



# **Diseño y puesta en marcha de un sistema de control para una freidora industrial a gas**

**Carlos Iván Valencia  
Luis Fernando Ramírez**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Cali, Colombia  
2021

# **Diseño y puesta en marcha de un sistema de control para freidora industrial a gas**

**Carlos Iván Valencia  
Luis Fernando Ramírez**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director (a):

Ing. Christian Camilo Erazo Ordoñez, PhD.

Línea de Investigación:

Sistemas Dinámicos y Control

Grupo de Investigación:

GIBIO

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cali, Colombia

2021

*(Dedicatoria)*

*Por su apoyo y animo incondicional durante este proceso este logro va dedicado a mis padres.*

*Carlos Iván Valencia*

*Esta dedicatoria es para mi familia por brindarme todo su apoyo incondicional en este proyecto de grado.*

*Luis Fernando Ramírez*

## Agradecimientos

Fundamentalmente agradecer a Dios, por este logro alcanzado a nivel profesional, a mis padres **Flor Delia Savi** y **Carlos Alberto Valencia**, por el apoyo incondicional durante este proceso, el cual tuvo muchos altibajos en temas de salud, gracias a ellos hoy poder culminar satisfactoriamente.

A la empresa Pallomaro S.A, por suministrar información que me permitiera llevar a cabo la ejecución de este proyecto, al personal de servicio técnico, por la flexibilidad y apoyo durante este proceso.

Carlos Iván Valencia

Principal mente le agradezco a Dios, por darme la fuerza y disciplina para culminar esta etapa tan importante en mi vida, a mi madre **Fanory Botina** y a mis abuelos por enseñarme que todo en la vida es posible, a mi esposa **Diana Zabala**, por su apoyo y comprensión en este proceso tan importante, a mis hijas por darme la fuerza para seguir adelante y pasar todos los obstáculos que se presentaron y a toda la familia que en algún momento me dio un impulso para poder terminar esta etapa en mi vida.

Luis Fernando Ramírez

## Resumen

En este documento se presenta la automatización del mecanismo de encendido, control de temperatura y sistematización del proceso de cocción de la freidora industrial a gas FT-50G, marca TORNADO. En primer lugar, se describen características principales y mecanismos utilizados en prototipos similares a la freidora bajo investigación, que, junto con los resultados y análisis de encuestas realizadas a usuarios finales, sobre factores que afectan la manipulación de la freidora industrial, permitieron definir los aspectos a mejorar en cuanto al sistema mecánico, diseño de control y diseño electrónico de la freidora industrial. Los conceptos básicos y fundamentos teóricos necesarios para el desarrollo de este trabajo se encuentran en el capítulo 2. Mientras que en los capítulos 3, 4 y 5 se detalla el sistema mecánico, diseño de control y diseño electrónico, respectivamente. Finalmente, la ejecución del ensamble y puesta en marcha del prototipo se expone en el capítulo 6, donde se resalta la disminución del riesgo para el usuario final, obteniendo un producto confiable y competitivo en la industria nacional alimenticia.

## **Abstract**

This document presents the automation of the ignition mechanism, temperature control, and systematization of the cooking process of the industrial gas fryer FT-50G, TORNADO brand. In the first place, main characteristics and mechanisms used in prototypes similar to the fryer under investigation are described, which, together with the results and analysis of surveys carried out with end-users, on factors that the handling of the industrial fryer, allowed to define the aspects related to the mechanical system, control design and electronic design of the industrial fryer. The basic concepts and technical foundations necessary for the development of this work are found in chapter 2. While in chapters 3, 4, and 5 the mechanical system, control design, and electronic design are detailed, respectively. Finally, the execution of the assembly and start-up of the prototype is exposed in chapter 6, where the reduction of risk for the end-user is highlighted, obtaining a reliable and competitive product in the national food industry.

# Contenido

	Pág.
<b>Resumen</b> .....	<b>5</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>9</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>11</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas</b> .....	<b>12</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>13</b>
<b>1. Introducción</b> .....	<b>13</b>
1.1 Estado del arte .....	14
1.2 Planteamiento del problema .....	15
1.2.1 Justificación .....	16
1.3 Objetivos .....	17
1.3.1 Objetivo general.....	17
1.3.2 Objetivos específicos .....	17
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>18</b>
<b>2. Marco Teórico</b> .....	<b>18</b>
2.1 Transferencia de calor.....	18
2.1.1 Transferencia por Convección, Conducción.....	18
2.2 Normativa para el diseño de PCB .....	22
2.3 Control On- Off.....	22
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>24</b>
<b>3. Diagnóstico de funcionamiento y uso del freidor</b> .....	<b>24</b>
3.1 Elaboración de encuestas .....	24
3.2 Análisis de encuestas dirigida al usuario final.....	27
3.3 Análisis de encuestas dirigida a personal técnico.....	30
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>34</b>
<b>4. Diseño mecánico</b> .....	<b>34</b>
4.1 Estructura.....	34
Diseño prototipo.....	36
4.2 Selección de válvula.....	39
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>41</b>
<b>5. Diseño de control de temperatura</b> .....	<b>41</b>
5.1 Modelamiento de la planta .....	41
5.2 Ganancias del controlador.....	43
5.3 Validación del controlador .....	45
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>46</b>

<b>6. Diseño electrónico y eléctrico .....</b>	<b>46</b>
6.1 Prototipo del circuito electrónico del control de temperatura .....	46
6.2 Prototipo del circuito de potencia .....	50
6.2.1 Cálculo del aislamiento térmico .....	50
6.2.2 Cálculo del transformador .....	59
6.2.3 Diagrama del circuito eléctrico.....	68
<b>Capítulo 7. ....</b>	<b>71</b>
<b>7. Validación del sistema.....</b>	<b>71</b>
7.1 Calibración temperatura.....	77
7.2 Pruebas de funcionamiento .....	78
<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>80</b>
Recomendaciones.....	80
<b>A. Anexo: componentes.....</b>	<b>81</b>
<b>B. Anexo: Ficha técnica acero inoxidable 304.....</b>	<b>82</b>
<b>C. Anexo: Carta autorización empresa Pallomaro .....</b>	<b>83</b>
<b>D. Anexo: Especificaciones cable Encauchetado.....</b>	<b>84</b>
<b>Bibliografía .....</b>	<b>85</b>



# Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1:</b> Freidor FT-50G.....	14
<b>Figura 1-2:</b> Controles manuales modelo actual.....	15
<b>Figura 2-1:</b> Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana sujeta a convección sobre ambos lados, y la analogía eléctrica. ....	19
<b>Figura 2-2:</b> Variación de temperatura. ....	19
<b>Figura 2-3:</b> Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt.....	21
<b>Figura 2-4:</b> Controlador de dos posiciones .....	22
<b>Figura 2-5:</b> Ciclo sinusoidal es típico del control de encendido / apagado .....	23
<b>Figura 3-1:</b> Diseño encuesta dirigida al usuario final.....	25
<b>Figura 3-2:</b> Diseño encuesta dirigida a personal técnico.....	26
<b>Figura 3-3:</b> Pregunta 1.....	27
<b>Figura 3-4:</b> Pregunta 2.....	28
<b>Figura 3-5:</b> Pregunta 3.....	28
<b>Figura 3-6:</b> Pregunta 4.....	29
<b>Figura 3-7:</b> Pregunta 5.....	29
<b>Figura 3-8:</b> Pregunta 1.....	30
<b>Figura 3-9:</b> Pregunta 2.....	31
<b>Figura 3-10:</b> Pregunta 3.....	31
<b>Figura 3-11:</b> Pregunta 4.....	32
<b>Figura 3-12:</b> Pregunta 5.....	32
<b>Figura 3-13:</b> Pregunta 6.....	33
<b>Figura 3-14:</b> Pregunta 7.....	33
<b>Figura 4-1:</b> Funcionamiento Freidor FT-50G .....	35
<b>Figura 4-2:</b> Desarrollo cubierta de control.....	36
<b>Figura 4-3:</b> Vista semi lateral, Cubierta de control. ....	37
<b>Figura 4-4:</b> Vista frontal cubierta de control .....	37
<b>Figura 4-5:</b> Cubierta control.....	38
<b>Figura 4-6:</b> Prototipo Freidor.....	38
<b>Figura 4-7:</b> Datos técnicos electroválvula .....	40
<b>Figura 4-8:</b> Válvula seleccionada 24v .....	40
<b>Figura 5-1:</b> Señal salida de la planta .....	43
<b>Figura 5-2:</b> Control de temperatura del freidor.....	45
<b>Figura 5-3:</b> Respuesta de la temperatura del freidor, señal deseada y acción de control. ....	45
<b>Figura 6-1:</b> Esquema del circuito electrónico para sistema de control de temperatura y automatización del dispositivo de encendido.....	47
<b>Figura 6-2:</b> Diagrama de flujo rutina de programación .....	48

<b>Figura 6-3:</b> Diagrama de flujo de la rutina principal del proyecto escrita para el microcontrolador 18F4550 .....	49
<b>Figura 6-4:</b> Simulación microcontrolador de temperatura .....	50
<b>Figura 6-5:</b> Vista lateral Freidor FT-50 G .....	51
<b>Figura 6-6:</b> Diagrama para calculo térmico .....	52
<b>Figura 6-7:</b> Propiedades del aire a una presión de 1 atm .....	53
<b>Figura 6-8:</b> Propiedades de materiales aislantes .....	56
<b>Figura 6-9:</b> Pared B-C .....	57
<b>Figura 6-10:</b> Diseño pared aislante control electrónico .....	59
<b>Figura 6-11:</b> Calibre cables .....	59
<b>Figura 6-12:</b> AWG Cable Encauchetado .....	61
<b>Figura 6-13:</b> Sección comercial para la chapa .....	62
<b>Figura 6-14:</b> Perímetro de núcleo .....	64
<b>Figura 6-15:</b> Tabla AWG, alambre esmaltado de cobre .....	67
<b>Figura 6-16:</b> Transformador 110V - 24 V .....	68
<b>Figura 6-17:</b> Plano eléctrico prototipo FT-50 G .....	69
<b>Figura 6-18:</b> Diseño preliminar PCB .....	70
<b>Figura 6-19:</b> Impreso PCB .....	70
<b>Figura 7-1:</b> Prueba microcontrolador en Protoboard .....	71
<b>Figura 7-2:</b> Prueba LCD grafica .....	72
<b>Figura 7-3:</b> Ensamble componentes electrónicos .....	72
<b>Figura 7-4:</b> Ensamble componentes .....	73
<b>Figura 7-5:</b> Pruebas de funcionamiento control .....	73
<b>Figura 7-6:</b> Ensamble metalmecánico .....	74
<b>Figura 7-7:</b> Fabricación de alojamiento térmico .....	74
<b>Figura 7-8:</b> Instalación termostato limite .....	75
<b>Figura 7-9:</b> Ensamble electroválvulas para gas .....	75
<b>Figura 7-10:</b> Ensamble cableado eléctrico .....	76
<b>Figura 7-11:</b> Alojamiento PCB .....	76
<b>Figura 7-12:</b> Configuración Max 6675 .....	77
<b>Figura 7-13:</b> Regresion lineal .....	78
<b>Figura 7-14:</b> Prototipo funcional .....	79

---

## Lista de tablas

	Pág.
<b>Tabla 1-1:</b> Descripción componentes <b>Figura 1-2</b> .....	16
<b>Tabla 4-1:</b> Especificaciones freidor FT-50G .....	35
<b>Tabla 4-2:</b> Datos para cálculo de válvula.....	39
<b>Tabla 5-1:</b> Parámetros de un termopar tipo K .....	42
<b>Tabla 5-2:</b> Punto de Humeo .....	44
<b>Tabla 6-1:</b> Pared A.....	51
<b>Tabla 6-2:</b> Pared B-C .....	57
<b>Tabla 6-3:</b> Cuadro de carga .....	60
<b>Tabla 6-4:</b> Datos transformador .....	61
<b>Tabla 6-5:</b> Densidad máxima del alambre.....	65
<b>Tabla 6-6:</b> Descripción de componentes .....	69

## Lista de Símbolos y abreviaturas

<b>Símbolo</b>	<b>Término</b>
$C_v$	coeficiente de flujo, gal/min
$K_v$	coeficiente de flujo, m <sup>3</sup> /h
$\dot{Q}$	Índice de transferencia del calor, kW
$\dot{q}$	Flujo de calor, W/m <sup>2</sup>
$Q_n$	caudal en m <sup>3</sup> /h referido a una atmosfera y 15 °C
$S_{comercial}$	Sección comercial
$T_{pro}$	Temperatura promedio
$T_s$	Temperatura superficial, °C o K
$\Delta p$	Caída de presión, Pa
$\infty$	Lejos de una superficie; condiciones de flujo libre
$A$	Área de la sección, m <sup>2</sup>
$B$	inducción magnética del núcleo [Gauss]
cond	Conducción
conv	Convección
$D$	densidad [A/mm <sup>2</sup> ]
$F$	Fuerza
$F$	frecuencia de la red eléctrica [Hz]
$g$	Gravedad
$G$	densidad con relacion al aire (aire = 1)
Gr	Número de Grashof
$h$	Coeficiente de transferencia de calor por convección, W/m <sup>2</sup> · °C
$I$	Corriente, A
$k$	Conductividad térmica, W/m · °C
$L$	Longitud
$N$	Numero de espiras
Nu	Número de Nusselt
$P$	Presión
$p$	Potencia
Pr	Número de Prandtl
$R$	Resistencia térmica, °C/W
Ra	Número de Rayleigh
$T$	Temperatura, °C o K
$u, v$	Componentes x y de la velocidad
$S$	Sección
$\nu$	viscosidad cinemática del fluido, m <sup>2</sup> /s
$v$	Tensión
$\beta$	Expansividad volumétrica, 1/K
$\rho$	Densidad, kg/m <sup>3</sup>

---

# Capítulo 1.

## 1.Introducción

La empresa Pallomaro S.A. es una empresa familiar con más de 50 años de experiencia, radicada en la ciudad de Cali dedicada a la fabricación, importación y comercialización de equipos y dotación para cocinas industriales.

Con más de 32000 clientes de la industria de alimentos en Colombia, es una de las compañías más grandes del sector. Pallomaro busca contribuir al desarrollo, eficiencia y rentabilidad de los negocios de la industria hotelera y alimentaria; ofreciendo asesoría y soluciones integrales y amigables con el medio ambiente, adecuadas a las necesidades específicas del cliente, por medio de un experimentado equipo humano con conocimiento del sector, comprometido y orientado a la acción; y con el respaldo de sus proveedores (Pallomaro.com, 2018).

Uno de sus productos estrella, es la freidora industrial FT-50 G, que se ilustra en la **Figura 1-1**. Debido a su capacidad, materiales de fabricación, consumo energético, respaldo posventa y principalmente porque va dirigido a diferentes segmentos de la industria alimentaria, por ejemplo: hoteles, comidas rápidas, restaurantes y servicios de alimentos institucionales “catering”. Se conoce que en la actualidad esta clase de freidoras industriales FT-50 G son las de mayor consumo en el mercado nacional, con una venta de 380 unidades en 2019, donde equipos con similares características son distribuidas por empresas como CI Talsa, Joserrago.

El freidor FT-50 G, y similares se operan de forma manual, su tanque presenta un diseño especial para permitir un rápido intercambio de calor con difusores en los tubos internos, tres quemadores controlados por medio de una válvula de seguridad Robert Shaw con sistema de paso, piloto con termopila, regulador de presión, y un termostato KX de 93 ° C a 204 ° C, presenta termostato límite de seguridad a 230 ° C.

**Figura 1-1:** Freidor FT-50G



**Fuente:** (Pallomaro.com, 2018)

## 1.1 Estado del arte

En la industria nacional alimenticia hay evidencia de diseños de prototipos y algunos mecanismos, de similares aplicaciones, pero con características diferentes al del FT-50 G, ya que no son diseños aptos para procesos industriales de alto volumen de trabajo.

Existen diferentes tipos de freidores en el mercado nacional tanto en su diseño, materiales de construcción y capacidad, como por ejemplo el modelo SC30 (CI Talsa) de la empresa CI Talsa, JR 4050 (Joserrago) de la empresa Joserrago, SRF 35 (Javar) de la empresa Javar, se caracteriza por ser de operatividad totalmente manual, requiriendo la manipulación directa del usuario dependiendo del usuario que lo manipula.

En el mercado internacional se pueden encontrar freidores que cumplen con las características similares, al diseño propuesto, como por ejemplo el modelo Serie 320 (Penny) de la empresa Henny Penny, y el modelo OCF30 de la empresa Frymaster (Frymaster, 2020), las cuales tienen un precio de venta al público por encima de los \$15'000.000 de pesos.

Algunos trabajos similares al propuesto se mencionan a continuación:

Buitrago pinto en 2014 (Buitrago Pinto, 2014), realizo un diseño y construcción del prototipo freidor y dispensador de alimentos precocidos con control automático, donde su objetivo principal fue diseñar y construir un prototipo dispensador de empanadas que garantice la entrega de un alimento fresco y cumpla las necesidades del usuario final.

Alejandro Muñoz Salas en 2016 (Muñoz, 2016), elaboro la automatización del manipulador de canastas de una freidora de papas.

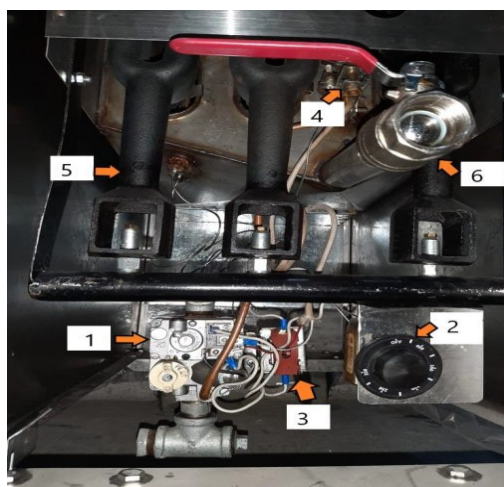
Condor Basantes, Nathalie Lizeth en 2019 (Condor Basantes, 2021), realizaron el diseño de un sistema semiautomático para mejorar el tiempo de producción de frituras de papas, donde su objetivo general fue de diseñar e implementar un sistema semiautomático para mejorar el tiempo de producción de fritura de papas.

## 1.2 Planteamiento del problema

En la industria alimentaria los operarios de los freidores no automáticos, se encuentran expuestos a ciertos riesgos laborales como, por ejemplo: quemaduras por uso inadecuado del dispositivo de encendido, o por contacto directo con la lámina que se encuentra a altas temperaturas, entre otros. Adicional a esto, pueden ocurrir daños a los componentes como lo son: el piloto, dispositivo de encendido, perilla beige de la válvula principal o perilla del termostato de temperatura.

El freidor FT-50G a gas, que se ilustran en la **Figura 1-1**, se utiliza normalmente para el procesamiento de alimentos, donde por lo general las producciones superan 2 kg de producto por ciclo de uso. Tiene termostato mecánico KX 8736, para regular la temperatura como se ilustra en la **Figura 1-2**.

**Figura 1-2:** Controles manuales modelo actual



**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 1-1:** Descripción componentes **Figura 1-2****Figura 1-2**

Numero de ítem	Descripción
1	Válvula Unitrol de control de gas
2	Termostato
3	Termostato de seguridad
4	Piloto y termopila
5	Quemador de gas
6	Válvula drenaje

**Fuente:** Elaboración propia

### 1.2.1 Justificación

El freidor FT-50 G, es uno de los equipos con mayor aceptación en el mercado de la industria alimentaria; es un equipo que actualmente tiene un funcionamiento de forma mecánica, que a pesar de ser aprobado al automatizar el proceso de tiempo, control y encendido, **se pretende mejorar la producción de alimentos**, logrando tener una maquina freidora con otras disposiciones de encendido, de temperatura y de operatividad de la misma, y así poder obtener un mayor rendimiento y una mayor satisfacción por parte del cliente.

La empresa Pallomaro SA, respalda esta propuesta para mejorar la calidad e innovar en el diseño del prototipo del sistema de control automático de esta clase de freidoras industriales a gas FT-50 G, marca TORNADO. **Ver anexo C** , una de las mayores ventajas que tienen este tipo de freidoras es que en la automatización de sus procesos de regulación de tiempo y temperatura al igual que el de encendido, y de fácil manejo y operación para el usuario.



## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar y construir un prototipo funcional de un sistema de control automático para el mecanismo de encendido, temperatura y tiempo de operación de una freidora industrial a gas FT-50 G, marca TORNADO de la empresa Pallomaro S.A.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Realizar un diagnóstico de las opciones de automatización del modelo existente del freidor FT-50 G.
- Diseñar y simular un sistema de control para la regulación de temperatura, tiempo y encendido del piloto, de un freidor FT-50 G.
- Construir un prototipo para el sistema de control automatizado para el freidor industrial a gas FT-50 G.
- Diseñar y calcular el aislamiento térmico para el sistema de control del freidor FT-50 G.
- Diseñar y construir un prototipo de la freidora industrial a gas FT-50 G, cuyo proceso de producción no supere el 12% del costo para una freidora manual.

## Capítulo 2.

### 2. Marco Teórico

En este capítulo se presentan algunos conceptos claves para diseñar e implementar las protecciones térmicas del circuito electrónico, que permitirá operar la freidora FT-50 G, así como la tipología del controlador para garantizar la temperatura deseada en el proceso. Particularmente en la sección 2.1, se introducen los conceptos básicos de transferencia de calor que nos permitirán determinar el aislante para la protección de la PCB.

#### 2.1 Transferencia de calor

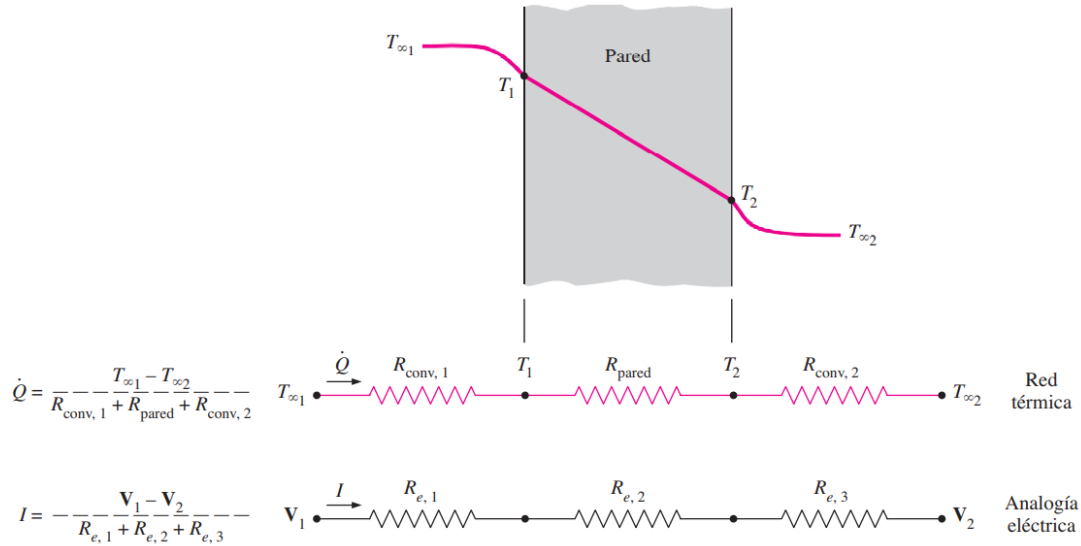
Para que exista transferencia de calor debe dar un diferencial de temperatura, Sin el  $\Delta T$  no hay transferencia de calor, el sentido de la transferencia de calor siempre es de una temperatura mayor a una temperatura menor. A mayor gradiente de temperatura, mayor es la razón de la transferencia de calor (Cengel & Ghajar, 2007).

##### 2.1.1 Transferencia por Convección, Conducción

A continuación, se presenta una metodología propuesta en (Cengel & Ghajar, 2007) la cual es utilizada para determinar el tipo de material a utilizar en el aislamiento del circuito de control.

Se puede suponer que la transferencia de calor unidimensional en la etapa estacionaria a través de un bloque plano con espesor  $L$ , área  $A$  y conductividad térmica  $k$  está expuesta a convección de ambos lados, de los fluidos a las temperaturas  $T_{\infty 1}$  y  $T_{\infty 2}$ , con coeficientes de transferencia de calor  $h_1$  y  $h_2$ , como se muestra en la **Figura 2-1**.

**Figura 2-1:** Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana sujeta a convección sobre ambos lados, y la analogía eléctrica.



**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2007)

asuma que  $T_{\infty 2} < T_{\infty 1}$ , el cambio de la temperatura será como se ilustra en la **Figura 2-2**. Donde la temperatura cambia de manera lineal en el bloque y tiende asintóticamente a  $T_{\infty 1}$  y  $T_{\infty 2}$  en los fluidos, a medida que se retira del bloque. En condiciones estacionarias se tiene:

**Figura 2-2:** Variación de temperatura.

$$\left( \begin{array}{c} \text{Razon de la convección} \\ \text{de calor} \\ \text{hacia la pared} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{razon de la} \\ \text{conducción de calor} \\ \text{a través de la pared} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{razon de la} \\ \text{convección de calor} \\ \text{desde la pared} \end{array} \right)$$

**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2007)

(ver ecuación (2-1)).

$$\dot{Q} = h_1 A (T_{\infty 1} - T_1) = kA \frac{T_1 - T_2}{L} = h_2 A (T_2 - T_{\infty 2}) \quad (2-1)$$

La cual se puede reajustar como:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \frac{T_{\infty 1} - T_1}{1/h_1 A} = \frac{T_1 - T_2}{L/kA} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{1/h_2 A} \\ &= \frac{T_{\infty 1} - T_1}{R_{conv, 1}} = \frac{T_1 - T_2}{R_{pared}} = \frac{T_2 - T_{\infty 2}}{R_{conv, 2}} \end{aligned} \quad (2-2)$$

Cuando se calcula la tasa de transferencia de calor, también se puede aplicar la ecuación (2-2), para establecer las temperaturas intermedias T1 o T2. Al sumar los numeradores y los denominadores, se obtiene:

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{R_{total}} \quad (2-2)$$

Para calcular la resistencia total de la pared se aplica la ecuación:

$$R_{total} = R_{conv, 1} = R_{pared} = R_{conv, 2} = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A} \quad (2-3)$$

### Convección natural sobre superficies

La transferencia de calor por convección natural propuesta en (Cengel & Ghajar, 2007) sobre una superficie, varía con base a la configuración geométrica de la superficie, al igual que su alineación. También se debe tener en cuenta la variación de la temperatura sobre la superficie y las propiedades termo físicas del fluido que interviene.

En la literatura se presentan distintas soluciones a problemas de convección dependiendo su configuración geométrica, acá presentamos las más representativas y que se usan con más amplitud. Las correlaciones empíricas sencillas para el número promedio de Nusselt Nu para la convección natural se representan con la ecuación:

$$Nu = \frac{hL_c}{k} = C(Gr_L Pr)^n = C Ra_L^n \quad (2-5)$$

donde  $Ra_L$  corresponde al número de Rayleigh, el cual es el producto de los números de Grashof y de Prandtl; el número de Rayleigh puede considerarse como la razón de las fuerzas de flotabilidad y (los productos de) las difusividades térmicas y de cantidad de movimiento, como:

$$Ra_L = Gr_L Pr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_c^3}{\nu^2} Pr = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L_c^3}{\nu\alpha} \quad (2-4)$$

Los valores de las constantes C y n dependen de la configuración geométrica de la superficie y del régimen de flujo, que se caracteriza por el rango del número de Rayleigh. El valor de n suele ser para el flujo laminar y para el turbulento. El valor de la constante C normalmente es <1.

Cuando se tiene el número promedio de Nusselt y el coeficiente promedio de convección, la razón de la transferencia de calor por convección natural de un área maciza que se encuentra a una temperatura uniforme  $T_s$  hacia el fluido próximo, se expresa por la ley de Newton del enfriamiento como:

$$Q_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty})(w) \quad (2-7)$$

Donde  $A_s$  es el área de la superficie de transferencia de calor y  $h$  es el coeficiente promedio de transferencia de calor sobre el área.

### PLACAS VERTICALES ( $\dot{q}_L = \text{CONSTANTE}$ )

En el caso de flujo constante de calor en el área, se supone que la razón de la transferencia de calor es  $\dot{Q}_L = \dot{q}_s A_s$ , pero no se conoce la temperatura superficial  $T_s$ . De hecho,  $T_s$  aumenta con la altura a lo largo del bloque.

Por lo que, las relaciones para los bloques isotérmicos se pueden emplear para los bloques sujetos a flujo uniforme de calor siempre que se use la temperatura  $T_L/2$  en el punto medio del bloque, en lugar de  $T_s$ , en la evaluación de la temperatura de película, del número de Rayleigh y del número de Nusselt. Dado que  $h = \dot{q}_s / (\frac{T_L}{2} - T_\infty)$ , el número promedio de Nusselt se puede expresar como:

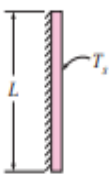
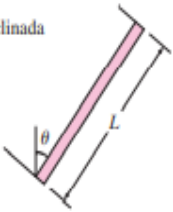
$$Nu = \frac{hL}{k} = \frac{\dot{q}_s L}{k(\frac{T_L}{2} - T_\infty)} \quad (2-8)$$

La temperatura  $T_L/2$  en el punto medio se determina con la ayuda de tablas, de modo que concuerden los números de Nusselt determinados a partir de las ecuaciones que se ilustran en la **Figura 2-3**, del capítulo 9 del libro transferencia de calor y masa de Yunus Cengel.

**Figura 2-3:** Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt.

**TABLA 9-1**

Correlaciones empíricas del número promedio de Nusselt para la convección natural sobre superficies

Configuración geométrica	Longitud característica $L_c$	Intervalo de Ra	Nu
Placa vertical 	$L$	$10^4 - 10^9$ $10^{10} - 10^{13}$ Todo el intervalo	$Nu = 0.59Ra_L^{1/4}$ (9-19) $Nu = 0.1Ra_L^{1/3}$ (9-20) $Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2$ (9-21) (compleja pero más exacta)
Placa inclinada 	$L$		Utilícen las ecuaciones de la placa vertical para la superficie superior de una placa fría y la superficie inferior de una placa caliente  Reemplácese $g$ por $g \cos \theta$ para $0 < \theta < 60^\circ$

Fuente: (Cengel & Ghajar, 2007)

## 2.2 Normativa para el diseño de PCB

En la industria existe diversas normativas para el diseño como lo son las:

- ISO (International Organization for Standardization), estas son más para procesos, en electrónica en el diseño y desarrollo de productos (ISO, 2021).
- UIT (International Telecommunication Union) para regular las telecomunicaciones (ITU, 2021).
- IEC-International Electrotechnical Commission, para ensayos y certificación de productos para eléctrica, electrónica y afines (International Electrotechnical, 2021).
- IPC (Association Connecting Electronics Industries) para placas electrónicas o circuitos impresos (IPC, 2021).

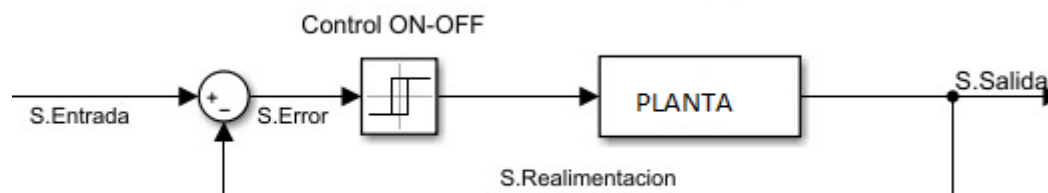
## 2.3 Control On- Off

El controlador On - Off es ampliamente utilizado en convertidores electrónicos de potencia, en la regulación del nivel en sistemas hidráulicos y en el control de motores de corriente directa, entre otros, debido a la facilidad en la sintonización de las ganancias y fácil implementación. La ley de control se describe como:

$$u = \begin{cases} U_{\max} & \text{si } e > \varepsilon \\ U_{\min} & \text{si } e < -\varepsilon \end{cases}, \quad e = ref - y \quad (2-9)$$

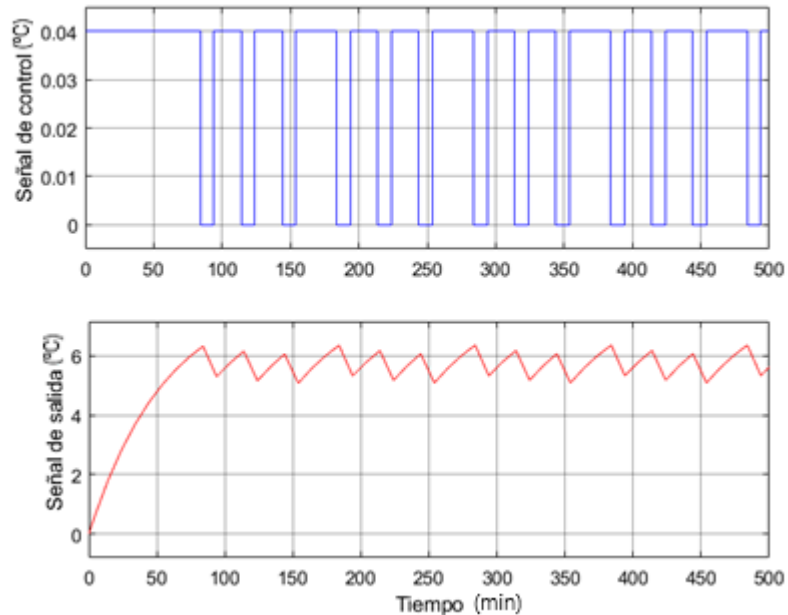
donde  $U_{\max}$  y  $U_{\min}$  son las ganancias del controlador,  $e$  corresponde a la señal del error y  $\varepsilon$  denota un límite sobre la señal del error, como se muestra en la **Figura 2-5**. Este controlador garantiza un error en estado estacionario diferente de cero, donde la cota del error será definida por el valor de  $\varepsilon$ . A partir del sistema en lazo cerrado **Figura 2-4** y utilizando el teorema del valor final, se pueden determinar las ganancias del controlador (Paz, 2021).

**Figura 2-4:** Controlador de dos posiciones



**Fuente:** (Paz, 2021)

**Figura 2-5:** Ciclo sinusoidal es típico del control de encendido / apagado



**Fuente:** Elaboración propia

El ciclo sinusoidal es típico del control de encendido / apagado. El control de encendido / apagado se puede usar con ventaja en un sistema lento, es decir, donde el tiempo periódico es grande.

## Capítulo 3.

### 3. Diagnóstico de funcionamiento y uso del freidor

Para el desarrollo de este proyecto, se realizaron una serie de encuestas para determinar la mejora y funcionamiento del freidor FT-50 G, las cuales fueron dirigidas a personal técnico y usuario final del equipo. Dichas encuestas permitieron determinar su enfoque cualitativo, de acuerdo a los resultados obtenidos y descriptiva ya que se despliega de una serie de procesos paso a paso con el funcionamiento de la freidora FT-50 G. Y como se determina su automatización.

El diseño de las encuestas se realizó con la ayuda de la plataforma Survey Monkey (Survey Monkey, 2020). De modo que permitió ejecutarla en línea y obtener datos al instante para el análisis lo cual se expone en el capítulo 3.

#### 3.1 Elaboración de encuestas

El diseño de las encuestas es desarrollado con la ayuda de la plataforma de (Survey Monkey, 2020), con preguntas cerradas de selección múltiple con única respuesta. Al usuario final 5 preguntas como se ilustra en la **Figura 3-1** **Figura 3-1**, y personal técnico 7 preguntas como se ilustra en la **Figura 3-2** **Figura 3-2**, lo que permite tener una retroalimentación de la percepción del técnico y del usuario, lo que permite el desarrollo de los objetivos propuestos.



**Figura 3-1:** Diseño encuesta dirigida al usuario final

## **Encuesta de funcionamiento y oportunidad de mejora en el freidor FT-50 G marca Pallomaro**

1. ¿SE LE DIFICULTA EL MANEJO DEL EQUIPO?
  - SI
  - NO
  
2. ¿QUE DIFICULTADES SE LE HAN PRESENTADO AL MANIPULAR EL EQUIPO?
  - ENCENDIDO
  - REGULACION DE TEMPERATURA
  - MANIPULACION DE CONTROLES
  - PROBLEMAS ERGONOMICOS
  - NINGUNO
  -
3. ¿HAPRESENTADO ACCIDENTES DE QUEMADURAS EN LA MANIPULACION DE LOS CONTROLES?
  - SI
  - NO
4. ¿QUE COMPONENTES FALLAN CON FRECUENCIA EN EL EQUIPO?
  - TERMOSTATO
  - VÁLVULA
  - PERILLA BEIGE DE LA VÁLVULA
  - PERILLA DE TERMOSTATO
  - TERMO PILA
  - VÁLVULA DE DRENAJE
4. ¿ESTA DE ACUERDO EN MODERNIZAR EL SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ACTUAL?
  - SI
  - NO

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3-2:** Diseño encuesta dirigida a personal técnico

## **Encuesta técnica del funcionamiento y oportunidad de mejora en freidor FT-50G marca Pallomaro**

1. ¿HA REALIZADO INTERVENCIONES TÉCNICAS EN ESTE MODELO DE EQUIPO?
  - SI
  - NO
2. ¿HA REALIZADO INTERVENCIONES TÉCNICAS EN EL EQUIPO EN CALIENTE?
  - SI
  - NO
3. ¿HA TENIDO INCIDENTES O ACCIDENTES CON ESTE EQUIPO?
  - SI
  - NO
4. ¿ERGONOMICAMENTE CREE QUE LA POSICIÓN DE LOS CONTROLES ES LA ADECUADA?
  - SI
  - NO
5. AL MOMENTO DE UNA INTERVENCIÓN TÉCNICA, ¿CUAL DE ESTOS COMPONENTES SE LE DIFICULTA EL RECAMBIO?
  - VÁLVULA UNITROL
  - TERMOSTATO KX
  - PERILLA BEIGE
  - TERMO PILA
  - CHISPERO DE
  - ENCENDIDO
  - PILOTO EN T
6. ¿ESTA DE ACUERDO EN REEMPLAZAR O MEJORAR SUS COMPONENTES?
  - SI
  - NO
7. ¿CONSIDERA QUE EL MODELO ACTUAL CARECE DE:
  - CONTROL DE TEMPERATURA ELECTRÓNICO
  - SISTEMA DE ENCENDIDO ELECTRÓNICO
  - TARJETA DE CONTROL DE TIEMPO Y TEMPERATURA
  - SISTEMA DE SEGURIDAD
  - NINGUNA
  - Otro (especifique)

0 de 7 respuestas 2/3/2021 ENCUESTA TÉCNICA DEL FUNCIONAMIENTO Y OPORTUNIDAD DE MEJORA EN FREIDOR FT50G MARCA PALLOMARO Survey  
[https://es.surveymonkey.com/r/?sm=ps8nwRkgDLS7xZY7srO3ig8Nm4qJFzEQGVGA5TE8fcg\\_3D2/3](https://es.surveymonkey.com/r/?sm=ps8nwRkgDLS7xZY7srO3ig8Nm4qJFzEQGVGA5TE8fcg_3D2/3)

**Fuente:** Elaboración propia

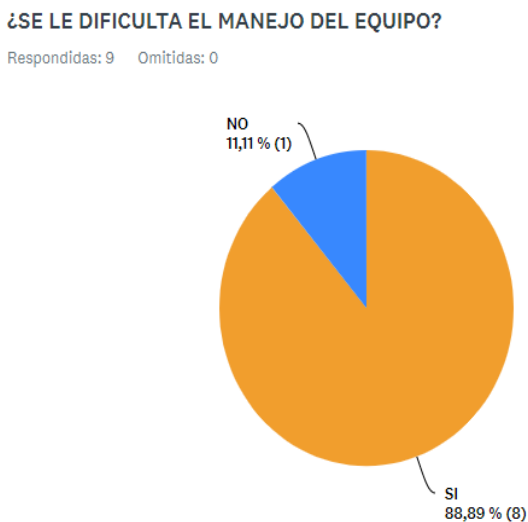
## 3.2 Análisis de encuestas dirigida al usuario final

En esta sección se describen los resultados de la encuesta dirigida al personal que manipula el equipo.

De dichos datos se determina que el **88,89%** de las personas encuestadas presentan dificultades al manipular el equipo, cómo se ilustra en la **Figura 3-3**Figura 4-1Figura 1-1.

- **FUNCIONAMIENTO Y OPORTUNIDAD DE MEJORA EN FREIDOR FT-50 G MARCA PALLOMARO**

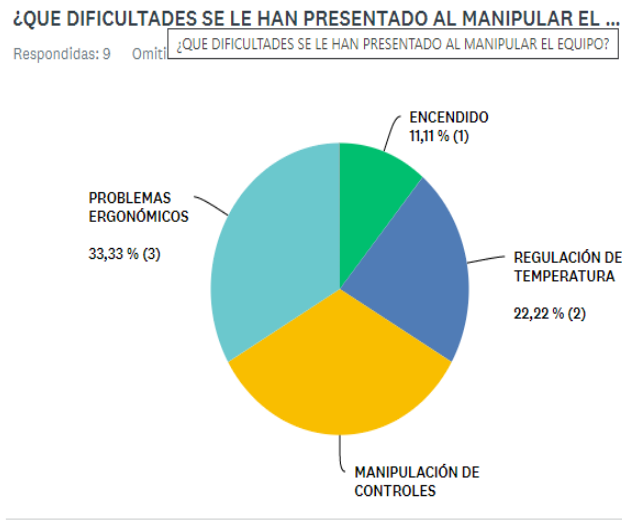
Figura 3-3: Pregunta 1



Fuente: Elaboración propia

Donde uno de las principales dificultades como se ilustra en la **Figura 3-4**Figura 4-2;Error! No se encuentra el origen de la referencia., con un **33,33%** son problemas ergonómicos, debido que, al momento de realizar la manipulación de los controles, el operario debe adoptar una postura inadecuada.

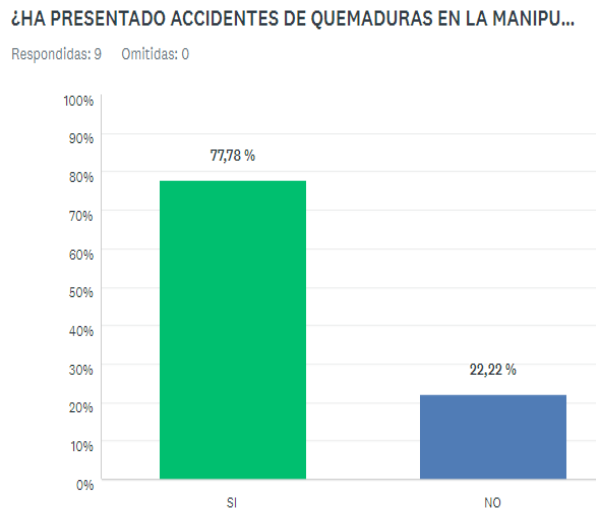
**Figura 3-4:** Pregunta 2



**Fuente:** Elaboración propia

El **77.78%** de las personas encuestadas han presentado quemaduras por contacto con el freidor FT-50 G, como se ilustra en la **Figura 3-5**, debido que al momento de realizar la manipulación de los controles y por la ubicación de estos, se corre el riesgo de quemaduras.

**Figura 3-5:** Pregunta 3



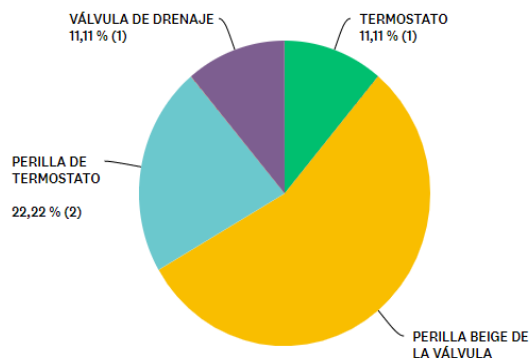
**Fuente:** Elaboración Propia

Las falla o daños más frecuentes en los componentes del modelo actual de freidor FT-50 G, como se ilustra en la **Figura 3-6Figura 3-6Figura 4-4**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, son: la perilla beige con un **55.56%**, siendo esta el componente de mayor recambio, seguida de la perilla de la válvula con un **22.22%**.

**Figura 3-6:** Pregunta 4

¿QUE COMPONENTES FALLAN CON FRECUENCIA EN EL EQUIPO?

Respondidas: 9 Omitidas: 0



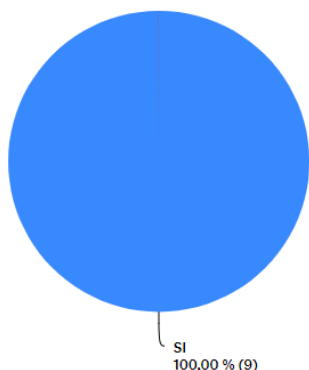
**Fuente:** Elaboración propia

Como se ilustra en la **Figura 3-7Figura 3-7Figura 4-5**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el **100%** de las personas encuestadas está de acuerdo con realizar una modernización en el sistema de control del modelo actual de freidor FT-50 G.

**Figura 3-7:** Pregunta 5

¿ESTA DE ACUERDO EN MODERNIZAR EL SISTEMA DE CONTROL D...

Respondidas: 9 ¿ESTA DE ACUERDO EN MODERNIZAR EL SISTEMA DE CONTROL DEL EQUIPO ACTUAL?



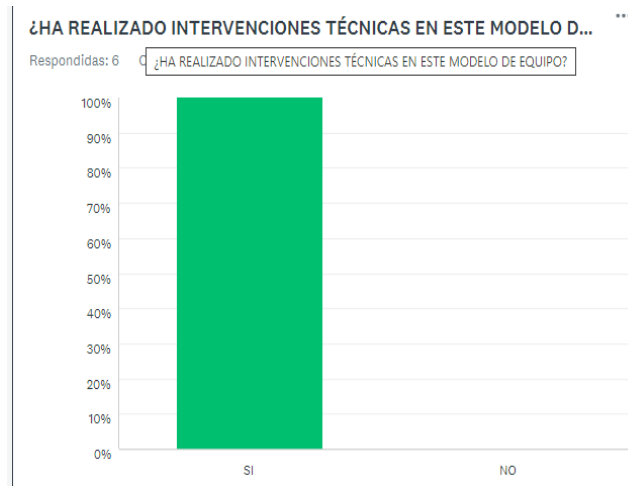
**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3 Análisis de encuestas dirigida a personal técnico

En esta sección se describen los resultados de la encuesta dirigida al personal técnico, donde en el **100%** de los técnicos encuestados ha realizado algún tipo de intervención al freidor FT-50 G, como se ilustra en la **Figura 3-8**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

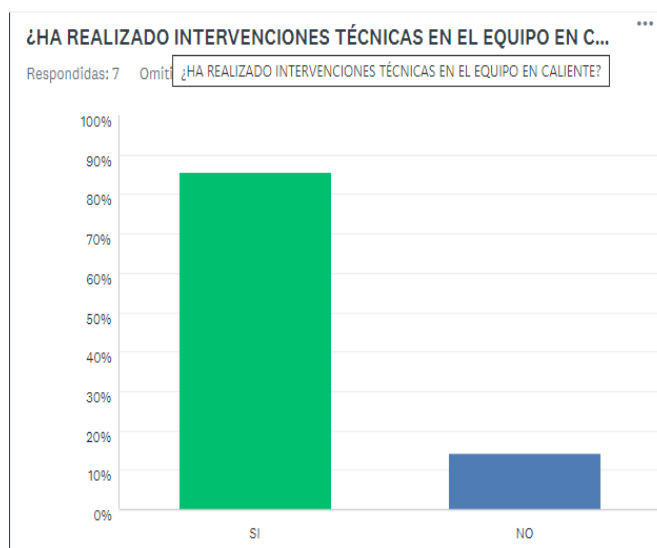
- **ANÁLISIS TÉCNICO DEL FUNCIONAMIENTO Y OPORTUNIDAD DE MEJORA EN FREIDOR FT50G MARCA PALLOMARO**

**Figura 3-8:** Pregunta 1

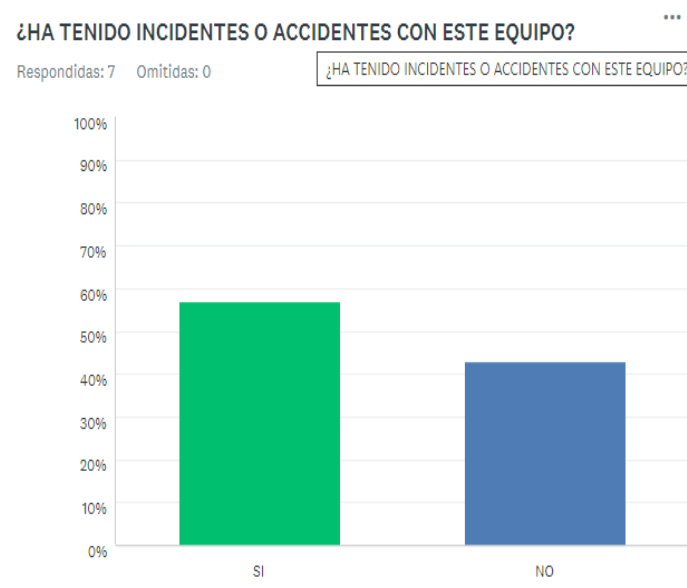


**Fuente:** Elaboración propia

Se evidencia los riesgos a los que están expuestos el personal técnico, al intervenir el modelo de freidor FT-50 G, como se ilustra en la **Figura 3-9**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el 100% de los técnicos han realizado la intervención al equipo en caliente, aumentando la probabilidad de riesgo de accidente, como se ilustra en la **Figura 3-10**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el 57,14% de los técnicos encuestados han tenido algún tipo de incidente.

**Figura 3-9: Pregunta 2**

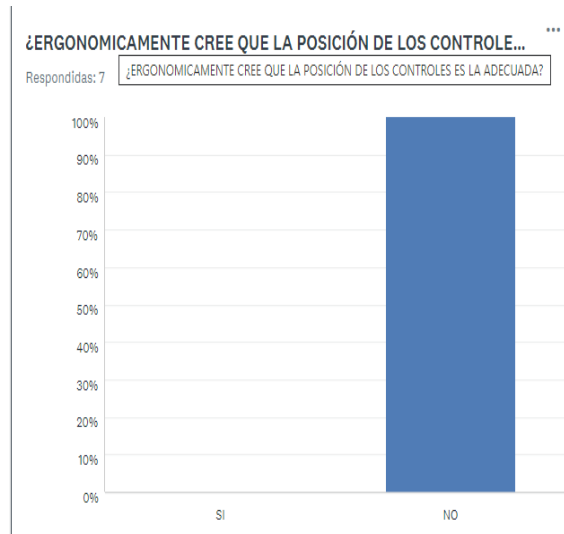
**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 3-10: Pregunta 3**

**Fuente:** Elaboración propia

El **100%** de los técnicos encuestados, coincide que, los controles del modelo actual del freidor FT-50 G, no tiene una posición ergonómica, para su maniobra, como se ilustra en la **Figura 3-11**.

**Figura 3-11: Pregunta 4**



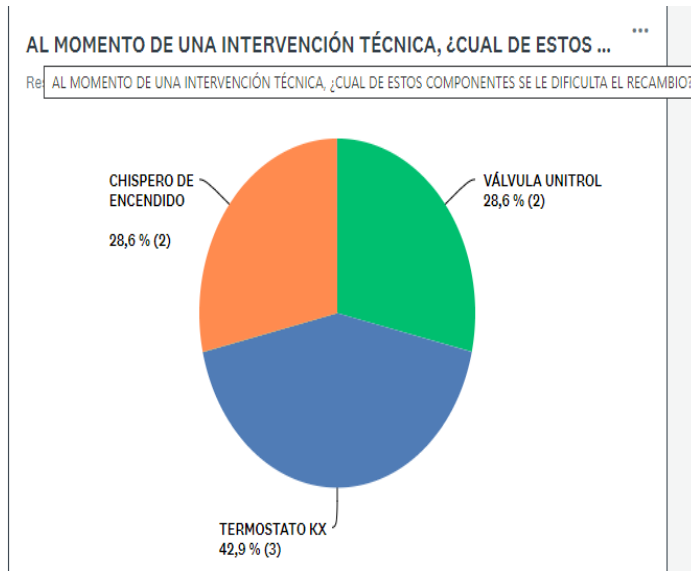
**Fuente:** Elaboración propia

Uno de las principales dificultades para ejecutar el recambio de componentes en el freidor FT-50 G, como se ilustra en la **Figura 3-12**, con un **42.9%**, es el cambio del termostato kx.

Donde el 100% de los técnicos está de acuerdo con realizar mejoras en sus componentes, como se ilustra en la **Figura 3-13**, **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

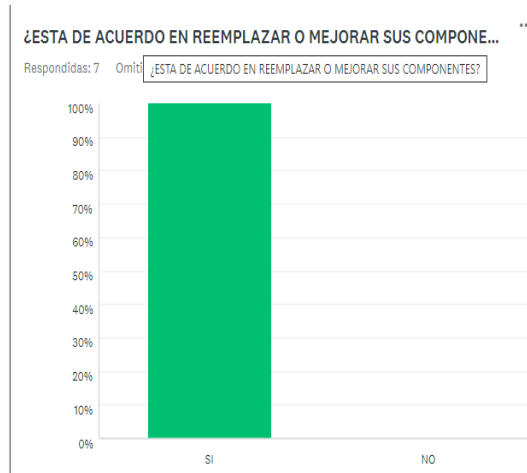
**Figura 3-12: Pregunta 5**





Fuente: Elaboración propia

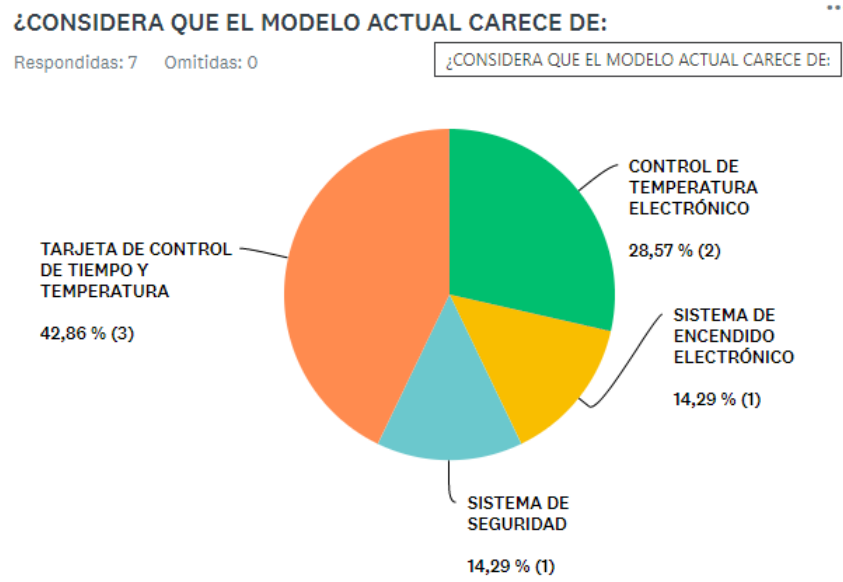
Figura 3-13: Pregunta 6



Fuente: Elaboración Propia

La oportunidad de llevar a cabo mejoras, como los son: la implementación de una tarjeta de control de tiempo y regulación de temperatura con un **42.86%**, un control de temperatura electrónico con **28.57%**, como se ilustra en la **Figura 3-14** **Figura 3-14** **Figura 3-14** **Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.**

Figura 3-14: Pregunta 7



Fuente: Elaboración Propia

## Capítulo 4

### 4. Diseño mecánico

En esta sección se describe el diseño y desarrollo de componentes del prototipo, el cual debe ser con materiales aptos para el procesamiento de alimentos de acuerdo a lo establecido por el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud).

Para el diseño y desarrollo del freidor FT-50 G, se tuvo en cuenta la percepción de un personal técnico y usuarios finales, en cuanto a la parte ergonómica y renovación de la parte electrónica, lo cual se expone en el capítulo 3. Para el cálculo de los parámetros de

la electroválvula que controla el paso de gas a los quemadores, se utilizó las leyes de los gases perfectos descrito en la sección **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

El diseño de los componentes mecánicos, que fueron acoplados al diseño actual de la empresa Pallomaro S. A, se realizaron con la ayuda del software de diseño SolidWorks (Solidworks, s.f.).

## 4.1 Estructura

El diseño actual del freidor FT-50 G, consta de 3 de quemadores verticales tipo guitarra, de alta potencia calórica, la estructura está fabricada en acero inoxidable 304, en calibres 18 y 20. El mecanismo de regulación de temperatura del aceite, se hace por medio de un termostato mecánico Robert Shaw de 90 a 200 grados centígrados, adicional cuenta con un mecanismo de seguridad también llamado termostato de límite, que al activarse corta el paso del gas a los quemadores.

Uno de sus principales componentes es la válvula UNITROL marca Robert Shaw, la cual funciona con un piloto de gas, encargado de generar la llama hacia la termopila y esta última genera un voltaje (0-500 mv), de tal modo que, si el voltaje no es constante, se suspende el paso de gas hacia los quemadores.

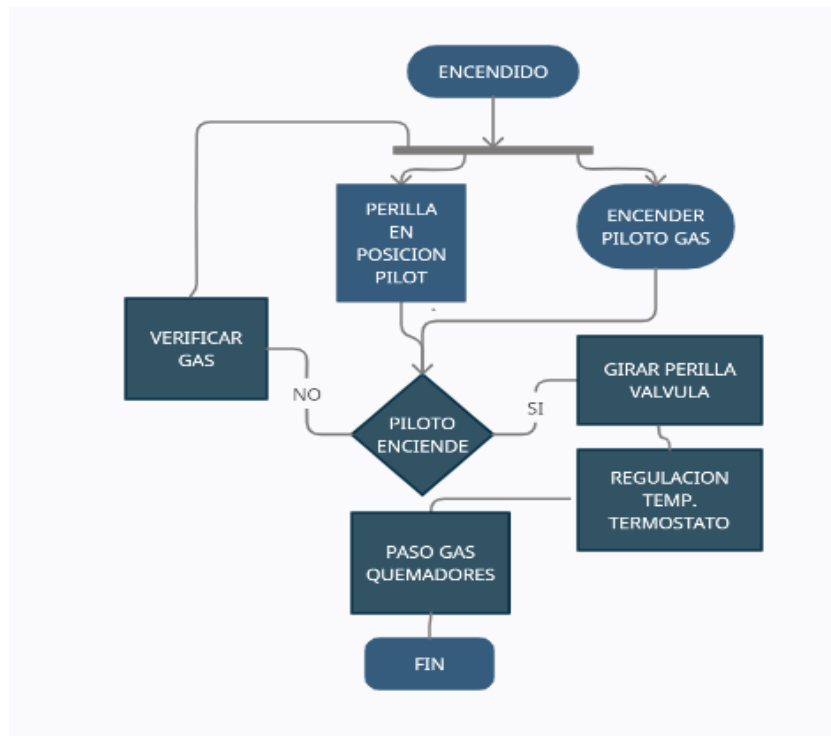
**Tabla 4-1:** Especificaciones freidor FT-50G.

Modelo	# Quemadores	Potencia (BTU)	Dimensiones (cm)			Capacidad Tanque
			Ancho	Fondo	Alto	
T-50G	3	90.000	36 cm	78 cm	85 cm	26 litros

**Fuente:** Elaboración propia.

El funcionamiento del modelo actual FT-50 G, se describe en la **Figura 4-1**.

**Figura 4-1:** Funcionamiento Freidor FT-50G



**Fuente:** Elaboración propia

## Diseño prototipo

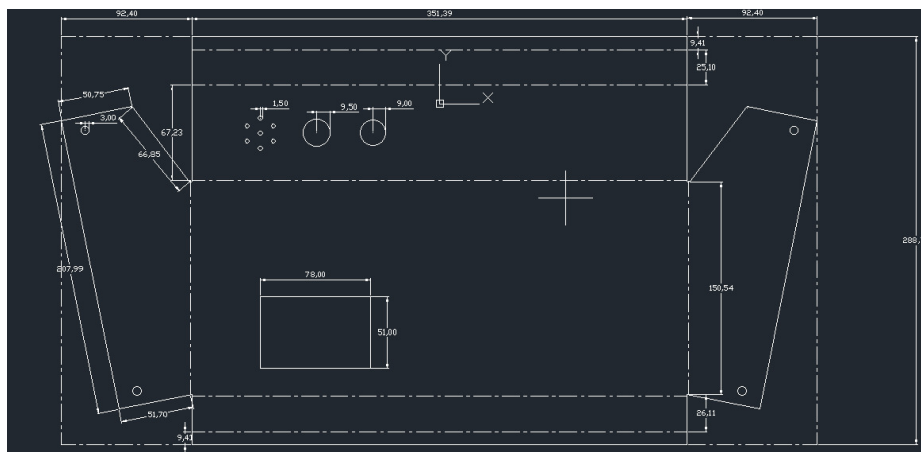
Con base en el análisis de las encuestas realizadas en el capítulo 3, se diseña el prototipo con el cual se da solución a las falencias del modelo actual. Dando como resultado un equipo de mejores características, tanto en su diseño estético y en la funcionalidad de sus controles.

Para el desarrollo y fabricación de la cubierta, como se ilustra en la **Figura 4-2** se emplea lamina de acero inoxidable tipo 304, **ver anexo B**. El cual es idóneo en el procesamiento

de alimentos, cumpliendo con la normativa colombiana, decreto 3075 del 1997 (Ministerio de Salud)<sup>1</sup>.

Donde se obtiene como resultado una cubierta que suple las necesidades de diseño, como se ilustra en la **Figura 4-3**.

**Figura 4-2:** Desarrollo cubierta de control



**Fuente:** Elaboración propia

Para el diseño y desarrollo de la cubierta se busca suplir la necesidad, de tener un compartimento donde se alojen los controles electrónicos del Freidor FT-50G, por lo cual se diseña un prototipo de cubierta, como se ilustra en la **Figura 4-4** y **Figura 4-5**, la cual se ajusta en dimensiones, a la necesidad de los componentes empleados en el desarrollo de la electrónica.

Dicha cubierta alojara componentes tales como: tarjeta electrónica, pantalla LCD gráfica, buzzer e indicador lumínico.

<sup>1</sup> - La salud es un bien de interés público. En consecuencia, las disposiciones contenidas en el presente Decreto son de orden público, regulan todas las actividades que puedan generar factores de riesgo por el consumo de alimentos

**Figura 4-3:** Vista semi lateral, Cubierta de control.



**Fuente:** Elaboración Propia

**Figura 4-4:** Vista frontal cubierta de control



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 4-5:** Cubierta control



**Fuente:** Elaboración propia

El diseño propuesto, como se ilustra en la **Figura 4-6**, fue desarrollado, con la ayuda del software SolidWorks, manteniendo parámetros de diseño actuales tales como: dimensiones, potencia de gas.

Una de sus características en el diseño estético, es la incorporación de una cubierta donde se aloja el controlador.

**Figura 4-6:** Prototipo Freidor



**Fuente:** Elaboración propia

## 4.2 Selección de válvula

Para llevar a cabo la selección de la válvula, necesaria para el control del paso de gas hacia los quemadores, se inicia por determinar el tipo de fluido y la presión de trabajo. El flujo de gas presenta una presión máxima de 0.5 PSI, con un caudal de  $3 \text{ m}^3/\text{h}$ , por lo que se determina que la válvula requerida es para baja presión. Aplicando la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, del capítulo 2, sub sección 2.3 se determina el  $K_v$ , el cual es necesario para la selección de la válvula.

$$K_v = \frac{Q_n}{328} \times \sqrt{\frac{G \times T_s}{\Delta P (P_1 + P_2)}} \quad (2-21)$$

$Q_n$  = caudal en  $\text{m}^3/\text{h}$  referido a una atmosfera y  $15^\circ\text{C}$

$G$  = densidad con relacion al aire (aire = 1)

$\Delta P$  = perdida de carga en bar

$P_1$  = presión anterior en bar absolutos

$P_2$  = presión posterior en bar absolutos  
 $T_s$  = temperatura en grados kelvin ( $^{\circ}\text{C} + 273$ )

- Datos

**Tabla 4-2:** Datos para cálculo de válvula

Variable	Valor
$Q_n$	$3 \text{ m}^3/\text{h}$
$P_1$	$0.5 \text{ psi} = 0.034 \text{ bar}$
$P_2$	$0.4 \text{ psi} = 0.0276 \text{ bar}$
$\Delta P$	$0.1 \text{ psi} = 0.006895 \text{ bar}$
$T_s$	$25 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K}$
$G$	0.6

**Fuente:** Elaboración propia

Se aplica la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para hallar el  $K_v$ , el cual nos indica el valor de capacidad de flujo, permitiendo la correcta selección de la válvula para gas.

Se reemplaza la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

$$K_v = \frac{3 \text{ m}^3/\text{h}}{328} \times \sqrt{\frac{298 \text{ K} \times 0.6}{0.006895 \text{ bar}(0.034 \text{ bar} + 0.0276 \text{ bar})}}$$

**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

$$K_v = 5.934 \text{ m}^3/\text{h}$$

Obteniendo el  $K_v$ , se puede hallar el  $C_v$ , “coeficiente de válvula” el cual se usa como alternativa para la selección de la válvula de acuerdo a los catálogos del fabricante (ver ecuación (4-1)).

$$C_v = 1.16 \times K_v \text{ (galones por minuto)} \tag{4-1}$$

$$C_v = 1.16 \times 5.934$$



$$C_v = 6.883 \text{ GPM}$$

Con los datos obtenidos se realiza la selección de la electroválvula para el control de gas, como se ilustra en la **Figura 4-7** y

**Figura 4-8** .

**Figura 4-7:** Datos técnicos electroválvula

Kv (m <sup>3</sup> /h)	Bobina BN, 20 W		24 V, c.c.
	Temp. máx. (°C)	Presión (bar)	
2.2	160	0.2 → 5	✓
3.0	160	0.2 → 5	✓
5.0	160	0.2 → 5	✓
6.0	160	0.2 → 5	✓

**Fuente:** (Pallomaro.com, 2018)

**Figura 4-8:** Válvula seleccionada 24v



**Fuente:** (Pallomaro.com, 2018)

## Capítulo 5.

### 5. Diseño de control de temperatura

El objetivo del sistema de control es regular la temperatura del fluido del aceite a un valor deseado, para ello se utilizó una ley de control On-Off descrita en la sección 2.2., la cual dará apertura o cierre a la electroválvula que permite el paso de gas.

El sistema general de mando y control tuvo un control retroalimentado, y con un único microcontrolador el cual tendrá dos memorias: RAM encargada de los cálculos temporales (comparación de temperatura ingresada por el usuario con la del fluido), y una memoria ROM permanente la cual contendrá el código de programación. Se realizó dicha programación por medio del software, C Compiler (Inc. Custom Computer, s.f.), y simulación de funcionamiento con Proteus (Labcenter, s.f.).

Inicialmente se modeló la dinámica de la planta como una función de transferencia, utilizando el principio de equilibrio de energías. Luego, con base en el modelo de planta y utilizando el teorema del valor final, se seleccionan las ganancias del controlador. Finalmente se presentó una validación numérica del controlador utilizando la herramienta Simulink de Matlab (MathWorks, 2021).

#### 5.1 Modelamiento de la planta

A partir del balance de energías, el modelo dinámico de una termocupla se puede describir como:

$$h * A (T - T_m) = m * C \frac{\partial T_m}{\partial t} \quad (5-1)$$

Donde  $h$  denota el *coeficiente de convección*,  $A$  el *área de la superficie del sensor*,  $T$  *temperatura ambiente*,  $T_m$  *temperatura medida por el sensor*,  $m$  *masa de la termocupla*,  $C$  *capacidad de calor*,  $t$  *tiempo*. Reescribiendo la ecuación (5-1), se obtiene:

$$\frac{m \times C}{h \times A} \times \frac{\partial T_m}{\partial t} + T_m = T$$

Ahora, si se asume:

$$\alpha = \frac{m \times C}{h \times A}$$

Se tiene una ecuación diferencial de primer orden.

$$\alpha * \dot{T}_m + T_m = T$$

Utilizando la transformada de Laplace, el balance de energía en un termopar se describe como:

$$\alpha * s \times T_m(s) + T_m(s) = T(s)$$

$$T_m(s) \times [\alpha * s + 1] = T(s)$$

$$\frac{T_m(s)}{T} = \frac{1}{\alpha * s + 1}$$

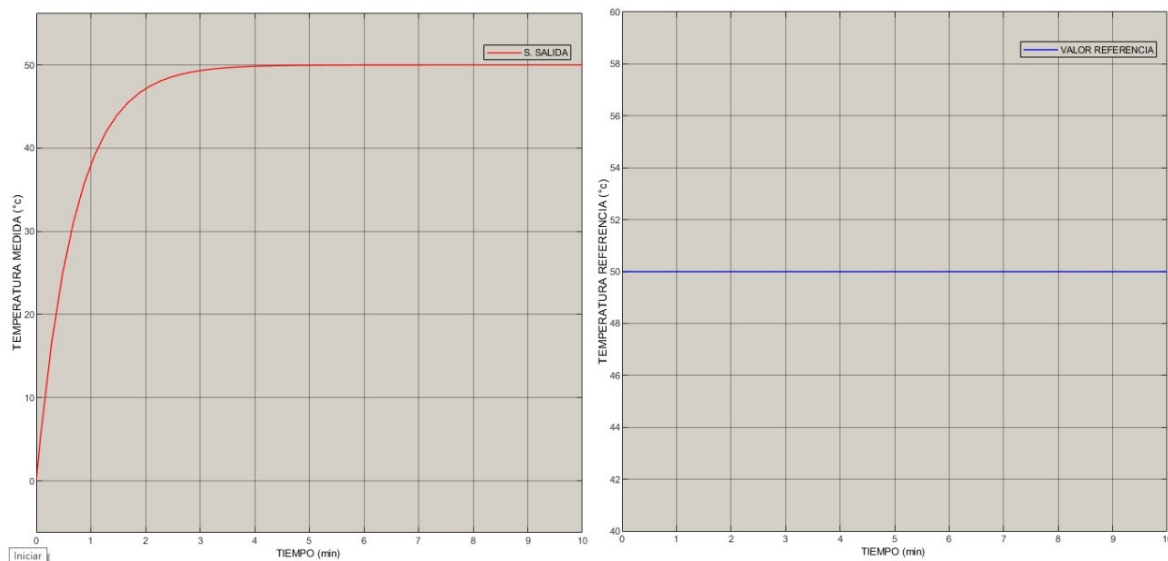
Los valores de los parámetros que se reportan en la literatura para un termopar tipo K, los cuales se utilizarán en la simulación son:

**Tabla 5-1:** Parámetros de un termopar tipo K

Parámetro	Valor
<b>h</b>	66.34 $\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$
<b>A</b>	2.5 $m^2$
<b>m</b>	0.1 g
<b>C</b>	1300.4 $\frac{cal}{^\circ C}$

**Fuente:** Elaboración propia

Para observar la respuesta numérica de la planta a una temperatura de referencia de 50°C, se ejecuta con la ayuda de Matlab Simulink (MathWorks, 2021). Como se ilustra en la **Figura 5-1**.

**Figura 5-1:** Señal salida de la planta

**Fuente:** Elaboración propia

## 5.2 Ganancias del controlador

Para regular la temperatura del freidor Ft-50 G, se diseñará un control On-Off como se menciona en el capítulo 2, sub sección 2.2, descrito como:

$$u = \begin{cases} U_{\max} & \text{si } e > \varepsilon \\ U_{\min} & \text{si } e < -\varepsilon \end{cases}, \quad e = ref - y \quad (5-2)$$

Donde  $U_{\max}$  y  $U_{\min}$ , son las ganancias del controlador, que actúan cuando la señal del error está por encima o por debajo de un límite  $\varepsilon$  sobre la señal de error.

Se requiere que la temperatura del aceite del freidor FT-50 G, se encuentre por encima y por debajo el 5% de la señal de referencia. Para esto se seleccionó el valor  $\varepsilon = 0.05$ .

Los rangos de temperatura que se deben respetar en el prototipo FT-50 G, serán de 0 a 200 °C, temperatura idónea para llevar a cabo los procesos de frituras. Es importante establecer el rango máximo ya que, a partir de los 220°C, se genera el punto de humeo, lo cual hace que haya una pérdida del aceite y además se genera un riesgo de conato de incendio. Los valores de temperatura máxima para ciertos tipos de aceite se ilustran en la **Tabla 5-2** **Tabla 5-2: Punto de Humeo** **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

**Tabla 5-2:** Punto de Humeo

Aceite	T° punto de humeo °C
Canola	220
Cártamo	220
Girasol	227-232
Soya	227-232
Cacahuete	216-221
Oliva	210-238
Maíz	204-213
Manteca de cerdo	184 -204
Mantequilla clarificada	177-191
Margarina	145-155
Mantequilla entera	121-149

**Fuente:** (Garcia, 2021)

De acuerdo a la anterior tabla, para realizar la validación del controlador se considera una temperatura deseada de  $R= 50^{\circ}\text{C}$ , con lo cual la temperatura del freidor se encontrará en el intervalo

$$Y \in [49.95 - 50.05].$$

Las ganancias del controlador se determinan analizando el estado estacionario del sistema controlado. Aplicando el teorema del valor final en el dominio de Laplace, se tiene:

$$Y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} Y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s Y(s) \quad (5-3)$$

Dado que:

$$Y(s) = G(s) \times \frac{UMax}{s}$$

De acuerdo a la sección anterior, las dinámicas de la planta se definen como  $G(s) = 1/(0.78 s + 1)$ , por lo tanto:

$$Y_{\infty} = \lim_{s \rightarrow 0} s G(s) \times \frac{UMax}{s}$$

$$Y_{\infty} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{0.78 s + 1} UMax$$

$$Y_{\infty} = 1 UMax$$

$$Y_{\infty} > 50 = UMax > 50$$

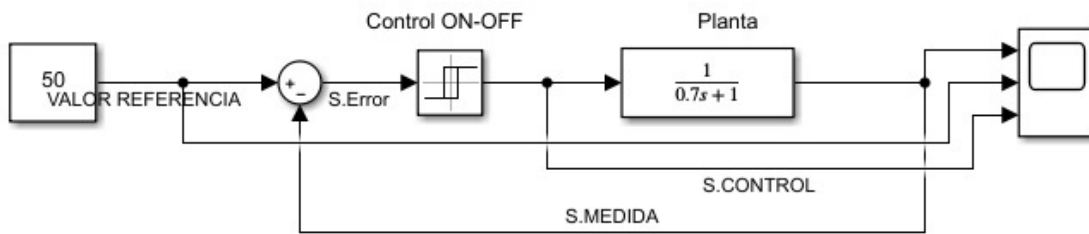
Finalmente, las ganancias del controlador se definen como  $UMin = 0$  y  $UMax = 50.5$ , es decir el controlador que regula la temperatura al valor deseado es

$$u = \begin{cases} 50.5 & \text{si } e > \varepsilon \\ 0 & \text{si } e < -\varepsilon \end{cases}, \quad e = ref - y \quad (5-4)$$

### 5.3 Validación del controlador

Para evaluar el rendimiento del controlador con respecto al error en estado estacionario, se utilizó Simulink (MathWorks, 2021). El diagrama de bloques de ilustra en la **Figura 5-2**.

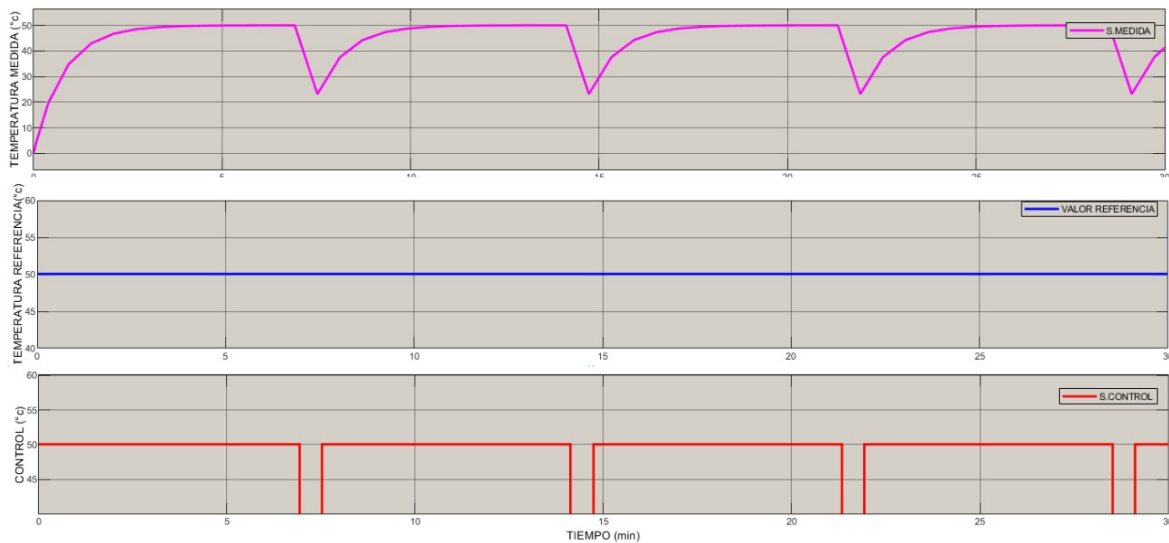
**Figura 5-2:** Control de temperatura del freidor



**Fuente:** Elaboración propia

La respuesta numérica del simulador es la que se muestra en la **Figura 5-3**, donde se puede notar que la señal de referencia llega al valor deseado que es de 50°C.

**Figura 5-3:** Respuesta de la temperatura del freidor, señal deseada y acción de control.



**Fuente:** Elaboración propia

## Capítulo 6.

### 6. Diseño electrónico y eléctrico

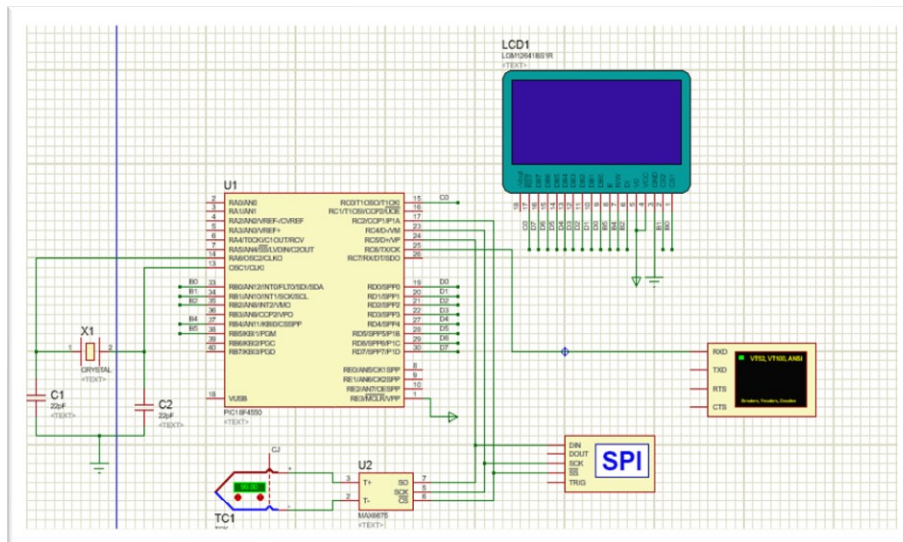
En este Capítulo se presenta el diseño de la parte electrónica y eléctrica del prototipo del freidor FT-50 G. En primer lugar, se describe el esquema general del circuito electrónico y la rutina de programación del microcontrolador utilizado en el proyecto, se hizo uso de la normativa NTC 2050, Retie (de Minas, M), para el dimensionamiento del cableado y selección del transformador. Se realizaron los cálculos del aislamiento térmico para el control automático del freidor FT-50 G, el cual se desarrolló una pared en acero inoxidable apto para el procesamiento de alimentos de acuerdo a lo establecido por el por el Ministerio de Salud (Ministerio de Salud), donde se usaron cálculos basados en el principio de la transferencia de calor por conducción y convección (Cengel & Ghajar, 2007).

Luego se presentaron los cálculos del transformador y el diseño eléctrico, indispensables para la construcción del circuito de potencia del prototipo. Finalmente se presentó la tarjeta de desarrollo del proyecto, centrada en las normas IPC. Dichas normas son una herramienta guía de las mejores prácticas de diseño, fabricación, ensamble, inspección de circuitos impresos o PCB (Printed Circuit Board), cables, conectores, insumos de soldadura, pruebas. Que al aplicarlas ayudan a alcanzar altos niveles de calidad (IPC, 2021).

#### 6.1 Prototipo del circuito electrónico del control de temperatura

El esquema del circuito electrónico del sistema de control de temperatura y automatización del dispositivo de encendido se muestra en la **Figura 6-1**; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Donde se puede notar el uso de un microcontrolador PIC 18F4550, un módulo de acondicionamiento del sensor de temperatura Max 6675 y una pantalla LCD.

**Figura 6-1:** Esquema del circuito electrónico para sistema de control de temperatura y automatización del dispositivo de encendido

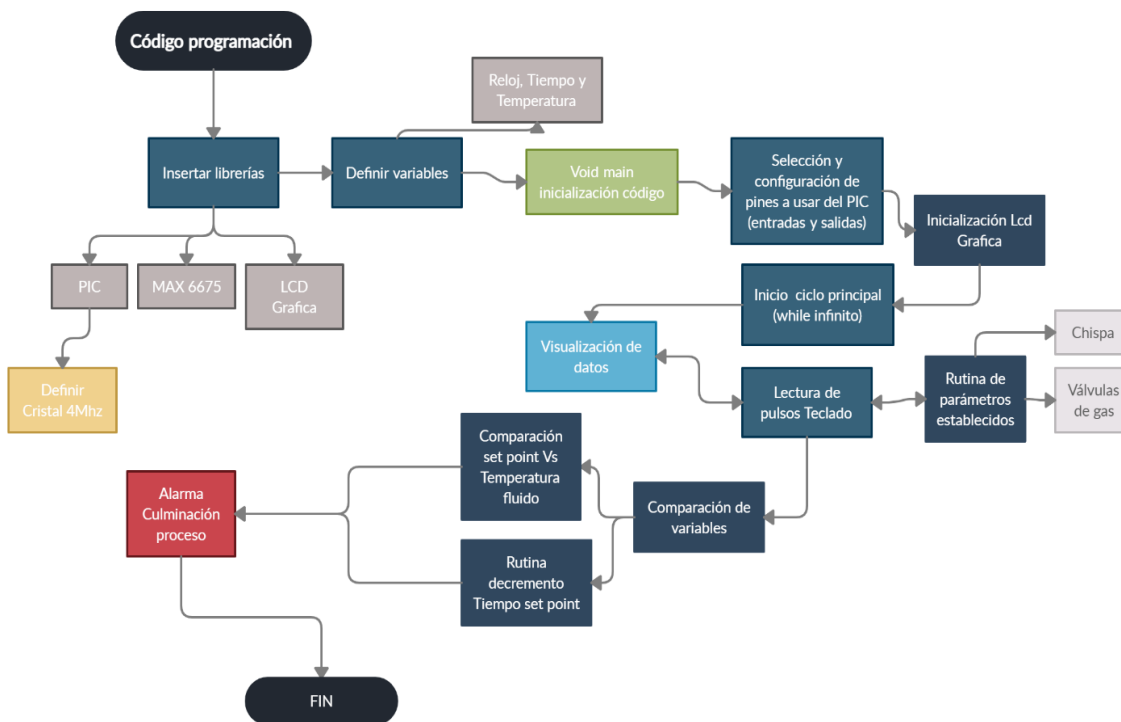


**Fuente:** Elaboración propia

En el desarrollo del código de programación, se inicia insertando las librerías del PIC, MAX 6675 y LCD gráfica, también se definen las variables para la inicialización del código, seleccionando los pines del PIC. Para las entradas y salidas. Iniciando el ciclo principal para la visualización de datos en la LCD gráfica, donde se hace la lectura de los pulsos del teclado, ejecutando en el PIC. La rutina de parámetros para la activación de los actuadores y la comparación entre la temperatura de referencia y la temperatura medida en el aceite como se ilustra en la **Figura 6-2**.



**Figura 6-2:** Diagrama de flujo rutina de programación

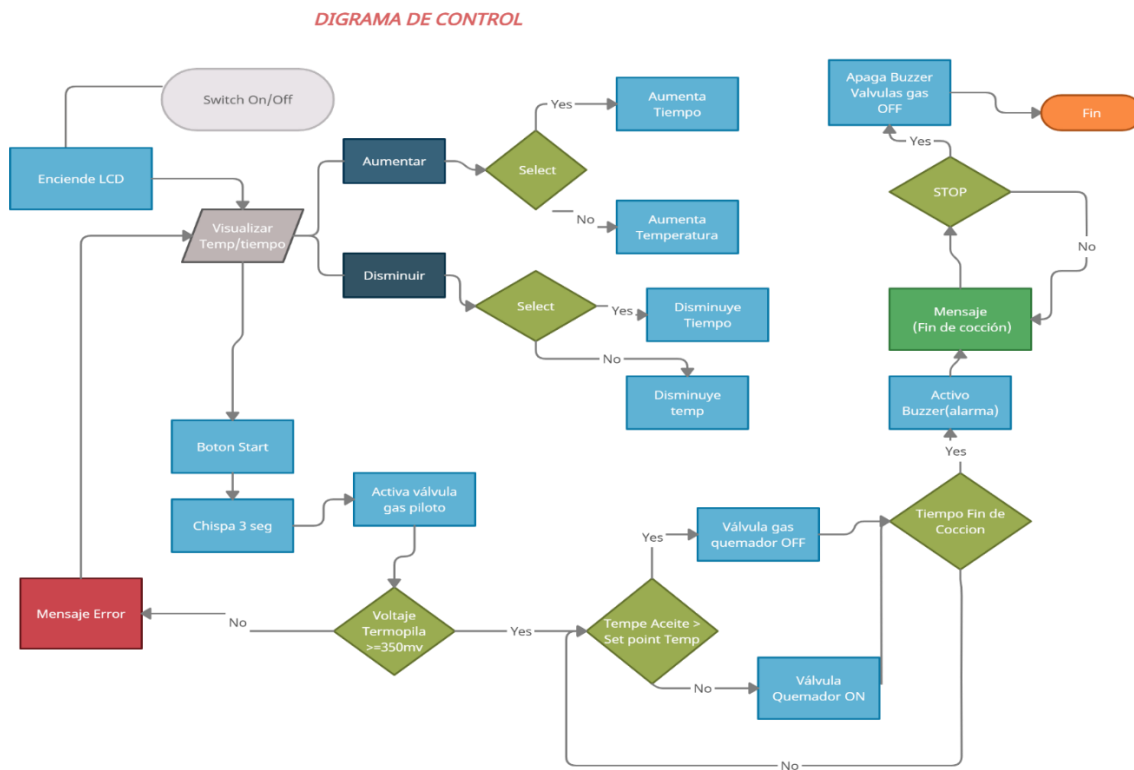


**Fuente:** Elaboración propia

Para la programación de microcontrolador, utilizo el software C Compiler, (Inc. Custom Computer, s.f.) y los drives de Prolific (Prolific Technology , 2021) para el uso del dispositivo K-150. La rutina de programación llevada a cabo en el microcontrolador se describe a través del diagrama de flujo mostrado en la **Figura 6-3**.

¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

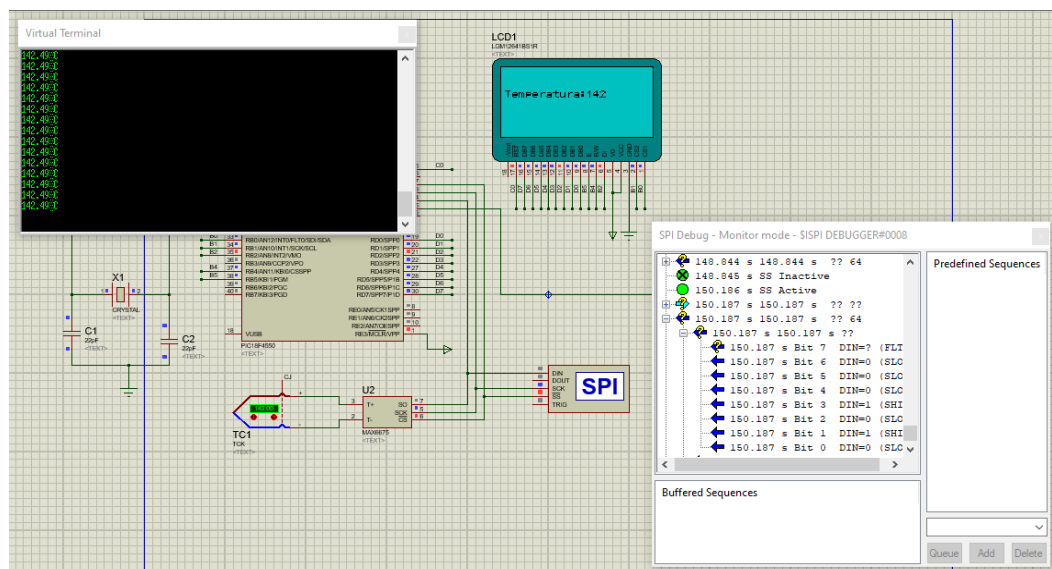
**Figura 6-3:** Diagrama de flujo de la rutina principal del proyecto escrita para el microcontrolador 18F4550



**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 6-4**, se muestra la validación de la rutina de programación, donde se puede notar la visualización de la temperatura medida a través de la pantalla LCD y transmisión de datos entre el microcontrolador y el circuito de acondicionamiento de temperatura, a través de del protocolo de comunicación SPI.

**Figura 6-4:** Simulación microcontrolador de temperatura



**Fuente:** Elaboración propia

## 6.2 Prototipo del circuito de potencia

Para el diseño del circuito de potencia se tuvo en cuenta el cálculo del transformador a partir de la potencia consumida por el freidor, así como el cálculo del aislamiento térmico, los cuales se describen a continuación.

### 6.2.1 Cálculo del aislamiento térmico

En el desarrollo del prototipo fue necesario la implementación de una pared, para reducir la temperatura en el alojamiento de la electrónica del Freidor. Por lo cual se emplea los métodos y ecuaciones de transferencia de calor por convección y conducción descritos en el capítulo 2.

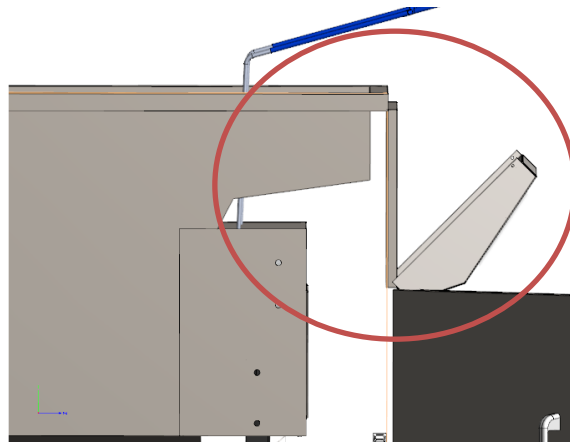
En primer lugar, se calcula la resistencia total del sistema (ver ecuación (2-3)), la cual es fundamental para determinar la transferencia de calor del sistema, (ver ecuación (2-2)), y así determinar el diferencial de temperatura del material aislante empleado en el diseño, como se ilustra en la **Figura 6-5**.

El material empleado en la fabricación del freidor es acero inoxidable 304. Por lo tanto, se requiere un diseño de una pared, capaz de aislar el alojamiento del control del prototipo del tanque donde se aloja el aceite.

Se inicia definiendo las características del diseño, el cual debe emplear materiales actos para el procesamiento de alimentos, y de mantener una temperatura en el control  $\leq$  a  $45^{\circ}\text{C}$ .

Por lo cual se realizan mediciones de temperatura y dimensiones de la sección a aislar, dando como resultado una temperatura inicial de 110 °C, en la placa interna, como se ilustra en la **Figura 6-5**.

**Figura 6-5:** Vista lateral Freidor FT-50 G



**Fuente:** Elaboración propia

Para hallar el coeficiente de convección de la pared A, se realiza un análisis del aire que rodea la pared.

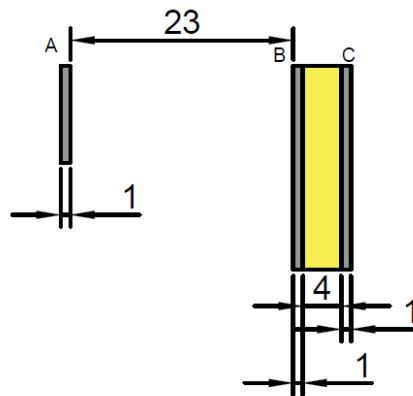
**Tabla 6-1:** Pared A

VARIABLE	VALOR
Altura	10 cm
Ancho	35 cm
Espesor mm	1 mm
Temperatura superficie $T_i$	110 °C
Temperatura alrededores $T_0$	30 °C
Material	Acero inoxidable 304

**Fuente:** Elaboración propia

A partir de los datos mostrados en anterior tabla, se inicia por determinar la temperatura de película en el punto A, como se ilustra en la **Figura 6-6**.

**Figura 6-6:** Diagrama para calculo térmico



**Fuente:** Elaboración propia

Las propiedades del aire a la temperatura promedio son:

$$T_{pro} = (T_i + T_o)/2 = (110 + 30)/2$$

$$T_{pro} = (110 + 30)/2$$

$$T_{pro} = 70^\circ\text{C}$$

Con la temperatura obtenida ver la tabla A-15 del libro de Cengel (Cengel & Ghajar, 2007), (propiedades del aire a 1 atm de presión).

De la figura **Figura 6-7**, se toma, la conductividad térmica, viscosidad cinemática y el número de Prandtl, para una temperatura de 70 °C.

**Figura 6-7:** Propiedades del aire a una presión de 1 atm

**TABLA A-15**  
Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T_f$ , °C	Densidad, $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico, $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica, $k$ , W/m · K	Difusividad térmica, $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	Viscosidad dinámica, $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255
45	1.109	1 007	0.02699	$2.416 \times 10^{-5}$	$1.941 \times 10^{-5}$	$1.750 \times 10^{-5}$	0.7241
50	1.092	1 007	0.02735	$2.487 \times 10^{-5}$	$1.963 \times 10^{-5}$	$1.798 \times 10^{-5}$	0.7228
60	1.059	1 007	0.02808	$2.632 \times 10^{-5}$	$2.008 \times 10^{-5}$	$1.896 \times 10^{-5}$	0.7202
70	1.028	1 007	0.02881	$2.780 \times 10^{-5}$	$2.052 \times 10^{-5}$	$1.995 \times 10^{-5}$	0.7177
80	0.9994	1 008	0.02953	$2.931 \times 10^{-5}$	$2.096 \times 10^{-5}$	$2.097 \times 10^{-5}$	0.7154
90	0.9718	1 008	0.03024	$3.086 \times 10^{-5}$	$2.139 \times 10^{-5}$	$2.201 \times 10^{-5}$	0.7132

**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2007)

Para los cálculos se tuvieron en cuenta los siguientes parámetros:

$$k = 0.02881 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\text{Pr} = 0.7177$$

$$\nu = 1.995 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

En primer lugar, se determina el coeficiente de expansión volumétrica

$$\beta = \frac{1}{T_f}$$

$$\beta = \frac{1}{(T_{pro} + 273k)}$$

$$\beta = \frac{1}{(70 + 273k)}$$

$$\beta = 0.0029154 \text{ k}^{-1}$$

Luego, se calcula el número de Rayleigh, por método de convección natural, es decir que el aire de los alrededores no tiene velocidad, aplicando la ecuación (2-4) del capítulo 2.

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu^2} pr$$

$$Ra_L = \frac{(9.81 \text{ m/s}^2)(0.0029154 \text{ K}^{-1})(383 \text{ K} - 303 \text{ K})(0.10 \text{ m})^3}{(1.995 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s})^2} (0.7177)$$

$$Ra_L = 4.126 \times 10^6$$

El paso siguiente, es buscar una correlación para el numero de Nusselt que se ajuste al requerimiento. De la tabla 9-21, como se ilustra en la Nusselt. **Figura 2-3**, del capítulo 2, validar el intervalo de  $Ra_L$  ( $10^6$ ), usar la ecuación (9-21) para pared plana, la cual es más precisa.

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + (0.492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 (4.126 \times 10^6)^{1/6}}{\left[ 1 + (0.492/0.7177)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

$$Nu = 24.371$$

Se despeja de la ecuación del Coeficiente de convección

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

$$h = \frac{k}{L} Nu$$

$$h = \frac{0.02881 \text{ W/m} \cdot \text{K}}{0.10 \text{ m}} (24.371)$$

$$h = 7.02 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

el área de la placa es:

$$A = 0.035 \text{ m}^2$$

Se Calcula la transferencia de calor a partir de la ecuación (2-1), del capítulo 2.

$$\dot{Q} = hA_s(T_s - T_\infty)$$

$$\dot{Q} = 7.02 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 0.035 \text{ m}^2 (110 \text{ } ^\circ\text{C} - 30 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$\dot{Q} = 19.656 \text{ W}$$

Se procede a Calcular la resistencia de convección, con la ecuación (2-3), del capítulo 2.

$$R_{conv} = \frac{1}{(7.02 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C})(0.0735 \text{ m}^2)}$$

$$R_{conv} = 1.937 \text{ }^\circ\text{C/W}$$

Se despeja la  $T_2$  de la fórmula de la transferencia de calor, ver ecuación (2-2), del capítulo 2.

$$\dot{Q} = \frac{(T_1 - T_2)}{R_{conv}}$$

$$T_2 = T_1 - (\dot{Q} \times R_{conv})$$

$$T_2 = 110 \text{ }^\circ\text{C} - (19.656 \text{ W} \times 1.937 \text{ }^\circ\text{C/W})$$

$$T_2 = 71.92 \text{ }^\circ\text{C}$$

Obteniendo la temperatura para la pared B, se procede a hallar la resistencia total para el diseño de la pared, con la temperatura calculada correspondiente a 71.92 °C, determinamos el tipo de material aislante a usar.

Para la selección se analizan materiales de la tabla A-6, como se ilustra en la **Figura 6-8**. La cual recomienda materiales como: lana de fibra de vidrio y poliuretano expandido, los cuales son empleados en la industria como aislantes térmicos debido a su baja conductividad térmica.



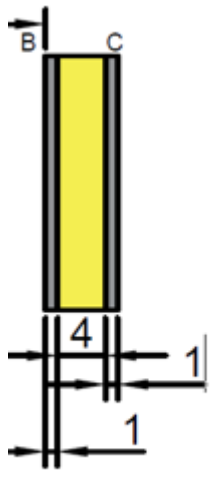
**Figura 6-8:** Propiedades de materiales aislantes

<b>TABLA A-6</b>					
Propiedades de materiales aislantes (a una temperatura media de 24°C)					
Material	Espesor, <i>L</i> mm	Densidad, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Conductividad tmica, <i>k</i> W/m · K	Calor específico, <i>c<sub>p</sub></i> kJ/kg · K	Valor <i>R</i> (para los espesores de la lista, <i>Lk</i> ), K · m <sup>2</sup> /W
<b>Colcha y lámina</b>					
Fibra mineral (forma fibrosa procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	50 a 70 mm 75 a 90 mm 135 a 165 mm	4.8-32 4.8-32 4.8-32	— — —	0.71-0.96 0.71-0.96 0.71-0.96	1.23 1.94 3.32
<b>Tablero y losa</b>					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
<b>Poliuretano expandido (R-11 expandido)</b>		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
<b>Rociado o formado en el sitio</b>					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
<b>Relleno flojo</b>					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm ~165 a 222 mm ~191 a 254 mm ~185 mm	9.6-32 9.6-32 — —	— — — —	0.71 0.71 0.71 0.71	1.94 3.35 3.87 5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—

**Fuente:** (Cengel & Ghajar, 2007)

### **Poliuretano expandido.**

Es uno de mejores aislantes tmicos disponibles de bajo costo en el mercado, gracias a características como: su baja permeabilidad, su bajo coeficiente de conductividad tmica, ductilidad, resistencia mecánica alta y además es un excelente aislante debido a que las celdas que forman la espuma están dispersas en la masa polimérica y son independientes y completamente cerradas a diferencia de otros materiales, lo hace ideal para el diseño. Dicho compuesto estará entre la pared B y C, como se ilustra en la **Figura 6-9**.

**Figura 6-9:** Pared B-C

**Fuente:** Elaboración propia

Datos pared B-C

**Tabla 6-2:** Pared B-C

VARIABLE	VALOR
altura	21 cm
ancho	35 cm
L (Espesor acero inox B-C mm)	0.92 mm
L (Espesor poliuretano)	4 mm
Temperatura superficie $T_i$	71.92 °C
K acero inox	15.6 $W/m^{\circ}C$
K poliuretano expandido	0.023 $W/m^{\circ}C$

**Fuente:** Elaboración propia

Se calcula la resistencia total

$$R_{total} = R_{inox} + R_{aislante} + R_{inox}$$

$$R_{total} = \frac{L}{k_1 A} + \frac{L}{k_2 A} + \frac{L}{k_1 A}$$

$$R_{total} = \frac{(9.2 \times 10^{-4} \text{ m})}{(15.6 \text{ W/m } ^\circ\text{C})(0.0735 \text{ m}^2)} + \frac{(0.004 \text{ m})}{(0.023 \text{ W/m } ^\circ\text{C})(0.0735 \text{ m}^2)} + \frac{(9.2 \times 10^{-4} \text{ m})}{(15.6 \text{ W/m } ^\circ\text{C})(0.0735 \text{ m}^2)}$$

$$R_{total} = 8,023 * 10^{-04} + 2,366 + 8,023 * 10^{-04}$$

$$R_{total} = 2.367 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Se despeja la  $T_s$  de la fórmula de la transferencia de calor, ver ecuación (2-2), del capítulo 2.

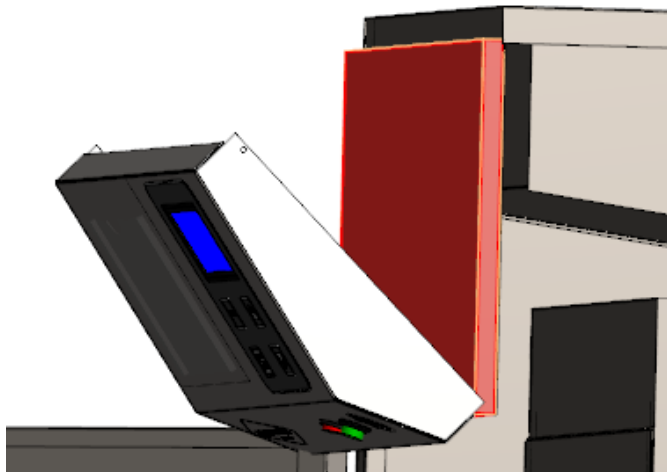
$$\dot{Q} = \frac{(T_2 - T_s)}{R_{conv}}$$

$$T_s = T_1 - (\dot{Q} \times R_{total})$$

$$T_s = 71.92 \text{ } ^\circ\text{C} - (19.656 \text{ W} \times 2.367 \text{ } ^\circ\text{C/W})$$

$$T_s = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Con base al cálculo realizado se diseña una pared, como se ilustra en la **Figura 6-10**, la cual aislara los componentes del control electrónico.

**Figura 6-10:** Diseño pared aislante control electrónico

**Fuente:** Elaboración propia

## 6.2.2 Cálculo del transformador

Antes de realizar el cálculo del transformador, seleccionamos el tipo de conductor para la etapa de alimentación, con lo cual se sabe que a partir de la NTC 2050, los calibres de todos los cables deben ser en el sistema americano (AWG y kcmil). La selección de un sistema u otro depende de especificaciones preestablecidas o de preferencia particular del usuario. En Colombia, la Norma de Instalaciones Eléctricas NTC 2050 establece el sistema americano en AWG y kcmil, como se ilustra en **Figura 6-11**.

**Figura 6-11:** Calibre cables

**Tabla 310-16** Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2 000 V nominales y 60 °C a 90 °C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30 °C.

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver <a href="#">Tabla 310-13</a> )						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	TIPOS TW*, UF*	TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*.MI,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW*, UF*	TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*	TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm <sup>2</sup>	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1

**Fuente:** (de Minas, M)

En la selección de conductor de alimentación general, se tomó con base a la corriente nominal del prototipo, incluido el transformador reductor de tensión.

Por lo que se selecciona un cable flexible CENTELSA, los cuales son usados generalmente para conectar equipos y aparatos móviles, gracias a esto puede soportar vibraciones o movimientos que se presenten. **Ver anexo D.**

**Tabla 6-3:** Cuadro de carga

CARGA	CORRIENTE (A)	PORTENCIA (W)	CALIBRE AWG	TENSION
<b>Control</b>	1	12	22	12 DC
<b>Válvulas gas</b>	0.4	9.6	22	24 DC
<b>Modulo chispa</b>	0.4	48	22	120 AC
<b>TOTAL</b>		69.6	18	120 AC

**Fuente:** Elaboración propia

Cálculo de corriente para el cable de alimentación monofásico, ver ecuación (6-1).

Con una potencia instalada de 70 watt, a una tensión de 120 voltios y con una longitud del conductor de 1.5 metros.

$$I = \frac{p}{v} \quad (6-1)$$

$$I = \frac{70 \text{ w}}{120 \text{ v}}$$

$$I = 0.6 \text{ amp}$$

Con la corriente de consumo, se selecciona el calibre del conductor de alimentación, como se ilustra en la **Figura 6-12.**

Figura 6-12: AWG Cable Encauchetado

1. Conductor		Número de Conductores	Diámetro del Núcleo	Diámetro Exterior	Peso Total Aproximado	Resistencia DC a 20°C	Capacidad de Corriente (A)	
Calibre	Diámetro						(*)	(**)
AWG	mm	No	mm	mm	kg/km	Ohm/Km		
18	1,17	2	2,34	6,66	62	21,42	10	7
		3	2,62	7,06	74			
		4	2,82	7,71	90			
16	1,48	2	2,96	7,28	79	13,45	13	10
		3	3,18	7,72	96			
		4	3,57	8,46	117			
14	1,89	2	3,78	8,10	105	8,44	25	20
		3	4,07	8,80	130			
		4	4,56	9,45	160			
12	2,38	2	4,76	9,08	142	5,31	30	24
		3	5,13	9,86	178			
		4	5,75	11,41	241			

Fuente: (Centelsa, 2021)

Una vez seleccionado el cable de conducción se realiza el cálculo del transformador. Para ello es necesario tener en cuenta que, para la activación de las válvulas de gas seleccionadas, se requiere una tensión de 24 voltios DC, por lo cual se diseña un transformador reductor de tensión.

Tabla 6-4: Datos transformador

Parámetro	Valor
Tipo de transformador	reductor
Tensión entrada	110 V
Tensión salida	24 V
Corriente	2 amp

Fuente: elaboración propia

- Elección del núcleo

Tensión 24 V, corriente 2 A

$$Potencia\ real = V \times A$$

$$Potencia\ real = 24\ V \times 2\ A$$

$$Potencia\ real = 48\ W$$

Sección del núcleo

$$Seccion\ [cm^2] = \sqrt{potencia\ pico}$$

$$Seccion\ [cm^2] = \sqrt{P[W] \times \sqrt{2}}$$

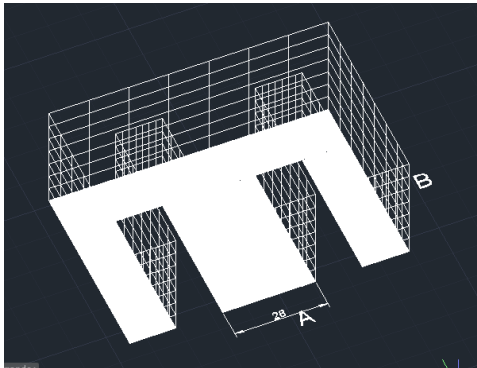
$$Seccion\ [cm^2] = \sqrt{48\ W \times 1.4142}$$

$$Seccion\ [cm^2] = \sqrt{67.88}$$

$$Seccion\ [cm^2] = 8.24\ cm^2$$

Teniendo la sección calculada, se determina una sección comercial para el transformador. cómo se ilustra en **Figura 6-13**.

**Figura 6-13:** Sección comercial para la chapa



**Fuente:** Elaboración propia

Medidas comerciales de chapa

**A= 2.8 cm**

**B= 3.5 cm**

- Sección comercial

$$S_{comercial} = A \times B$$

$$S_{comercial} = 2.8 \text{ cm} \times 3.5 \text{ cm}$$

$$S_{comercial} = 2.8 \text{ cm} \times 3.5 \text{ cm}$$

$$S_{comercial} = 9.8 \text{ cm}^2$$

- Potencia real

$$Potencia_{RMS} = \frac{(S_{comercial})^2}{\sqrt{2}}$$

$$Potencia_{RMS} = \frac{(9.8 \text{ cm}^2)^2}{\sqrt{2}}$$

$$Potencia_{RMS} = 68 \text{ W}$$

- Numero de espiras de cada bobinado

$$N = \frac{V}{F \times S \times B \times 4.44 \times 10^{-8}}$$

N= número de espiras del bobinado

V= tensión del bobinado [V]

F= frecuencia de la red eléctrica [Hz]

B= inducción magnética del núcleo [Gauss] (puede variar entre 8000 y 14000 Gauss)

Si se desconoce adoptar un valor B = 10000 Gs

4.44= factor de forma de una onda senoidal

$10^{-8}$ = constante para que todo el sistema sea en m, ks (metro, kilometro y segundo)

- Bobinado primario



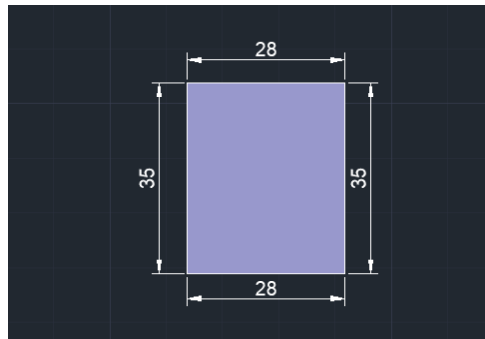
$$N = \frac{120 V}{60 \text{ Hz} \times 9.8 \text{ cm}^2 \times 10000 \text{ Gs} \times 4.44 \times 10^{-8}}$$

$$N = \frac{120 V}{0.261072}$$

$$N = 460 \text{ vueltas}$$

Con el número de vueltas  $N=460$ , se calcula el número de vueltas en metros. Para lo cual lo primero que se hace, es hallar el perímetro del núcleo, como se ilustra en la **Figura 6-14**.

**Figura 6-14:** Perímetro de núcleo



**Fuente:** Elaboración propia

Perímetro:  $2.8 + 3.5 + 2.5 + 3.5 = 12.6 \text{ cm}$

$$460 \text{ vueltas} \times 12.6 \text{ cm} = 5796 \text{ cm}$$

$$5796 \text{ cm} * \frac{1 \text{ mtr}}{100 \text{ cm}} = 58 \text{ m}$$

- Bobinado secundario

$$N = \frac{24 V}{60 \text{ Hz} \times 9.8 \text{ cm}^2 \times 10000 \text{ Gs} \times 4.44 \times 10^{-8}}$$

$$N = \frac{24 V}{0.261072}$$

$$N = 92 \text{ vueltas}$$

Para calcular el número de vueltas equivalente en metros, se debe multiplicar el número de vueltas por el perímetro del núcleo, tanto en el bobinado primario como el secundario.

$$92 \text{ vueltas} \times 12.6 \text{ cm} = 1159 \text{ cm}$$

$$1159 \text{ cm} * \frac{1 \text{ mtr}}{100 \text{ cm}} = 11.6 \text{ m}$$

Para hallar el Calibre del alambre necesario en cada bobinado, se tiene en cuenta las siguientes características:

- El grosor del alambre depende de la corriente
- El alambre tiene una densidad máxima dada su resistividad

De la **Tabla 6-5**, se selecciona la densidad máxima del alambre tomando la potencia requerida.

**Tabla 6-5:** Densidad máxima del alambre

Potencia [W]	Densidad máxima [ $A/mm^2$ ]
Hasta 50	4
50 – 100	3.5
100 – 200	3
200 – 400	2.5

**Fuente:** Elaboración propia

La sección del alambre se puede calcular como:

$$S = \frac{I}{D} \text{ donde} \quad (6-2)$$

S = sección [ $mm^2$ ]

I = intensidad de corriente [A]

D = densidad [ $A/mm^2$ ]

- Corriente bobinado primario

$$I = P/V$$

$$I = 48 \text{ W} / 120 \text{ V}$$

$$I = 0.4 \text{ A}$$

Con la ecuación **(6-2)**, se determina la sección.

$$S = \frac{0.4 \text{ A}}{3.5 \text{ A/mm}^2}$$

$$S = 0.11 \text{ mm}^2$$

- Corriente bobinado secundario

$$I = P/V$$

$$I = 48 \text{ W} / 24 \text{ V}$$

$$I = 2 \text{ A}$$

Con la ecuación **(6-2)**, se determina la sección del alambre.

$$S = \frac{2 \text{ A}}{3.5 \text{ A/mm}^2}$$

$$S = 0.57 \text{ mm}^2$$

- Sección normalizada del conductor, como se ilustra en la **Figura 6-15**.

Figura 6-15: Tabla AWG, alambre esmaltado de cobre

Cobre												
Calibre	Alambre Desnudo Cobre		Capa Sencilla <sup>(1)</sup>			Capa Doble			Máxima Tensión de Embobinado <sup>(2)</sup>	Resistencia D.C. a 20°C	Capacidad de Corriente <sup>(3)</sup> (A)	
	Diámetro Nominal	Peso Total Aprox.	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada	Mínimo Incremento	Máximo Diámetro	Longitud Aproximada			155°C	200°C
AWG	mm	kg/km	mm	mm	m/kg	mm	mm	m/kg	kg-f	Ohm/km	155°C	200°C
6	4,115	118,23	-	-	-	0,091	4,244	8,4	79,5	1,296	87	131
7	3,665	93,79	-	-	-	0,089	3,787	10,6	63,1	1,634	69	104
8	3,264	74,39	-	-	-	0,089	3,383	13,3	50,0	2,060	55	83
9	2,906	58,96	-	-	-	0,086	3,023	16,8	39,7	2,599	44	65
10	2,588	46,76	-	-	-	0,086	2,703	21,2	31,5	3,278	35	52
11	2,304	37,06	-	-	-	0,084	2,416	26,7	24,9	4,135	27	41
12	2,052	29,40	-	-	-	0,081	2,159	33,6	19,8	5,213	22	33
13	1,829	23,36	-	-	-	0,081	1,935	42,2	15,7	6,562	17	26
14	1,628	18,51	0,041	1,692	53,5	0,081	1,732	53,1	12,4	8,283	14	21
15	1,450	14,68	0,038	1,509	67,4	0,076	1,549	66,9	9,87	10,44	11	16
16	1,290	11,62	0,036	1,349	85,1	0,074	1,384	84,4	7,82	13,19	8,6	13
17	1,151	9,25	0,036	1,207	106,9	0,071	1,240	105,9	6,22	16,57	6,8	10
18	1,024	7,32	0,033	1,077	135,0	0,066	1,110	133,7	4,92	20,93	5,4	8,1
19	0,912	5,81	0,030	0,963	170,0	0,064	0,993	168,2	3,91	26,39	4,3	6,4
20	0,813	4,62	0,030	0,864	213,7	0,061	0,892	211,3	3,10	33,21	3,4	5,1
21	0,724	3,66	0,028	0,770	269,2	0,056	0,800	266,0	2,46	41,88	2,7	4,1
22	0,643	2,89	0,028	0,686	341,1	0,053	0,714	336,7	1,94	53,09	2,1	3,2
23	0,574	2,30	0,025	0,617	427,0	0,051	0,643	421,1	1,55	66,63	1,7	2,6
24	0,511	1,82	0,025	0,551	538,8	0,048	0,577	531,1	1,23	84,07	1,3	2,0
25	0,455	1,445	0,023	0,493	678,9	0,046	0,516	668,4	0,972	106,0	1,07	1,6
26	0,404	1,140	0,023	0,439	859,1	0,043	0,462	844,6	0,767	134,5	0,84	1,26
27	0,361	0,910	0,020	0,396	1076	0,041	0,419	1057	0,612	168,4	0,67	1,01
28	0,320	0,7150	0,020	0,356	1362	0,041	0,373	1337	0,481	214,4	0,53	0,79
29	0,287	0,5751	0,018	0,320	1695	0,038	0,338	1658	0,387	266,5	0,43	0,64
30	0,254	0,4505	0,018	0,284	2160	0,033	0,302	2110	0,303	340,3	0,33	0,50
31	0,226	0,3566	0,015	0,254	2725	0,030	0,274	2653	0,240	429,8	0,26	0,40
32	0,203	0,2877	0,015	0,231	3367	0,028	0,249	3279	0,194	532,7	0,21	0,32

Fuente: (Centelsa, 2021)

Primario → AWG # 28 →  $0.32 \text{ mm}^2$  → 0.53 ASecundario → AWG # 22 →  $0.64 \text{ mm}^2$  → 2.1 A

Con los cálculos realizados se fabrica un transformador, como se ilustra en la **Figura 6-16**, de tal manera que cumpla con los requerimientos.

**Figura 6-16:** Transformador 110V - 24 V



**Fuente:** Elaboración propia

### 6.2.3 Diagrama del circuito eléctrico

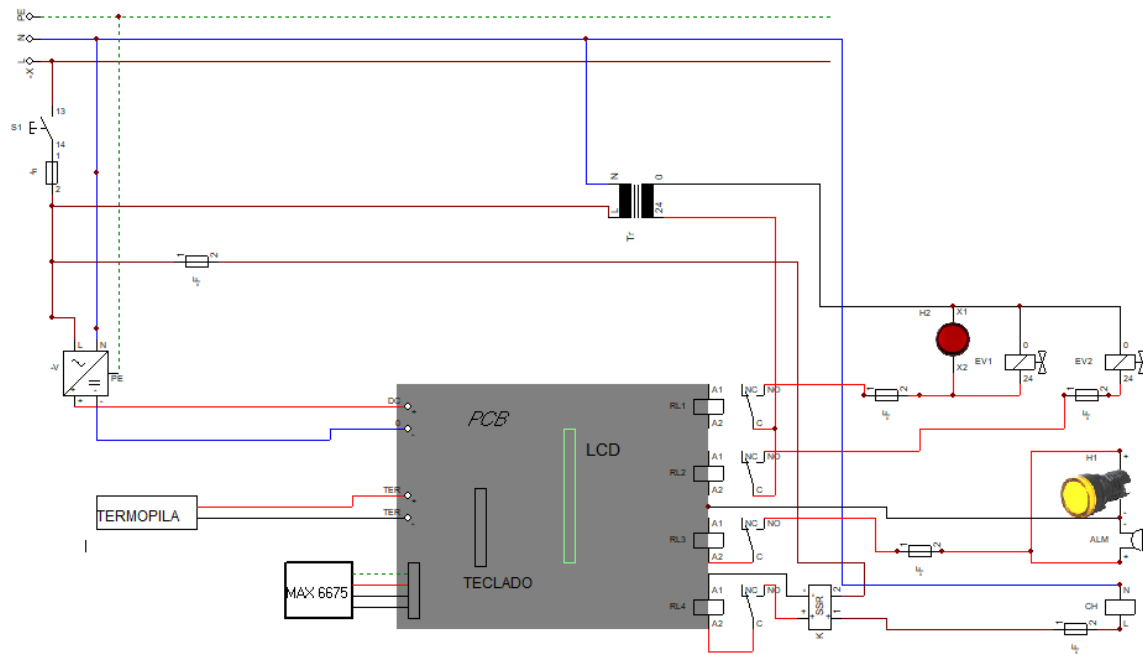
El diseño eléctrico se llevó a cabo utilizando el software Cade\_Simu, el cual es un programa que permite elaborar, esquemas de mando y potencia, como se ilustra en la **Figura 6-17**. El software es CAD, que permite hacer uso de los múltiples símbolos, de acuerdo con la librería, trazando esquemas eléctricos y ejecutando simulaciones. Los componentes empleados en el prototipo con base a la NTC 20502.

El prototipo es alimentado por una tensión de 110V ac, la PCB es alimenta por una fuente de voltaje switchada a 12vdc, y cuenta con un transformador reductor de tensión 110v – 24v para la activación de las válvulas a gas, el sistema cuenta con dos alarmas (buzzer y piloto), que indican la culminación del proceso de fritura.

---

<sup>2</sup> Norma Técnica Colombiana NTC 2050 “código eléctrico colombiano”.

**Figura 6-17:** Plano eléctrico prototipo FT-50 G



**Fuente:** Elaboración propia

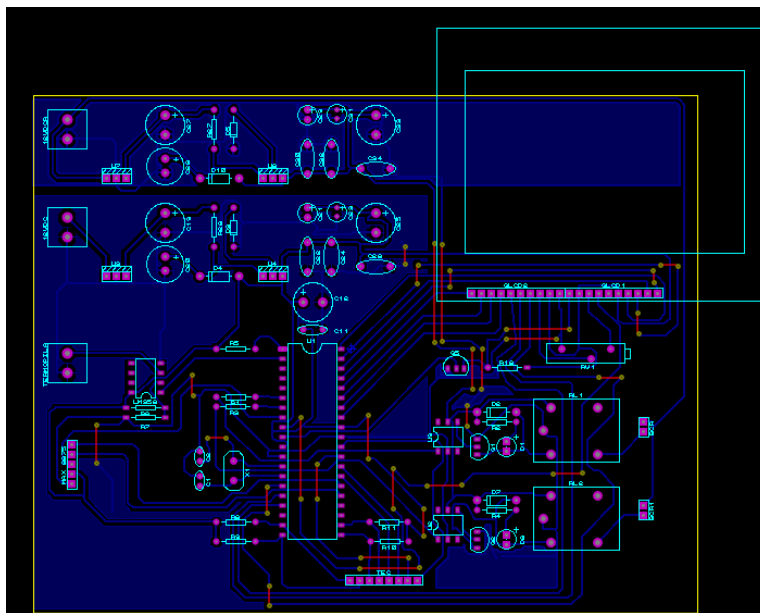
**Tabla 6-6:** Descripción de componentes

<b>COMPONENTE</b>	<b>DESCRIPCION</b>
L	Fase
N	Neutro
PE	Polo a tierra
S1	Interruptor encendido
F	Fusible
V	Fuente alimentación 110vac - 12vdc
Tr	Transformador de voltaje 110v – 24v
RL1	Relé válvula gas quemador
RL2	Relé válvula gas piloto
RL3	Relé alarma
RL4	Relé chispero
H1	Piloto ámbar 12v
H2	Piloto rojo 12v
Ev1	Válvula para gas quemadores 24v
Ev2	Válvula para gas piloto 24v
ALM	Alarma tipo buzzer 12v
CH	Chispero 110v
K	Relé estado solido

**Fuente:** Elaboración propia

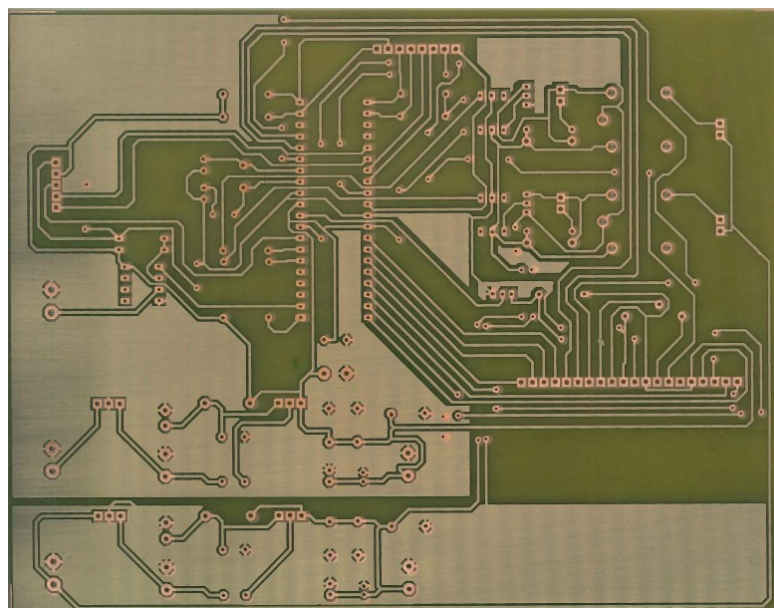
Para el diseño de la PCB, se emplea la herramienta Ares del software Proteus (Labcenter, s.f.), logrando el diseño como se ilustra en la **Figura 6-18**, y un impreso en lamina FR2 con antisolder, como se ilustra en la **Figura 6-19**.

**Figura 6-18:** Diseño preliminar PCB



**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 6-19:** Impreso PCB



**Fuente:** Elaboración propia

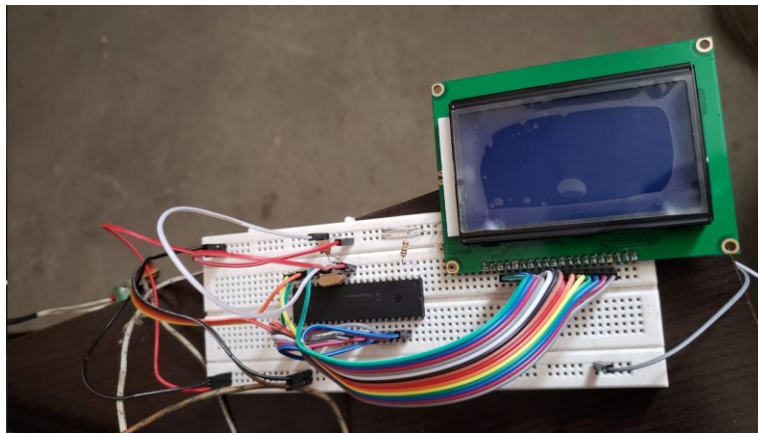
## Capítulo 7.

### 7. Validación del sistema

En esta sección se describe el proceso de implementación y validación del prototipo del freidor FT-50 G. Inicialmente, se realizó el montaje en una protoboard, de la simulación realizada en Proteus (Labcenter, s.f.), validando el funcionamiento del microcontrolador y la pantalla como se ilustra en las **Figura 7-1** **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **Figura 7-2**. El montaje de los componentes previamente seleccionados, donde los principales se presenta **ver anexo A**, acoplándolos en la PCB diseñada en el capítulo 6.

Luego se ejecutó la fabricación de componentes metalmecánicos y el ensamble de los componentes: eléctricos y electrónicos. Finalmente se llevó a cabo la calibración de la temperatura, logrando ejecutar las pruebas de funcionamiento dando respuesta a los objetivos trazados en el inicio de este proyecto.

**Figura 7-1:** Prueba microcontrolador en Protoboard



**Fuente:** Elaboración propia



**Figura 7-2:** Prueba LCD grafica



**Fuente:** Elaboración propia

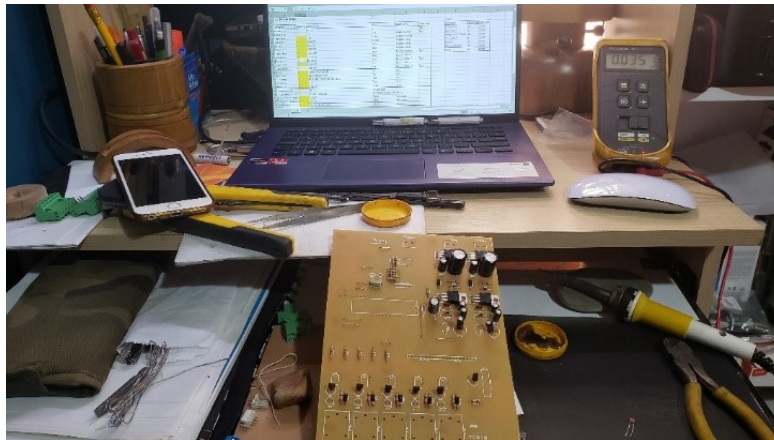
El ensamble de los componentes del control de tiempo y temperatura para el freidor FT-50 G, se hace de manera manual como se ilustra en las **Figura 7-3** y **Figura 7-4**, con la ayuda de la herramienta Isis de Proteus (Labcenter, s.f.).

**Figura 7-3:** Ensamble componentes electrónicos



**Fuente:** Elaboración propia

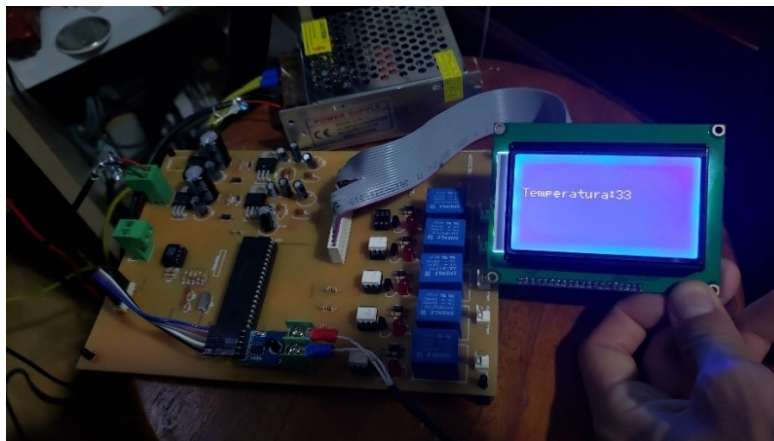
**Figura 7-4:** Ensamble componentes



**Fuente:** Elaboración propia

Como resultado del ensamble de componentes previamente seleccionados y calculados, se realizan las respectivas pruebas de funcionamiento, energizando la PCB como se ilustra en la **Figura 7-5**, de esta manera poder validar el programa diseñado para el control.

**Figura 7-5:** Pruebas de funcionamiento control



**Fuente:** Elaboración Propia

En el ensamble de los componentes estructurales y fabricación del alojamiento térmico del freidor FT-50 G, se utiliza acero inoxidable tipo 304 como se ilustra en la **Figura 7-6** y **Figura 7-7**, regidos a los diseños y dimensiones preliminares del prototipo.

**Figura 7-6:** Ensamble metalmecánico



**Fuente:** Elaboración propia

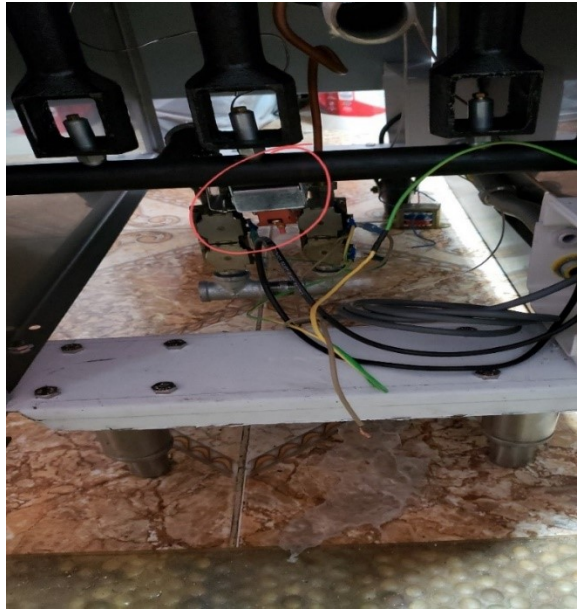
**Figura 7-7:** Fabricación de alojamiento térmico



**Fuente:** Elaboración propia

El prototipo cuenta con un sistema de seguridad como se ilustra en la **Figura 7-8**, encargado de la apertura eléctrica del equipo en caso de una falla del control principal.

**Figura 7-8:** Instalación termostato limite



**Fuente:** Elaboración propia

En la **Figura 7-9**, se ilustra el montaje de las dos electroválvulas, encargadas de contralar tanto el paso de gas al piloto y quemadores respectivamente, dichas válvulas cuentan con un sistema de seguridad de doble bobina y embolo.

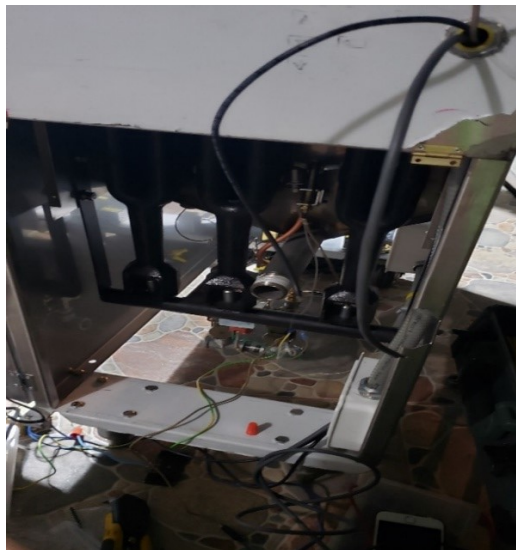
**Figura 7-9:** Ensamble electroválvulas para gas



**Fuente:** Elaboración propia

El sistema eléctrico se ejecuta con base al plano, como se ilustra en la **Figura 6-17**, del capítulo 6, seleccionando componentes dieléctricos como lo son las cajas de paso y corazas protectoras del cableado como se ilustra en la **Figura 7-10** **Figura 7-11** **Figura 7-10**.

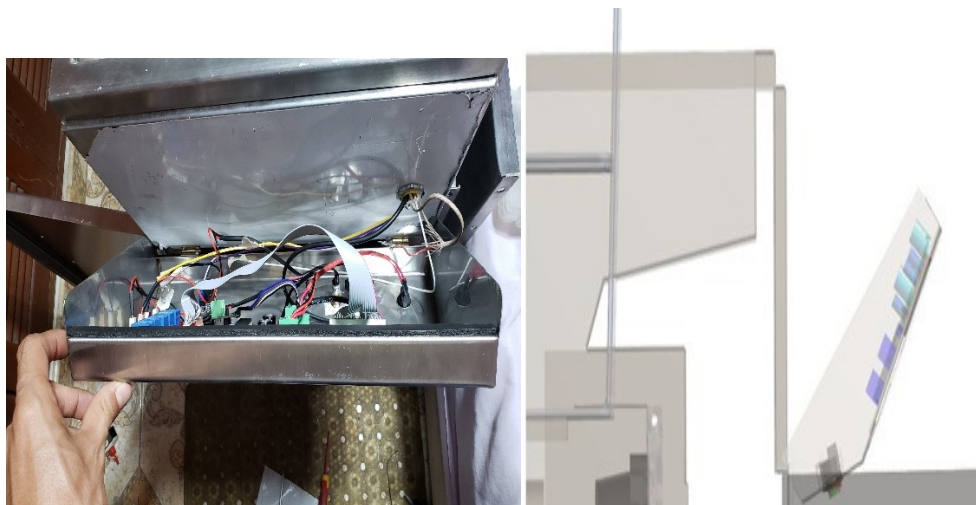
**Figura 7-10:** Ensamble cableado eléctrico



**Fuente:** Elaboración propia

El ensamble de la PCB, se logra desarrollar con base a los parámetros de diseño establecidos en el capítulo 4, sección 0, como se ilustra en la **Figura 7-11**.

**Figura 7-11:** Alojamiento PCB

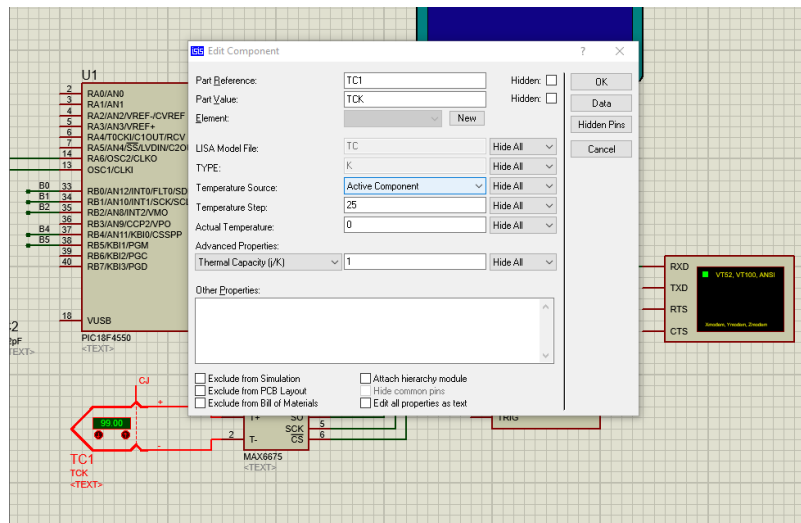


**Fuente:** Elaboración propia

## 7.1 Calibración temperatura

En la validación del control de temperatura, se identificó un desfase de temperatura registrada por el sensor, por lo cual se lleva a cabo una regresión lineal para la calibración del Max 6675, la cual se ejecuta en Proteus (Labcenter, s.f.) cómo se ilustra en la **Figura 7-12**.

**Figura 7-12:** Configuración Max 6675

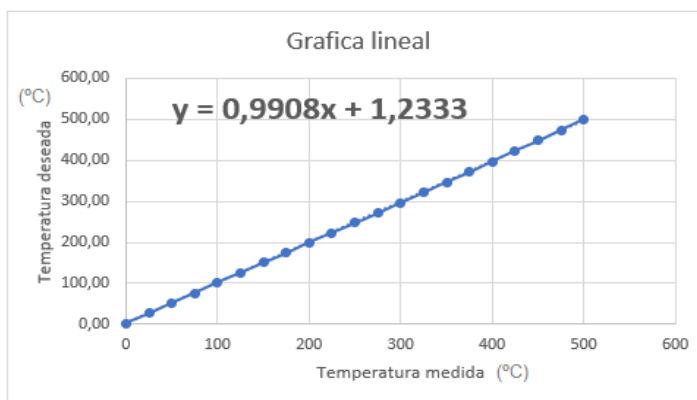


**Fuente:** Elaboración propia

Realizando la regresión lineal, se obtiene una ecuación lineal, como se ilustra en la **Figura 7-13**. de tal modo que en el código se ejecuta en la parte flotante la ecuación. Luego de programar el código en el PIC, queda corregida la temperatura registrada por el sensor.

**Figura 7-13:** Regresion lineal

Temp deseada	Temp medida
0	2,47
25	26,71
50	51,45
75	76,19
100	101,41
125	126,16
150	150,40
175	174,65
200	198,40
225	222,64
250	246,89
275	271,62
300	296,36
325	321,60
350	346,83
375	372,06
400	397,29
425	422,53
450	448,26
475	473,98
500,00	499,71



**Fuente:** Elaboración propia

## 7.2 Pruebas de funcionamiento

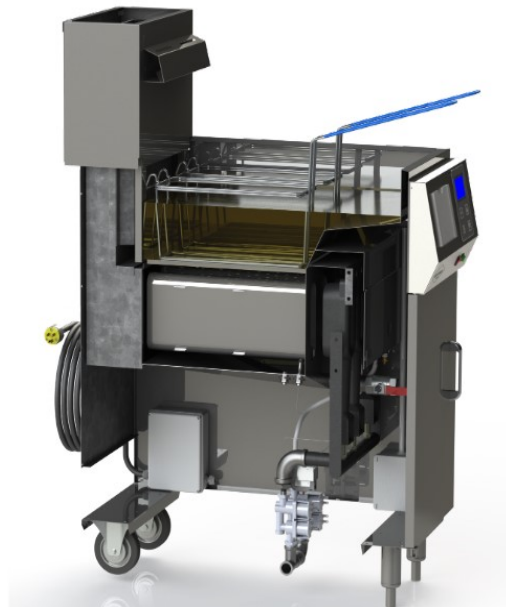
En esta sección se valida el funcionamiento del prototipo finalizado, como se ilustra en la

**Figura 7-14**, ejecutando pruebas a sus sistema tanto eléctrico, electrónico y mecánico, Verificando los requerimientos establecidos en el desarrollo del prototipo.

Para lo cual se instala al equipo un suministro de gas propano, de tal modo que permita ejecutar la etapa de encendió, siendo necesario realizar ajustes al tiempo de apertura de la válvula de gas y de chispa del piloto. Así logrando un encendió sin fallas en 6 segundos, en 50 ciclos.

Posterior se procede a ejecutar los ciclos de operación, verificando el correcto funcionamiento y la respuesta de los actuadores al panel de control, de igual manera comprobando la temperatura de referencia con la temperatura medida en el aceite. Logrando con éxito culminar los procesos de cocción.

**Figura 7-14:** Prototipo funcional



**Fuente:** Elaboración propia



## Conclusiones y recomendaciones

Se llevo a cabo el diseño e implementación de un prototipo funcional de control de temperatura y automatización del mecanismo de encendido para el freidor industrial a gas FT-50, marca TORNADO de la empresa Pallomaro S.A. En particular.

- Se realizó un diagnóstico de las opciones de automatización del modelo existente del freidor FT-50 G, a partir de la realización de una serie de encuestas aplicadas a un personal técnico, así como a usuarios finales.
- Se diseñó y simuló un sistema de control para la regulación de temperatura, y automatización del tiempo de encendido del piloto, de un freidor FT-50 G.
- Se construyo un prototipo para el sistema de control automatizado para el freidor industrial a gas FT-50 G.
- Se diseñó y calculó el aislamiento térmico para el sistema de control del freidor a FT-50 G.
- Se diseñó y construyo un prototipo de la freidora industrial a gas FT-50 G, cuyo proceso de producción no supere el 12% del costo para una freidora manual.

La validación experimental del prototipo permite notar mejoras considerables en el rendimiento, ya que permite tener una manipulación simple y segura del freidor, tanto por parte del usuario, como del personal técnico, con un costo de producción que no supera el 12 % del costo del modelo actual, logrando cumplir con los objetivos planteados.

El precio de venta del prototipo está por debajo en un treinta por ciento al de un equipo de similares características, logrando obtener así un margen del 50%.

## Recomendaciones

- Instalar conectores electrónicos debidamente marcados, en la LCD gráfica con el fin de evitar daños en la misma.
- Realizar el cambio de la válvula usada en el drenaje del modelo actual FT-50G, ya que no cumple con la normatividad, siendo esta para uso hídrico.
- se podrá hacer uso de una electroválvula para el drenado del aceite, y acoplarla a la tarjeta de control del prototipo.

## A. Anexo: componentes

En esta sección se detalla los componentes electrónicos seleccionados y calculados para la implementación del controlador.

Componente	Denominación	Característica
	Relé 12v 10A JQC	Relevo mecánico. Tiene un voltaje nominal de 12 VDC y una sensibilidad en la bobina de 0,8 W. Dependiendo del voltaje de operación en el circuito de salida maneja máximo 10 Amperios
	Relé De Estado Sólido G3MB-202P 5V 2 A	interruptor electromagnético, que tiene una ventaja importante ya que no hay deterioro en los componentes internos, al no tener elementos mecánicos con los relés electromecánicos
	LCD grafica 128 x 64	Esta pantalla puede mostrar tanto gráficos como texto permitiendo diseñar interfaces hombre-máquina (HMI) de mayor complejidad. Utilizada en impresoras 3d, máquinas CNC, equipos de control y automatización industrial. Muy útil para el manejo de sensores y procesamiento de datos
	PIC 18F4550	El microcontrolador cuenta con 40 pines y cumple con los requerimientos de diseño del programa además de su bajo costo, dimensiones y su amplia capacidad de memoria ROM, nos permite tener un programa extenso. Gracias a su función USB, da la opción de realizar una actualización a futuro.
	Modulo conversor Max6675	Este circuito permite convertir la señal analógica de temperatura en una señal digital y se envía al microcontrolador por medio de la comunicación SPI, para termopares tipo K
	Termopila 1950-548	Ideal para aplicaciones a gas, para detectar la existencia de una llama con fines de seguridad para que cierren el posible flujo de gas que llegue al quemador. Una termopila es un dispositivo formado por muchas termocuplas para aumentar la salida de milivoltios
	Termopar tipo K	El termopar tipo K, tiene un conductor positivo de níquel-cromo y un conductor negativo de níquel-aluminio. Intervalo de temperatura: 0 °C a +400 °C, Diámetro del sensor: 4.5 mm.
	Teclado membrana	Teclado con tecnología de membrana resistiva, el cual es una excelente alternativa por su retroalimentación táctil, personalización gráfica y bajo costo, la estructura de los teclados de membrana está compuesta por una película de poliéster y adhesivos de doble cara que garantizan el ensamblaje, así como la resistencia a la intemperie, la humedad y el calor
	lamina FR2, unifaz 1.6mm	La lámina FR2 o fenólica, es un material compuesto básicamente de papel impregnado con resina fenólica retardante de llama. Si bien no existen reglas específicas, este material se utiliza generalmente en productos de producción masiva dado que presenta una buena relación entre sus propiedades físico/eléctricas y su precio

## B. Anexo: Ficha técnica acero inoxidable 304.

### FICHA TECNICA DEL PRODUCTO

### ACERO INOXIDABLE 304



#### DESCRIPCIÓN

TKM 304, con su contenido de cromo-níquel y bajo carbono, es el más versátil y ampliamente usado de los aceros inoxidables austeníticos. Generalmente conocido como 18-8, esta aleación ofrece una resistencia a la corrosión superior a las de los tipos 301 y 201.

El tipo 304 tiene excelentes características de embutido y formado, las cuáles permiten un mayor embutido profundo que los tipos 301 y 201 sin necesidad de un tratamiento de térmico intermedio. El tipo 304 es dominante en la producción de componentes de aceros inoxidables embutidos. Con un nivel mas bajo de carbono que el tipo 302 ó 301, la aleación 304 se desarrolló para minimizar la cantidad de precipitación del carburo de cromo y la tendencia de corrosión intergranular en un rango de temperatura de 800 a 1650 °F (426 a 900 °C). Ya que este gradiente de temperatura ocurre en el área adyacente a la zona afectada térmicamente por la soldadura, el 304 es recomendado para la construcción de soldaduras bajo algunas condiciones corrosivas cuando no es posible un recocido después de la soldadura. Cuando calibres gruesos son requeridos en el soldado, es recomendable que se use el grado de nivel más bajo de carbono, el 304 L.

El tipo 304 no exhibe el punto de cedencia en el alargamiento y por eso no es sujeto al efecto formador de bandas de Lüders, como lo son los ferríticos. Como resultado, esta aleación puede ser usada en condiciones de recocido sin proceso de Skin Pass (molino templador) correspondientes al acabado mate que otorga propiedades óptimas de embutido.

- Alta resistencia a la corrosión
- Excelente formabilidad.
- Facilidad de fabricación
- Facilidad de limpieza
- Buena soldabilidad
- Amplio rango de propiedades mecánicas en condiciones de recocido y trabajado en frío.
- Buena apariencia
- Alta resistencia con bajo peso
- Buena resistencia a temperaturas criogénicas.

#### COMPOSICION QUIMICA, (Porcentaje de peso)

	AISI 304 UNS S30400 ASTM A240	Típico 304 ThyssenKrupp <u>Neoron</u>
Carbono	0,08 <u>max</u>	0,044
Manganeso	2,0 <u>max</u>	1,30
Fósforo	0,045 <u>max</u>	0,028
Sulfuro	0,030 <u>max</u>	0,001
Silicón	0,75 <u>max</u>	0,36
Cromo	18,0 – 20,0	18,12
Níquel	8,0 - 10,5	8,03
Molibdeno	---	0,19
Nitrógeno	0,10 <u>max</u>	0,053
Cobre	---	0,28
Hierro	Balance	Balance

## C. Anexo: Carta autorización empresa Pallomaro



Santiago de Cali, 3 de marzo del 2020

Señores  
Universidad Antonio Nariño  
Faculta de ingeniería electromecánica  
Sede farallones  
Cali

Ref. Aprobación de anteproyecto – Alumno Carlos Iván Valencia

Por medio de la presente me permito informar a la entidad educativa que la empresa Pallomaro S.A autoriza al colaborador Carlos Iván Valencia identificado con cedula N° 1151934757 para realizar el anteproyecto de grado en el periodo académico del primer semestre del 2020.

Posterior a la definición del anteproyecto se revisaran las políticas de confidencialidad de la información que tiene vigente la compañía.

Cordial saludo.

**PALLOMARO S.A.**  
NIT. 890.317.338-2

Juan David León  
Director nacional servicio técnico  
Pallomaro S.A

PALLOMARO S.A. NIT 890.317.338-2. ¡Valoramos la alimentación!  
PALLOMARO S.A. BOGOTÁ, Cra 45 No. 83-86 + PBX: (1) 743 8080 - CALI Cra 4 No. 21-40 + PBX: (2) 495 5511 - CARTAGENA, Manzanal 104 - Centro industrial Bloc Port. Bocagrá, 28 + PBX: (5) 643 0770.  
PEREIRA, Av. 30 de Agosto No. 53-295 + PBX: (6) 280 0666 - MEDELLÍN, Cra. 50th No. 138 5 - 87 + PBX: (4) 604 0666. BUQUILLA, Cra 4th No. 75-01 PBX: (575) 330 6649  
OUTLET BUCARAPANGA, Av. Quetzalcoatl, Secc. No. 24-25 PBX: (575) 697 4799  
info@pallomaro.com - www.pallomaro.com

## D. Anexo: Especificaciones cable Encauchetado

### Cables “Encauchetados” ST-C

**600V 105°C**



#### Construcción

- 1 Dos, tres o cuatro conductores de cobre suave cableado flexible.
- 2 Aislamiento termoplástico retardante a la llama. Conductores aislados cableados entre sí.
- 3 Chaqueta termoplástica, retardante a la llama, resistente a la abrasión, al calor y la humedad. Diseño estriado.

#### Características

Temperatura de operación: En lugares secos, húmedos y mojados 105°C

Tensión de operación: 600V.

La chaqueta estriada ofrece mejores propiedades de flexibilidad, resistencia a la abrasión, tracción, aplastamiento y torsión.

#### Aplicaciones

Los cables ST-C **CENTELSA** son usados como cordón de servicio liviano para conexión de herramientas portátiles y como extensión de electrodomésticos. Instalación abierta, en extensiones portátiles con terminales.

Por ser de uso común puede ser usado como cordón portátil, cable de potencia y cable de control donde no se requiera apantallamiento.

#### Especificaciones

Los cables Encauchetados ST-C **CENTELSA** cumplen con las normas ASTM aplicables, con la NTC 5521 cordones flexibles tipo encauchetados y cables tipo dúplex para instalaciones de electrodomésticos y extensiones, con el Artículo 400 de la NTC 2050 y con la prueba de llama vertical VW-1.

#### Opcionales

Mayor número de conductores, identificación con diferentes códigos de colores.





# Bibliografía

Antonio, C. S. (2010). *Instrumentación industrial* (Octava ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.

Buitrago Pinto, J. L. (2014). *Diseño y Construcción de Prototipo Freidor y Dispensador de Alimentos Precocidos con Control Automático*. Bogotá, Colombia: Tesis Pregrado, Fundación Universitaria Agraria de Colombia. Recuperado el 30 de Abril de 2020, de [https://issuu.com/maosabo/docs/tesis\\_0026](https://issuu.com/maosabo/docs/tesis_0026)

Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2007). *Transferencia de Calor Y Masa* (Cuarta ed.). McGraw-Hill Interamericana. Recuperado el 25 de Abril de 2020

Centelsa. (22 de Marzo de 2021). *Centelsa*. Obtenido de <https://www.centelsa.com>

CI Talsa. (s.f.). *Freidora a gas ci talsa sc30*. Recuperado el 6 de Marzo de 2020, de <https://citalsa.com/freidora-a-gas-ci-talsa-sc30>

Condor Basantes, N. L. (15 de Enero de 2021). *Repositorio.espe.edu.ec*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/15636>

de Minas, M. (s.f.). *E. Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE)*. Recuperado el 05 de Mayo de 2020, de <https://www.minenergia.gov.co/retie>

Emerson Automation Solutions. (28 de Febrero de 2021). *www.emerson.com*. Obtenido de <https://www.emerson.com/documents/automation/gu%EDa-de-v%E1lvulas-de%A0control-control-valve-handbook-es-5459932.pdf>

Feria, O. S. (26 de 09 de 2020). Obtenido de <http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales/hidrogeno/hidrohistoria.html>

Frymaster. (26 de Junio de 2020). *Frymaster.com*. Recuperado el 8 de Marzo de 2020, de <https://www.frymaster.com/Products/Fryers/Oil-Conserving-Fryers#OCF30>

Garcia, J. J. (10 de Marzo de 2021). *Slideshare*. Obtenido de <https://www.slideshare.net/JuanJoseGarciaR/punto-de-humeo>

Geek Factory. (1 de Marzo de 2021). *geekfactory.mx*. Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/>

- Geekbot Electronics. (10 de Marzo de 2021). *Geekbotelectronics.com*. Obtenido de <http://www.geekbotelectronics.com/producto/termopar-tipo-k/>
- Giraldo, S. A. (28 de Febrero de 2021). *controlautomaticoeducacion.com*. Obtenido de <https://controlautomaticoeducacion.com/microcontroladores-pic/rele-con-pic/>
- Golatos, M. A. (20 de Febrero de 2021). *Catedras.facet.unt*. Obtenido de [https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2016/04/5\\_Acciones-de-control\\_2016.pdf](https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/wp-content/uploads/sites/101/2016/04/5_Acciones-de-control_2016.pdf)
- Gradosmaterialmundial. (01 de Marzo de 2021). *materialmundial.com*. Obtenido de <https://www.materialmundial.com/acero-inoxidable-ss-astm-sae-aisi-304-ficha-tecnica/>
- Inc. Custom Computer. (s.f.). CCS . Recuperado el 12 de Mayo de 2020, de <http://www.ccsinfo.com/content.php?page=compilers>
- Instrumentationtools.com*. (26 de Febrero de 2021). Obtenido de <https://instrumentationtools.com/onoff-control-principle/>
- International Electrotechnical. (19 de Marzo de 2021). *IEC*. Obtenido de <http://www.iec.ch/>
- IPC. (19 de Marzo de 2021). *ipc*. Obtenido de <https://shop.ipc.org/>
- ISO. (19 de Marzo de 2021). *iso.org*. Obtenido de <http://www.iso.org/>
- Itu. (19 de Marzo de 2021). *itu*. Obtenido de <http://www.itu.int/>
- Javar. (s.f.). *Freidor a gas SRF35-18LT-JAVAR para alimentos bien hechos*. Recuperado el 14 de Abril de 2020, de [https://javar.com.co/product/freidor-a-gas-srf35-18lt/#tab-additional\\_information](https://javar.com.co/product/freidor-a-gas-srf35-18lt/#tab-additional_information)
- Jorge, M. F. (2013). *Amplificadores operacionales*. Recuperado el 7 de Marzo de 2020, de <http://www.academicos.ccadet.unam.mx/jorge.marquez/cursos/Instrumentacion/AmplificadoresOperacionales.pdf>
- Joserrago. (s.f.). *Freidora alto rendimiento M-JR4050- JOSERRAGO*. Recuperado el 14 de Abril de 2020, de <https://joserrago.com.co/producto/freidora-alto-rendimiento-m-atfs-50/>
- Katzuhiko, O. (2010). *Ingeniería de control moderna* (Quinta ed.). Madrid: Pearson Educación.
- Kreith, F., Manglik, R. M., & Bohn, M. S. (2001). *Principios de Transferencia de Calor*. Mexico: Cengage Learning. Recuperado el 30 de Abril de 2020



- Labcenter. (s.f.). *Proteo*. Recuperado el 09 de Mayo de 2020, de <https://www.labcenter.com/simulation/>
- Levinto. (21 de Marzo de 2021). *Levinton.com*. Obtenido de <https://www.leviton.com>
- Mactronica. (20 de Marzo de 2021). *Mactronica*. Obtenido de <https://www.mactronica.com.co>
- MathWorks. (12 de 02 de 2021). *MathWorks*. Obtenido de <https://es.mathworks.com/products/simulink.html>
- Microelectronicadesign. (10 de Marzo de 2021). *microelectronicadesign.com*. Obtenido de <http://microelectronicadesign.com/producto/lamina-entera-fr2-fenolica-kb-1210-mts/>
- Ministerio de Salud. (s.f.). *Decreto 3075 de 1997*. Recuperado el 20 de Abril de 2020, de [https://www.minsalud.gov.co/Normatividad\\_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf](https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/DECRETO%203075%20DE%201997.pdf)
- Muñoz, H. A. (2016). *Automatización del manipulador de canastas de una freidora de papas*. Quito, Ecuador: Tesis Pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial. Recuperado el 7 de Abril de 2020, de [http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14632/1/67618\\_1.pdf](http://192.188.51.77/bitstream/123456789/14632/1/67618_1.pdf)
- myelectronic.tonohost.com*. (28 de Febrero de 2021). Obtenido de <http://myelectronic.tonohost.com/sensores.html?i=1>
- Naylamp Mechatronics. (21 de Marzo de 2021). *naylamp mechatronics*. Obtenido de <https://naylampmechatronics.com>
- Niplesoft. (20 de Marzo de 2021). *niplesoft.net*. Obtenido de [www.niplesoft.net](http://www.niplesoft.net)
- Pallas, R. A. (s.f.). *Sensores y acondicionadores de señal*. Marcombo.
- Pallomaro. (s.f.). *Freidor industrial con control de temperatura pallomaro*. Recuperado el 8 de Marzo de 2020, de : <https://www.pallomaro.com/dotacion/freidores-control-de-temperatura-en-acero-inox-en-pallomaro/>
- Pallomaro S.A. (s.f.). *Crm.Pallomaro*. Recuperado el 23 de Abril de 2020, de <http://crm.pallomaro.com/sugarcrm/index.php?module=KReports&action=index>
- Pallomaro.com. (1 de Febrero de 2018). *Pallomaro.com*. (Mercadeo) Recuperado el 30 de Abril de 2020, de [www.pallomaro.com/servicio/catalogo-de-repuestos/](http://www.pallomaro.com/servicio/catalogo-de-repuestos/)
- Paz, A. J. (20 de Febrero de 2021). *Sistemas Automaticos de Control*. Santa Rita, Edo. Zulia, Venezuela: UNERMB. Obtenido de

[http://150.185.9.18/fondo\\_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf](http://150.185.9.18/fondo_editorial/images/PDF/CUPUL/SISTEMA%20DE%20CONTROL%20%201.pdf)

Penny, H. (s.f.). *Freidoras abiertas de alto volumen*. Recuperado el 8 de Marzo de 2020, de <https://www.hennypenny.com/wp-content/uploads/2014/01/34X-FM07-131-Ops-Spanish.pdf>

Prolific Technology . (15 de 02 de 2021). *Prolific*. Obtenido de [http://www.prolific.com.tw/US/ShowProduct.aspx?p\\_id=225&pcid=41](http://www.prolific.com.tw/US/ShowProduct.aspx?p_id=225&pcid=41)

Proto Supplies. (14 de Marzo de 2021). *protosupplies.com*. Obtenido de <https://protosupplies.com/product/max6675-thermocouple-temperature-module/>

*Rewonline.com*. (s.f.). Recuperado el 2020 de Abril de 23, de <https://www.rewonline.com/es/restaurant-equipment-new/Dean-SCFD260G-Fryer-Gas-Multiple-Battery/DEA-SCFD260G.html>

Robertshaw. (21 de Marzo de 2021). *robertshaw*. Obtenido de <https://www.robertshaw.com/>

Rodavigo. (10 de Marzo de 2021). *www.radavigo.net*. Obtenido de <https://rodavigo.net/catalogos/PNEUMAX/01%20Introducci%C3%B3n/04%20Informaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20III.pdf>

Solidworks. (s.f.). *Acerca de nosotros: Solidworks*. Recuperado el 02 de Mayo de 2020, de <https://www.solidworks.com/es/category/3d-cad>

Survey Monkey. (10 de 01 de 2020). *SurveyMonkey*. Obtenido de <https://es.surveymonkey.com/dashboard/>

Tutoriales de electronica basica. (21 de Marzo de 2021). *tutorialesdeelectronica basica*. Obtenido de <http://tutorialesdeelectronica basica.blogspot.com/>