

**Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Electrónica**



**Sistema para la gestión
de hornos del proceso de curado en Tico Electronics.
Tico Electronics**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura.**

Jose Enrique Hernández Castro

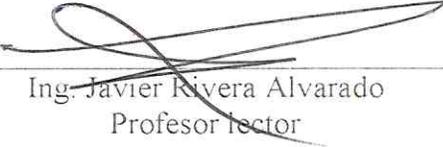
**Noviembre
2019**

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
ACTA DE APROBACIÓN

Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica

El Tribunal Evaluador aprueba la defensa del proyecto de graduación denominado “Sistema para la gestión de hornos del proceso de curado en Tico Electronics” realizado por el estudiante Jose Enrique Hernández Castro y, hace constar que cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal Evaluador



Ing. Javier Rivera Alvarado
Profesor rector



Ing. Ernesto Rivera Alvarado
Profesor asesor

San Carlos, 20 de noviembre del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR
ACTA DE EVALUACIÓN

Defensa de Proyecto de Graduación
Requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica
Grado Académico de Licenciatura
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Estudiante: **Jose Enrique Hernández Castro**

Nombre del Proyecto: “**Sistema para la gestión de hornos del proceso de curado en Tico Electronics**”.

Los miembros de este Tribunal hacen constar de que este proyecto de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica y es merecedor de una nota de

Nota de Proyecto de Graduación: 95

Miembros del Tribunal



Ing. Javier Rivera Alvarado
Profesor lector



Ing. Ernesto Rivera Alvarado
Profesor asesor

San Carlos, 20 de noviembre del 2019

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Noviembre 2019

Jose Enrique Hernández Castro

Ced: 116290107

Jose Hernandez

Resumen

Este informe muestra el desarrollo y resultados de un sistema de mejora para la gestión de los hornos durante el proceso de curado en Tico Electronics, el cual brinda una mayor seguridad cuando el proceso se realiza durante la noche al de detectar mediciones de temperatura que estén fuera del rango de operación de los hornos, así como apagarlos automáticamente una vez termina el proceso de curado.

Esto es de gran importancia ya que el proceso de curado es parte fundamental para construir un motor confiable que cumpla con las necesidades de los clientes de Tico Electronics.

El sistema se construyó con una red de sensores y actuadores que permiten medir las temperaturas y gestionar todos los hornos de las líneas de producción desde internet de una forma rápida y sencilla, así como notificar de las acciones que se realicen para tener una mayor seguridad durante el proceso.

Palabras Claves: Controladores, Gestión Remota, Monitoreo y Tecnologías inalámbricas.

Abstract

This report shows the development and results of an improvement system for furnace management during the curing process at Tico Electronics, which provides greater security when the process is carried out at night detecting temperature measurements that are outside the operating range of the oven, as well as turning them off automatically once the curing process ends.

This is of great importance since the curing process is an essential part of building a reliable engine that meets the needs of Tico Electronics customers.

The system was built with a network of sensors and actuators that allow measuring temperatures and managing all the furnaces in the production lines from the internet in a fast and simple way, as well as notifying of the actions that are carried out to have greater security during the process.

Keywords: Controller, remote management, monitoring, wireless Technology

Dedicatoria

Para mi madre que siempre tuvo un consejo que darme cuando fue necesario. una palabra de ánimo y siempre ha estado a mi lado en todo momento recordándome por que vale la pena esforzarse y motivándome para querer ser mejor.

A mi padre que nunca dejo de confiar y estar orgulloso de mí y siempre estuvo pendiente de mis logros y fracasos.

Agradecimiento

Al Tecnológico de Costa Rica por brindarme una excelente educación y experiencia de vida y a Tico Electronics por la oportunidad y la confianza brindadas para realizar el proyecto en sus instalaciones.

A Stephanie Zúñiga Vega quien no solo me apoyo, sino que supero muchas de las pruebas que esta carrera nos puso junto a mi apoyándonos para siempre seguir juntos hacia adelante.

A mis amigos Carlos Mora, Cristian Hernández y Marcelo Rojas y a mi familia que siempre han sido un apoyo para mí y siempre creyeron en mis capacidades, en especial a mi tío Rafa quien siempre me motivo con el ejemplo y sus palabras de guía.

A mis suegros Don William Zúñiga y Yamileth Vega quienes desde el momento que me conocieron me han dado un apoyo incondicional y han celebrado mis logros y me han apoyado en mis fracasos

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	13
1.1 Problema existente e importancia de su solución	13
1.2 Solución seleccionada	15
Capítulo 2: Meta y Objetivos	16
2.1 Meta	16
2.2 Objetivo general	16
2.3 Objetivos específicos	16
Capítulo 3: Marco teórico	17
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	17
3.2 Antecedentes Bibliográficos	20
3.2.1 Opciones de dispositivos a utilizar	20
3.2.2 Dispositivos de medición de temperatura	21
3.2.3 Tecnologías usadas en el internet de las cosas	22
3.2.4 Comunicación wifi	23
3.2.5 Plataformas para mostrar los datos del sistema y protocolos de comunicación	26
3.2.6 Protocolos de transferencia de información	27
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema	30
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	31
4.1 Reconocimiento y definición del problema	31
4.2 Obtención y análisis de información	33
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	33
4.4 Implementación de la solución	38
4.5 Reevaluación y rediseño	40
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución (Explicación del diseño) ...	42
5.1 Análisis de soluciones y selección final	42
5.2. Descripción del hardware	44
5.3. Descripción del software	47
5.3.1 Software para realizar las funciones del sistema.	47

5.3.2 Software para la interfaz del sistema.	49
Capítulo 6: Análisis de Resultados	51
6.1 Resultados	51
6.1.1 Información de operación de los hornos de la línea de producción North Main	51
6.1.2. Histogramas con las mediciones de temperatura tomadas por los hornos.	52
6.1.3. Porcentajes de error de las mediciones del sistema.....	58
6.1.4. Observaciones sobre el funcionamiento del sistema implementado.....	59
6.2 Análisis	62
6.2.1 Análisis de los Histogramas.....	62
6.2.2. Análisis de los resultados de la puesta en marcha del sistema	63
6.2.3 Análisis del hardware diseñado	65
6.2.4 Análisis del software diseñado.....	66
6.2.4.1 Software de control.....	66
6.2.4.2 Interfaz Grafica	66
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones	68
7.1 Conclusiones	68
7.2 Recomendaciones.	69
Capítulo 8: Bibliografía	70
Apéndices	72
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	72
Manual de usuario para sistema de gestión de hornos.	73
Manual de Ensamblaje e instalación de unidad de gestión de hornos.	76
A.3 Protocolos de medición	87
A.4 Presupuesto de la implementación	88
A.5 Información sobre la empresa/institución	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Diagrama de conexión de la solución.....	15
Figura 3. 1 Horno 110 V de la línea de producción. Fuente elaboración Propia.	18
Figura 3. 2 Horno 220 V de la línea de producción. Fuente elaboración Propia..	18
Figura 3. 3 Diagrama de flujo del proceso de curado. Fuente: elaboración propia	19
Figura 3. 4 Procesador PIC16F877A	20
Figura 3. 5 Microcontrolador de la familia ESP Fuente: (Santos, 2019).....	20
Figura 3. 6 Controladores X600M y WEB WIRELESS RELAY Fuente: (Control by Web, 2018).....	21
Figura 4. 1 Circuito de alimentacion para el PIC y el ESP826. Fuente: Elaboración propia	34
Figura 4. 2 Conexión con el MAX6675. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 4. 3 Conexión de la salida del PIC al relé. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 4. 4 Dashboard del prototipo realizado. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 4. 5 Circuito prototipo Funcionando. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 5. 1 Función para envío de emails. Fuente: Elaboración propia	43
Figura 5. 2 Diagrama de conexión del circuito de control. Fuente: Elaboración propia	45
Figura 5. 3 Circuito de control ya cableado. Fuente: Elaboración propia	46
Figura 5. 4 Circuitos instalados en la línea de producción. Fuente: Elaboración propia	47
Figura 5. 5 Diagrama de flujo de las rutinas del sistema. Fuente: Elaboración propia	48
Figura 5. 6 Interfaz por defecto. Fuente: Elaboración propia	49
Figura 5. 7 Interfaz Programada. Fuente: Elaboración propia.....	50
Figura 6. 1 Histograma de los datos de temperatura del horno 1. Fuente: Elaboración propia	53
figura 6. 2 Histograma de los datos de temperatura del horno 2. Fuente: Elaboración propia	53
figura 6. 3 Histograma de los datos de temperatura del horno 3. Fuente: Elaboración propia	54

figura 6. 4 Histograma de los datos de temperatura del horno 4. Fuente: Elaboración propia	54
figura 6. 5 Histograma de los datos de temperatura del horno 5. Fuente: Elaboración propia	55
figura 6. 6 Histograma de los datos de temperatura del horno 6. Fuente: Elaboración propia	55
figura 6. 7 Histograma de los datos de temperatura del horno 7. Fuente: Elaboración propia	56
figura 6. 8 Histograma de los datos de temperatura del horno 8. Fuente: Elaboración propia	56
figura 6. 9 Histograma de los datos de temperatura del horno 9. Fuente: Elaboración propia	57
figura 6. 10 Histograma de los datos de temperatura del horno 10. Fuente: Elaboración propia	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4. 1 Requerimientos Principales del Proyecto. Fuente: Elaboración propia	32
Tabla 6. 1 Tabla de información de los hornos de North Main. Fuente: Elaboración propia	51
Tabla 6. 2 Horario Implementado para los hornos de la línea. Fuente: Elaboración propia	52
Tabla 6. 3 Porcentaje de error de las temperaturas medida en el horno 1. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 6. 4 Porcentaje de error de la temperatura medida en el horno 2. Fuente: Elaboración propia	58
Tabla 6. 5 Datos de funcionamiento del sistema. Fuente: Elaboración propia	59

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Tico Electronics es una empresa que se dedica a la manufactura de rotores y estatores para la industria aeroespacial, dentro de los procesos que se realizan para dicha fabricación se encuentra el curado de distintos materiales.

El proceso de curado necesita un tiempo y una temperatura específicos dependiendo de la pieza que se vaya a curar y del proceso por el que esté pasando; ya sea el apilado o el impregnado, dichos parámetros se encuentran tabulados y son de conocimiento de la empresa para llevar a cabo el proceso.

Por esta razón los hornos de la planta se mantienen funcionando en operación continua, muchos de ellos sin supervisión, esto lleva a la necesidad de monitorear la temperatura, con el fin de identificar malfuncionamientos en los mismos, así como asegurar una temperatura adecuada para el proceso. Por otro lado, muchos hornos no cuentan con apagado automático al ser hornos antiguos pero que operan de manera correcta.

Actualmente los hornos se utilizan durante la noche para no desaprovechar tiempo en el proceso de curado durante el día o porque algunos pueden llegar a tener tiempos de curado de hasta 16 horas, para poder llevarlo a cabo se dejan hojas de papel en cada horno con la hora a la que se debe apagar, esto queda a cargo de una persona que se contrató para estar durante la noche en la planta. Lo que causa un desperdicio de potencia, sin mencionar que el tiempo que pasan las piezas dentro del horno podría o no ser óptimo durante el curado.

Además, debido a la gran cantidad de hornos y a la distribución de estos dentro de la planta, es necesario que el dispositivo que se utilice para cubrir estas necesidades sea de fácil instalación y capaz de colocarse en los distintos hornos de la planta, ya sean monofásicos o trifásicos.

Por otro lado, tico Electronics es una empresa en constante crecimiento y mejora por lo que son muy cambiantes en su infraestructura, por este motivo es de gran importancia que esta información pueda ser obtenida por medio de tecnologías de comunicación inalámbricas para no intervenir con este constante cambio.

En resumen, actualmente la planta no cuenta con un sistema de monitoreo de la temperatura y gestión remota de los hornos durante el proceso de curado. Por lo tanto, solucionar este problema resulta en un aumento directo de la producción al tener a disposición una mayor cantidad de hornos preparados para el curado de piezas durante la noche, por otro lado permite agregar la trazabilidad al producto durante esta etapa del proceso de ensamblado, al poder determinar si una pieza fue expuesta a una temperatura fuera de los rangos de operación, lo cual ayuda a mejorar la calidad del mismo, a detectar fallas y proporciona mayor seguridad ya que en caso un desperfecto de un horno el sistema ayudaría a detectarlo de forma rápida previniendo accidentes.

1.2 Solución seleccionada

Para solucionar el problema se utilizó una red controladores de la marca “control by web”, un controlador principal el cual tiene un web Server ya construido y con la posibilidad de actuar como maestro para controlar a los dispositivos que actúan como esclavos, estos soportan conexión WIFI lo cual permite una mayor flexibilidad en caso de que sea necesario reorganizar una línea de trabajo.

Además, cuentan con un bus de sensores “1-wire” que soporta hasta cuatro sensores y una salida de relé de 12 A, lo cual permite gestionar los hornos de la forma deseada, para los casos en que los hornos tuvieran una corriente aún mayor se decidió utilizar un circuito de potencia para la interfase que une la línea de alimentación del horno y el controlador.

Por otro lado, para la medición los sensores “1-wire” se tenían limitaciones para las temperaturas que se desean monitorear ya que varios hornos alcanzan temperaturas de 255 grados centígrados lo que está muy por encima de los rangos de dichos sensores (-55 a 125 C), debido a esto se utilizó una termocupla, dispositivo estándar en mediciones industriales. Para poder utilizarla se recurrió a un adaptador que pasa la medición analógica de la termocupla a una digital que pudiera comprender el bus de datos.

En la siguiente figura se puede observar un diagrama de la solución utilizada.

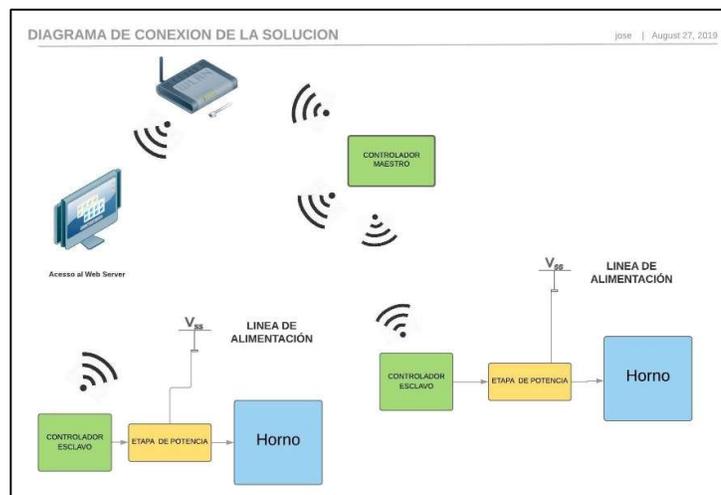


Figura 1. 1 Diagrama de conexión de la solución.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Contar con sistema automatizado para la gestión y monitoreo de las temperaturas del horno durante el proceso de curado.

2.2 Objetivo general

Diseñar un sistema para la gestión y monitoreo de hornos para la línea de producción de North Main de la planta de Tico Electronics.

2.3 Objetivos específicos

- a. Caracterizar los procesos productivos, así como los hornos donde se implementará el sistema.

Entregable:

Documento con especificaciones de los hornos que se utilizarán y características de los procesos que se realizan en dichos hornos.

- b. Diseñar el sistema de gestión y medición, así como programar las acciones que ejecutara para el cumplimiento de los requerimientos del sistema.

Entregable:

Esquemáticos del circuito, Diagramas de flujo del software diseñado y el sistema implementado.

- c. Obtener métricas de desempeño y seguridad de la solución creada.

Entregable:

Datos estadísticos del desempeño de la solución y de la seguridad que proporciona al proceso productivo.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

El proceso que se quiere mejorar en este proyecto es el curado, proceso al que se exponen los distintos rotores y estatores durante su proceso de construcción, este proceso tiene una duración que varía dependiendo de la pieza y de la etapa en que se encuentre de su construcción ya que la misma debe ser curada en distintos momentos, ya sea para unir las láminas que lo componen o para endurecer algún recubrimiento que proteja el bobinado.

El curado normalmente es un proceso largo, por lo tanto, para aumentar la producción se recurre a dejar piezas curando durante la noche, para esto es necesario que el horno se apague en cierto punto por lo que se requiere mejorar las funcionalidades de los hornos, de forma que se pueda acceder a ellos por medio de una plataforma de gestión centralizada la cual permita que se puedan apagar a una hora específica de forma automática. Ya que los mismo son muy anticuados como los que se pueden observar en las siguientes figuras.



Figura 3. 1 Horno 110 V de la línea de producción. Fuente elaboración Propia.



Figura 3. 2 Horno 220 V de la línea de producción. Fuente elaboración Propia.

El proceso de curado según (DGE group, s.f) es un tratamiento necesario, seguido de aplicar los adhesivos y epoxicos para la unión de los laminados para obtener una con una alta firmeza, dependiendo del adhesivo se puede aplicar a distintos procesos de curado, están los adhesivos reticulables o de curado químico, donde el curado se logra gracias a distintos procesos de este tipo.

Por otro lado, están los adhesivos de vulcanización o de curado físico, los cuales requieren energía para realizar el curado la cual se puede obtener del calor, presión entre otros, este es el caso del curado utilizado en Tico Electronics, donde se utiliza la energía en del calor generado por los hornos para llevar a cabo el curado. La siguiente imagen muestra un diagrama de flujo general del proceso de curado.

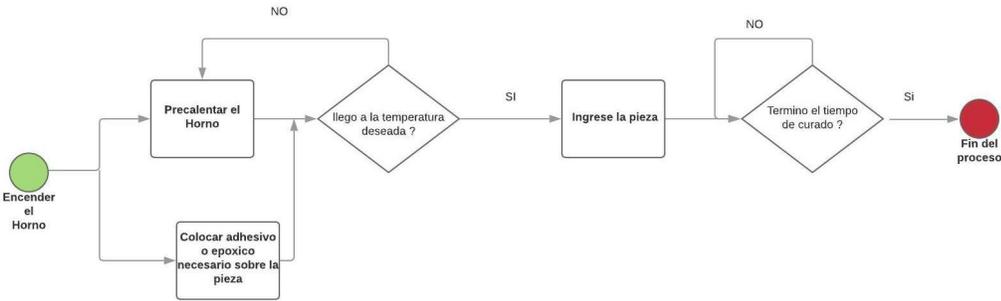


Figura 3. 3 Diagrama de flujo del proceso de curado. Fuente: elaboración propia

El sistema se implementó en una línea específica de la planta, en la cual se trabaja en operación continua por lo que los hornos están funcionando durante todo el día y las piezas entran y salen en el momento que están listas para iniciar el curado así que el horno está constantemente abriendo y cerrando su puerta esto puede producir que la temperatura baje fuera de los rangos permitidos por el descuido de algún operario o si algún horno no opera correctamente y tiende a bajar su temperatura de manera muy precipitada.

Por otro lado, en la planta se encuentran hornos que no están funcionando cerca de las líneas de ensamblaje y no hay forma de visualizarlos, esto provoca

que su gestión sea un proceso tedioso, manual y que requiera de un constante cuidado por parte del operario.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

3.2.1 Opciones de dispositivos a utilizar

Primeramente, se investigó distintos dispositivos los cuales fueran capaces de utilizar funcionalidades de conexión inalámbrica para creación de la red de sensores remotos, algunos de los más interesantes fueron los dispositivos de la familia “ESP”, procesadores “PIC” y distintas opciones de la marca Microchip Technology más enfocados a las funcionalidades inalámbricas y los dispositivos de Control By Web. A continuación, se pueden observar imágenes de las opciones mencionadas.



Figura 3. 4 Procesador PIC16F877A (Microchip, 2019)



Figura 3. 5 Microcontrolador de la familia ESP Fuente: (Santos, 2019)



Figura 3. 6 Controladores X600M y WEB WIRELESS RELAY Fuente: (Control by Web, 2018)

3.2.2 Dispositivos de medición de temperatura

Además, se indagó sobre las tecnologías de medición de temperatura más usuales en la industria. El sensor por excelencia es el sensor de termopar o termocuplas, el cual según (Creus Solé, 2010) consiste en la unión de dos metales que al calentarse producen un diferencial de potencia en el rango de los milivoltios.

Existen distintos tipos según su fabricación, en el caso del proyecto se utilizó la termocupla tipo k, que es la unión de Cromel (90% níquel y 10% cromo) y Alumel (95% níquel, 2% manganeso y 1% de silicio). Estos materiales determinan el rango en el cual se puede utilizar la termocupla ya que determinan la linealidad con de la curva de temperatura contra voltaje, como se puede observar en la siguiente figura.

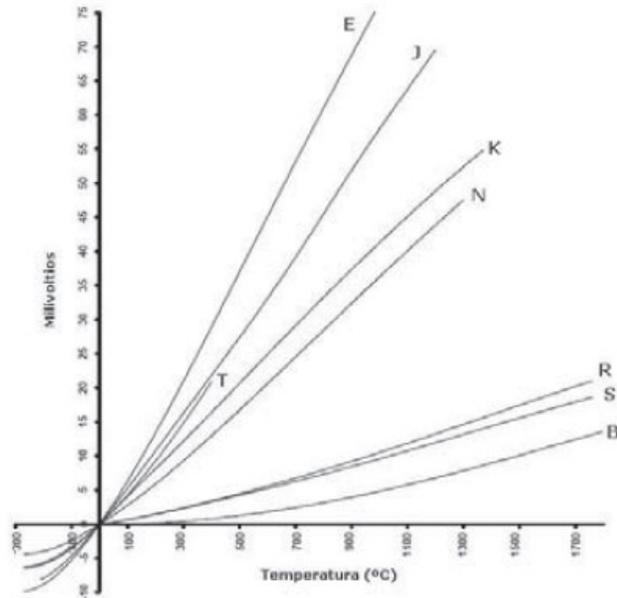


Figura 3. 7 Curva de voltaje vs temperatura, de distintos tipos de termocuplas (Creus Solé, 2010)

Como se observa en la figura, los termopares tipo k son los más lineales y se puede utilizar en temperaturas entre los -200 y 1372 grados centígrados.

3.2.3 Tecnologías usadas en el internet de las cosas

El proyecto se planteó pensándolo en fundamentos de un proyecto de internet de las cosas que como dice (Evans, 2011) "según el Grupo de soluciones empresariales basadas en Internet (IBSG, Internet Business Solutions Group) de Cisco, IdC es sencillamente el punto en el tiempo en el que se conectaron a Internet más "cosas u objetos" que personas" ya que la principalmente se el proyecto se basa en conectar múltiples dispositivos a internet que conectado a un horno logre la adquisición de datos de temperatura con el fin de tomar acciones rápidas y poder analizar y tomar decisiones con los datos adquiridos, además de agregar esas nuevas funcionalidades de gestión remota a hornos que no fueron fabricados con estas capacidades. Por esto se indago en plataformas y tecnologías pensadas para este propósito, con el fin de aplicarlas en el proyecto.

Al realizar búsquedas sobre proyectos de este tipo los dispositivos más comunes son Arduino y Raspberry pi los cuales se aplican a muchos proyectos de domótica e internet de las cosas, pero en ambientes más hogareños donde no se les da un uso tan intensivo y las operaciones que realizan no son tan determinantes como lo son la producción de una empresa o la seguridad en la planta, además la empresas tienen a ser ambiente con una gran contaminación electromagnética y estos dispositivos pueden verse afectados en su funcionamiento en este tipo de ambientes.

Por estas razones, aunque los dispositivos son muy usados en este tipo de proyectos no se tomaron en consideración para este proyecto.

Microcontroladores como el PIC 16F877a son otras opciones de las cuales hay distintas fuentes de información que pueden ser consultadas, los mismos cuentan con múltiples compiladores (XC8, CSS COMPILER entre otros) los cuales utilizan distintos lenguajes de programación, normalmente variaciones de C, que permiten adecuarse a las necesidades del proyecto. Estos controladores cuentan con un gran procesamiento, así como salidas para comunicación serial, una gran cantidad de puertos I/O, sin embargo, para utilizarlos es de gran ayuda conseguir una placa de desarrollo para poder hacer pruebas durante el proceso, las cuales pueden llegar a tener costo elevado con precios de hasta 250 dólares. Sin embargo, este fue el que se decidió utilizar inicialmente para el desarrollo haciendo uso de la herramienta de simulación Proteus.

3.2.4 Comunicación wifi

Para implementar la comunicación WIFI en el PIC se indagó acerca de la familia de módulos ESP8826 el cual es fabricado por distintas compañías y se encuentra en distintas versiones, la versión 1 se comunica usando comando AT como se puede ver en la muestra (Espressif Inc, 2017). Los cuales son una serie de comandos utilizados para configurar módulos WIFI, routers entre otros. Estos comandos son recibidos por el puerto serial que son enviados por el microcontrolador por lo que parecía una excelente opción para añadir la funcionalidad que se necesita.

Posteriormente se investigó acerca de la versión dos de este módulo que cuenta con una interfaz para programarse por medio de un puerto micro USB y viene preparado para ser un dispositivo que prescinde de un microcontrolador ya que por defecto se puede programar por medio de LUA un lenguaje de programación ligero pensado para dispositivos de este tipo.

Por otro lado, también puede instalarse un firmware personalizado, que le permiten programarse por medio de micro Python una versión pensada para dispositivos de bajo consumo del popular lenguaje Python o inclusive con el IDE de Arduino, el cual le da acceso a una cantidad de librerías muy amplia por lo activa que es la comunidad de esta plataforma. Esta última también es compatible con la versión 1 del módulo, lo que hace a este módulo prescindir de un procesador extra es la cantidad de GPIOs que puede manejar, su puerto serial se puede utilizar para otras funciones ya que no estaría recibiendo comandos AT, además de tener un ADC incorporado, entre otras funcionalidades. A continuación, se puede observar la versión uno y dos del módulo con sus respectivos puertos.

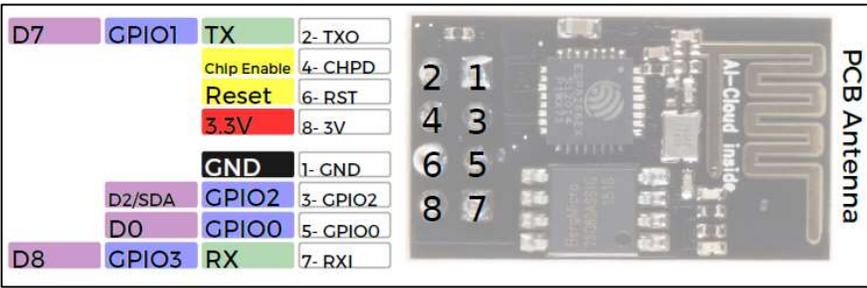


Figura 3. 8 ESP8266 Versión 1. Fuente: (Sparkfun Electronics, sf.)

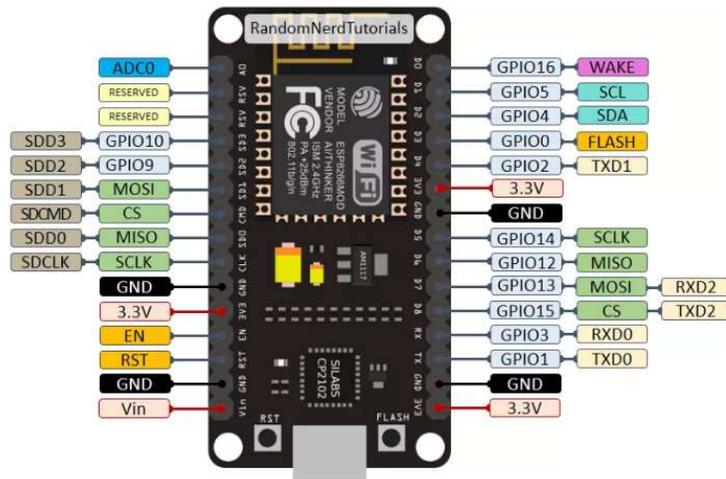


Figura 3.9 ESP8826 Versión 2 Fuente: (Santos, 2019)

Por último se investigó sobre los distintos dispositivos que ofrece la marca Control By Web, la cual se dedica a fabricar soluciones para monitoreo y control de variables en ambientes industriales, la misma posee dispositivos que cuentan con web Server integrados, que son accesibles por una dirección IP de manera sencilla además es muy fácil crear una especie de red con sus distintos dispositivos ya que el X600M tiene la posibilidad de manejar has 1024 I/O que pueden ser entradas analógicas, digitales, entradas de termocuplas, entre otros sensores.

Estas entradas también se pueden ver representadas por otros dispositivos que se encuentren en la misma red, así este módulo permite controlar todos los sensores y actuadores desde un mismo web Server de una manera sencilla e intuitiva. Además, el mismo se programa por medio del ya mencionado lenguaje LUA que le permite ejecutar ciertas rutinas más complejas que solo una comparación binaria. Esta información se puede encontrar de forma sencilla en (Control by web, 2018) y la página web del proveedor.

También cuentan con la posibilidad de utilizarse con otros protocolos que les permiten obtener de forma muy sencilla la información recolectada para ser utilizada en otro servidor o almacenarla directamente, como se puede observar en el siguiente script de Python donde con pocas líneas de obtiene la información desplegada en el dashboard de uno de estos dispositivos.

```
import requests
r= requests.get('http://192.168.3.2/dashboard1State.json')
print(r.text)
```

Figura 3.10 Código para recuperar información del sistema. Fuente: Elaboración propia

Estos controladores también cuentan con la posibilidad de comunicarse con dispositivos que no sean de la marca Control By Web por medio del protocolo modbus un protocolo estándar a nivel industrial utilizado para comunicación machine to machine (m2m).

3.2.5 Plataformas para mostrar los datos del sistema y protocolos de comunicación

Por el lado del software se investigó sobre las plataformas y los lenguajes o herramientas que se podían utilizar para desplegar los datos recibidos por medio del dispositivo, por parte de las plataformas las dos principales que se tomaron en consideración fueron thingsBoard y ubidots, ya que ambas cuentan con servicios gratuitos para estudiantes y lo cual permitía de manera sencilla desarrollar un prototipo de la plataforma.

También fue necesario investigar sobre protocolos de comunicación; la plataforma thingsboard cuenta con la posibilidad de subir información con varios de ellos como lo puede ser modbus, HTTP, COAP o MQTT.

El MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) fue el que se investigó a profundidad ya que es un protocolo pensado para trabajar con un bajo consumo de potencia y es altamente utilizado en proyectos de internet de las cosas y en dispositivos como los son los ESP.

El protocolo MQTT como lo explica (Santo, 2017) contiene dos tipos de dispositivos que conforman las redes el client y broker, el broker se encarga de recibir todos los mensajes y decidir quién los recibe, por otro lado, el client puede tanto publicar como recibir mensajes. Los conceptos básicos necesarios para entender MQTT son Publish/Subscribe, Topics y mensajes.

Publish/Subscribe son las dos acciones fundamentales de los clientes y son dependientes de los topics, los clientes no les escriben a otros clientes, sino que escriben a un topic y todos los que estén subcritos a ese topic tendrán acceso a la información que se publique. Los topics están compuestos por palabras separadas por barras inclinadas, cada barra representa un nivel. La siguiente imagen ayuda a ejemplificar estos niveles:

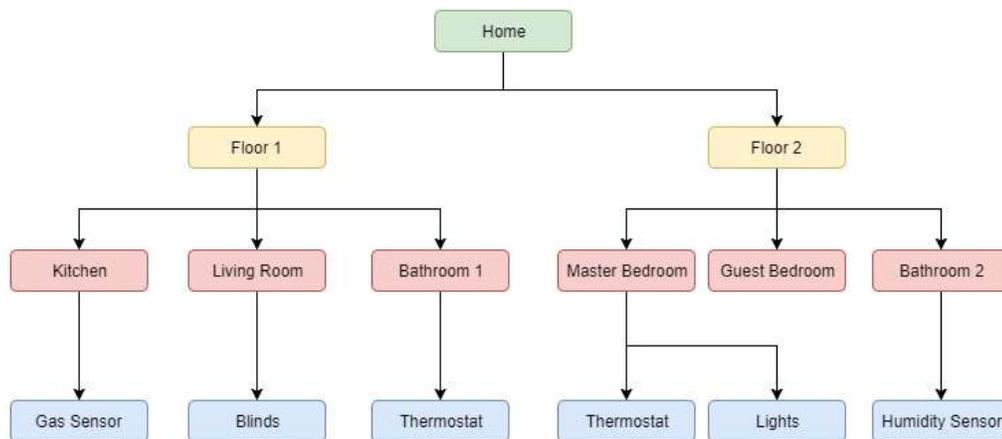


Figura 3.11 Organización de topics en MQTT Fuente: Santo, R. (2017).

En este caso un topic podría ser Home/Floor 1/Living Room/ Blinds, es importante mencionar que ya que el MQTT es un protocolo jerárquico. Si está escuchando al topic Home/Floor 2/Master Bedroom/ se podrá escuchar tanto como Thermostast com ligths.

3.2.6 Protocolos de transferencia de información

Ahora respecto al mensaje se puede enviar de distintas maneras, durante el proyecto se utilizó el formato JSON para hacer varias pruebas, el mismo liga uno o múltiples valores a una entidad, por ejemplo la plataforma thingsboard asigna de forma directa un topic para todos los dispositivos que son diferenciados por un token en caso de tener más de un sensor en un dispositivos se escribe al mismo topic pero el mensaje se envía en formato JSON, por lo que la plataforma asigna

una entidad si aún no existe y le asigna el valor que lo acompaña. El topic al que se escribe en este caso es "v1/devices/me/telemetry" y un ejemplo de la manera en que se vería un conjunto de datos sería el siguiente:

```
Datos = { 'temperatura': 25,  
          'Humedad': 56,  
          'luminosidad': 70  
        }
```

Figura3.12 Ejemplo de formato de datos JSON Fuente: Elaboración Propia.

El protocolo de transferencia de información utilizado por los controladores X600M y Web Wireless Relay es el "1-Wire", el cual según (Awtrey, Smith, y Lissiuk, 2004) consiste en tres componentes principales un bus de datos, un dispositivo maestro y dispositivos esclavos. La configuración de una red típica se vería como en la siguiente imagen.

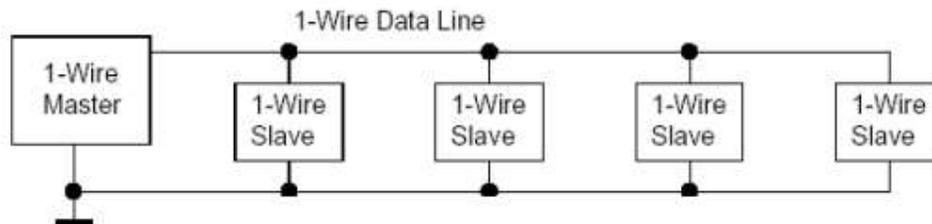


Figura3.13 Configuración de una red 1-Wire (Awtrey, Smith, y Lissiuk, 2004)

Ambos tienen la posibilidad de enviar y recibir datos por medio del bus, pero solo puede realizarse comunicación de un punto a otro a la vez lo que quiere decir que utiliza una comunicación half duplex, o sea hacia ambos lados, pero no al mismo tiempo.

Los datos son transmitidos de forma consecutiva con el bit menos significativo siendo el primero en transmitirse, el protocolo se encarga de determinar quién habla y en qué momento, este solo permite que los esclavos hablen si el maestro lo solicita y no se permite comunicación entre dispositivos esclavos.

El uno y el cero lógicos son representados por rangos de 5 a 2.2 V y por voltajes menores a 0.8 V y valores entre 2.2 y 0.8 V son indefinidos como se puede observar en el siguiente diagrama.

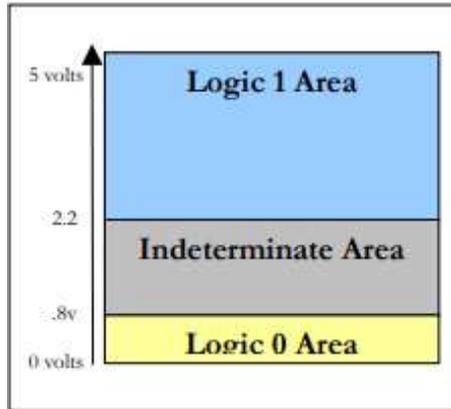


Figura 3.14 Niveles lógicos del protocolo 1-Wire Fuente: (Awtrey, Smith, y Lissiuk, 2004)

El nombre “1- wire” se da por el hecho de que un solo cable se usa para enviar los datos bidireccionalmente, el protocolo funciona utilizando 4 tipos de señalización:

- a. Reset sequence with reset pulse and presence pulse

Se usa para poner todos los esclavos conectados al bus en un estado conocido, cuando los dispositivos esclavos reciben un reset pulse responden con un presence pulse que indica que están activos en el bus 1-wire.

- b. Write 0

Envía un “0” a los dispositivos esclavos el bus 1-wire escribe un 0 en el time slot.

- c. Write 1

Envía un “1” a los dispositivos esclavos del bus 1-wire escribe un 1 en el time slot.

- d. Read data

Se libera la línea para leer datos de los esclavos puede leer tanto 0 como 1 del dispositivo esclavo.

3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

Como es bien sabido un microcontrolador no es capaz de proporcionar grandes cantidades de corriente por lo que se investigaron dispositivos como relés y contactores, los cuales tiene la capacidad de controlar cargas muy grandes por medio de señales de control más pequeñas como las que promociona un microcontrolador.

Para explicar el principio del funcionamiento del contactor (Gerín, 1999) indica que un contactor opera sobre el principio de conmutación todo o nada, lo que significa que tiene dos estados bien definidos abierto y cerrado. Este dispositivo funciona bajo principios electromecánicos y es accionado por un campo magnético sobre una bobina, con este campo magnético se ven accionados de manera mecánica los contactos esto permite que pueda interrumpir el paso de corriente según sea necesario.

Al magnetizarse la bobina se da un movimiento que es el que permite a los contactos cerrarse este movimiento puede ser según (Gerín, 1999 pag 23). “rotativo, girando sobre un eje, lineal, deslizándose en paralelo a las partes fijas, una combinación de ambos.”. Y cuando la bobina se desmagnetiza el de igual forma los contactos se cierran por medio de un movimiento similar que suele ser provocado por un resorte que los devuelve a su posición normal o de reposo.

El siguiente diagrama muestra una forma de conectar un microcontrolador con un relé para el control de dispositivos con altas corrientes.

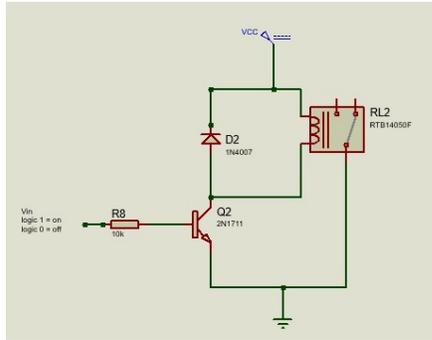


Figura 3.15 Conexión de un relé y una entrada digital. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El proceso de reconocer el problema inició cuando se contactó con la empresa por medio de correo electrónico pidiendo la oportunidad realizar una visita con el fin de encontrar puntos de mejora y problemas que pudieran solucionarse por medio del uso de la electrónica, la empresa accedió a una visita guiada donde uno de los ingenieros de la planta me mostró las distintas áreas y procesos que se llevaban a cabo. Uno de los procesos que podía mejorar era la forma en que se trabaja durante las noches ya que se hace uso de los hornos y se deja una persona encargada de dar rondas y apagar los hornos cuando terminaran el ciclo de trabajo.

Posterior a esto se tuvo otra reunión con el mismo ingeniero donde se habló más a detalle sobre este problema y se dieron ciertos requerimientos que debería tener la solución si se llegara a implementar. Ya con un anteproyecto trabajado donde se profundizaba más en el proyecto y la posible solución, se tuvo una tercera reunión con gerencia donde se habló de algunos requerimientos extras y se accedió a realizarlo.

Durante esta última reunión se definió algunos de los requerimientos importantes del sistema con lo que los principales requisitos serían los siguientes:

Tabla 4. 1 Requerimientos Principales del Proyecto. Fuente: Elaboración propia

Requerimientos de Construcción	<ul style="list-style-type: none">a. El sistema debe tener una comunicación inalámbrica para evitar exceso de cableado y facilitar su montaje.b. Se desea que haya un controlador atado a cada horno para que sea más fácil de mover en caso de un reacomodo de la línea.
Requisitos de Documentación	<ul style="list-style-type: none">a. El sistema debe almacenar la información sobre las acciones que realice para poder aumentar la trazabilidad y confiabilidad del proceso productivo.b. El sistema debe realizar notificaciones por correo electrónico en caso detectar temperaturas indeseadas y cuando realice acciones importantes que puedan afectar el proceso productivo, como cuando acabe un ciclo de curado programado durante la noche.
Requisitos de Utilización	<ul style="list-style-type: none">c. Los timers serían utilizados durante la noche solamente ya que la empresa funciona en operación continua lo que quiere decir que los hornos nunca se apagan y las piezas no entran todas al mismo tiempo lo que impide que se puedan aplicar recetas de producción programadas.

Con el avance del proyecto se definirían otros requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, pero que no requerían agregar funcionalidades sino adecuarlo y utilizar esas funciones para que tuviera más utilidad dentro del proceso productivo.

4.2 Obtención y análisis de información

Para este proyecto en lo que respecta a la información para programar y diseñar el sistema, así como el prototipo descartado, fue necesario hacer uso de libros, foros de programación, tutoriales y referencias del sitio del fabricante del controlador.

Por otro lado, también fue necesario consultar con distintos empleados de Tico Electronics para entender mejor el uso que se les da a los hornos, se habló en varias ocasiones con los operarios y la ingeniera encargada de la línea Daniela Castro, además fue requerida la ayuda del encargado de IT de la empresa Juan Flores para saber las subredes en las que estaba dividida la red en la cual se comunican todos los dispositivos y habilitar un correo institucional para las alertas del sistema así como habilitar el acceso para que el sistema se pueda acceder fuera de la empresa.

Durante el proyecto se tuvo acompañamiento del Supervisor del departamento de mantenimiento Melvin Solís quien ayudo a contactar con proveedores, asistencia técnica para construir los dispositivos de una forma que cumpliera con los estándares de la empresa y seguimiento al desarrollo del proyecto.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Se tuvieron dos soluciones planteadas, la primera era un circuito diseñado desde cero con el fin de reducir costos para que la implementación a gran escala fuera viable. Esta opción se pensó utilizando distintos componentes para crear el controlador con las entradas y salidas específicas, para la aplicación que se necesitaba y así no tener que comprar un equipo más costoso que tuviera más de lo necesario para la función que se requería.

Este inicialmente se empezó a desarrollar utilizando un PIC ya que parecía ser un procesador bastante robusto a nivel de procesamiento y en su construcción para poder realizar las tareas necesarias además de tener la capacidad para trabajar en un ambiente industrial, pero no es un dispositivo pensado para trabajar con conexiones inalámbricas. Sin embargo, el esp2866 v1 era un componente que podía agregar estas funcionalidades, además el PIC puede programarse enteramente con uso de la herramienta de simulación Proteus lo que facilita el proceso de desarrollo, minimiza costos además de ser programado en C un lenguaje que al ser de bajo nivel es muy confiable para el desarrollo de sistemas empotrados que era lo que se pretendía con esta primera propuesta. A continuación, se muestra el diagrama de las simulaciones que se trabajo durante esta parte del desarrollo.

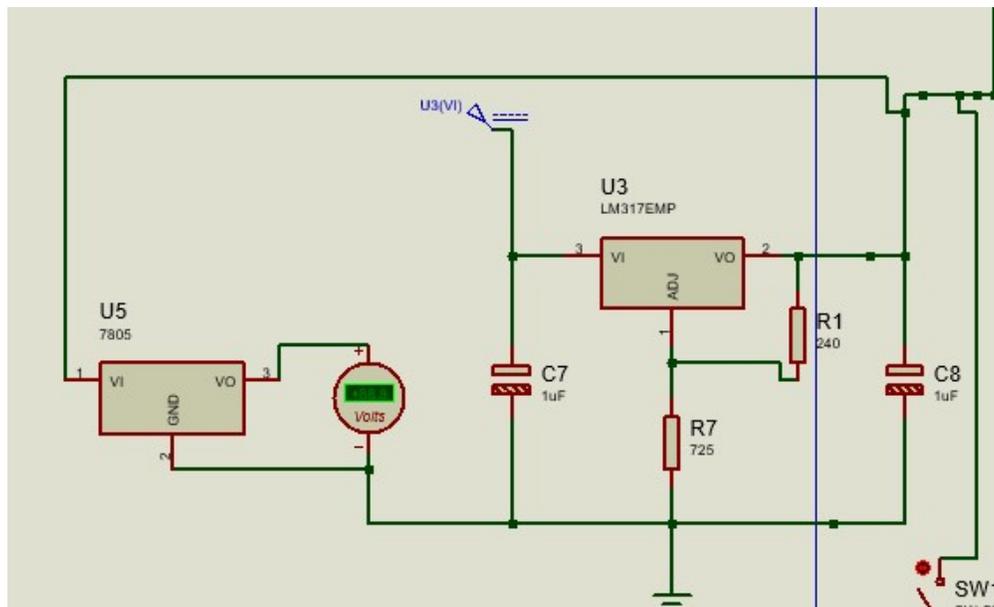


Figura 4. 1 Circuito de alimentación para el PIC y el ESP826. Fuente: Elaboración propia

Esta sección del circuito proporciona la alimentación, tiene una entrada de 12 V un adaptador DC común y lo pasa a una salida 5V para el PIC y 3V para el ESP8826.

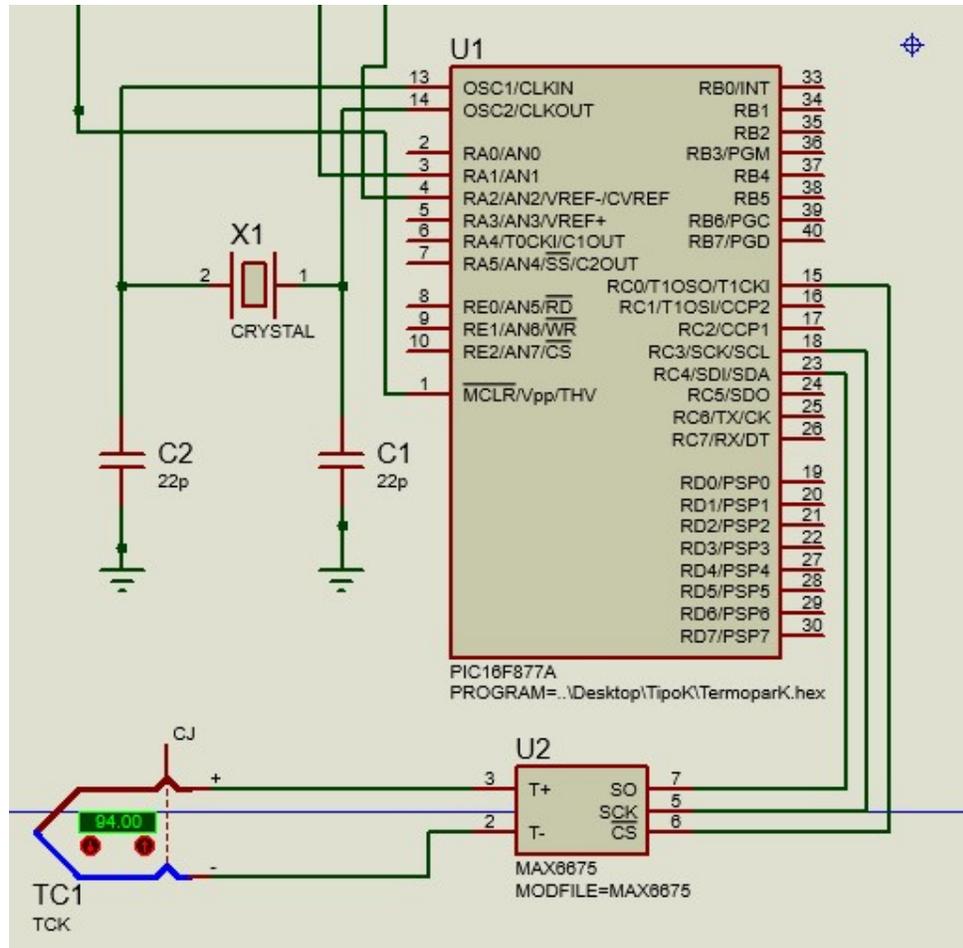


Figura 4. 2 Conexión con el MAX6675. Fuente: Elaboración propia

En esta sección se puede observar la conexión entre el PIC y el MAX6675 que es el circuito encargado de recibir los datos analógico de la termocupla y enviarlos por medio del puerto serial para que el controlador pueda interpretarlos por medio de una librería además también se puede apreciar la conexión del cristal oscilador que fija la frecuencia a la que opera.

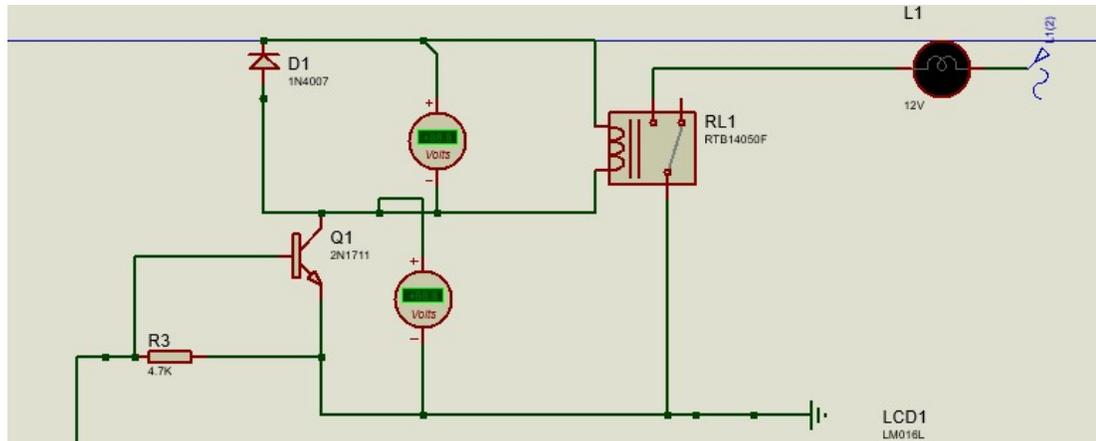


Figura 4. 3 Conexión de la salida del PIC al relé. Fuente: Elaboración propia

Por último se puede observar la configuración a la que se conecta la salida del PIC para poder controlar la bobina del relé, el mismo está conectado a una bobina 120 V para representar el horno al cual se conectaría de haberse utilizado en el proyecto.

Tras ciertas dificultades para conseguir un adaptador para comunicar el ESP8826 a la computadora y poder ser trabajando con el prototipo simulador. Se siguió investigando sobre estos dispositivos que en un principio no se consideraron como una opción que fuera viable para usar como procesador debido a que solo contaba con dos GPIO, sin embargo, se encontraron versiones posteriores programables en lenguajes como micro Python o con el IDE de Arduino por lo que usar el ESP8826 como modulo wifi y el PIC como procesador sea redundar en componentes ya que se podía utilizar el mismo para ambas funciones.

Se investigó si habían referencias sobre la implantación del ESP8826 a nivel industrial y se encontraron proyectos exitosos por lo que se decidió continuar el desarrollo con este controlador, se hizo un prototipo funcional el cual utiliza la plataforma Thingboard para desplegar los datos temperatura y controlar los GPIOs del dispositivo, el resto del circuito consistía en un módulo MAX6675 el cual convertía la señal analógica de la termocupla a una señal digital de forma serial, que era recibida por el controlador y un relé utilizado para interrumpir la carga que fuera conectada a los GPIOs del circuito.

El prototipo se programó con el IDE de Arduino por lo que fue fácil conseguir una librería, sin embargo, fue necesario agregar una modificación a la misma para poder utilizarla con el ESP2866, aunque el sistema era bastante funcional muchas veces la conexión era inestable y el estado que representaba el sistema en pantalla se invertía al estado de las GPIOs del controlador, con respecto a la medición de temperatura el sistema era bastante preciso pero solo se probó a temperatura ambiente, la siguiente imagen muestra el dashboard y el circuito que se usó en el prototipo.

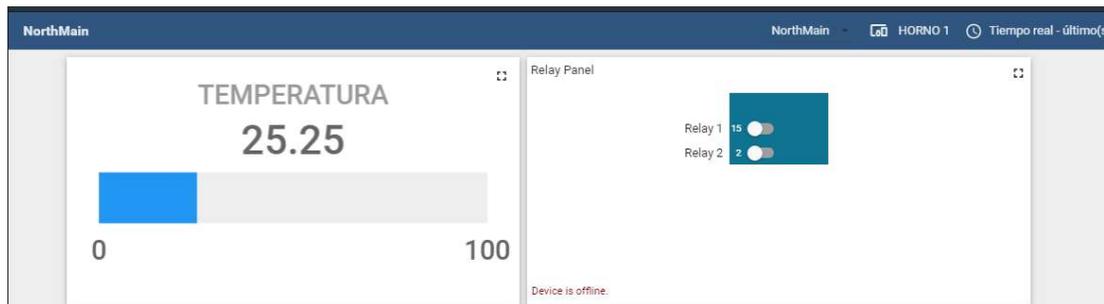


Figura 4. 4 Dashboard del prototipo realizado. Fuente: Elaboración propia

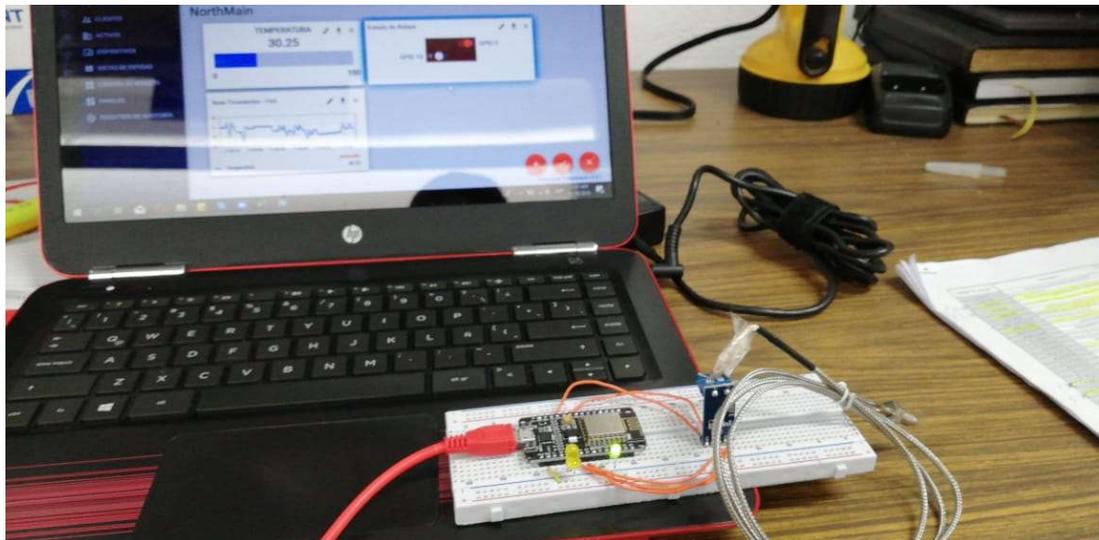


Figura 4. 5 Circuito prototipo Funcionando. Fuente: Elaboración propia

La segunda propuesta consistía en diseñar una red de dispositivos que se comunican por medio de conexión wifi, esos en lugar de comunicarse con una plataforma se controlan por medio de un dispositivo principal el cual se encarga de ejecutar las rutinas del sistema y de almacenar el web server, desde el cual el usuario final puede interactuar con el sistema. En este mismo también se puede programar las rutinas y la interfaz de usuario, es de gran importancia señalar que este web server ya viene preparado dentro del controlador y facilita una interfaz para la programación y la configuración de las funciones del control y para establecer la comunicación con los otros dispositivos. Lo cual lo vuelve un equipo muy completo y de fácil implementación.

Como ya se ha mencionado esta propuesta no se centraría en el desarrollo del controlador sino en utilizar dispositivos que ya se encuentran en el mercado, agregar el hardware requerido y programar las rutinas necesarias para la aplicación deseada, así como la interfaz de usuario para manejar el sistema, con el fin de crear una solución más rápida estable y pulida que pueda ser de mayor competitividad en el entorno industrial en el que se usará el proyecto.

En síntesis, la solución para el problema es la misma, consiste en controladores que permitan medir temperatura y tomar decisiones con la información obtenida lo que cambia entre una opción y otra es la ejecución.

4.4 Implementación de la solución

La implementación del sistema fue de las partes más pesadas y complejas del proyecto, primero se tardó unas dos semanas en construir los doce controladores que se iban a colocar en los distintos hornos de North Main, seguido de esto se tardó una semana más en su instalación ya que era un poco difícil ubicarlos por toda la línea de forma que no afectaran el entorno de trabajo.

Una vez instalados se probaron, pero los mismos creaban una gran cantidad de alarmas falsas porque en un principio solo se tomó en cuenta la temperatura de

los hornos, no si el horno estaba encendido o no, por lo que se agregó esta variable en consideración y se logró mitigar un poco las alarmas falsas.

Seguido a esto también se decidió implementar un botón para desactivar las alarmas, el cual se utilizaría en caso de ser necesario para el mismo propósito, no crear alarmas ficticias, después de estos ajustes se presentó el avance a los ingenieros de la planta y a la alta gerencia, durante esta reunión se dieron varios puntos en los cuales el proyecto debía mejorar.

Se tenía que definir como se almacenaría los datos recolectados por el sistema, se debía agregar que las alarmas se activaran solo si la temperatura salía del rango por un tiempo muy largo, se debía diseñar manuales de usuario y ensamblaje además de habilitar el acceso al sistema fuera de Tico Electronics.

Después de esta reunión se procedió a realizar estos ajustes en los que se demoró una semana, se determinó que la recolección de datos se podía hacer de forma sencilla utilizando un servidor FTP, al cual se conecta y sube los datos el control principal. Para eso se utilizó FILEZILA, también se desarrollaron los manuales de usuario y ensamblaje detallando como utilizar el sistema, como armar los controles de la mejor forma, como configurar y programar las funciones básicas en el sistema.

Cuando se terminaron estas mejoras se habló con gerencia sobre lo realizado y ellos solicitaron que se hiciera un análisis de la mejor forma de incluir el sistema al proceso productivo, este sería el paso final para dar por terminado el desarrollo del proyecto.

En ese momento seguía pendiente el acceso al sistema fuera de Tico Electronics, porque se necesitaba ayuda del departamento de IT para realizarlo. Para poder incorporar el sistema al proceso productivo se necesitó la ayuda del ex jefe del departamento de calidad, el cual proporcionó una guía para realizar este tipo de implementaciones. Donde primero se debe dividir el proceso, por lo tanto, se dividió la implementación en tres etapas, primero se realizaría en Stacking donde solo hay 2 hornos, posteriormente se expandiría al resto de la línea.

Se determinaron ciertas pautas necesarias para implementar el sistema; era necesario no utilizar para nada los botones físicos de los hornos así cuando los hornos estén encendidos o apagados el sistema tendrá información real, todos los días a las 4:30 pm se debía configurar los timers necesarios durante la noche luego se debía notificar a la persona encargada de apagarlos para que fuera y verificar que el contador hubiera llegado a cero y que el horno se hubiera apagado. Además, se debía revisar dos veces al día el valor de los hornos contra el valor del sistema para validar que las mediciones fueran exactas, la ingeniera de la línea también solicitó que los hornos se encendieran uno a las 6:30 y el otro a las 7:00 am para precalentarlos y que se apagaran al terminar el día. Durante las pruebas se siguieron afinando detalles para adaptar el sistema a las necesidades de la línea de producción de la manera más eficiente.

Tras aproximadamente una semana de pruebas, en las cuales se pudo comprobar el correcto funcionamiento del sistema, así como recolectar datos de temperatura y comprobar la efectividad de los correos enviados por el sistema, se pudieron detectar ajustes como definir horarios para cada horno basándose en el uso de estos.

Luego se replicaron estas pruebas para tener el sistema funcionando de forma óptima en toda la línea.

Posterior a esto se usó una semana más de tiempo para desarrollar la interfaz gráfica con la que interactuaría el usuario final, esto también fue un requerimiento de la gerencia ya que considero que la interfaz por defecto se veía muy desordenada, esto fue de gran beneficio para el sistema ya que permitió agregar funcionalidades a la vez que se mejoraba su estética, al mismo tiempo se trabajó con el departamento de IT para probar la seguridad del sistema y abrir el puerto para que el sistema tenga acceso desde fuera de la red interna de la empresa.

4.5 Reevaluación y rediseño

En lo que respecta a la propuesta seleccionada para la implementación no hubo necesidad de un rediseño en los componentes utilizados, sin embargo, si se

debió agregar más rutinas y adecuar distintas funcionalidades para las características específicas de cada horno.

Respecto a algunas mejoras que se podrían realizar al sistema es la adición de sensores magnéticos que indiquen si las puertas del horno están abiertas o cerradas lo que le permitiría al sistema tener más información sobre el estado real del ambiente y así evitar que hornos quedaran mal cerrados, lo que provoca pérdida de la temperatura y que el horno se sobre esfuerce.

Para encontrar puntos de mejora también se podría analizar las necesidades individuales de los hornos según la utilización, su ubicación dentro de la planta, las horas en que se utiliza para tratar de solucionar problemas específicos del sistema.

Una manera de mejorar el sistema sería extraer la información del Set Point a la que opera el horno, ya que, si el sistema tuviera acceso a este dato en vez de comparar contra un rango de operación, lo haría contra el valor al que debería estar el horno en ese momento lo que permitirá tener una alertas aún más precisas y confiables.

Capítulo 5: Descripción de la solución

5.1 Análisis de soluciones y selección final

La primera solución consistía en desarrollar un sistema embebido con entradas de termocuplas, salidas de relé para poder interrumpir la línea de alimentación de los hornos y funcionalidades de conexión Wifi, utilizando la plataforma Thingsboard, para desplegar los datos de temperatura, gestionar y alertar sobre el funcionamiento de los hornos. Esta primera opción se diferencia de la segunda porque consideraba desarrollar el controlador y la plataforma para poder reducir costos ya que se pretendía implementar en una gran cantidad de hornos.

La segunda opción consistía en utilizar dos controladores del fabricante control by web, a los mismos agregarles el hardware necesario para interactuar con los hornos, y aprovechar el web server que el controlador principal ofrece para evitar el desarrollo del mismo y facilitar la conexión con los dispositivos que estarían conectados a los hornos.

Con el prototipo final que consistía en un ESP8826 V2 y un módulo Max675 un relé y otros componentes básicos para acoplarlo a las salidas del microcontrolador, el hardware del controlador de la primera opción, tomando en cuenta solo de componentes electrónicos, resultaba ser más barato que el de la segunda opción que son 160 dólares, sin embargo esto no es un precio elevado hablando de un ambiente industrial, a modo de ejemplo la primera proforma que se realizó en la etapa de desarrollo cuando se planteaba usar el controlador PIC era de 65 000 colones aproximadamente 112 dólares, sin contar lo necesario para diseñar una carcasa y un PCB para poder montar el circuito, lo cual además de requerir bastante trabajo aumentaría su precio. Por otro lado, los controladores de control by web ya estaban listos para trabajar en ambientes industriales y cuentan con terminales adecuadas para su conexión con los demás equipos y montaje en los "Rail-Din" básicamente son equipos que cumplen con estándares, lo cual es importante cuando se implementa en una planta de manufactura.

La gerencia indico desde un principio que la conectividad WIFI como un requerimiento primordial. Los controladores de control by web además de conectividad WIFI cuentan con excelentes funciones de conectividad, estan preparados para trabajar no solo con otros de la misma marca, sino que cuentan protocolos Modbus que es un estándar para comunicación machine to machine, FTP para poder subir datos a un servidor de forma sencilla y eficiente. Además de ser fáciles de acceder por medio de TCP para obtener datos o cambiar sus variables, lo cual los convierte en equipos muy fáciles de trabajar con software externos al web server que se utiliza por defecto.

En caso de optar por la solución diseñada se necesitaría la licencia de la plataforma Thingsboard que tiene un valor 3 000 dólares, el controlador que se utiliza para desplegar el web server y encargarse de toda la gestión de las rutinas del sistema tiene un valor de solo 400 dólares y la capacidad de gestionar 100 I/O por lo cual con un solo controlador se podría gestionar todos los hornos de la planta.

Otro punto de gran importancia fue la facilidad de programar las rutinas y la acciones que debe ejecutar el sistema, el controlador de control by web tiene preparadas métodos programados por el fabricante para almacenar información o enviar correos electrónicos, con los cuales se configura con cuatro líneas de código como se puede observar en la siguiente imagen.

```
emailDef = {  
  rcpt = "grp.supervisor",  
  subj = [[Precalentado ]],  
  body = [[Horno 1 encendido para precalentar ]]  
}  
email(emailDef)
```

Figura 5.1 Función para envío de emails. Fuente: Elaboración propia

En cambio, Thingboard usa un lenguaje de programación gráfico llamado Node js lo cual provoca que la persona que configure una nueva acción deba conocer de este lenguaje.

Esto es de gran importancia porque si bien hay personas muy capacitadas dentro de la empresa para darle soporte al sistema es preferible que se pueda conservar sencillo para poder modificarlo o darle mantenimiento o en caso de que el sistema falle se pueda reparar de forma rápida.

Debido a que el controlador ya cuenta con el web server y las herramientas mencionadas eliminaba la necesidad de desarrollar uno propio, esta etapa del proyecto habría requerido una investigación muy profunda y mucho tiempo para su desarrollo por lo que fue un punto de gran importancia para su elección. Como se mencionó la plataforma de Thingsboard también eliminaba esta necesidad, pero seguía teniendo un alto grado de complejidad y un precio mucho más elevado que el controlador principal, el cual cuesta unos 400 dólares contra 3000 de la licencia del software.

Entre las razones por las que se eligió este equipo es que el hardware usado para convertir la señal de la termocupla a “1-wire” está calibrado para el uso con termocuplas tipo k lo que da mayor confiabilidad a la medición, esto uno de los objetivos principales del proyecto, brindar más seguridad durante el proceso productivo.

5.2. Descripción del hardware

El hardware utilizado para desarrollar la solución consistía en dos controladores, en un controlador X600M el cual no requiere de ningún hardware adicional solo necesitaba conexión a internet por medio de un cable ethernet, este es el controlador principal que puede estar ubicado en cualquier área de la planta.

El circuito de control que se conectaba al horno si requería de hardware adicional para operar, lo primero fue definir cómo manejar la corriente de los hornos en especial los hornos de 220 V que suelen tener una corriente más alta como se puede observar en la tabla 6.1 la corriente más alta con la que se debe trabajar es de 22 A por lo que se utilizó un contactor de 30 A, el contactor debía ser trifásico ya que en el mismo podría llegar a ser usado en un horno con esta característica en algún momento, ya que el controlador contaba con una salida de relé se utilizó este para controlar el paso de corriente por la bobina del contactor.

Por otro lado, como se ha mencionado este control solo contaba con un bus para sensores “1-wire” por lo que fue necesario utilizar un adaptador que convirtiera la señal analógica de la termocupla a una señal digital y serial, además le asignara un código único al sensor para que el controlador pueda interpretar la medición y a quien corresponde. Por último, se utilizó una fuente de alimentación para el controlador principal de 12 V en corriente directa.

El diagrama de conexión del circuito se puede observar a continuación, así como una foto del control ya cableado.

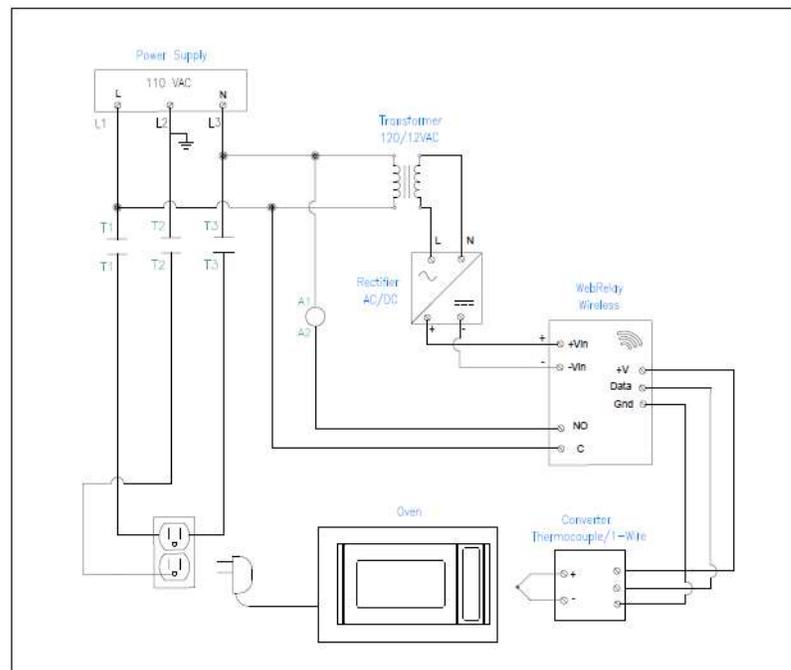


Figura 5. 2 Diagrama de conexión del circuito de control. Fuente: Elaboración propia

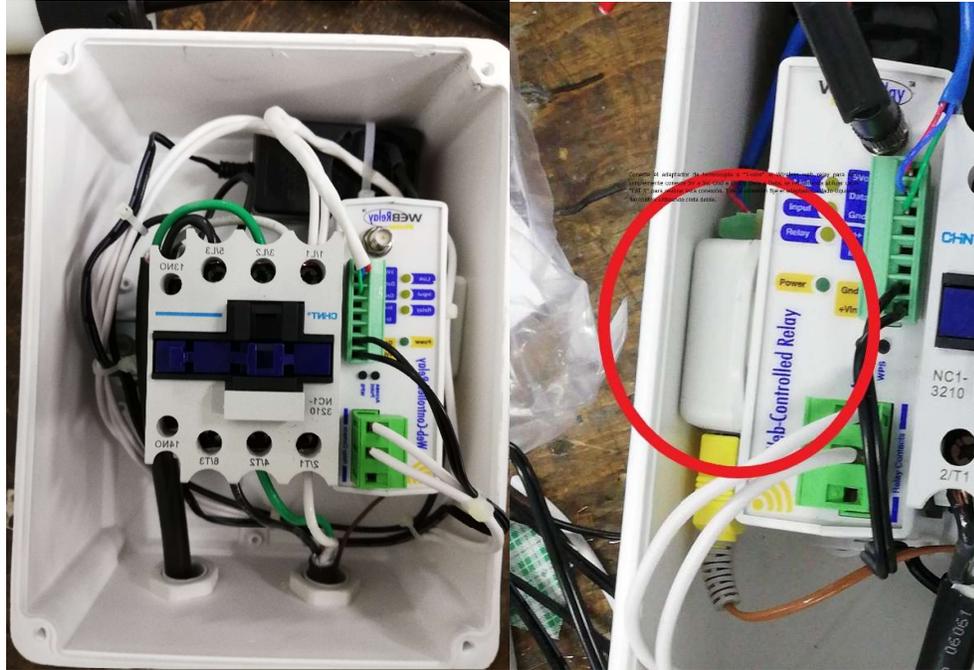


Figura 5.3 Circuito de control ya cableado. Fuente: Elaboración propia

Estos controles se conectan junto a un horno de manera que interrumpen la línea su alimentación eléctrica cuando es requerido y así es posible gestionarlos de manera remota, en la siguiente imagen se puede observar los equipos ya instalados en la línea de producción.



Figura 5.4 Circuitos instalados en la línea de producción. Fuente: Elaboración propia

5.3. Descripción del software

5.3.1 Software para realizar las funciones del sistema.

En lo que respecta al software el sistema realiza tres rutinas que debe correr de forma paralela para todos los hornos que estén conectados, la primera es verificar si el valor de temperatura está dentro de los rangos permitidos y en caso de que no sea así guardar este dato y notificar que por medio de correo electrónico, la segunda es de igual forma verificar si el valor medido está por encima de un límite de seguridad y si es así apagar el horno para proteger el equipo la última rutina es el apagado programado el cual consiste en verificar cuando el registro de un contador que va disminuyendo llegue a cero para apagar los hornos.

Para programar estas rutinas se hizo uso las herramientas proporcionadas por el controlador principal, en estas los códigos que se dividían en 2 tipos lógicas de control y lógicas de acción las mismas eran escritas en el lenguaje LUA. Otra particularidad a la hora de programar los equipos es que existían distintos tipos de variables que el sistema identificaba con palabras definidas, las entradas y salidas que serían los sensores, termocuplas o relés deben llevar el sufijo “io.” Para

utilizarse en una de las lógicas que se implementen, de igual forma con los registros de los cuales se podían definir registros booleanos, floats o timers que eran registros que ya estaban diseñados para funcionar como contadores que disminuyen su valor en 1 cada segundo. Todos estos registros pueden ser referenciados por el prefijo “reg.”, estas particularidades, así como la definición de varias funciones que puede ejecutar el controlador que le permiten enviar correos guardar información y funciones de red se encuentran en el manual de usuario proporcionado en la web del fabricante por lo que este fue una bibliografía de gran utilidad para desarrollar el software.

En la siguiente imagen se puede observar el diagrama de flujo de las tres rutinas principales del programa.

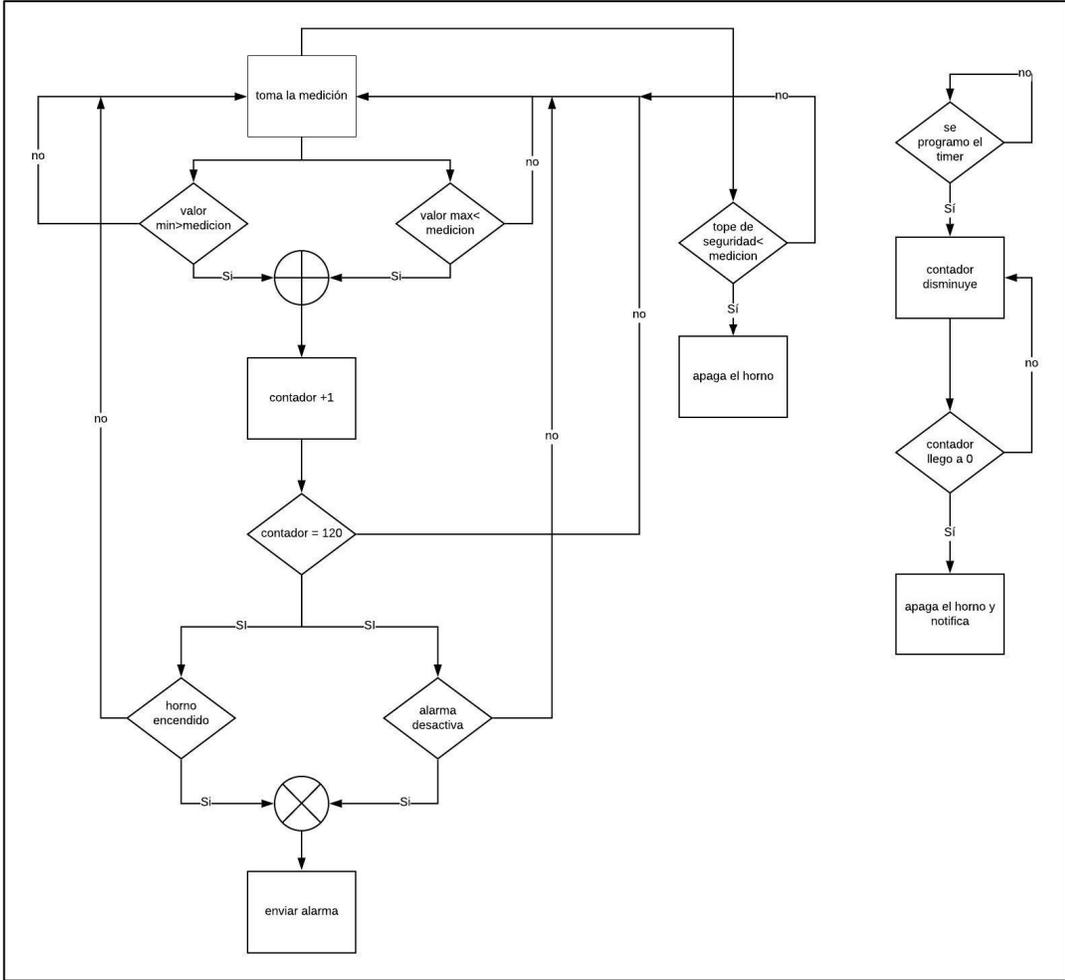


Figura 5. 5 Diagrama de flujo de las rutinas del sistema. Fuente: Elaboración propia

5.3.2 Software para la interfaz del sistema.

Para la interfaz de usuario se diseñó una página web utilizando HTML, CSS y jQuery, los dos primeros tienen la función de desplegar todo el apartado gráfico de la página input, output, imágenes entre otros y jQuery es utilizado para poder hacer script que permiten manipular las variables, obtener los valores medidos por el sistema y mostrarlos en pantalla, verificar si los usuarios tienen acceso al sistema etc. Esta página web se construyó sobre el mismo web server con el que contaba el controlador gracias a una función que permitía subir una página web personalizada.

Utilizar estas herramientas permiten crear una plataforma más pulida y con mayor flexibilidad, una de las limitantes de la interfaz por defecto del web server es que solo permite ingresar valores numéricos que son interpretados como segundos, gracias a las herramientas de programación web se pueden crear inputs numéricos que se pueden manipular para que representaran horas y minutos, luego convertirlos a segundos y enviarlos al control evitando al usuario hacer el cálculo de tiempo en segundos que necesita el curado. Esto es de gran utilidad ya que el proceso de curado normalmente es un proceso de horas no segundos.

También se puede personalizar a nivel de colores e insertar logos lo que permite hacer una plataforma que se identifique más con la empresa a la que pertenece, en las siguientes imágenes se puede observar la diferencia entre la interfaz por defecto y la interfaz programada desde cero.

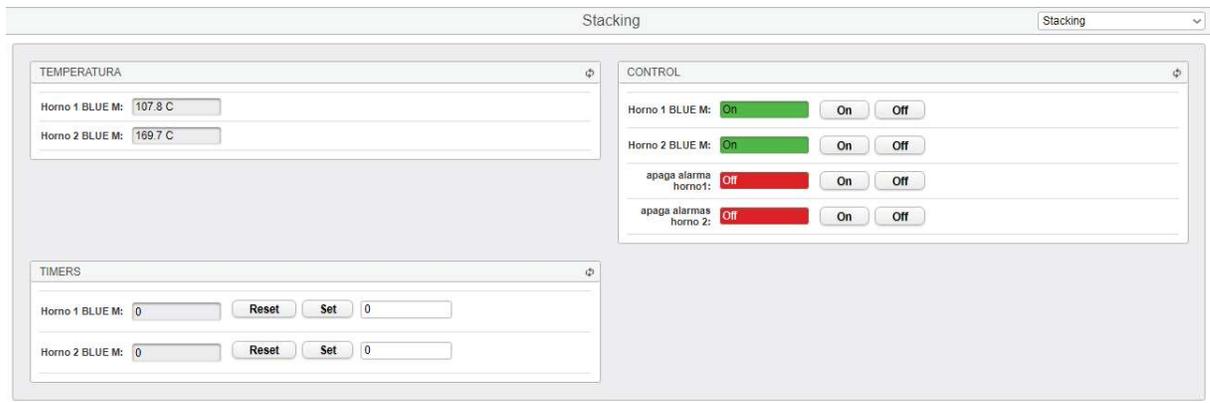


Figura 5. 6 Interfaz por defecto. Fuente: Elaboración propia

Tico Electronics
Contract Manufacturing Services

Gestión de Hornos Tico Electronics

Bienvenido Administrator

[Logout](#)

STACKING							
Descripción	Temperatura	Rango de Operación	Estado	Manejo de Estado	Alarmas	Manejo de Alarmas	Timer (Horas, Minutos)
Horno 1 BLUE M	109.8 C	100-135 C	Encendido	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	Encendida	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 <input type="button" value="SET"/>
Horno 2 BLUE M	158.8 C	155-165 C	Encendido	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	Encendida	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 <input type="button" value="SET"/>

IMPREGNADO							
Descripción	Temperatura	Rango de Operación	Estado	Manejo de Estado	Alarmas	Manejo de Alarmas	Timer (Horas, Minutos)
Horno 6 BLUE M	100.5 C	100-110 C	Encendido	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	Encendida	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 <input type="button" value="SET"/>
Horno 7 BLUE M	109.2 C	55-160 C	Encendido	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	Encendida	<input type="button" value="OFF"/> <input type="button" value="ON"/>	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 <input type="button" value="SET"/>

Figura 5. 7 Interfaz Programada. Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la interfaz programada se puede agrupar todas las variables relativas a un mismo horno en una línea lo que aumenta el orden y facilita uso para el usuario del sistema, por otro lado, las etiquetas son más significativas y el espacio se aprovecha de mejor manera, además permite mostrar información relevante como los rangos de temperatura de los hornos, lo cual es una ayuda visual para el usuario.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

6.1 Resultados

6.1.1 Información de operación de los hornos de la línea de producción North Main

Como primer objetivo se debía caracterizar el proceso productivo para determinar cómo se utilizan los hornos y las necesidades de estos, para lo que fue necesario tomar datos de los hornos y conocer un poco mejor el proceso para el que se utilizaban a continuación se muestra una tabla con todos los hornos de la línea de North Main que fue donde se instalaron los controles.

Tabla 6. 1 Tabla de información de los hornos de North Main. Fuente: Elaboración propia

Numero Horno	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Fases	Rango de Operación	Proceso
1	208	18	1	100-135	Apilado
2	115	4	1	155-165	Apilado
3	115	12.5	1	60-250	Impregnado
4	220	22	1	45-255	Impregnado
5	110	12.5	1	45-100	Impregnado
6	120	3	1	100-110	Impregnado
7	208	18	1	55-160	Impregnado
8	220	22	1	45-255	Impregnado
9	115	16	1	-55 - -45	Impregnado
10	115	10.8	1	70-165	Impregnado

Por otro lado, durante las etapas finales del proyecto se implementaron horarios para que los hornos se encendieran y apagaran de forma automática para automatizar este proceso la siguiente tabla muestra los horarios que se determinaron según el uso específico de cada Horno.

Tabla 6. 2 Horario Implementado para los hornos de la línea. Fuente: Elaboración propia

Horno	Lunes a Jueves	Viernes
1	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
2	7:00am - 8:45 pm	6:30am - 2:40 pm
3	6:30am - 10:45 pm	6:30am - 2:40 pm
4	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
5	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
6	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
7	7:00am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
8	No se apaga	6:30am - 2:40 pm
9	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
10	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm

6.1.2. Histogramas con las mediciones de temperatura tomadas por los hornos.

Después de instalar los hornos en la línea se procedió a tomar registrar las mediciones tomadas por el sistema con el fin de realizar histogramas que permitieran realizar un análisis visual de estos datos, durante la recolección de estos datos no se atendieron las alarmas ya que aún faltaba pulir rangos y tiempos de activación para que las alarmas proporcionaran información valiosa, algunos de los histogramas se pueden observar en las siguientes figuras.

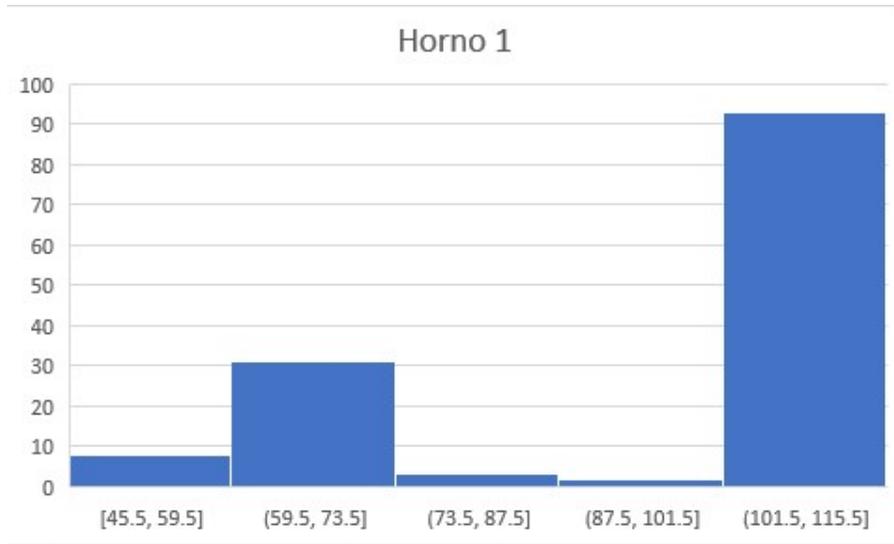


Figura 6. 1 Histograma de los datos de temperatura del horno 1. Fuente: Elaboración propia

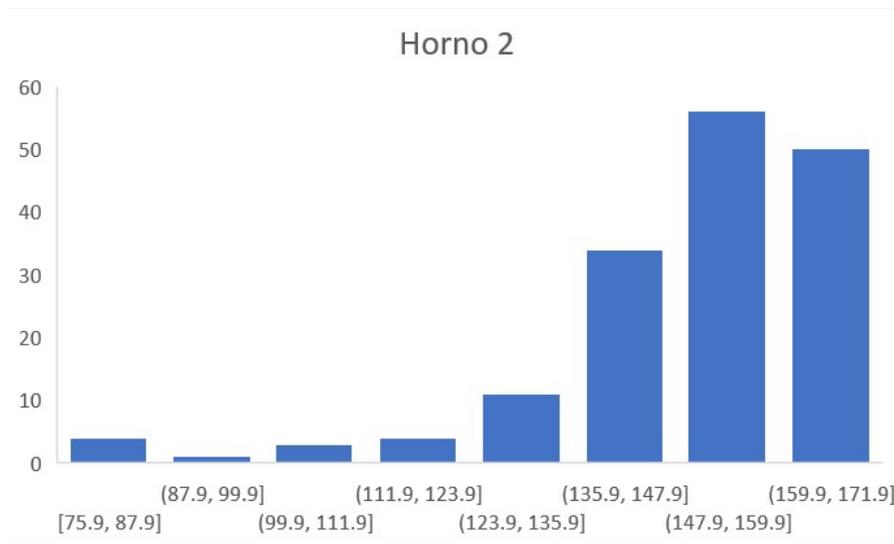


figura 6. 2 Histograma de los datos de temperatura del horno 2. Fuente: Elaboración propia

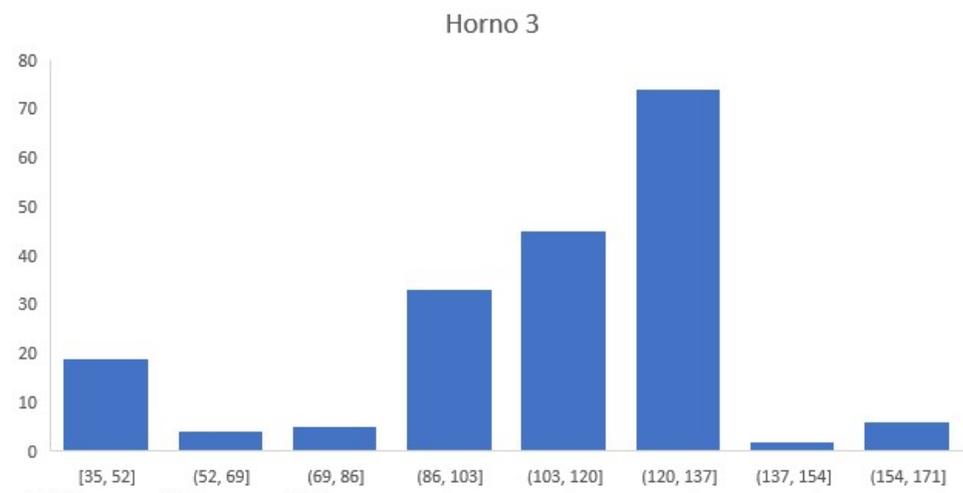


figura 6. 3 Histograma de los datos de temperatura del horno 3. Fuente: Elaboración propia

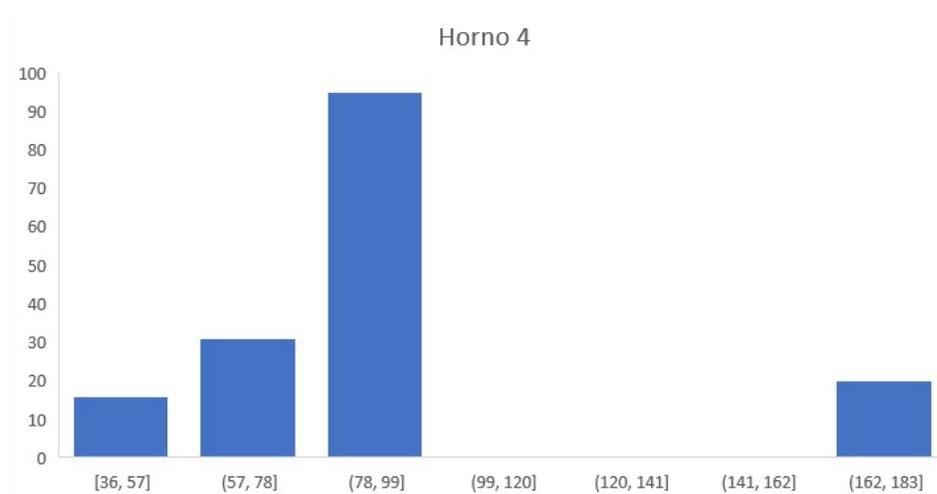


figura 6. 4 Histograma de los datos de temperatura del horno 4. Fuente: Elaboración propia

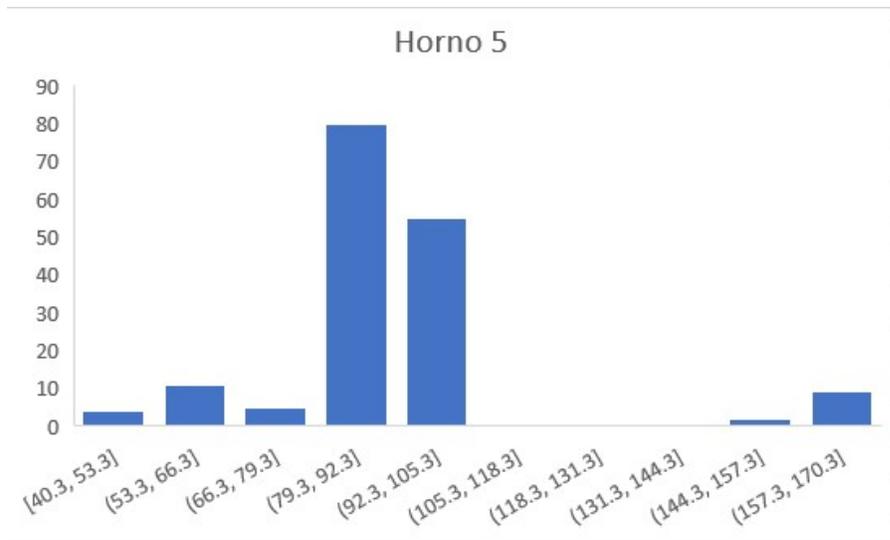


figura 6. 5 Histograma de los datos de temperatura del horno 5. Fuente: Elaboración propia

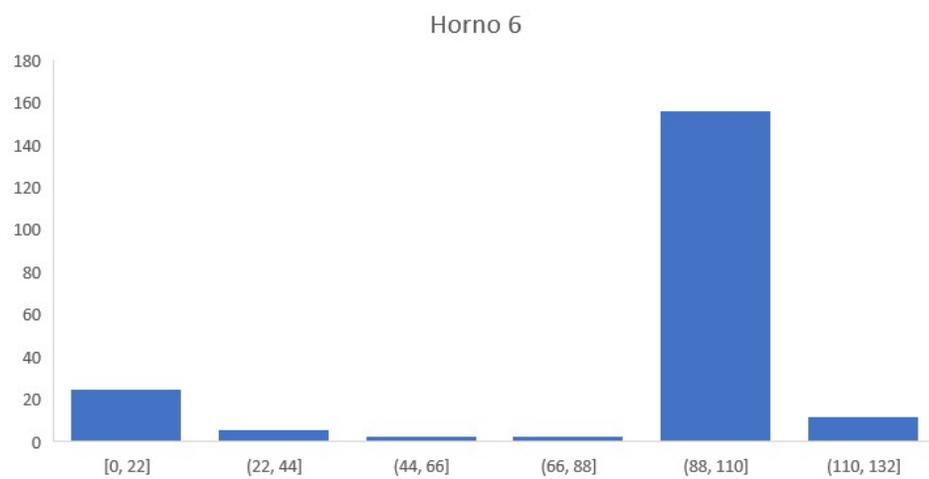


figura 6. 6 Histograma de los datos de temperatura del horno 6. Fuente: Elaboración propia

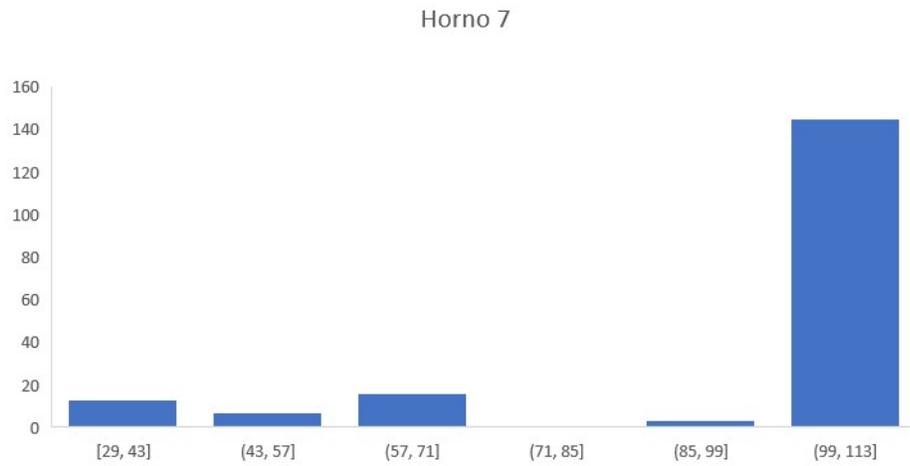


figura 6. 7 Histograma de los datos de temperatura del horno 7. Fuente: Elaboración propia

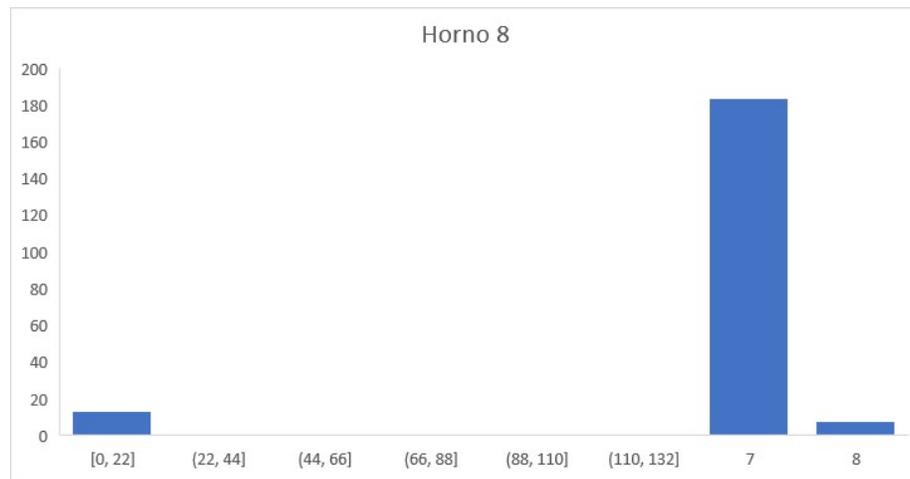


figura 6. 8 Histograma de los datos de temperatura del horno 8. Fuente: Elaboración propia

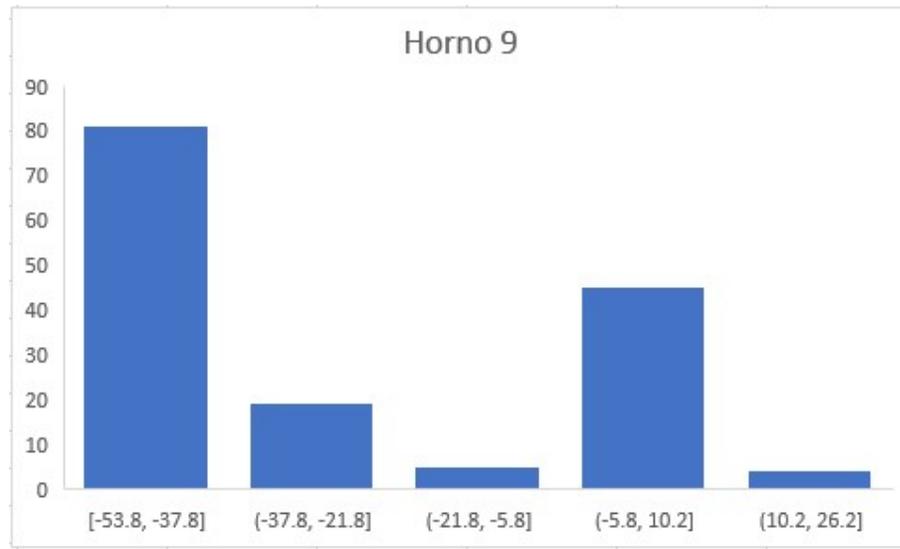


figura 6. 9 Histograma de los datos de temperatura del horno 9. Fuente: Elaboración propia

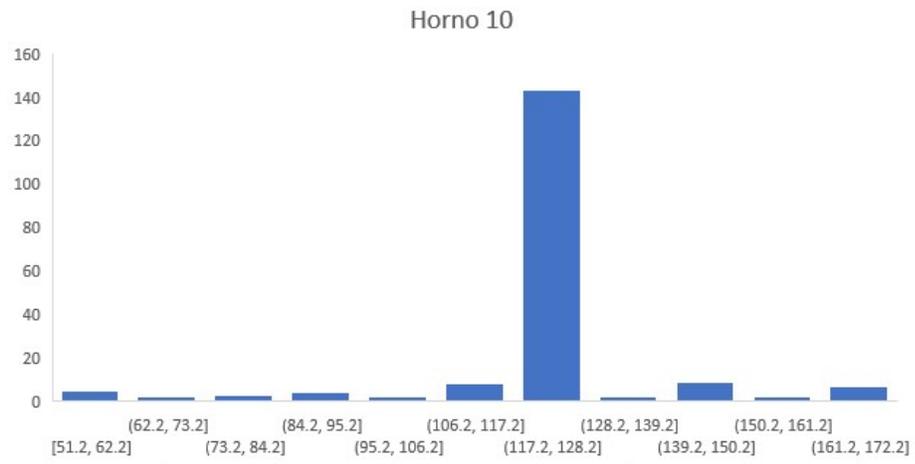


figura 6. 10 Histograma de los datos de temperatura del horno 10. Fuente: Elaboración propia

6.1.3. Porcentajes de error de las mediciones del sistema.

Para validar las mediciones del horno se tomaron datos comparando el valor marcado por el horno y el valor marcado por el sistema y se calcularon porcentajes de error esto se realizó con dos de los hornos solamente.

Tabla 6. 3 Porcentaje de error de las temperaturas medida en el horno 1. Fuente: Elaboración propia

Medido	Real	% Error	Promedio
108.6	109	0.36697248	0.20981991
108.8	109	0.18348624	
107.7	108	0.27777778	
108.1	109	0.82568807	
107.9	108	0.09259259	
108.1	108	- 0.09259259	
108.2	108	- 0.18518519	

Tabla 6. 4 Porcentaje de error de la temperatura medida en el horno 2. Fuente: Elaboración propia

Medido	Real	Error	Promedio
		-	-
171.2	165	3.75757576	0.33381296
152.3	153	0.45751634	
128.3	129	0.54263566	
148.2	149	0.53691275	
154.9	155	0.06451613	
161.9	162	0.0617284	
165.4	165	- 0.24242424	

6.1.4. Observaciones sobre el funcionamiento del sistema implementado

Estos valores promedio se obtuvieron de las mediciones tomadas mientras se probó el sistema como estas mediciones y otras que sirvieron para validar su correcto funcionamiento se pueden observar la tabla que se observa a continuación.

Tabla 6. 5 Datos de funcionamiento del sistema. Fuente: Elaboración propia

fecha	Acción	Hora	Responsable	Notas
15-Oct	horno se encendió de forma correcta	7:00	jose	calendario
14-Oct	horno se apagó antes de tiempo	18:54	macho	timer
14-Oct	se volvió a programar con el tiempo faltante	18:58	macho	timer
14-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:40	macho	timer
15-Oct	verificacion de temperatura	11:08	jose	horno 1, 108.6(sistema) 109 (físico)
15-Oct	verificacion de temperatura	11:08	jose	horno 2, 171,2 (sistema) 165 (físico)
15-Oct	verificación de temperatura	4:00	jose	horno 1, 108.8(sistema) 109 (físico)
15-Oct	verificación de temperatura	4:00	jose	horno 2, 152.3 (sistema) 153 (físico)
15-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:33	macho	macho verifico que el horno si se apago
16-Oct	hornos se encendió de forma correcta	6:30	jose	se encendió el horno 1 según se debía encender
16-Oct	hornos se encendio de forma correcta	7:00	jose	se encendió el horno 2 según se debía encender
16-Oct	verificación de temperatura	7:30	jose	horno 2 128.3(sistema) 129 (físico)
16-Oct	verificación de temperatura	7:30	jose	horno1 107.7 (sistema) 108 (físico)
16-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:34	jose	timer

17-Oct	hornos se encendió de forma correcta	6:30	jose	se encendió el horno 1 según se debía encender
17-Oct	hornos se encendió de forma correcta	7:00	jose	se encendió el horno 2 según se debía encender
14-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:43	macho	timer
18-Oct	hornos se encendió de forma correcta	6:30	jose	se encendio el horno 1 según se debia encender
18-Oct	hornos se encendió de forma correcta	7:00	jose	se encendio el horno 2 según se debia encender
18-Oct	verificacion de temperatura	8:45	jose	horno 1, 108.1(sistema) 109 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	8:45	jose	horno 2, 148,2 (sistema) 149 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	8:45	jose	horno 8, 75 (sistema) 75 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	8:45	jose	horno 7, 107.3 (sistema) 105 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	8:45	jose	horno 6, 103.6 (sistema) 101.6 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	12:33	jose	horno 1, 107.9 (sistema) 108 (fisico)
18-Oct	verificacion de temperatura	12:33	jose	horno 2, 154.9 (sistema) 155 (fisico)
durante el fin de semana se determinó que el sistema enviaba confirmación de que había apagado el horno aun si el horno estaba apagado por lo que se corrigió esta parte del código				
21-Oct	verificacion de temperatura	11:18	jose	horno 1 108.1 (sistema) 108 (fisico)
21-Oct	verificacion de temperatura	11:18	jose	horno2 161.9 (sistema) 162 (fisico)
21-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:34	macho	timer no se debia programar
21-Oct	horno se apagó a la hora debida	20:30	macho	horario
22-Oct	horno 2 se encendio de forma correcta	7:00	jose	horario
22-Oct	horno 1 se encendio de forma correcta	6:30	jose	horario

22-Oct	verificacion temperatura	de	12:40	jose	horno 1, 108.2 (sistema) 108 (fisico)
22-Oct	verificacion temperature	de	12:40	jose	horno 2, 165.4 (sistema) 165 (fisico)

6.2 Análisis

6.2.1 Análisis de los Histogramas.

Tras días de tener el sistema funcionando se tomaron datos de las temperaturas que registraban los equipos en distintas situaciones; cuando un horno salía de rango, cuando algún control cambiaba el estado de su relé o en el momento que un timer llegaba a cero y apagaba el horno.

Estos datos se almacenan en formato de txt por lo que se usó un script de Python para convertirlos a un formato csv y poder aplicar herramientas de análisis estadístico, una vez con los datos en este formato se procedió a realizar una serie de histogramas para ver la distribución que se formaba en los distintos grupos de datos.

Todos los conjuntos de datos mostraron un comportamiento muy similar donde la gran mayoría se concentraban en una de las barras y en casi todos los casos había una concentración de datos a temperatura ambiente, esto debido a que el sistema no se estaba utilizando de forma completa por lo que muchas veces el horno se apagaba manualmente y el relé seguía encendido. Por lo tanto, el control interpretaba que el horno está encendido a una temperatura muy baja y disparaba una alarma almacenando datos que no son importantes por lo que son considerados outliers, lo que nos dejaría con temperaturas que en su gran mayoría están dentro del rango de operación.

En el histograma del horno 1 en la **figura 6.1**, se puede observar que hay una cantidad de datos importantes que se registran entre los 50 y 70 grados centígrados al revisar el conjunto de datos se puede observar que los valores fueron registrados en su gran mayoría el 23 de septiembre entre las dos y las tres de la tarde por lo que en este caso podemos observar como el sistema realmente está midiendo un datos que indican que ese horno estuvo fuera de su rango de operación durante un periodo extendido de tiempo, ahora bien esto no indica que el horno estuviera operando mal ya que esto podría ser realizado de forma intencional por necesidad de la línea de producción, pero si comprueba el buen funcionamiento de las alarmas del sistema.

En el histograma del horno 5 en la **figura 6.5** se puede observar que los valores tienen muy poca variación sin embargo hay un grupo de datos que están entre los 150 y 160 grados centígrados en este caso también se comprueba que es una medición en la que el sistema de forma correcta detectó que el horno estaba fuera de rango de operación por un tiempo prolongado ya que al revisar el conjunto de datos se puede observar que fueron registrados el 2 de octubre de 5 a 8 de la tarde en este caso es muy probable que este horno estuviera operando a esa temperatura porque se dejaron piezas curando en el que requerían una temperatura más elevada, esto es normal que pase porque aún no se están utilizando los timers del sistema así que se usan algunos hornos que son más modernos y ya cuentan con un timer para programar el apagado del mismo.

6.2.2. Análisis de los resultados de la puesta en marcha del sistema

Por otro lado al ver el histograma del horno 8 en la **figura 6.8**, podemos observar cómo no hay prácticamente desviación de los datos esto es debido a que las piezas que se usan en este horno tienen un tiempo de curado de 16 horas por lo que la puerta del horno permanece cerrada casi permanentemente, esto permite apreciar que para llegar a tener un curado de forma más precisa es necesario que el horno sea manipulado lo menos posible lo cual es muy difícil en los otros hornos donde las piezas entran salen de forma constante por lo cual es de suma importancia determinar si los hornos están trabajando de forma óptima para asegurar que puedan volver a su temperatura de operación de forma rápida.

De manera similar en el histograma del horno 9 en la **figura 6.9** que en realidad es un “choque frío” se puede observar cómo hay muchas mediciones que rondan entre -5.8 y 10.2 grados, esto fue debido a la implementación del control, ya que el horno cuenta con un mecanismo de control de temperatura que debe activarse de forma manual cada vez que el equipo se enciende al implementar el control y hacer pruebas con el apagado automático yo no conocía esa información por lo que el choque frío quedó un tiempo encendido pero sin tener el control de temperatura funcionando lo que creó que la temperatura aumentara. Aunque en este caso el aumento de temperatura fue por las pruebas del equipo el mismo permitió notar el error que estaba teniendo al no encenderse el control de

temperatura. Esta información resulto ser de gran importancia y se agregó al manual de usuario que se solicitó por parte de la gerencia.

Así se determina que la recolección de datos de temperatura permite identificar si los hornos operan a temperaturas adecuadas, además de saber para que se están utilizando o si los equipos están trabajando como deberían hacerlo de manera remota, esto presenta una forma de evitar que las piezas se estén curando de forma correcta y ayuda a evitar accidentes o mal uso de los equipos.

Por otro lado una vez que se empezaron a hacer pruebas de su funcionamiento en la línea de producción se buscó la forma de evitar que el sistema creara alarmas falsas por lo que se tuvo que implementar horarios para los hornos de modo que los operarios no fueran quienes manipularan el encendido y apagado de los hornos sino que ya estuviera definido, de este modo se podía encender los hornos con antelación para que se precalentaran y ganar unos minutos por la mañana y no era necesario que el operario configurara todos los días al final del día el tiempo por el que quería el horno encendido el cual es el mismo todos los días para el respectivo horno.

Al empezar a hacer estas pruebas se pudo detectar que el horno 2 tenía disfunciones, duraba poco más de una hora para calentar a la temperatura de operación y a temperaturas alrededor de los 135 perdía el calor al abrir la puerta de manera demasiado precipitada, casi 10 grados en un segundo, esto demuestra como el sistema no solo permite alertas sobre problemas en el proceso productivo sino también alertar en desperfectos que puedan tener los equipos de producción.

Durante este periodo de prueba también se realizaron mediciones dos veces al día donde se tomaba la temperatura del horno y la temperatura que marcaba el sistema, para poder medir que tan preciso era el mismo, se tomaron porcentajes de error y se sacó un promedio con todos los valores obtenidos estos datos se pueden observar en **la tabla 6.3** y **la tabla 6.4**, el valor obtenido en caso del horno 1 fue de 0,209 % y en caso del horno 2 fue de 0,334 % lo cual nos permite validar que las mediciones del sistema son muy precisas y los datos que brinda son muy confiables, en el caso del Horno dos podemos observar que el valor del promedio de error es más alto es se debe a que la medición de la termocupla es muy

dependiente de la colocación y no debe estar en contacto con la otros materiales, por lo que posteriormente se fijó de forma correcta la termocupla para evitar un desvío de los datos.

En la **tabla 6.5** además de servir para obtener los datos para el cálculo porcentaje de error nos permite validar que el sistema es confiable en lo que respecta sus capacidades de gestión como se observa en la tabla el sistema encendía y apagaba los hornos por medio de dos mecanismos horas específicas que se programaban previamente o por los ya mencionados timers en la tabla podemos observar que para ambos casos el sistema se comporta de manera correcta en casi el 100 por ciento de las pruebas realizadas. Esto permite tener un respaldo de que la solución ante gerencia.

6.2.3 Análisis del hardware diseñado

En lo que respecta al hardware se logró tener un sistema que fuera de fácil instalación lo que permite tener una gran movilidad y agiliza el proceso de reacomodo de la línea esto se pudo comprobar ya que semanas después de la instalación hubo que reacomodar una porción de la línea, para lo cual solo se desconectó y reconecto el hardware en el lugar necesario, lo cual fue de gran utilidad ya que no es necesario instalar largas termocuplas por toda la línea, lo cual si era necesario con el controlador que se tenía anteriormente que se utilizaba para medir dos de los 10 hornos de la línea. Esto además de facilitar la instalación mejora la estética de la línea. Al utilizar termocuplas se sabe que las mediciones son muy precisas y los sensores no requieren ningún mantenimiento y en caso de daño se puede reemplazar fácilmente.

El hardware además ha demostrado ser muy fiable en lo que respecta a su utilización por lapsos prolongados, el mismo no ha presentado ningún fallo durante el tiempo en que ha estado instalado y en caso de perder su alimentación eléctrica una vez reestablecida los mismo se reconectan al controlador principal.

El controlador principal utiliza memoria flash para almacenar los timers por lo que en caso de perder la energía también se perdería estos valores por lo que es importante tener un respaldo para este, aunque el sistema puede ingresar fuera

de tico Electronics por lo que se puede verificar su estado en caso de una de estas situaciones.

6.2.4 Análisis del software diseñado

6.2.4.1 Software de control

En lo que respecta a la software de control que se utilizó para realizar las funciones del sistema, se tiene un código seccionado en script que fijan las condiciones para que se active un evento y script que determinan las acción que se debe tomar una vez que se active ese evento, esto beneficia el orden ya que cada uno de esos fragmentos de código tienen un nombre y una descripción de lo que hacen por lo que el mismo queda muy bien documentado. Esta división a su vez vuelve más tedioso encontrar un error o hacer una modificación en el código.

Para realizar los horarios no fue necesario utilizar código se usó una herramienta que ya estaba presente en el web server el cual permitía activar y desactivar un evento a una hora fija. Pero esto también presento un inconveniente ya que esta función solo permitía activar o desactivar el evento en lapsos de media hora, así que el cambio solo se podía programar para las 4:30 pm o las 5:00 pm los hornos se deben apagar a las 4:40 pm por lo que se debió aplicar una lógica combinando esta función y la programación de los timers para que a las 4:30 pm se active un contador de 10 minutos y así lograr que el horno se apagara a la hora exacta que era requerido.

6.2.4.2 Interfaz Grafica

La interfaz gráfica requirió de mucha investigación que se realizó en paralelo con el desarrollo del mismo ya que el área del diseño web no era un tema que se dominara, afortunadamente solo fue requerido diseñar el archivo HTML para lo que se utilizó una estructura de tipo tabla para poder presentar una interfaz ordenada, al ser un sistema de monitoreo debía mostrar información en tiempo real por que se debía usar jQuery, JavaScript o alguna otra librería que le proporcionara al HTML la capacidad de ser una página dinámica.

Se utilizó jQuery por que el fabricante del controlador ya contaba con varias funciones programadas las más importantes eran refreshIOFields() la cual obtiene la información de un widget o un panel y la pasaba a un archivo seguidamente verifica en el HTML todas las estructuras Span, que son etiquetas que se colocan dentro del mismo, que tuvieran el mismo nombre que un I/O o registro del documento y le asignaba ese valor del archivo cada ciertos segundos, por ejemplo si el controlador tenía declarado un relé con nombre "relay1" con valor "1" la función asignaba ese valor a al Span dentro del HTML cuyo ID sea "relay1" y esto le repetía después de una cierta cantidad de segundos. Ahora bien, para un usuario final un "1" puede no representar que un horno este encendido por lo que se usaron etiquetas que enseñaran en pantalla apagado o encendido según el estado correspondiente.

La otra función de gran importancia era la función set () que permitía asignar un valor a un registro o I/O del controlador esta función combinada con los inputs de HTML permitía cambiar el estado de los relés o de los timers cuando el usuario lo necesitara.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. La solución proporcionada a nivel de hardware cumple con los requerimientos de la gerencia, conexión inalámbrica, fácil instalación, y tiene un precio adecuado para poder implementarse en más líneas de producción de la planta.

2. El sistema logra cumplir todos los requerimientos funcionales, permite gestionar los hornos de forma remota tanto dentro como fuera de las instalaciones, el monitoreo es forma ininterrumpida y en tiempo real además envía alertas y notificaciones que proporcionan información valiosa para la línea.

3. La plataforma digital permite identificar el estado de todos los hornos de la línea de forma remota, así como conocer sus temperaturas y poder efectuar acciones sobre los mismo cuando sea deseado.

4. El sistema se implementó de forma exitosa en la línea de Producción North Main.

5. La eficiencia de las mediciones sistema se comprobó por medio de los porcentajes de error obtenidos en los resultados.

6. Las pruebas de campo permitieron determinar el correcto funcionamiento del sistema, así como validarlo ante la gerencia.

7.2 Recomendaciones.

1. El sistema se puede aplicar en la gestión de otras máquinas de producción como solder pots que tienen un tiempo de precalentado de aproximadamente dos horas.

2. El sistema también permite monitorear áreas de almacenaje de productos para verificar que estén en condiciones adecuadas y evitar pérdidas de materia prima.

3. Usando herramientas de software se podría fijar el set point al que opera el horno para tener una comparación más exacta sobre la temperatura a la que debe operar, o usando hardware se podría identificar mediante señales digitales.

4. Se podría agregar sensores magnéticos para determinar si una puerta está abierta o cerrada y evitar pérdidas de calor innecesarias.

Capítulo 8: Bibliografía

DGE group. (sf). Tipos de curado de los adhesivos industriales. Antala Speciality Chemicals. <https://www.antala.es/tipos-curado-los-adhesivos-industriales/>

Tico Electronics. (2019). [www.TicoElectronics.com](http://www.ticoelectronics.com). Recuperado de <http://www.ticoelectronics.com>

Solé, A. (2010). Instrumentación Industrial. Barcelona, España: MARCOMBO.SA.

Awtrey, D. Smith, K. y Lissiuk, D. (2004). Innovate Hardware and Software Understanding 1-Wire Series. Springbok Digitronics. Recuperado de: http://dutta.csc.ncsu.edu/csc453_spring16/wrap/1-Wire-Design%20Guide%20v1.0.pdf

Gerín, M. (1999). Manual electrotécnico Telesquemario. Schneider Electric. Recuperado de: <https://www.um.es/docencia/mmc/pdf/telesquemario.pdf>

Santos, R. (2017). What is MQTT and how it Works. randomnerdtutorials.com. recuperado de: <https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/>

Santos, S. (2019). ESP8826 Pinout reference: Wich GPIO pin should you use?. randomnerdtutorials.com. recuperado de: <https://randomnerdtutorials.com/esp8266-pinout-reference-gpios/>

Control by web. (2018). X600M Industrial Web Enable I/O Controller User Manual Revisión 1.6. Recuperado de: <https://www.controlbyweb.com/x600m/manuals.html>

Evans, D. 2011. Internet de las cosas como la próxima evolución de internet que lo cambia todo. Cisco. Recuperado de: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/solutions/executive/assets/pdf/internet-of-things-iot-ibsg.pdf

Microchip Technology Inc. (2003). PIC16F87XA Data Sheet. Estados Unidos Recuperado de: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>

Barnett, R, O'cull, L y Fox, L. (2004). Embedded C programming and the Microchip PIC. Thomson Delmar Learning. Estados Unidos.

Custom Computer Services, Inc. (2014). CCS C Compiler Manual PCB / PCM / PCH. Brookfield, WI 53008 U.S.A.

Espessif Inc. (2017). ESP8826 AT commands examples v 1. Recuperado de: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/4b-esp8266_at_command_examples_en.pdf

Sparkfun Electronics. (sf). ESP8266 Module (WRL-13678). Recuperado de: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Wireless/WiFi/ESP8266ModuleV1.pdf>

Microchip Technology.Inc. (1998-2019). www.Microchip.com. Recuperado de: <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F877A>

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

Outlier: Término estadístico que indica que un dato no es significativo para la muestra

Timer: En este informe al hablarse de timer se habla de una cuenta regresiva que sucede en segundos.

Dashboard: Se entiende como una pantalla donde se puede visualizar información e interactuar con la misma por medio de botones.

GIPIOS: Son las salidas y entradas de uso general de un controlador ósea que no tienen una función definida.

Floats: Son valores numéricos que no son enteros y son más difíciles de procesar para una computadora que un valor entero.

Csv: es un formato de almacenaje de información donde los distintos datos están separados por comas.

Txt: es un formato de almacenaje de información que es reconocido como texto plano.

Set point: Valor al que se desea que se encuentre una variable.

A.2 Manuales

Manual de usuario para sistema de gestión de hornos.

1. Ingresar al sistema de gestión

Abra su navegador de internet ya sea Google Chrome, Microsoft Edge o el navegador de su preferencia.:



Luego digite la siguiente dirección IP en la barra de navegación 192.168.3.2:9090 debe estar conectado a la red Ticointerno para poder visualizar esta dirección de lo contrario utilice la IP 186.177.16.178:9090



Esto desplegara una pantalla en la cual se le solicita que ingrese su usuario y contraseña, (usuario: ##### contraseña: #####).



2. Uso del sistema.

Dentro de la plataforma podrá encontrar una página web dividida en 4 secciones “impregnado”, “Stacking”, “787” y “Tico 1 y Tico 3”, las cuales contienen las temperaturas y el estado de los distintos hornos ubicados en la línea, así como los timers que permiten el apagado programado de los hornos, también se observa el

estado de las alarmas y los rangos de operaciones de los hornos, como se puede observar continuación.

STACKING							
Descripción	Temperatura	Rango de Operación	Estado	Manejo de Estado	Alarmas	Manejo de Alarmas	Timer (Horas, Minutos)
Horno 1 BLUE M	109.8 C	100-135 C	Encendido	OFF ON	Encendida	OFF ON	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 SET
Horno 2 BLUE M	158.8 C	155-165 C	Encendido	OFF ON	Encendida	OFF ON	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 SET
IMPREGNADO							
Descripción	Temperatura	Rango de Operación	Estado	Manejo de Estado	Alarmas	Manejo de Alarmas	Timer (Horas, Minutos)
Horno 6 BLUE M	100.5 C	100-110 C	Encendido	OFF ON	Encendida	OFF ON	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 SET
Horno 7 BLUE M	109.2 C	55-160 C	Encendido	OFF ON	Encendida	OFF ON	0 Segundos restantes para el apagado 0 0 SET

Para programas el apagado se debe fijar el valor de tiempo deseado en el espacio indicado, en la primera casilla se indica la cantidad de horas y en la segunda la cantidad de minutos una vez presione el botón “SET” este valor pasa es pasado a segundo y se observa en la parte superior una vez este valor llegue a 0 el horno se apagará.

En caso de querer apagar o encender un horno directamente debe presionar el botón correspondiente de la sección “Manejo de Estado”, por otro lado, si por alguna razón desea apagar las alarmas debe presionar el botón OFF de la sección “Manejo de Alarmas”, la sección Rango de operación es solo una guía visual que presenta la información.

3. Alarmas.

Las alarmas se activan si el horno este encendido y el valor captado por el sistema este 10 grado por encima o por debajo del rango permitido según la etiqueta proporcionada por el departamento de Calidad, cuando una alarma se dispare el indicador de temperatura se tornará rojo, común mente será blanco además se enviarán correos de alerta para que la persona encargada pueda verificar si hay algún problema con el horno.

De igual forma una vez el timer llegue a 0 y los hornos sean apagados el sistema notificara el apagado fue exitoso y procedera a guardar en un registro interno el estado actual de todos los hornos un 1 para los hornos encendidos y 0 para los apagados.

En caso de sobrecalentamiento el sistema apagara el equipo para evitar daños y notificar por correo dicha acción.

Nota: El horno 9 tras encenderse usando el sistema se debe encender el control de temperatura esto solo se puede realizar estando físicamente en el horno.

4. Horarios

El sistema cuenta con horarios programados que están personalizados para el uso que se les da a los hornos en la línea estos horarios se pueden apreciar a continuación.

Horno	Lunes a Jueves	Viernes
1	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
2	7:00am - 8:45 pm	6:30am - 2:40 pm
3	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
4	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
5	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
6	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
7	7:00am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
8	No se apaga	6:30am - 2:40 pm
9	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm
10	6:30am - 4:40 pm	6:30am - 2:40 pm

Estos horarios se pueden desactivar en caso de ser necesarios por ejemplo en un feriado, esto se puede realizar con el botón que se encuentra en la parte final del panel TICO 1 y TICO 3 cambiando a desactivado la opción de Rutinas.

Descripción	TICO 1 Y TICO 3
	Temperatura/ Humedad
Humedad del cuarto seco	34.6 %RH
Humedad Tico 1	47.4 %RH
Humedad del estante	36 %RH
Temperatura Tico 1	26.2 C
Temperatura del estante	34.5 C
Temperatura del cuarto seco	34.6 C
Refrigerador de Tico 3	xx C
Rutinas	Activado

OFF ON

Manual de Ensamblaje e instalación de unidad de gestión de hornos.

El procedimiento descrito a continuación describe de qué forma se debe construir e instalar unidades extras para el sistema de gestión de hornos, así como ciertas generalidades de este que son importantes de conocer como la recolección de datos.

1. Herramientas

1. Desatornillador Plano para las terminales del control.
2. Desatornillador plano para las terminales del contactor.
3. Cortadora de cable para cable.
4. Taladro con paleta (numero 1) y una broca del tamaño de la antena.
5. Amarras.
6. Peladora de cable.

2. Materiales

1. Cable de control blanco y negro.
2. Enchufe macho y hembra (varía según el horno).
3. Cable 12 o 10 según el amperaje.
4. Contactor trifásico con bobina 110 voltios y de 30 amperes.

5. Controlador Wireless web relay. (XW-210-I)
6. Adaptador de corriente directa de 12 V (PS12VW1.5-B)
7. Adaptador de termocupla a "1-wire" (X-TC1W-K)
8. "Manquitos"
9. Caja de plástica de control (PR1002/110)
10. rail din de 15 cm.

3. Ensamblaje

Empiece por usar el taladro con la paleta para realizar dos agujeros donde se colocan los "manquitos" posteriormente. Y dos agujeros pequeños en la parte superior izquierda por donde pasar una amarra para sujetar el adaptador de corriente, por último, fije el rail-Din al fondo de la caja para poder montar el control y el contactor.

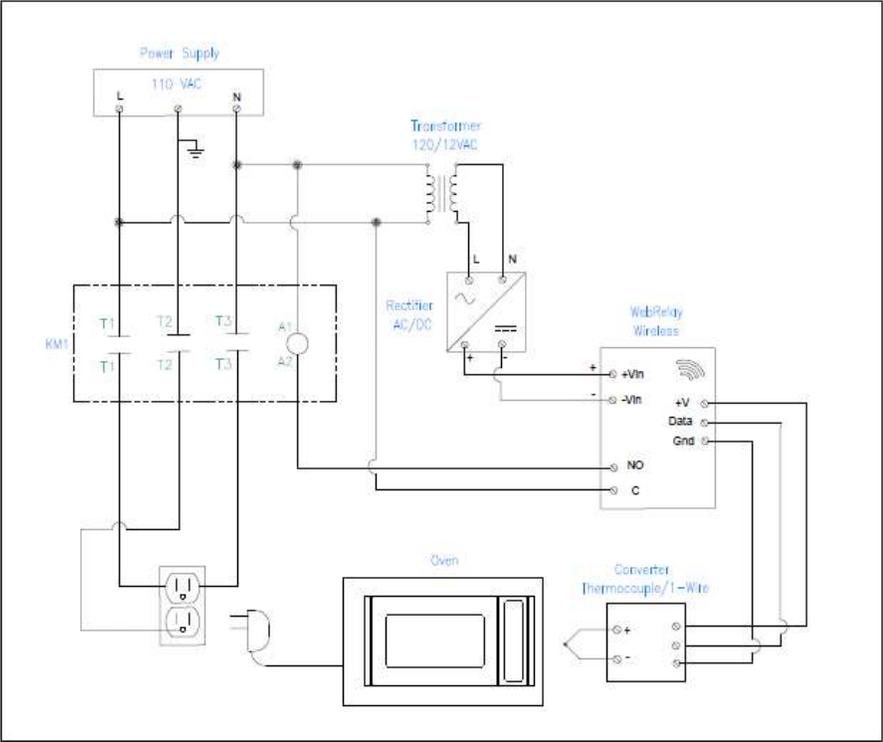


Conecte el adaptador de termocupla a "1-wire" al Wireless web relay para esto simplemente conecte 5V a 5V, Gnd a Gnd y Data a Data, se recomienda utilizar cable "CAT 5" para realizar esta conexión. Tras la conexión fije el adaptador al lado izquierdo del control utilizando cinta doble.

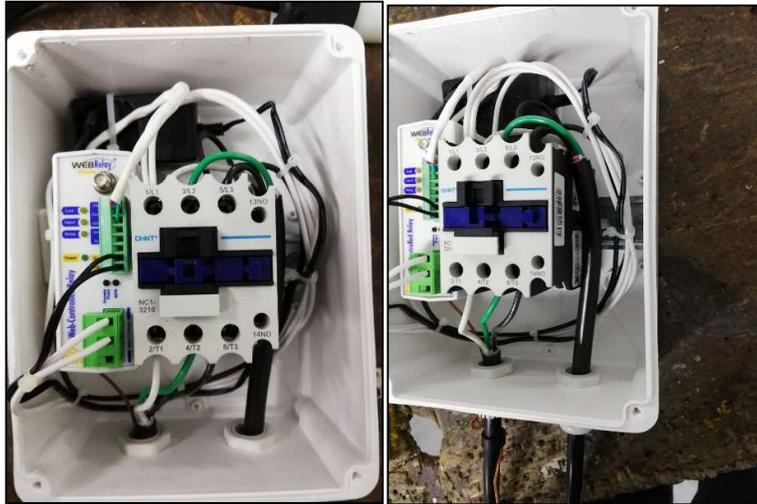


Soldé cable en los puntos de conexión del adaptador de corriente para posteriormente poder conectarlo en el contactor, CUBRA CON TERMOENCOJIBLE PARA NO DEJAR TERMINALES EXPUESTAS.

Fije el contactor y el control al rail-din y use una amarra para fijar el adaptador de corriente en los agujeros que se hicieron previamente. Y proceda a realizar la siguiente conexión.



Nota: el transformador y el rectificador son una representación del adaptador de corriente además la conexión del adaptador de termocupla a “1-wire” ya debe haber sido realizada. La conexión se debería ver similar a la siguiente imagen.



Como se aprecia en la imagen puede utilizar amarras para unir los cables de una forma más ordenada. Por último, realice un agujero en la tabla para la antena y cierre el dispositivo, se vera de la siguiente forma para su instalación solo conecte al enchufe del horno y a la alimentación.



4. Configuración del Web Relay

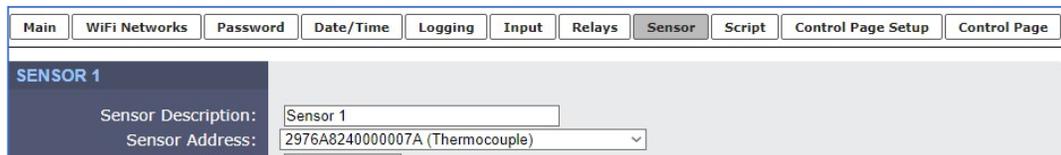
Para conectar el dispositivo a la red puede hacer uso del documento “Quick Start Guide”, debe de cambiar la dirección IP para que el dispositivo funcione manera correcta, puede determinar cuáles IP están disponibles dentro de la subred utilizando el programa “Advance IP Scanner”, si el dispositivo que está instalando se coloca en tico 1 debe utilizar la subred 192.168.3.1-254 si está en tico 3 192.168.2.1-254 y si está en tico 2 192.168.1.1-254, una vez seleccionada la IP adecuada debe configurar la termocupla como sensor 1 del dispositivo y seleccionar grados centígrados como unidad para la medición. No es necesario configurar nada más dentro de este dispositivo ya que del control se encarga el X600M (control principal).



The screenshot shows a web interface with a navigation menu at the top containing: Main, WiFi Networks, Password, Date/Time, Logging, Input, Relays, Sensor, Script, Control Page Setup, and Control Page. The 'GENERAL INFORMATION' section is active, displaying the following details:

- Temperature Units: Fahrenheit Celsius
- Part Number: XW-210-I
- Firmware Revision: 1.05
- Serial Number: 00:0C:C8:04:A5:2F
- Vin Voltage: 12.3 V
- Signal Strength: RSSI: -43 dBm

At the bottom of the section are two buttons: Reboot and Restore Defaults.



The screenshot shows the same web interface with the 'Sensor' menu item selected. The 'SENSOR 1' configuration section is active, displaying the following fields:

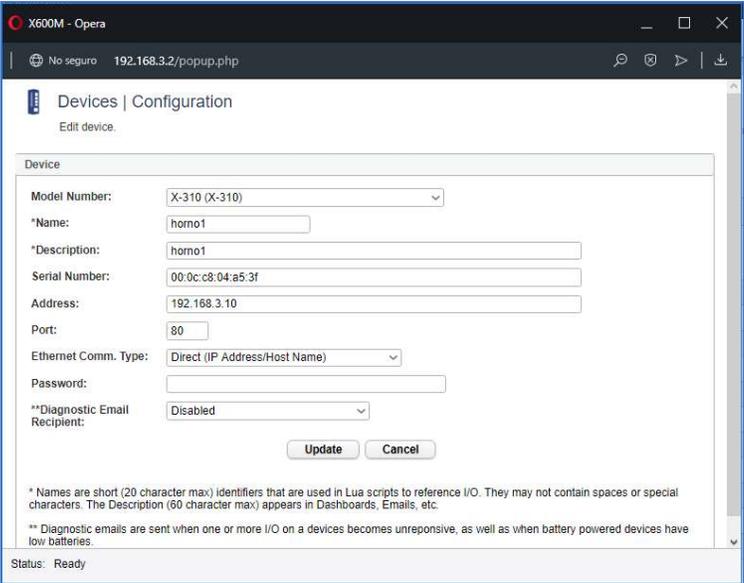
- Sensor Description: Sensor 1
- Sensor Address: 2976A824000007A (Thermocouple)

5. Configuración del X600M

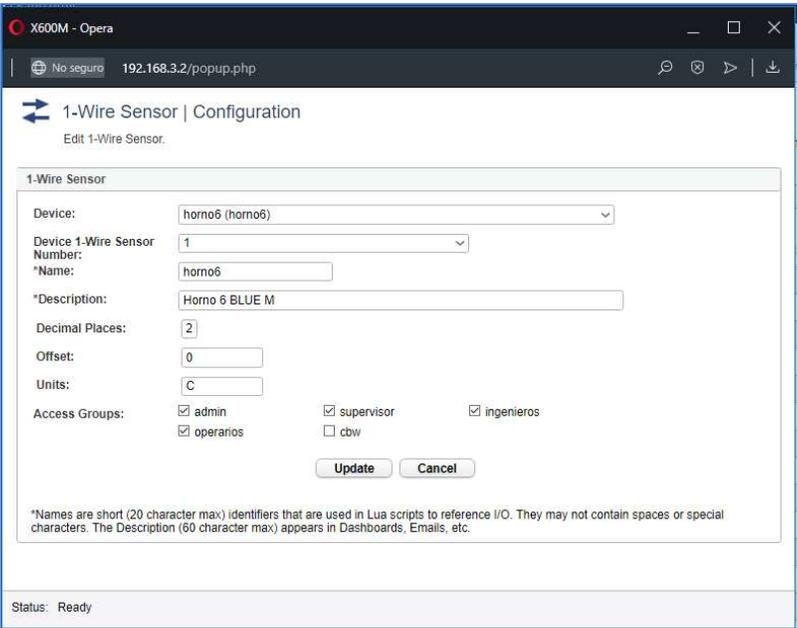
De igual forma si quiere saber algo más específico puede dirigirse al manual de usuario del X600M, en este documento veremos puntos importantes que podrían no estar en ese manual.

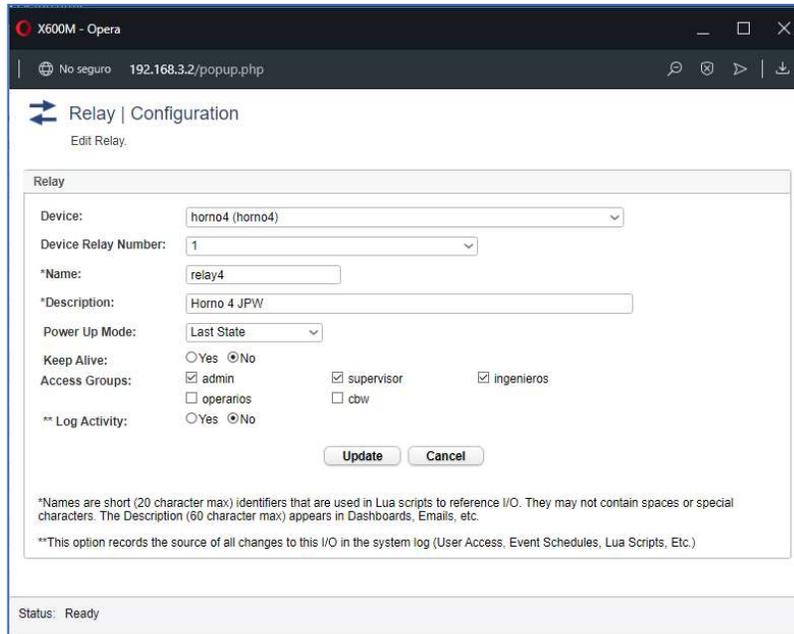
Vaya a la dirección la IP del X600M (192.168.3.2/setup.html) para empezar la configuración, diríjase a la pestaña de device y seleccione add new device, es muy importante que lo agregue de forma manual y seleccione X-310 como modelo del dispositivo de lo contrario no será posible visualizarlo, también debe ingresar el

número de serie que se puede visualizar en la IP que configuro para el dispositivo, que es la misma que se coloca en este panel de configuración.



Seguido podemos agregar el relay y la termocupa que tiene nuestro dispositivo, para agregar la termocupa hay que dirigirse a la pestaña de I/O y entrar en “1-wire” ya que el X600M reconoce la termocupa como este tipo de sensor. Seleccionamos agregar y llenamos los siguientes espacios.





Por último, para poder controlar de la forma que queramos nuestro dispositivo vamos a la sección de control y creamos un nuevo evento condicional y una acción para ese evento según lo que deseemos hacer, un ejemplo se puede ver a continuación donde el evento condicional es que el horno se sale de rango y la acción es que se envía un correo de alarma y se guarda el valor de la temperatura que se registró en ese momento.

Al programar estos equipos se debe tomar en cuenta que hay tres tipos de variables principales io que son entradas y salidas, reg que son registros y event que son eventos, tal caso que si se quiere modificar una salida o leer una entrada se llamaría como “io.entrada” en caso de un registro “reg.registro” o en caso de un evento “event.evento”

Evento condicional

```
if (io.horno1 < 90 or io.horno1 > 145) and io.relay1 == 1 and reg.alarma1 == 0 then
```

```
    event.horno1alerta = 1
```

```
else
```

```
    event.horno1alerta = 0
```

end

Acccion

-- define the email to send

emailDef = {

rcpt = "grp.supervisor",

subj = [[Horno 1 fuera de rango]],

body = [[El rango permitido es 100-135, La temperatura del horno es:]] .. io.horno1

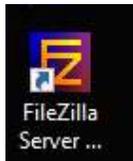
}

email(emailDef)

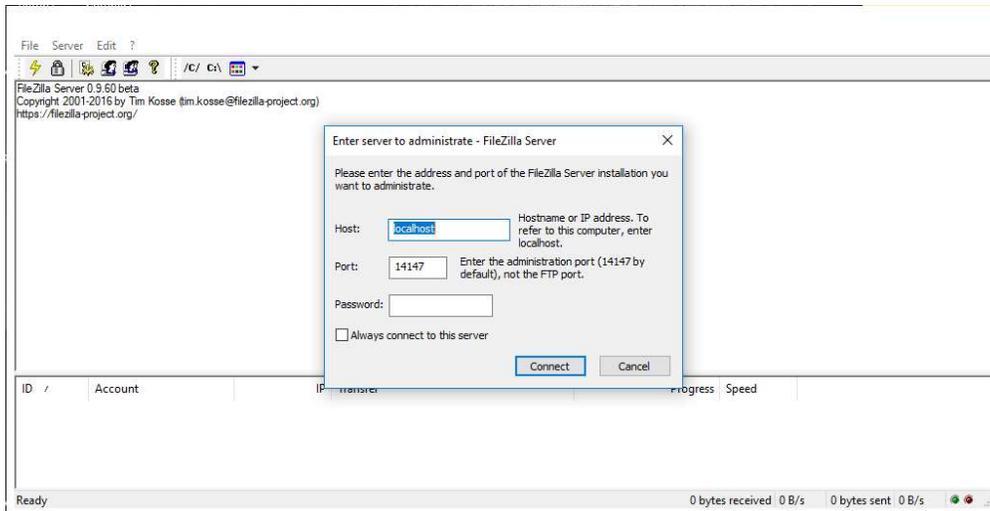
logToFile(1)

6. Adquisición de datos

Para recibir los datos que envía el controlador debe ejecutar el programa Filezila para habilitar un servidor al cual se pueda conectar el X600M, el mismo enviara todos los datos nuevos recolectados cada cierto tiempo que puede configurarse. Primero abra filezila el programa con el siguiente logo.



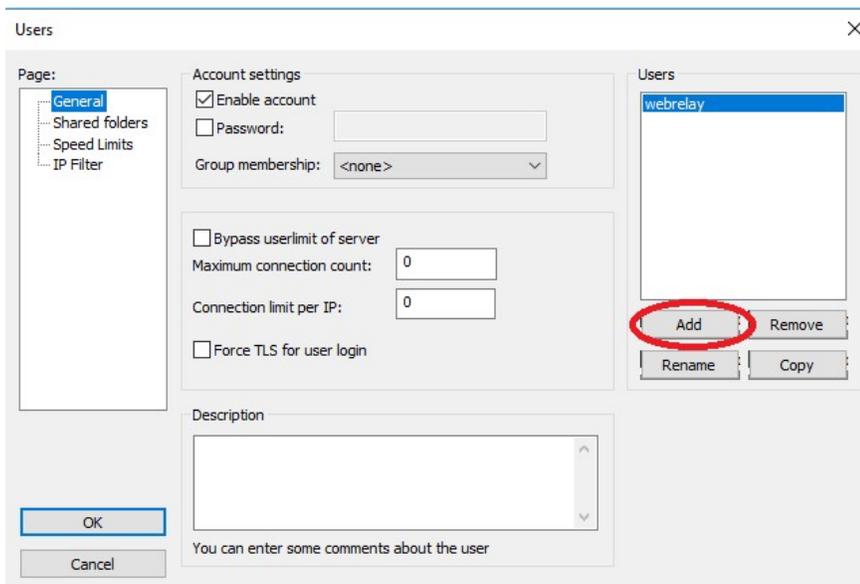
Configure como se muestra en la siguiente imagen y presione connect.



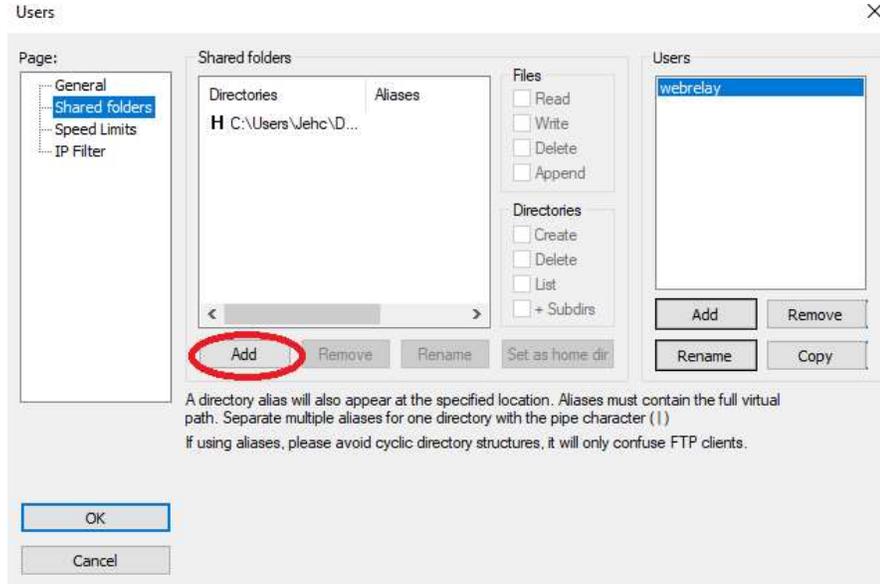
Ahora debe configurar un usuario y la carpeta donde se guardarán los datos esto se realiza solo una vez, seleccione edit y luego user.



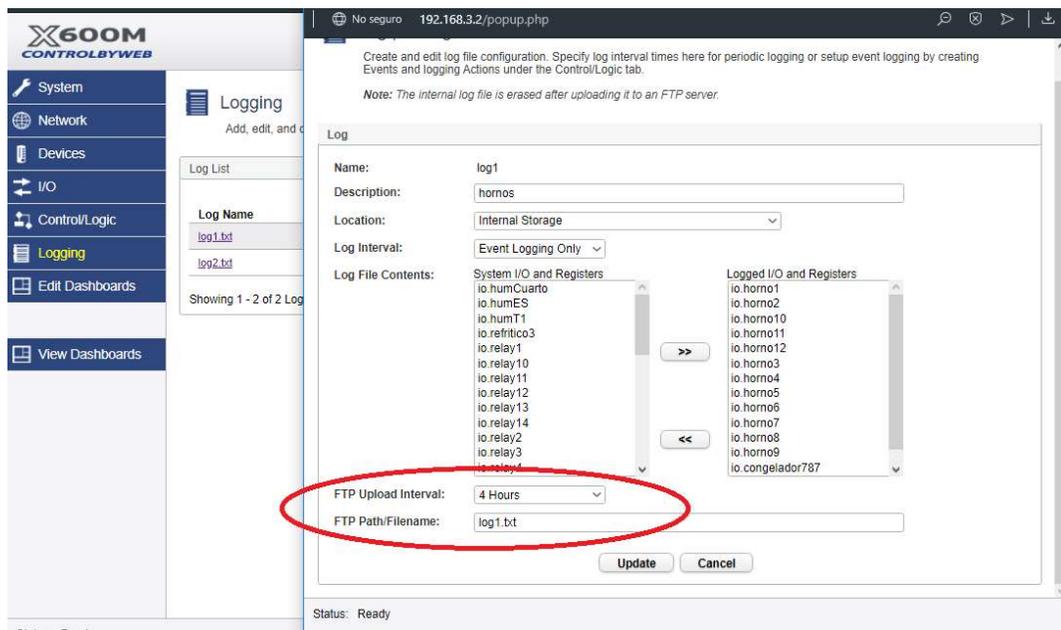
En la siguiente pantalla seleccione add y escriba un nombre para el usuario.



Ahora diríjase a shared folder, presione add y seleccione la carpeta donde desea guardar los datos.



Ahora en el X600M debe configurar la IP de la computadora donde se esté ejecutando el servidor y puede elegir la frecuencia con que se envían los datos. Para esto diríjase a la pestaña de logging y presione add new o edit en algún log existente.



Para configurar el servidor al que se conecta el X600M seleccione network > advance network> FTP/SFTP, en hostname escriba la IP de la computadora donde este ejecutando el servidor y en username el usuario que creo en el servidor.

The screenshot shows the X600M ControlByWeb web interface. The top header includes the logo and the text "Welcome: Administrator" with links for "Commit Changes", "Abandon Changes", and "Logout". A left sidebar contains a navigation menu with items: System, Network, Overview, Ethernet, Wireless, **Advanced Network** (highlighted), Web Server, Modbus, Remote Services Server, Remote Services Client, SNMP, Email, and FTP / SFTP. The main content area is titled "Advanced Network | FTP / SFTP Setup" and includes the instruction "Configure FTP / SFTP settings." Below this is a form titled "Client Side FTP / SFTP" with the following fields: "Protocol:" with radio buttons for "SFTP" (selected) and "FTP"; "Host Name:" with a text input containing "192.168.3.218"; "Port:" with a text input containing "21"; "User name:" with a text input containing "webrelay"; and "Password:" with an empty text input. At the bottom right of the form are "Submit" and "Reset" buttons.

A.3 Protocolos de medición

Para la incorporación con la línea de producción y la validación de las mediciones inicialmente se fijaron las siguientes rutinas y responsables de las mismas.

Responsables

Se necesitó la ayuda de la ingeniera de la línea para que supervisara el proceso y aprobara los cambios y las decisiones que se tomaban, la supervisora de la línea estuvo a cargo de manipular el sistema, para la gestión de algún equipo así como se utilizó ayuda de los operarios para que no manipularan los hornos y poder hacer las pruebas de manera correcta y por último se necesitó que la ayuda de un empleado nocturno para verificar el correcto funcionamiento del sistema durante el proceso de curado.

Uno de los protocolos de medición consistía en tomar mediciones del sistema y del horno y compararlos para validar su correcto funcionamiento estas mediciones se realizaban a distintas horas del día procurando realizar dos mediciones diarias con el fin de poder realizar cálculos estadísticos posteriormente.

También se obtuvo una gran cantidad de datos haciendo uso del sistema mismo el cual capturaba la temperatura de todos los hornos siempre que ocurriera un evento, que podría ser el cambio de estado de un relé o una temperatura fuera de rango de operación.

También se utilizaron los correos que generaba el sistema para recabar datos estos correos se envían de igual forma cuando hay evento, pero especifican de mejor manera que es lo que pasa en ese evento. Lo que permitía validar el correcto funcionamiento del sistema.

A.4 Presupuesto de la implementación

Description	part number	quantity	price	total price
WebRelay Wireless™ (controller)	XW-210-I	10	\$ 167.94	\$ 1,679.44
Power Supply 12VDC	PS12VW1.5-B	10	\$ 22.40	\$ 224.00
1-wire to termocouple adapter(X-TC1W-K)	X-TC1W-K	10	\$ 95.19	\$ 951.89
termocouple (X-KTC-B-24-72)	X-KTC-B-24-72	10	\$ 28.00	\$ 280.00
control box pr1002/110	pr1002/110	10	\$ 7.84	\$ 78.40
electric plugs	-	16	\$ 4.24	\$ 25.46
6 cable meters (12 tgp)	-	8	\$ 2.98	\$ 23.86
5 control cable meters (white)	-	N/A	\$ 2.80	\$ 2.80
5 control cable meters (black)	-	N/A	\$ 2.80	\$ 2.80
cable press	-	16	\$ 0.67	\$ 10.75
Three-phase contactor (coil 110 V, 30 amp)	-	10	\$ 27.92	\$ 279.22
X600m (Main controller)	X-600M-I*	1	\$ 442.40	\$ 442.40
Total	-	\$ 4,001.02		

A.5 Información sobre la empresa/institución

Información del estudiante:

Nombre: Jose Hernández Castro

Cédula: 116290107

Carné: 2014086307

Dirección de Residencia: Alajuela, Naranjo, Naranjo, Urbanización Carranza

Teléfono: 86292493

Email: jehcnara96@gmail.com

Información del Proyecto:

Nombre del Proyecto: “Sistema embebido para la gestión de hornos del proceso de curado de laminados en Tico Electronics”

Área del proyecto: Automatización

Información de la empresa:

Nombre: Tico Electronics

Dirección: Alajuela, Alajuela, Zona Franca Bess.

Teléfono: 2438-1980

Sitio Web: <http://www.ticoelectronics.com>

Actividad principal: Manufactura de motores para la industria aeronáutica

Información del asesor de la empresa:

Nombre: Melvin Solis

Teléfono: 2438-1980

Email: melvin.solis@ticoelectronics.com