. En los casos en los que ocurra una falla, es necesario implementar inmediatamente un

mantenimiento correctivo. Terminando el mantenimiento correctivo se muestrea una vez más el tiempo del próximo ciclo de fallo y se continua con la planificación. Durante todo el ciclo de simulación. Es necesario llevar la cuenta del tiempo en que la máquina estuvo en operación efectiva T_{op} . Para obtener la disponibilidad de la máquina se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$Disp = \frac{T_{op}}{T_{sim}} \dots [5]$$

Donde T_{sim} es el tiempo total de la simulación. Cabe destacar que tanto T_{op} como T_{sim} deben estar en las mismas unidades de tiempo.

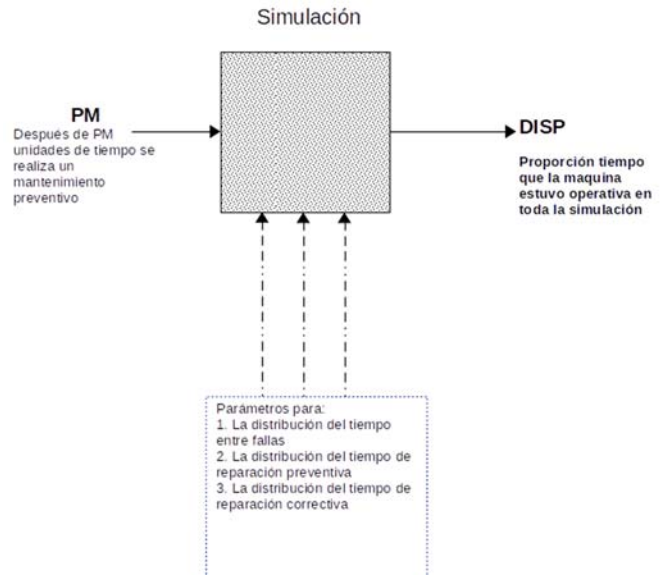
El pseudo-código del mecanismo de simulación es el siguiente:

Algoritmo 1: Simulación del mantenimiento preventivo.
Entrada: T_{sim} , PM (Cada cuando se realiza el mantenimiento preventivo).
Salida: $Disp$.

1. **Mientras** $t_{op} \leq T_{sim}$
2. $Inicio_{op} = T_{actual}$
3. $t_{op} = PM$
4. $t_{falla} = \text{Muestreo de v. a. con la distribución adecuada}$
5. $aux = 0$, $T_{op} = 0$
6. **Mientras** $aux < t_{falla}$
7. **Si** $t_{op} < t_{falla}$ **Entonces**
8. Operación_máquina(t_{op})
9. $aux = aux + t_{op}$
10. **Si no**
- Operación_máquina(t_{falla})
11. $aux = aux + t_{falla}$
12. **Fin Si**
13. $T_{op} = T_{op} + (T_{actual} - Inicio_{op})$
14. **Si** $aux < t_{falla}$ **Entonces**
15. $t_{rep_{prev}} =$
Muestreo de una v. a. con la distribución adecuada
16. Reparar_máquina($t_{rep_{prev}}$)
17. $aux = aux + t_{rep_{prev}}$
18. $t_{op} = t_{op} + aux$
19. **Break**
20. **Si no**
21. $t_{rep_{correc}} =$
Muestreo de una v. a. con la distribución adecuada
22. Reparar_máquina($t_{rep_{correc}}$)
23. $aux = aux + t_{rep_{prev}}$
24. $t_{op} = t_{op} + aux$
25. **Break**
26. **Fin Mientras**
27. **Fin Mientras**
28. **Regresa** $\left(\frac{T_{op}}{T_{sim}}\right)$

La simulación funcionara como una caja negra como se muestra en la Fig. 2

Fig. 2 Esquema general de la simulación



Es claro que nuestro mecanismo de simulación cumple la función de $F(x, \xi_i)$. En este caso la variable controlable es PM. Pero contamos con tres variables aleatorias que están asociadas a una distribución de probabilidad y donde el valor de $F(x, \xi_i)$ depende de la observación particular ξ_i de las variables aleatorias. Como se sabe en una simulación computacional los números generados no son aleatorios si no pseudo-aleatorios y dependen de una semilla. Por lo que una semilla s_i Nos da una observación particular de las variables aleatorias.

3. ALGORITMOS DE OPTIMIZACIÓN

Esta sección se dividirá en dos partes ya que el primer mecanismo es realizar los mantenimientos preventivos en periodos de tiempo homogéneos y en nuestra segunda propuesta se tienen en cuenta periodos de tiempo homogéneo, pero con costos monetarios.

3.1 PM Homogéneos

En este caso la optimización es sumamente sencilla y se reduce a explorar el dominio de PM con un tamaño de paso (t_{paso}) razonable en cuanto a las necesidades de la instancia. El tiempo de ejecución de este algoritmo es de orden $O\left(|T_{sim}| \cdot \frac{Dominio(PM)}{t_{paso}}\right)$ donde $|T_{sim}|$ es el tiempo efectivo de cómputo que necesita la simulación. Como se puede observar el tiempo de ejecución aumenta entre más pequeño sea t_{paso} así como entre más grande sea $Dominio(PM)$. Para fines prácticos no resulta un problema, ya que en la operación de una máquina las unidades de tiempo empleadas suelen ser horas, días, semanas o meses y las simulaciones se suelen

emplear mensuales o anuales. Por lo que ni el dominio es muy grande ni el tamaño de paso es muy pequeño. Queda claro que el procedimiento de búsqueda se debe hacer n veces, una por cada observación de las variables aleatorias. El algoritmo de optimización queda como sigue.

Algoritmo 2: Búsqueda Exhaustiva.

Entrada: $\text{Dominio}(PM)$, t_{paso} , semillas .

Salida: $\text{Max}f_n = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(x, \xi_i)$

1. $it = LB(\text{Dominio}(PM))$
2. **Mientras** $it \leq UB(\text{Dominio}(PM))$
3. $r[it] = \text{evaluacion}_{\text{promedio}}(it, \text{semillas})$
4. $it = it + t_{\text{paso}}$
5. **Fin Mientras**
6. **Regresamax**(r)

Donde $LB(\text{Dominio}(PM))$ y $UB(\text{Dominio}(PM))$ son las cotas inferior y superior del dominio de PM respectivamente y $\text{evaluacion}_{\text{promedio}}$ es el **Algoritmo 3**.

Algoritmo 3: Evaluación promedio

Entrada: x , semillas .

Salida: $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F(x, \xi_i)$

1. $n = |\text{semillas}|$, $\text{suma} = 0$
2. **Para** $i \in \text{semillas}$ **hacer**
3. $\text{suma} = \text{suma} + \text{simulacion}(x, i)$
4. **Fin Para**
5. **Regresa** $\left(\frac{\text{suma}}{n}\right)$

3.1.2 Un caso de aplicación de PM Homogéneos.

La Tabla 1 contiene los promedios parámetros necesarios para una para cada una de las distribuciones mencionadas para cada variable aleatoria indicada en la simulación. Se sabe que el Tiempo entre fallas no puede tener distribución uniforme o normal y por la falta de datos no se puede obtener la Exponencial ni la Weibull en la reparación preventiva.

Tabla 1. Datos en días de la máquinatableadoraKilian

	Exponencial(λ)	Weibull(β, γ)
Tiempo entre fallas	$\lambda = 11.7666$	$\beta = 1.0021$ $\gamma = 11.7806$
Tiempo de reparación correctiva	$\lambda = 0.1161$	$\beta = 1.4310$ $\gamma = 0.1293$

Fuente: Datos de la empresa TEVA.

Los datos de la Tabla 1 están en días. Para encontrar el periodo óptimo para realizar los mantenimientos correctivos se toma $n = 100$, es decir el número de simulaciones es 100. El tiempo de simulación también es de 100 días. El primer caso será con Tiempo entre fallas exponencial, Tiempo de y Tiempo de reparación correctiva exponencial.

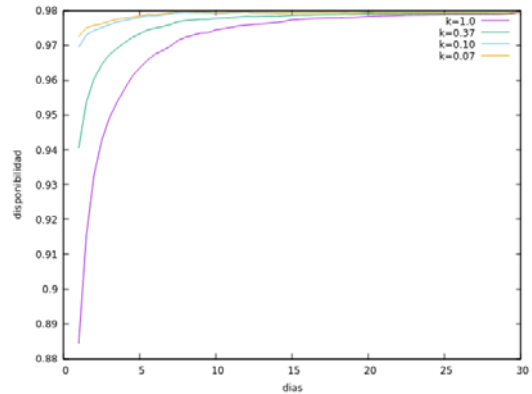
La implementación de mantenimiento preventivo dependerá ahora del costo relativo al costo del mantenimiento correctivo. En cuanto al costo, este está dado por el tiempo que se emplea

en hacer el mantenimiento correctivo, así pues, el costo del mantenimiento preventivo debe ser una fracción del mantenimiento correctivo, es decir

$$C_{\text{preventivo}} = kC_{\text{correctivo}} \dots [6]$$

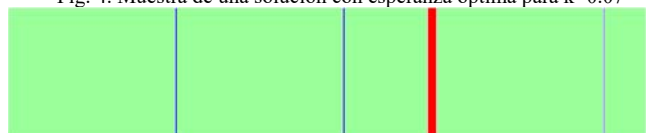
Con $k \in [0,1]$. En la Fig. 3. Se muestran resultados en cuanto a la disponibilidad de la máquina dependiendo del momento en que se realice el PM con distintos valores de k , con tasa de fallos y tiempo de reparación con distribución exponencial, en una simulación de 30 días.

Fig. 3. Resultado de la optimización-simulación, con distribución exponencial.



De la Fig. 3. Podemos observar que para $k = 1$ y $k = 0.37$ el problema es no acotado, lo cual quiere decir que debido al costo relativo es más conveniente en relación al tiempo empleado, realizar solo mantenimientos correctivos[4] una vez que sucedan las fallas y el mantenimiento preventivo en este caso no es viable. Para el caso de $k = 0.1$ y $k = 0.07$ ya se cuenta con valores máximos en la disponibilidad. Para estos casos particulares. Si $k=0.1$ Los mantenimientos preventivos se tienen que hacer cada 12 días aproximadamente y para el caso de $k = 0.07$, el mantenimiento preventivo se debe hacer cada 7.8 días aproximadamente. La interpretación de esto quiere decir que si en promedio el tiempo de realización de un mantenimiento correctivo es de 2.78 horas, el tiempo que debe tomar el mantenimiento preventivo para que haya una mejora significativa en la disponibilidad, debe ser de 11 minutos aproximadamente. En la Fig. 4 y en la Fig. 5 se puede observar el resultado de una simulación con este valor.

Fig. 4. Muestra de una solución con esperanza óptima para $k=0.07$



PM cada 7.86 días $F(x, \xi) = 0.9857$

$$C_p = kC_c \dots [8]$$

Fig. 5. Muestra de una solución con esperanza óptima para k=0.37



PM cada 29.1637 días $F(x, \xi) = 0.9837$

En la Fig. 4. Se puede observar que cuando el tiempo en que se realiza un PM es sustancialmente menor que el de un mantenimiento correctivo (CM) es viable realizar PM en intervalos regulares salvo que ocurra una falla aleatoria. En el caso contrario. El mostrado en la Fig. 5. Donde el tiempo para un mantenimiento preventivo aun no es tan pequeño entonces, la mejor opción según los diagramas es dejar que ocurran las fallas y reparar en ese momento, ya que, de no ser así, se desperdiciaría tiempo de disponibilidad en realizar los PM. En cuanto a la tasa de fallas y de los tiempos de reparación correctiva con distribución Weibull, la situación es análoga y el análisis similar.

La siguiente propuesta es asumir que los tiempos de reparación preventiva y correctiva siguen una distribución exponencial o Weibull pero en ambos casos tienen los mismos parámetros. Sin embargo, son diferentes en cuanto el costo monetario que implica una reparación preventiva con respecto a una correctiva.

3.1.3. PM Homogéneos con costos monetarios

En el caso de los PM Homogéneos con costos monetarios es necesario modificar la función de costo. El costo monetario será en función del tiempo que la máquina este fuera de operación, además que el costo de un mantenimiento correctivo va a ser mayor que el de un mantenimiento preventivo, esto porque en teoría los correctivos requieren de más refacciones, reparaciones y mano de obra. En el caso opuesto un mantenimiento preventivo que en ocasiones puede ser una simple inspección. Por lo tanto, el costo se calcula como sigue:

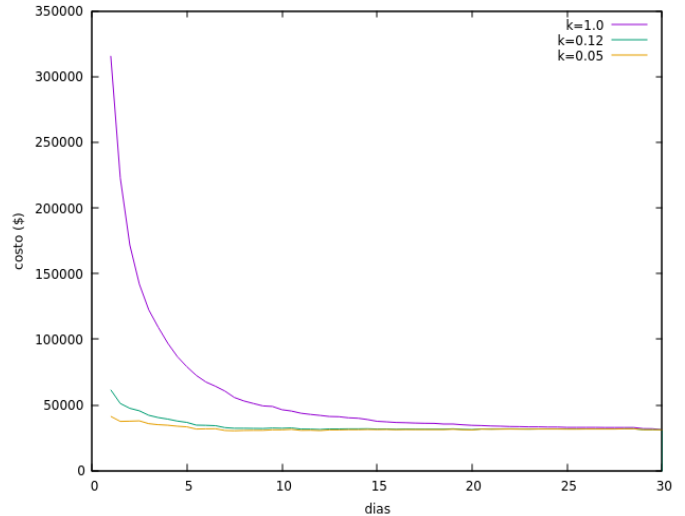
$$C_{op} = C_p \sum_{i \in PM} t_p^i + C_c \sum_{j \in CM} t_c^j \dots [7]$$

Donde C_p es el costo por unidad de tiempo de una reparación preventiva. C_c es el costo por unidad de tiempo de una reparación correctiva, t_p^i es la duración del i-ésimo mantenimiento preventivo y t_c^j es la duración del j-ésimo mantenimiento correctivo. Bajo la condición de que:

Con $k \in [0,1]$.

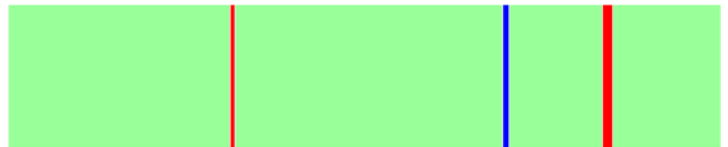
Cabe destacar que en este caso los tiempos de duración de los mantenimientos preventivos y correctivos son variables aleatorias con distribución exponencial o Weibull, en este caso ambas con los mismos parámetros, pero cada tiempo es muestreado por separado. Como ejemplo de prueba tomaremos los datos de la Tabla 1. Haciendo variar el valor de k , y con un valor $C_c = \$100,000$ obtenemos la gráfica de la Fig. 6.

Fig. 6. Simulación-optimización con costos monetarios de mantenimiento y tiempos de mantenimiento exponenciales



Como lo muestra la Fig 6. En este caso el problema de minimización presenta una situación similar a la anterior. La simulación parece indicar que es un problema no acotado para valores de k cercanos a 1. Para valores de k , cercanos a 0 y comienza a existir un mínimo, que implica que se realicen mantenimientos preventivos y no únicamente correctivos. En las Fig. 7 y en la Fig. 8 Se muestra el resultado de una simulación para distintos valores de k .

Fig. 7. Simulación de una solución con esperan para k=0.12



PM cada 11.2867 días $F(x, \xi) = \$58023.3$

Fig. 8. Simulación de una solución con esperan para k=0.05



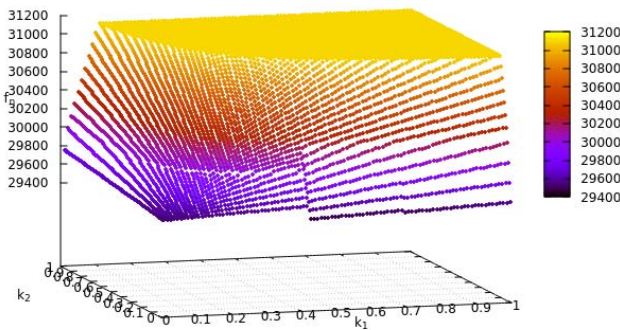
PM cada 7.33819 días $F(x, \xi) = \$41880.3$

La interpretación que se le puede dar a las anteriores Figuras es que de la misma manera que para el tiempo, si el costo de estar fuera de operación con mantenimiento correctivo es un costo muy alto en comparación con lo que se refiere al preventivo. En nuestro ejemplo un día fuera de operación tiene realizando mantenimientos correctivos, tiene un costo de \$100,000, con $k=0.12$ ese costo es de \$12,000 por día y con $k=0.05$, es un costo de \$5,000 por día fuera de operación. Obviamente solo se toma en cuenta la parte proporcional de tiempo que se utilice. Pero queda claro que se necesita un costo bajo en el mantenimiento preventivo para que este sea viable, si no se regresa al escenario anterior, donde es preferible que ocurran las fallas y arreglar las máquinas en ese momento.

3.1.4. PM Homogéneo con costos monetarios y tiempos de mantenimiento preventivo y correctivo diferentes.

Para este último caso, se tomará como función objetivo, minimizar el costo, pero se contemplará que el tiempo de mantenimiento preventivo es menor que el del mantenimiento correctivo y también los costos. Por lo que será necesario usar dos parámetros k_1 y k_2 , donde k_1 es el parámetro de proporcionalidad del tiempo de mantenimiento y k_2 es el parámetro de proporcionalidad del costo monetario. En la Fig. 9. Se puede observar la disminución del costo con respecto a los valores de los parámetros k_1 y k_2

Fig. 9. Variación de la función de costo con distintos valores de k_1 y k_2



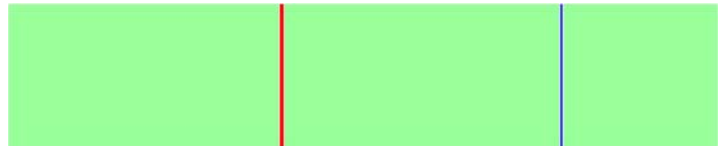
En la Fig. 9 se puede observar algo que se tenía de manera analítica en [5], que es que en tiempos instantáneos o $k_1 = 0$, el costo monetario. Por otro lado, si el costo monetario es despreciable, se mantiene constante la función objetivo.

Entonces realizar una prueba para distintos valores y definir cuándo es viable. Si ya se dispone de k_1 y k_2 entonces revisar si es conveniente en términos de costo monetario y operacional mediante la optimización simulación con esos parámetros.

Puesto que aquí estamos contando el costo monetario, resultado de que la máquina este fuera de servicio, y si el costo es 0, no importa cuánto tiempo este la máquina fuera de servicio. Por último cabe destacar que la región amarilla de la gráfica también permanece constante en relación al valor de la función objetivo, lo que se puede interpretar que en esa región si se tienen esos valores de k_1 y k_2 resulta inconveniente realizar mantenimientos preventivos.

Por otro lado, nótese que en los casos anteriores ya sea en costos monetarios o en tiempo, debían ser bastante menores los costos o tiempos de los mantenimientos preventivos para que fuera viable la implementación de dichos mantenimientos. Por ejemplo con $k_1 = 0.25$ y $k_2 = 0.28$, el mantenimiento se hace cada 11.6842 días. Una simulación de este resultado se puede observar en la Fig. 10.

Fig. 10. Simulación con $k_1 = 0.25$ y $k_2 = 0.28$



PM cada 11.6842 días $F(x, \xi) = 18039.9$

La metodología para la implementación de Mantenimientos preventivos podría resumirse a lo siguiente.

1. Realizar una recolección de datos de las fallas y reparaciones ocurridas en la máquina (Si no hay datos recurrir a especificaciones del fabricante).
2. Ajustar los tiempos entre fallas, los a una distribución de probabilidad adecuada.
3. Simular con las distribuciones de probabilidad obtenidas el comportamiento de la máquina y optimizar el parámetro de cada cuantos días se realiza un mantenimiento preventivo con parámetros k_1 y k_2 . Si k_1 y k_2 no se tienen entonces revisar si es conveniente mediante la optimización simulación con esos parámetros.

4. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se pudo corroborar a partir de la simulación del comportamiento de una máquina en relación a cuando pueden fallar, cuánto puede durar o costar una reparación correctiva o una preventiva y en función de la relación entre esos costos permite decidir sobre la implementación de mantenimientos preventivos aun sin tener datos de dichos mantenimientos. Por otro lado, este trabajo toma a las máquinas como en operación continua. Lo siguiente es que pasa si se desea secuenciar máquinas que realicen diferentes operaciones además de tomar en cuenta que fallen de manera aleatoria. Además de tomar en consideración un comportamiento para un sistema de máquinas colocadas en serie o en paralelo y con distintas tasas de fallo para saber ¿Cuál es la política de mantenimiento bajo estas condiciones?

5. REFERENCIAS

[1] **Conn, Andrew R, Scheinberg, Katya and Vicente, Luis N.** *Introduction to Derivative-Free Optimization*. s.l. : Society for Industrial and Applied Mathematics, 2009.

[2] **Cassady, C. R. and Kutanoglu, E.** *Integrating Preventive Maintenance Planning and Production Scheduling for a Single Machine*, Springer, 2005, IEEE Transactions on Reliability, Vol. 54(1).

[3] **Sortrakul, N, Nachtmann, H L and Cassady, C R.** *Genetic algorithms for integrated preventive maintenance planning and production scheduling for a single machine*, 2005, Computers in Industry, Vol. 56(2), pp. 161-168.

[4] **Hoang, Pham and Wang, Hongzhou.** *Reliability and Optimal Maintenance*. s.l. : Springer, 2005.

[5] **Vergara, Lazcano Raquel.** *La Estadística en el Mantenimiento y Reemplazo Óptimo en el Control de Calidad*. Ciudad de México : Universidad Autónoma Metropolitana, 2014.

Luis Eduardo UrbánRivero: He is a computer engineer from UAMAzcapotzalco with a Master degree in Optimization by the same institution. Now is Ph. d. candidate in optimization by the same Institution and Half Time Professor at Universidad Autónoma Metropolitana unidad Cuajimalpa

Laura Alvarado Santander: She is Industrial engineer from Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco with a master degree in Industrial Engineering and she is Full Time Professor in Industrial Engineering Division at Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco.

Rosa Isela Cedano Uribe: She is a industrial engineer student at Tecnológico de Estudios Superiores de Tianguistenco and realizes her professional residence in the company TEVA.

Análisis de la calidad del servicio en verificentros mediante líneas de espera.

(Teoría de colas)

Laura Alvarado Santander
División de Ingeniería Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
laura.alvarado@test.edu.mx

Ricardo Linares Maldonado
División de Ingeniería Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
rilima.lzy@hotmail.com

Guadalupe Arisdelci M. Estañon
División de Ingeniería Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
arisdelcimartinezestanon@gmail.com

Gerardo Abisai Vera Velazquez
División de Ingeniería Industrial
Tecnológico de Estudios
Superiores de Tlanguistenco
Tlanguistenco, México
abisaiaverav@gmail.com

Resumen— En el presente caso de estudio se realiza el análisis de la calidad del servicio de verificación vehicular en verificentros del Valle de Toluca en el estado de México, debido a la incredulidad de los usuarios en la necesidad de éste servicio. Aplicando la Teoría colas se estudió el comportamiento del servicio de verificación en función de los tiempos de espera y de atención, así como el índice de aprobación y rechazo. Los resultados obtenidos evidencian que las horas con menor índice de rechazo son de 8 a 9 am con un 16%, que son las horas con mayor tasa de llegada, mientras que de 1 a 2 pm el índice de rechazos es del 40%, por otra parte el análisis arroja como resultado que el promedio de atención por las mañanas se reduce hasta en un 53% lo que compromete la confiabilidad de las pruebas de verificación vehicular manifestando la presencia del efecto cardumen.

Palabras clave—Teoría de colas, calidad de servicio, efecto cardumen, verificentros.

I. INTRODUCCIÓN

La causa principal de la presente investigación es la incertidumbre que tienen los clientes acerca de la prueba de verificación realizada a sus vehículos cada semestre. Ya que el usuario muestra inconformidad respecto al tiempo de espera, los procedimientos, y la calidad del servicio de los diferentes centros de verificación en el Estado de México.

La teoría de colas es un tema perteneciente a la Investigación de Operaciones, encargada de proponer modelos para el manejo eficiente de las líneas de espera, sean estas personas, productos, automóviles, llamadas telefónicas entre otras [1].

Esta investigación se desarrolló comparando los estudios realizados a los verificentros ST-962 y ME-967 del Estado de México. La recolección de datos se basó en la realización de encuestas de satisfacción al cliente así como la captura de datos relacionados con tasas de llegada, tiempo de atención, tamaño de la fila, comportamiento de la fila. Posteriormente se calcularon los parámetros para desarrollar el modelo de teoría de colas [2].

El presente estudio reveló un cambio de comportamiento en el sistema de verificación vehicular en función de la cantidad de clientes que se encuentren esperando por el servicio, ya que a mayor cantidad de clientes, el tiempo de servicio es menor y en índice de rechazos disminuye significativamente a este comportamiento se le conoce como efecto cardumen.

II. TRABAJOS RELACIONADOS

Con el objetivo de equilibrar el costo de ofrecer un mejor servicio se han realizado múltiples estudios relacionados a la calidad del servicio mediante estudios de líneas de espera tal es el caso de la “Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera” [3], el cual representa los procesos de atención al cliente referenciando el modus operandi de los promotores financieros, considerando los modelos cuantitativos de la teoría de colas definiendo el número de promotores para el servicio al cliente haciendo la división de grupos, se aterriza principalmente en concluir la eficiencia de utilización de los recursos de la agencia financiera considerando los tiempos ociosos de los promotores durante el tiempo de atención al cliente.

Por otra parte, el “Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación”[4], el modelo de simulación de la teoría de colas con la finalidad de determinar el comportamiento del desempeño del cajero, haciendo énfasis que el tiempo de servicio por parte del cajero suele ser relevante a varias funciones mostrado en el análisis del desarrollo de la simulación y a su vez representando el tiempo ocioso que se tiene justificando por qué existe y el nivel de porcentaje de utilización describiendo dichas actividades. Su modelo de simulación representa más de una alternativa a analizar y estudiar considerando la justificación de rapidez del cajero para la atención de clientes, como bien su tiempo ocioso es determinado a través de las llegadas de cliente lo cual hace que el cajero tenga solo una alternativa de atender específicamente al cliente, dejando afuera otras tareas como atender el teléfono, asesorar otro cliente entre otras.

De acuerdo al artículo “Modelos de líneas de espera”, se desarrolla en enfocar la teoría de líneas de espera de forma teórica haciendo referencia de cómo se puede tener un comportamiento de acuerdo a los clientes y como pueden ser

atendidos, haciendo una clasificación de qué tipo de filas se pueden llevar a cabo y de acuerdo al servicio que se estará presentando o atendiendo. [5]

III. LINEAS DE ESPERA

Esperar a que nos atiendan es parte de la vida diaria. Esperamos en los restaurantes, hacemos filas para abordar un avión, y nos formamos en la cola para que nos atiendan en dependencias oficiales. El fenómeno de esperar no se limita a los seres humanos: los trabajos esperan para ser procesados, los aviones vuelan en círculos a diferentes alturas hasta que se les permiten aterrizar, y los autos se detienen en los semáforos. [2]. Incrementar el número de servidores permitirá disminuir los tiempos de espera sin embargo nuestro único recurso es buscar el equilibrio entre el costo de ofrecer un mejor servicio y la molestia que tiene que el cliente por esperar a que lo atiendan.

Como probablemente usted sabrá, cola (o queue) es el termino británico para cualquier tipo de colas de espera. [6]

El estudio de las colas tiene que ver con la cuantificación del fenómeno de esperar por medio de medidas de desempeño representativas, tales como tiempo de espera promedio en la cola y el tiempo promedio que invierte el cliente en el sistema. [2]

Los elementos de un modelo de cola utilizados son:

- Tiempo entre llegadas (TIA): Tiempo entre llegadas sucesivas.
- Tiempo de servicio: Tiempo de servicio por cliente.
- Tamaño de la cola: desempeña un papel en el análisis de colas. Puede ser finito (como en el área intermedia entre dos máquinas sucesivas), o, para todos los propósitos prácticos, infinita (como en las instalaciones de pedidos por correo).
- Promedio de tiempos de servicio (Por servidor o líneas).
- Tasa de llegadas: Se refiere al número de autos que llegan al verificentro en una hora.

$$\lambda = (\text{No. clientes}) / (1 \text{ hora}) \quad (1)$$
- Tasa de servicio: Numero de autos que son atendidos por el verificentro en una hora en una línea de servicio.

$$\mu = (\text{No. clientes}) / (1 \text{ hora}) \quad (2)$$
- Tiempo de espera en la cola

$$Wq = \lambda (\mu^2 - \mu \lambda)^{-1} \quad (3)$$
- Tiempo que invierte un cliente en todo el sistema

$$Ws = (\mu - \lambda)^{-1} \quad (4)$$

Mediante la cuantificación de estos parámetros de desempeño de los verificentros, se realizará el análisis del servicio y con ello realizar una propuesta que lo mejore.

IV. EFECTO CARDUMEN

Como referencia principal se tiene el comportamiento de los peces tetra neón, son peces fusiformes que tienen una característica destacable al comportamiento gregario formando cardúmenes, cuyo tamaño y estructura parece influir positivamente en el bienestar del colectivo y en la eficiencia de los individuos que lo conforman. [7]. El ejemplar dominante suele generar una ordenación muy táctica, jerárquica y rigurosa [8]. El comportamiento de formas cardúmenes está muy extendido entre los peces [9]. Haciendo referencia pueden generarse agrupaciones con una unidad social que consiste en la agregación de individuos con un fin común y sin conflictos aparentes. Su objetivo principal es sobrevivir ante la amenaza de depredadores agrupándose y con ello disminuir las probabilidades de morir. En el caso de los verificentros, los usuarios tienen como objetivo aprobar la prueba de verificación, el comportamiento en la tasa de llegadas de un verificentro a otro es similar como se muestra en la Tabla 1 y Tabla 2, conforme se agrupe mayor cantidad de autos para realizar la prueba disminuyen sus probabilidades de ser rechazados en un determinado horario.

PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIÓN

El procedimiento de verificación consta de cuatro fases que son:

- 1) Prueba de OBDII.
- 2) Prueba de detección visual de humos.
- 3) Prueba ralente.
- 4) Prueba crucero.

En la Fig. 2 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de verificación.

1. Prueba de OBDII solo es aplicable para automóviles de modelo 2008 en adelante. Duracion 60 sec.
2. Prueba de detección visual de humos. Se corre el vehiculo a 24Km/h y se introduce una sonda en el escape para detectar las emisiones de gases. Duracion 30 sec.
3. Prueba de ralente, nuevamente se corre el vehiculo a 24 Km/h para dar seguimiento de rango de velocidad. Duracion 60 sec.
4. Prueba crucero. Finalmente en esta prueba el vehiculo se corre a 40 Km/h. Duracion 60 sec.

A continuación, se muestra en la Fig. 1 los tiempos de ejecución acumulados de las etapas de verificación.

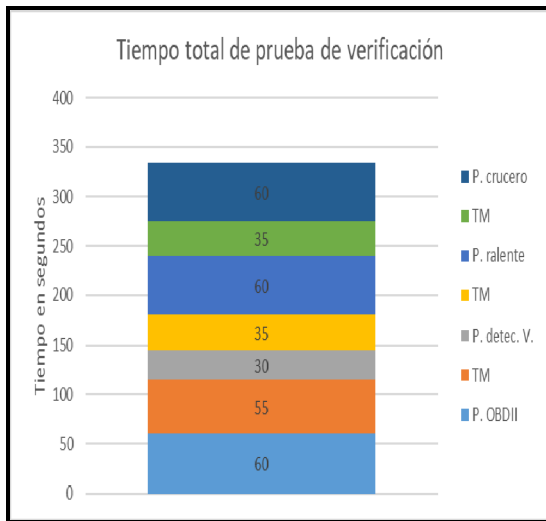


Fig. 1 Tiempos de ejecución de la verificación.

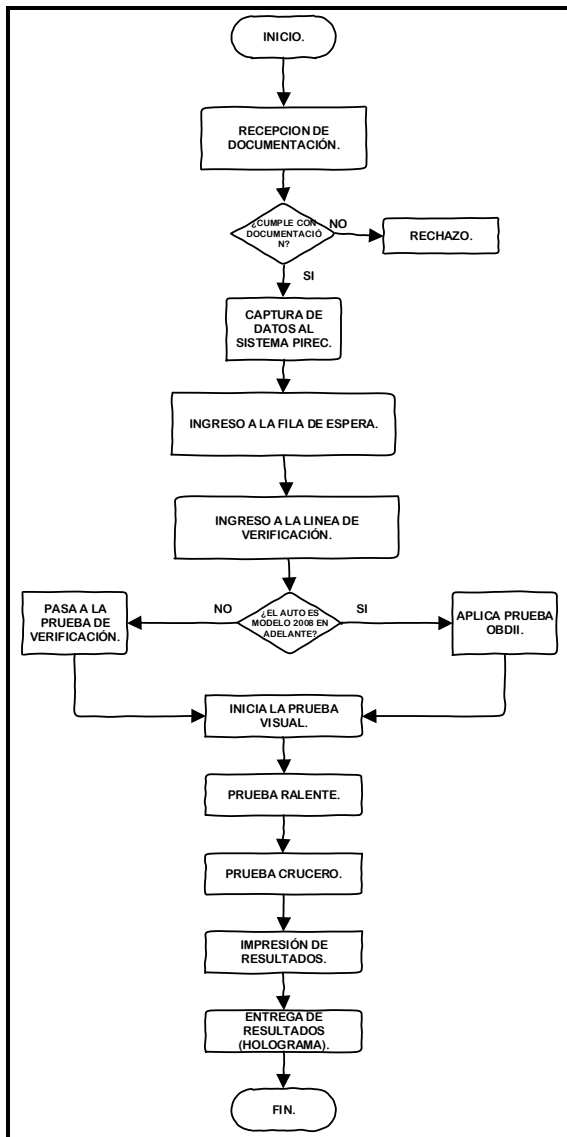


Fig. 2: Diagrama de flujo: Proceso de verificación.

El tiempo promedio de la prueba de verificación es de 335 segundos (5.6 min) considerando los tiempos muertos (TM) entre cada prueba, dichos tiempos incluyen la habilitación de los sensores, los movimientos del operario y la espera de la recepción de respuesta por parte del sistema de la Secretaría del Medio Ambiente.

V. ANÁLISIS DE LA TASA DE LLEGADAS AL CENTRO DE VERIFICACIÓN ST-962

Para determinar el comportamiento de la tasa de llegadas, en los centros de verificación se realizó el registro de la llegada de los clientes durante los diferentes días de la semana en intervalos de una hora.

Los datos obtenidos de la Tabla 1 se utilizaron para hacer un análisis del comportamiento de las tasas de llegadas y de la tasa de servicio.

Tabla 1: Tasa de llegadas y de servicio del verificentro ST-962.

Hora	λ	TIA (hr)	TIA (min)	Tasa de servicio	Tiempo de servicio
7 a 8	25.5	0.039	2.35	19.2	3.77
8 a 9	17.5	0.057	3.43	14.51	11.49
9 a 10	13.5	0.074	4.44	11.2	13.14
10 a 11	10.5	0.095	5.71	8.83	21.25
11 a 12	2.5	0.4	24	5.03	28.57

La tasa de llegadas decrece conforme avanzan las horas del día, debido a que los clientes acuden mayoritariamente a realizar su verificación al inicio del día y no en horarios cercanos a la comida. Por otra parte la tasa de servicio también decrece, es decir, el tiempo de servicio se incrementa, esto es debido a que los operadores al no tener la premura de atender gran cantidad de autos, tienen la oportunidad de invertir más tiempo en cada prueba, por el contrario en el horario inicial en que la cantidad de vehículos es mayor y los usuarios influyen en la rapidez de las pruebas, el tiempo de servicio es reducido.

De la Fig. 1 se observa que el tiempo estándar derivado de la norma NOM-EM-167-SEMARNART-2016, de la disposición de los equipos para realizar las pruebas y la habilidad de los operadores en el verificentro ST-962; es de 5.6 min. lo cual es mayor al tiempo de servicio llevado a cabo en el horario de 7 a 8 am (3.77 min.) en el verificentro citado.

Con el propósito de comparar el comportamiento de la tasa de llegadas en otro verificentro se realizó el mismo estudio en el verificentro ME-967 mostrado en la tabla 2

Tabla 2: Tasa de llegadas y de servicio del verificentro ST-967.

Hora	λ	TIA (hr)	TIA (min)	Tasa de servicio	Tiempo de servicio
8 a 9	27.5	0.036	2.18	21.6	5.5
9 a 10	24	0.042	2.5	19.2	7.6
10 a 11	18.5	0.054	3.24	14.8	8.2
11 a 12	11.5	0.087	5.22	9.2	11.06

Como se puede observar en la tabla anterior la tasa de llegadas tiene un comportamiento similar al observado en el verificentro ST-962 con mayor demanda del servicio en un horario de 8 a 9 am.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de los cálculos de W_s y W_q en la Tabla 3 y 4 de los verificentros ST-962 Y EM-967 respectivamente. Donde se observa que el tiempo de servicio es menor cuando se tiene una mayor demanda de verificación que es en las horas pico de dichos

verificentros, de igual manera se visualiza que el porcentaje de vehículos rechazados es mayor cuando se invierte mas tiempo en dar el servicio y la tasa de llegadas es muy baja reportada en los horarios despues de las 12 pm.

Tabla 3: del verificentro ST-962

λ	μ	Ws (min)	Wq (min)	No. Rechazos	% de rechazos
25.5	19.2	5.4	2.4	4	16%
17.5	14.51	6	1.8	4	23%
13.5	11.2	8.4	3	5	37%
10.5	8.83	10.2	3.6	4	38%
2.5	5.03	12.6	0.6	1	40%

Tabla 4: del verificentro ME-967

λ	μ	Ws (min)	Wq (min)	No. Rechazos	% de rechazos
27.5	21.6	2.4	0.006	4	15%
24	19.2	3	0.006	5	21%
18.5	14.8	3.6	0.012	7	38%
11.5	9.2	6	0.018	4	35%

En la fig. 3 se muestran los resultados graficamente comparando el comportamiento de los verificentros ST-962 y ME-967 en función de los valores Ws y Wq, notando el mismo patrón de comportamiento.

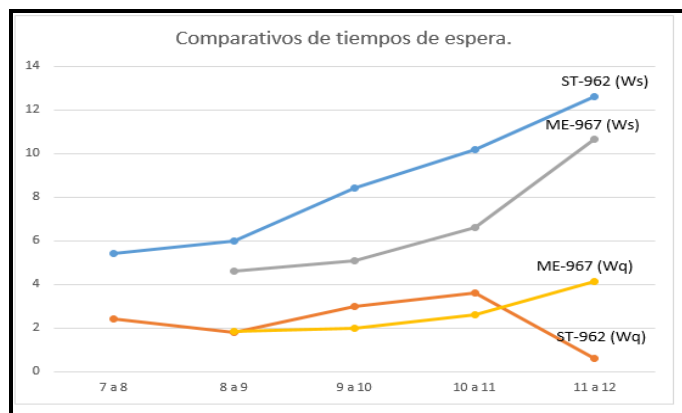


Fig. 3 Comparación de tiempos de espera

De igual manera se observa una modificación en el comportamiento de la tasa de vehículos rechazados referenciados en la Fig. 4 donde se observa que existen mayor porcentaje de rechazos por las tardes cuando la tasa de llegada es mínima y el tiempo promedio de servicio es más alto según los registros elaborados.

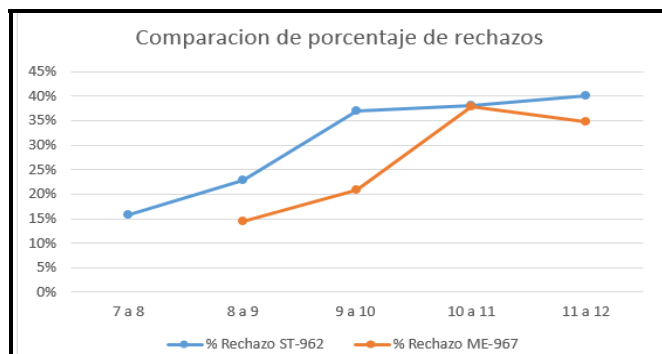


Fig. 4 Comparación de porcentaje de rechazos.

VI. CONCLUSIONES

Se realizó el análisis de la calidad del servicio en el verificentro ST-962 y ME-967 utilizando teoría de colas con el objetivo de analizar el comportamiento de los sistemas en función de la tasa de llegadas, tiempo de servicio y porcentaje de vehículos rechazados. Obteniendo como resultado un mismo patrón de comportamiento, observando que se registra mayor índice de rechazos de verificación vehicular cuando los verificentros tienen menor tasa de llegada y es cuando el tiempo de brindar el servicio es más elevado.

El comportamiento observado en los servicios de verificación vehicular corresponde al fenómeno conocido como Efecto Cardumen el cual los usuarios tienen como objetivo aprobar la prueba de verificación, conforme se agrupe mayor cantidad de autos para realizar la prueba disminuyen sus probabilidades de ser rechazados en un determinado horario.

Por otra parte, se concluye que en los horarios de mayor demanda que registra la probabilidad más baja de ser rechazado también genera un servicio de verificación de menor calidad y se puede deducir que no se siguen de manera estricta los lineamientos de la norma NOM-EM-167-SEMARNART-2016.

VII. REFERENCIAS

- [1] Hillier, F. S. y Lieberman, G. J. Introducción a la investigación de Operaciones. (6o ed.). México, D.F.: Mc Graw Hill, (1997) 998 p.
 - [2] Taha, Mandy. Investigación de operaciones. (7ª ed.). México, D.F.: Pearson educacion, (2004).
 - [3] Fredy Alexander Gómez Jiménez “Aplicación de teoría de colas en una entidad financiera: herramienta para el mejoramiento de los procesos de atención al cliente” REVISTA Universidad EAFIT Vol. 44. No. 150. 2008. pp. 51-63
 - [4] Liliana Margarita P., Leonel A., Sergio A.F., “Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación” REVISTA Scientia et Technica Año XVII, No. 46. 2010. pp 56-61
 - [5] Roberto C. P. y Daniel G. G. “Modelos de líneas de espera”. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales. Universidad Nacional De Mar Del Plata.
 - [6] EPPEN, G. D. Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. (5ª ed.). México :Prentice Hall Hispanoamericana (2000) 574P.
 - [7] Artiles Lezcano J.P. Efectos del tamaño del cardumen en el estres de los individuos de tetra neon. Anales Universitarios de Etologia. Islas canarias 2013.
 - [8] Chapman, F.A., D.E. Colle, R.W. Rottmann y J.V. Shireman. 1998. Controlled spawning of the neon tetra. Prog. Fish Cult. 60, 32–37.
- Radakov, D.V. 1973. Schooling in the ecology of fish. *Israel Programme for Scientific Traslations*, Wiley, New York. 173 pp.

Reducción de desperdicios en el área de empaque

Reducción de Costos

Alejandro Getsemaní Malpica Domínguez
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
alejandro.malpica@uabc.edu.mx

Alan Josué Pérez Ventura
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
perez.alan80@uabc.edu.mx

Karina Cecilia Arredondo Soto
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
karina.arredondo@uabc.edu.mx

María Marcela Solís Quinteros
Facultad de Contaduría y Administración
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
marcela.solis@uabc.edu.mx

Abstract — The present project presents the study to implement a fixture for the correct placement of the label on the pouch in a medical company. A study was made to see the feasibility of improving the quality of the product. This implementation seeks to eliminate the scrap generated by the bad placement of the label on the pouch, reducing the scrap of a line by 80%, and in turn improving the process that brings with it a reduction in costs.

Keywords— Curving, Packing, Pouch, Scrap Technical File

Resumen — El presente proyecto presenta el estudio de la implementación de un fixtura en el área de empaque que ayudara a colocar correctamente la etiqueta en el *pouch*. Se realizó un estudio para ver la viabilidad de mejorar la calidad del producto. Esta implementación busca eliminar los desperdicios generados por la mala colocación de la etiqueta en el *pouch*, reduciendo el desperdicio de una línea en un 80% y, a su vez, mejorando el proceso que trae consigo una reducción en los costos.

Palabras Clave—Packing, Pouch, Scrap, Curving.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se desarrolló en una empresa médica con más de 10 años de experiencia en la manufactura de catéteres, los cuales son para uso médico en hospitales alrededor del mundo, teniendo como principal consumidor a Estados Unidos. El proyecto se centró en optimizar el proceso de empaque mediante la instalación de una fixtura para mejorar la colocación de las etiquetas en el producto terminado; con el propósito de reducir los niveles de scrap. Como se puede observar en la Fig. 1 los porcentajes diarios de scrap en el área se encontraban a niveles altos debido a que el personal coloca mal las etiquetas en el *pouch* lo cual ocasionaba que se desperdicien las etiquetas, las cuales son un recurso valioso para la empresa.

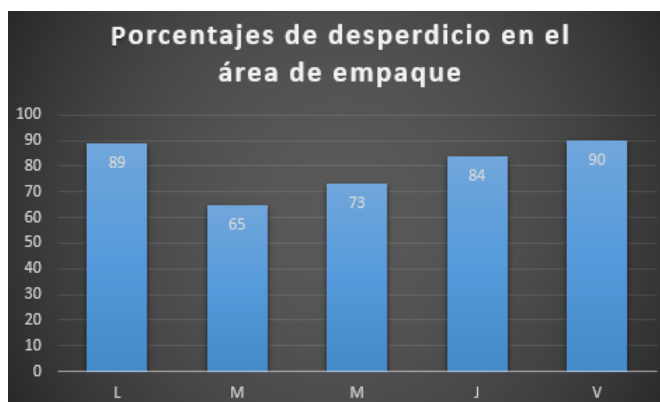


Fig. 1. Desperdicio diario de la línea 1

En la Fig. 2 se observa el scrap generado en las líneas de empaque. Todo esto genera gastos para la empresa ya que se debería estar produciendo más unidades terminadas para el cliente esto ocasiona pérdidas por las unidades adicionales que no se están produciendo y vendiendo. Este sistema no resulta lo suficientemente rentable (los niveles de desperdicio se presentan en la tabla 1), entonces se optará por métodos alternativos para optimizar el proceso cumpliendo con los estándares de calidad del producto.



Fig. 2 Desperdicio generado

TABLA I. NIVELES DE DESPERDICIO NORMALES

Costo de la etiqueta	Cantidad diario del desperdicio	Costo del desperdicio
\$ 0.43 USD	90	\$ 38.7 USD
\$ 0.43 USD	66	\$ 28.38 USD
\$ 0.43 USD	74	\$ 31.82 USD
\$ 0.43 USD	78	\$ 33.54 USD
\$ 0.43 USD	92	\$ 39.56 USD
	Total	\$ 172.00 USD

II. ANÁLISIS DEL PROCESOS

Actualmente el área de empaque presenta oportunidades de mejora, específicamente se identificó la existencia de re-trabajos, así como la generación de desperdicios; éstos incluyen movimientos extras (pasos que no están en el proceso documentado). Todas estas deficiencias se deben a la falta de cuidado de los equipos y herramientas empleadas en el sitio. A continuación se muestra el layout del área de empaque en la Fig. 3.

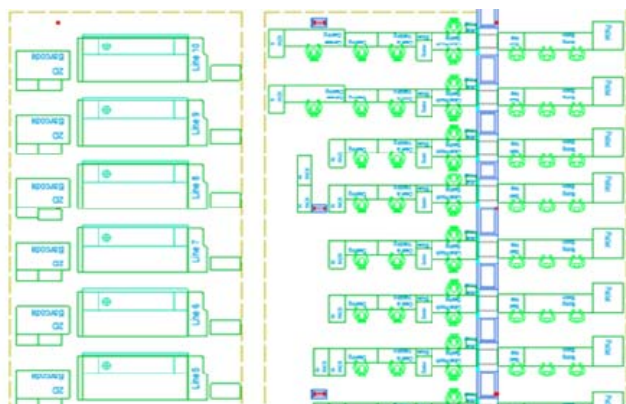


Fig. 3. Área de empaque

El material es recibido en un contenedor el cual se encuentra identificado con una tarjeta con el número de la línea por donde es asignada la WO desde el área de Curving, según Fig. 4.



Fig. 4. Contenedor del material

Para la colocación de la etiqueta, el personal encargado debe de limpiar la superficie de su estación de trabajo con

alcohol al inicio de cada turno y antes de cada lote que se va a manufacturar tal como se puede observar en la Fig. 5.



Fig. 5. Limpieza del área de trabajo.

Posteriormente, debe de asegurarse que ninguna de las partes del catéter manufacturado se encuentre fuera de la carta y que la impresora se encuentre ajusta de acuerdo a los parámetros de calidad que se encuentran en el *technical file* tal como se muestra en la figura 6.

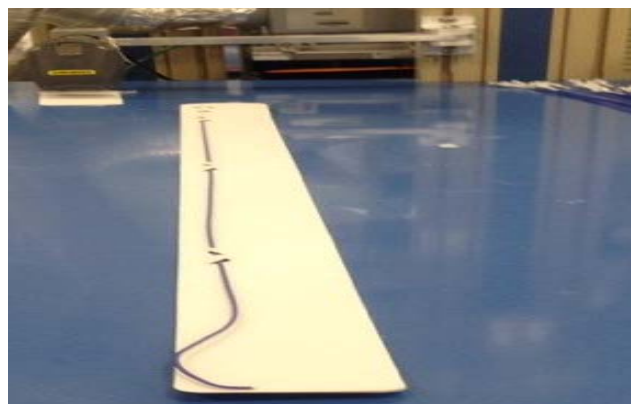


Fig. 6. Revisión de carta

Se toma un *pouch* a la vez y se escanea el número de parte se remueve la etiqueta de la impresora y se coloca al *pouch* en la posición indicada, actualmente al colocar la etiqueta en el *pouch* el personal suele equivocarse en su colocación por no contar con una base o fixtura que ayude a tener una mejor colocación lo cual genera el desperdicio; ver Fig. 7.



Fig. 7. Pouch

Las etiquetas se obtienen cada vez que se escanean las unidades manufacturadas, si el número del material no se encontraba legible esto se notifica al jefe de línea para la confirmación y disposición de la misma. Se revisa cada etiqueta por legibilidad una "franja blanca" delgada a través de la etiqueta.

III. MARCO TEÓRICO

A. Importancia de los productos médicos

Los dispositivos médicos son esenciales para la prevención, el diagnóstico, el tratamiento y la rehabilitación de enfermedades y dolencias se buscan que sean seguros y eficaces. El logro de los objetivos de desarrollo relacionados con la salud, incluidos los Objetivos, Sistemas de gestión de la calidad, Norma Internacional [1] Organización Mundial de la Salud OMS 2017 argumenta que los productos médicos se deben fabricar, regular, planificar, evaluar adquirir, gestionar y utilizar dispositivos médicos de buena calidad, seguros y compatibles con los entornos en que se emplean. Un aspecto importante a considerar es asegurar la calidad y la seguridad de los dispositivos médicos.

B. Normas ISO

Según [2] los sistemas de gestión de la calidad, las normas ISO son un conjunto de normas orientadas a ordenar la gestión de una empresa en sus distintos ámbitos. La alta competencia internacional acentuada por los procesos globalizadores de la economía y el mercado y el poder e importancia que ha ido tomando la figura y la opinión de los consumidores, ha propiciado que dichas normas, pese a su carácter voluntario, hayan ido ganando un gran reconocimiento y aceptación internacional. Las normas ISO son establecidas por el Organismo Internacional de Estandarización (ISO), y se componen de estándares y guías relacionados con sistemas y herramientas específicas de gestión aplicables en cualquier tipo de organización. El Organismo Internacional de Normalización ISO fue creado en 1947 y cuenta con 91 estados miembros, que son representados por organismos nacionales de normalización. Dicho organismo trabaja para lograr una forma común de conseguir el establecimiento del sistema de calidad, que garantice la satisfacción de las necesidades y expectativas de los consumidores.

A comienzos del año 1980, la ISO designó una serie de comités técnicos para que trabajaran en el desarrollo de normas comunes que fuesen aceptadas universalmente. El resultado de este trabajo fue publicado siete años más tarde a través del compendio de normas ISO 9000, posterior a la publicación de la norma de aseguramiento de la calidad-vocabulario (ISO 8402), que fue dada a conocer en 1986 [3].

C. Sistema Poka-Yoke

Poka-Yoke es una técnica de calidad desarrollada por el ingeniero japonés Shigeo Shingo en los años 1960's, que significa "a prueba de errores". La idea principal es la de crear un proceso donde los errores sean imposibles de realizar. La

finalidad del Poka-yoke es la de eliminar los defectos en un producto ya sea previniendo o corrigiendo los errores que se presenten lo antes posible [4, 5]. Shigeo Shingo era un especialista en procesos de control estadísticos en los años 1950's, pero se desilusionó cuando se dio cuenta de que así nunca podría reducir hasta cero los defectos en su proceso. Existen tres tipos de Poka-Yoke:

1. Tipo Contacto. El uso de formas, dimensiones o algunas otras propiedades físicas para detectar el contacto o no contacto de una parte en especial.
2. De número constante. En caso de que un número de movimientos o actividades que no son hechos, una señal de error se dispara.
3. De secuencia de desempeño. Asegura que los pasos a realizar se ejecutan en el orden correcto.

D. Empaques tipo médico

Los empaques médicos son utilizados por la industria de empaques de esterilización para denominar a materiales especialmente diseñados para ese fin y cuya elaboración se encuentra esterilizada, Este tipo de empaques tiene una porosidad controlada de no mayor a 0.5 micrones repelencia al agua [6].

E. 3.5 Pouch

Es un polímero sintético con la esterilización por óxido de etileno y plasma de peróxido de hidrogeno. Es impermeable al agua y alcohol, puede sellarse con calor y tiene indicador químico incorporado El objetivo de esterilizar los materiales es conservar su esterilidad hasta el momento de usarlos y permitir su manipulación en forma aséptica. Características:

- Permitir un cierre hermético.
- Ser compatible con los métodos de esterilización.
- Proveer una barrera adecuada al polvo y microorganismos.
- Permitir la penetración y difusión del agente esterilizante.

El propósito de cualquier sistema de envoltorio es el de contener estos objetos y protegerlos de la contaminación por suciedad, polvo y microorganismos.

IV. METODOLOGÍA

Lo primero que se realizó fue elaborar un diagrama de Ishikawa que permitió identificar las fallas en área de empaque (Fig. 8). Con la utilización del programa Solidworks se elaboró dimensionalmente el diseño de la fixtura con el propósito de colocar adecuadamente las etiquetas que se encuentran en el producto terminado. El objetivo del proyecto fue diseñar e implementar una fixtura tal como se muestra en la Fig. 9, para el área de empaque reduciendo el desperdicio generado durante los turnos de producción. poyo al momento de colocar la etiqueta en el pouch.

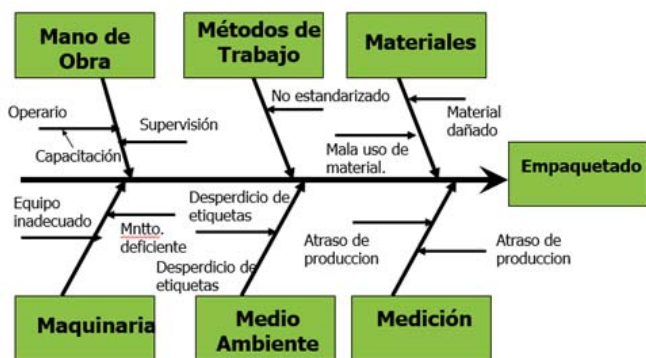


Fig. 8. Diagrama de Ishikawa



Fig. 11. Colocación correcta de la etiqueta

En el siguiente gráfico se observa el porcentaje de desperdicio generado durante su implementación se redujo en 94.6%, lo cual resultara un beneficio para la empresa.

Porcentaje de scrap diario

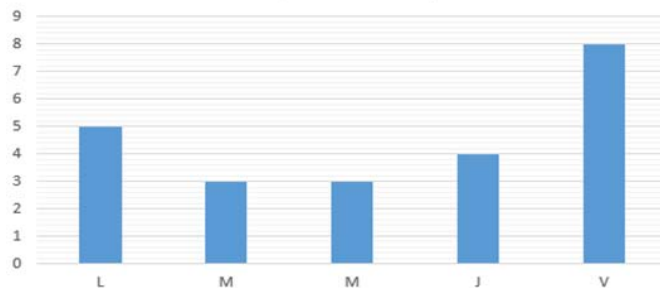


Fig. 12 Porcentaje de scrap diario en la línea 1

V. RESULTADOS

Se puede observar que los niveles de scrap se redujeron en 94.6% y que se obtuvo un ahorro de \$ 162.11 USD durante la semana que se implementó el uso de la fixtura en la línea. El encargado del área ya no tendrá que reacomodar el producto para colocar la etiqueta, no se generarán re-trabajos donde el empleado tenía que esperar la materia prima para poder rescanner las etiquetas para continuar con el proceso. Al utilizar una fixtura que dé soporte al colocar la etiqueta en el *pouch* se impacta positivamente en:

- Reducción de costos: Se utiliza la materia prima necesaria para el proceso y los porcentajes diarios de Scrap se redujeron
- Aumentar la productividad del proceso: Se eliminaron los re-trabajo empleados anteriormente.
- Mejorar la calidad del producto manufacturado: Tomando de referencia los parámetros de calidad que se encuentran en el *technical file*.

Esta mejora solo aplica para el área de empaque, y todo aquel que se encuentre involucrado en realizar esta parte del proceso. Se aseguró que esta mejora no genera un riesgo para

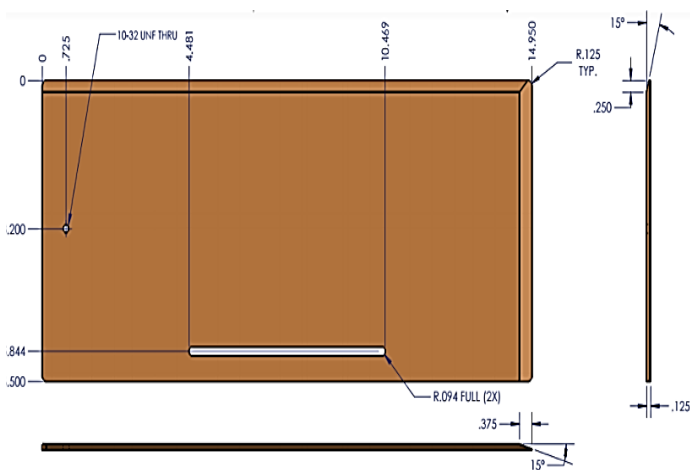


Fig. 9. Fixtura para el área de empaque

Se realizaron pruebas colocando la fixtura en una de las líneas del área empaque para la posible implementación de esta misma si se proporcionaba un decremento en los niveles de scrap, en la Fig. 10 se observa que el encargado en el área de etiquetas tiene un mejor apoyo al momento de colocar la etiqueta en el *pouch*.



Fig. 10. Colocación del *pouch* y de la etiqueta

Mediante las pruebas realizadas en el área de empaque se observó que la colocación de la etiqueta en el *pouch* fue la apropiada en la posición correcta de la etiqueta como se muestra en la Fig. 11 manteniendo los niveles apropiados de calidad.

la persona que se encuentra laborando en el área o cerca de ella.

TABLA II. NIVELES DE SCRAP CON FIXTURA IMPLEMENTADA

Costo de la etiqueta	Cantidad de scrap Diario	Costo de scrap
\$ 0.43 USD	5	\$ 2.15 USD
\$ 0.43 USD	3	\$ 1.29 USD
\$ 0.43 USD	3	\$ 1.29 USD
\$ 0.43 USD	4	\$ 1.72 USD
\$ 0.43USD	8	\$ 3.44 USD
Total		\$ 9.89 USD

VI. CONCLUSIÓN

Lo que se tiene que destacar de este proyecto es que se minimizaron los costos de scrap de las etiquetas en 94.6 %. Anteriormente la empresa gastaba recursos innecesariamente ya que la demanda del producto es demasiado alta. Se espera que con esta implementación se mantengan los niveles de scrap por debajo de los niveles permitidos; se gastará menos dinero y tiempo. Lo más importante es que ya no habrá demoras en la producción del producto aumentando la adherencia de entrega al cliente.

Con la implementación de este proyecto se pudo ver con claridad que si es completamente factible implementar esta metodología en las demás líneas de producción para lograr una mayor eficiencia y eficacia a nivel planta. Se le debe que dar seguimiento a este proyecto ya que se demostró que ya

reduce en buena medida los niveles de scrap, permitiendo a la planta ser más competitiva, sobre todo con estos recursos que se están ahorrando se puede destinar a otras actividades generando valor al producto.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Carta: Plantilla para catéteres.
 Packing: Área de empaque.
 Pouch: Polímero sintético.
 Scrap: Material sobrante o de desperdicio.
 Curving: Área donde se le da forma a la curva.

REFERENCES

- [1] Organización Mundial de la Salud OMS (2017) Descargado en línea desde: http://www.who.int/medical_devices/es/ 2017
- [2] Sistemas de gestión de la calidad, Norma Internacional ISO 9000, Secretaria Central ISO, Ginebra, Suiza, pp 5-6, 2005.
- [3] International Organization for Standardization ISO 13485 Quality management for medical devices ISO Central Blandón net Vernier, Geneva p3 2016
- [4] Case, S.K., J.A. Jalkio and R.C.Kim, "3-D Vision System Analysis and Design", in Three-Dimensional Machine Vision, Takeo Kanade, Ed. Kluwer Academic Publishers, Norwell, M.A, pp. 63-95. (1987).
- [5] García-Criollo,R. "Estudio del Trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo," México: Mc Graw Hill, Segunda Edición, 2005
- [6] Acosta-Gnass, S. y De Andrade Stempliuk, V.Manual de esterilización.

Proyecto de mejora en los procesos de curado y pintura en una empresa de productos eléctricos

Reducción de Costos

Jorge Arturo Muñoz Hernández
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
al208548@uabc.edu.mx

Laura Fabiola Amezcua López
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
famezcua@uabc.edu.mx

Karina Cecilia Arredondo Soto
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
karina.arredondo@uabc.edu.mx

Teresa Carrillo Gutiérrez
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
tcarrillo@uabc.edu.mx

Abstract — An electronic products company identified an important opportunity area in the painting and curing process after performing an analysis for continuous improvement in each of the different areas of the company. The produced pieces are coated with powder paint, which is applied with a dispersing machine, so not all the paint is adhered to the piece worked. This causes a significant amount of the material to be distributed in the working area, in constant movement with the air flow. The purpose of the proposal was to implement a recycling system to recover the powder paint does not adhere to the product; for this purpose, a vacuum-type machine was used capable of capturing most of the wasted product to be reused in another process, resulting in economic saving and reducing the ecological impact on the environment.

Keywords— Manufacturing Processes, Continuous Improvement.

Resumen — Los procesos de pintado y curado en el área de producción en una empresa de productos eléctricos, resultó una importante área de oportunidad después de realizar un análisis para la mejora continua en cada una de las diferentes áreas de la empresa. Las piezas se recubren con pintura en polvo, la cual se aplica con una máquina dispersora, por lo que no toda la pintura se adhiere a la pieza trabajada. Lo anterior provoca que una importante cantidad del material quede distribuido en el área de trabajo, en constante movimiento con el flujo del aire. La propuesta tuvo por objetivo implementar un sistema de reciclaje para recuperar la pintura en polvo que no se adhiere al producto; para tal fin se utilizó una máquina tipo aspiradora capaz de capturar la mayoría del producto desperdiciado para reutilizarse en otro proceso, dando como resultado un ahorro económico y reduciendo el impacto ecológico en el medio ambiente.

Palabras Clave—Procesos de Manufactura, Mejora Continua.

I. INTRODUCCIÓN

La empresa (caso de estudio) se desarrolló y fundó en los Estados Unidos ofreciendo productos electrónicos. En la actualidad esta empresa fabrica productos revolucionarios que

umentan la seguridad eléctrica, mejorado la comunicación y proporcionando la eficiencia que permite ahorrar costos. Este proyecto se realiza en el área de producción, específicamente en los procesos de pintado y curado de las piezas producidas. El proceso es funcional de manera operativa, pero este no cuenta con un proceso de reciclaje de pintura para disminuir los desperdicios de material, los cuales a su vez tienen un impacto ecológico debido al esparcimiento de partículas de polvo en el medio ambiente.

El plan propuesto incluye la aplicación de un proceso de reciclado de material, el cual es catalogado como desperdicio para la empresa. Este proceso tiene como objetivo principal el ahorro económico que representará para la empresa, así como mitigar las emisiones de partículas de polvo en el medio ambiente. Para el cumplimiento del proyecto fue necesario comprar una máquina tipo aspiradora diseñada para recuperar las partículas de material que estén en el ambiente, aplicando un pequeño proceso de rehabilitación del material para volverlo a utilizar.

II. CONTENIDO

Los sistemas de producción son perfectibles, pueden analizarse desde diferentes enfoques para alcanzar las mejoras. Una de las metodologías más utilizadas por los ingenieros industriales es la filosofía de Manufactura Esbelta y sus herramientas [1]. Sin embargo, antes de tomar la decisión de aplicarla, se realizó una investigación documental referente al proceso de tratamientos superficiales y recubrimientos, con la finalidad de determinar si es aplicable a este caso.

Paredes y Helguero [2] diseñaron, desde la perspectiva ecológica, una cámara de pintura electrostática con recuperación de polvo para una empresa metal mecánica. La preparación de la superficie del producto se realiza con un baño en ácido fosfórico para remover impurezas y mejorar la adherencia de la pintura en el material. La pintura se aplica mediante una pistola con aire con el inconveniente del desperdicio de pintura debido a que no todo se asienta en el producto, así como también la difusión de una nube de polvo generada en la estación de trabajo debido a las partículas suspendidas en el ambiente. Se propuso un sistema de

extracción con ventilación localizada compuesta por una campana de extracción, una tubería de acero galvanizado, un tipo de separador de partículas (un ciclón), y por último un ventilador centrífugo de tiro inducido. Este último, genera vacío para atraer el aire con material particulado en suspensión. Adicionalmente se incluyó una tolva en el piso de la cámara de aplicación para ayudar con la recolección del polvo en el piso basándose en el ángulo de reposo del polvo.

Es de interés resaltar que por razones ecológicas se impulsa el control de la emisión de solventes volátiles a la atmósfera, e induce al desarrollo de pinturas en polvo constituidas en su totalidad por sólidos, es decir sin solventes en su composición. Las pinturas en polvo pueden o no estar pigmentadas y requieren un tratamiento térmico para la formación de una película continua y adherente [3]. Las pinturas en polvo electrostático son una alternativa para acabados que brindan características superiores con respecto a la pintura líquida, como la resistencia mecánica y la oxidación. Para utilizar este tipo de pintura es necesario contar con un horno de curado para completar el proceso químico de la misma [4].

Por otra parte, se encontró un estudio el cual tuvo por objetivo analizar el proceso de secado de pintura aplicada en juegos infantiles para la optimización de los tiempos de curado [5]. El estudio consistió en la realización de pruebas de secado de placas pintadas a diferentes temperaturas (80°C, 100°C, 120°C y 140°C), se empleó un horno prototipo por convección a electricidad. Se evaluó la dureza, el brillo, la saturación y el tono del color y el espesor de la capa de pintura, a los 15, 30, 45 y 60 minutos de horneado. El proceso inicial de secado tardaba alrededor de 18 horas, obteniendo un grado de dureza de 6/10 (donde 10 es el grado de dureza más alto y se aplicó la prueba de dureza con lápiz según la norma ASTM D 3363), mientras que los experimentos mostraron que el curado al horno alcanzó una dureza de la pintura de grado 9/10 en 60 minutos [6, 7]. Entre las temperaturas experimentadas, el proceso de curado a 120 °C y 140 °C alteró la saturación y el matiz de la pintura. El secado a 100 °C permitió alcanzar una dureza de grado 9 a los 60 minutos, sin alteración de matiz ni brillo. Se pudo concluir que el espesor de la capa de pintura es menor mientras más elevada es la temperatura.

Otro estudio [8] sugiere que los factores que pueden afectar la aplicación, secado y curado de la pintura son la temperatura, humedad, corrientes de aire y la presión barométrica. De igual manera, los sistemas de control ambiental en el taller proporcionan una presión positiva interior para mantener el polvo y otras impurezas fuera del área de pintura y tener un ambiente idóneo para su aplicación. Debido a que la pintura convencional y la de altos sólidos difieren en composición, el uso del equipo y de facilidades adecuadas, así como las habilidades de los pintores para aplicarlas marcan la diferencia en el producto final.

III. METODOLOGÍA

A. Caracterización de materiales

Los recubrimientos fueron realizados sobre un acero al carbono AISI-SAE 1010. Los materiales utilizados para los recubrimientos son polvos de Ni Ultrabond 50000 y Ni-W-Co Metaceram 29123 ambos de la marca comercial Eutectic Castolin, además de SiC de la firma comercial Buehler. Estos materiales fueron caracterizados mediante Difracción de Rayos X (DRX) utilizando un difractor de Rayos X Rigaku Miniflex con una fuente de cobre y análisis de energía dispersiva (EDS) por micro sonda de Oxford Instruments acoplada al microscopio electrónico de barrido JEOL JSM-5910LV. Lo anterior con el fin de determinar su composición, morfología y tamaño de partícula y establecer las condiciones a las que el recubrimiento debe ser depositado sobre el sustrato para obtener una capa con buena adherencia y con la menor cantidad de defectos posible.

B. Determinación de la porosidad del recubrimiento

Una vez obtenidos los recubrimientos se procedió a cortar las muestras a través de su sección transversal, con un disco diamantado a 200 revoluciones por minuto (RPM) y con una carga de 100 gramos en la cortadora ISOMET 1000 de la marca comercial Buehler. Posteriormente se realizó un montaje en baquelita, el desbastado y pulido en paño con pasta de diamante para el análisis estructural de los recubrimientos. Finalmente se realizó análisis micro estructural de cada uno de los recubrimientos, mediante microscopía electrónica de barrido JEOL JSM-5910LV. Las imágenes obtenidas fueron utilizadas para determinar la porosidad por medio del analizador de imagen IPML-DUTH.

IV. PROPUESTA DE MEJORA Y RESULTADOS

Los números de parte analizados fueron: OX69119008506 (caja de 14 pulgadas), OX68703008502 (puerta de 14 pulgadas) y OX69120008506 (caja de 28 pulgadas). El *set up* (criterios de preparación del proceso) recomendado para la pieza OX68703020098 (caja de 28 pulgadas) y para la pieza OX68703008502 (caja de 14 pulgadas) se muestran en la tabla 1. El colgado recomendado incluye colgar horizontalmente una pieza por cada dos barras de colgado con un par de ganchos 16.5612-VV-90-LEV. Se deberá de colgar a través de los orificios de la caja ubicados en las esquinas de esta, colgar otra caja de la misma manera con otro par de ganchos V-1012-LEV a la pieza ya colgada.

TABLA 1 ESPECIFICACIONES PARA EL ARRANQUE DEL PROCESO DE CURADO PARA CAJAS DE 28 Y 14 PULGADAS

Parámetros	28"	14"
Velocidad de la banda transportadora	5.63 Ft/min	5.31 Ft/min
Punto de ajuste máximo	500° F	500° F
Punto de ajuste mínimo	440° F	440° F

El *set up* recomendado para la pieza OX69120008506 (caja de 42 pulgadas) se muestra en la tabla 2. El colgado recomendado incluye colgar horizontalmente una pieza por cada dos barras de colgado con un par de ganchos 16.5612-

VV-90-LEV. Se deberá de colgar a través de los orificios de la caja ubicados en las esquinas de esta, colgar otra caja de la misma manera con otro par de ganchos V-1012-LEV a la pieza ya colgada. El siguiente par de cajas deberán de estar colgadas en tres barras de colgado utilizando la misma metodología.

TABLA 2 ESPECIFICACIONES PARA EL ARRANQUE DEL PROCESO DE CURADO PARA CAJAS DE 42 PULGADAS

Parámetros	42''
Velocidad de la banda transportadora	5.47 Ft/min
Punto de ajuste máximo	500° F
Punto de ajuste mínimo	440° F

A. Resultados obtenidos con el set up propuesto

Para la pieza con número de parte 0X69119008506 (caja de 14 pulgadas) se realizó una prueba de curado bajo los parámetros especificados en la tabla 3.

TABLA 3 PARÁMETROS DE LA PRUEBA DE CURADO, NÚMERO DE PARTE 0X69119008506

Velocidad de la banda transportadora	5.48 Ft/min
Punto de ajuste máximo	500° F
Punto de ajuste mínimo	440° F
Temperatura máxima	438° C
Temperatura mínima	436° C
Humedad	35%
Temperatura ambiente	29° C

El proceso de colgado se realizó de la forma sugerida. Se colgó horizontalmente una pieza por cada dos barras de colgado con un par de ganchos 16.5612-VV-90-LEV. Se colgó a través de los orificios de la caja ubicados en las esquinas de esta, posteriormente se colgó otra caja de la misma manera con otro par de ganchos V-1012-LEV a la pieza ya colgada. Los operadores cambiaron los ganchos superiores propuestos por los estándares, por lo que se tuvieron que reemplazar los que colocaron en su lugar por los 16.5612-VV-90-LEV. Las pruebas de calidad realizadas se aprobaron y se enlistan en la tabla 4. Durante el proceso se dañó parcialmente la pintura de la tapa superior de la pieza, como se resalta en la figura 1.

TABLA 4 PRUEBAS DE CALIDAD, NÚMERO DE PARTE 0X69119008506

Espesor de la pintura	3.18 a 3.32 mm Interior	3.04-3.4 mm Exterior
Prueba de adhesión	Aprobada	Aprobada
Prueba de impacto	Aprobada	Aprobada
Prueba de curado	Aprobada	Aprobada

Para la pieza con número de parte 0X68703008502 (puerta de 14'') se realizó una prueba de curado bajo los mismos parámetros del número de parte 0X69119008506 presentados en la tabla 3. El proceso de colgado se realizó también de la

misma forma sugerida. Los operadores cambiaron los ganchos propuestos por los estándares. Al realizar el cambio de ganchos se desprendió un poco de la pintura de ambas piezas, pero sin rayas aparentes como se presenta en la figura 2. La tabla 5 muestra los resultados de las pruebas de calidad.



Fig. 1. Prueba de calidad realizada en las partes interior y exterior del armazón de 14'', número de parte 0X69119008506

TABLA 5 PRUEBAS DE CALIDAD, NÚMERO DE PARTE 0X68703008502

Espesor de la pintura	3.50 mm Frontal	3.06-3.32 Anterior
Prueba de adhesión	Aprobada	Aprobada
Prueba de impacto	Aprobada	Aprobada
Prueba de curado	Aprobada	Aprobada



Fig. 2. Pruebas de calidad realizadas en la cara frontal y anterior de la puerta de 14'', número de parte 0X68703008502

El set up recomendado para la pieza 0X68703020098 (caja de 28'') fue el mismo que se utilizó en los dos números de parte anteriores, con los parámetros mostrados en la tabla 6.

TABLA 6 PARÁMETROS DE LA PRUEBA DE CURADO, NÚMERO DE PARTE 0X68703020098

Velocidad de la banda transportadora	5.63 Ft/min
--------------------------------------	-------------

Punto de ajuste máximo	500° F
Punto de ajuste mínimo	450° F
Temperatura máxima	451° C
Temperatura mínima	450° C
Humedad	34%
Temperatura ambiente	28.7° C

El proceso de colgado se realizó de la forma sugerida, obteniendo los resultados presentados en la tabla 7.

TABLA 7 PRUEBAS DE CALIDAD, NÚMERO DE PARTE 0X68703020098

Espesor de la pintura	3.80 mm	3.2
	Frontal	Anterior
Prueba de adhesión	Aprobada	Aprobada
Prueba de impacto	Aprobada	Aprobada
Prueba de curado	Aprobada	Aprobada



Fig. 3. Piezas muestras al terminar el proceso de curado

La cadena de la banda transportadora no estaba apropiadamente limpia, por lo que contaminó las piezas muestra y algunas otras a su alrededor (ver figuras 3 y 4). Las cajas muestran pasaron todas las pruebas de calidad en la pintura, solamente el espesor de pintura en una de ellas es

mayor al recomendado, como se puede identificar en la tabla 11. Sin embargo, esto no es un problema nuevo para las piezas que son pintadas con ese tipo de pintura especificado para cajas y puertas. Los parámetros generales de operación, referente a las especificaciones del proceso de curado, el control de la temperatura, la velocidad de la banda transportadora y del espesor de la pintura se presentan en las tablas 8 a 11.



Fig. 4. Impurezas en la pintura debido a la contaminación de la banda transportadora

V. CONCLUSIONES

En los procesos productivos, la gran parte de los proyectos se enfocan al análisis de los tiempos de operación para mejorar la eficiencia y aspectos de calidad; sin embargo, se debe buscar siempre la optimización y constante mejora para que los procesos sean cada vez más eficientes, reduciendo los desperdicios como se propuso en este proyecto. Después de realizar la aplicación de la propuesta se notaron cambios significativos en el área ya que el ambiente se encontraba prácticamente descontaminado de las partículas que son recuperadas por la máquina instalada.

El aspecto económico es uno de los beneficios más importantes, de acuerdo al reporte que proporcionó el área de compras se consumió un 25% menos material comparado con el mes anterior. El proyecto sigue en funcionamiento y en busca de nuevas mejoras, dentro de tres meses se realizará una completa evaluación en busca de nuevas áreas de oportunidad.

Tabla 8 Especificaciones para el proceso de curado

Número de parte	Descripción	Curado					
		Temperatura (°F)			Tiempo (minutos)		
		Método Actual	Especificaciones proveedor	Práctica	Método Actual	Especificaciones proveedor	Práctica
0X69119008506	Caja de 14''	400	400	394	10	10	10
0X68703008502	Puerta de 14''	400	400	380	10	10	10
0X69120008506	Caja de 28''	400	400	402	10	10	10

Tabla 9 Especificaciones para el control de la temperatura

Número de parte	Descripción	Control temperatura			
		Mínima (° F)		Máxima (° F)	
		Especificaciones			
		Método Actual	Práctica	Método Actual	Práctica
0X69119008506	Caja de 14''	420	438	440	439
0X68703008502	Puerta de 14''	420	428	440	429
0X69120008506	Caja de 28''	420	433	440	434

Tabla 10 Especificaciones de velocidad de la banda transportadora

Número de parte	Descripción	Velocidad de la banda transportadora			
		Método Actual		Práctica	
		Indicador del control	Velocidad (Ft/min)	Indicador del control	Velocidad (Ft/min)
0X69119008506	Caja de 14''	32-38	5.0-6.0	34	5.33
0X68703008502	Puerta de 14''	32-38	5.0-6.0	35	5.50
0X69120008506	Caja de 28''	32-38	5.0-6.0	32	5.00

Tabla 11 Especificaciones de espesor

Número de parte	Descripción	Rango de espesor (MILS)		
		Método Actual	Especificaciones Proveedor	Práctica
0X69119008506	Caja de 14"	2.0-3.5	2.0-3.5	3.5-7.0
0X68703008502	Puerta de 14"	2.0-3.5	2.0-3.5	3.0-5.3
0X69120008506	Caja de 28"	2.0-3.5	2.0-3.5	2.0-3.5 interior 4.0-7.0 exterior

REFERENCES

- [1] Vargas-Hernández, J., Muratalla-Bautista, G., Jiménez-Castillo, M. (2016). Lean Manufacturing ;Una Herramienta de Mejora de un Sistema de Producción? Ingeniería Industrial Actualidad y Nuevas Tendencias, 5, 22.
- [2] Paredes Salinas, C. I., & Helouero González, M. (2013). Diseño de una Cámara de Pintura Electroestática con Recuperación de Polvo para una Empresa Metal-Mecánica.
- [3] Cibrán, F. (1997). Pre tratamiento de Superficies v Estudios de Aplicación de Pinturas Ecológicas (Doctoral dissertation, Facultad de Ingeniería).
- [4] Giudice, C. A., & Pervira, A. M. (2009). Tecnología de Pinturas v Recubrimientos. Componentes, Formulación, Manufactura y Control de Calidad.
- [5] Escobar Ramírez, J. F. (2009). Estudio de Factibilidad para Renovación de Tecnología en Hornos de Curado de Pintura Electroestática en la Industria de Elevadores (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- [6] Lascano Aguilar, C. I., Tuniza, G., & Elizabeth, N. (2017). Análisis del Proceso de Secado de Pintura Aplicada en Juegos Infantiles para la Optimización de Tiempos.
- [7] ASTM D3363-05 (2011). *Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test*. Disponible en línea desde: <https://www.astm.org/Standards/D3363.htm>
- [8] Solaequi Nebradt, J. F. (2012). *Análisis v Optimización del Proceso de Pintura de una Aeronave Bombardier CRJ-200*.

Control de inventarios implementando el método PEPS a través del Kaizen

Reducción de Costos

Daniel Salas Gallegos
Facultad de Contaduría y
Administración
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
salas.daniel@uabc.edu.mx

Alejandro Martínez Castellanos
Facultad de Contaduría y
Administración
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
al225732@uabc.edu.mx

Maria Marcela Solís Quinteros
Facultad de Contaduría y
Administración
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
marcela.solis@uabc.edu.mx

Karina Cecilia Arredondo Soto
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
karina.arredondo@uabc.edu.mx

Abstract — M&L distributing company is a company dedicated to supply materials for the preparation of pizzas and cakes. The company has various deficiencies in the control of inventories, specifically in the entrances, control of expiration dates, placement and departures of materials in the warehouses. Implementing the Kaizen seeks to control the inventories thus reducing costs and losses due to wastes, or due to poor handling of materials inside the warehouses; all this with keeping a register for arrivals and departures, and with a distribution and labeling of the materials within the warehouses using the peps method

Keywords— Inventory Control, Kaizen, PEPS Method

Resumen — Distribuidora M&L es una empresa que se dedica a la proveeduría de materiales para la elaboración de pizzas y pasteles. La empresa cuenta con diversas deficiencias en cuanto al control de inventarios, específicamente en las entradas, control de fechas de caducidad, acomodo y salidas de materiales en los almacenes. Implementando el Kaizen se busca controlar los inventarios disminuyendo así costos y pérdidas por desperdicios, o por malos manejos que se hagan de materiales dentro de los almacenes, todo esto llevando un registro para entradas y salidas y con una distribución y etiquetado de los materiales dentro de los almacenes utilizando el método PEPS.

Palabras Clave—Control de Inventarios, Kaizen, Método PEPS

I. INTRODUCCIÓN

La problemática que enfrenta la empresa Distribuidora M&L, es que no cuenta con una correcta distribución de su almacén, añadiendo que no tiene un registro de su inventario y no se tiene un conocimiento de que productos se encuentran en tiempo real en almacén y al ser esta una empresa que

maneja alimentos carece del método PEPS (primeras entradas y primeras salidas), pudiendo evitar con esta técnica el deterioro de sus productos.

Justificación de la investigación

A través de un recorrido que se llevó en la Distribuidora M&L, siendo está una empresa familiar que se dedica a la venta de materia prima para pizzería, panadería, tortillería y repostería, se pudo percatar de que no cuenta con una correcta distribución de su almacén, añadiendo que no tiene un registro de su inventario y no se tiene un conocimiento de que productos se encuentran en tiempo real en el almacén, la finalidad de esta investigación es que se lleve un proceso de inventario para evitar pérdida de materia prima y generar un mayor control en los tiempos de entrada y salida de las mismas eficientando los movimientos en el almacén.

A continuación se muestra la tabla 1 donde se identificó que no se tenía la cifra exacta de las mercancías físicas en el almacén, se contabilizó cada producto existente y se obtuvieron un total de 21 productos faltantes, lo que significa en pérdidas para la empresa de \$3,780 pesos mensuales.

LOCACIÓN	PRODUCTO	ADQUISICION MENSUAL	FALTANTE DE PRODUCTOS	COSTO DE LOS FALTANTES	PRECIO DE VENTA
Exterior	Harina	256	2	\$ 660.00	\$ 778.00
Refrigeración	Crema chantilly lit	1335	13	\$ 430.00	\$ 550.00
Interior	Cobertura chocolate Puntos	4	2	\$ 740.00	\$ 960.00
Interior	Queso parmesano	28	3	\$ 330.00	\$ 405.00
Interior	Crema batido cubeta	36	4	\$ 1,620.00	\$ 1,900.00
Interior	Margarita	36	6	\$ -	\$ -
COSTO DEL FALTANTE				\$ 3,780.00	\$ 4,593.00

Tabla 1 Costo mensual de los faltantes

II. ANÁLISIS DEL PROCESOS

La empresa Distribuidora M&L muestra ineficiencia en la gestión de control de inventarios, debido a que no cuenta con

un proceso adecuado para el manejo de la mercancía de los almacenes provocando mala distribución de los productos, falta de higiene, ocasionando pérdidas en los inventarios por no contar con las medidas necesarias y el desconocimiento de la fecha de caducidad de los productos.

Proceso específico: Distribuidora M&L cuenta con dos almacenes, uno al interior de las instalaciones y otro en el exterior a pocos metros del local, el que se encuentra dentro del local es utilizado para productos que requieren refrigeración y algunos productos que son menos pesados, como cajas con productos con rangos de aproximadamente 10 kilos, las cuales contienen a su vez productos 400 gr a 1kg; el almacén que se encuentra en el exterior cuenta con aproximadamente 6 metros de ancho por 10m de profundidad, en el cual se colocan los productos o estibas más grandes, de productos más pesados que van desde los 20 a los 50 kilos por pieza.

A continuación se muestra en la Fig. 1 el diagrama de flujo de entrada al almacén, donde las actividades identificadas representan oportunidades de mejora.

El colaborador solo se encarga de descargar y de firmar de recibido al chofer del proveedor su orden de entrega de los productos, ya que no cuenta con una orden de compra con la cual pueda cotejar lo que se recibe con lo que fue requerido. Debido a que no cuenta con un sistema de inventarios, el encargado no realiza una captura de datos de materiales recibidos.

El colaborador coloca el nuevo material en cualquier parte del almacén donde encuentre un lugar disponible, en ocasiones lo coloca donde está la mercancía que corresponde al producto pero sin acomodarlo, dejando abajo el material con fecha más próximas a caducar.

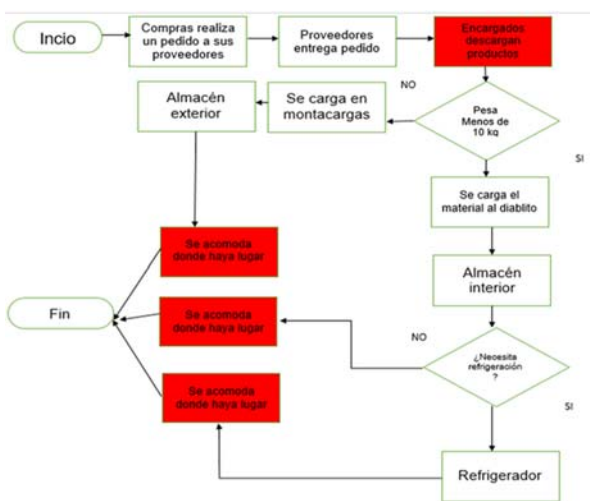


Figura 1 Diagrama de flujo almacén de entrada

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo del almacén de salida donde se identifican las actividades de posible mejora. Se pudo constatar que el colaborador no captura las salidas de almacén debido a que la empresa no cuenta con un sistema ni lleva a cabo algún registro en papel de lo que salió al momento de retirar el producto del almacén.

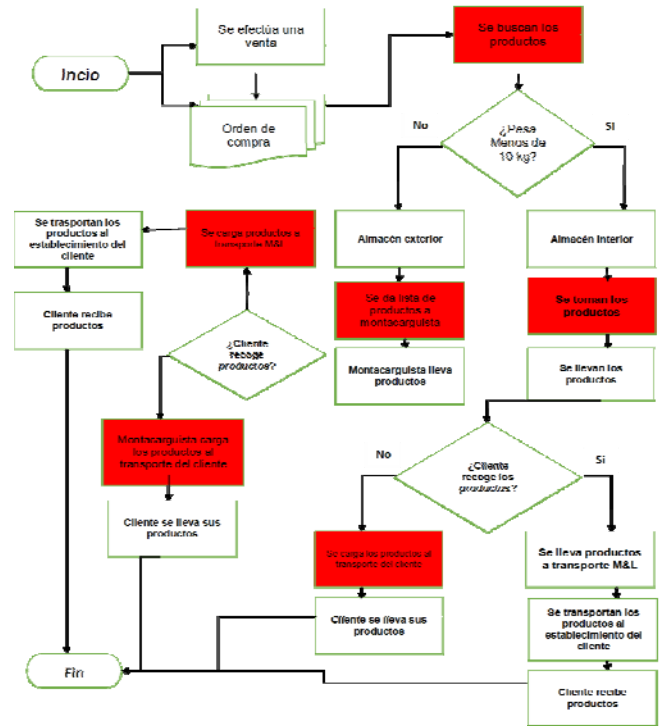


Figura 2 Diagrama de flujo de almacén de salida

III. MARCO TEÓRICO

A. Importancia del control de inventarios

El control de inventarios en una organización constituye un aspecto importante porque representan el punto de referencia para la toma de decisiones en la comercialización de bienes y servicios de una organización; en este sentido se convierte como una herramienta necesaria para registrar las cantidades que tiene la empresa, jugando un papel relevante en la etapa de abastecimiento y desarrollo de la demanda para lograr resultados confiables en el control de materiales [1]

B. Kaizen

Kaizen significa mejoramiento continuo ya sea en la vida personal, familiar, social y de trabajo; cuando se refiere al trabajo se debe involucrar a gerentes y trabajadores por igual [2].

Según [3] Kaizen lo define como una filosofía de gestión donde se pueden generar cambios pequeños que generan

mejoras incrementales en un área de trabajo específica para reducir despilfarros, logrando el incremento en la innovación

La herramienta principal que utiliza el Kaizen es el ciclo de Deming para lograr la mejora continua, este ciclo es conocido como PHVA por sus siglas en español (planear, hacer, verificar y actuar). De acuerdo a [4] se deben cumplir estas etapas si se quiere lograr alcanzar la mejora en el desempeño de cualquier actividad en una organización

C. Método PEPS

El Método PEPS establece que los artículos de inventario que ingresaron primero, serán los primeros en salir o en venderse; por consecuencia los costos de inventarios que se tienen, será mayor y los inventarios que se venden tendrán menor valor [5]

Mediante la correcta implementación del método PEPS es posible alcanzar mayor exactitud en los registros y control físico de los artículos; así como aumentar la eficiencia en las operaciones, al obtener información útil, sobre los costos reales de los diferentes insumos logrando un control positivo sobre el inventario [6]

Metodología

La investigación que se desarrolló fue de tipo descriptiva donde consistió en plantear lo más relevante de la situación relacionada con el control de inventarios y definir su análisis y los procesos que involucra el método de inventarios PEPS, el cual se desarrolló en fases y actividades de seguimiento para poder definir la solución. Los pasos llevados a cabo fueron los siguientes:

- 1 Entrevista con el propietario de la empresa.
- 2 Recorrido en las instalaciones para conocer los procesos que realizan y observar las áreas que se manejan en la empresa.
- 3 Analizar el almacén, puesto que a simple vista se observaron varias diferencias en sus procesos y distribución de la mercancía.
- 4 Identificar la problemática por medio de un diagrama causa-efecto para definir las causas reales
- 5 Revisar los diagramas de flujo actuales y dar propuestas de mejora.
- 6 Implementar el kaizen utilizando la herramienta PHVA para introducir el método PEPS

El objetivo general es encontrar las causas de porque existe un mal manejo en el área de almacén y sus inventarios, por lo que se utilizó el diagrama de causa-efecto (Figura 3), identificando que las causas principales que originan los malos procesos dentro del área de almacén, está relacionado con la nula capacitación a empleados ocasionando desconocimiento de los procesos que se deben de seguir en el área de almacén.



Figura 3 Diagrama de causa-efecto

Después de identificar las actividades potenciales de mejora en los diagramas de flujo de entrada y salida del almacén, se proponen los siguientes diagramas de flujo mejorados (ver figuras 4 y 5)

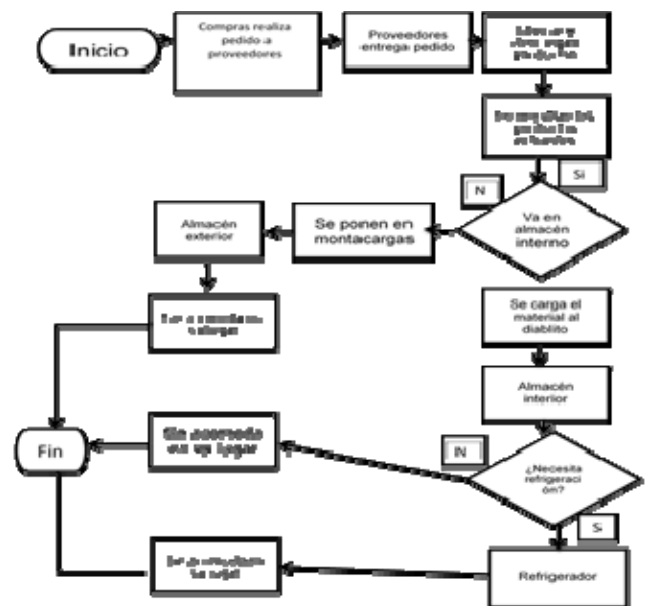


Figura 4 Propuesta de Diagrama de flujo almacén de entrada mejorado

En el Diagrama de flujo almacén de entrada recomendado los encargados checan y registran los artículos y los acomodan en lugar específico. Respecto al diagrama de flujo almacén de salida también se checan, descargan y se generan identificación, así como registro de los artículos en cada una de las etapas donde existen movimientos de entrega.

IV. RESULTADOS

Al implementar el método de inventarios PEPS (Primeras Entradas, Primeras Salidas) se corrigió el proceso que se maneja en almacén ya que hace una evaluación ordenada cronológicamente y éste suele ser el orden de salida de las mercancías (las más antiguas primero), justificando las fechas exactas de tal manera que se respetara la caducidad de cada producto al utilizar el método antes mencionado.

Además, que el reacomodo de las mercancías que se encuentran en los almacenes, al separar los productos referentes al giro como es pizzería, tortillería y pastelería de acuerdo a que cada producto tenga su espacio de distribución tanto en los almacenes interno y externo como en los refrigeradores facilita el proceso de acomodo.

La propuesta de una secuencia mejorada en el diagrama de flujo tuvo un impacto significativo, pues el acomodo de la mercancía en el lugar indicado facilita el buen uso del método PEPS logrando eliminar los costos por faltante de \$3780 pesos mensuales, representando al año un promedio de \$45 360 pesos

El método PEPS se implementó conforme a las dos necesidades principales, una para evitar el rezago de inventario; al entrar nuevos insumos se acomodará debajo o de forma que quede el inventario existente al frente o por encima del nuevo, de esta forma el encargado de almacén podrá localizar inmediatamente el producto que ingreso primero y tomarlo de su locación.

Por otra parte, para evitar que caduquen los inventarios, se colocará una hoja impresa en la cual se expresen los siguientes datos:

- Nombre del producto
- Cantidad de piezas
- Fecha de entrada a almacén
- Número de lote (asignarle uno)
- Número de orden de pedido

Todos los datos anteriores deberán estar debidamente localizados al frente del pallet ingresada, o en caso de no tenerla, pegar la hoja impresa al frente del lote de producto ingresado en almacén.

V. CONCLUSIÓN

El análisis que se llevó a cabo permitió conocer a fondo los procesos que la empresa Distribidora M&L maneja, identificando las causas reales que ocasionaban el mal manejo de su control de inventarios. Esto permitió aplicar la metodología de Kaizen logrando la eliminación de los costos con simples modificaciones

El método de inventario PEPS es factible de implementar y se cumplió el objetivo deseado teniendo en cuenta que los resultados fueron favorables para la empresa.

Es importante dar seguimiento de forma constante hasta que se vuelva una disciplina por parte de los empleados y que va a repercutir finalmente en un mejor servicio al cliente.

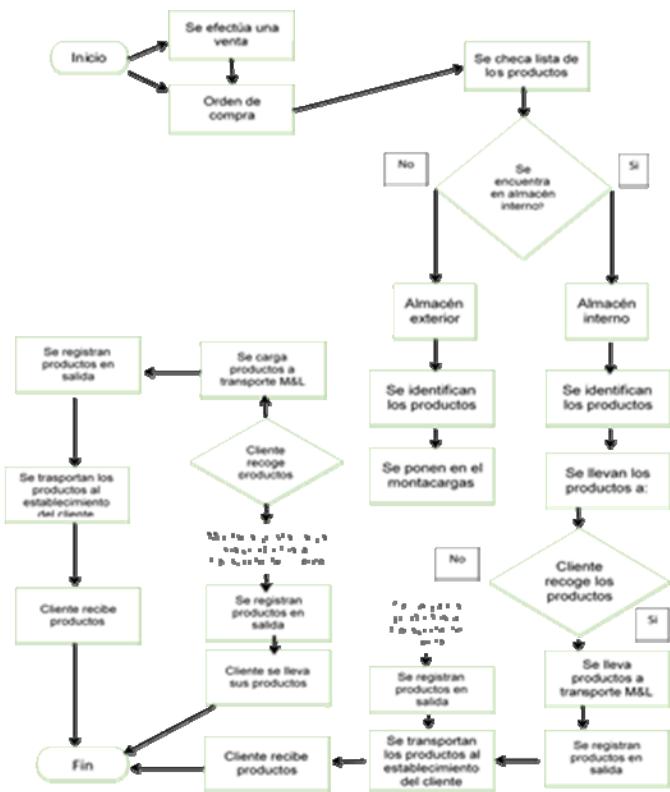


Figura 5 Propuesta de Diagrama de flujo almacén de salida mejorado

En la tabla 2 se presentan las actividades realizadas para introducir el método PEPS utilizando el Kaizen a través de PHVA

FASE 1 PLANEACIÓN	ACTIVIDADES
1.1 Presentación	Presentación digital e impresa de la mejora continua e implementar y actividades (presentar a propietarios del negocio y encargados del almacén)
1.2 Aprobación	Aprobación por parte de los responsables de la implementación del plan de trabajo.
FASE 2 HACER	ACTIVIDADES
2.1 Capacitación	Explicar al personal involucrado el proceso e implementar una disciplina de acuerdo al método PEPS, para la solución de la problemática que se identificó en la organización y al programa de actividades para desarrollar la mejora, los beneficios y el impacto que se tendrá al realizar el proyecto
2.2 Designación de tareas	<ul style="list-style-type: none"> • Dividir el proceso y asignar las tareas a realizar por parte de los colaboradores, analizando las funciones que deberán implementar • Implementar el método de inventarios "PEPS" (Primeras Entradas, Primeras Salidas) • Reacomodo de las mercancías que se encuentran en los almacenes optando por separar los productos referentes al giro como es pizzería, tortillería y pastelería
FASE 3 VERIFICAR	ACTIVIDADES
3.1 Seguimiento, medición, análisis y evaluación	<ul style="list-style-type: none"> • Se revisará constantemente el acuerdo de la mercancía para prevenir accidentes y deterioro del producto. • Semanalmente se hará un conteo selectivo de mercancías para verificar que todo esté en orden. • Se hará un inventario físico diario del almacén comparándolo con las entradas y salidas. • Se revisaran semanalmente las caducidades de los productos.
3.2 Auditoría interna	Proceso de entrada y salida de productos
FASE 4 ACTUAR	ACTIVIDADES
4.1 Medidas correctivas	<ul style="list-style-type: none"> • Manuales de proceso • Capacitaciones (implementar correctamente el método PEPS) • Retroalimentación

Tabla 2 Aplicación del kaizen metodología PHVA

REFERENCES

- [1] F. Hiller, y G. Lieberman. Investigación de Operaciones. Mc Graw Hill. México. 2010.
- [2] Imai, M. (1996). Kaizen - Clave de La Ventaja Competitiva. México: Editorial CECSA.
- [3] Suárez-Barraza, M.F (2007) El KAIZEN: La filosofía de Mejora Continua e Innovación Incremental detrás de la Administración por Calidad Total. México, D.F.: Panorama.
- [4] Colán Garay, O. (2013). El Ciclo P.H.V.A. Aplicado A Los Conflictos Sociales Ambientales En El Perú. Agro Enfoque 28(189), 16-17. Retrieved from <http://web.a.ebscohost.com.ezproxy.umng.edu.co:2048/ehost/detail/detail?vid=7&si/2017d=90fa241644a44a4ea2ac515440c1a443%40sessionmgr4008&hid=4207&bdata=JnNpdGU9ZWhvc3QtG1ZlZQ%3d%3d#db=bth&AN=89566360/2017>
- [5] Solano, M. A., Bravo, J. J., & Giraldo, J. A. (2012). Metodología de mejoramiento en el desempeño de sistemas de producción. Aplicaciones en Pymes de la confección. Ingeniería y competitividad, 14(2), 37-52.
- [6] Chamache, C.H. (2016) *Implementación del método de valuación de inventarios primeras entradas, primeras salidas, para mejorar el control de inventarios del minimarket Daniel de la Ciudad de Trujillo -2016*

Medición de sucrosas empleando un interferómetro de Michelson

A. Nava-Vega
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Tijuana, B.C.
México
adriana.nava@uabc.edu.mx

Cristina González Benito
Universidad Abierta y a Distancia de México (UnADM)
Tijuana, B.C.

México
Cristinagonzalezbenito@nube.unadmexico.mx

Ricardo D. López López
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería Tijuana, Tijuana,
B.C. México
México lopezr28@uabc.edu.mx

Abstract—Los interferómetros son dispositivos de alta precisión que juegan un papel importante para medir densidad, distancia, actividad biológica, presión de diferentes materiales, así como propiedades geométricas en superficies. Su importancia la encontramos en la precisión de los resultados y su carente invasión en el entorno de estudio. El objetivo de este trabajo es analizar los alcances de las aplicaciones del interferómetro de Michelson, explicar su funcionamiento encontrando las condiciones ideales para estudiar las propiedades de las sucrosas y realizar mediciones experimentales preliminares. La importancia de este análisis es notoria en la industria de los alimentos y en medicina.

Keywords—Interferencia, Interferometro, luz, sucrosas.

I. INTRODUCCION

Los pilares de la tecnología moderna se forjaron con las aportaciones de los grandes científicos de la segunda mitad del siglo XIX y la primera del siglo XX, aprovechando los avances en el estudio de la luz [1]. La luz se considera una onda electromagnética que puede viajar en un medio material y en el vacío, su velocidad de propagación se frena cuando viaja en un medio material debido a las propiedades del índice de refracción [2]. En la naturaleza de la luz se presentan diversos fenómenos como la dispersión, la difusión, la difracción, la reflexión, la refracción [3], siendo estas propiedades las que se aprovechan para las diversas aplicaciones que tiene la luz. Los emisores de luz se clasifican como coherentes, incoherentes o parcialmente coherentes, según la visibilidad máxima. El grado de coherencia para una diferencia de caminos muy pequeña depende de la geometría del sistema, y también de la pureza espectral de la luz [4].

La luz procedente de emisores parcialmente coherentes puede siempre descomponerse en una parte que es totalmente coherente y otra incoherente. La coherencia es una propiedad mutua y expresa una relación entre dos haces luminosos, como emisores de luz. Cuando dos emisores son perfectamente coherentes su diferencia de fase se mantiene constante y definida con precisión [5].

Cuando son incoherentes la diferencia de fase fluctúa rápidamente de manera irregular y no tiene valor definido, cuando son parcialmente coherentes podrá distinguirse una diferencia de fase, pero no estará perfectamente definida [6]. Los detectores ópticos son elementos indispensables en un sistema óptico, ya que funcionan como receptores de la señal luminosa, transformando la luz (fotón) en impulsos eléctricos debido al efecto de la fotoconductividad, los cuales están fabricados con semiconductores de estado sólido, que generan un flujo de corriente cuando capturan un fotón, y su grado de respuesta dependen del material empleado y la longitud de onda de trabajo [7].

En 1980 Michelson desarrolló no solo métodos eficientes y convenientes para generar y evaluar patrones de interferencia, sino que mostró los procedimientos emergentes bajo el nombre interferometría que es un método de medición que aplica el fenómeno de interferencia de ondas y combina la luz [8]. Durante el siglo XX se consolidó y diversificaron muchos sistemas interferométricos que fueron desarrollados sobre la base de fuentes luminosas de baja coherencia temporal como luz policromática emitida bajo el régimen de cuerpo o mediana coherencia temporal como lámparas espectrales de descarga [9].

Los interferómetros se clasifican en dos grupos según la forma en que producen las fuentes virtuales: división de frente de onda y división de amplitud. En el primer caso, se utilizan porciones de frente de onda primario, bien sea directamente como fuentes secundarias virtuales o en combinación con otros dispositivos. En el segundo caso, el haz primario se divide en dos haces secundarios, los cuales viajan por diferentes caminos antes de recombinar e interferir [10]. Como resultado de esta recombinación, se genera un característico patrón conocido como interferograma, resultado de un proceso de interferencia. Este patrón característico se le conoce como franjas de interferencia.

El análisis de las franjas de interferencia permite ver el desplazamiento que existe entre los haces divergentes, en estos análisis no es necesario tener un contacto directo con el medio

que se está estudiando, es decir no es invasivo, esto representa una gran ventaja, respecto a alguna otra herramienta utilizada para hacer estas mediciones, ya que no se altera el medio de estudio y los resultados son muy precisos.

II. INTERFEROMETRO DE MICHELSON

En 1887, Albert A. Michelson desarrolló el primer interferómetro y demostró el uso del principio de la interferencia de la luz como herramienta de medición. La tecnología y medición ha avanzado mucho con el paso de los años, sin omitir que el uso básico aún subyace en el núcleo de la interferometría [11]. Este es útil y tiene una alta precisión en la medición de distancias, longitud de onda, densidad, índice de refracción etc. [12].

El *interferómetro de Michelson* es un dispositivo óptico que permite dividir la amplitud del haz incidente, provocando una interferencia por el principio de superposición de ondas. Se establece cuando dos o más ondas se traslapan, el desplazamiento resultante en cualquier punto y en cualquier instante se encuentra sumando los desplazamientos instantáneos que producirían en el punto las ondas individuales si cada una se presentara individualmente debido a la coherencia de la luz [13]. Normalmente un haz de luz es el resultado de millones de átomos que irradian independientemente, es por eso que se emplea una sola fuente de luz y se divide el haz incidente, esto permite que ambos rayos provenientes de una misma fuente tengan las mismas características de fase [14].

En la figura 1 se observa un diagrama del *interferómetro de Michelson*, en este dispositivo se genera el fenómeno de interferencia de haces, uno de los haces generados pasa a través de la muestra, mientras que el otro haz sigue su camino en el espacio libre y se considera como referencia. La luz que atraviesa la muestra de análisis transporta la información de esta, comparando tanto el haz de referencia como el de la información [15]. Como resultado de este proceso se generan franjas de interferencia que se estudian para determinar la actividad de las sucrosas, estas se desplazan, para posteriormente estudiar la correlación de estos desplazamientos con las propiedades físicas de la muestra de estudio [16]. El análisis de franjas de interferencia permite ver el desplazamiento que existe entre los dos haces. La ventaja de esta técnica es que no se necesita tener contacto directo con el medio que se estudia y su posición respecto a otra herramienta utilizada no influye en los resultados pues no altera el medio de estudio, resultando muy precisa [17].

Para analizar las franjas de interferencia existe una variedad de métodos, uno de los más comunes y sencillos es el método de la transformada de Fourier, es un método matemático para desarrollar interferogramas, es decir, la serie de curva. Este genera un espacio llamado fase que contiene la información codificada de las propiedades físicas de lo que estamos analizando [18].

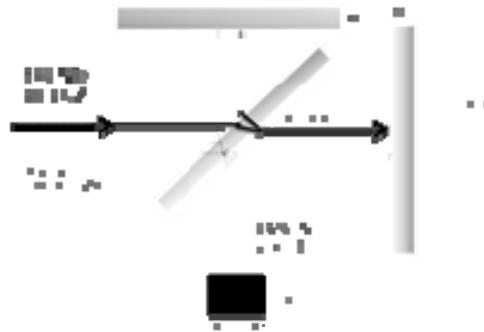


Figura 1. Representación del interferómetro de Michelson.

Cuando dos ondas luminosas de la misma frecuencia y amplitud llegan al mismo punto en una pantalla, se superponen dando lugar a un patrón de interferencia, apareciendo zonas de iluminación máxima y zonas con cero iluminaciones, se le llama ancho de franja a distancia entre dos franjas brillantes y dos oscuras. Una vez generadas estas franjas, se procede a medir e interpretarlas para determinar la forma exacta del frente de onda que los formó con la mayor precisión posible [19].

La forma más sencilla, se realiza mediante un examen visual de manera cualitativa, se introduce una inclinación al frente de onda referencia con respecto al frente de onda a medir, moviendo uno de los ajustes de los espejos que los muevan angularmente introduciendo así un gran número de franjas en el campo [20].

III. APLICACIONES DEL INTERFEROMETRO DE MICHELSON

El interferómetro de Michelson tiene diversas aplicaciones en medición de longitud de onda y de distancias, es decir, cuando se conoce la longitud de onda de la luz empleada se puede medir distancias pequeñas en la trayectoria analizando las interferencias producidas, también en medición de índices de refracción, cuando se miden con un interferómetro y se calculan a partir del desplazamiento de franjas de interferencia causado por el retraso del haz. El Análisis cuantitativo de varias soluciones, se aplica en determinar la pureza de las muestras, así como en la industria alimentaria, principalmente para medir las concentraciones de las sucrosas presentes en el producto para analizar [21].

IV. SUCROSAS

Las sucrosas son sustancias químicas que presentan propiedades en el plano de polarización de la luz, estas sustancias tienen estructuras moleculares con un carbono asimétrico, unido a cuatro grupos sustituyentes diferentes, por lo que dan lugar a enantiómeros, moléculas que difieren solo por su estructura espacial y sus imágenes son superponibles [22]. Se han hecho estudios sobre otras formas de analizar

azúcares de forma rápida, económica y exacta que pueden ser una alternativa, sin embargo, no permiten interpretaciones exactas. Al utilizar *interferómetro de Michelson* y aplicar la transformada de Fourier, se ha investigado que se obtiene una mejor resolución e interpretación de las mismas, además que es sencilla [23].

A. SUCROSAS Y SU ANALISIS EN INTERFEROMETRIA

Constituida por una molécula de glucosa y una fructuosa unidas a través de un enlace α -1 β -2 glucósido, dado que los grupos reductores funcionales están involucrados en el enlace glucosídico, la sucrosa no posee propiedades reductoras. Se encuentran distribuidas en la naturaleza, en las plantas y entre las fuentes ricas se encuentra la caña de azúcar 20% [24]. Sus propiedades se denominan ópticamente activas, debido a que estas sustancias pueden desviar el plano de polarización de la luz, este ángulo depende de la naturaleza del soluto, de la longitud de disolución que atraviese la luz y de la longitud de onda de la luz monocromática utilizada, además de la concentración de la sucrosa [25]. En 1669, Erasmus Bartholinus descubrió un nuevo fenómeno de la luz [26] cuando la luz atraviesa un cristal de espato de Islandia (una calcita transparente), la luz se divide en dos rayos. Lo curioso es que uno de los rayos puede dividirse nuevamente en dos rayos con otro cristal de espato, pero solo para cierta orientación de este último cristal es como si la luz tuviera cierto carácter direccional [27]. En 1808, el científico francés Louis Malus descubrió que si se hace incidir un rayo de luz sobre una superficie de vidrio con un ángulo aproximado de 57°, el rayo de luz reflejado está completamente polarizado, siendo el plano de vibración perpendicular al plano de incidencia. Para ángulos diferentes la polarización es parcial. El análisis de las franjas de interferencia se dividió en tres partes diferentes, en la fig. 2 se muestra el diagrama a bloques. Como primera etapa se recreó el interferómetro de Michelson para poder generar las franjas de interferencia; en la siguiente etapa se recolectaron las imágenes de interferencia con una cámara y finalmente las imágenes almacenadas se procesaron para calcular las distancias de desplazamiento en las franjas de interferencia. Se utilizó un diodo láser color verde con una longitud de onda de 532 nm. Para la parte de recolección de imágenes se utilizó una cámara AVT Guppy de 480X640 pixeles de resolución.

V. PROCEDIMIENTO

El procedimiento se llevará a cabo de la siguiente manera: Se pesará la cantidad de sucrosa a emplear, se buscará que sea lo más precisa posible y se anotará el peso exacto, después se transferirá la cantidad pesada a un vaso de precipitado y se disolverá en un volumen aproximado de 5 mL. Posteriormente se transvasará ya disuelta a un matraz aforado de 5 mL que se enrasará hasta el aforo y se homogenizará, una vez preparadas las disoluciones, se transferirán a recipientes de vidrio cerrados para su transporte y mantenimiento. Se calibrará el *interferómetro de Michelson* para realizar las pruebas con

sucrosas y así obtener los interferogramas de luz, también se realizarán mediciones de desplazamiento de luz para procesar las imágenes, cuantificándose el corrimiento de franjas que son producidas por diferentes sustancias finalmente se analizarán los resultados.

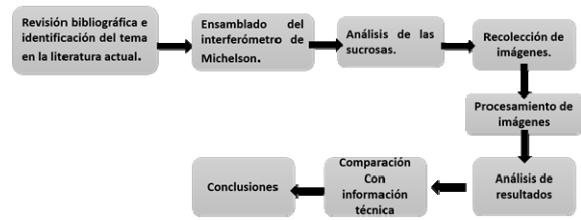


Figura 2. Diagrama a bloques de la configuración del interferómetro de Michelson, recolección de imagen y análisis de interferencia.

VI. RESULTADOS Y CONCLUSIONES PRELIMINARES

Siguiendo las etapas descritas en la figura 2, se presentan en la figura 3 una celda conteniendo miel; en la figura 4 se presentan los resultados preliminares de los interferogramas obtenidos. Se inicia con una solución de agua y azúcar y en otra muestra se tiene miel de maple. Estas muestras se ubican en un brazo del interferómetro de Michelson. Las franjas de interferencia que genera el interferómetro de Michelson sin ninguna muestra para analizar presentan un patrón de círculos concéntricos. En este caso, para la figura 4 observamos una distorsión la cual se va a analizar a través de algoritmos de procesamiento de imágenes. Estos resultados están siendo procesados. Es de notar que este tipo de dispositivos son de gran ayuda debido a que es solamente la incidencia y transmisión de la luz es la que produce alguna respuesta, aprovechando sencillos fenómenos de la luz al interaccionar con un medio material, sin dañar el mismo medio que queremos conocer. Se demuestra con estos resultados parciales que la luz puede darnos información del estado de un material, específicamente de las sucrosas las cuales se consideran ópticamente activas.

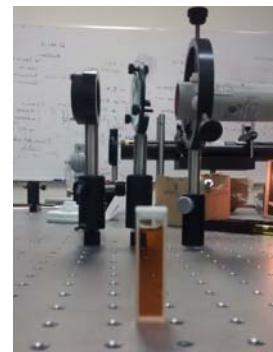


Figura 3. Interferómetro de Michelson y celda con sucrosa para prueba.

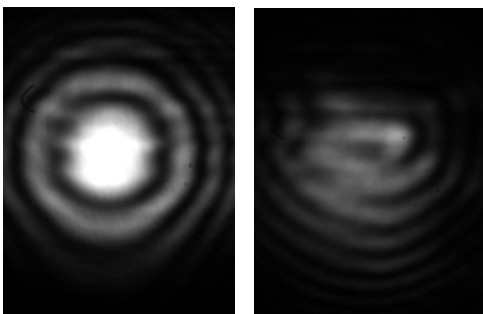


Figura 4. Interferograma de (a) una solución con azúcar de mesa, (b) miel de maple

References

- [1] Martín, A., María Argullo-Rueda, J., Martínez-Duart, Fernando., Martín, J. M. M. A., Martínez-Duart, J. M., & Agulló-Rueda, F. (2005). *Fundamentos de microelectrónica, nanoelectrónica y fotónica*. Pearson Educación.
- [2] Beléndez, A., Pascual, I., & Rosado, L. (1989). La enseñanza de los modelos sobre la naturaleza de la luz. *Enseñanza de las ciencias*, 7(3), 271-275.
- [3] Vargas-Hernández, C., & Morocho, M. A. R. (2012). Caracterización óptica de Diodos emisores de Luz mediante su espectro de emisión y patrones de radiación. *Scientia et technica*, 2(51), 66-70.
- [4] Casas, J. (1978). *Óptica*. Universidad de Zaragoza, Cátedra de Óptica.
- [5] Barreiro Hervás, C. (1992). Autoimágenes con luz espacialmente coherente e incoherente: Aplicaciones al procesado óptico de información
- [6] F.W. Sears, "Física universitaria con física moderna", vol. 2, undécima edición, Pearson, México, (2005).
- [7] Baird, D. C. (1991). *Experimentación: una introducción a la teoría de mediciones y al diseño de experimentos* (No. QC39 B3418 1991). México City, México: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- [8] Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2005). *Física para ciencias e ingeniería* (Vol. 6). Thomson.
- [9] Chavarro Montero, C. F., Pastrana Rojas, M. S., & Roldán Ríos, J. E. (2009). Verificación de la técnica de interferómetro holográfica como ensayo no destructivo (NDT) para su aplicación en la industria aeronáutica colombiana.
- [10] D. Malacara, *Optical Shop Testing*, (1991), Second edition, A. Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons, Inc. ISBN:0-471-52232-5
- [11] Adjiman Andrés, *Aplicaciones del interferómetro de Michelson*, 2001.
- [12] Conde, C. P. (1996). *Sensores ópticos* (Vol. 30). Universitat de València.
- [13] Daniel Malacara, *Óptica básica*, (1989) Fondo de cultura económica, pp. 246 – 252.
- [14] Hecht T. *Optics*. (2002) 4ta ed. Pearson Addison Wesley
- [15] Bruno Rossi, *Fundamentos de óptica*, (1997) REVERTÉ, pp. 141-142.
- [16] Jiménez Vielma, J. F. (2017). Recuperación de fase en imágenes de patrones de franjas mediante técnicas evolutivas.
- [17] Guzmán Ramos, V. (2014). *Investigación y diseño de sensores de fibra óptica por interferometría* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
- [18] SKOOG, D.A.; Leary J.J., Holler F. James; PRINCIPIOS DE ANÁLISIS INSTRUMENTAL, 5° ed.; Ed. McGraw-Hill (1998), págs. 409-461.
- [19] Palavicini, C., Jaouën, Y., Gallion, P., & Campuzano, G. (2006). Caracterización de componentes fotónicos utilizando reflectometría óptica de baja coherencia. *Revista mexicana de física*, 52(4), 379-386
- [20] Daniel, M. (1998). *Interferogram Analysis for Optical Testing*. Marcel Dekker. Incorporated Olsen, E. D. (1990). *Métodos ópticos de análisis*. Reverté.
- [21] Sifuentes-Gallardo, C., Ramírez, A. D., Raygoza, J. M. A., & Báez, A. M. (2013). La interferometría y sus aplicaciones científicas. *DIFU100ci@*, 6(3), 83-88.
- [22] Barrow, G. M. (1975). *Química* (Vol. 1). Reverté.
- [23] Subramanian, Anand y Luis Rodríguez-Saona. (2009), "Fourier Transform Infrared (FTIR)"
- [24] Gabriel, Luciana, y otros. (2013). «Multivariate Analysis of the Spectroscopic Profile of the Sugar Fraction of Apple Pomace.» *Brazilian Archives of Biology*, 439-446
- [25] Holton, G. (2003). The project physics course, then and now. *Science & Education*, 12(8), 779-786.
- [26] Laserna, D. B. (2015). Luz y ondas. Huygens: la luz como propagación ondulatoria. *arbor*, 191(775), 263.
- [27] Díaz, F. J. S., & González, A. M. (2008). *La óptica en la enseñanza secundaria: propuesta didáctica desde una perspectiva histórica*. Universidad Complutense de Madrid, Servicio de Publicaciones.
- [28] Villanueva, J. A. L. (2004). La naturaleza de la luz en la época del doctor Cerdá y Rico (1848-1921). *Contraluz: Revista de la Asociación Cultural*, (1), 119-134.
- [29] Malacara, D. (1992). Interferogram evaluation and wavefront fitting. *Optical shop testing*. Guzmán Ramos, V. (2014). *Investigación y diseño de sensores de fibra óptica por interferometría*.
- [30] García-Márquez, J., Malacara-Hernández, D., & Servín, M. (1998). Analysis of interferograms with a spatial radial carrier or closed fringes and its holographic analogy. *Applied optics*, 37(34), 7977-7982.

Cambio del material de empaque para reducir el impacto ambiental y económico en una empresa de productos cosméticos

Caso de Estudio

Karla Campos Campos
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
karla.campos@uabc.edu.mx

José Raúl Camero
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
jose.camero@uabc.edu.mx

Mydory Oyuky Nakasima López
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
nakasima.mydory@uabc.edu.mx

Karla Frida Madrigal Estrada
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
kmadrigal@uabc.edu.mx

Erika Beltrán Salomón
Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Tijuana, Baja California
ebeltran89@uabc.edu.mx

Luz del Consuelo Olivares Fong
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja California
Mexicali, Baja California
luz.olivares@uabc.edu.mx

Resumen – Debido al acelerado crecimiento poblacional, acompañado de un vasto desarrollo tecnológico y una cultura económica y social basada en el consumo desmedido de bienes y servicios, han ocasionado grandes impactos ambientales y económicos debido a la sobre explotación de recursos naturales que corren el riesgo de agotarse si no se establecen medidas y estrategias necesarias para hacerles frente. Uno de los sectores que busca distintas alternativas para el ahorro en costos y que, con el paso del tiempo está siendo más consciente en el cuidado del medio ambiente, es el sector industrial, quienes a partir de nuevos paradigmas como Ecología Industrial (EI), Eco-diseño, Cadena de Suministro Verde, Estudio de Materiales amigables al ambiente, buscan subsanar estos impactos, enfocando sus esfuerzos a construir estrategias que contemplen el desarrollo sustentable. En este artículo se exploran algunos conceptos relacionados a la EI, y a través de un caso de estudio llevado a cabo en una empresa de productos cosméticos, basado en el cambio de material en el proceso de empaque, mostró resultados positivos tanto en la reducción de costos como en la minimización de impactos ambientales, mediante la utilización de un material biodegradable de bajo costo.

Palabras claves—materiales, biodegradable, plástico, industria, medio ambiente.

I. INTRODUCCIÓN

Las prácticas de consumo y producción insostenibles, están generando una gran carga ambiental debido a la excesiva extracción de materiales vírgenes, el manejo inadecuado de los residuos que se generan y su escaso aprovechamiento.

Toda actividad humana, indudablemente genera algún impacto, y sus efectos sobre la población y el medio ambiente dependerá de la composición, tasa de generación y manejo del residuo [1].

Uno de los sectores con mayor impacto ambiental por la utilización de materiales diversos en su cadena productiva y los altos volúmenes de desperdicios que se generan al momento de su proceso de manufactura es el industrial, por lo que es imperante buscar mejorar principalmente los procesos, materiales y diseños, en cada una de las actividades dentro del ciclo de vida de un producto [2]. Los residuos que se desprenden de las actividades como procesos productivos o servicios, y que no reúnen las características para considerarse como Residuos Sólidos Urbanos (RSU) o Residuos Peligrosos, se les conoce como Residuos de Manejo Especial (RME) [3].

Los volúmenes más altos de generación de RME en México correspondieron principalmente a la excreta de ganado porcino y bovino lechero con 66.71 millones de toneladas, seguido por el papel y cartón con 6.82 millones de toneladas y finalmente los residuos de construcción y demolición con 6.11 millones de toneladas, según reporta la INECC en el periodo del 2006 al 2012 [1].

Uno de los principales retos que enfrentamos como una economía industrializada basada en el desmedido consumo y producción de bienes y servicios, es la transición de sistemas de producción lineal a sistemas de producción cíclicos, que permitan el aprovechamiento de residuos, a través de la reducción, reúso y reciclaje, garantizando así el desarrollo sustentable que permita el equilibrio de los sectores económicos, sociales y ambientales [4].

En este artículo se exploran algunos conceptos que ayudarán a entender una industria sustentable, las herramientas que utilizan y los beneficios e impactos positivos que estos aportan al medio ambiente. Además, se presenta un caso de estudio enfocado a una empresa de cosméticos que, mediante el cambio de un material, se obtuvieron grandes aportes económicos y ambientales.

II. ECOLOGÍA INDUSTRIAL

De acuerdo a Torres-Marín, C. et al., (2009) [4] la Ecología Industrial (EI) se refiere al área de conocimiento que busca que los sistemas industriales tengan un comportamiento similar al de los ecosistemas naturales, transformando los sistemas de producción lineal a cíclicos.

Según destaca Cervantes, G. (2011) [5] la Ecología Industrial permite crear redes socioeconómicas, vinculadas a relaciones de cooperación, relaciones entre clientes y proveedores, investigación, asociaciones, entre otras. Para mejorar estas interacciones e interrelaciones, es necesario apoyarse de herramientas y métodos para permitir su análisis y fortalecimiento [4], [5], como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Técnicas, herramientas o métodos que apoyan a la EI [4]

Técnica, herramienta o método	Descripción
Análisis del Ciclo de Vida (ACV)	Permite cuantificar las cargas ambientales de un producto o servicio, bajo el concepto “desde la cuna a la cuna”.
Análisis de Flujo de Materiales (AFM)	Cuantifica las entradas y salidas de recursos (masa) de una economía (región, localidad).
Mapas de Flujo de Valor (MFV)	Plasma los procesos, materias, residuos, emisiones, así como intercambio de energía.
Mercado de Subproductos	Compra/Venta de residuos y/o productos.
Metabolismo Industrial	Uso de materiales y energía para su transformación y su disposición como residuo.
Análisis Económico Ambiental	Cuantifica las cargas económicas de un producto o servicio sobre el ambiente, basado en costos de generación del producto y la explotación de los recursos naturales.
Producción más limpia	Aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva para aumentar la eficiencia de los productos, procesos y servicios y disminuir los riesgos para el hombre y el medio ambiente.
Eco-eficiencia	Bienes y servicios que reduzcan progresivamente el impacto ambiental y la intensidad de la utilización de los recursos a lo largo del ciclo de vida.
Prevención de la contaminación (P2)	Reducción o eliminación de residuos en la fuente a través de la modificación de procesos de producción, promoviendo el uso de sustancias no tóxicas o menos tóxicas, implementando técnicas de conservación y reutilizando materiales en lugar de disponerlos.

Como se observa en la tabla 1, son muchos los esfuerzos que se han hecho y se siguen haciendo para la correcta planeación, la detección de áreas de oportunidad y sobre todo la reutilización de recursos tanto materiales como energéticos al momento de producir un bien y/o servicio, teniendo un gran énfasis en lo económico y ambiental.

A continuación, se describen algunas de las actividades que son preponderantes en un proceso productivo, los cuales con un enfoque ambiental pueden resultar benéficos en el desarrollo sustentable de la industria.

A. Cadena de Suministro Verdes

Procura la utilización de materiales reciclables, racionaliza los procesos de distribución, reduce redundancias y minimiza desperdicios con la finalidad de proporcionar beneficios en costos y al medio ambiente [6].

No solamente incluye al fabricante y al proveedor, sino también al transportista, vendedores e incluso al mismo cliente. Reverdecer una cadena de suministro es incluir conceptos ambientales desde el diseño del producto, selección y abastecimiento de materiales, procesos de fabricación, entrega del producto final al consumidor, así como la gestión adecuada al final del ciclo de vida del producto [7]. Los beneficios que se obtienen al incluir conceptos ambientales a la cadena de suministro son [7]:

- Reducción de la contaminación.
- Gestión ambiental.
- Reducción de costo de operación.

El sector industrial es cada vez más consiente en que si se adoptan prácticas verdes en cada una de las etapas o en algunas de sus cadenas de suministro, abrirá oportunidades de idear y crear procesos de innovación y mejora, así como crear un entorno ambientalmente sustentable para futuras generaciones [8].

B. Diseño Verde

Es aquel diseño que toma en cuenta los aspectos ambientales en todos los niveles de producción. Busca que los productos producidos aporten el menor impacto negativo al ecosistema a lo largo de todo el ciclo de vida [9].

Considerado un importante proceso en el desarrollo de un producto sustentable, concepto clave que conduce a la innovación, mejora el posicionamiento de la marca y los canales de comunicación de los negocios [8].

La contemplación del medio ambiente desde las primeras etapas del proceso de diseño, permite determinar el impacto ambiental en las fases de producción, comercialización y consumo, por lo que debe tomarse en cuenta [10]:

- **Materiales:** contempla la utilización de materiales renovables, reducir los componentes utilizados en los productos, reutilización y reciclaje de productos al final de su ciclo de vida, para la re inserción en el proceso de producción como materia prima primaria o secundaria.
- **Consumo de energía:** se toma en cuenta la reducción del consumo de energía requerido para la producción del producto, la utilización de fuentes renovables y limpias (energía solar, eólica, entre otras).
- **Prevención de la contaminación:** pretende reducir o minimizar las emisiones tóxicas durante el proceso de producción, así como durante la utilización del producto.
- **Residuos:** considera la reducción del volumen de residuos sólidos generados al terminar la vida útil del producto, así como durante el proceso de fabricación. Por lo que se procura que la mayor parte de los componentes sean reutilizables, reciclables de forma física o energéticamente. También es importante tomar en cuenta el tiempo y costo necesarios para el desensamblado de los componentes.

El diseño verde proporciona mecanismos para gestionar factores ambientales, optimizar procesos, recursos y darle un seguimiento completo al producto, de forma que en lugar de que se convierta en un residuo forme parte de la cadena productiva como materia para su procesamiento.

C. Estudio de Materiales

Los materiales son considerados componentes fundamentales en el desempeño de los productos con el medio ambiente, también representa una tensión global vinculada a las alzas de costo, escasos y riesgos de suministro [11].

Por lo que se considera que el estudio de materiales es una actividad imperante en los procesos industriales, ya que soportan la reducción del uso de materiales vírgenes y mejoran su uso eficiente [11].

Algunas de las estrategias que las industrias han implementado con buen éxito son:

1) Eco-eficiencia

Bienes y servicios sustentables que reducen progresivamente el impacto ambiental, la intensidad de recursos durante el ciclo de vida respetando la capacidad de la tierra para su regeneración [12]. Los elementos que se deben reunir para que un bien y/o servicio pueda considerarse eco-eficientes son [12]:

- Reducción de la intensidad del uso de recursos materiales y energéticos, así como la dispersión de sustancias tóxicas.
- Mejora la capacidad de reciclaje.
- Maximiza el uso de recursos renovables.

- Extiende la durabilidad del producto.
- Incrementa la intensidad del servicio.

Lo anterior, forma parte esencial en economías de ciclo cerrado, es decir, la mayoría de los productos se convierten en insumos para otros procesos de fabricación o bien, se devuelven a los sistemas naturales como emisiones benignas en lugar de contaminantes [12].

2) Materiales Biodegradables

Son un tipo de biomaterial que se desintegran en un tiempo dado [13]. La utilización de componentes biodegradables, son una gran alternativa en comparación del uso de polímeros no biodegradables, ya que estos últimos representan graves problemas ambientales que coadyuvan al calentamiento global debido al dióxido de carbono emitido cuando estos son incinerados [14].

Desde 1990, la industria ha invertido \$1 billón de dólares como apoyo al incremento de reciclaje y en la educación de comunidades con este mismo fin [15]. El ciclo de vida de los bioplásticos inicia con la recolección de residuos orgánicos y son pasados a un proceso de biodegradación y fotosíntesis, se extrae la materia prima renovable para su posterior procesamiento y transformación en producto final [16], como se muestra en la Fig. 1.

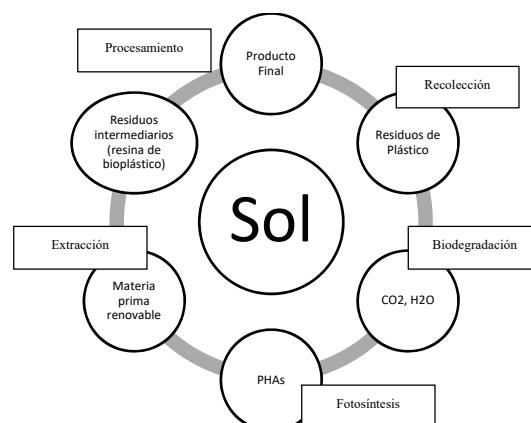


Fig. 1 Ciclo de vida del bioplástico [16]

Los polímeros biodegradables son descompuestos en dióxido de carbono, metano, agua, componentes inorgánicos o biomasa por la acción de microorganismos [15].

Los bioplásticos pueden obtenerse tanto de materias primas recicladas, como lo es la biomasa, así como de diversas proteínas de plantas vegetales como lo son proteína de soya, trigo, maíz, entre otras [16].

Otra de las plantas con disponibilidad abundante es el bambú, de rápido crecimiento, que no requiere pesticidas ni fertilizantes y a bajo costo. Los productos hechos a partir del bambú son considerados verdes, bio-degradables, entre otras. Sus principales componentes químicos son: celulosa (siendo

este un polímero natural [16]), hemicelulosa y lignina, que representan más del 90 % de la masa total [17].

El caso de estudio que se detalla a continuación, da muestra de cómo con el cambio de un empaque basado en cartón inner y cambiado por bolsas de plástico basadas en bambú, se logró reducir los costos de fabricación, desperdicios e impactos ambientales, factores de gran importancia cuando una empresa busca su transición a la sustentabilidad.

III. CASO DE ESTUDIO: REEMPLAZO DE MATERIAL DE EMPAQUE PARA REDUCCIÓN DE COSTOS E IMPACTOS AMBIENTALES

Como se ha comentado a lo largo de este artículo, con la finalidad de alcanzar mayor posicionamiento competitivo, ser reconocida como una empresa socialmente responsable, reducir costos de producción, así como la minimización de impactos ambientales, las empresas hoy en día buscan distintas estrategias que permitan conseguir estos objetivos.

El caso de estudio se llevó a cabo en una empresa dedicada a la fabricación de productos cosméticos y la estrategia que aplicaron fue el cambio de material de empaque, que consistía en el cambio de cajas de cartón inner y master, por bolsas de plástico biodegradables hechas a base de bambú.

De acuerdo con la SEMARNAT (2012) [18] el 32% de los residuos que componen a los RSU son provenientes del papel y del cartón, que aunque son fáciles de degradar, al no ser propiamente gestionado y mezclado con otros residuos representa un problema ambiental y de salud, el 9.2% corresponde a la disposición de plástico en general de los cuales solo el 0.5% son reciclados, por lo que se consideró como una buena estrategia, el cambio de material en el proceso de empaquetado de cartón inner a bolsas de plástico biodegradable.

A. Problemática

En el área de empaquetado se presenta una excesiva generación de desperdicios de cajas de cartón inner, ya que se complica su manejo a lo largo de la banda por la que pasa en distintas etapas, actualmente cuentan con 20 tamaños de caja inner y 50 de caja master, el flujo de empaquetado se muestra en el diagrama de flujo de la Fig. 2.



Fig. 2. Diagrama de flujo de proceso de empaquetado.

Al momento del empaquetado de la caja inner (que a su vez cuentan con una etiqueta), el desperdicio se presentaba porque se atoraban en la banda transportadora debido a una separación que existe de una banda a otra, obstruyendo la banda y provocando una acumulación de las cajas. Como consecuencia de lo anterior, las cajas se dañaban ya que caían al suelo por la excesiva acumulación de las mismas, y tanto las cajas como las etiquetas eran dispuestas como residuos directamente a los contenedores de basura sin darle ningún otro uso.

Por otra parte, algunos clientes de la empresa han solicitado el cambio del empaque de cajas inner, ya que consideran que en la caja master los espacios no son cubiertos completamente, ocasionando posibles daños en los productos manufacturados debido al movimiento generado por el manejo de las cajas.

B. Objetivo general

Cambiar el empaque de las cajas inner por bolsas de plástico biodegradables amigables al ambiente, tomando en cuenta principalmente: costos, recursos y determinando su impacto ambiental.

C. Metodología

Para alcanzar el objetivo general planteado, se establece la siguiente metodología:

- i. **Diagnóstico general:** herramienta que permite encontrar el problema raíz, para poder definir los lineamientos y estrategias a seguir para su corrección. En esta etapa los aspectos que se evalúan son:

- a. **Económico:** la necesidad que presentaba la empresa por excesiva generación de scrap y demandas de los clientes, iba enfocada a la modificación de los materiales utilizados en el área de empaque, reemplazando la caja de cartón inner por bolsa de plástico biodegradable.

Se hizo un análisis económico para conocer la factibilidad del cambio en el área de empaque, obteniendo los siguientes indicadores relevantes:

- El cambio de material en el empaque arroja un ahorro en costo promedio de \$77,000 dólares por mes.
 - Reducción de números de parte en caja maestra en 72% - 36 P/N a 10 P/N (promedio).
 - Eliminar el cartón interno (23 P/N), se tendrán 3 P/N de Polybag.
- b. **Cientes:** se atienden las solicitudes hechas por los clientes de mayor importancia, con respecto al empaquetado del producto. Iniciando con 10 números de partes en la corrida de prueba.
- c. **Proceso interno:** se realizaron pruebas con 10 números de parte, con la finalidad de conocer en qué puntos se debía modificar el proceso para no tener que rediseñarlo.
- d. **Personal y sus capacidades:** se tomaron en cuenta los tiempos y movimientos requeridos para llevar a cabo dicha operación. Se entrenó al personal y se le facilitaron ayudas visuales con la finalidad de hacer más fácil su operación.
- ii. **Diagnóstico ambiental en el área de empaque:** el indicador de comportamiento ambiental es la cantidad total de residuos de un determinado periodo de tiempo, donde la cantidad total de residuos se mide en kilogramos y la unidad de tiempo se mide por día. Se reporta un scrap de 6 kg/día de cartón inner y etiquetas.
- iii. **Análisis de costos:** se hizo un comparativo de los materiales por unidad, obteniendo la información que muestra la tabla 2.

Tabla 2. Comparativo de precios de material de empaque.

Material	Costo por unidad (dólares)
Caja de cartón inner	\$0.11
Bolsa de plástico (biodegradable)	\$0.04

Las bolsas de plástico biodegradable permitirán solo tres números de parte por bolsa, lo que reducirá el tamaño de la caja de cartón master que son utilizadas para diferentes productos terminados.

Se hizo una proyección de reducción de costos para el primer trimestre del año 2017 y un comparativo del material actual y el de reemplazo, obteniendo los resultados que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Proyección de costos por material de empaque y su comparativo en el primer trimestre del 2017.

Material	Costo en dólares		
	Enero	Febrero	Marzo
Caja de cartón inner consumido (por unidad)	\$1,356,893	\$929,445	\$1,294,005
Costo total de caja de cartón inner	\$109,815.05	\$74,826.52	\$92,115.78
Costo total de bolsas Polybag	\$16,282.71	\$11,153.34	\$15,528.06
Costo de ahorro entre cartón inner vs. Polybag	\$93,532.34	\$63,673.18	\$76,587.72

El comparativo de costos entre los materiales puede ser observada de forma más clara a través de la Fig. 3.

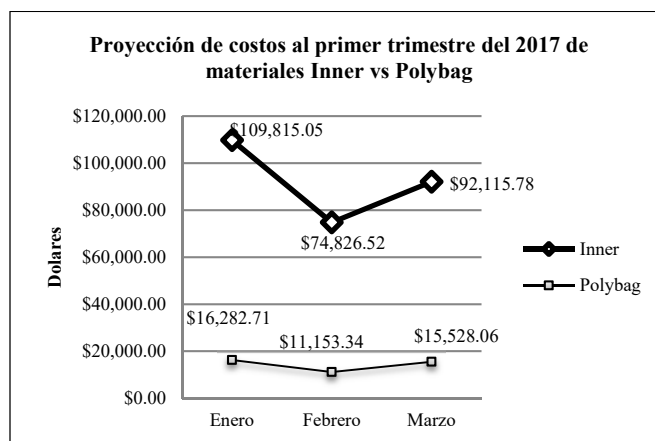


Fig. 3. Proyección de costos al primer trimestre del 2017 de materiales Inner vs Polybag

Esta proyección supone un 84.47% de reducción de costos si se implementa el cambio de material, que implica la transición del material de caja de cartón inner a bolsa de plástico Polybag biodegradable, arrojando un ahorro promedio de \$77,931.08 dólares en promedio, en el primer trimestre proyectado en el análisis.

- iv. **Análisis del proceso de manufactura en el área de empaque:** se modificaron las operaciones para colocar los productos dentro de la bolsa, el cerrado y su colocación en la caja master.

Se realizaron ayudas visuales, donde se indica el método de empaque de acuerdo a los requerimientos solicitados por los clientes. A continuación, en la Fig. 4 se muestra un diagrama de referencia de acomodo de las piezas en la bolsa de plástico.

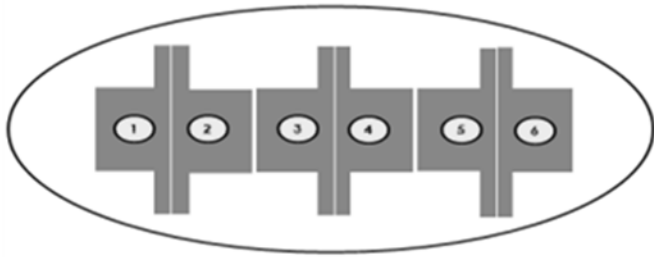


Fig. 4. Diagrama de referencia de acomodo de piezas en bolsas de plástico.

Las Fig. 5 y Fig. 6 están contenidas dentro de las ayudas visuales proporcionadas a los operadores para su correcta ejecución.



Fig. 5. Empaque de piezas en caja de cartón inner.



Fig. 6. Empaque de piezas en bolsas de plástico Polybag.

v. Selección de tamaños de bolsas de plástico.

Con la finalidad de contar con 3 empaques genéricos, se tomaron en cuenta las medidas que tienen las cajas de cartón inner y se agruparon como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Generalización de dimensiones de empaque.

Dimensión de Caja de Cartón Inner	Dimensión de Bolsas de Plástico Polybag
10 y 13 pulgadas de largo	12x14 pulgadas
7 y 9 pulgadas de largo	8x10 pulgadas
4 y 6 pulgadas de largo	6x8 pulgadas

Cada número del producto se tiene capturado en una base de datos, y dependiendo los requerimientos de la cantidad de piezas que quiere el cliente, se sabe que bolsa se utilizará para ese producto en cuestión.

vi. Realizar tracker para control de cambios BOM.

El tracker tiene como finalidad ser la matriz del proyecto, cualquier duda puede resolverse acudiendo a este documento. En este documento se van a encontrar todos los números de parte que son potenciales a la transición de cajas de cartón inner a bolsa de plástico Polybag. Este documento se estará utilizando para llevar un mejor control de los cambios generados a los números de parte. La información que se encontrará en el documento tracker es:

- El número de parte.
- La descripción del número de parte.
- Para qué cliente es.
- Su demanda neta (cuantitativo).
- Cantidad requerida por el cliente tanto en caja de cartón inner como en caja master.
- Número de fase.
- Tipo de caja de cartón inner y master que se está utilizando actualmente en el número de parte y sus pesos en ambos casos.
- Bolsa que reemplazará a la caja de cartón inner utilizada.
- Caja que sustituirá la utilizada anteriormente y si tiene algún separador y la cantidad que lleva cada uno.

Toda esta información se llena con la finalidad de tener un mejor control y llevar registro de los cambios que se van haciendo, para que facilite el reemplazo y solicitud de materiales.

vii. Pruebas de tamaño.

Se realizaron muestras con los productos terminados del cuidado personal, se midieron y se compararon con las cajas de cartón inner donde se empacaban para probar con los tamaños de bolsas plásticas con respecto a los tamaños que puede incluir las cajas master. Para conocer qué bolsa es la que se utilizará dependiendo el número de parte de la caja master. En la Fig. 7 se muestra las características del empaque en caja de cartón inner, y en la Fig. 8 muestra el nuevo empaque en bolsas de plástico Polybag y la reducción de la caja master.

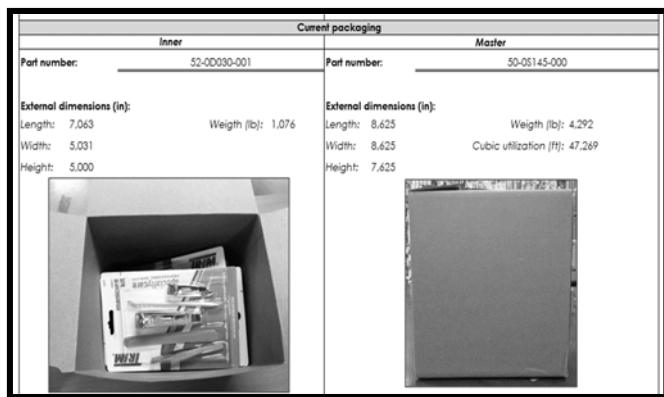


Fig. 7. Empaque actual en caja de cartón inner.

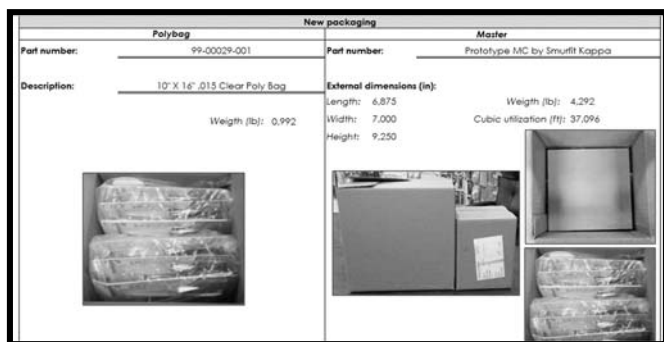


Fig. 8. Empaque propuesto en bolsa de plástico Polybag.

- viii. Rediseño de caja master según dimensiones de nuevos productos.

Se tomaron nuevas dimensiones de las cajas master a partir de las dimensiones de los nuevos productos dentro de las bolsas de plástico, por lo que se realizó un rediseño de las cajas master para que los productos ocuparán los espacios justos y evitar espacios vacíos, de igual manera cuidando que los productos no se dañaran dentro de las nuevas cajas master. La Fig. 9 muestra el rediseño de la caja master con las dimensiones propuestas.



Fig. 9. Rediseño de caja master a partir de nuevas dimensiones.

- ix. Diseño de plan ambiental.

Se realizó un estudio para identificar el tipo de material que debía contener la bolsa que fuera de bajo costo y que no representara un impacto negativo mayor al ambiente al momento de su disposición.

Se encontró como una buena alternativa, bolsas biodegradables que son agentes menos contaminantes al medio ambiente. La bolsa que se eligió es una bolsa fabricada a partir de la caña de bambú, siendo este un material económico y amigable al ambiente ya que es 100% biodegradable. Se reintegran al medio ambiente a través de la descomposición por microorganismos, los cuales tienen un periodo de biodegradación aproximadamente de entre 18 a 24 meses, a través un proceso de degradación, activando las cadenas de carbono de los plásticos mediante su activación con luz ultravioleta (UV), temperatura y humedad [19], en comparación con los plásticos no biodegradables que pueden tardar más de 100 años en degradarse, por lo que se estima que el 10% de los dispuestos quedan flotando en el mar [20].

- x. Auditorías de calidad.

Las auditorías de calidad son de suma importancia para la mejora continua en los procesos de producción, ya que permite conocer si lo que se está manufacturando y vendiendo son productos que cumplen con los estándares de calidad. Para ello se hacen uso de distintas herramientas, que permitan identificar discrepancias y poder así definir las estrategias para mejorar el proceso. A continuación, la tabla 5 muestra un ejemplo de formato para el registro de dichas auditorías.

Tabla 5. Formato de registro para auditoría

MAP - Auditorías		Registro-Audit-01-		
Plan Mensual de Auditorías Internas.				
Desde:		Hasta:		
Número de auditoría.	Objetivo de auditoría.	Nombre del proceso.	Área a editar.	Auditor.

- xi. Corrida piloto.

Para conocer los puntos donde se podrían encontrar discrepancias y que pudieran afectar el proceso al momento de realizar las corridas de los 10 números, se realizaron corridas piloto.

El departamento de Calidad generó un historial donde al momento de auditar cada corrida piloto capturaban sus comentarios y/u observaciones encontradas.

Los comentarios y/u observaciones más recurrentes fueron:

- Bolsa de plástico atoradas en la banda o se amontonaba.
- Problema con el sensor de la máquina etiquetadora, no pegaba la etiqueta en la bolsa, como se muestra en la Fig. 10.
- Las bolsas se atoraban en el acrílico que se tiene como unión entre una y otra banda, como se muestra en la Fig. 11.
- El número de operadores no alcanza a empacar las unidades requeridas por bolsa y se amontona.

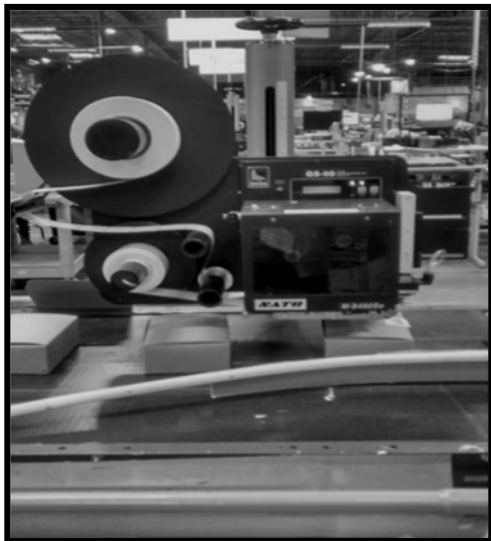


Fig. 10. Etiquetadora automatizada.



Fig. 11. Gap de acrílico que está entre la banda y otro.

- xii. Determinar normas ambientales aplicables a la actividad de la empresa.

Las normas ambientales que son aplicables a las actividades que desarrolla la organización son las que se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Normatividad que aplica a las actividades desarrolladas por la organización.

Normas	Descripción
NOM-161-SEMARNAT-2011	Establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo.
ISO 14001	Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.
ISO 14004	Sistemas de gestión ambiental. Directrices generales sobre principios, sistemas y técnicas de apoyo.
ISO 14006	Sistemas de gestión ambiental. Directrices para la incorporación del eco-diseño.
ISO 14011	Guía para las auditorías de sistemas de gestión de calidad o ambiental.
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
LFRA	Ley Federal de Responsabilidad Ambiental.

- xiii. Documentación del proceso de empaque.

Se generaron diferentes hojas de trabajo estandarizado, ayudas visuales y un procedimiento enfocado en el proyecto de transición de empaque de caja de cartón inner a bolsa de plástico biodegradable, con la finalidad de simplificar las operaciones para el personal de producción. Un ejemplo de ello se muestra en la Fig. 12.

Fig. 12. Hoja de trabajo.

D. Resultados

Los resultados que se obtuvieron a partir de las corridas que fueron planeadas, muestran una reducción en costos. Como se observa en la Fig. 13, hay un ahorro de hasta \$6,000 dólares por el uso de la bolsa de plástico Polybag en lugar de las cajas de cartón inner en los primeros 12 números, lo que genera un ahorro significativo para la empresa.

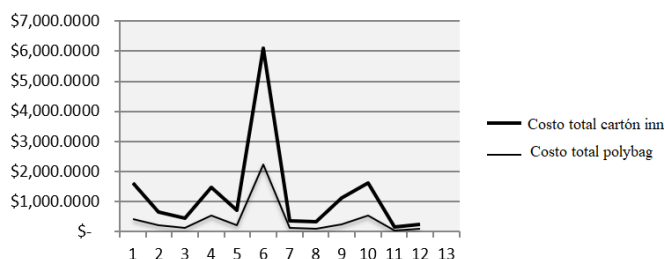


Fig. 13. Comparación de costos total entre cartón inner vs. bolsa de plástico Polybag.

También se realizó un comparativo de costos por el rediseño de la caja master, que también mostró una reducción en sus costos, ya que se realizó un diseño genérico obteniendo 5 diseños de cajas compartidas para almacenar diversos productos. El ahorro observado por el cambio de caja fue de \$2,742.93 dólares como puede observarse en la Fig. 14.

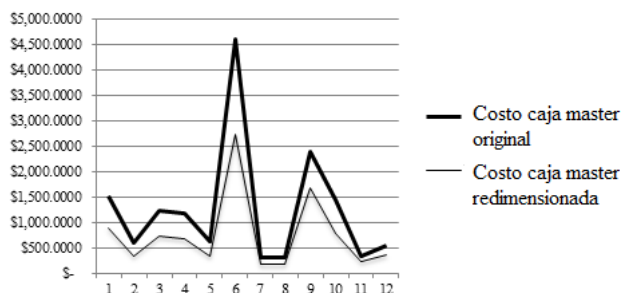


Fig. 14. Diferencia por número de parte entre el costo por la utilización de caja master original vs. redimensionada.

Finalmente se hizo un comparativo de los costos totales por el cambio de empaque, considerando sólo la primera fase que cubre 12 números de partes en el primer mes que corresponde a \$12,000 dólares, como se muestra en la Fig.15.

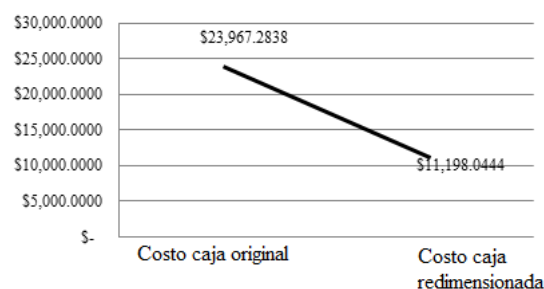


Fig. 15. Diferencia de cotos totales entre caja master original y la redimensionada.

IV. CONCLUSIONES

El caso de estudio aquí expuesto, brinda una perspectiva desde la cual se puede observar el importante trabajo de un ingeniero industrial más allá de la mejora de sus procesos a partir del rediseño, reacomodo o análisis de tiempos y movimientos.

Como se muestra en este estudio, a partir del análisis de materiales en una proceso que estaba dañando los empaques y generando grandes cantidades de residuos, sin necesidad de cambiar completamente las operaciones o el proceso en sí, solo cambiando los materiales, se obtuvieron ahorros en costos, se cumplió con los requerimientos solicitados por los clientes y al buscar que este material fuera amigable al ambiente, a partir de una bolsa de plástico biodegradable hecha de bambú, se contribuye a la minimización del impacto ambiental por plásticos dispuestos en rellenos sanitarios y océanos.

En la actualidad, es imperante tener una conciencia y educación ambiental, pues es una realidad que con el paso del tiempo enfrentamos una gran escases de recursos materiales y energéticos, por lo que es de gran importancia que un ingeniero industrial esté preparado para participar en la transición de sistemas de producción lineal, enfocada a la producción masiva y al alto consumismo que tanto daño le hace al planeta, por sistemas de producción cíclicas basado en recursos renovables, para que futuras generaciones puedan contar con dichos recursos para su propia supervivencia.

REFERENCIAS

- [1] INECC, *Informe del medio ambiente*, no. 40. 2015.
- [2] 2010 SEMARNAT, DGEIA, "Consulta Temática. Industria y Medio Ambiente." [Online]. Available: http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/ibi_apps/WFSer_vlet?IBIF_ex=D2_R_INDUSTRIA01_01&IBIC_user=dgeia_mce&IBIC_pass=dgeia_mce. [Accessed: 14-Jan-2018].
- [3] SEMARNAT, "Residuos de Manejo Especial (RME) | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales | Gobierno | gob.mx." [Online]. Available: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-de-manejo-especial-rme>.

- [Accessed: 14-Jan-2018].
- [4] C. Torre-Marín, S. Granados, R. Herrera, and R. Martínez, “Ecología industrial y desarrollo sustentable,” *Ingeniería*, vol. 13, no. 1, pp. 63–70, 2009.
- [5] G. Cervantes, “Ecología industrial: innovación y desarrollo sostenible en sistemas industriales,” 2011.
- [6] A. Sociales, F. De, L. Administración, I. Francisco, and I. Magaña, “Cadena de Suministros Verde.” 2009.
- [7] M. del C. Torres, “Cadenas de suministro verdes, una respuesta al desempeño ambiental,” *Narraciones La Cienc. Y La Tecnol.*, vol. 0, no. 20, pp. 3–8, Sep. 2014.
- [8] N. Kumar, R. P. Agrahari, and D. Roy, “Review of green supply chain processes,” in *IFAC-PapersOnLine*, 2015, vol. 28, no. 3, pp. 374–381.
- [9] F. Del Giorgio Solfa, F. Lagunas, and A. I. Lasala, *Diseño sustentable: la industria, los consumidores y los profesionales del diseño industrial en el desarrollo de productos y en la preservación del medio ambiente*. 2011.
- [10] A. Arroyo Mena, F. Javier Miranda González, and A. Chamorro, “Diseño para el medio ambiente: Hacia una integración entre innovación y medio ambiente,” *La gestión la Divers. XIII Congr. Nac. IX Congr. Hisp. Logroño (La Rioja), 16, 17 y 18 junio, 1999, Vol. 2, 1999-01-01, ISBN 84-95301-11-3, pags. 299-302*, 1999.
- [11] S. Prendeville, F. O’Connor, S. O’rafferty, and L. Palmer, “Material Selection and Design for Sustainable Material Innovation.” 2013.
- [12] C. R. C. Mohanty, “Reduce, reuse and recycle (the 3Rs) and resource efficiency as the basis for sustainable waste management,” *Synerg. Resour. Effic. with Informal Sect. Towar. Sustain. Waste Manag.*, no. May, 2011.
- [13] C. Godavitarne, A. Robertson, J. Peters, and B. Rogers, “Biodegradable materials,” *Orthop. Trauma*, vol. 31, no. 5, pp. 316–320, Oct. 2017.
- [14] G. E. Luckachan and C. K. S. Pillai, “Biodegradable Polymers- A Review on Recent Trends and Emerging Perspectives,” *J. Polym. Environ.*, vol. 19, no. 3, pp. 637–676, 2011.
- [15] K. Leja and G. Lewandowicz, “Polymer Biodegradation and Biodegradable Polymers - a Review,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 19, 2010.
- [16] C. Elena-Diana, R. Hlihor, C. Ghinea, and M. Gavrilesu, “Occurrence of plastic waste in the environment: Ecological and health risks,” vol. 15, pp. 675–685, 2016.
- [17] L. Nayak and S. P. Mishra, “Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation,” *Fashion and Textiles*, vol. 3, no. 1. 2016.
- [18] Semarnat, “Informe de la situación del medio ambiente en México,” p. 380, 2012.
- [19] G. Encarnación, A. Ávila, A. Campos, and G. Solórzano, “Estudio comparativo de bolsas de plástico degradables versus convencionales mediante la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida,” *Semarnat/Ine*, p. 56, 2009.
- [20] Fundación Florycanto A.C., “Educación y gestión escolar para el desarrollo sustentable. Residuos sólidos y consumo responsable.” pp. 1–97, 2012.

Control estadístico de tiempos muertos de maquinaria en la empresa aeroespacial de ambientes áridos

Romero Samaniego Elizabeth
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de
Ensenada, Ensenada, Baja
California, México
eromero@ite.edu.mx

Campos García Josefina
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de
Ensenada, Ensenada, Baja
California, México
josefinadelapaz@ite.edu.mx

López Badilla, Gustavo
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Mexicali
Mexicali, B. C., México
glopezbadilla@hotmail.com

Arredondo Soto, Karina Cecilia
Universidad Autónoma de Baja
California,
Tijuana, Baja California, México
karina.arredondo@uabc.edu.mx

Resumen— El propósito de este Proyecto fue desarrollar un análisis de un proceso de manufactura donde las operaciones de una línea de producción con maquinaria industrializada fueron evaluadas mediante métodos y herramientas de control estadístico. Es importante tener en cuenta que las fallas relacionadas con los procesos de manufactura manuales o automatizados afectan la cantidad, forma, tiempo y lugar de los requerimientos del cliente; por lo que es posible incurrir en costo por penalizaciones durante el aprovisionamiento. Esto debido a paros en las líneas de producción, otras veces a la remanufactura de algunos productos manufacturados inicialmente con errores, causando tiempos caídos, y generando almacenamientos no programados. Por esta razón y de acuerdo con los parámetros establecidos actualmente, se considera que las interrupciones en las líneas de producción son una de las causas más caras y frecuentes en los procesos productivos de una compañía.

Palabras clave— Control estadístico, tiempos muertos, maquinaria industrial, ambientes áridos.

1. INTRODUCCIÓN

Cuantificaciones han demostrado que un promedio de 17.7 dólares por minuto se pierden durante una interrupción en las líneas de producción [1]. Los costos de los paros son considerables y debido a esto, las maneras de disminuir las fallas siempre son evaluadas. Sin embargo, en primer lugar, es necesario encontrar las principales causas de paros en las líneas de producción y la forma de reducirlas [2]. También es importante cuantificar los costos de reducción de las causas de parada. Esta investigación se basa en cuantificar los tiempos de parada y el riesgo o la pérdida causada por el paro en las líneas de producción. Se proponen, además, los índices de paro para cada máquina de impresión, con el fin de compararlas y ser capaz de encontrar una manera de reducir los tiempos de parada. El estudio elaborado propone un modelo basado en la eficiencia en la fabricación, siendo la filosofía para detectar las principales causas de paro en las líneas de producción [3]. Los objetivos específicos son los siguientes para construir un modelo de procesos que contribuya a:

- Identificar las principales causas de paros en las líneas de producción.
- Reducir los tiempos muertos en las líneas de producción.

- Normalizar las mediciones de parada utilizando indicadores que conducen a comparar la producción de diferentes líneas.
- Disminuir la pérdida por interrupciones en las líneas de producción.

Para llevar a cabo la investigación en la disminución de los tiempos muertos en la línea de producción, se tomó como referencia y para evaluación una industria ubicada en la zona central de la ciudad de Mexicali, dedicada a la fabricación de partes de aeronaves. Los métodos propuestos para el análisis son el mapeo de proceso. Así como el desarrollo de poka-yokes que eviten errores de entregas de materiales por parte de recibo (físico y sistema). Esto se desarrolló para brindar un mejor servicio al cliente llamado almacén del área de producción. En este proyecto se analizan como optimizar los recursos: materiales y mano de obra, en un tiempo razonablemente corto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo de la elaboración de este proyecto es la de elaborar la optimización por medio de un análisis de procesos existentes mediante sistemas sistemáticos. De esta manera se obtiene información de los parámetros involucrados en los procesos. Se utilizó el programa Matlab para los análisis de correlación. Las acciones elaboradas se enuncian enseguida:

- a) Análisis del proceso. Cuanto más complejo es un proceso, mayor es el potencial de mejora y más difícil es detectar pérdidas y desequilibrios de forma intuitiva. Es por esto que se evaluaron cada etapa de la línea de producción.
- b) Evaluación de etapas de la línea producción de manera distribuida. La generación distribuida requiere un equilibrio en la elaboración de actividades almacenamiento y consumo. Este equilibrio se complica conforme aumenta el tamaño de la instalación y especialmente que se trabaje, donde muchas de las instalaciones existentes no dan el rendimiento óptimo por problemas de diseño. También es importante obtener datos de forma sistemática en instalaciones aisladas con cierta complejidad. En esta etapa se balancearon las etapas de producción.

c) Captura de datos. Este proceso es para mejorar las operaciones de la manera más fácil, registrando datos de manera automática de las funciones evaluadas de la línea de producción analizada.

Importancia del Estudio

Se decide abordar ésta problemática porque se requiere optimizar los recursos materiales y el tipo operativo en actividades manuales y automatizadas por sistema de control en equipos y maquinas industriales [4]. El estudio contempla evaluaciones estrictas en todas las etapas del proceso de la línea de ensamble donde se tienen maquinaria para elaborar operaciones de corte, instalación de componentes y empaque de productos de fabricación utilizados en partes de las aeronaves a nivel mundial

Alcance y Objetivos

El estudio contemplo solo una línea de ensamble donde se tenían una gran cantidad de fallas, donde se incrementaron en un 25%, debido a desajustes en la maquinaria utilizada en los procesos de manufactura donde se realizó la investigación. Esto generó situaciones en la línea evaluada, donde se tenían sub ensamblados de los productos finales con fallas, que requerían ser analizados inmediatamente [5]. Con base a esto se desarrolló el proyecto para disminuir al máximo las fallas presentadas y con ello los tiempos muertos que ocasionaban retrasos de entrega al cliente final y con ello la posibilidad de perder a clientes que conlleven a causar pérdidas económicas para la empresa. El análisis llevado a cabo se realizó en la línea de ensamble final con la opción de ser aplicada a otras áreas donde se cuentan con una maquinaria similar a donde se elaboró la evaluación. El análisis comprendió del mes de enero a abril del 2016.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

Los tiempos muertos aparecen en muchos procesos en la industria, donde se afectan los procesos de manufactura, debido a que se generan retrasos de tiempo, que originan un efecto negativo en la entrega del producto final al cliente. Son causadas principalmente, por algunas de los siguientes fenómenos: (a) El tiempo necesario para el transporte de masa, energía o información, así como la (b) la acumulación de retrasos de tiempo en un gran número de orden inferior con sistemas conectados en serie y (c) el tiempo de procesamiento requerido para los sensores, tales como analizadores [6]. Estos factores contribuyen a los procesos controladores que necesitan algo de tiempo para poner en práctica un complicado algoritmo de control o proceso.

Los tiempos muertos introducen un retardo adicional en la fase del sistema, disminuyendo de ese modo el margen de fase y ganancia de la función de transferencia para un control de estos sistemas más difícil. En la actualidad, es necesario que la empresa establezca indicadores en diferentes etapas del proceso con el fin de ser capaz de tomar mejores decisiones durante las estrategias comerciales que estaban previstos con anterioridad. En los últimos años, las especificaciones y los requisitos de los clientes han aumentado y esto es una situación primordial para cada empresa. La reducción de costes y mejora de los niveles de servicio deben ser considerados como

prioridad entre los procesos de la empresa con el fin de obtener una ventaja competitiva en el sector industrial [2].

Fallas en Manufactura Ocasionan Tiempos Muertos

El término tiempo de inactividad se usa para referirse a los períodos en que un sistema no está disponible. El tiempo de inactividad o duración de la interrupción se refiere a un período de tiempo que un sistema no proporciona o realizar su función principal. La fiabilidad, disponibilidad, recuperación y disponibilidad son conceptos relacionados. La falta de disponibilidad es la proporción de un lapso de tiempo que un sistema no está disponible o fuera de línea [7]. Esto suele ser un resultado del sistema en su defecto de funcionar debido a un acontecimiento imprevisto, o debido a un mantenimiento de rutina (un evento planificado). El término se aplica comúnmente a las redes y servidores. Las razones más comunes para las interrupciones no planificadas son los fallos del sistema (como un accidente) o fallos de comunicación (comúnmente conocidos como interrupción de la red). El término también se aplica comúnmente en entornos industriales en relación con fallos en los equipos de producción industrial. Algunas instalaciones miden el tiempo de inactividad se haya incurrido durante un turno de trabajo, o durante un período de 12 o 24 horas. Otra práctica común es identificar cada evento tiempo de inactividad como teniendo un origen operativo, eléctrico o mecánico. Lo contrario de tiempo de inactividad es el tiempo de actividad.

Tipos de Fallas en Máquinas Industriales

Los estándares de la industria pueden tener diferentes puntos de iniciación y terminación de este modo la siguiente aclaración se debe utilizar para evitar conflictos en la ejecución de los procesos de manufactura. Esto ocasiona muchos tipos de interrupciones, que posteriormente se indican en las etapas finales de la entrega de los subproductos o productos finalizados a los clientes, disminuyendo los niveles de productividad de la empresa analizada [8]. La interrupción o mantenimiento en las líneas de producción de una empresa comienza con el operador de la planta o el equipo presionando el botón de apagado o parada para iniciar una paralización de la operación. A menos que se indique lo contrario, la interrupción o mantenimiento que causa los tiempos muertos en las áreas de manufactura, se considera completo cuando la planta o el equipo está de vuelta en el funcionamiento normal listo para comenzar la fabricación o listos estar sincronizados con el sistema. En la mayoría de los casos este tipo de corte o interrupción de las operaciones en los procesos de producción, requieren de períodos de mantenimiento, donde se realizan procesos de paro. En ocasiones es necesario realizar pruebas en línea, como las de rendimiento y el ajuste requerido que no debe contar para la duración de la interrupción ya que estas actividades se realizan normalmente después de la finalización del evento de interrupción o mantenimiento y están fuera de control de la mayoría de las maquinas industriales.

Características de Fallas de Máquinas Industriales

Los periodos de paro de las líneas de producción, en ocasiones no son planificadas y pueden ser por errores de programación de las máquinas, mecanismos dañados, dispositivos electrónicos no acoplados correctamente, errores

humanos, fallas en los equipos, mal funcionamiento, tasa de errores de bit alto, corte de corriente, sobrecarga por exceder la capacidad del canal y por último fallas en cascada [9].

Las Fallas en Sistemas de la Industria

El tiempo de inactividad puede ser causada por un fallo en el sistema de conexiones eléctricas o (hardware), equipos de control de la lógica, cables, instalaciones, transmisión inalámbrica y la capacidad de interconexión, como los principales [10]. Los fallos pueden ocurrir debido a daños, fallo de diseño, de procedimiento (uso indebido por los seres humanos), ingeniería (formas de uso y despliegue), sobrecarga (de tráfico o los recursos del sistema subrayaron allá de los límites diseñados), medio ambiente (sistemas de apoyo, como la energía y climatización), el tiempo de inactividad programado (cortes integradas en el sistema para un propósito, como actualizaciones de sistemas de programación.

El Tiempo de Inactividad

Mientras que los expertos en reducción de tiempos, elaboraron los estudios pertinentes para el decremento y eliminación de los tiempos muertos, y se generan análisis muy específicos, para obtener la mayor cantidad de información, con la cual se puedan resolver las situaciones problemáticas de las empresas industriales. Esto ocurre día a día en la industria de la ciudad de Mexicali. Los análisis de los tiempos de inactividad se realizan para evitar el perjuicio a los negocios (para reducir o eliminar costos por los paros de producción imprevistos. A partir de la pérdida de ingresos se genera la pérdida económica por falta de productividad. Una falla de una aplicación crítica puede conducir a unos tipos de pérdidas:

- Pérdida del servicio de aplicación.
- El impacto del tiempo de inactividad varía con la aplicación y el negocio.
- La pérdida de datos
- La posible pérdida de datos debido a una interrupción del sistema que puede tener unos impactos legales y financieros significativos.

Los Errores Tienen un Impacto Negativo en la Productividad

El proceso de interrupciones en las actividades de manufactura, ocurre en su mayor parte por dos factores principales: (1) por una mala planeación de las operaciones que se elaboran con retrasos y (2) por el desajuste de los mecanismos de los equipos y maquinaria industrial utilizados en la industria [4]. Esto tiene como consecuencia la generación de bastantes defectos que puede ocasionar que puedan cerrar la línea que cause estas situaciones problemáticas y poder despedir al personal que origine problemas sociales en una ciudad al incrementarse el porcentaje de personas desempleadas. Por lo general las decisiones de gestión cotidiana relacionadas con el tiempo muerto del equipo se realizan con base principalmente en el precio de la mano de obra. Por supuesto, la demanda de producción es también en la parte superior de la lista de prioridades también. Los cuellos de botella se toman en cuenta en las decisiones cuando se realizan. Algunas instalaciones tienen vistas a equipos como un cuello de botella, como compresores de aire, calderas y fletadoras a cabo en el

almacén. El balance de la toma de decisiones es mantener entre la demanda y la producción de costo verdadero el tiempo de inactividad, la demanda de producción no primaria y mano de obra directa. En estos tiempos de crisis económica, cada vez es más importante tener en cuenta el "costo de tiempo de inactividad Verdadero" en él es respectivas categorías, no sólo para ver la mayor oportunidad, pero para beneficiarse de la información valiosa sobre esta metodología traerá. Usted aprenderá que muchas de las métricas con ahorro de costes oportunidades de mejora línea de fondo, son muy superiores a la categoría laboral y las ganancias temporales inmediatas de reducción de personal.

Costo Oculto

A continuación, se muestra un ejemplo a continuación del hecho relevante costo oculto que representan los errores por la mano de obra. Se puede observar el verdadero costo una vez realizados los análisis específicos, siendo en especial de la mano de obra asociada con el escenario de tiempo de inactividad con solamente alrededor de una hora con pérdidas económicas de \$2,959. Esa cantidad parece muy poca, pero al evaluar en varios periodos de tiempo y en diferentes líneas de producción, los índices se incrementan de manera significativa, que pueden ser de 10 a 100 veces esa cantidad en función del tiempo de inactividad y ocurrencia particular. Así se puede mostrar, con diversos métodos, que pueden ser una justificación de costos y valiosas herramientas de referencia para los responsables de mantenimiento. Una gran ventaja de análisis a la dirección ejecutiva y una gran herramienta de ventas para los que prestan servicio y los productos de los fabricantes.

Existen tres categorías principales de tiempo de inactividad propuestas. La categoría principal de costo del equipo y de que se compone de unidades métricas que son una entrada de tiempo de constantes, que se actualizan anualmente, exportados de sus sistemas informáticos existentes. La principal categoría de tiempo de inactividad es el costo, que contiene las unidades métricas. Sorprendentemente algunas unidades métricas tienen grandes oportunidades de ahorro de costes y han sido pasados por alto por la industria en general. Dado que los costos laborales es una de las zonas más populares para iniciar la primera búsqueda de oportunidades, vamos a utilizar un solo método. Esto es, una preocupación primordial en la toma de decisiones el tiempo de inactividad.

Por ejemplo, se tienen seis operadores que realizan la limpieza no tan productiva mientras una máquina está abajo y dos técnicos de mantenimiento haciendo la reparación. Los tomadores de decisiones están pensando que A puede generar un costo de \$10 por salario operador por hora, además de \$20 por salario de mantenimiento hora, que es de \$100 por hora¹⁰. Los gastos indirectos son sólo un porcentaje de mis horas-hombre y se compara esto con el costo real. Como siempre y cuando no se trata de un cuello de botella, sólo se necesita tener en cuenta el factor mano de obra indirecta. Se tienen muchas personas involucradas, desde una inspección de control de calidad en el inicio, la persona que la configuración de la herramienta, el supervisor de línea, supervisor de mantenimiento, el gerente de la planta, el procurador partes, a nombre de los empleados que participan más evidentes. Con un

poco más de detalle en el escenario, se puede calcular el costo de mano de obra indirecta. La inspección del control de calidad tiene un costo de \$15 por minuto, así como la configuración de persona capacitada es de \$15 por minuto, así como el supervisor que tiene sus deberes normales con costo de \$30 por hora. Además, se toman en cuenta otros factores como, las tenías la logística, la reasignación de los empleados y la reprogramación, como los más importantes. Además, se pueden presentar costos de mano de obra indirecta desde \$95 dls hasta los \$135 dls por día, por cada trabajador y de mano de obra directa desde los \$250 dls hasta los \$350 dls. por día y por cada trabajador. Existen por lo regular costos generales, que se reflejan en casi el 66% del costo real en la categoría de trabajo y el costo por la alta dirección y los contadores, que es mano de obra indirecta, y una gran parte de la imagen, sin embargo, sólo se considera sobre una base diaria por muy pocos. También se consideran gastos por retrabajo con personal de ingeniería, manipuladores de materiales, más de gestión, supervisores, controladores, personal de seguridad, de actividades contables, secretarías, trabajo de repaso y fuera de las instalaciones de inspección de control de calidad. Se podría incluir al personal fuera del sitio coste como consultores técnicos, pero se recomienda tener esos gastos en su propia categoría, ya que son muy grandes.

Análisis Técnico

El objetivo es estimular el proceso de pensamiento creativo y ayudarle a darse cuenta áreas que de otra manera podrían pasar inadvertidos. Se reconoce que existe un alto grado de incertidumbre y la diferencia de la opinión científica que rodea las métricas de análisis de coste de fabricación. Estos procesos se evalúan como un punto de partida para mejorar el análisis de costos de fabricación. Fuera de los campos de piezas y de contratación, el coste real de las piezas es el único valor comúnmente rastreado. Si bien el tiempo de inactividad de aplicación se puede reducir, no puede ser eliminado. Es necesario tener una estrategia en su lugar para proteger su reputación y en relación con, sus ingresos recurrentes, cuando se produce un incidente. La mejor estrategia es lo que es lo más conveniente posible para el usuario final para conocer cuando se produce una interrupción y que se actualiza a medida que se restablezca el servicio. Este nivel de respeto y consideración por el cliente le ayudará inmediatamente en la reparación de los daños a la reputación asumido por la propia interrupción del servicio. Al no ser transparente con los usuarios finales acerca de los problemas que están experimentando los hace sentirse explotados, deteriorando aún más cualquier confianza que semanas anteriores, meses o incluso años de negocio de éxito pueden haber acumulado.

La manera más conveniente y menos molesto para sus clientes (y la forma más eficaz para su empresa) para establecer una comunicación clara y coherente, transparente es con una página de estado alojada. Una página de estado de un proceso de manufactura, comunica el estado actual de su aplicación, e incluye un registro histórico de los resultados anteriores y de cualquier notificación sobre el próximo tiempo de inactividad programado.

Ingeniería de Métodos

El estudio de métodos o Ingeniería de métodos es una de las más importantes técnicas del estudio del trabajo, que se basa en el registro y examen crítico sistemático de la metodología existente y proyectada utilizada para llevar a cabo un trabajo u operación. El objetivo fundamental del estudio de métodos es el aplicar métodos más sencillos y eficientes para de esta manera aumentar la productividad de cualquier sistema productivo [2]. La evolución del estudio de métodos consiste en abarcar en primera instancia lo general para luego abarcar lo particular, de acuerdo a esto el Estudio de Métodos debe empezar por lo más general dentro de un sistema productivo, es decir "el proceso" para luego llegar a lo más particular, es decir la operación a evaluar. En muchas ocasiones se presentan dudas acerca del orden de la aplicación, tanto del estudio de métodos como de la medición del trabajo. En este caso vale la pena recordar que el estudio de métodos se relaciona con la reducción del contenido de trabajo de una tarea u operación, a su vez que la medición del trabajo se relaciona con la investigación de tiempos improductivos asociados a un método en particular. Si se considera al departamento de producción como el corazón de una empresa industrial, las actividades de métodos, estudio de tiempos y salarios son el corazón del grupo de fabricación. Más que en cualquier otra parte, es aquí donde se determina si un producto va a ser producido de manera competitiva. También es aquí donde se aplican la iniciativa y el ingenio para desarrollar herramientas, relaciones hombre-máquina y estaciones de trabajo eficientes para trabajos nuevos antes de iniciar la producción, asegurando de este modo que el producto pase las pruebas frente a la fuerte competencia [10]. En esta fase es donde se emplea continuamente la creatividad para mejorar los métodos existentes y afirmar a la empresa en posición adelantada en su línea de productos. En esta actividad se puede mantener buenas relaciones laborales mediante el establecimiento de normas justas de trabajo, o bien, dichas relaciones pueden resultar afectadas adversamente por la adopción de normas inequitativas.

Los objetivos principales de la Ingeniería de Métodos son aumentar la productividad y reducir el costo por unidad, permitiendo así que se logre la mayor producción de bienes para mayor número de personas. La capacidad para producir más con menos dará por resultado más trabajo para más personas durante un mayor número de horas por año. Los beneficios de la aplicación de la Ingeniería de métodos son:

- Minimizan el tiempo requerido para la ejecución de trabajos.
- Conservan los recursos y minimizan los costos especificando los materiales directos e indirectos más apropiados para la producción de bienes y servicios.
- Efectúan la producción sin perder de vista la disponibilidad de energéticos o de la energía.
- Proporcionan un producto que es cada vez más confiable y de alta calidad.
- Maximizan la seguridad, la salud y el bienestar de todos los empleados o trabajadores.
- Realizan la producción considerando cada vez más la protección necesaria de las condiciones ambientales.
- Aplican un programa de administración según un alto nivel humano.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del estudio se llevó a cabo con las etapas mencionadas anteriormente donde se establecieron ciertos criterios de la evaluación, iniciando con el conocimiento de la reubicación de un diagrama de distribución de planta, donde se organizaron las actividades con un orden acuerdo, que no se tenía.

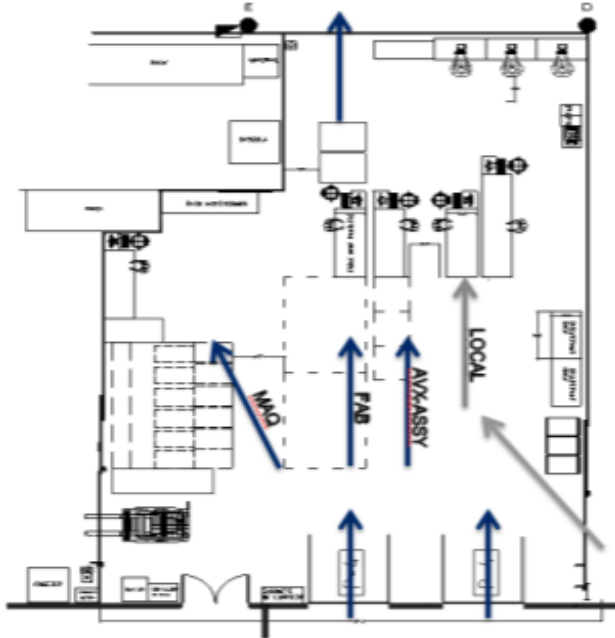


Figura 1. Diagrama de distribución de planta del área de análisis

En base al diagrama de la figura 1, se elaboraron los análisis descritos en la metodología, obteniendo la información necesaria para determinar los métodos y herramientas de mejora aplicadas para reducir los tiempos muertos de las operaciones elaboradas en esta línea de producción con procesos de manufactura en la empresa mencionada. Los niveles de calidad de esta área de la compañía, se incrementaron con las mejoras elaboradas, donde se desarrolló la investigación. Cada etapa tenía al inicio del estudio, al menos dos operaciones y con la propuesta de recomendación de aplicar los métodos y herramientas de mejora se elaboraba solo una operación de cada etapa, siendo siete etapas en total en el área analizada.

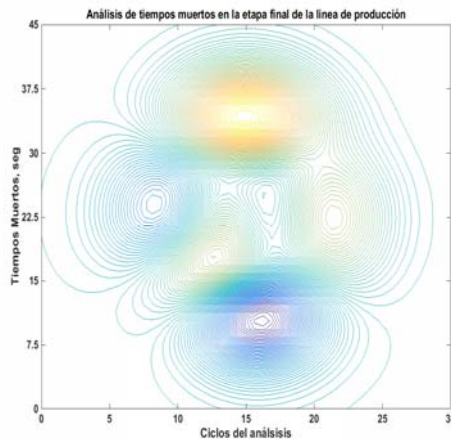


Figura 2. Análisis de defectos por ciclos de análisis en la etapa final de producción

En la figura 2 se muestra por nivel de colores la manera en que se evalúa la correlación de los índices de tiempos muertos en segundos por cada ciclo del periodo de análisis, donde se tienen que con el color azul verde, se indican que la correlación es del 30%, indicando que no existe mucha relación entre estas dos variables, pero en las zonas de color amarillo y naranja, se tiene una correlación del 90%, observándose que los tiempos muertos con los ciclos periódicos donde se evaluaron las herramientas de mejora que apoyaron en la resolución de la situación problemática.

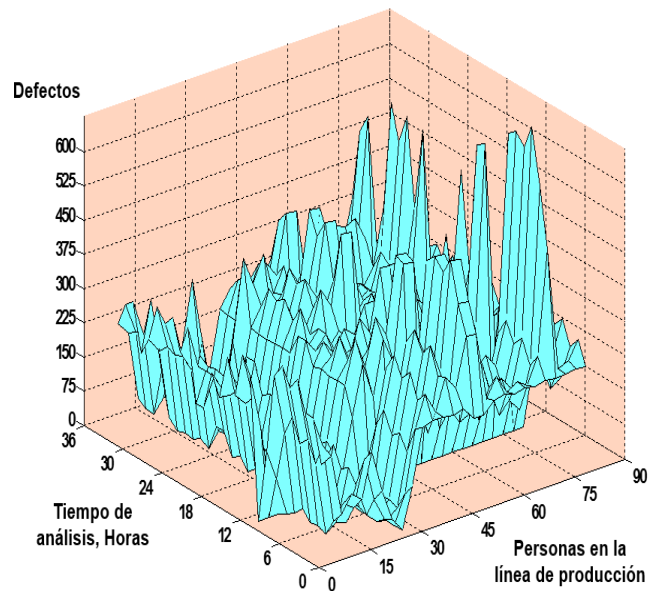


Figura 3. Correlación de productos defectivos con las personas ubicadas en la línea de producción y los tiempos de análisis elaborados antes de elaborar la propuesta de mejora

La figura 3 muestra cómo se elabora la correlación de los índices de productos defectivos en relación a las horas laboradas y evaluadas en la línea de producción analizada, además de la cantidad de personas involucradas en la evaluación. Se observa que a mayor cantidad de personas los productos defectivos se incrementaron y se presentaban estos índices en tiempos menores a las 18 horas laboradas, en el periodo de estudio de unos días de mes de febrero, donde la correlación fue del 80%. Este análisis fue antes de aplicar las mejoras propuestas.

La figura 4 indica la correlación similar a la figura 3, donde se observa que ocurre el mismo proceso, que a mayor cantidad de personas, se presentaron mayor cantidad de productos defectivos, una vez aplicadas las mejoras en la línea de producción evaluada. Se considera que ocurrieron solo la tercera parte de los productos defectivos con las mejoras

aplicadas de evaluaciones de ergonomía y distribución del área de manera adecuada.

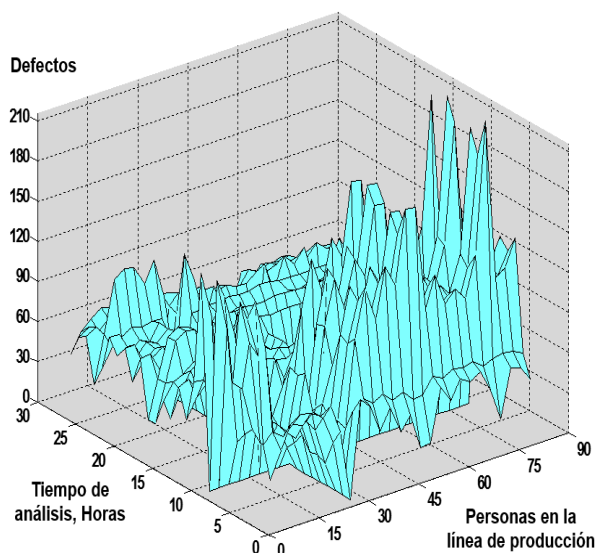


Figura 4. Correlación de productos defectivos con las personas ubicadas en la línea de producción y los tiempos de análisis elaborados después de elaborar la propuesta de mejora

5. CONCLUSIONES

Una vez desarrollado el análisis de tiempos muertos en la línea de producción en la empresa del ramo aeroespacial se generó la disminución de los tiempos de entrega entre cada etapa del proceso de evaluación. Es más complicado cuantificar las oportunidades de mejora, y sobre todo no resulta sencillo conocer qué nos interesa más entre distintas opciones posibles. Puede haber grandes diferencias en los resultados que obtendremos mejorando un proceso según la alternativa elegida. La captura sistemática de datos y su posterior análisis estadístico nos servirán para tomar decisiones que ahorran cantidades importantes de dinero. Con la investigación elaborada, se generaron grandes ahorros económicos, donde se redujeron cierta cantidad de operaciones y el personal que realizaba esas operaciones, se reubicó en otras áreas generando grandes utilidades a la empresa. Se recomienda estar elaborando evaluaciones

6. AGRADECIMENTOS

Tecnológico Nacional de México, a Marcelino Bauza Rosete director del Instituto Tecnológico de Ensenada y al Ing. Juan Carlos Leal Nodal Jefe de Ingeniería por el apoyo al Cuerpo Académico para poder realizar nuestras investigaciones.

7. REFERENCIAS

[1] G. López-Badilla. (2008). "Caracterización de la corrosión en materiales metálicos de la industria electrónica", tesis de doctorado, Mexicali, B.C.

- [2] B. G. López, S. B. Valdez, W. M. Schorr, V. H. Tiznado, y H. G. Soto. (2010). "Influence of climate factors on copper corrosion in electronic equipment and devices", *Anti-Corrosion Methods and Materials*; Vol. 63; N0. 3; pp. 213-221.
- [3] Chancos P. & Hernández Jorge. (2010). "Hacia una perspectiva de la calidad en la industria"; *Revista de Ingeniería Industrial*; Vol. (5 (2); pp. 45- 62.
- [4] Hidalgo P., & Núñez N. (2013). "Análisis de calidad en sistemas industriales"; *Revista de Ingeniería y Economía*; Vol. 8 (5); pp. 56- 78.
- [5] Guerrero J. & Rendón, I. (2012). "Los efectos negativos de una mala calidad"; *Revista de Economía e Industria*; Vol. 7 (3); pp. 24- 45.
- [6] López E., Herrera T. & Llamas T. (2010). "La calidad en sistemas de manufactura industrial"; *Revista de Ingeniería Industrial*; Vol. 9 (5); pp. 79 – 95.
- [7] Cruz J., Gutiérrez H., Cárdenas C. & Aldana A. (2010). "Causas de mala educación en la industria"; *Revista de Ingeniería y Economía*; Vol. 6 (2); pp. 45- 63.
- [8] Lopez, B.G., Valdez, S.B., Zlatev, K.R., Flores, P.J., Carrillo, B.M. and Schorr, W.M. (2007), "Corrosion of metals at indoor conditions in the electronics manufacturing industry", *Anti-Corrosion Methods and Materials*, Vol. 54; No. 6, pp. 354-359.
- [9] Gustavo López-Badilla, Catalina González-Hernández, Antonio Valdez-Ceballos. (2011). "Análisis de corrosión en MEM de la industria electrónica en ambientes árido y marino del noroeste de México"; *Científica*, vol.15, núm. 3, pp. 145-150, julio-septiembre 2011. ISSN 1665-0654, ESIME Instituto Politécnico Nacional MÉXICO.
- [10] Yam KL, Takhistov PT, Miltz J. (2005). "Intelligent packaging: concepts and applications"; *J. Food Science*, 70(1):R1–10.

Manufactura esbelta: Caso de estudio en una empresa de productos eléctricos

Jazmin Orozco Ocegüera
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
jazmin.orozco@uabc.edu.mx

Karla Madrigal Estrada
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
kmadrigal@uabc.edu.mx

Mydory Nakasima Lopez
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
nakasima.mydory@uabc.edu.mx

Erika Beltrán Salomón
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
ebeltran89@uabc.edu.mx

Teresa Carrillo Gutierrez
Facultad de Ciencias Químicas e
Ingeniería
Universidad Autónoma de Baja
California
Tijuana, Baja California
tcarrillo@uabc.edu.mx

Resumen— En la actualidad la globalización representa un reto para cualquier tipo de organización, debido a la competencia a la cual se enfrentan. Las organizaciones se ven en la necesidad de innovar en la forma en como llevan a cabo sus procesos y productos para lograr mantenerse competitivos. La Manufactura Esbelta es una de las estrategias que se han implementado exitosamente en las empresas de manufactura y ha tenido un impacto positivo en la eficiencia de dichas organizaciones. En este artículo se desarrolla un caso de estudio en el cual se aplican las herramientas de Manufactura Esbelta con la finalidad de mejorar los tiempos de los procesos y favorecer la reducción de costos.

Palabras clave— *manufactura esbelta, mapeo de flujo de valor, unidad de negocios.*

I. INTRODUCCIÓN

La globalización representa un reto para cualquier tipo de organización hoy en día, la competencia cada vez es mayor. Esto ha dado como resultado que las organizaciones se enfrenten a presiones como la reducción de costos, mejora de la calidad, flexibilidad para los cambios y reducción en los tiempos de entrega; lo que trae como consecuencia la necesidad de innovar en la forma cómo se llevan a cabo sus procesos y productos. El sector manufacturero ha sido el primero en enfrentarse a estos retos [1], ha desarrollado una gran cantidad de estrategias desde el TQM (*Total Quality Management*, Administración Total de la Calidad), Seis Sigma, BPR (*Business Process Re Engineering*, Reingeniería de los Procesos de Negocios), y lo que conocemos como Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta)[2], o combinaciones de estas estrategias como por ejemplo, el *Lean-Six Sigma*, que es una mezcla entre *Lean Manufacturing* y *Six Sigma*, por

mencionar una de ellas. Cada una de estas estrategias se desarrollan de manera distinta, pero el objetivo es el mismo, la mejora en la eficiencia de las organizaciones. En la actualidad estas estrategias están siendo aplicadas en otros sectores como el de servicios y el público, debido a los resultados mostrados en el sector manufacturero.

Este estudio se enfoca en la estrategia de manufactura esbelta, la cual ha tenido una amplia aceptación en la industria de manufactura desde sus inicios en la década de los 90's. El concepto de Manufactura Esbelta se desarrolló en las industrias japonesas. La Manufactura Esbelta es considerada como una técnica de reducción del desperdicio, pero en la práctica se refiere en maximizar el valor del producto a través de la reducción del desperdicio [3].

En este artículo se abordan algunos conceptos, principios y elementos de la Manufactura Esbelta. Por otro lado, se presenta un caso de estudio de una empresa de manufactura que utiliza las herramientas de la Manufactura Esbelta para la mejora de sus procesos.

II. MANUFACTURA ESBELTA

A. Concepto

El término de *Lean* se originó en Japón, después de la Segunda Guerra Mundial cuando los manufactureros japoneses se percataron de que no tenían la inversión suficiente para reconstruir sus plantas [4]. Entonces empezaron a producir de una manera más eficiente con menos recursos. El concepto se popularizó en manufactura por Womack en la década de los 90's, a través de su libro "La Máquina que Cambió al Mundo". A inicios de los 90's, el concepto lean fue visto como una alternativa al método del Fordismo en manufactura [4].

Los autores definen de diversas maneras la Manufactura Esbelta en [4] se mencionan varias de ellas:

Womack and Jones [5], citado en [4], dicen que el término *Lean* denota a un sistema que utiliza menos, en términos de todos las entradas, para crear las mismas salidas, que en un sistema de producción en masa tradicional.

Singh [6], citado en [4], menciona que *Lean Manufacturing* es una filosofía basada en el sistema de producción Toyota, que centra sus esfuerzos en la reducción del tiempo entre la orden del cliente y el envío al cliente, mediante una eliminación consistente del desperdicio.

Liker and Wu [7], citado en [4], consideran que la Manufactura Esbelta se enfoca en entregar un producto de máxima calidad a tiempo y con el menor costo. De estas definiciones se concluye que la Manufactura Esbelta es una filosofía que en su conjunto busca superar las expectativas del cliente al mínimo costo, mediante la eliminación de cualquier desperdicio dentro del sistema.

B. Principios de la Manufactura Esbelta

Según [8], los principios centrales de la Manufactura Esbelta que hacen este sistema diferente versus el sistema de producción tradicional son:

1. Producción basada en ordenes
2. Cero defectos
3. Eliminación del desperdicio
4. Enfoque en la mejora continua incremental
5. Respeto por la humanidad
6. Sistema de administración visual
7. Enfoque en el cliente
8. Relación de proveedores

Como se menciona en [3], los principios *Lean* definen el valor del producto/servicio que es percibido por el cliente y hacen que el flujo del sistema se alinee con sus requerimientos para alcanzar la perfección a través de la mejora continua y la eliminación del desperdicio, mediante la clasificación de las actividades que agregan valor (VA) y las que no agregan valor (NVA).

C. Implementación de la Manufactura Esbelta.

Según [3], el esfuerzo perfecto de un sistema de manufactura se puede lograr a través de la implementación exitosa de los elementos *Lean*. Para lograr una implementación exitosa es necesario la incorporación de todos los elementos así como de la secuencia en la cual son implementados, en la siguiente tabla se detallan los elementos de la ME según [3].

TABLA I. Elementos de la Manufactura Esbelta

Elemento	Descripción
Mapeo de la cadena de valor (VSM)	Se define la cadena de valor desde que llega la orden del cliente hasta que recibe el producto terminado. Se describen todas las VA y los NVA.

Sistema de jalar y empujar	El sistema de jalar se basa en los requerimientos del cliente, el sistema de empujar se basa en una programación predeterminada.
Manufactura celular	Redefine la planta en grupos donde se produce un producto con el mínimo de tiempo y transporte.
Kanban	Mecanismo de control de material, se refiere a entregar la cantidad correcta en el tiempo correcto. No inventarios.
Flujo de una pieza	Flujo sin interrupción, disminuye el inventario en proceso debido a que elimina la espera.
Cambio de dados en 1 minuto	Cambios rápidos de preparación.
Nivelación de la producción	Reducción del desperdicio al encontrar la mezcla perfecta entre el volumen y variedad.
Cada intervalo una parte	Nivelación de partes.
Percepciones del empleado	Compromiso, métodos de trabajo, comunicación, cambio cultural.

III. CASO DE ESTUDIO EN UN EMPRESA DE PRODUCTOS ELÉCTRICOS

La implementación de las técnicas, herramientas y principios de la manufactura esbelta tienen la finalidad de incrementar la productividad en las organizaciones. El caso de estudio que se desarrolla en este documento se realizó en una unidad de negocios de una empresa de productos eléctricos.

A. Planteamiento del problema

Esta unidad de negocio se incorporó hace poco tiempo, por lo cual sigue un método de trabajo diferente al resto de la planta. Esto genera varios problemas al no contar con los métodos de trabajo estándares y los parámetros establecidos para las otras unidades de negocio. Para solucionar esta situación se busca estandarizar la documentación del área de acuerdo a las herramientas de manufactura esbelta, así como se hace en las otras unidades de negocio.

Asimismo, se espera conseguir con ello un ahorro económico, debido a la disminución del tiempo empleado en el proceso por operaciones que no aportan algo significativo al producto; y del período en que se detiene la célula por no tener todo lo necesario, lo cual genera que no se obtenga la producción en tiempo y forma.

B. Objetivo general

Aplicar las herramientas de Manufactura Esbelta y planeación de una nueva distribución del área con el fin de disminuir desperdicios de todo tipo para mejorar los indicadores del proceso en la unidad de negocios (NS) dentro de la planta de manufactura.

Objetivo específico:

- Lograr que el área de NS sea más eficiente.
- Obtener una mejor productividad en las líneas de producción de NS.

- Disminuir el espacio de la unidad de negocios NS.
- Generar planes de ahorros dentro del área para la empresa.
- Reunir la documentación necesaria para normalizar las condiciones de las líneas de producción.

IV. METODOLOGÍA

Para lograr alcanzar los objetivos planteados se siguió con la metodología descrita.

1. **Planeación del proyecto.** Se elaboró un diagrama de Gantt que describe las actividades a realizar a lo largo del proyecto, su duración, sus fechas programadas de inicio a fin y la fecha más tardía en la que puede empezarse y concluirse cada una de las acciones en él planteadas.
2. **Recolección de datos.**
 - a. **Lista de productos PBAGS.** Se elaboró una lista de los productos que se realizan en la unidad de negocios NS, lo cual se hizo con la ayuda del programa PASSPORT (software para consulta de demanda y lista de materiales). Posteriormente se seleccionaron únicamente los pertenecientes a PBAGS, quedando 426 productos. En la tabla II se muestra un ejemplo de los resultados.

TABLA II. Lista de producto unidad de negocios NS

Número de parte de un producto terminado		
034412923RE	144427771EB	135RE640OB3
036412923RT	01640830BTE	00040734CVI
130412923DI	003416460GY	03340735RYG
136412923DT	01040830BIE	02640830BTY
00341296MMG	122RE640WW2	044412922BE
000476520QP	0104165800I	04140735RWE
148RE640NS4	0158038100W	145RE640OB4
56241084BWF	11541290SMT	51241644OOW
008D42CL10W	020412912CI	125RE640OB2
003AEPHK0WH	0024164900W	02140682000
0024164100W	0124065900T	07040734SVT

- b. **Búsqueda de demanda anual por producto terminado.** Con la ayuda de PASSPORT se buscó la demanda anual por producto terminado, para poder determinar los productos que más demandados y así poder realizar un diagrama de Pareto con esta información.
- c. **Diagrama de Pareto de productos PBAGS.** Se elaboró un diagrama de Pareto para poder encontrar los artículos con más demanda en NS. La siguiente gráfica muestra los 33 elementos que representan el 80% de la demanda anual.

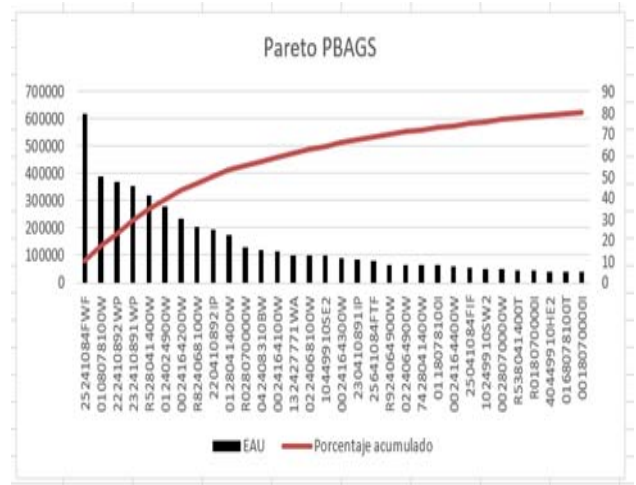


Fig. 1. Diagrama de Pareto de la demanda de los productos

Los artículos mostrados en la figura 1 son en los cuales se enfoca el estudio y se proponen mejoras, esperando que funcionen para toda el área

- d. **Diagnóstico actual.**
- e. **Mapeo de la cadena de valor.** Con el diagrama de Pareto se pudo observar que el producto que más corre pertenece al CAT 41089, se realizó el mapeo de la cadena de valor. Para conocer y describir el proceso de una manera más visual e identificar oportunidades de mejora, es decir, detectar las fallas y demoras en el lapso de la planeación hasta la entrega.

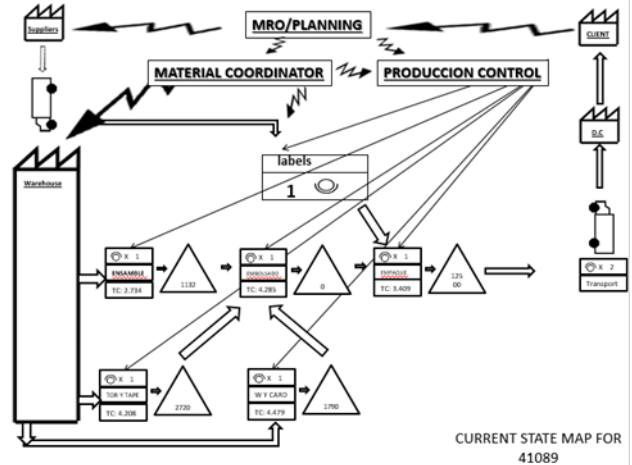


Fig. 2. VSM del proceso actual

El proceso inicia cuando el cliente pide el producto y se realiza el plan de producción. Se informa al coordinador de materiales para que dé la orden a almacén de liberar las piezas y a etiquetas de que las realice, así como a control de producción para que haga lo correspondiente con cada área.

Almacén entrega los kits de materiales a cada línea de producción y al área de subensambles 1, 2 y 3.

El subensamble 1 tiene una espera de 2720 bolsitas y el 2 tiene 1790 piezas en espera, después van directamente al embolsado en línea de producción.

Del ensamble al embolsado, existe una demora de 1132 piezas para lo cual se deja un contenedor entre ambas estaciones. Entre el embolsado y el empaque no existe demora de piezas. De empaque a transporte hay una demora de 12500 piezas, es decir 500 cajas del producto, ya que el standard pack es de 25. Cada estación tiene un operador. Después el chofer lleva las piezas al centro de distribución y éste a su vez, al cliente final, posteriormente regresa al principio, por lo que es un ciclo.

Toma de tiempos de productos PBAGS. Se realizó la toma de tiempos a los artículos seleccionados en el diagrama de Pareto, destacando el 23241089, ya que es el producto en el cual se basarán las propuestas de mejora. La línea está conformada por tres estaciones, ensamble, embolsado y empaque, tiene dos operadores, uno ensamblando y empackando, y el otro embolsando. Se tomaron 10 tiempos por operación y durante este intervalo se observó el proceso, percatándose así de que el operador en ensamble duraba menos tiempo que el otro trabajador embolsado, por lo que a éste último se le acumulaban piezas. Por otro lado, el empackador es más rápido que el embolsador, así que éste tendrá tiempo de ocio.



Fig. 3. Línea de producción

3. Acción

i. Balanceo de líneas. Después de tomar los tiempos se realizaron los balanceos de líneas correspondientes para ver si la distribución actual es la más adecuada.

POS	DESCRIPCION	TIEMPO PROMEDIO			Numero de operadores		
		SUMA TOTAL SEG + 17.62	HRS/MIL	STD	1	2	3
SUBENSAMBLE	Tornillos y tapes	4.95	1.375	727			
SUBENSAMBLE	Ventana y card	5.40	1.439	667			
ENSAMBLE	Unir base a cover	3.22	0.893	1120		7.2	3.2
EMBOLSADO	bolsar ensamble y complemer	4.73	1.314	761.120	12.0	4.7	4.73
EMPAQUE	Empaque Paletizar	4.01	1.113	898			4.01

Fig. 4. Balanceo de líneas para 1, 2 y 3 operadores

En la imagen anterior se puede ver el balanceo con 1, 2 y 3 operadores. Como se puede notar, la forma en que queda más equilibrado el tiempo es con tres operadores (que es como se encuentra actualmente la línea), obteniendo 3.22 segundos en ensamble, 4.73 segundos en embolsado y 4.01 segundos en empaque.

La operación cuello de botella es el embolsado, por lo que sería la primera estación en la que se debería trabajar, sin embargo, lo ideal sería reducir el tiempo de cada operación para mejorar el balanceo, disminuir el tiempo de ciclo y con ello mejorar el proceso.

ii. Capacidad de la línea. Para poder dar un diagnóstico de la situación actual en la línea de manufactura es necesario obtener los indicadores de la misma.

Para el cálculo del takt time se utilizó la ecuación (1).

$$Takt\ time = \frac{Tiempo\ disponible}{Demanda\ del\ cliente} \quad (1)$$

Para el cálculo de los operadores se utilizó la ecuación (2).

$$Mano\ de\ obra = \frac{TWC}{Takt\ time} \quad (2)$$

Para el calculo de las horas a utilizar se utilizó la ecuación (3).

$$Horas\ a\ utilizar = TWC \times EAU\ anual \quad (3)$$

Para el caluclo de la eficiencia se utilizo la ecuación (4)

$$Eficiencia\ de\ línea = \frac{Horas\ a\ utilizar}{Horas\ disponibles} \quad (4)$$

Los resultado de los indicadores actuales se presentan en la tabla VI.

iii. Layout área NS. El área de NS está comprendida por:

7 líneas de manufactura, de las cuales 4 pertenecen a PBAGS (tres con embolsadora semiautomática y una a PACKS, otra a clamshell, la última es compartida.

Incluye 2 áreas de sub ensambles, una donde hay tres embolsadoras para hacer los kits que vienen con el producto y la otra donde se hace el inserto ultrasónico que llevan algunas piezas y el corte de tapes.

A su vez tiene una sección donde se guardan los kits que están listos para utilizarse. Tiene otra ubicación donde está el material Kanban.

El lay out actual es el siguiente:

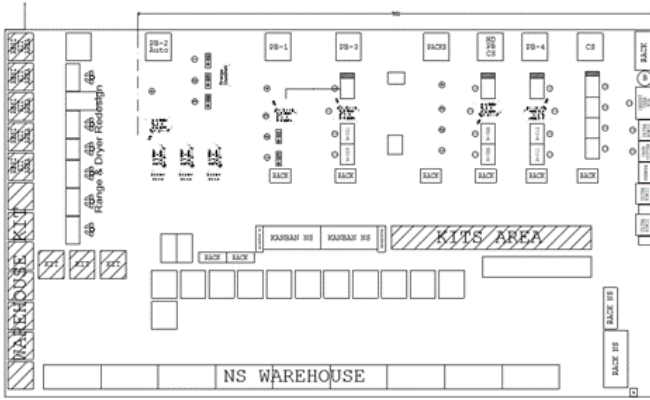


Fig. 8. Layout de area

Se tiene planeado colocar otra línea a lado de NS que pertenecerá a otra unidad de negocios. La mejora propuesta incluirá este espacio.

V. RESULTADOS

a. Actualización de métodos de trabajo.

En orden de cumplir con los lineamientos de la planta y buscando facilitar al operador el entendimiento de su trabajo, se actualizaron y corrigieron los métodos de trabajo.

b. Lay out propuesto.

Después de tomar medidas de la unidad de negocios, se llegó al siguiente plan con la ayuda del programa Draftsight.

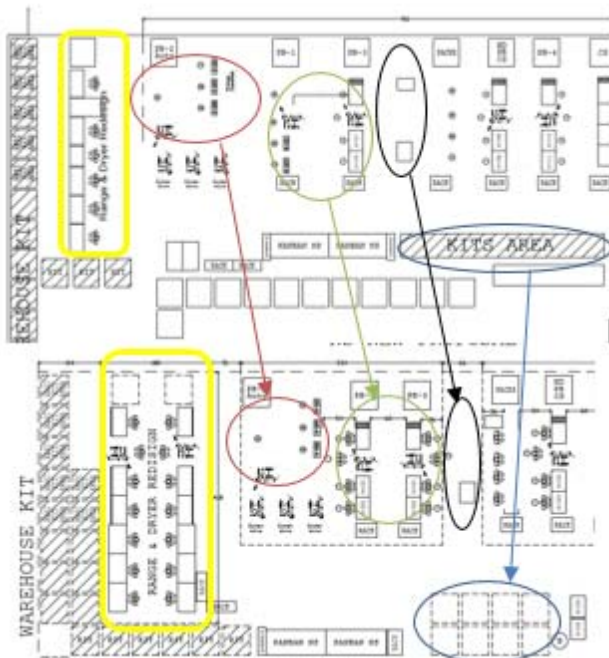


Fig. 9 Comparación del lay out actual vs el propuesto.

Como se puede ver, se disminuyó el área de 901 ft a 798 ft con los siguientes cambios:

- Se disminuyó el espacio por el cual pasa el montacargas.
- La línea 3 de PBAGS se volteó para poder disminuir el espacio entre ella y la línea 1.
- El área de kits se modificó, actualmente se encuentran 8 espacios uno al lado del otro, pero se propone poner 4 enfrente y 4 atrás.
- El espacio de la línea con embolsadora automática se redujo.

En la figura se resalta en amarillo que en el espacio liberado se instalará la nueva línea de producción necesaria.

c. Propuestas para mejora de la línea.

Con la información recabada se planearon las siguientes mejoras:

- Colocar un riel de Delrin® para volver el proceso FIFO, dando un mayor orden al área y disminuyendo el acumulamiento de piezas en una caja como sucede actualmente.



Figura 10. Piezas en espera de embolsarse

- Sistema de cortina en embolsadoras, para que dicha actividad sea más rápida y existan menos tiempos muertos para el empaque, además de incrementar la seguridad del operador, ya que no tendrá que

utilizar el pie para presionar el pedal que sella las bolsas.

- Báscula para que se reduzca el tiempo de contar el producto para empacarlo, de esta manera la máquina lo hará por sí sola y reducirá el error humano.

d. Pruebas de maquinaria

Se realizaron las pruebas con unas máquinas existentes en otra unidad de negocios para poder calcular los tiempos y determinar si era redituable la instalación de las mismas. La tabla III muestra los resultados obtenidos y la diferencia de tiempos con la utilización de la maquinaria y el proceso actual.

TABLA III. Comparación de tiempos de proceso

Descripción	Tiempo actual	Tiempo propuesto	Diferencia
Embolsar ensamble y complementos	4.73 seg	3.87 seg	0.86 seg
Tornillos y tape	4.95 seg	3.91 seg	1.04 seg
Ventana y card	5.40 seg	3.22 seg	2.18 seg
TOTAL			4.08 seg

Como se puede ver, en total se tendrá una disminución de 4.08 seg en el proceso, transformado a la demanda anual significa un ahorro considerable para la compañía. También se propuso la compra de un riel para evitar el acumulamiento y que el proceso se volviera FIFO (first in, first out), es decir, las primeras piezas que se ensamblan son las primeras en embolsarse. Sin embargo, para que esto tenga éxito se tiene que balancear mejor las operaciones, es por ello que la compra del sistema de cortina se vuelve más importante.

La comparación de los tiempos actuales y los propuestos se muestra en la tabla IV.

TABLA IV. Comparación de tiempos en las operaciones actuales con el sistema de cortina

Descripción	Tiempo actual	Tiempo propuesto
Unir base a cover	3.22 seg	3.22 seg
Embolsar ensamble y complementos	4.73 seg	3.87 seg
Empacar y paletizar	4.01 seg	4.01 seg

Por otro lado, respecto a las actividades innecesarias, se pudo observar que para poder cumplir con el standard pack, es necesario que el operador cuente las piezas y las acomode de cierta forma de tal manera que pueda visualizar si realizó mal el conteo y le hace falta alguna.

Para ello se propuso utilizar una báscula en la operación de empaque que contara las piezas que el operador haya metido en la caja y que, en lugar de acomodarlas, sólo las introdujera al empaque ya que no sería necesario ponerlas en

cierta posición porque con el uso de la máquina se eliminaría el error humano al momento de contar.

Se tomaron los tiempos con la utilización de la báscula en la tabla V se muestran estos datos.

TABLA V. Comparación de tiempos en las operaciones actuales y con la implementación de las básculas.

Descripción	Tiempo actual	Tiempo propuesto
Unir base a cover	3.22	3.22
Embolsar ensamble y complementos	4.73	3.87
Empacar y paletizar	4.01	3.11

La tabla anterior muestra que los tiempos ahora son más similares y por lo tanto existe un menor tiempo de ocio por parte del operador y menos demora para las piezas.

e. Indicadores de las propuestas.

Utilizando las ecuaciones, (1), (2), (3) y (4) se calcularon los indicadores del proceso con los cambios propuestos en la tabla IV se muestran estos datos para los 3 casos.

TABLA VI. Comparación de indicadores del proceso actual y propuesto.

	Actual	Con cortina	Con cortina y báscula
Eficiencia	93.48%	80.33%	98.41%
Operadores	3	3	3
Tiempo de ciclo	6.28 seg	4.01 seg	3.87 seg
Piezas por hora	573	898	929

f. Mapeo de la cadena de valor propuesta.

Para representar los cambios que se proponen, se presenta el mapeo de la cadena de valor futuro, en el cual se pueden visualizar el anexo el riel, la báscula y las cortinas para las embolsadoras.

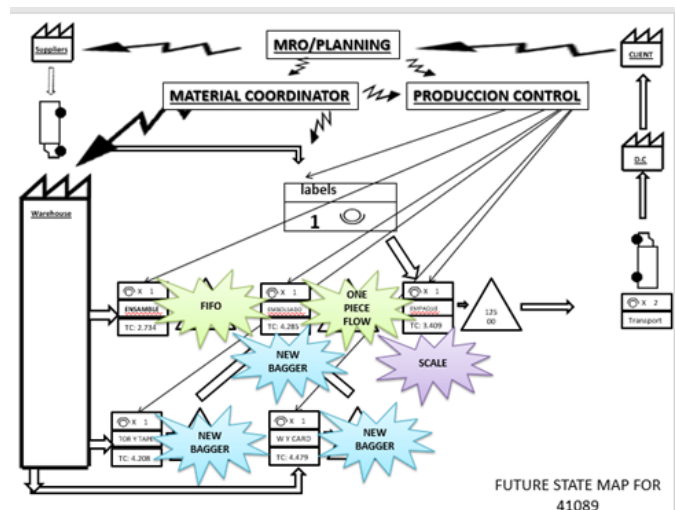


Figura 11. Mapeo de valor del proceso propuesto.

El riel, hará que el sistema se vuelva FIFO, lo que no permitirá que se acumulen piezas entre estaciones, por lo que no habrá demoras para el producto en la línea. Las embolsadoras volverán el proceso más rápido en subensables, ya que el operador no tendrá que estar pisando el pedal. La báscula volverá la operación de empaque más rápida ya que el operador no necesitará contar las piezas.

g. Ahorros obtenidos.

Con toda la información anterior, se realizaron los cálculos pertinentes para obtener las ganancias anuales, ya que la idea es que, después de haberse visto los resultados que trae aplicar estos cambios en un modelo, los utilicen en todos los productos similares que se fabrican en la unidad de negocio NS.

En la tabla VII se muestran los ahorros que se pueden obtener debido a las propuestas realizadas en este análisis.

TABLA VII. Ahorros con las propuestas.

Descripción	Costo actual (DlIs)	Costo propuesto (DlIs)	Ahorro (DlIs)
Embolsado de pieza y kits	\$9,229.07	\$5,685.53	\$3,543.54
Tape y tornillos	\$7,986.88	\$6,672.80	\$1,314.08
Ventana y card	\$7,024.79	\$4,014.88	\$3,009.91
TOTAL			\$7,867.53

VI. CONCLUSIONES

Hoy en día las empresas buscan ser competitivas en el mercado global, para ello hacen uso de estrategias como la manufactura esbelta para lograr producir productos y/o servicios a bajo costo y de alta calidad. Las herramientas de manufactura esbelta son ampliamente utilizadas en las empresas manufactureras para mejorar la eficiencia y productividad de los procesos.

En este caso de estudio se muestran algunos ejemplos de mejoras incrementales que pueden impactar la eficiencia de un sistema de producción. Mediante un análisis del flujo de valor en el proceso de manufactura fue posible detectar aquellos procesos que generaban la mayor cantidad de desperdicios.

El análisis de este estudio se enfocó en dichos procesos, con la utilización de estudios tiempos, balanceo de líneas, estandarización, se lograron proponer mejoras que resultaban viables y tenían un impacto significativo en los tiempos y costo del proceso.

REFERENCIAS

[1] W. Hadid and S. Afshin Mansouri, “The lean-performance relationship in services: a theoretical model,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 34, no. 6, pp. 750–785, 2014.

[2] J. Gregorio, A. Posada, V. Eugenia, B. Herrera, M. Jimena, and R. Martínez, “Benchmarking sobre Manufactura Esbelta (lean manufacturing) en el sector de la confección en la ciudad de Medellín , Colombia Benchmarking about Lean Manufacturing in the Textile Sector in Medellín.”

[3] R. Sundar, A. N. Balaji, and R. M. Satheesh Kumar, “A review on lean manufacturing implementation techniques,” *Procedia Eng.*, vol. 97, pp. 1875–1885, 2014.

[4] J. Bhamu, K. S. Sangwan, and K. Singh Sangwan, “Lean manufacturing: literature review and research issues,” *Int. J. Oper. Prod. Manag.*, vol. 34, no. 7, pp. 876–940, 2014.

[5] J. P. Womack and D. Jones, *Lean thinking: Banish waste and create wealth in your organisation*. New York: Simon and shuster, 1996.

[6] R. Singh, “Lean manufacturing: changing paradigms in product manufacturing, design & supply.,” in *The Third Conference on Quality Management.*, 1998.

[7] J. Liker and Y. J. Wu, “Japanese Automakers , U . S . Suppliers and Supply-Chain Superiority,” *Sloan Manage. Rev.*, vol. 42, no. 1, pp. 81–93, 2000.

[8] G. Anand and R. Kodali, “Development of a framework for lean manufacturing systems,” *Int. J. Serv. Oper. Manag.*, vol. 5, no. 5, pp. 687–716, 2009.

Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de controles en un laboratorio de Electromecánica del ITE

Sergio Peña-Miranda
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada.
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. México

Margarita Cervantes-Trujano
Departamento de Ingeniería
Eléctrico Electrónica- Instituto
Tecnológico de Ensenada.
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. México
mctrujano@ite.edu.mx

Elizabeth Romero-Samaniego
Departamento de Ingeniería
Industrial- Instituto Tecnológico
de Ensenada.
Tecnológico Nacional de México.
Ensenada, B.C. México
eromero@ite.edu.mx

Arely Murillo-Silva
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada.
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. México C.

Virginia Alcántara-Méndez
Departamento de Ciencias del
Mar-Instituto Tecnológico de
Boca del Río. Tecnológico.
Nacional de México Boca del
Río, Veracruz B.C. México

Resumen— En el laboratorio de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico de Ensenada se realizan prácticas educativas con equipos que representan un riesgo que debe ser evaluado de acuerdo a la norma voluntaria OHSAS 18000. El procedimiento para la Gestión de la Seguridad y Salud, para la identificación de peligros y la evaluación de riesgos en los laboratorios se llevó a cabo de acuerdo al método FINE para determinar el nivel estimado de riesgo potencial, en congruencia con el programa de Seguridad e higiene del ITE Ensenada y de acuerdo al Departamento de Protección Civil del Gobierno Estatal de Baja California. En el Laboratorio de Ingeniería electromecánica se identificaron 16 peligros, 10 con clasificación de riesgo prioridad uno; dos con clasificación de riesgo prioridad dos y cuatro con clasificación de riesgo prioridad tres que requiere corrección inmediata. Se propusieron controles, así como la señalización de equipos.

Palabras claves— OSHA 18000, Peligros, Riesgos Electromecánica.

Abstract— The laboratory of Electromechanical Engineering of the Technological Institute of Ensenada is realized educational practices with equipment that represent a risk that must be evaluated according to the voluntary norm OHSAS 18000. The procedure for the Management of the Safety and Health, for the identification of dangers and the risk assessment in the laboratories was carried out according to the FINE method to determine the estimated level of potential risk, in congruence with the Health and Safety program of the Ensenada IT and according to the Civil Protection Department of the State Government of Baja California. In the Electromechanical Engineering Laboratory, 16 hazards were identified, 10 were classified as risk 1; two with risk classification priority 2 and four with risk classification priority 3 that require immediate correction. Controls were proposed as well as equipment signaling.

Keywords— OSHA 18000, Hazards, Risks, Control

I. INTRODUCCIÓN

La identificación de peligros y la evaluación de riesgos para determinar e implementar los controles para disminuirlos en los centros de trabajo, es una herramienta que se ha venido

desarrollando en el marco del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el trabajo como parte de la normativa de seguridad en las empresas e instituciones. Con el propósito de evitar accidentes en el trabajo, implementando una serie de controles básicos en los recursos humanos y el área de trabajo. Generalmente, el peligro y los riesgos en el trabajo, son el resultado de condiciones y manejo inadecuado, aunque todas las actividades que el ser humano realiza, representan un riesgo de accidente, por lo cual es importante la prevención [1]. En México, se ha adoptado la norma OHSAS 18001:2007 (*Occupational, Health and Safety Administration System*) como una norma de cumplimiento voluntario y compatible con las Normas 9001:2000 y 14001:2004, la cual se relaciona con la norma NMX-SAST-001-IMNC-2008. Dichas normas describen los requisitos para determinar las acciones pertinentes en la implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SGSST) [2, 3 y 4].

El Instituto Tecnológico de Ensenada (ITE Ensenada), es una Institución de Educación Superior del Tecnológico Nacional de México y en el marco de su política de calidad, está comprometida con la seguridad de su personal y de la comunidad estudiantil. Además del interés y compromiso de la Institución con el alumnado, el profesorado y comunidad académica en general que labora y visita la institución. También tiene el objetivo de ser reconocida como “empresa segura” ante la STPS Estatal, y dar cumplimiento a la normatividad en seguridad y salud en el trabajo en el marco del Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo (PASST) para la prevención de riesgos laborales. Para impulsar la mejora continua en la prevención de los accidentes y enfermedades de trabajo, mediante la autogestión en el cumplimiento de la normatividad. Por tal motivo se constituyó la Comisión de Seguridad y Salud, la cual se encarga de integrar y proponer los esquemas que garanticen el bienestar de

la población académica de acuerdo a la normatividad vigente y obtener el reconocimiento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), quien es la autoridad competente que certifica el cumplimiento de la misma [5,6,7].

En su oferta educativa, el ITEnsenada tiene programas en el área de las ingenierías en Electrónica, Mecatrónica, Electromecánica, Industrial, Sistemas Computacionales, Gestión empresarial y un programa en el área de las Ciencias Económico-Administrativas. Cada programa cuenta con laboratorios para realizar prácticas didácticas, en donde existen peligros y riesgos tanto para los alumnos y los docentes en donde se pudieran generar riesgos de accidente. Por ello, como parte de las acciones pertinentes para implementar el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en el ITEnsenada, el presente trabajo se enfocó a Identificar los peligros, evaluar los riesgos y determinar controles en el Laboratorio de Ingeniería Electromecánica.

II. METODOLOGIA

Para generar la información referente al laboratorio de Ingeniería electromecánica se realizaron visitas en donde se llenó una ficha con la siguiente información:

Descripción del área. Actividades que se realizan durante las prácticas. Material y/o equipo que se utiliza en las prácticas.

El procedimiento para la Gestión de la Seguridad y Salud, y para identificar los peligros y evaluar los riesgos en el laboratorio, se realizó mediante el método FINE (el cual permite determinar el nivel estimado de riesgo potencial), en congruencia con el programa de Seguridad e Higiene del IT Ensenada y de acuerdo al Departamento de Protección Civil del Gobierno Estatal [8, 9 y 10].

De acuerdo con el método FINE se aplicó una lista de verificación de los factores de riesgo, Posteriormente se asignó un valor de las consecuencias (C) considerando los daños personales y materiales; posteriormente se asigna un valor de acuerdo a la interacción con la exposición (E) considerando la frecuencia y el número de veces en las que se está cerca el peligro (P); posteriormente se valorar la probabilidad, cual se clasificó de acuerdo a la situación de peligro y la secuencia completa del accidente. Con esta información se determinó el Grado de Peligrosidad (GP) con base en la siguiente formula $GP=C \times E \times P$

Una vez obtenido el GP para cada riesgo identificado, se clasifico por prioridad y por color según el caso, se proponen las medidas de actuación a implementar. Posteriormente se determinaron los controles o cambios recomendados para la reducción de riesgos de acuerdo a los siguientes criterios:

a) Eliminación o reducción del riesgo es una medida que se toma para hacer desaparecer el peligro por medio de prevención en el origen, ya sean organizativas, de protección colectiva, de protección individual, de formación o información a los trabajadores.

b) Sustitución es la medida que se toma con el fin de remplazar un peligro por otro que no genere riesgo o que genere menos riesgo.

c) Controles de ingeniería son medidas técnicas para el control de peligros y riesgos en su origen abordando directamente el riesgo y no dependen de las acciones de los empleados para ser eficaces.

d) controles de señalización/advertencia son la demarcación de zonas de riesgo, implementación de sistemas de alarma, diseño e implementación de procedimientos y trabajos seguros, controles de acceso al área de riesgo, permisos de trabajo entre otros y los controles administrativos son medidas que tienen como fin reducir el tiempo de exposición al peligro, tales como la rotación de personal, cambios en la duración o tipo de la jornada de trabajo.

e) Equipo de protección personal son medidas basadas en el uso de dispositivos, accesorios y vestimenta por parte de los trabajadores con el fin de protegerlos contra posibles daños a su salud o su integración física derivados de la exposición a los peligros en el lugar de trabajo.

III. RESULTADOS

El laboratorio de Electromecánica, se localiza en la planta baja del edificio y consta de un área de 300 m². Se realizan actividades como aula para tomar clases, y prácticas, en las cuales los alumnos utilizan material, herramienta y maquinaria necesaria para cada una de estas, las prácticas que se realizan son de torno, fresado y pruebas eléctricas entre otras. El Material/equipo que se utiliza son cables de cobre, metales como aceros, soldaduras (electrodos); la mayoría tiene relación con circuitos eléctricos, y capacitadores.

El laboratorio cuenta con dos máquinas de torno y dos fresadoras, así como tres equipos de soldadura, dos compresores didáctico y de alimentación para equipo neumático, también se tienen cuatro equipos didácticos con uso de alta tensión (conductores de corriente de 220V, 380 V o 440 V).

Se desarrolló la tabla de verificación para identificar los peligros potenciales en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica. Se consideraron los valores de la Consecuencia, la Exposición y la Probabilidad, para establecer el GP y determinar la prioridad de acuerdo al valor obtenido.

Una vez que se determino el GP se estableció la prioridad asignándole los colores verde, amarillo y rojo. Se identificaron 16 peligros (tabla 1), de los cuales diez tienen clasificación de riesgo prioridad 1 con valores $40 < GP < 85$ (Posiblemente aceptable en la situación actual) y $85 < GP < 200$ (Precisa atención), que indican una situación aceptable del riesgo actual.

Dos peligros, el 4 y 15 tienen clasificación de riesgo prioridad 2, y se ubica entre los valores de $200 < GP < 250$ (El riesgo debe ser eliminado sin demora, pero la situación no es una emergencia) y $250 < GP < 400$ (Requiere corrección

inmediata), e indican alerta de riesgo. Cuatro peligros, el 2, 3, 8 y 9 tienen clasificación de riesgo prioridad 1 y se ubican en el valor GP>400 (Se requiere corrección inmediata. La actividad debe ser detenida hasta que el riesgo se haya disminuido), e indica una probabilidad alta de riesgo.

Tabla I. Grado de peligrosidad en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica

PELIGRO	GRADO DE PELIGROSIDAD
1. Resbalón, tropezón y caída al mismo nivel (altura menor a 1.80 m)	6
2. Contacto con superficies calientes	450
3. Contacto con electricidad o descarga eléctrica	750
4. Contacto con objetos punzocortantes	300
5. Golpeado con objeto o herramienta	15
6. Golpeado contra objetos o equipos	1.25
7. Choque contra objetos o estructura fija	1.25
8. Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento	600
9. Incendio	500
10. Golpes, machucones, pellizcos, punciones, abrasiones, etc. causados por maquinaria o herramienta	45
11. Exposición a polvo	0.75
12. Exposición a gases o vapores	75
13. Exposición a materiales tóxicos	1.5
14. Exposición a ruido	7.5
15. Sobre esfuerzo al levantar cargar o mover	270
16. Infección o enfermedad	0.5

El peligro “contacto con superficies” calientes señala clasificación de riesgo prioridad 1 y como medida de actuación, se requiere corrección inmediata y la actividad debe ser detenida hasta que haya pasado el peligro; en el rubro “contacto con electricidad” o descarga eléctrica el nivel es igual al anterior punto, clasificación de riesgo prioridad 1 y como medida de actuación, se requiere corrección inmediata y la actividad debe ser detenida hasta que haya pasado el peligro; en el peligro de “Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento” así como el de “Incendio” ambos con clasificación de prioridad 1 y como medida de actuación se requiere corrección inmediata y la actividad debe ser detenida hasta que haya pasado el peligro.

En el caso de “contacto con objetos punzocortantes” tiene una clasificación de riesgo prioridad 2 y como medida de actuación requiere corrección inmediata; para el peligro “sobre esfuerzo al levantar cargar o mover” el resultado marca clasificación de riesgo prioridad 2 y como medida de actuación el riesgo debe ser eliminado sin demora, pero la situación no es una emergencia.

Una vez identificados los peligros y evaluados los riesgos potenciales dentro del laboratorio, se estableció la propuesta de los controles necesarios para la eliminación o minimización de dichos peligros mismos que se presentaron como propuesta ante la dirección del ITEnsenada a través del comité responsable.

Para el peligro denominado “Contacto con superficies calientes” la propuesta de control señala uso de EPP donde se empleen guantes de acuerdo a la actividad, ropa adecuada para la exposición a este peligro, lentes, evitar prendas como anillos, pulseras y cabello suelto. La señalización de equipos que tienen superficies calientes y áreas donde las hay también es una indicación de propuesta de control.

Para el peligro “Contacto con electricidad o descarga eléctrica” se recomienda el uso de EPP. La propuesta de control es la señalización de voltios en cada toma, dado el empleo de diferentes voltajes para cada máquina, información visual en centro de carga para cada contacto, proteger toma de corriente con tapas, evitar cables sueltos (pelados), Evitar extensiones atravesadas.

Para el peligro “Contacto con objetos punzocortantes” se recomienda el uso de EPP. Para el peligro “Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento” se recomienda evitar el uso de anillos, pulseras y cabello suelto. Para el peligro “Incendio” la propuesta de control es la señalización de peligro, destinar área para tanques, señalar productos peligrosos, advertir que tipo de producto contienen los tanques y la ayuda visual que indique que hacer en caso de incendio, así como adiestrar a usuarios en el uso de extinguidores. Para el peligro “sobre esfuerzo al levantar cargar o mover” la propuesta de control es señalar la carga mínima, el uso de faja y ayuda visual de como levantar cargas.

IV. CONCLUSIONES

Se identificaron 16 peligros, de los cuales 10 tienen clasificación de riesgo prioridad 1 (color verde); dos tienen clasificación de riesgo prioridad 2 (color amarillo) y cuatro clasificación de riesgo prioridad 1 (color rojo) por lo que la actividad requiere corrección inmediata y debe ser detenida hasta que el riesgo se haya disminuido.

Se propusieron controles como el uso de EPP como guantes de acuerdo a la actividad, ropa adecuada para la exposición a este peligro, lentes, evitar prendas como anillos, pulseras y cabello suelto. Así como señalización para los equipos que tienen superficies calientes y áreas donde las hay también es una indicación de propuesta de control.

En general el laboratorio cuenta con un buen nivel de seguridad para desarrollar las prácticas de los estudiantes en las diferentes asignaturas. Ya que se identificaron dos riesgos amarillos y uno rojo, aunque de manera general la institución ha gestionado la implementación de los controles para su eliminación.

V. REFERENCIAS

- [1] Adolfo, R. L. (1988). Seguridad e higiene en el trabajo. España: Publicaciones digitales S.A.
- [2] Díaz, J. M. (2007). Seguridad e higiene del trabajo. Madrid: Tebar, S.L.
- [3] Rubio Romero Juan Carlos. (2004). Métodos e evaluación de riesgos laborales. Madrid, España: Ediciones Díaz Santos S.A.
- [4] Sibaja, R. C. (1995). salud y seguridad en el trabajo. EUNED, Universidad Estatal a Distancia.
- [5] Bermúdez L.. (2015). *Sistema de Gestión de Seguridad en el Trabajo*. Febrero 20, 2017, de ENCON S.A. Sitio web: <https://image.slidesharecdn.com/esquemaseguridadysaludeneltrabajo-150810212418-lva1-app6891/95/esquema-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-4-638.jpg?cb=1439241899>
- [6] Legislatura LXIII. (2017). *Leyes Federales Vigentes*. Febrero 20, 2017, de LXIII Legislatura Sitio web: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/gobiernos.htm>
- [7] Pérez Damaise R. (2014). *Procedimiento para la Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo*. Febrero 20, 2017, de Universidad de Cienfuegos Sitio web: http://www.monografias.com/trabajos26/gestion-seguridad/gestion_seguridad2.shtml
- [8] Romero Guzmán K. (2013). *Seguridad laboral, análisis de un puesto*. 19 Febrero 2017, de Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: http://seguridadlaboral96950610.blogspot.mx/2013_04_01_archive.html
- [9] Santos, E. (2012). *Marco legal de la Seguridad e Higiene en México*. Febrero 17, 2017, de Blog Seguridad e Higiene Sitio web: <http://elena-santos.blogspot.mx/2012/05/marco-legal-de-la-seguridad-e-higiene.html>
- [10] STPS. (2007). *Sistema Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Febrero 20, 2017, de Secretaria del Trabajo y Previsión Social Sitio web: <http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2007/bol015/vinculos/Sistema%20Nacional%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf>

Identificación de peligro, evaluación de riesgo y determinación de controles en el laboratorio de Ingeniería Industrial del ITE.

Luz I. López-Hermosillo
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico

Margarita Cervantes-Trujano
Departamento de Ingeniería
Eléctrica-Electrónica- Instituto
Tecnológico de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico
mctrujano@ite.edu.mx

Elizabeth Romero-Samaniego
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Instituto
Tecnológico de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico

Alma I. Beltrán-López
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico C.

Ana G. Torres-Pineda
Despacho Jurídico y Consultoría
Integral.
Ensenada, B.C. México.

Resumen— La norma OHSAS 18001:2007 (Occupational, Health and Safety Administration System) es una norma de cumplimiento voluntario, la cual se relaciona con la norma NMX-SAST-001-IMNC-2008. En ambas normas se describen los requisitos de la implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo. El Instituto Tecnológico de Ensenada (ITEnsenada), del Tecnológico Nacional de México, en el marco de su política de calidad está comprometida con la seguridad de su personal y de la comunidad estudiantil, mediante el cumplimiento a la normatividad en seguridad y salud en el trabajo, en el marco del Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo (PASST) para la prevención de riesgos laborales. Mediante el método FINE se llevo a cabo la identificación de peligros y evaluación de riesgos en el laboratorio de Ingeniería Industrial. Se identificaron 18 peligros de los cuales 17 fueron prioridad 3 y uno de prioridad 2. Posteriormente se realizó la propuesta de control para la eliminación de los peligros identificados.

Palabras claves— OSHA 18000, Peligros, Riesgos.

Abstract— The Occupational Health and Safety Administration System (OHSAS 18001:2007) as a voluntary compliance standard, relates to the NMX-SAST-001-IMNC-2008 standard. The rules describe the requirements for the implementation of a system of management of occupational health and safety. The Instituto Tecnológico de Ensenada (ITEnsenada) – Tecnológico Nacional de México, within the framework of its quality policy, is committed to the safety of its staff and the student community, according with the safety and health regulations in the work within the Occupational Safety and Health Self-Management Program (PASST) for the prevention of occupational hazards. FINE method carried out the hazard identification and risk assessment in the Industrial Engineering laboratory. 18 hazards were identified; of which 17 were priority 3 and one of priority 2. The proposal for control was then made for the elimination of identified hazards. According to the results, the industrial engineering laboratory is safely enabled for the development of practices.

Keywords— OSHA 18000, Hazards, Risks, Control

I. INTRODUCCIÓN

En México, se ha adoptado la norma OHSAS 18001:2007 (Occupational, Health and Safety Administration System) como una norma de cumplimiento voluntario y compatible con las Normas 9001:2000 y 14001:2004, la cual se relaciona con la norma NMX-SAST-001-IMNC-2008. Dichas normas describen los requisitos para determinar las acciones pertinentes en la implementación de un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo (SGSST) [1, 2, 3 y 4].

El Instituto Tecnológico de Ensenada (ITEnsenada), es Institución de Educación Superior del Tecnológico Nacional de México y en el marco de su política de calidad, está comprometida con la seguridad de su personal y de la comunidad estudiantil. Tiene el objetivo de ser reconocida como “empresa segura” ante la STPS Estatal, y dar cumplimiento a la normatividad en seguridad y salud en el trabajo en el marco del Programa de Autogestión en Seguridad y Salud en el Trabajo (PASST) para la prevención de riesgos laborales. Para impulsar la mejora continúa en la prevención de los accidentes y enfermedades de trabajo, mediante la autogestión en el cumplimiento de la normatividad. Por tal motivo se constituyó la Comisión de Seguridad y Salud, la cual se encarga de integrar y proponer los esquemas que garanticen el bienestar de la población académica de acuerdo a la normatividad vigente y obtener el reconocimiento de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS), quien es la autoridad competente que certifica el cumplimiento de la misma [5, 6, 7, 8].

En la norma ISO 14001:2008, es requisito establecer estrategias de respuesta ante emergencias, este cumplimiento legal ante la Secretaría de Gobernación (SEGOB) en materia de protección civil requiere la creación de un Programa Interno de Protección Civil (PIPC) para prevenir los riesgos naturales y humanos dentro de las instalaciones, poder

fomentar la autoprotección del personal, la conservación de las instalaciones y el medio ambiente donde se solicita la realización de simulacros y la formación de brigadas.

Además se puede tramitar ante la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) Estatal un reconocimiento como “empresa segura” que cumplir con los requisitos de seguridad e higiene para obtener el reconocimiento del centro de trabajo. Las áreas que conforman el PIPC son todas las que integra la institución donde el personal contribuye a dicho programa al poder identificar el equipo de seguridad, participando en simulacros y brigadas, actualmente se cuenta con brigadas contra incendios, de primeros auxilios, búsqueda y rescate, así como de comunicación.

También se requiere de una unidad interna de protección civil que se apoye en el PIPC el cual incluye un plan de respuesta a emergencia ante cualquier situación realizando un diagnóstico de riesgos potenciales cada trimestre, así como simulacros a través de la comisión de seguridad e higiene, la cual es responsable de dar seguimiento a procedimientos y planes de emergencia a simulacros o siniestros en la Institución y de llevar a cabo la aplicación de reglamentos de seguridad e higiene y medio ambiente, debe de contar con registros de los riesgos ambientales y situaciones de emergencia, de programa anual de simulacros, reporte de evaluación de emergencia, y registro ante el ISSSTE de la integración de la Comisión Mixta de Seguridad e Higiene. Como parte de las acciones pertinentes para implementar el sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo en el ITEnsenada, el presente trabajo se enfocó a Identificar los peligros, evaluar los riesgos y determinar controles en el Laboratorio de Ingeniería.

II. METODOLOGÍA

Para generar la información referente al laboratorio de Ingeniería industrial se realizaron visitas en donde se llenó una ficha con la siguiente información:

Descripción del área. Actividades que se realizan durante las prácticas. Material y/o equipo que se utiliza en las prácticas.

Método Fine

El procedimiento para la Gestión de la Seguridad y Salud, y para identificar los peligros y evaluar los riesgos en el laboratorio, se realizó mediante el método FINE (el cual permite determinar el nivel estimado de riesgo potencial), en congruencia con el programa de Seguridad e higiene del IT Ensenada y de acuerdo al Departamento de Protección Civil del Gobierno Estatal [9,10].

De acuerdo con el método FINE se aplicó una lista de verificación de los factores de riesgo. Posteriormente se asignó un valor de las **Consecuencia** considerando los daños personales y materiales; posteriormente se asigna un valor de acuerdo a la interacción con la **Exposición** considerando la frecuencia y el número de veces en las que se está cerca el peligro; Posteriormente se valorar la **Probabilidad**, cual se clasifico de acuerdo a la situación de peligro y la secuencia

completa del accidente. Con esta información se determinó el Grado de Peligrosidad (GP) con base en la siguiente formula $GP=C \times E \times P$

Una vez obtenido el GP para cada riesgo identificado, se clasifico por prioridad y por color según el caso, se proponen las medidas de actuación a implementar.

Una vez obtenido el GP para cada riesgo identificado, se clasifico por prioridad y por color según el caso, se proponen las medidas de actuación a implementar.

Posteriormente se determinaron los controles o cambios recomendados para la reducción de riesgos de acuerdo a los siguientes criterios:

a) Eliminación o reducción del riesgo es una medida que se toma para hacer desaparecer el peligro por medio de prevención en el origen, ya sean organizativas, de protección colectiva, de protección individual, de formación o información a los trabajadores.

b) Sustitución es la medida que se toma con el fin de reemplazar un peligro por otro que no genere riesgo o que genere menos riesgo.

c) Controles de ingeniería son medidas técnicas para el control de peligros y riesgos en su origen abordando directamente el riesgo y no dependen de las acciones de los empleados para ser eficaces.

d) controles de señalización/advertencia son la demarcación de zonas de riesgo, implementación de sistemas de alarma, diseño e implementación de procedimientos y trabajos seguros, controles de acceso al área de riesgo, permisos de trabajo entre otros y los controles administrativos son medidas que tienen como fin reducir el tiempo de exposición al peligro, tales como la rotación de personal, cambios en la duración o tipo de la jornada de trabajo.

e) Equipo de Protección Personal son medidas basadas en el uso de dispositivos, accesorios y vestimenta por parte de los trabajadores con el fin de protegerlos contra posibles daños a su salud o su integración física derivados de la exposición a los peligros en el lugar de trabajo.

III. RESULTADOS

En el laboratorio de Ingeniería Industrial se desarrollan actividades de docencia, como aula para impartir clases, también se realizan diferentes prácticas de inyección, fresado y producción. Se utilizan pellets, trozos de madera, mesa octagonal, mesa de banda, prensa inyectora, fresadora, célula de producción, brazo robótico, laboratorios de tiempos y ruido.

Las Instalaciones del laboratorio de ingeniería industrial cuenta con cuatro mesas rectangulares de trabajo, sillas, dos escritorios y una silla de maestro, un pizarrón, pantalla de 55”, tres máquinas inyectoras, una mesa octagonal giratoria, 1 mesa de banda, una célula de trabajo, un brazo robot llamado Kuka, una fresadora programada por CNC, dos laboratorios de

tiempos y movimientos, así como una oficina y almacén en el centro del laboratorio.

Se desarrolló la tabla de verificación para identificar los peligros potenciales, y se estableció el Grado de peligrosidad de acuerdo al método FINE. Se identificaron 18 peligros identificados, 17 se indican con un grado de peligrosidad prioridad 3 con valores de $40 < GP < 85$. El peligro 3 denominado “contacto con electricidad o descarga eléctrica” se ubica en color amarillo con un grado de peligrosidad prioridad 2 en donde la medida de actuación del riesgo, indica que debe ser eliminado sin demora (Tabla I).

Tabla I. Grado de peligrosidad en el laboratorio de Ingeniería Industrial.

PELIGRO	GRADO DE PELIGROSIDAD
1 Resbalón, tropezón y caída al mismo nivel (altura menor a 1.80 m)	1.5
2 Contacto con superficies calientes	6
3 Contacto con electricidad o descarga eléctrica	250
4 Contacto con objetos punzocortantes	3
5 Golpeado con objeto	7.5
6 Golpeado contra objetos o equipos	6
7 Choque contra partes móviles	6
8 Choque contra objetos o estructura fija	0.5
9 Atrapamiento por objeto fijo o en movimiento	45
10 Incendio	150
11 Golpes por objetos que vuelan o caen	1.5
12 Golpes, machucones, pellizcos, punciones, abrasiones, etc. causados por maquinaria o herramienta	15
13 Exposición a polvo	12
14 Exposición a ruido	30
15 Trabajos en posturas	6

inadecuadas o incómodas	
16 Exposición a virus	30
17 Infección o enfermedad	30
18 Lesiones por animales o plantas	0.25

Para el peligro 3 identificado con grado de peligrosidad prioridad 2, la medida de actuación que se propone es la corrección del mismo de manera inmediata, aunque la situación no es una emergencia. se sugieren algunas propuestas de control para el peligro identificado 3, con base en el uso de equipo de protección personal, señalizaciones y colocación de tapas en toma corrientes (Tablas II y III).

Tabla II. Medida de actuación para el peligro identificado.

LABORATORIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL			
PELIGRO	GRADO DE PELIGROSIDAD	CLASIFICACIÓN DEL RIESGO	MEDIDA DE ACTUACIÓN
Contacto con electricidad o descarga eléctrica	250	Prioridad 2	Debe ser eliminado sin demora, pero la situación no es una emergencia

Tabla III. Propuesta de control al peligro.

PELIGRO	PROPUESTA DE CONTROL
Contacto con electricidad o descarga eléctrica	Uso de EPP (guantes de carnaza, batas, googles) Señalización de volts de energía. Colocar tapas de plástico a tomacorrientes.

En el ITEnsenada se planea seguir generando información para la toma de decisiones de acuerdo con los lineamientos de seguridad de la NMX-SAST-001-IMNC-2008/ OHSAS 18001-2007 con el trabajo coordinado de CSH, UIPC y el PIPC.

IV. CONCLUSIONES

El laboratorio de Ingeniería Industrial cuenta con 18 peligros existentes de los cuales 17 son de prioridad 3 (verde) y uno de prioridad 2 (amarillo) donde la medida de actuación

dice que “debe ser eliminado sin demora” y se proponen los controles necesarios para la eliminación del peligro.

Después de haber identificado los peligros en el laboratorio de ingeniería industrial se determinan controles de ingeniería, señalización y advertencia y el uso adecuado de equipo de protección personal para la implementación de procedimientos y trabajos seguros con el fin de proteger la salud contra posibles daños y la integridad física de las personas.

En general el laboratorio de Ingeniería Industrial cuenta con las condiciones necesarias de seguridad para que los usuarios realicen sus practicas. Destacando que se debe tener una cultura de seguridad en forma permanente respetando los procedimientos.

V. REFERENCIAS

- [1] Adolfo, R. L. (1988). Seguridad e higiene en el trabajo. España: Publicaciones digitales S.A.
- [2] Díaz, J. M. (2007). Seguridad e higiene del trabajo. Madrid: Tebar,S.L.
- [3] Rubio Romero Juan Carlos. (2004). Métodos e evaluación de riesgos laborales. Madrid, España: Ediciones Díaz Santos S.A.
- [4] Sibaja, R. C. (1995). salud y seguridad en el trabajo. EUNED, Universidad Estatal a Distancia.
- [5] Bermúdez L.. (2015). *Sistema de Gestión de Seguridad en el Trabajo*. Febrero 20, 2017, de ENCON S.A. Sitio web: [https://image.slidesharecdn.com/esquemaseguridadysalud](https://image.slidesharecdn.com/esquemaseguridadysalud-eneltrabajo-150810212418-lva1-app6891/95/esquema-seguridad-y-salud-en-el-trabajo-4-638.jpg?cb=1439241899)
- [6] Legislatura LXIII. (2017). *Leyes Federales Vigentes*. Febrero 20, 2017, de LXIII Legislatura Sitio web: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/gobiernos.htm>
- [7] Pérez Damaise R. (2014). *Procedimiento para la Gestión de la Seguridad y Salud en el trabajo* . Febrero 20, 2017, de Universidad de Cienfuegos Sitio web: <http://www.monografias.com/trabajos26/gestion-seguridad/gestion seguridad2.shtml>
- [8] Romero Guzmán K. (2013). *Seguridad laboral, análisis de un puesto*. 19 Febrero 2017, de Universidad Nacional Autónoma de México. Sitio web: http://seguridadlaboral96950610.blogspot.mx/2013_04_01_archive.html
- [9] Santos, E. (2012). *Marco legal de la Seguridad e Higiene en México*. Febrero 17, 2017, de Blog Seguridad e Higiene Sitio web: <http://elena-santos.blogspot.mx/2012/05/marco-legal-de-la-seguridad-e-higiene.html>
- [10] STPS. (2007). *Sistema Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo*. Febrero 20, 2017, de Secretaria del Trabajo y Previsión Social Sitio web: <http://trabajoseguro.stps.gob.mx/trabajoseguro/boletines%20anteriores/2007/bol015/vinculos/Sistema%20Nacional%20de%20Seguridad%20y%20Salud%20en%20el%20Trabajo.pdf>

Áreas de oportunidad en el proceso de vinculación y gestión de las visitas escolares a la industria en el ITE

Aurora Serrato-Rivera
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico

Elizabeth Romero-Samaniego
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico
eromero@ite.edu.mx

Josefina Campos-García
Departamento de Ingeniería
Industrial-Instituto Tecnológico
de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico

Ricardo .S. Castro-Méndez
Departamento de Sistemas
Computacionales-Instituto
Tecnológico de Ensenada
Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. Mexico C.

Margarita Cervantes-Trujano
Departamento de Ingeniería
Eléctrico Electrónica-Instituto
Tecnológico de Ensenada.

Tecnológico Nacional de México
Ensenada, B.C. México.

Resumen— El procedimiento para las visitas escolares a la industria del Tecnológico Nacional de México (TecNM) en el Instituto Tecnológico de Ensenada (ITE), es de gran importancia para el desarrollo integral de estudiantes y académicos. Por promover una relación entre los procesos teóricos que se ven en clases con factores prácticos en el campo de desarrollo. Los docentes del ITE que imparten las asignaturas que ameritan las visitas a la industria, elabora cada semestre un plan de visitas con un objetivo asignado y son gestionadas de acuerdo al procedimiento establecido. Por lo que en el presente trabajo se estableció la eficiencia y las causas de realizar las visitas a empresas, con la finalidad de identificar los puntos que limitan que se lleven a cabo. De las visitas 27 programadas para el 2016, solo se concretaron 13 (el 48% de las programadas). Entre las principales causas que generaron la suspensión del 52% destacan: falta de comunicación entre departamentos, exceso de burocracia en los procesos administrativos, generando que no realicen en los tiempos requeridos, entre otras.

Palabras claves— *Visitas, Relación teoría-práctica, ITE.*

Abstract—The procedure for school visits to the industry of the Tecnológico Nacional de México (TecNM) in the Instituto Tecnológico de Ensenada (ITE), is of great importance for the integral development of students and academics. To promote a relationship between the theoretical processes that are seen in classes with practical factors in the field of development. The teachers of the ITE that teach the subjects that merit visits to the industry, develops each semester a plan of visits with an assigned objective and are managed according to the established procedure. Therefore, in the present work the efficiency and the causes of the visits to companies were established, in order to identify the points that limit that are carried out. Of the 27 visits scheduled for 2016, only 13 were completed (48% of the scheduled). Among the main causes that generated the suspension of 52% stand out: lack of communication between departments, excessive bureaucracy in administrative processes, generating that they do not perform in the required times, among others

Keywords— *School visits, Theory-practice, ITE.*

I. INTRODUCCIÓN

El procedimiento para las visitas escolares a la industria del Tecnológico Nacional de México (TecNM) en el Instituto Tecnológico de Ensenada (ITE), se realiza a través del Departamento de Gestión Tecnológica y Vinculación del ITE (DGTV-ITE) el cual depende de la Dirección de Vinculación e Intercambio Académico del TecNM (DVIA-TecNM). Los cuales se encargan de la vinculación entre la institución educativa y los diferentes sectores sociales públicos y privados del entorno mediante visitas Industriales [1].

Las visitas a empresas, son de gran importancia para en el desarrollo integral de los estudiantes a nivel profesional para relacionar los conceptos teóricos con las necesidades de la industria enfocados al análisis y la resolución de problemas, en especial para las carreras de ingeniería [2, 3, 4]. Con el objetivo de que los estudiantes desarrollen conocimiento sobre las necesidades del sector y de los procesos que se realizan, para que una vez que egresen, puedan ser considerados para su contratación en la industria, y que cuenten con conocimiento previo de las actividades que se realizan y las operaciones a desempeñar, además de relacionar el conocimiento teórico con los procesos y las operaciones con un enfoque de mejora continua. Esto es considerado a las industrias como un avance para los aspirantes a laborar en el sector industrial donde en ocasiones los niveles de capacitación son llevados a cabo pensando que ya se tiene la experiencia laboral y no se explican ciertos detalles que pueden ocurrir en los procesos de manufactura y actividades de almacenamiento, calidad, embarque y operaciones administrativas de contabilidad, recursos humanos y logística, principalmente [4, 5, 6, 7].

Para realizar las visitas industriales y recibir a los estudiantes, las empresas dedican tiempo y personal especializado, dejando de realizar algunas actividades para preparar un proceso de manufactura con personal para demostrar las operaciones que se realizan en la línea de producción. Lo que genera que no tengan la disposición de recibir visitas industriales frecuentemente. La presente investigación se llevo a cabo para determinar la eficiencia de

las visitas escolares programadas a las empresas industriales durante el año 2016 e identificar los factores que limitan que se lleven a cabo afectando la oportunidad para los estudiantes de relacionar los conocimientos teóricos con los aspectos prácticos en la industria [8].

II. METODOLOGÍA

Se reviso el procedimiento de la gestión de vinculación en el ITE en el año 2016 referente a las visitas escolares a la industria de acuerdo con la información proporcionada por el DGTV-ITE, misma que involucra diferentes departamentos. Se revisó el procedimiento establecido para la gestión de visitas a empresas y se desarrollo un FODA del proceso, para proponer las estrategias que se requieren implementar para hacer más eficientes las visitas a las empresas. Así mismo se utilizaron herramientas de análisis aplicadas a las evaluaciones en la ingeniería industrial, como la lluvia de ideas, el diagrama de Pareto y el diagrama de pescado.

III. RESULTADOS

La gestión de visitas y la vinculación a la industria por parte del ITE en la ciudad de Ensenada, son de gran relevancia debido a que siempre se puede presentar la relación de proyectos de investigación. En el ITE, se contemplan cada año una gran cantidad y diversidad de visitas industriales a empresas, ya que la gestión de la institución se lleva a cabo con gran empeño y ha logrado la vinculación, sin embargo, en ocasiones no se realiza una correcta gestión por diversas causas, lo que conlleva a tener la cancelación de las mismas. Por lo que a través del departamento de gestión del ITE con personal involucrado en el procedimiento, se analizó e integro el procedimiento para realizar las visitas (Tabla I).

Tabla I. Personal de gestión del ITE y actividades a desempeñar para las visitas a empresas.

Responsable	Actividad
Jefe Académico	Gestiona con subdirección académica y entrega solicitud de visitas industriales, gestiona viatico del docente.
Jefe de Gestión Tecnológica y Vinculación	Determina periodo de altas de visitas industriales, gestiona visitas, entrega programa de visitas aceptadas, elabora carta de presentación y agradecimiento, y por ultimo elabora informe de control de visitas.
Jefe de Recursos Materiales y Servicios	Gestionar paquete de solicitud de viatico y gasolina.
Jefe de Recursos Financieros	Elabora Cheque para gasolina, casetas y viáticos.
Dirección	Firma los viáticos y oficios de comisión.
Jefe de Servicios Escolares	Entrega documento de la aseguranza de los alumnos al maestro responsable de la visita.
Docente	Solicita la visita y elabora lista de los

	alumnos que asisten a visita Industrial.
Alumnos	Gestiona si es fuera de Ensenada, el pase foráneo y el día de la visita lleva su Carnet.
Empresas	Acepta o niega la visita

El procedimiento del ITE para la gestión de las visitas se elabora por el personal académico y se actualiza dependiendo el desarrollo de las mismas en la ciudad de Ensenada. En el ITE, se cuenta con un diagrama de procedimiento registrado en el sistema interno de control de calidad. En donde se establecen por etapas las actividades y funciones de cada actor involucrado y se cuenta con una guía de cada etapa del procedimiento con las especificaciones requeridas. Se contemplan secciones donde se elabora un cuestionamiento de aprobación o negación de la solicitud, que condiciona que pueda pasar a la siguiente etapa o regresar a alguna previa. Para identificar las fortalezas y debilidades en la preparación, desarrollo y análisis de las visitas escolares a las industrias, se realizo un análisis FODA. Se encontraron ocho fortalezas, siete debilidades, seis áreas de oportunidad y cinco Amenazas en el proceso para que las practicas se realicen de forma exitosa (Tabla II).

Tabla II. Matriz FODA del proceso de gestión de visitas escolares en el ITE

FORTALEZAS	DEBILIDADES
1.- Programas Educativos acordes con la necesidad del entorno.	1.- Cuenta con solo 7 carreras de las carreras con Ingeniería.
2.- Programas acreditados.	2.- EL número de maestros contratados.
3.- Laboratorios equipados.	3.- Ausentismo de docentes.
4.- Atención personalizada a los alumnos en inscripciones.	4.- No se cuenta con un camión adecuado.
5.- Se trabaja con el Modelo de Educativo Dual.	5.-Equipo de cómputo obsoleto.
6.-Modelos educativos presencial y semi presencial.	6.-Comunicación interna.
7.- Vinculación con las empresas y las cámaras de la región.	7.- No se cuenta con el software necesario.
8.- Certificación ISO 9001, equidad de género e ISO 14000.	
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
1.- Tiene prestigio en las empresas.	1.-No es muy reconocida por los preparatorianos.
2.- Ubicación estratégica de la Institución.	2.- Poca publicidad.
3.- Becas de gobierno para	3.- Muchas escuelas con

alumnos.	carreras muy similares.
4.-Proyectos de vinculación escuela-empresa-CONACYT.	4.- Gran parte de la planta docente que es de base es longeva y se resiste al cambio.
5.-proyectos vinculados con el sector industrial.	5.- Las decisiones son centralizadas en el tecnológico nacional de México, sin tomar en cuenta las necesidades del campus Ensenada.
6.- Intercambios Internacionales.	

estrategias (FA) Uso de las fortalezas para evitar amenazas.	estrategias (DA) Minimizar debilidades y evitar amenazas.
1.- El Depto. de Desarrollo Académico elaborará y llevar a cabo un programa de publicidad que consistirá en invitar a los alumnos de educación media superior de último semestre a pasar un día en la universidad como alumnos invitados. (F1, F2, F3, F5, A1, A2, A3).	1.-El depto. de Desarrollo Académico gestionará cursos de comunicación Y actualización en computación para las diferentes áreas y docentes del Institutos (D6,A4)

Con el FODA se elaboraron cinco objetivos estratégicos y estrategias propuestas para que el procedimiento de visita a empresas sea más exitoso. En la que mediante proyectos se busca fortalecer la vinculación y las visitas a empresas (TablaIII).

Tabla III. Objetivos estratégicos y estrategias propuestas para que el procedimiento de visita a empresas sea más exitoso.

Objetivos estratégicos y estrategias (FO) Uso de fortalezas para aprovechar oportunidades.	Objetivos estratégicos y estrategias (DO) Disminuir debilidades aprovechando las oportunidades.
1.-Las Áreas académicas trabajarán 2 proyectos de Educación Dual con esto se va a generar proyectos vinculados con el sector industrial.(F5,O4).	1.- El Depto. de Gestión Tecnológica y Vinculación gestionara un proyecto entre universidad-empresa-CONACYT del área de Ing. en sistemas computacionales para bajar recurso y comprar equipo y software (O4, O5, D5, D7).
	2.- El Depto. de Gestión Tecnológica y Vinculación formara el Consejo de vinculación integrándolo por empresarios y representantes de los diferentes organismos de la región.(O4,D4,D5,D,7).
	3.- Los departamentos de Planeación, Académicos y Vinculación Realizaran un estudio de mercado para identificar la necesidad del entorno para gestionar una nueva carrera. (D1, O5).
Objetivos estratégicos y	Objetivos estratégicos y

Para realizar el análisis del proceso, se realizo una reunión con un representante de cada departamento del ITE y el personal involucrado de acuerdo a cada actividad asignada en función del plan de la gestión de visitas industriales, los cuales son: jefes de las áreas académicas, jefe de recursos materiales, un servicio social del DGTV-ITE adscrito al proceso de visitas Industriales y el docente de la carrera de Ing. Industrial. En la reunión se especificó el proceso de desarrollo respecto a la gestión de las visitas industriales y se generaron acuerdos sobre las responsabilidades en las actividades. Durante la reunión se realizaron las siguientes actividades:

Lluvia de ideas

Se recopilaron y organizaron las ideas expuestas, para generar una lista de causas generan la suspensión de las visitas industriales, mismas que se organizaron por orden prioritario. Los aspectos que destacaron fueron la falta de comunicación entre departamentos, exceso de burocracia al solicitar las visitas industriales, generando que en ocasiones no se informe a ciertos departamentos de las visitas, situación que hace que la visita se cancele casi en las fechas programadas para su desarrollo. A continuación, se enlistan las áreas de oportunidad para mejorar la gestión de la visita a empresas:

Unidades de transporte limitadas o falta de chofer. Comunicación entre gestores, docentes y alumnos. Los alumnos y docentes no tienen la lista a tiempo. Alumnos sin tramitar su número de seguro a tiempo. No realizar la solicitud de la visita a tiempo por el periodo restringido para solicitar las visitas. Poco seguimiento entre departamento por falta de personal o exceso de actividades. Cancelación por parte de las empresas

Diagnóstico de Pareto

Con el Diagrama de Pareto se evaluaron las causas de cancelación de visitas y la frecuencia con la que se desarrolló, lo que permitió establecer las de mayor relevancia. Entre las causas de mayor impacto se identificaron a) la falta de comunicación entre departamentos y b) los excesivos procesos de burocracia, por lo que los tiempos no son suficientes al no estar la documentación lista, generando que se cancelen las visitas industriales.

Principales causas que limitan la gestión de las visitas industriales, se indican a continuación por orden de

importancia: Comunicación entre departamentos; Exceso de burocracia; Se requiere una persona para dar seguimiento exclusivo a todo el proceso de visitas; No se entregan las listas de asistencia de alumnos y no es eficiente el trámite para gestionar los viáticos para el traslado; No se cuenta con chofer; Capacidad limitada en las camionetas; Falta de solicitudes del docente (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis con Diagrama de Pareto de la cancelación de visitas industriales.

#	CAUSA	Frecuencia	Porcentaje
1	Comunicación entre departamentos	48	15%
2	Exceso de burocracia	45	28%
3	Falta una persona para dar seguimiento exclusivo a todo el procedimiento de visitas	43	41%
4	No se entrega la lista de alumnos y es necesario para gestionar viáticos	39	53%
5	No hay chofer	36	64%
6	Capacidad limitada del camión	30	73%
7	Falta de solicitudes del docente	29	82%
8	Al Docente no avisa al alumnos de la visita	25	90%
9	Periodo definido para apertura a las visitas por parte de empresas	21	96%
10	La empresa no acepta o cancela la visita	13	100%

Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa nos muestra que el área de mayor oportunidad de mejora esta la denominada mano de obra ya que es donde se ubican más ramificaciones, lo que indica en donde se encuentra la problemática mayor. Destacando que no se entrega la lista de alumnos, lo cual es necesario para gestionar los viáticos. Falta una persona para seguimiento exclusivo a todo el proceso de las visitas. Faltan solicitudes docentes. Exceso de burocracia No hay chofer Falta comunicación entre departamentos. Capacitar limitado del autobús. Trámites innecesarios. La empresa cancela o no acepta la visita. Para dar solución a las problemáticas registradas en el presente estudio, se propone la creación de un comité integrado por docentes del área académica y personal administrativo del ITE. Lo que permitirá reforzar las actividades de gestión de las visitas industriales y dar un seguimiento en la eficiencia de las mismas.

Se propone la contratación de una empresa de servicio externo (*outsourcing*), que preste el servicio de transporte mediante un chofer y un autobús de acuerdo al número de estudiantes y docentes participantes, con esto se podría subsanar la falta de personal para el cumplimiento de la meta.

Otro aspecto que se debe considera, es que el ITE al no ser autónomo, requiere hacerla propuesta al TECNM para su autorización, por lo que la solicitud del recurso económico requiere realizarse mes de octubre con un año de anticipación en el Programa Operativo Anual (POA), y en el mes de enero se conoce la decisión del TECNM.

Trabajo a futuro

Como trabajo futuro se contempla la implementación y seguimiento del comité del área académica y administrativa, así como su eficiencia en el plan de visitas industriales.

IV. CONCLUSIONES

La gestión de visitas a la industria de la ciudad de Ensenada de parte del ITE, es de gran relevancia y se cuenta con un programa establecido en donde participan ocho actores. Se cuenta con un diagrama de procedimiento registrado por el sistema interno de control de calidad que establece las etapas, las actividades y las funciones de cada actor involucrado. Las causas principales que interfieren en la gestión de las visitas industriales son: la falta de comunicación entre departamentos, el exceso de burocracia, que no hay una persona para dar seguimiento exclusivo a todo el proceso de visitas, que no se entregan las listas de asistencia de alumnos y no es eficiente el trámite para gestionar los viáticos para el traslado, que no se cuenta con un chofer, que existe una capacidad limitada en las camionetas y la falta de solicitudes del docente. Se propone la formación de un comité integrado por docentes del área académica y personal administrativo del ITE. Para reforzar las actividades de gestión de las visitas industriales y dar un seguimiento en la eficiencia de las mismas. Así como la contratación de una empresa de servicio externo (*outsourcing*), que preste el servicio de transporte mediante un chofer y un autobús.

V. CITAS Y REFERENCIAS

- [1] TecNM. (2014). Breve Historia de los Institutos Tecnológicos.
- [2] Morales G. (2009). Outsourcing. Argentina: El Cid Editor.
- [3] Escalona, I. (2007). El Famoso Outsourcing. Argentina: El Cid Editor.
- [4] Mora, F. y Schupnik, W. (2009). Analisis OUTSOURCING. Argentina: El cid Editorial.
- [5] Wilson, T. (2000). Receptividad del Empowerment. En Manual del empowerment: Cómo conseguir lo mejor de sus colaboradores. (pp. 73-85). Barcelona, España: Gestión 2000, S.A.
- [6] Hernández, J. y Vizán, A.. (2013). Técnicas Lean. Madrid, España: Escuela de Organización Industrial; Madrid España: Escuela de Organización Industrial.
- [7] Hellriegel, D.; Jackson, S.E. y Slocum, J.W. Jr. (2005). Cambio y aprendizaje organizacional. México: Thomson. Hellriegel, D.; Jackson, S.E. y Slocum, J.W. Jr.. (2012). Diseño organizacional. México: CENGAGE Learning. Hellriegel, D., Jackson, S. E., & Slocum, Alles, M. A. (2011). Desarrollo del talento humano basado en competencias. Buenos Aires: Granica.