

**Título del Proyecto  
de Investigación a que corresponde el Reporte Técnico:**

Mejora de nivel de desperdicio de un proceso de fabricación de sensores de temperatura aplicando un enfoque DMAIC.

**Tipo de financiamiento**

Sin financiamiento

**TÍTULO DEL REPORTE TÉCNICO**

Mejora de nivel de desperdicio de un proceso de fabricación de sensores de temperatura aplicando un enfoque DMAIC.

**Autores del reporte técnico:**

Ing. Jesús Bañuelos Aguilar  
Dr. Jesús Andrés Hernández Gómez

Ciudad Juárez, Chihuahua, 5 de Noviembre de 2021

DR. ROBERTO ROMERO LÓPEZ  
COORDINADOR DE LA MESTRÍA  
EN INGENIERÍA INDUSTRIAL  
Presente. -

Por medio de la presente se hace constar que el C. Jesús Bañuelos Aguilar, con matrícula 187094, alumno del Programa de la Maestría en Ingeniería Industrial de la UACJ, realizó en esta empresa el siguiente proyecto: Mejora de nivel de desperdicio de un proceso de fabricación de sensores de temperatura aplicando un enfoque DMAIC, con la asesoría de: Ing Jesús Andrés Hernández Gómez en un periodo comprendido del 3 de Agosto de 2021 al 3 de Noviembre de 2021.

Se extiende la presente para los fines que al interesado convenga.

Atentamente



Alejandro Rodriguez  
Gerente de Calidad

THERMODISC  
CONTROLES DE TEMPERATURA SA DE CV  
R.F.C. CTE850912 QP1  
RAMON RIVERA LARA 6415  
CIUDAD JUAREZ, CHIHUAHUA

## **MEJORA DE NIVEL DE DESPERDICIO DE UN PROCESO DE FABRICACIÓN DE SENSORES DE TEMPERATURA APLICANDO UN ENFOQUE DMAIC**

### **Resumen del reporte técnico:**

En una empresa de fabricación de sensores de temperatura localizada en Ciudad Juárez, Chihuahua, México, se desarrolla un proyecto de reducción de desperdicio y aumento al cumplimiento al programa de producción por medio de la metodología de Seis Sigma utilizando un enfoque DMAIC a través de sus cinco pasos. El proyecto está enfocado en un número de parte específico conocido por 11J1HCM0118 del área 11/12J para la fabricación de línea blanca comercial. Este número de parte tiene como aplicación los refrigeradores comerciales y se ubica en la compuerta que existe entre el congelador y el conservador de alimentos, utilizado como señal para mandar frío del congelador a la sección de alimentos por medio de una resistencia conocida como termistor o NTC, el cual se activa a través de temperatura al alcanzar cierto valor de resistencia eléctrica. En el desarrollo de la metodología, una vez implementada la fase definir, se logra establecer la declaración del problema, el involucramiento del equipo multifuncional integrado por departamentos de ingeniería, calidad, producción y mantenimiento, se establecen objetivos y delimitaciones del proyecto, así como su impacto financiero aproximado de \$650,000 pesos, todo esto mediante el uso de la herramienta de Project Chárter. En el panorama inicial de la organización, durante la fase de medir y con ayuda de las herramientas de muestro inicial y plan de recolección de datos, se establece que la proporción de piezas defectuosas en promedio es de un 24.45% y respecto al cumplimiento al programa de producción, se tiene como promedio un 75.55%. Los costos estimados por pobre calidad ascienden a \$465, 000 pesos en el periodo de tiempo medido que comprende del mes de noviembre del año 2020 al mes de julio del año 2021 y se estima que antes de la implementación de la metodología se alcanza un costo de pobre calidad de alrededor de \$650,000 pesos aproximadamente a finales del mes de octubre de 2021. En adición, se encuentra que los rechazos y causas de incumplimiento tiene un principal contribuyente llamado falla de Hi-Pot, una prueba eléctrica realizada al componente para determinar la efectividad de su aislamiento o también conocida como prueba de alto voltaje, esta contribuye con más del 99% de las incidencias encontradas y mostradas mediante la herramienta del gráfico de Pareto. Durante la fase de analizar, se utiliza como entrada el diagrama de proceso y el análisis de modos y efectos de la falla de proceso, además, mediante la herramienta del diagrama de Ishikawa en combinación con la técnica de grupo nominal y sus validaciones, se encuentra que la causa raíz de la falla está dada por tres principales contribuyentes como los son la posición de la manga, el tiempo de quemado y la temperatura de quemado. En la fase de implementación por medio de la herramienta poke yoke se crea un equipo capaz de evitar la generación de estas tres principales características encontradas durante el análisis de causa raíz, a su vez se implementan controles visuales en la estación como parte de la mejora y las acciones desarrolladas se validan por medio de la prueba estadística de dos proporciones, encontrando como resultado que con un nivel de significancia al 95% y

valores P de 0.000 de la prueba de hipótesis, se logra bajar la proporción de piezas defectuosas del 24.45% al .9% y subir la proporción del cumplimiento al programa de producción del 75.55% al 99.1% rechazando ambas hipótesis nulas. Finalmente, en la fase de controlar, se documenta la mejora en el PFMEA actualizando el riesgo y sus acciones recomendadas, adicionalmente, en el plan de control se establece el seguimiento y control de las acciones establecidas e implementadas finalizando el proyecto.

### **Summary of the technical report:**

In a temperature sensor manufacturing company located in Ciudad Juárez, Chihuahua, Mexico, a project is developed to reduce waste and increase compliance with the production program through the Six Sigma methodology using a DMAIC approach through its five steps. The project is focused on a specific part number known as 11J1HCM0118 from the 11/12J area for the manufacture of commercial appliance goods. This part number is applied to commercial refrigerators, it is located on the door that exists between the freezer and the food conservator, used as a signal to send cold from the freezer to the food section through a resistance known as a thermistor or NTC, which is activated through temperature when reaching a certain value of electrical resistance. In the development of the methodology, once the define phase is implemented, the problem statement is established, the involvement of the multifunctional team made up of engineering, quality, production and maintenance departments, objectives and delimitations of the project are established, as well as its approximate financial impact of \$650,000 pesos, all this through the use of the Project Charter tool. In the initial overview of the organization, during the measurement phase and with the help of the initial sampling tools and data collection plan, it is established that the proportion of defective parts on average is 24.45% and regarding compliance with the program of production, the average is 75.55%. The estimated costs for poor quality amount to \$465,000 pesos in the period of time measured that includes the month of November of the year 2020 to the month of July of the year 2021 and it is estimated that before the implementation of the methodology a cost of poor quality of around \$650,000 pesos approximately at the end of October 2021. In addition, it is found that the rejections and causes of non-compliance have a main contributor called Hi-Pot failure, an electrical test performed on the component to determine the effectiveness of its insulation or also known as a high voltage test, it contributes with more than 99% of the incidents found and displayed using the Pareto chart tool. During the analyze phase, the process diagram and the analysis of modes and effects of the process failure are used as input, in addition, through the Ishikawa diagram tool in combination with the nominal group technique and its validations, it is found that the root cause of the failure is given by three main contributors such as sleeve position, burn time and burn temperature. In the implementation phase by means of the poke yoke tool, a team is created capable of avoiding the generation of these three main characteristics found during the root cause analysis, in turn, visual controls are implemented in the station as part of the improvement and The actions developed are validated by means of the statistical test of two proportions, finding as a result that with a significance

level of 95% and P values of 0.000 of the hypothesis test, it is possible to lower the proportion of defective parts from 24.45% to .9% and raise the proportion of compliance to the production schedule from 75.55% to 99.1%, rejecting both null hypotheses. Finally, in the control phase, the improvement in the PFMEA is documented by updating the risk and its recommended actions, additionally, the control plan establishes the monitoring and control of the actions established and implemented at the end of the project.

**Palabras clave:**

Seis Sigma, DMAIC, Poke Yoke, prueba de hipótesis.

**Usuarios potenciales:**

Área de producción de 11/12J, estaciones de Hi-pot y quemado de manga, inspección de calidad del área de fabricación.

**Reconocimientos:**

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a todas las personas que me han ayudado y apoyado a lo largo de este tiempo dedicado a mi formación como maestro en Ingeniería Industrial con enfoque en el área de calidad, principalmente a mi madre Verónica Aguilar por su amor incondicional y a mi padre Pedro Bañuelos por apoyar mi andar, a mis dos abuelas María Aguilar y Carmen González que empezaron este camino y que hoy descansan al lado de dios, a mi esposa Ana Cristina Rosas por impulsarme a crecer en todos los aspectos, a mis tíos Guillermo Bañuelos y Benjamín Yáñez por estar siempre pendientes de mí en las buenas y en las malas, y a mi hermano Pedro Bañuelos por ser parte de mis motivaciones. Quiero mostrar mi reconocimiento al Dr. Juan Andrés Hernández y al Dr. Francisco Estrada por iniciarme y ayudar a culminar todo este proceso, así como a la organización Controles de Temperatura, Emerson, por su apoyo en esta etapa financiando mi carrera y permitiéndome elaborar y concluir mi proyecto final.

## TABLA DE CONTENIDO

Resumen del Reporte Técnico.....	2
Summary of the Technical Report.....	3
Palabras Clave.....	3
Usuarios Potenciales.....	4
Reconocimientos.....	4
Tabla de Contenidos.....	5
Lista de Tablas.....	6
Lista de Figuras.....	6
1. Introducción.....	7
2. Planteamiento.....	8
2.1 Antecedentes.....	8
2.2 Marco Teórico.....	10
3. Metodología.....	16
4. Resultados.....	19
5. Conclusiones.....	26
Referencias.....	27
Anexos.....	28

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Formato para muestro de datos bajo condiciones actuales.....	17
Tabla 2. Formato para plan de recolección de datos.....	17
Tabla 3. Ejemplo de formato para técnica de grupo nominal.....	18
Tabla 4. Formato empleado para documentar el control visual de proceso.....	19
Tabla 5. Project Charter.....	20
Tabla 6. Muestro de datos.....	21
Tabla 7. Resultados técnica de grupo nominal.....	23
Tabla 8. Pruebas estadísticas.....	25

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sensor en compartimiento de alimentos de refrigerador.....	7
Figura 2. Sensor de temperatura 11J1HCM0118.....	8
Figura 3. Etapas de la metodología con las herramientas asociadas.....	16
Figura 4. Gráfico de Pareto.....	22
Figura 5. Diagrama de Proceso.....	22
Figura 6. Diagrama de Ishikawa.....	23
Figura 7. Poke Yoke.....	24
Figura 8. Gráfico P.....	26

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sensores electrónicos de temperatura conocidos como termistores o NTC (coeficiente de temperatura negativo), tienen un comportamiento particular, la resistencia aumenta con la disminución de temperatura y disminuye con el aumento de temperatura. Estos productos tienen distintas áreas de aplicación dentro de los electrodomésticos de línea blanca, como lo son el control de temperatura en refrigeradores, lavadoras, secadoras, electrodomésticos de cocina, enfriadores, y calentadores de uso doméstico e industrial.

El sensor de temperatura 11J1HCM0118 es utilizado en refrigeradores con la finalidad de abrir la compuerta que existe entre el congelador y el conservador de alimentos (Figura 1), disminuyendo su resistencia al subir la temperatura, es decir, cuanto menos frío hay dentro del compartimiento de alimentos, este disminuye su resistencia para alcanzar un rango programado en el refrigerador y lograr accionar la compuerta para su apertura y acceso del frío generado desde la parte del congelador, la variación de esta resistencia es la que hace que el refrigerador cumpla con ese funcionamiento.

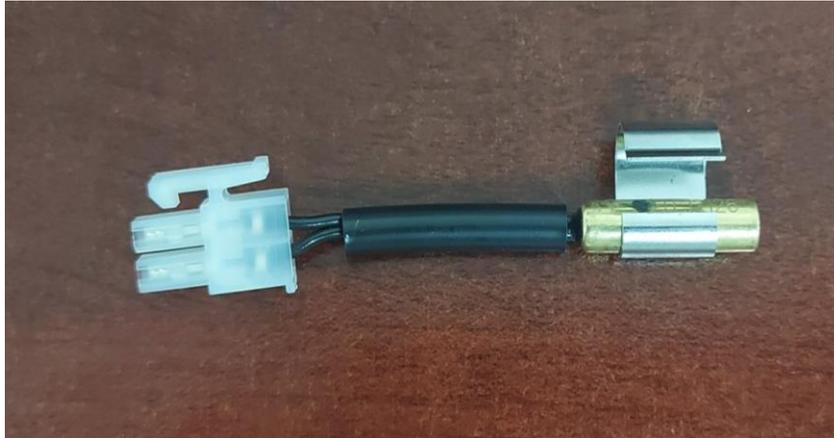
El sensor de temperatura tiene su rango de operación a  $2.7K\Omega \pm 3\%$  a temperatura ambiente que ronda en los  $25^{\circ}C$  y al estar en exposición con temperaturas frías, el valor de resistencia aumenta, llegando a alcanzar los  $8.758K\Omega \pm 3\%$  a  $0^{\circ}C$ .

**Figura 1. Sensor en compartimiento de alimentos de refrigerador**



El sensor de temperatura 11J1HCM0118 (Figura 2) que actualmente es producido en la línea de ensamble denominada 11/12J Probes, su fabricación consta de un termistor soldado a un cable de calibre 24 AWG, para posteriormente introducir el termistor en una carcasa dorada metálica y cubrirlo completamente con epoxi negro. Los cables son cubiertos con un tubo de material PVC color negro para después ser enviados al proceso de ensamble de terminales, conector de plástico transparente y finalmente su empaque.

**Figura 2. Sensor de temperatura 11J1HCM0118**



## **2. PLANTEAMIENTO**

### **2.1 ANTECEDENTES**

#### **Descripción del Problema**

En una empresa de fabricación de sensores de temperatura localizada en Ciudad Juárez, Chihuahua, México se han presentado problemas de desperdicio en la línea de producción llamada 11/12J Probes de noviembre 2020 a julio 2021 afectando al programa de producción y por consecuencia el plan de cumplimiento. La proporción de piezas defectuosas en promedio es de 24%, llegando a alcanzar hasta un 29%. El incremento en la proporción de piezas defectuosas ha impactado al programa de producción al grado que se tienen registros de cumplimiento que van del 71% al 80%, esto impacta directamente a los costos de pobre calidad de la compañía.

#### **Objetivo General**

Aplicar una metodología de solución de problemas con enfoque de Seis Sigma para el mejoramiento de un proceso de fabricación de sensores de temperatura para reducir la proporción de piezas defectuosas y el aumento del cumplimiento al programa de producción.

#### **Objetivos Específicos**

- Recopilar los datos para que al analizarlos se identifiquen los factores que incidan en el porcentaje de pérdida de sensores de temperatura.
- Proponer soluciones factibles y duraderas para resolver el problema planteado.
- Validar estadísticamente la(s) solución(es) propuesta(s)
- Implantar un plan de seguimiento para estandarizar las acciones correctivas.

## Hipótesis General

El presente proyecto de ingeniería propone tener un enfoque basado en la metodología de Seis Sigma a través del ciclo DMAIC para el mejoramiento de procesos de manufactura probando las siguientes hipótesis:

### Hipótesis 1

Variable de respuesta: Proporción de piezas defectuosas.

Unidad de medida: Porcentaje (%).

Siendo: P1 la proporción inicial y P2 la Proporción 2 final.

H0=La proporción de piezas defectuosas es igual al inicio que después de aplicar la metodología propuesta en esta investigación.

$$P1 = P2$$

H1=La proporción de piezas defectuosas es mayor al inicio de la investigación que después de aplicar la metodología propuesta en esta investigación.

$$P1 > P2$$

Para el cálculo de la proporción de piezas defectuosas se hace uso de la formula numero 1 mostrada a continuación:

$$\text{Proporción de piezas defectuosas} = (\text{Piezas defectuosas}/\text{Piezas producidas}) \times 100 \quad (1)$$

### Hipótesis 2

Variable de respuesta: proporción de cumplimiento al programa de producción.

Unidad de medida: Porcentaje (%).

Siendo: P1 la proporción inicial y P2 la Proporción 2 final.

H0=El cumplimiento al programa de producción es igual al inicio que después de aplicar la metodología propuesta en esta investigación.

$$P1 = P2$$

H1=El cumplimiento al programa de producción es menor al inicio que después de aplicar la metodología propuesta en esta investigación.

$$P1 < P2$$

Para el cálculo del cumplimiento al programa de producción se hace uso de la fórmula número 2 mostrada a continuación:

$$\text{Proporción de cumplimiento} = (\text{Piezas Producidas}/\text{Piezas Programadas}) \times 100 \quad (2)$$

## **Justificación**

De noviembre 2020 a julio 2021 se tiene un costo de pobre calidad \$465,000 pesos, al finalizar el mes de octubre 2021 se estima tener aproximadamente \$650,000 pesos a raíz de este problema. Dado que se pretende tener una solución permanente para la reducción del desperdicio a menos del 5%, se espera que para el próximo año fiscal el ahorro por desperdicio sería de más de \$615, 000 pesos en la fabricación de sensores de temperatura al reducir el desperdicio generado de este proceso y alcanzar el programa de producción logrando un proceso competitivo que sea capaz de cumplir a bajo costo con los requerimientos del cliente. Por otro lado, académicamente, se pretende utilizar herramientas de Seis Sigma en este trabajo de aplicación para comprobar la capacidad de resolver problemas en la industria maquiladora y por tanto la competencia como maestro en ingeniería industrial.

## **Alcance y Restricciones**

- El alcance de este proyecto se encuentra limitado al análisis de las estaciones de producción que conforman la línea de producción 11/12J Probes: quemado de manga, aplicación de epoxi y curado, ensamble de manga externa, ensamble de terminal, ensamble de conector, prueba de resistencia, prueba de hi-pot, inspección visual, empaque e inspección de calidad., no incluyen posibles factores de almacén de materia prima, transporte y embarques.
- Este proyecto es enfocado en un numero de parte exclusivo, el cual es el sensor de temperatura número: 11J1HCM0118.
- Por otro lado, el equipo involucrado es multidisciplinario y no está enfocado completamente en el proyecto.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **Seis Sigma**

Comenta García (2014) sobre las empresas y su enfoque en desarrollar diferentes estrategias y métodos que le permitan incrementar la calidad de sus productos, procesos, servicios y reducir sus costos en orden de satisfacer las necesidades de sus clientes. Una de las metodologías que incorporan a sus procesos es Seis Sigma, el cual ha sido adoptado por muchas compañías para reducir la variación de sus procesos y productos. Seis Sigma según Añaguari (2016) es una metodología rigurosa de mejoramiento desarrollada por Motorola en los años 80, cuyo principal enfoque es el cliente, Seis Sigma se define como un proceso de negocio que le permite a las empresas mejorar drásticamente sus ganancias al diseñar y monitorear cada actividad de forma que minimicen desperdicio y recursos, mientras aumenta la satisfacción del cliente.

### **Metodología DMAIC**

Añaguari (2016) dice que la metodología Seis Sigma se caracteriza por cinco etapas concretas las cuales son Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Cada etapa se enfoca en obtener los mejores

resultados posibles para minimizar la posibilidad de error mediante el uso de diversos pasos y herramientas por etapa que pueden ser usadas de acuerdo con el tipo de proyecto a enfrentar.

- **Definir:** Es la fase inicial, García (2014) menciona que aquí se identifican los proyectos potenciales del Seis Sigma, Se lleva a cabo un análisis completo de la información de la empresa, que incluyen entradas y variables del proceso de producción, medibles e indicadores claves de rendimiento, retroalimentación del cliente, empleados, tasa de defectos, capacidad de proceso, entre otros con el fin de determinar el rendimiento actual. Una vez seleccionado el proyecto, se selecciona el equipo más adecuado para su ejecución, asignándole la prioridad necesaria. En esta fase es esencial la determinación de factores que intervienen en la calidad del proceso, a través de herramientas adecuadas una de ellas el Diagrama de Pareto. Los resultados obtenidos son graficados con la finalidad de mostrar que factores afectan más los problemas de calidad, para ello se utilizan los gráficos de Ishikawa y por último los diagramas de correlación que permiten ver si hay relación entre las características de calidad.
- **Medir:** De acuerdo con De Feo (2004) el siguiente paso es establecer el rendimiento del proceso actual, para ello se mide la línea base de rendimiento antes de intentar identificar mejoras. En esta fase se definen los defectos, se recopila la información primordial para el producto o proceso y se establecen metas de mejora. El propósito es identificar y documentar los parámetros del proceso que afectan el rendimiento y características del producto que interesen al cliente. A medida que el proyecto avanza los datos son actualizados, el equipo planifica la recopilación de información para las siguientes fases y para la posterior validación del sistema de medición además de procesos y capacidades.
- **Analizar:** Según Añaguari (2016) en esta fase se analizan los datos de rendimiento actual y pasado con el objetivo de generar una lista de prioridades de las fuentes de variación. Se desarrollan y prueban hipótesis sobre las relaciones causa-efecto posible. En esta fase se confirman las variables del rendimiento del proceso. Se utilizan herramientas como histogramas, box plots, análisis multivariantes, correlaciones y regresiones, prueba de hipótesis, tablas de contingencia y análisis de varianzas (ANOVA).
- **Mejorar:** Valderrey (2010) nos dice que en esta fase se busca determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y variables de respuesta) para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento de los procesos. Aquí se experimenta mediante la prueba de la solución a pequeña escala en un ambiente real de negocio. El equipo puede optimizar el rendimiento del proceso utilizando técnicas tales como métodos de superficie de respuesta y operación evolutiva.
- **Controlar:** según García (2014) la fase de control tiene por finalidad diseñar y documentar los controles necesarios para asegurar que los beneficios de la mejora Seis Sigma se mantengan

una vez que se han implementado los cambios. Se requiere de estandarización de métodos de trabajo y monitoreo continuo de las operaciones. Se utilizan herramientas como gráficos de control por variables y por atributos, pruebas de error, se revisan los procedimientos estándar e instructivos de trabajo. Además, se actualiza la documentación de procesos y se desarrollan planes de control de procesos. La implementación y el rendimiento actual del proceso deben ser monitoreados por un período de tiempo para asegurar que los beneficios sean mantenidos.

### **Herramientas del DMAIC**

En las siguientes viñetas se exponen brevemente cada una de las herramientas estadísticas aplicadas en el presente proyecto de acuerdo cada fase del DMAIC donde fueron requeridas.

Definir:

- **Project charter:** John (2008) menciona que es un documento donde se plasma toda la información clave relativa a un proyecto al más alto nivel con el objetivo de que la esencia de ese proyecto quede consensuada y sintetizada en un documento único que no sufrirá modificaciones a lo largo del tiempo y que por tanto servirá de guía a todos los implicados.

Medir:

- **Diagrama de Pareto:** Según Valderrey (2010) consiste en la clasificación de los elementos o factores que intervienen en un proceso por su orden de importancia, para poder tratar cada uno de ellos de una forma distinta según su peso específico. Este gráfico está basado en el principio de Pareto en el cual el 80% de los problemas provienen del 20% de las causas.
- **Histograma:** Añaguari (2016) menciona que es un gráfico de barras que muestra la distribución de una serie de mediciones individuales tomadas del resultado de un proceso, aquí se refleja la dispersión de los valores respecto a la media. En un histograma se ven los resultados de un proceso para todas las causas. Es una herramienta muy visual donde se resume de forma rápida una gran cantidad de datos que proporciona información para reducir variación y eliminar la causa de los problemas.
- **Gráfico de tendencia:** Según Valderrey (2010) en la metodología Seis Sigma un componente importante de la evolución en el tiempo de una serie de datos de una característica de calidad es su tendencia o movimiento a largo plazo de la serie.

Analizar:

- **Diagrama de flujo:** Según George (2005) es una representación gráfica de un proceso que se utiliza con el fin de identificar cada paso de este.

- PFMEA: Menciona John (2008), el análisis del modo y efecto de la falla de proceso nos ayuda a identificar las causas y revisar puntos débiles potenciales del proceso, así como especificar prioridades para realizar el análisis y conocer el riesgo de este.
- Diagrama de Ishikawa o causa-efecto: Valderrey (2010) menciona que es creado como herramienta de trabajo en los círculos de calidad. Se utiliza para representar de forma gráfica, clara y precisa qué factores afectan a un problema de calidad. Se puede utilizar para estructurar el resultado de una sesión de tormenta de ideas para detectar las causas y consecuencias de los problemas de un proceso, así las causas se clasifican en categorías debiendo utilizarse aquellas categorías principales que ayuden a que emerja la creatividad de las personas. Este diagrama se utiliza para dar solución a problemas de calidad, aunque puede usarse en la resolución e problemas de cualquier actividad.

#### Mejorar:

- Contraste de hipótesis: Añaguari (2016) menciona que una hipótesis estadística es una afirmación que se hace sobre una o más características de una población. Por lo general, para la comprobación de hipótesis en características de calidad, se contrasta la observación con muestras aleatorias simples de la población ya que ésta última suele ser muy grande.
- Poka-yoke: Según John (2008) es una técnica de calidad que se aplica con el fin de evitar errores en la operación de un sistema. significa prevenir errores o hacer que algo sea a prueba de fallos. Es una práctica Lean que evitará que se presenten errores convirtiendo cualquier actividad u operación en un evento a prueba de fallos, lo cual indica que hay una estandarización de procesos bien definida.

#### Controlar:

- Gráficos de control por atributos y/o variables: Añaguari (2016) menciona que el objetivo final es controlar los procesos mejorados a través de la identificación de los valores establecidos para los parámetros de control del proceso. Una vez determinada en qué momento del proceso se van a realizar estas mediciones se evalúa qué tipo de gráfico es conveniente utilizar si el de variables o el de atributos. Los gráficos de control permiten detectar la actuación de causas especiales de variación sobre el proceso. El gráfico de control por variables se usa para contrastar características de calidad cuantitativas permitiendo el uso de procedimientos de control más eficientes y que nos dan más información sobre el rendimiento del proceso. Por otro lado, los gráficos de control por atributos son utilizados para contrastar características de calidad cualitativas que no pueden representarse convenientemente con números.

- Plan de Control: Según John (2008) Un plan de control es un documento que describe las características críticas para la calidad del producto o proceso. A través de este sistema de monitoreo y control, se cumplirán los requisitos del cliente y se reducirá la variación.

### **Aplicaciones Prácticas**

En los siguientes párrafos se exponen algunas aplicaciones del uso de las metodologías Seis Sigma o Lean Sigma de forma que se puede apreciar el impacto y los beneficios obtenidos en diversas organizaciones.

Santamaria (2005) en su proyecto de implementación de Seis Sigma en la línea de producción de queso mozzarella en la Compañía Del Campo Ltda. Logra observar una alta variación de peso en el producto terminado, desperdicios fuera de control y texturas no aceptables por el cliente. Las actividades del proyecto de implementación se distribuyeron en las fases definir, medir, analizar, mejorar y controlar tal como indica la metodología Seis Sigma. Se obtuvo una reducción significativa de 1,35 y 7,52 desviaciones estándar en el peso por lote de queso mozzarella para las presentaciones de 500 y 700g respectivamente, un incremento de 0,62 niveles sigma para el peso y 0,8 niveles sigma en la textura. El coeficiente de variación se redujo en 1,28 y 1,56% para las presentaciones de 500 y 700g respectivamente. La reducción de defectos por textura dura y reducción de desperdicios no fue significativa. El nivel sigma inicial era de 2,0 y se mejoró hasta llegar a 2,54 unidades. Esto representó la reducción del 50% de los defectos que se producían antes de implementar Seis Sigma. De manera similar, Chávez y Méndez (2014) aplican la metodología Lean Sigma en proceso de producción de troquelado para la manufactura de llantas de equipos caseros e industriales, logrando obtener un nivel Sigma de 2.15 a 5.20. De igual manera, Arcos (2012) reporta la reducción en el desperdicio del 26% al 12% en la empresa Worldmark México dentro del área de flexografía usando la metodología de Seis Sigma y siguiendo los pasos del DMAIC.

Según Martínez y Baldemar (2013) en su proyecto de reducción de costos asociados a los desperdicios de un producto perteneciente a una empresa manufacturera mediante la metodología de Seis Sigma, logra diagnosticar dos causas raíz (sistema deficiente de mantenimiento autónomo y no existe un sistema de recepción de materia prima) que propician los defectos de la producción de un determinado producto. Después de haber implementado dos soluciones: el rediseño del sistema de mantenimiento autónomo y la creación de un sistema de recepción de materia prima, se pudo notar una reducción del 73% de los defectos con respecto al año anterior. En el mismo sentido, Caicedo (2011) aplica un programa Seis Sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones, logrando disminuir la cantidad de producto no conforme, con el uso de herramientas de calidad que permite un adecuado control estadístico. El diseño e implementación del programa redujo la cantidad de producto no conforme aumentando la capacidad de todos los procesos, lo que permitió reducir los costos de no calidad, además de lograr procesos estadísticamente controlados, dando lugar a una menor variabilidad y una mayor facilidad en el control y la medición.

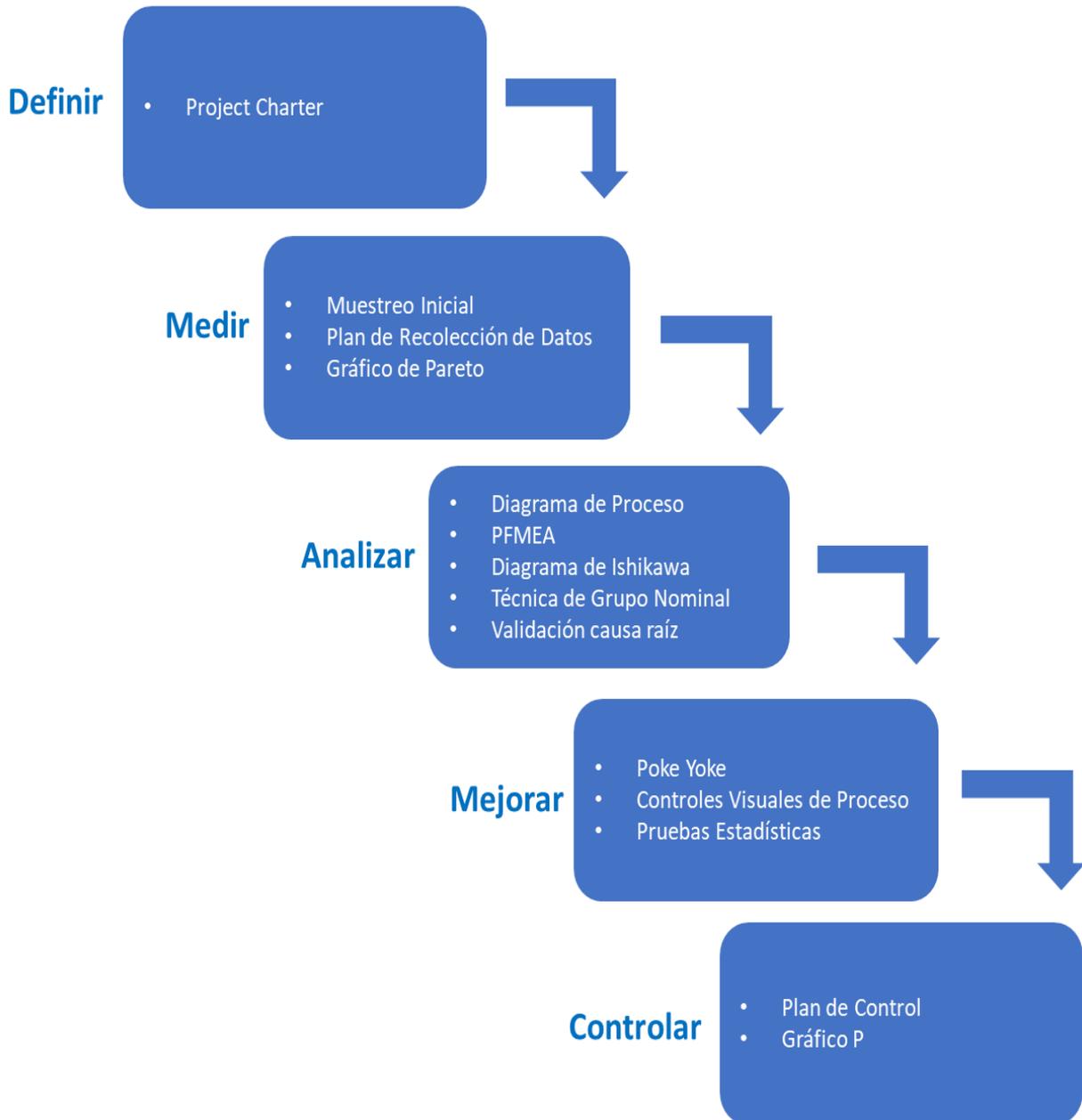
Canónico (2012) nos comparte como la aplicación de Seis Sigma reduce los rechazos de entrega de producto terminado de una empresa multinacional de alimentos al utilizar como guía la herramienta DMAIC, se estudió detalladamente el proceso y su contexto para encontrar la causa del problema. Luego, a través de un plan de implementación de mejoras se ajustaron los procesos para ubicar el comportamiento de los rechazos dentro de los límites esperados y mejorar el nivel de servicio al cliente. El proyecto no sólo reporta un beneficio económico a través de los planes de acción, sino que le reveló a la empresa el poder de una herramienta aplicable a otras áreas. La metodología Seis Sigma dejó de ser una filosofía aplicable únicamente al campo productivo, sino que es adaptable a las áreas de servicios con la misma efectividad. Esta importante empresa multinacional de alimentos no solo obtuvo una mejora en la entrega de producto terminado al cliente, sino que descubrió una manera de optimizar sus recursos y procesos y extenderla en todo su ancho para lograr mayor rentabilidad y maximizar sus ganancias. Según Garambullo y Morales (2017) la aplicación de las herramientas del DMAIC mejora el nivel de entregas de productos con calidad, manteniendo a las empresas competitivas y con expectativas de transferencias de nuevos proyectos para sus clientes.

Por su parte Diago y Mercado (2013) establecen que la metodología Seis Sigma es implementada en la reducción de desperdicios en el proceso de envasado del yogurt purepack de 210 gr en la maquina NIMCO en una empresa de lácteos. Por medio de la metodología DMAIC se logra la reducción de las unidades no conformes generadas por el proceso e incrementa la productividad. El aplicar esta metodología permite identificar la situación problema en el proceso de envasado además de conocer las especificaciones del proceso y del cliente para el producto final, luego de esto define las variables de entrada y salida que intervienen en el proceso y la forma en que afectan la consecución de los requerimientos del proceso y del cliente en el producto. Comenta Diago y Mercado (2013) que conocer el comportamiento de las variables del proceso por medio de mediciones de datos y análisis estadísticos de los mismos para poder determinar las causas directas de la situación problema. Todo lo anterior con el objetivo de proponer estrategias de mejora para la capacidad del proceso, así como su medio de control para asegurar continuidad en el tiempo y efectividad de estas. En otro caso de estudio, Celis, Estrada y Hermosillo (2015) nos comparten como la aplicación de la metodología Lean-Sigma puede ser utilizada en la solución de problemas en procesos de manufactura, presentan una aplicación de la metodología en un proceso que produce componentes fuera de especificaciones, ellos desarrollan cada una de las etapas y proponen una solución de ensamble de autos con ciertos materiales específicos. Según Celis, Estrada y Hermosillo (2015) al aplicar la metodología y resolver el problema mediante un diseño de experimentos, la capacidad del proceso aumenta un 4000% en un tiempo de 6 días y aumentando la capacidad del proceso de un 0.19 a 3.8 sigma. En Rueda (2007), se aplicaron con un objetivo equivalente herramientas relevantes como diagramas de Pareto, análisis del sistema de medición, análisis de modos de falla y efectos, así como contraste de hipótesis, para lograr que la empresa redujera sus niveles de desperdicio de un 9% a menos del 5%.

### 3. METODOLOGÍA

Para este proyecto la metodología propuesta está basada en la metodología Seis Sigma a través del ciclo DMAIC. En la figura 3, se muestran las herramientas que son utilizadas en cada uno de los pasos a lo largo de esta aplicación.

**Figura 3. Etapas de la metodología con las herramientas asociadas**



### Fase Definir

Como parte de este primer paso de la metodología se hace uso de la herramienta Project Charter mostrado en la sección de resultados más adelante. El formato de Project Charter se llena agregando en los campos del formato sus objetivos, alcances, problema, responsables y roles en cada una de las actividades a realizar, así como el impacto financiero. En la sección de resultados se muestra el formato elaborado.

### Fase Medir

En la fase de medir, se lleva a cabo un muestro inicial bajo las condiciones actuales del proceso utilizando la tabla 1. Tomando como referencia la información recabada previamente, se calcula el scrap, y el cumplimiento al programa de producción con el fin de medir las condiciones iniciales del proceso antes de la implementación de la metodología.

**Tabla 1. Formato para muestro de datos bajo condiciones actuales**

Muestra	Fecha	Piezas Programadas	Piezas Producidas	Scrap Piezas	Scrap %	Scrap \$	Cumplimiento programa %

Durante este paso, se aplica la herramienta de plan de recolección de datos, al inicio del turno se le entrega al operario de la máquina un formato de recolección de datos mostrado en la tabla 2. Este formato tiene como propósito medir el tipo de falla que se está presentando en el proceso actualmente con las condiciones iniciales que se tienen.

**Tabla 2. Formato para plan de recolección de datos**

			FALLAS: Anote descripción del desperdicio en el recuadro de abajo y coloque la cantidad encontrada de las misma para cada día de producción				
Muestra	Fecha	Scrap Piezas					
<b>TOTAL</b>							

Una vez obtenidos los datos, en el paso anterior, se aplica el diagrama de Pareto usando el software Minitab versión 18, para identificar el problema más relevante.



**Tabla 4. Formato empleado para documentar el control visual de proceso**

METODO DE OPERACION										Therm-O-Disc	
AREA	TITULO	OPERACIÓN #	REV.	SPEC	FECHA	EQUIPO / HERRAMIENTA / V.O.#	CARACTERISTICA	PAGINA	SEGURIDAD		
									I		
									II		
									III		
									IV		
SIMBOLOGIA			ID	DESCRIPCION DE LA PARTE			P.NL	QTY.	SET-UP / VERIFICACIONES		
 <input type="checkbox"/> PARAMETROS	 <input type="checkbox"/> SET-UP / VERIFICACIONES		1						1		
 <input type="checkbox"/> FOC	 <input type="checkbox"/> OPERACION	 <input type="checkbox"/> SEGURIDAD	2						2		
			3						3		
			4						4		
			5						5		
			6						6		
			7						7		
INSERTE EL DIBUJO EN ESTA AREA											
PUNTOS DE CALIDAD			FORMAS / MISCELANEOS			APROBACION (Mfg. Eng.)			APROBACION (Q.C. Eng.)		

Una vez realizada la mejora se procede a realizar una corrida de comprobación y con la información recabada se aplica una prueba de dos proporciones con un nivel de confianza al 95% para comprobar la reducción significativa de los indicadores actuales para el desperdicio (scrap) y el cumplimiento del programa de producción.

### Fase Controlar

En esta fase se utiliza la herramienta de Plan de Control para dar seguimiento a la eficacia de la prevención, detección y control visual de proceso en la línea de producción y descritos en el PFMEA, se llenan las columnas requeridas en el formato para el Plan de Control. En la sección de resultados se ilustra el formato elaborado una vez implantado el Poka-Yoke. Finalmente, se muestra atreves de un gráfico P la mejora del antes y el después de la implementación del proyecto.

## 4. RESULTADOS

### Fase Definir

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología, iniciando en la fase de definición con el impacto financiero estimado del proyecto que es de \$650,000 pesos, así como el objetivo, alcance, límites del proyecto y miembros que participan en el equipo activo por medio de la herramienta Project Charter mostrada en la tabla 5 a continuación.

**Tabla 5. Project Charter**

		<b>Project Charter</b>		<b>Impacto Financiero</b>
<b>Nombre del Proyecto:</b>	Mejora de nivel de desperdicio en proceso de fabricación de sensores de temperatura	<b>Fecha</b>	8/2/2021	<b>\$650,000</b>
<b>Macro Declaración del Problema</b>	La proporción de piezas defectuosas en promedio es de 25%, llegando a alcanzar hasta un 29%. El incremento en la proporción de piezas defectuosas ha impactado al programa de producción al grado que se tienen registros de cumplimiento que van del 71% al 80%, esto impacta directamente a los costos de pobre calidad de la compañía.			
<b>Objetivo del Proyecto:</b>	Aplicar una metodología de solución de problemas con enfoque de seis sigma para el mejoramiento de un proceso de fabricación de sensores de temperatura para reducir la proporción de piezas defectuosas y el aumento del cumplimiento al programa de producción.			
<b>Alcance y Límites del Proyecto</b>	El alcance de este proyecto se encuentra limitado al análisis de las estaciones de producción que conforman la línea de producción 11/12J Probes: quemado de manga, aplicación de epoxi y curado, ensamble de manga externa, ensamble de terminal, ensamble de conector, prueba de resistencia, prueba de hi-pot, inspección visual, empaque e inspección de calidad., no incluyen posibles factores de almacén de materia prima, transporte y embarques.			
<b>Variable de Respuesta / Descripción del Defecto:</b>	% de scrap y % de cumplimiento al programa de producción			
<b>Cuantificación del Problema</b>				
<b>Condiciones:</b>	Las falla ocurren en un numero de parte exclusivo, el cual es el sensor de temperatura número: 11J1HCM0118.			
<b>Magnitud:</b>	De Noviembre 2020 a Julio 2021 se tiene un costo de pobre calidad \$465,000 pesos.			
<b>Desempeño:</b>	La escala de edicion equivale a la cantidad de dinero por concepto de scrap.			
<b>Periodo de Tiempo:</b>	Agosto 2021 - Noviembre 2021			
<b>Especificaciones:</b>	El porcentaje de scrap debe ser menor a 5% y el cumplimiento al programa de producción superior al 95%			
<b>Miembros del Equipo</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>RESPONSABILIDAD</b>	
	Jesus Bañuelos	Calidad	Lider del Proyecto	
	Alfredo Hernandez	Produccion	Supervisor 1er turno	
	Felipe Hernandez	Produccion	Supervisor 2do Turno	
	Ivan Eligio	Ingenieria	Ing. Manufactura	
	Carlos Chan	Calidad	Inspector de Calidad	
	Manuel Flores	Mantenimiento	Ing. Lider de Mantenimiento	
	Yolanda Romero	Ingenieria	Ing. de Mejora Continua	

**Fase Medir**

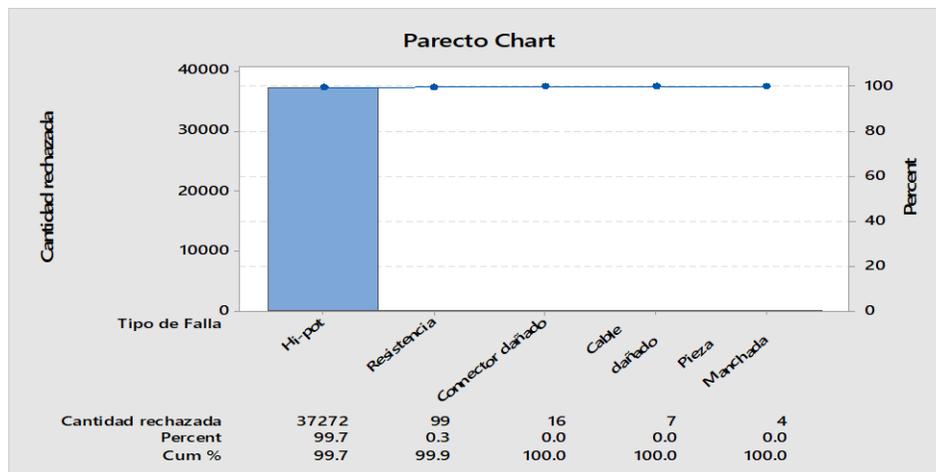
Los resultados para la fase de medir comienzan con los datos recolectados durante el muestreo llevado a cabo bajo las condiciones iniciales del proceso. La tabla 6, nos muestra las corridas realizadas de noviembre 2020 a julio 2021 con la cantidad de piezas programadas y las producidas, así como la cantidad de scrap generado, el cual el promedio es de 25%, con un cumplimiento al programa de producción que va del 71% al 80%. Alcanzando un acumulado de pérdidas financieras durante este periodo por concepto de desperdicio de \$463,440 pesos.

**Tabla 6. Muestra de datos**

Muestra	Fecha	Piezas Programadas	Piezas Producidas	Scrap Piezas	Scrap %	Scrap \$	Cumplimiento programa %
1	9-Nov-20	3000	2173	827	28%	10248	72%
2	16-Nov-20	2000	1512	488	24%	6047	76%
3	23-Nov-20	8000	6299	1,701	21%	21079	79%
4	30-Nov-20	1000	778	222	22%	2751	78%
5	7-Dec-20	3000	2321	679	23%	8414	77%
6	14-Dec-20	2000	1415	585	29%	7249	71%
7	18-Jan-21	3000	2199	801	27%	9926	73%
8	25-Jan-21	5000	3998	1002	20%	12417	80%
9	1-Feb-21	3000	2360	640	21%	7931	79%
10	8-Feb-21	3000	2311	689	23%	8538	77%
11	15-Feb-21	4000	2906	1094	27%	13557	73%
12	22-Feb-21	8000	5794	2,206	28%	27337	72%
13	1-Mar-21	3000	2131	869	29%	10769	71%
14	8-Mar-21	6000	4250	1,750	29%	21686	71%
15	15-Mar-21	7000	5011	1989	28%	24648	72%
16	22-Mar-21	5000	3952	1048	21%	12987	79%
17	5-Apr-21	7000	5117	1883	27%	23334	73%
18	12-Apr-21	2000	1436	564	28%	6989	72%
19	19-Apr-21	8000	6338	1662	21%	20596	79%
20	26-Apr-21	11000	8496	2504	23%	31030	77%
21	3-May-21	1000	740	260	26%	3222	74%
22	10-May-21	10000	7541	2459	25%	30472	75%
23	17-May-21	6000	4253	1747	29%	21649	71%
24	24-May-21	3000	2354	646	22%	8005	78%
25	31-May-21	9000	6788	2212	25%	27411	75%
26	14-Jun-21	6000	4391	1609	27%	19939	73%
27	21-Jun-21	10000	7833	2167	22%	26854	78%
28	28-Jun-21	7000	5513	1487	21%	18427	79%
29	5-Jul-21	5000	3901	1099	22%	13619	78%
30	12-Jul-21	2000	1491	509	25%	6308	75%

Posteriormente, el gráfico de Pareto mostrado en la figura 4, corresponde a los registros obtenidos a través de la herramienta de recolección de datos, en donde se determinó como se distribuye el scrap y su principal rechazo derivado de fallas de Hi-pot, la cual es una prueba eléctrica realizada al componente para determinar la efectividad de su aislamiento o también conocida como prueba de alto voltaje. Los resultados del gráfico muestran que la falla de Hi-pot contribuye con más del 99% de las incidencias, de tal forma que al resolverse este problema se reduce la mayor parte del desperdicio.

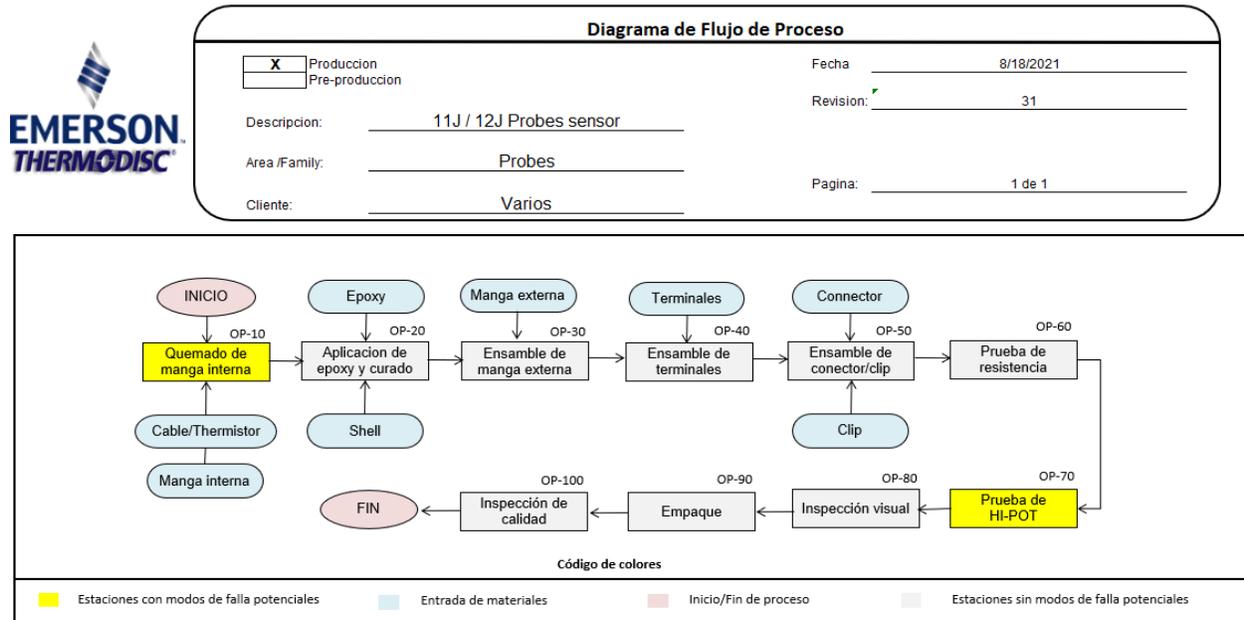
**Figura 4. Gráfico de Pareto**



## Fase Analizar

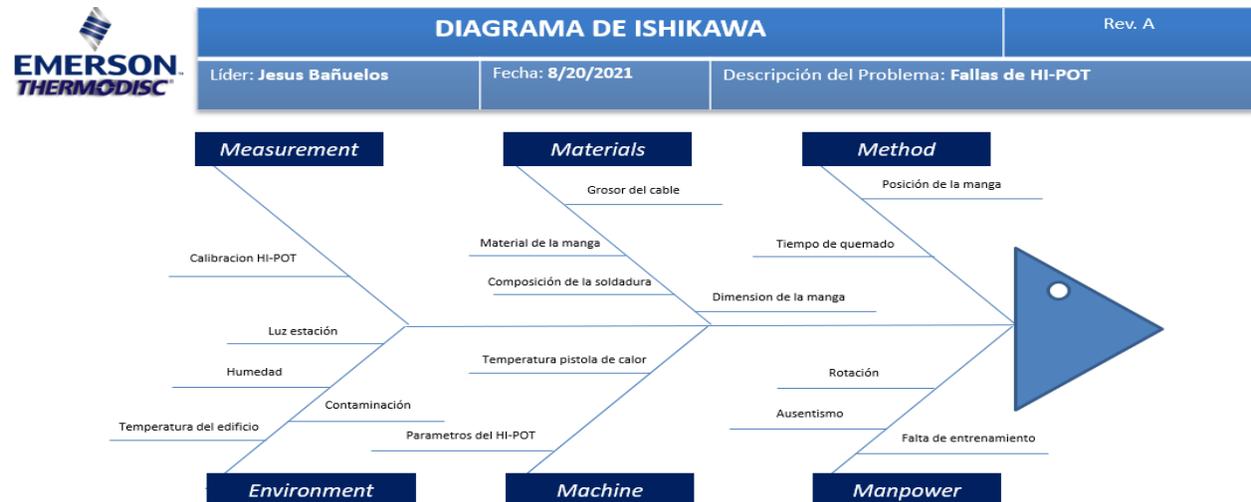
Para la fase de analizar, se desarrolló el diagrama de proceso evidenciando las estaciones que contribuyen potencialmente con una falla de hi-pot. En la figura 5, se resaltan en amarillo las estaciones que tienen relación con el problema de la falla de hi-pot.

**Figura 5. Diagrama de Proceso**



Posteriormente, basados en las estaciones que potencialmente afectan la falla de hi-pot se desarrolló el análisis de modos y efectos de la falla del proceso que se puede revisar en el anexo A, este nos ayudo como una entrada a la creación del diagrama de Ishikawa, desarrollado por el equipo multifuncional y estipulado en el Project Charter. El diagrama de Ishikawa se puede apreciar en la figura 6 donde se identifican las causas potenciales para una falla de hi-pot.

**Figura 6. Diagrama de Ishikawa**



Después de aplicar la técnica de grupo nominal se determinó por el panel de expertos que el problema esta relacionado con el método y la máquina, dado que las ponderaciones más altas fueron la posición de la manga interna durante el quemado de esta y el tiempo de exposición al quemado por parte del método, así como la temperatura de la pistola de calor por parte de la maquinaria. Los resultados de las ponderaciones se pueden apreciar en la tabla 7.

**Tabla 7. Resultados técnica de grupo nominal**

CAUSA POTENCIAL BASADO EN DIAGRAMA ISHIKAWA																	
Nombre	Calibración Hi-pot	Luz estación	Humedad	Temperatura edificio	Contaminación	Material Manga	Grosor cable	Composición soldadura	Temperatura pistola	Parametros Hi-pot	Posición manga	Tiempo quemado	Dimension manga	Rotación personal	Ausentismo personal	Falta entrenamiento	TOTAL
Jesus Bañuelos	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	50	25	0	0	0	0	100
Alfredo Hernandez	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	30	10	0	0	0	100
Felipe Hernandez	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	40	30	10	0	0	0	100
Ivan Eligio	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	50	30	0	0	0	0	100
Carlos Chan	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	30	20	0	10	10	10	100
Manuel Flores	10	0	0	0	0	10	10	10	10	10	20	10	10	0	0	0	100
Yolanda Romero	0	10	10	10	10	0	0	0	20	0	10	20	10	0	0	0	100
<b>Totales puntuación</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	145	10	230	165	40	10	10	10	700

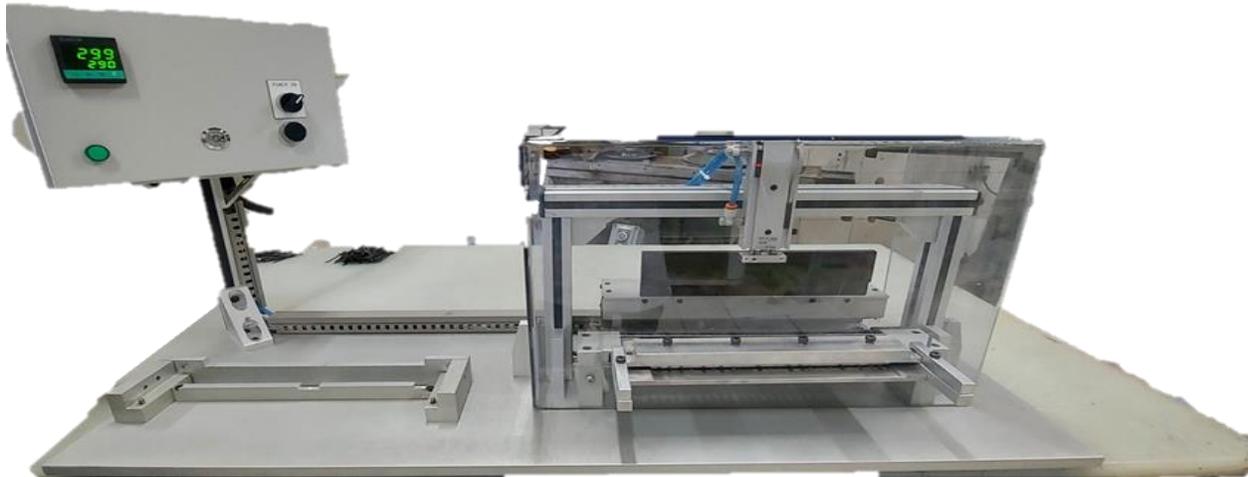
Finalmente, para la fase de analizar, se procedió a validar las causas raíz a través de dos técnicas; la reproducción intencional de piezas con las condiciones de tiempo de exposición, temperatura de la pistola y posición de la manga y el análisis de desensamble de partes defectuosas confirmadas. Para la primera técnica de validación, se crearon piezas con mangas fuera de posición que no cubrieran completamente las uniones de soldadura, tiempos de quemado altos que logren derretir la manga evitando su protección y tiempos de quemado bajos que hagan que la manga quede floja y por consecuencia fuera de posición, así como temperaturas de quemado altas y bajas que provocan el mismo efecto que el tiempo, encontrando fallas de hi-pot en todos los casos experimentado. Como segunda técnica de validación empleada, se desensamblaron piezas confirmadas con falla de hi-pot del proceso de producción, encontrándose piezas con mangas fuera de posición, mangas sueltas generadas por baja temperatura y/o bajos tiempos de quemado, así como mangas quemadas generadas por altas temperaturas y/o altos tiempos de quemado. De tal modo que a través de ambas técnicas se corroboraron las tres condiciones identificadas como causa raíz de la falla de hi-pot.

### Fase Mejorar

Para la fase de mejorar, se desarrolla un dispositivo poke yoke mostrado en la figura 7, el cual tiene como fin, evitar la generación de piezas con mangas fuera de posición puesto que cuenta en su diseño con un tope mecánico que asegura la posición de la manga una vez que se coloca dentro del subensamble con el fin de evitar uniones y componentes expuestos fuera de la misma, adicionalmente, un seguro mecánico fija la pieza para asegurar que la manga mantenga su posición durante el proceso de quemado. El mismo dispositivo poke yoke nos asegura la temperatura en el proceso de adhesión de la manga al subensamble dado que cuenta con una cámara de quemado controlada, en la cual, si la temperatura del dispositivo no se encuentra en los 290°C fijados como la temperatura óptima de quemado de acuerdo con las especificaciones del material proporcionadas por el proveedor de la manga,

la maquina no iniciara su proceso de quemado. Para cuestiones del tiempo de quemado, el poke yoke esta programado para que cada ciclo de quemado sea de 20 segundos en los cuales estará el material expuesto dentro de la cámara, este tiempo también fue obtenido de las especificaciones del proveedor de la manga como el óptimo de quemado.

**Figura 7. Poke Yoke**



Para la validación del equipo se realizan 120 ciclos productivos, donde se asegura mediante termómetro digital calibrado, que no exista variación entre la temperatura de la pantalla del equipo comparada con la temperatura real de la cámara de quemado y temperaturas fuera de las especificaciones de proveedor, se toman tiempos de los ciclos por medio de cronometro digital calibrado para verificar la programación de la maquina a 20 segundos por ciclo de quemado y se revisa visualmente que cada pieza del ciclo se encuentre en posición fija hasta el tope sin movimiento, se validan cuestiones de seguridad al asegurar que la maquina inicie ciclo solo si ambas manos están apretando las dos botoneras y que no se tenga acceso a la cámara de quemado una vez puesta la guarda de seguridad del equipo. Posteriormente, se desarrollan los controles visuales de la estación, utilizando las hojas de operación y ayudas visuales del proceso, donde el usuario recibe sus competencias para operar el dispositivo, se detallan los pasos a seguir para el proceso de quemado de manga mediante el uso del poke yoke, describiendo los controles de seguridad, calidad y el plan de reacción a seguir en caso de cualquier anomalía, la hoja de método y sus ayudas visuales son mostrada en el anexo B. Al final de esta fase, se desarrolla la validación de la metodología propuesta por medio de la prueba estadística de 2 proporciones, en la tabla 8 se presenta la prueba de hipótesis realizada para las piezas defectuosas y el cumplimiento al programa de producción, en el desarrollo de esta prueba estadística se utilizan los datos de las corridas obtenidos de noviembre 2020 a julio 2021 comparados con los datos obtenidos en las corridas realizadas después de la implementación de la mejora propuesta en octubre 2021, obteniendo como resultado en ambos casos un rechazo de la hipótesis nula puesto que se obtienen valores P de 0.000, utilizando un nivel de confianza al 95%.

**Tabla 8. Pruebas estadísticas**

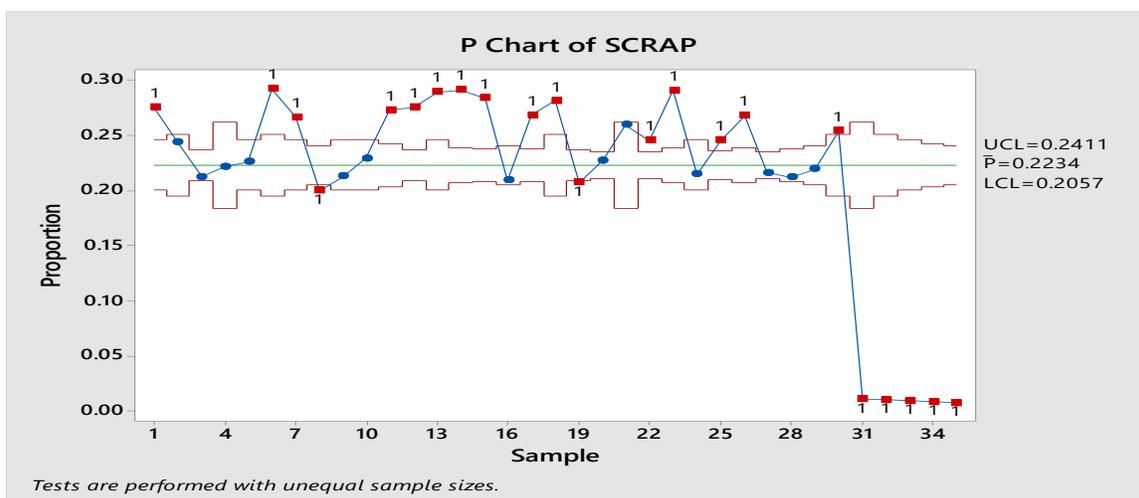
Tipo de prueba estadística	Variable	Resultados	Decisión																													
2 Proporciones	Piezas defectuosas	<p><b>Test and CI for Two Proportions</b></p> <p><b>Method</b>  <math>p_1</math>: proportion where Sample 1 = Event  <math>p_2</math>: proportion where Sample 2 = Event  Difference: <math>p_1 - p_2</math></p> <p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Event</th> <th>Sample p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sample 1</td> <td>153000</td> <td>37398</td> <td>0.244431</td> </tr> <tr> <td>Sample 2</td> <td>15000</td> <td>135</td> <td>0.009000</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Difference</th> <th>95% Lower Bound for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.235431</td> <td>0.233224</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>CI based on normal approximation</i></p> <p><b>Test</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Null hypothesis</td> <td><math>H_0: p_1 - p_2 = 0</math></td> </tr> <tr> <td>Alternative hypothesis</td> <td><math>H_1: p_1 - p_2 &gt; 0</math></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Method</th> <th>Z-Value</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal approximation</td> <td>175.40</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>Fisher's exact</td> <td></td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Event	Sample p	Sample 1	153000	37398	0.244431	Sample 2	15000	135	0.009000	Difference	95% Lower Bound for Difference	0.235431	0.233224	Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$	Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 > 0$	Method	Z-Value	P-Value	Normal approximation	175.40	0.000	Fisher's exact		0.000	Rechazar hipótesis de igualdad de proporciones
Sample	N	Event	Sample p																													
Sample 1	153000	37398	0.244431																													
Sample 2	15000	135	0.009000																													
Difference	95% Lower Bound for Difference																															
0.235431	0.233224																															
Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$																															
Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 > 0$																															
Method	Z-Value	P-Value																														
Normal approximation	175.40	0.000																														
Fisher's exact		0.000																														
2 Proporciones	Cumplimiento al programa de producción	<p><b>Test and CI for Two Proportions</b></p> <p><b>Method</b>  <math>p_1</math>: proportion where Sample 1 = Event  <math>p_2</math>: proportion where Sample 2 = Event  Difference: <math>p_1 - p_2</math></p> <p><b>Descriptive Statistics</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Sample</th> <th>N</th> <th>Event</th> <th>Sample p</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sample 1</td> <td>153000</td> <td>115602</td> <td>0.755569</td> </tr> <tr> <td>Sample 2</td> <td>15000</td> <td>14865</td> <td>0.991000</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>Estimation for Difference</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Difference</th> <th>95% Upper Bound for Difference</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-0.235431</td> <td>-0.233224</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>CI based on normal approximation</i></p> <p><b>Test</b></p> <table border="1"> <tbody> <tr> <td>Null hypothesis</td> <td><math>H_0: p_1 - p_2 = 0</math></td> </tr> <tr> <td>Alternative hypothesis</td> <td><math>H_1: p_1 - p_2 &lt; 0</math></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Method</th> <th>Z-Value</th> <th>P-Value</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Normal approximation</td> <td>-175.40</td> <td>0.000</td> </tr> <tr> <td>Fisher's exact</td> <td></td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	Sample	N	Event	Sample p	Sample 1	153000	115602	0.755569	Sample 2	15000	14865	0.991000	Difference	95% Upper Bound for Difference	-0.235431	-0.233224	Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$	Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 < 0$	Method	Z-Value	P-Value	Normal approximation	-175.40	0.000	Fisher's exact		0.000	Rechazar hipótesis de igualdad de proporciones
Sample	N	Event	Sample p																													
Sample 1	153000	115602	0.755569																													
Sample 2	15000	14865	0.991000																													
Difference	95% Upper Bound for Difference																															
-0.235431	-0.233224																															
Null hypothesis	$H_0: p_1 - p_2 = 0$																															
Alternative hypothesis	$H_1: p_1 - p_2 < 0$																															
Method	Z-Value	P-Value																														
Normal approximation	-175.40	0.000																														
Fisher's exact		0.000																														

**Fase Controlar**

En esta fase final se actualiza el PFMEA en la sección de acciones recomendadas para agregar los controles de proceso implementados con sus evaluaciones de riesgo para el requerimiento y modo de falla de las estaciones impactadas en el análisis inicial, bajando la ocurrencia de 7 y 9 a 2, las detecciones de 5 a 1, dando como resultado un numero prioritario de riesgo de 315 y 140 reducidos a 14 para los modos de falla de manga abierta, quemada, desalineada o suelta, el documento se puede ver detalladamente en el anexo A. Posterior, se presenta el Plan de Control, mostrado en el anexo C, donde

se establecen las verificaciones y controles a seguir en el proceso, se agregan verificaciones al poke yoke por parte del equipo de producción y calidad con frecuencias de inicio de turno, cada descanso o cambio de modelo para revisar los parámetros óptimos de temperatura, tiempo y posición del equipo a través del checklist de revisión y liberación del proceso, todo esto agregado a la hoja de operación como método de control y se agrega el plan de reacción a seguir en caso de cualquier anomalía o discrepancia encontrada durante las revisiones del plan del control. Finalmente, en la figura número 8 se observa a través de un gráfico P, como las muestras 31 a la 35, las cuales son las cinco corridas realizadas después de la metodología implementada tienen una proporción de piezas defectuosas inferior comparadas con las muestras 1 a la 30, que fueron realizadas antes de la implementación del proyecto.

**Figura 8. Gráfico P**



## 5. CONCLUSIONES

El caso de estudio presenta dos hipótesis para la comprobación de la metodología propuesta.

Uno, con un nivel de confianza del 95% y con un valor P de la prueba de hipótesis de 0.000, se puede concluir que la proporción de piezas defectuosas es mayor antes de aplicar la metodología propuesta, lo cual tiene como resultado la reducción de la proporción del 24.4431% al 0.90%.

Dos, a un nivel de confianza del 95% y con un valor de la prueba de hipótesis de P igual a 0.000, se puede concluir que el cumplimiento al programa de producción es menor antes de la aplicación de la metodología propuesta, lo cual indica que el cumplimiento incrementa del 75.5569% al 99.10%.

Se recomienda para lograr una meta de 0 defectos, un estudio adicional repitiendo el ciclo DMAIC, analizando el diagrama de Ishikawa para entender que otras variables afectan al proceso y producto, tales como la dimensión de la manga y lograr eliminar el .90% de piezas defectuosas restante, la cuales representan un estimado de \$5,850 pesos anuales aproximadamente, adicionalmente, se recomienda implementar a través de un gráfico P el monitoreo y control del proceso.

## REFERENCIAS

- (1) García A. (2014). *Lean Manufacturing in the developing world*. Suiza, Springer.
- (2) De Feo, J. (2004). *Más allá de Seis Sigma: [estrategias para generar valor]*. USA, S.A. McGraw-Hill / Interamericana De España.
- (3) Valderrey, P. (2010). *Seis Sigma*. Madrid, Starbook Editorial.
- (4) John, A. (2008). *Six Sigma+Lean Toolset*. Frankfurt, Alemania, Ed. Springer.
- (5) George, M. (2005). *Lean Six Sigma Pocket Toolbook*. Nueva York, USA, Ed. McGraw-Hill.
- (6) Añaguari, M. (2016). *Integración Lean Manufacturing y Seis Sigma, aplicación pymes*. Artículo. [En línea] Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/72921/TFM>
- (7) Santamaria, V. (2005). *Implementación de Seis Sigma en la línea de producción de queso mozzarella en la Compañía Del Campo Ltda.* [En línea] Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/AGI-T034.pdf>
- (8) Martínez, M & Baldemar, J. (2013). *Reducción de costos asociados a los desperdicios de un producto perteneciente a una empresa manufacturera (Reducing costs associated with waste from a product of a manufacturing company)*. Artículo. [En línea] Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/12588/1/A3.pdf>
- (9) Arcos, E. (2012). *Reducción en el desperdicio del 26 al 12 por ciento en Worldmark México dentro del área de flexografía usando la metodología de Seis Sigma*. Artículo. [En línea] Disponible en: [repositorio.iteso.mx/bitstream/handle/11117/3414/TOG\\_Esteban\\_Arcos.pdf](http://repositorio.iteso.mx/bitstream/handle/11117/3414/TOG_Esteban_Arcos.pdf)
- (10) Caicedo, N. (2011). *Aplicación de un programa Seis Sigma para la mejora de calidad en una empresa de confecciones*. Artículo. [En línea] Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/4208330.pdf>
- (11) Canonico, P. (2012). *Aplicación de Six Sigma para la reducción de rechazos de entrega de producto terminado de una empresa multinacional de alimentos*. Artículo. [En línea] Disponible en: <https://ri.itba.edu.ar/bitstream/handle/123456789/197>
- (12) Diago, V. & Mercado, V. (2013). *Reducción de desperdicios en el proceso de envasado del yogurt purepack de 210g en la maquina Nimco en una empresa de lácteos, mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma*. Artículo. [En línea] Disponible en: <http://repositorio.cuc.edu.co/xmlui/handle/160>
- (13) Celis, O., Estrada, J. & Hermosillo, F. (2015). *Aplicación de la metodología Lean-Sigma en la solución de problemas en procesos de manufactura: Caso de Estudio*. Artículo. [En línea] Disponible en: <http://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/848>
- (14) Chávez, C. & Mendez, J. (2014). *Aplicación de la manufactura Lean a un proceso de troquelado*. Artículo. [En línea] Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/tesis.pdf>
- (15) Morales, A. & Garambullo, A. (2017). *Aplicación de metodología lean Seis Sigma para la reducción de defectos en la producción de lentes dentro de la empresa formula Plastics de México S. A de C. V. En Tecate B. C.* Artículo. [En línea] Disponible en: <https://www.cdhis.org.mx/index.php/CAGI/article/119/175>
- (16) Rueda, Y. (2007). *Aplicación de la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing para la reducción de costos, en la producción de jeringas hipodérmicas desechables*. Artículo. [En línea] Disponible en: <https://tesis.ipn.mx/jspui/handle/123456789/489>

A. PFMEA

**FAILURE MODE AND EFFECT ANALYSIS**

Part Number: 473870/11JHCM0118 PFMEA No: PFMEA 11J / 12J Key Contact: Ivan Eligio - ME

Description: 11-12 PROBES Revisión: 31 Key Contact Telephone: 656 3734763

Drawing: 473870 / Rev. 0 Original Date: 12/15/2014 Core Team: Jesús Bañuelos - QA

Customer: VARIOS Revision Date: 10/18/2021 Alfredo Hernandez - Sup.

Felipe Hdz. - Sup.

Manuel Martinez - Sup.

This FMEA is CONFIDENTIAL and PROPRIETARY information of Therm-O-Disc, Inc. It may not be copied or distributed without the prior written consent of Therm-O-Disc

Item No.	Item / Function	Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	C I a s	Severity	Potential Cause(s) of Failure	Occurrence	Current Process Control Prevention	Current Process Control Detection	Detection	RPN	Recommended Action(s)	Responsibility & Target Complete Data	Action Results				
															SEV	OCC	DET	RPN	
10	Queimado de manga interna	Aplicación de manga a subensamble para cubrir thermistor y sus uniones	Numero de parte correcto	Rendimiento bajo	n/a	3	Material no identificado o mala identificación	2	Especificaciones de dibujo	Inspeccion visual	7	42	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
			Insulación quemada	Degradación de las funciones del sensor	n/a	6	Alto tiempo de exposición a temperatura o alta temperatura	4	Instrucción de operación y entrenamiento al operario	Inspección visual y prueba de hi-pot	5	120							
			Manga quemada	Falla de hi-pot	n/a	7	Alto tiempo de exposición a temperatura o alta temperatura	9	Instrucción de operación y entrenamiento al operario	Inspección visual y prueba de hi-pot	5	315							
			Manga abierta	Falla de hi-pot	n/a	7	Bajo tiempo de exposición a temperatura	4	Instrucción de operación y entrenamiento al operario	Inspección visual y prueba de hi-pot	5	140							
70	Prueba de HI-POT conformantes	Partes probadas por HI-POT conformantes	Manga desalineada	Falla de hi-pot	n/a	7	Operador no siguió el método de operación	9	Instrucción de operación y entrenamiento al operario	Inspección visual y prueba de hi-pot	5	315							
			Manga suelta	Falla de hi-pot	n/a	7	Tiempo de quemado o temperatura de quemado no es suficiente o el equipo tiene variación.	4	Rutina de mantenimiento a la maquinaria y equipo	Inspección visual y prueba de hi-pot	5	140							
			Escape de corriente	Falla funcional	n/a	7	Equipo no estable	2	Mantenimiento y calibración de equipo	Dummy parts	5	70							
			Segregación incorrecta de scrap	Piezas no conformantes entregadas al cliente	n/a	7	Incorrecto setup de tiempo, corriente o voltage	2	Revisión de setup	Dummy parts	5	70							

## B. Controles Visuales

METODO DE OPERACION									
AREA	TITULO	OPERACION #	REV.	FECHA	EQUIPO/ HERRAMIENTA	CARACTERISTICA	PAGINA	SEGURIDAD	PARAMETROS
11/12J	Quemado de Manga	MDO-010	A	10/18/2021	Poke yoke	Quemado	1 De 1		TEMPERATURA DE POKE YOKE 290°C±10°C
<input checked="" type="checkbox"/> PARAMETROS <input checked="" type="checkbox"/> SET-UP / VERIFICACIONES <input checked="" type="checkbox"/> SEGURIDAD <input checked="" type="checkbox"/> TOC <input type="checkbox"/> OPERACION		ID		DESCRIPCION DE LA PARTE		P.N.		QTY.	
		1		11J THERMISTOR PROBE SENSOR DE TEMPERATURA		473870		TODAS	
INSERTE EL DIBUJO EN ESTA AREA									
<p><b>1</b></p> <p>Coloque subensamble dentro de las ranuras de la fixtura hasta completar 25 piezas. La punta de los termistores debera de estar completamente tocando la orilla de la fixtura.</p>		<p><b>2</b></p> <p>Coloque el sujetador de posición guiado por los dos pins en los extremos de la fixtura y asegure ambos ganchos de seguridad alineados a la fixtura</p>		<p><b>3</b></p> <p>Desmonte de la base y coloque manga en cada subensamble</p>		<p><b>4</b></p> <p>Inserte la fixtura en la camara de quemado y presione ambos botones para iniciar el ciclo de la maquina.</p>		<p><b>PLAN DE REACCION</b></p> <p>1.- En caso de encontrar una pieza con dañada, detenga a su operación y segregue la pieza sospechosa en el contenedor de scrap. Notifique a su Jefe de Grupo y/o Supervisor</p> <p>2.- En caso de encontrar dos o mas piezas sospechosas, detenga su operación y notifique a su supervisor, Ingeniería o Calidad de ser necesario</p>	
<p><b>5</b></p> <p>Automáticamente la camara de quemado y pisador se accionaran durante 20 segundos.</p>		<p><b>6</b></p> <p>Desmonte fixtura de la base, remueva ganchos de seguridad y sujetador de piezas de los pins.</p>		<p><b>7</b></p> <p>Remueva piezas de la fixtura e inspeccione que estén exactamente como la imagen superior, para criterios de manga referencia ayuda visual AV-010</p>		<p><b>8</b></p> <p>Siga los pasos del plan de reacción</p>			
PUNTOS DE CALIDAD			APROBACION (Producción)			APROBACION (Mfg. Eng.)			APROBACION (Q.C. Eng.)
Revisar temperatura del equipo en pantalla de acuerdo a parametros			Alfredo Hernandez			Yolanda Romero			Jesús Bañuelos

### C. Plan de Control

**QUALITY CONTROL PLAN**

Part Number: 473870 (1) (H)CM0118      Control Plan Number: CP 11/12J      Key Contact: JESUS BAÑUELOS - QA

Description: 11-12J PROBES      Control Plan Revision: 31      Contact Phone: 666 227-1050

Drawing: 473870      Rev: 0      Process Original Date: 15-Dec-14      Core Team: YOLANDA ROMERO - ME

Customer: VARIOUS      Process Revision Date: 18-Oct-21      ALFREDO HERNANDEZ - SUP

Prototype     
  Pre-Launch     
  Production

FELIPE HERNANDEZ - SUP  
 MANUEL MARTINEZ - SUP



Process Number	Process Name or Operations Description	Machine, Device, Tooling for Mfg.	Characteristic				Methods				Responsible	Reaction Plan										
			No.	Product	Process	Special Char.	Spec. and Tolerance (Product / process)	Evaluation / Measurement	Sampling				Control Method									
									Frequency	Quantity												
10	Quemado de manga interna	N/A	1	Número de parte de acuerdo a dibujo	N/A	N/A	1. Numero de parte 97840 2. Manga 3mm +/- 1mm dimension	Vernier	Starting Shift	Piezas	Checklist TOD-FORM-081	Producción / Calidad	Detenga el proceso, notifique a su supervisor inmediato y segregue material sospechoso para disposición.									
									Per Break	Piezas												
									Starting Shift	Revisión				Checklist TOD-FORM-081	Producción / Calidad							
									Per Break	Revisión												
									2	Insulación de cable sin quemado				N/A	N/A	N/A	1. Temperatura: 290°C +/- 10°C 2. Tiempo: 20 Segundos	Revisión visual	Starting Shift	Revisión	Checklist TOD-FORM-081	Producción / Calidad
																			Per Break	Revisión		
3	Manga no dañada por quemado	N/A	N/A	N/A	1. Exposición de soldadura o cable no permitida 2. Temperatura: 290°C +/- 10°C 3. Tiempo: 20 Segundos	Revisión visual	Starting Shift	Revisión	Checklist TOD-FORM-081 Hoja de Operación MDO-010	Producción / Calidad												
							Per Break	Revisión														
4	Manga completamente adherida al subsensamble	N/A	N/A	N/A	N/A	Revisión visual	Starting Shift	Revisión	Checklist TOD-FORM-081 Hoja de Operación MDO-010	Producción / Calidad												
							Per Break	Revisión														
5	Manga alineada al subsensamble	N/A	N/A	N/A	N/A	Revisión visual	Starting Shift	Revisión	Checklist TOD-FORM-081 Hoja de Operación MDO-010	Producción / Calidad												
							Per Break	Revisión														
6	Manga sin movimiento de subsensamble	N/A	N/A	N/A	N/A	Revisión visual	Starting Shift	Revisión	Checklist TOD-FORM-081 Hoja de Operación MDO-010	Producción / Calidad												
							Per Break	Revisión														