

Título del Proyecto de Investigación
al que corresponde el Reporte Técnico:

Registro automático de temperatura y activación de alarmas en
cuatro zonas de un horno de extrusión.

Tipo de financiamiento

Con financiamiento

Fecha de Inicio: 30/11/2021
Fecha de Término: 30/11/2022

Tipo de Reporte

Parcial

Final

Autor (es) del reporte técnico:

M.C. Lidia Hortencia Rascón Madrigal
M.C. Héctor Manuel Loya Caraveo

Registro automático de temperatura y activación de alarmas en cuatro zonas de un horno de extrusión

Resumen del reporte técnico en español (máximo 250 palabras)

Se presenta un sistema de medida y registro de temperatura inalámbrico para 4 zonas de un horno, también aplicable monitorizar la temperatura en tinas de lavado. El sistema está integrado por 4 emisores que miden y envían la temperatura por medio del protocolo LoRa y un receptor colocado de 10 m a 57 m de distancia, que colecta y almacena las lecturas de temperatura. Se utiliza: termopar tipo K, circuito de acondicionamiento, módulo LoRa32. Los resultados en las pruebas realizadas durante las medidas en la empresa con distancias de 10 m, 20 m y 57 m de separación entre emisor y receptor mostraron buen desempeño, sin pérdida de datos. Se concluye que es factible medir, registrar de manera inalámbrica la temperatura en habitaciones contiguas a una distancia de 57 m.

Resumen del reporte técnico en inglés (máximo 250 palabras):

A wireless temperature measurement and recording system for 4 zones of an oven is presented, also applicable to monitor the temperature in washing tubs. The system is made up of 4 transmitters that measure and send the temperature through the LoRa protocol, and a receiver placed from 10 m to 57 m away, which collects and stores the temperature readings. Used: K type thermocouple, conditioning circuit, LoRa32 module. The results in the tests carried out during the measurements in the company with distances of 10 m, 20 m and 57 m between transmitter and receiver showed good performance, without data loss. It is concluded that it is feasible to measure, wirelessly record the temperature in adjacent rooms at 57 m.

Palabras clave: Temperatura measure, Wireless, LoRa.

Usuarios potenciales (del proyecto de investigación)

Empresa Grupo IMSSA.

Reconocimientos

Agradecimientos a Grupo IMSSA, Ing. Karla Rodríguez.

1. Introducción

Los sistemas de medida de temperatura tienen diferentes aplicaciones, en aplicaciones industriales, existen diferentes tipos de termopares para la aplicación que se desarrolla en este proyecto. Monitorización de temperatura en 4 zonas de un horno de extrusión que trabaja en un

rango de temperatura de 500°C se utiliza un termopar tipo k, un circuito de acondicionamiento que realiza la compensación de unión fría y linealización de las mediciones, cinco módulos LoRa32, cuatro emisores y 1 receptor para registrar en un archivo de texto o Excel las medidas de temperatura. A partir del registro de la información cada 10 s el usuario final, genera indicadores y alarmas visuales que se muestran en las pantallas de la empresa. El proyecto se desarrolló utilizando la plataforma IDE de Arduino, programación en Lenguaje C, se probó utilizando un horno académico ubicado en los laboratorios de la UACJ y unas tinajas de lavado de materiales en la empresa, se realizaron pruebas a diferentes distancias: 10 m, 20 m, 57 m en movimiento, los resultados fueron satisfactorios en la medida, envío y recepción de datos. A la fecha se ha implementado dos emisores y un receptor, aún falta algo de trabajo por realizar para conectar los cuatro emisores y realizar la caracterización del sistema completo con un medido de referencia calibrado.

2. Planteamiento

Una empresa local llamada grupo IMSSA realiza una mejora al proceso de recolección y monitorización de datos de la variable temperatura en un horno de extrusión, para la empresa es importante conocer la temperatura del horno durante el proceso de producción, con esta información puede generar reportes para las auditorías e incluso para queja de cliente debido a que cuenta con los argumentos para evidenciar el comportamiento de la temperatura durante la producción. Sin embargo, el problema actual que presenta la empresa estriba en el registro manual de la temperatura en cuatro zonas del horno. El operador registra en papel cada hora las mediciones de la temperatura realizando inspección visual, posteriormente registra las lecturas en un archivo de Excel y finalmente se capturan en una base de datos. Los procesos manuales son susceptibles de errores en el registro o captura de datos, además no se tiene información de la temperatura en los intervalos de muestreo.

2.1 Antecedentes

Actualmente se produce una gran variedad de productos de metal a niveles industriales. En 2020 Panishevel, dio a conocer que los hornos de resistencia eléctrica de cámara industrial (ERF, por sus siglas en inglés) proveen un tratamiento térmico en serie de estos productos metálicos [1]. Uno de los más importantes componentes del proceso tecnológico es el proceso del tratamiento térmico del metal. El proceso tecnológico requiere un mantenimiento de temperatura uniforme de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta 1100 °C. La mayoría de los hornos de resistencia eléctrica usan un control más simple de temperatura, es decir, control mediante relevador, donde el sistema de cambio del control es solo dos opciones: encendido y apagado. En el caso del estado encendido, la temperatura

dentro del horno aumenta, debido a que su potencia siempre selecciona un margen. En el estado de apagado, la temperatura disminuye en una curva exponencial.

Con los requisitos de precisión y calidad sobre el control de temperatura y la posibilidad de implementar algunos algoritmos complejos de control, para esto es necesario desarrollar modelos refinados de un ERF y un control de temperatura. Con una variación de los parámetros de los elementos del horno, como la capacidad calorífica y el coeficiente de transferencia de calor, se puede simular cualquier horno real. También las capacidades de los modelos matemáticos son más amplias que las de un sistema real, ya que se pueden usar para medir cantidades que no se pueden obtener en un experimento. El modelo del horno contiene los elementos calefactores HE, la cámara de calor HC y el cuerpo del horno B en forma de elementos de retardo. La temperatura se tiene en cuenta en el modelo como una perturbación que llega a la entrada del elemento de retraso. Los elementos del modelo interactúan mediante la retroalimentación. Así, todos los elementos calefactores transfieren el calor hacia la cámara de calentamiento y, a su vez, al tener una temperatura más baja de la normal, quita el calor del elemento calefactor, evitando el calentamiento de este.

Por otro lado, los parámetros de los elementos dentro del modelo ERF se calculan en función de las leyes de transferencia de calor o determinan en base de los experimentos. Este modelo nos permite analizar y sintetizar el controlador de temperatura, calcular la distribución de temperaturas dentro del horno en las condiciones dinámicas y estáticas, y también a comparar diferentes versiones del controlador de temperatura [1].

“La medición de temperatura del hierro fundido de alto horno (BF por sus siglas en inglés), es un requisito casi obligatorio en el proceso de fabricación de hierro. La temperatura del hierro fundido es significativa para estimar la calidad y el control de estado en los hornos BF.

Por supuesto, no es fácil realizar las mediciones en tiempo real de la temperatura del hierro fundido debido al hostil ambiente alrededor del horno y las altas temperaturas del hierro fundido, se propone un método de medición de temperatura basado en una termografía vía infrarrojo y un modelo de reducción de temperatura.

Hay varios dispositivos para la medición del MIT después del skimmer, estos se pueden clasificar como: tipo contacto y tipo no contacto. Los dispositivos de tipo contacto incluyen termopares, cavidades de cuerpo negro, entre otros. La temperatura detectada por termopares es estable y precisa, pero este enfoque de detección es intermitente y pierde un termopar en cada medición. Los operadores de BF se enfrentan a un cierto riesgo al medir temperatura del hierro fundido cerca de la tubería principal. La cavidad del cuerpo negro es un tipo de sensor, el cual implica la inserción directa de una sonda de temperatura en el hierro fundido y convierte la señal infrarroja de la sonda en una señal de medición de temperatura” [2].

En la actualidad, existe una gran cantidad de literaturas acerca de la aplicación de la termografía infrarroja para la medición térmica y de temperatura en diferentes áreas de investigación. En

[25], se utiliza una cámara infrarroja para la medición de temperatura en la entrada y salida de hornos industriales continuos. El sistema de control de temperatura basado en Sistema de Control Distribuido se aplica en la monitorización de la temperatura a tiempo real de los niveles superior, medio y las corrientes más bajas del horno de sintonización en un punto particular se miden en 56.95°C, 56.58 °C y 57.2°C, respectivamente. La temperatura en tiempo real de los niveles superiores, medio y de corrientes de un segundo punto de los hornos son 144,7°C, 143,8°C y 144°C, respectivamente. La desviación del control de temperaturas de los tres puntos, las corrientes desde dos de los hornos de sinterización se mantienen en un estado controlable. Un sistema experto basado en la lógica difusa en el sistema de diagnóstico de fallas puede predecir la situación de los hornos de manera integral [3].

El IoT (Internet of Things) a crecido muy rápido, actualmente se usan numerosas aplicaciones de IoT en varios sectores tales como industrial, agricultura, ganadería, seguridad, hogar, etc. [4]. En el sector industrial. Lora (Long Range), es uno de los sistemas LPWAN (low-power wide-area network) que tienen capacidad de transmisión a larga distancia como lo dice su nombre, lleva el respaldo de desarrolladores como IBM, Semtech, Actility entre otros, los cuales son miembros de LoRa Alliance. El objetivo de desarrollar LoRa es el bajo consumo de energía, transmisión de nodo final y que transmita cierto número de paquetes de datos en un tiempo determinado.

LoRa Alliance ha diseñado una arquitectura de red de comunicación LoRa llamada LoRaWan, sin embargo, la implementación de LoRaWan no cumple en si con los principales objetivos de Lora, como por ejemplo el protocolo LPWAN, ya que aún necesita internet para poder procesar y mostrar datos, no está adecuado con el propósito del diseño de LPWAN, los cuales son de simple implementación, bajo costo y arquitectura simple.

2.2 Marco teórico

Sensores

Un sensor inteligente de temperatura es el que proporciona una salida de frecuencia de pulso y es el adecuado para la comunicación con microprocesadores. El sensor de temperatura genera una corriente de temperatura absoluta, así como una corriente de referencia que es independiente de la temperatura [11]. La información de la temperatura absoluta es vital en muchas aplicaciones no solo es la magnitud directa, en muchos sensores térmicos, sino que también la mayoría de los fenómenos físicos se caracterizan por una sensibilidad cruzada de temperatura [12].

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transductible que es en función de la variable medida. El sensor sugiere un significado más extenso, como la ampliación de los sentidos para adquirir conocimiento de cantidades físicas que, por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos.

Tipos de Sensores

Dentro del ámbito industrial se cuenta con una gran cantidad de sensores de temperatura, entre los cuales están los termopares.

Termopar tipo K

Durante la medición de la superficie transitoria temperatura, hay errores de respuesta dinámica entre la temperatura medida y la temperatura real debido a la inercia térmica y conducción de calor limitada del electrodo caliente por sonda [53]. Por lo tanto, es necesario realizar calibración dinámica en el transductor.

El semiconductor puede producir aumento de nanosegundos, y la respuesta más rápida del tiempo del sensor de temperatura es de gran importancia para la calibración dinámica. En el proceso de calibración dinámica, en primer lugar, la estática, la calibración del detector de infrarrojos debe ser realizado, y obtener la curva de temperatura-tiempo de detector infrarrojo y termopar calibrado [54]. En segundo lugar, la red neuronal de BP se utiliza en el ajuste no lineal para procesamiento de datos y tiempo se obtiene la constante del termopar tipo K por el método de normalización. Finalmente, comenzando de la respuesta dinámica del sensor y su análisis teórico cuantitativo, combinado con los resultados reales de la medición de la temperatura, se lleva a cabo la investigación sobre la compensación dinámica de los sensores.

Internet de las cosas

El internet de las cosas y su implementación en la industria dirigida a la tecnología de industria 4.0, es de gran interés en el área de la investigación y muchos profesionales del desarrollo de este, se encuentran diseñando nuevos dispositivos día a día para traer nuevas tecnologías al área, las cuales no solo van dirigidas a la automatización industrial [44].

El desarrollo de una aplicación general de IoT consta de dos elementos principales [45]:

Diseño de control de hardware: entrada/salida de dispositivos y elementos de detección, HMI y elementos indicadores, dispositivos de salida, actuadores y motores. El desarrollo de esta parte se puede realizar de manera efectiva en múltiples niveles, desde una tarea simple de conectar un dispositivo estándar a un estándar de interfaz (I2C, SPI, 1-wire, etc.), a través de la creación de API para sus operaciones, al desarrollo de diseño propio de un sensor o dispositivo de salida con firmware personalizado. El firmware puede contener una implementación personalizada de interfaz de comunicación, implementación de protocolo, datos de procesamiento y API única.

Diseño de aplicaciones personalizadas: Desde una aplicación simple de único propósito a un sistema de comunicación extenso, el comunicarse a través de internet utilizando los últimos protocolos y métodos de encriptación. Una breve comparación de estos sistemas se encuentra en un típico representante de estos sistemas es el proyecto Zephyr [46],[47], que esta importado a más de 200 plataformas en internet. Es un hecho el que el desarrollo de una aplicación de IoT requiere de la creación y uso de herramientas de desarrollo para la preparación y depuración de

la aplicación diseñada. Esto puede consumir un tiempo considerable, dependiendo del alcance del proyecto y gran complejidad.

3. Objetivos (general y específicos)

Objetivo general

Desarrollar un sistema de registro automático de temperatura y activación de alarmas en cuatro zonas de un horno de extrusión para verificar que la temperatura se encuentra dentro de las especificaciones de cliente.

Objetivos específicos

1. Caracterizar el sistema de medida de temperatura utilizando un horno (de la UACJ) con los rangos de temperatura del horno de extrusión.
2. Realizar el programa para el registro de la señal de temperatura utilizando un microcontrolador ESP32 y ejecutar una prueba de caracterización en el horno de la UACJ.
3. Agregar el módulo de conexión inalámbrica al programa y verificar el envío de información a diferentes distancias alrededor de 60 a 70 m.
4. Instalar el sensor de temperatura en el horno después de hacer las adecuaciones necesarias.
5. Registrar la señal de temperatura en una zona del horno de extrusión, incluir generación de alerta cuando se detecte la temperatura fuera del rango de especificación.
6. Integrar en el sistema la medida de temperatura para las 4 áreas del horno y enviar la información vía inalámbrica.

4. Metodología

El registro automático de temperatura se realiza utilizando sensores de temperatura termopar tipo K que llega a medir temperaturas de hasta 1250 °C, el circuito de acondicionamiento y linealización de la señal MAX6675, el módulo LoRa32 que en conjunto integran el emisor de temperatura. El diagrama general de la metodología empleada en este proyecto utiliza cuatro módulos emisores de la señal de temperatura, y un receptor conectado a la computadora para el registro de los datos en formato texto o cvs (figura 1).

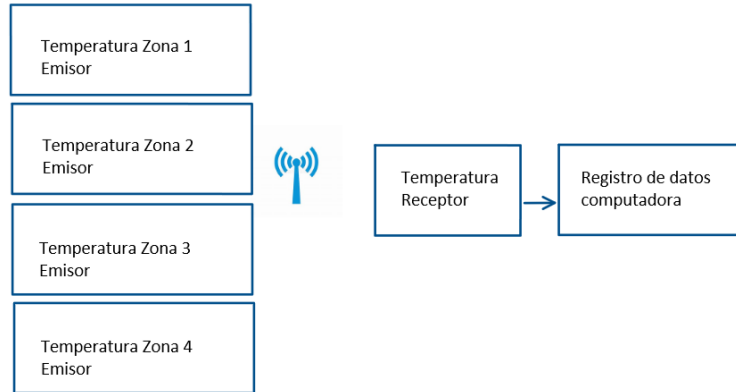


Figura 1. Diagrama general de la metodología registro inalámbrico de temperatura.

En el desarrollo del proyecto se utilizó la placa LoRa32 (Figura 2) que incluye el microcontrolador ESP32, comunicación LoRa, antena y pantalla OLED integrados en un módulo. LoRa32 funciona con una fuente de voltaje de hasta 5 Volts y corriente máxima de 500mA, soporta temperaturas desde los -40 °C hasta 85 °C, es adaptable a frecuencias dependiendo del país o región donde se esté utilizando, en el caso de este proyecto se usa la frecuencia de Norte América de 915 MHZ.



Figura 2. Módulo LoRa32.

El emisor de temperatura para cada zona del horno está integrado por un termopar tipo K, el circuito de acondicionamiento MAX6675 y el LoRa32. El diagrama de conexión entre el MAX6675 y el Lora32, se utilizaron los puertos GND y 3.3V para la energización, se utilizaron los pines de Selección de chip (CS) conectado al pin 12 de LoRa32 para habilitar la interfaz serial, la salida de datos en serie (SO) se conectó al pin 13 y la entrada de reloj serie (SCK) se conectó al pin 22 (Figura 3).

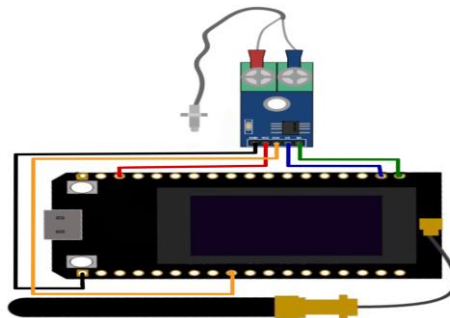


Figura Error! No text of specified style in document.. Diagrama de conexión entre MAX6675 y LoRa32.

La programación para el módulo emisor de temperatura, se realizó en el software Arduino IDE para compilar los programas y posteriormente cargarlos al microcontrolador ESP32. El programa inicial con la inclusión de las librerías necesarias, “wire.h” es la librería que permite realizar la comunicación entre los módulos LoRa32, la librería “max6675.h” es para la lectura de la temperatura del sensor termopar K, las últimas librerías son “heltec.h” el cual permite utilizar y aprovechar las funciones del módulo LoRa32, en especial la parte de la pantalla OLED,

“images.h” esta librería permite imprimir una imagen en el OLED del dispositivo, finalmente se tiene “#define BAND 915E6” el cual es una variable para definir la frecuencia, esta depende de la región en donde se encuentre, en este caso se usa 915MHz para la región de Norte América, esta parte de código se puede observar en la Figura 4.

```

20 #include <stdlib.h>
21 #include <Wire.h>
22 #include "max6675.h"
23 #include "heltec.h"
24 #include "images.h"
25
26 #define BAND    915E6 //you can set band here directly,e.g. 868E6,915E6
27

```

Figura 4. Uso de Librerías y definición de frecuencia de operación.

Posteriormente se declaran las variables String a utilizar en el envío de paquetes al receptor. El “RSSI” es la cantidad de bits que se recibe por paquete, “packet” es el paquete con información que envía el LoRa32, en este caso, envía el valor de temperatura.

En la función “void loop ()”, que se muestra en la Figura 5, se declara la variable “temp” de tipo flotante, en donde se manda llamar la información declarada en el objeto “thermocouple” y la función “readCelsius()”, para leer la temperatura en grados Celsius.

```

60 void loop()
61 {
62   float temp = thermocouple.readCelsius();
63
64   char tempstring[20];
65   dtostrf(temp,3,1, tempstring);
66
67   String temperatura(tempstring);
68

```

Figura 5 Declaración de variables para mandar llamar la temperatura.

El siguiente paso es imprimir en la pantalla el mensaje “Enviando temperatura”, seguido del valor de temperatura que está leyendo en ese momento el termopar, como se observa en la Figura 6.



Figura 6. Pantalla OLED de loRa32, donde se muestra la temperatura que está leyendo el sensor.

Finalmente, se envía el paquete con la información al receptor LoRa32 (Figura 7), anteponiendo la leyenda “Temp1” al valor de temperatura enviado. El identificador puede ser Temp1, Temp2, Temp3, Temp4 dependiendo de la zona de temperatura que se envíe al receptor.

```

78 // send packet
79 LoRa.beginPacket();
80 LoRa.setTxPower(14,RF_PACONFIG_PASELECT_PAB00ST);
81 LoRa.print("Temp ");
82 LoRa.print(temperatura);
83 LoRa.endPacket();
84

```

Figura 7. Líneas de código donde se envía la lectura de temperatura al receptor.

El módulo Emisor de Temperatura explicado en este apartado es igual para los dos módulos que se probaron y es igual si se desea implementar en las 4 zonas del horno. Por lo cual se da por sentado que en apartados posteriores se explica como módulo emisor de Temperatura LoRa.

El módulo receptor de temperatura, además de incluir las librerías “heltec.h” para acceder a los comandos de impresión del OLED y recibir los datos enviados por el emisor, la librería “images.h” es la que permite imprimir algún logo, también se debe definir la banda de comunicación para este proyecto se usa la banda 915E6 para Norte América.

Posteriormente se recibe la información que el emisor le ha mandado en forma de paquetes, en esta la función “void LoRaData()”, es donde se imprime la información recibida, la variable RSSI muestra el indicador de intensidad de la señal recibida, la temperatura del emisor1 se recibe en la variable packet y la temperatura del emisor 2, se recibe en la variable packet. Hasta el momento se han probado dos módulos emisores.

Una funcionalidad que se agregó fue el envío de correo electrónico, es necesario incluir una librería llamada “ESP_Mail_Client.h”, encargada de llamar los datos necesarios, dentro de esta librería es necesario poner datos como SSID y contraseñas del internet del que dependerá, existe la opción de conectar un cable Ethernet, pero debido a que la empresa solicito que todo sea de manera inalámbrica, se descartó esa posibilidad.

Se utiliza condición “IF” para supervisar si la variable temp_x supera la temperatura requerida por el cliente para el producto que se fabrica, en cuyo caso se envía un correo electrónico de aviso, a fin de prevenir el daño de algún producto. Dentro de esta función, se piden los datos de red necesarios y los correos encargados de la distribución, para las pruebas se utilizó un correo personal, el cual puede ser cambiado por algún correo corporativo.

Caracterización del módulo emisor – receptor

La caracterización del módulo receptor y pruebas de conectividad emisor-receptor, se utilizó un horno de cerámica, ubicado en uno de los laboratorios del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT), en el edificio Y5, a cargo de la Dra. Lorena Rivera Ríos.

De acuerdo con las especificaciones de la empresa, los hornos de extrusión operan por lo regular a una temperatura de 500 °C, misma que se alcanza en 30 min desde el encendido del horno. Lo cual genera una rampa de temperatura con un incremento de 17 °C por minuto. En base a lo anterior se decidió hacer pruebas con una temperatura máxima de 700 °C, un incremento de temperatura de 17 °C por minuto. La prueba realizada consistió en precalentar el horno a 212°C mantener un tiempo está temperatura, incrementar la temperatura 17 °C por minuto hasta llegar a la temperatura de 700°C, después mantener la temperatura por 15 min. Todo el tiempo de la prueba los datos se midieron y enviaron de manera inalámbrica del emisor al receptor ESP32 LoRa. Manteniendo una distancia entre ambos de 4.3 m. Con los datos obtenidos se realizó un análisis para comprobar el funcionamiento del sistema.

Pruebas realizadas en la empresa

El día que se programó la visita en la empresa para los hornos de extrusión no estaban operando, se solicitó probar el prototipo en las tinas de lavado, ya que las mismas necesitan mantener una temperatura estable debido a que se utiliza un químico especial para mantener el PH del agua, la temperatura en la tina puede variar en el rango de 80 °F a 130 °F, la temperatura y el PH del agua son los parámetros importantes para el proceso de lavado de las piezas que produce la empresa antes de pasar al área de pintura. El proceso de lavado se repite 5 veces en diferentes tinas antes de pasar al proceso de pintado, donde se utiliza pintura electroestática.

Protocolo de prueba

La prueba consistió en colocar el termopar dentro de la tina con el compuesto (agua + químico). y realizar la medida de la temperatura de forma remota colocando el receptor a diferentes

distancias. 1) distancia emisor – receptor 10 metros a línea de vista, 2) distancia emisor – receptor a línea de vista, 3) prueba de transmisión de datos con el receptor en movimiento a una distancia de 57 m, no a línea de vista, con objetos intermedios como pared de concreto y maquinaria.

5. Instituciones, organismos o empresas de los sectores social, público o productivo participantes (Si aplica)

El proyecto está financiado por la empresa Grupo IMSA, quien aporta en especie los sensores, los microcontroladores. El responsable por parte de la empresa es el maestro Sergio Lujan Maldonado.

En días pasados la empresa solicitó hacer pruebas en unas tinajas de lavado y el sistema de medida y registro de datos funcionó como se esperaba.

6. Resultados

Caracterización del módulo emisor – receptor

La caracterización del módulo receptor y pruebas de conectividad emisor-receptor, se utilizó un horno de cerámica con una compuerta superior donde se colocó el termopar tipo K (Figura 8^a). El módulo emisor LoRa32 se colocó a un lado del horno para monitorizar ambas temperaturas, la registrada por el sensor y la del horno que se muestra en el indicador del horno del laboratorio (Figura 8b).



Figura 8 a) Horno de cerámica de la Universidad, b) a su lado izquierdo se encuentra el emisor de temperatura.

El receptor se colocó en una mesa del laboratorio (figura 9), junto a la computadora que muestra el software CoolTerm, el cual visualiza las lecturas recibidas por el receptor, las almacena en tiempo real en un archivo de texto, mismo que se puede leer desde Excel para el análisis de los datos obtenidos.



Figura 9 Receptor y laptop que fungió como fuente de energía, software CoolTerm.

Se precalentó el horno a 212 °C, se tomaron lecturas durante 10 min y luego se inició una rampa de temperatura de 17°C por minuto hasta llegar a 700°C, donde se mantuvo la temperatura por 15 minutos (Figura 10). Los datos almacenados de las lecturas se muestran en la figura 10.

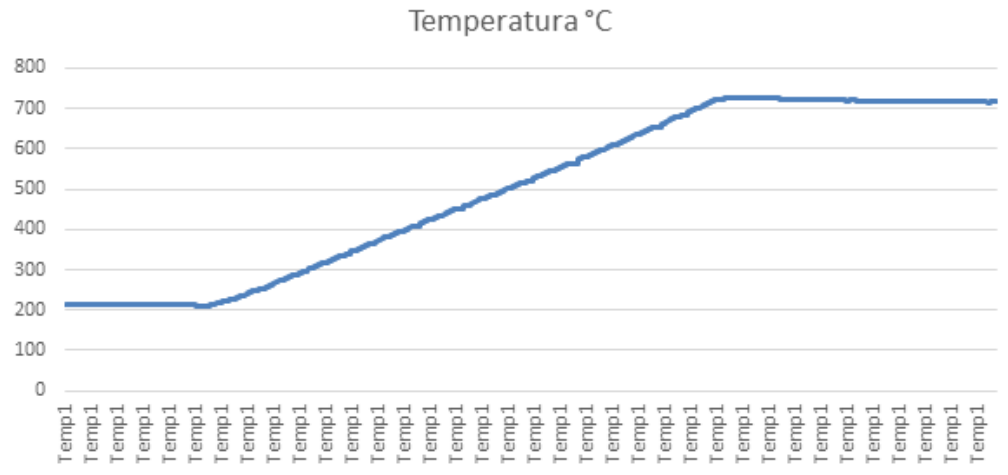


Figura 10 Lecturas de temperatura en el horno de cerámica ubicado en el edificio Y5.

Con la medida de temperatura realizada en el horno se obtuvo una rampa de temperatura con incrementos de 17°C por minuto, en la Figura 11, se observa el rango de medida de la temperatura de 300°C a 650 °C, se aprecia como una línea recta, con un coeficiente de regresión, $R^2 = 99.96\%$. Esto obedece a que el módulo de acondicionamiento del termopar MAX6675 linealiza y realiza la compensación de unión fría.

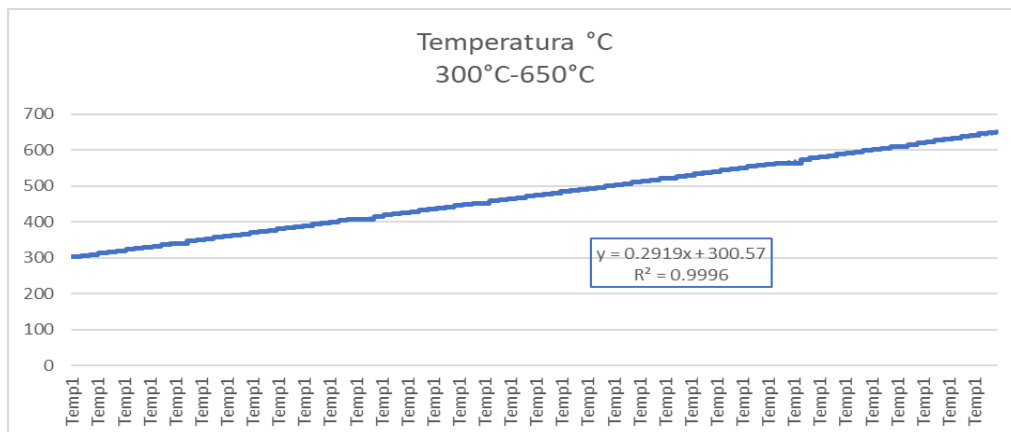


Figura 11. Rampa de temperatura en un rango de 300°C a 700°C.

Prueba de funcionalidad en la empresa

El horno de extrusión de la empresa “Grupo IMSSA” debe mantenerse en una temperatura de máximo 500 °C, ya que así lo requieren los procesos de producción. Las máquinas tardan alrededor de 30 minutos en llegar a su temperatura máxima, aun así, es importante mantener monitoreado el proceso de precalentamiento, pues esto puede indicar que el horno siga trabajando en óptimas condiciones.

Por otro lado, a la empresa le interesó monitorear la temperatura en las tinas de lavado (Figura 12), por lo cual, el encargado de mantenimiento solicitó implementar el proyecto en las Tinas de lavado, pues estas tinas necesitan mantener el agua con un químico especial a una temperatura ideal para el lavado de productos, los materiales deben ir completamente limpios ya que después

de este procedimiento pasan a la etapa de pintura electrostática. El control y monitorización de la temperatura es importante para garantizar el PH de la solución. La empresa está interesada en el registro de estas variables durante el proceso de producción a fin de garantizar con mediciones en intervalos de 10 segundos el valor de la temperatura del líquido de las tinas de lavado, cuyo rango de temperatura es de $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $54.4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Durante la prueba de este prototipo los ingenieros de la empresa instalaron el termopar en la tina, la temperatura del líquido en el arranque fue de $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante la toma de datos la temperatura se mantuvo en un rango de $46\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $47.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ registrados por el sistema de medida desarrollado en el proyecto.



Figura 12. Tina 1: NOVA CLEAN N.

Prueba a 10 metros

El sistema de medida está integrado por un emisor y un receptor. El emisor fue instalado por el ingeniero de mantenimiento en turno cerca de la tina, la Figura 13a) muestra el emisor, se planea colocarlo en una caja especial para protegerlo. El receptor (Figura 13b) se colocó a 10 m sobre una mesa móvil, se tomaron lecturas durante 5 min.

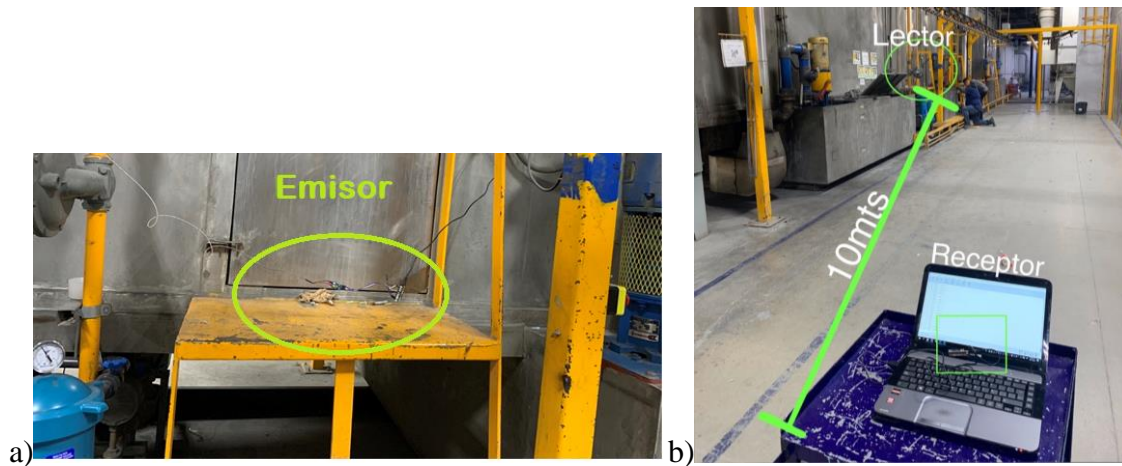


Figura 13 Medida de temperatura en tinas a) emisor b) receptor.

La Figura 14 muestra los valores de temperatura, cuya variación es de $47.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $46.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ que corresponde a $0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo cual corresponde al comportamiento del sistema de calentamiento de la tina.

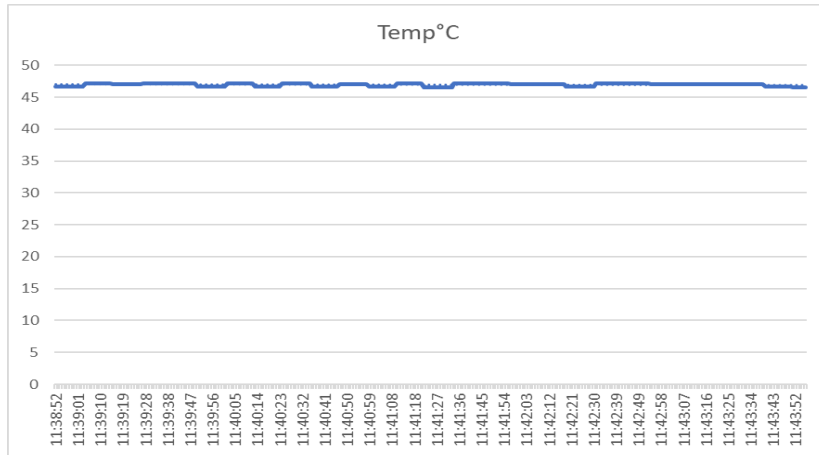


Figura 14 Grafica de los datos tomados a 10 metros.

Prueba a 20 metros

En la prueba de 20 m se colocó el receptor a 20 m de la tina de lavado, justo en el lugar donde se planea poner la estación de colecta de datos para las tinas de lavado (Figura 15), e indicadores visuales mediante pantallas para mostrar las lecturas de temperatura, alarmas visuales e indicadores de productividad a fin de mantener el proceso en óptimas condiciones.

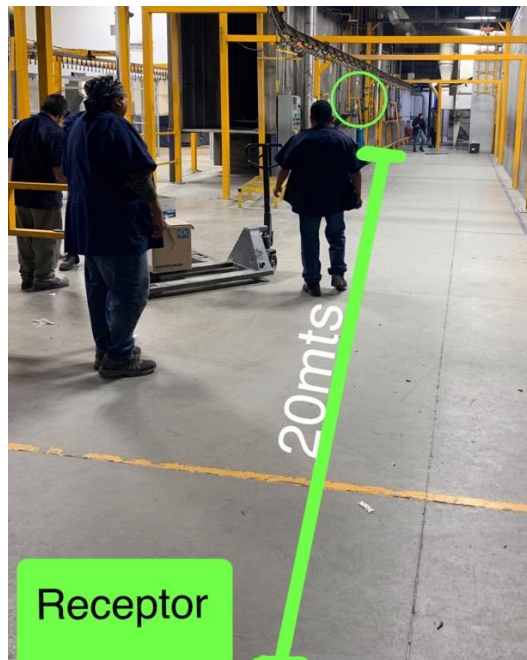


Figura 15. Prueba a 20 m entre la tina con el emisor y la estación del receptor.

Una vez colocado el receptor a 20 m de las tinas y el emisor, registraron las lecturas de temperatura cada 10 s. El comportamiento de la temperatura se muestra en Figura 16, se observa una variación de la temperatura medida de 46.2°C a 47.2°C, aun así, sigue dentro de los rangos necesarios para que el proceso de lavado.

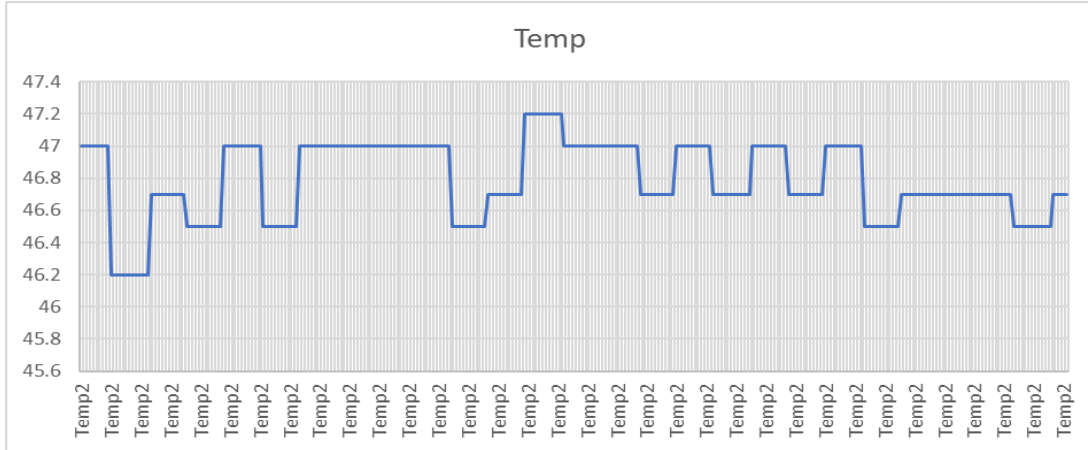


Figura 16. Grafica de la toma de datos a 20 metros del receptor.

Prueba a 57 metros en movimiento

Los encargados solicitaron una prueba con el receptor en movimiento en una trayectoria de 57 m mientras el transmisor envía los datos, el receptor se desplazó hasta una habitación contigua, esto con el fin de demostrar al cliente que no importa la estructura del edificio, el protocolo de comunicación LoRa, continúa enviando y recibiendo datos. Los valores de temperatura están dentro del rango de 46.2°C a 47.2°C.

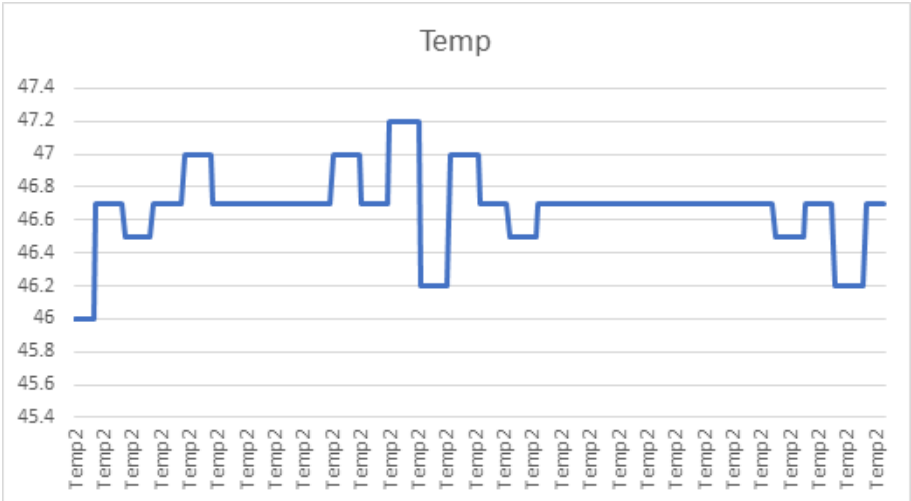


Figura 17. Temperatura de la Tina de lavado con el receptor separado 57 m del emisor.

Debido a que hay mucho ruido en la empresa, la misma sugirió eliminar las alarmas auditivas, pues no tendrían sentido si los operadores de producción o área de ingeniería no las escucharían, esto debido a que la estación de toma de temperatura se colocara en el área de producción. Por otra parte, las alarmas visuales se colocarán en una televisión cerca del área de producción, generadas a partir de los datos registrados por el sistema diseñado.

7. Productos generados

Formación de recursos humanos, estudiante de Ingeniería en Sistemas Digitales y Comunicaciones, se anexa acta de examen de tesis.

Reporte de investigación.

8. Conclusiones

El proyecto lleva un grado de avance del 70% se registra de manera simultánea la temperatura de dos estaciones o emisores de temperatura, el receptor recibe y almacena ambas temperaturas, lo cual cumple las especificaciones del proyecto, sin embargo, al realizar las pruebas no fue posible caracterizar con patrón de referencia y conseguir otros dos módulos LoRa para revisar la lectura de temperatura de las cuatro zonas del horno. Lo cual se planea conseguir en una extensión del proyecto de 7 meses.

9. Mecanismos de transferencia. (Si aplica)

10. Contribución e impacto del proyecto

El proyecto tiene un impacto tecnológico, contribuye a automatizar la lectura y registro de temperatura cada 10 s en una empresa local y transmitir los datos de forma inalámbrica a una distancia máxima entre 50 m y 60 m, en espacios contiguos del edificio que pueden estar separados por paredes de concreto escaleras, maquinaria pesada. A fin de mantener un registro de los valores de temperatura durante el proceso de producción a fin de garantizar al cliente la calidad de los productos.

11. Impacto económico, social y/o ambiental en la región

Como se menciona en la justificación el proyecto tiene un impacto económico para la empresa pues se busca atender de forma inmediata las fallas y evitar en la medida de lo posible los paros de línea, evitar multas por el retraso en los tiempos de entrega.

12. Referencias (bibliografía)

13. Anexos

13.1 Taxonomía de los Roles de Colaborador (con las actividades logradas)

Roles	Definición de los roles	Nombre de él(la) investigador(a)	Figura	Grado de contribución	Actividades logradas durante el proyecto	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto
-------	-------------------------	----------------------------------	--------	-----------------------	--	---

Responsabilidad de la dirección del proyecto. Realización y redacción de la propuesta Desarrollo o diseño de la metodología Recopilación/ recolección de datos e información	Coordina y participa en las actividades del proyecto. Contribuir con el diseño de la metodología, modelos a implementar y el sustento teórico, empírico y científico para la aplicabilidad de los instrumentos en la ejecución del proyecto	M.C. Lidia Hortencia Rascon Madrigal	Director del Proyecto, Recopilador de datos, Editor de reportes técnicos	70%	Comunicación emisor – receptor Pruebas conjuntas en la empresa.	3 hrs
---	---	--------------------------------------	--	-----	--	-------

13.1.1 Estudiantes participantes en el proyecto

Nombre de estudiante(s)	Matrícula	Tiempo promedio semanal (en horas) dedicado al proyecto	Actividades logradas en la ejecución del proyecto
Karla Ivone Rodríguez Espino	148663	4 hrs	Comunicación emisor – receptor Pruebas conjuntas en la empresa. Envío de mensaje por email

Referencias

- [1] Panishev, S.A., Gritsenko, A.V. y Buyvol, P.A. (2020). Modernization of Chamber Furnace Electric Equipment. En 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon).
- [2] Pan, D., Jiang, Z., Chen, Z., Gui, W., Xie, Y. y Yang, C. (2018). Temperature Measurement Method for Blast Furnace Molten Iron Based on Infrared Thermography and Temperature Reduction Model. *Sensors*, 18(11), 3792.
- [3] Qu, N. y You, W. (2021). Design and fault diagnosis of DCS sintering furnace's temperature control system for edge computing. *PLOS ONE*, 16(7), Artículo e0253246.
- [4] D. Eridani, E. D. Widiyanto, R. D. O. Augustinus and A. A. Faizal, "Monitoring System in Lora Network Architecture using Smart Gateway in Simple LoRa Protocol," 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2019, pp. 200-204, doi: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034612.
- [11] F. R. Riedijk and J. H. Huijsing, "An integrated absolute temperature sensor with digital output," *TRANSDUCERS '91: 1991 International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. Digest of Technical Papers*, 1991, pp. 479-482, doi: 10.1109/SENSOR.1991.148916.
- [12] G.C.M Meijer, "Thermal sensors based on transistors", *Sensors and Actuators* 10, 1986, pp. 133.

- [32] M. Nasiri, N. Tura, and V. Ojanen, "Developing Disruptive Innovations for Sustainability: A Review on Impact of Internet of Things (IOT)," 2017 Proceedings of PICMET '17: Technology Management for Interconnected World, 2017.
- [33] J. Chin, V. Callaghan, and I. Lam, "Understanding and personalizing smart city services using machine learning, the Internet-of-Things and Big Data," in IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 2050–2055, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 8 2017.