

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MINI HORNO
ELÉCTRICO PARA MUESTRAS EXPERIMENTALES EN EL
RUBRO DE PANIFICACIÓN, CON SISTEMA DE CONTROL
PROGRAMABLE DE LA TEMPERATURA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autores: Bach. Jesús Edwin Tirado Urteaga

Bach. Elmer Roiser Vasquez Cruzado




Asesor: MSc. Ing. Henry Oswaldo Pinedo Nava

Línea de Investigación: LI_IME_04 Diseño Mecánico y Eléctrico

JAÉN – PERÚ, DICIEMBRE, 2025

Tirado Urteaga Jesús Edwin Vasquez Cruzado Elme...

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MINI HORNO ELÉCTRICO PARA MUESTRAS EXPERIMENTALES EN EL RUBRO DE PANIFI...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::1:3434597939

140 páginas

Fecha de entrega
5 dic 2025, 11:00 a.m. GMT-5

23.427 palabras

Fecha de descarga
5 dic 2025, 11:04 a.m. GMT-5

128.127 caracteres

Nombre del archivo
ER_ROISER_TIRADO_URTEAGA_JES_S_EDWIN_INFORME_-_Elmer_Vasquez.pdf

Tamaño del archivo
3.3 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería




2% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 2%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 1%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dr. Alexander Huamán Mera
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería



FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el martes 16 de diciembre del 2025, siendo las 18:30 horas, se reunieron los integrantes del jurado:

Presidente : Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon,
Secretario : Mg. José Andrés Fernández Mera
Vocal : Mtro. Marco Luis Pérez Silva

Para evaluar la sustentación del informe Final:

- () Plan de Trabajo de Investigación
(X) Tesis
() Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MINI HORNO ELÉCTRICO PARA MUESTRAS EXPERIMENTALES EN EL RUBRO DE PANIFICACIÓN, CON SISTEMA DE CONTROL PROGRAMABLE DE LA TEMPERATURA"

Presentado por los bachilleres: **Jesús Edwin Tirado Urteaga y Elmer Roiser Vasquez Cruzado**, de la Escuela Profesional de INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA.


Después de la sustentación y defensa, el jurado acuerda:

- (X) Aprobar () Desaprobar (X) Unanimidad () Mayoría

Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14,15 | () |
| d) Desaprobado | 12 ó menos | () |

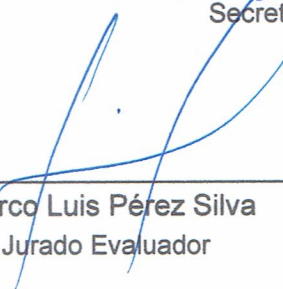
Siendo las 19:00 horas del mismo día, el jurado concluye el acto de sustentación confirmando con la suscripción de la presente.



Dr. Edwin Carlos Lenin Felix Poicon
Presidente Jurado Evaluador



Mg. José Andrés Fernández Mera
Secretario Jurado Evaluador



Mtro. Marco Luis Pérez Silva
Vocal Jurado Evaluador



“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Nosotros, **Jesús Edwin Tirado Urteaga** y **Elmer Roiser Vasquez Cruzado**, egresados de la carrera Profesional de **Ingeniería Mecánica y Eléctrica** de la **Facultad de Ingeniería** de la Universidad Nacional de Jaén, identificados (a) con DNI **72734779** y **72462682**.

Declaramos bajo juramento que:

1. Somos Autores del trabajo titulado:

“Diseño y construcción de mini horno eléctrico para muestras experimentales en el rubro de panificación, con sistema de control programable de la temperatura”.

Asesorado por el Mg. Henry Oswaldo Pinedo Nava.

El mismo que presentamos bajo la modalidad de bachiller para optar; el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de nuestro trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de nuestro trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual hemos respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presentamos no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuimos a nuestra autoría son veraces.
5. Declaramos que nuestro trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Somos conscientes de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad de los declarantes, en consecuencia; a través del presente documento asumimos frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, 28 de enero del 2026.



Jesús Edwin Tirado Urteaga



Elmer Roiser Vasquez Cruzado

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Antecedentes.....	15
1.2. Planteamiento del Problema.....	18
1.3. Justificación.....	20
1.4. Objetivos	22
1.4.1. Objetivo General.....	22
1.4.2. Objetivos Específicos	22
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.1. Materiales	22
2.1.1. Tarjeta electrónica embebida programable (ESP32)	22
2.1.2. Sensor de temperatura (Termocupla Tipo K).....	24
2.1.3. Resistencias eléctricas	25
2.1.4. Ventilador Axial.....	27
2.1.5. Relé de Estado Sólido Monofásico AC 24-380 V, SSR-40A	27
2.1.6. Transmisor para termocupla	28
2.1.7. Módulo adaptador LCD a I2C - PCF8574.....	29
2.1.8. Modulo MPR121 Sensor capacitivo táctil.....	30
2.1.9. Enchufe de alimentación con switch 250V/10A	31
2.1.10. Conversor de nivel lógico 4CH 5V/3.3V	32
2.2. Métodos.....	33
III. RESULTADOS	34

3.1. Determinación del tamaño del mini horno eléctrico	34
3.1.1. Dimensiones del mini horno eléctrico	35
3.2. Cálculo de los parámetros térmicos para el diseño de la estructura del equipo	37
3.2.1. Cálculo de volumen útil.....	37
3.2.2. Cálculo de energía calorífica	38
3.2.2.1. Análisis térmico para elección del material de fabricación	39
3.3.1. Diseño capa interna del mini horno eléctrico	51
3.3.2. Diseño de la capa externa del mini horno eléctrico	52
3.3.3. Diseño de la capa aislamiento térmico para el equipo.....	53
3.3.4. Diseño de la puerta del mini horno.....	54
3.3.5. Diseño de la estructura para el sistema de control y potencia	55
3.3.6. Diseño de parrilla y molde para horneado de las muestras experimentales	55
3.4. Simulación térmica estática (Steady-State Thermal) de la estructura en ANSYS	56
3.3.1. Resultados de la Simulación térmica con el acero AISI 304 y Aislante fibra de vidrio tipo E.....	60
3.3.2. Resultados de la Simulación térmica con Aluminio y aislante Manta fibra de vidrio	62
3.3.3. Resultados de la Simulación térmica con el acero al carbono A36 y aislante fibra de vidrio tipo E.....	63
3.3.4. Elección del material adecuado para la fabricación del prototipo.....	64
3.4. Simulación térmica transitoria (Transient Thermal) de la estructura en con el material elegido Acero inoxidable AISI 304	66

3.5. Manufactura de la estructura del mini horno eléctrico.....	72
3.5.2. Fabricación de la capa externa de la estructura	73
3.5.3. Colocación de aislante térmico.....	73
3.5.4. Fabricación de la puerta del equipo	74
3.5.5. Fabricación de accesorios del equipo	75
3.5.6. Ensamblaje de partes estructurales del minihorno	75
3.6. Diseño de circuito electrónico para el sistema de control.....	76
3.6.1. Prototipado en placa de pruebas (Protoboard).....	77
3.6.2. Elaboración del esquema eléctrico (Esquemático).....	78
3.6.3. Diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB)	79
3.7. Impresión PCB del circuito en la placa electrónica	79
3.8. Montaje y soldado de pines de los componentes electrónicos	80
3.9. Conexión y programación del circuito integrado.....	82
3.9.1. Conexión del microcontrolador al entorno de programación.....	82
3.10. Integración del sistema de control y potencia a la estructura del mini horno	84
3.11. Pruebas de funcionamiento del equipo.....	85
3.11.1. Energizado de circuitos de control y potencia	85
3.11.2. Instalación y configuración de aplicativo móvil (APK) – Serial Bluetooth Terminal	87
3.11.3. Verificación de temperatura interna y externa del equipo sin muestras – pruebas en vacío.....	88
3.12. Pruebas de cocción de muestras experimentales del pan	89

3.12.1. Cocción de muestras de pan convencional	89
3.12.2. Verificación de la calidad de cocción del producto	112
3.13. Verificación de consumo (kW/h) del equipo	113
IV. DISCUSIÓN	115
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	116
5.1. Conclusiones	116
5.2. Recomendaciones.....	117
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	118
VII. ANEXOS	124

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Microprocesador ESP32 DEVKIT V1	23
Figura 2: Termopar tipo K (sensor de temperatura)	24
Figura 3: Resistencia tubular tipo “U” (AISI 304-Rosca UNC con tuerca).....	25
Figura 4: Ventilador axial DC.....	27
Figura 5: Relé de Estado Sólido	28
Figura 6: Transmisor MAX6675	29
Figura 7: Adaptador LCD a I2C – PCF8574	30
Figura 8: Sensor capacitivo táctil	31
Figura 9: Enchufe de alimentación con switch.....	32
Figura 10: Conversor de nivel lógico	33
Figura 11: Estructura interna del mini horno eléctrico	52
Figura 12: Estructura externa del mini horno eléctrico	52
Figura 13: Aislamiento térmico del mini horno eléctrico.....	53
Figura 14: Ensamblaje en software CAD de las 3 capas del mini horno eléctrico.....	54
Figura 15: Diseño de la puerta del mini horno	54
Figura 16: Diseño de la estructura para el sistema de control y potencia	55
Figura 17: Molde y parrilla para horneado de muestras	55
Figura 18: Entorno del ANSYS Workbench, módulo Steady-State Thermal.....	56
Figura 19: Engineering Data propiedades térmicas del material.....	57
Figura 20: Geometría de mini horno importado al módulo de ANSYS.	58
Figura 21: Mallado de la estructura del mini horno eléctrico.....	59
Figura 22: Condiciones de frontera, temperatura y convección.....	60
Figura 23: Distribución del calor en el interior del mini horno eléctrico (Acero inoxidable AISI 304)	61

Figura 24: Distribución de del calor en el mini horno eléctrico (aluminio 6061-T6)	62
Figura 25: Distribución de del calor en el mini horno eléctrico (Acero A36).....	63
Figura 26: Simulación comparativa de los 3 materiales evaluados.....	65
Figura 27: Configuración de materiales para el análisis Transient Thermal.	67
Figura 28: Geometría y mallado de la estructura metálica del mino horno eléctrico.....	68
Figura 29: Simulación térmica de la distribución de la temperatura parte externa	69
Figura 30: Simulación térmica de la distribución de la temperatura parte interna.....	70
Figura 31: Distribución de la temperatura vs el tiempo.	71
Figura 32: Capa interna del minihorno: Diseño y fabricación.	72
Figura 33: Capa externa del minihorno: Diseño y fabricación.....	73
Figura 34: Colocación del aislante térmico.	74
Figura 35: Fabricación de la puerta del minihorno: Diseño y fabricación.	74
Figura 36: Fabricación estructura para sistema de control y parrilla de sujeción: Diseño y manufactura del prototipo	75
Figura 37: Mini horno eléctrico, estructura ensamblada	76
Figura 38: Interfaz de software fritzing.....	77
Figura 39: Componentes electrónicos en interfaz placa de pruebas.....	77
Figura 40: Vista de Componentes electrónicos en interfaz esquemático	78
Figura 41: Vista de componentes electrónicos en interfaz PCB.....	79
Figura 42: Interfaz PCB e impresión del circuito de control electrónico.....	80
Figura 43: Montaje y soldado de componentes electrónicos.....	81
Figura 44: Integración de Sistema de potencia y Control	82
Figura 45: Programación del microcontrolador del ESP32.....	83
Figura 46: Interfaz del lenguaje de programación hacia la placa electrónica	83
Figura 47: Integración de placa electrónica acoplado a prototipo mecánico	85

Figura 48: Medición de continuidad entre los terminales (Línea - Neutro)	86
Figura 49: Medición de voltaje AC/DC en el equipo	86
Figura 50: Interfaz para control automático	87
Figura 51: Temperatura interna del mini horno sin muestras experimentales.....	88
Figura 52: Cocción de pan convencional a 150 °C y medición de temperatura.....	90
Figura 53: De la tabla 16: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo	92
Figura 54: Cocción de pan convencional a 180 °C y medición de temperatura.....	93
Figura 55: De la tabla 17: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo	96
Figura 56: Cocción de pan convencional a 200 °C y medición de temperatura.....	97
Figura 57: De la tabla 18: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo	101
Figura 58: Cocción de pan convencional a 220 °C y medición de temperatura.....	102
Figura 59: De la tabla 19: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo	106
Figura 60: Cocción de pan de molde a 220 °C y medición de temperatura	107
Figura 61: De la tabla 20: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo	111
Figura 62: Textura de muestras cocidas pan de molde y pan convencional.....	113
Figura 63: Instalación de switch de alimentación 220 VAC.....	124
Figura 64: Manufactura de base de placa electrónica, para integración de esta en la estructura del prototipo	124
Figura 65: Seccionamiento de la estructura (división de placa interna de externa), para evitar conducción a través del acero INOX AISI 304.....	125

Figura 66: Inserción de material aislante térmico – Fibra de vidrio.....	125
Figura 67: Pruebas iniciales a 100 °C sin muestras experimentales, utilizando un termómetro para verificación. Además, se observa el control de la temperatura desde un dispositivo móvil.....	126
Figura 68: Pruebas finales a 180 °C con muestras experimentales, utilizando un termómetro para verificación.....	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones técnicas microprocesador ESP32 DEVKIT V1	23
Tabla 2: Especificaciones técnicas Termopar tipo K	24
Tabla 3: Especificaciones técnicas resistencia tubular AISI 304	26
Tabla 4: Ventilador axial 50*50mm 5VDC.....	27
Tabla 5: Especificaciones técnicas Relé de Estado Sólido	28
Tabla 6: Especificaciones técnicas Transmisor MAX6675	29
Tabla 7: Especificaciones técnicas Adaptador LCD a I2C – PCF8574	30
Tabla 8: Especificaciones técnicas Sensor capacitivo táctil	31
Tabla 9: Enchufe de alimentación con switch 250V/10A.....	32
Tabla 10: Conversor de nivel lógico 4CH 5V/3.3V.....	33
Tabla 11: Propiedades térmicas de los 03 materiales para estructura	39
Tabla 12: Propiedades del aislante térmico.....	40
Tabla 13: Resumen de los cálculos realizados	51
Tabla 14: Resumen comparativo de los materiales evaluados.....	64
Tabla 15: Datos de la distribución de la temperatura vs el tiempo.	71
Tabla 16: Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 150 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo	90
Tabla 17: Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 180 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo	94
Tabla 18: Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 200 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo	98
Tabla 19: Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 220 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo	102

Tabla 20: Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 220 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo	107
Tabla 21: Valores obtenidos en la simulación con ANSYS de la temperatura vs el tiempo	112
Tabla 22: Ficha técnica de Acero Inoxidable AISI 304	131
Tabla 23: Ficha técnica de aislador térmico fibra de lana de vidrio	132

RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito diseñar y construir un mini horno eléctrico para muestras experimentales en panificación, orientado a responder a la necesidad de contar con equipos compactos, seguros y de bajo costo en entornos académicos y de investigación. La propuesta busca optimizar la experimentación en panificación mediante un prototipo capaz de reproducir condiciones de horneado controladas, garantizando uniformidad térmica y confiabilidad en los ensayos, en contraste con los hornos industriales o domésticos que no se ajustan a escalas reducidas de análisis. En el desarrollo de la investigación se aplicó una metodología integral que combinó herramientas de diseño asistido por computadora, análisis térmico y validación experimental. El modelado en CAD permitió definir la geometría del equipo y prever su comportamiento estructural, mientras que las simulaciones en ANSYS posibilitaron evaluar distintos materiales y configuraciones de aislamiento antes de la fabricación.

El sistema de control desarrollado permitió establecer un manejo confiable de la temperatura en los ensayos que se realizaron a (150 °C, 180 °C, 200 °C y 220 °C), mostrando estabilidad y capacidad de respuesta ante variaciones de operación. Este nivel de desempeño evidencia que es posible integrar soluciones electrónicas accesibles en equipos experimentales. Durante la fase experimental, el prototipo mostró un comportamiento térmico consistente con las predicciones de simulación, garantizando uniformidad en el proceso de cocción y manteniendo condiciones seguras en la superficie exterior donde se alcanzó temperaturas de (33.5 °C, 34.7 °C, 37.8 °C y 43.3 °C). Estos resultados no solo validaron la metodología aplicada, sino que también demostraron la viabilidad de utilizar el equipo como práctica herramienta para estudios de panificación a pequeña escala.

Palabras clave: horno eléctrico, panificación, control programable, aislamiento térmico, simulación térmica.

ABSTRACT

The purpose of this research was to design and build a mini electric oven for experimental baking samples, addressing the need for compact, safe, and low-cost equipment in academic and research settings. The proposal aims to optimize baking experimentation through a prototype capable of reproducing controlled baking conditions, ensuring thermal uniformity and reliability in tests, in contrast to industrial or domestic ovens that are not suitable for small-scale analyses. The research employed a comprehensive methodology combining computer-aided design tools, thermal analysis, and experimental validation. CAD modeling allowed for defining the equipment's geometry and predicting its structural behavior, while ANSYS simulations enabled the evaluation of different materials and insulation configurations before manufacturing.

The developed control system enabled reliable temperature management in tests conducted at 150 °C, 180 °C, 200 °C, and 220 °C, demonstrating stability and responsiveness to operating variations. This level of performance shows that it is possible to integrate affordable electronic solutions into experimental equipment. During the experimental phase, the prototype exhibited thermal behavior consistent with simulation predictions, ensuring uniformity in the baking process and maintaining safe conditions on the exterior surface where temperatures of 33.5 °C, 34.7 °C, 37.8 °C, and 43.3 °C were reached. These results not only validated the applied methodology but also demonstrated the viability of using the equipment as a practical tool for small-scale breadmaking studies.

Keywords: electric oven, baking, programmable control, thermal insulation, thermal simulation.

I. INTRODUCCIÓN

En el rubro de panificación existe demanda de equipos que aseguren procesos de cocción eficientes, uniformes y controlados, no solo a nivel industrial sino también en aplicaciones experimentales y académicas, donde se requiere reproducir condiciones de horneado a menor escala. En este contexto, surge la necesidad de diseñar un mini horno eléctrico que permita evaluar formulaciones de panificación y analizar parámetros térmicos de manera confiable, con un consumo energético reducido y un sistema de control programable que garantice realizar ensayos experimentales.

La presente tesis aborda el diseño y construcción de un mini horno eléctrico para muestras experimentales en panificación, con un sistema de control basado en un microcontrolador ESP32, un sensor de temperatura tipo K y relés de estado sólido, que permiten regular y monitorear la temperatura de forma precisa. La estructura del horno se fabricó en acero inoxidable AISI 304 y se reforzó con un sistema de aislamiento en fibra de vidrio tipo E, asegurando la resistencia mecánica, la durabilidad y la eficiencia térmica del equipo.

Para el desarrollo del prototipo se aplicaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y simulaciones térmicas mediante el software ANSYS, lo que permitió anticipar el comportamiento del flujo de calor, validar la selección de materiales y prever la distribución de temperaturas en el área de cocción. Posteriormente, se realizaron pruebas experimentales que confirmaron que el equipo alcanza temperaturas de hasta 220 °C en un tiempo de 660 segundos.

Esta investigación aporta una alternativa tecnológica de bajo costo, eficiente y segura, que responde a las necesidades de instituciones educativas y centros de innovación en el rubro de panificación. El mini horno eléctrico desarrollado constituye una herramienta práctica para

el análisis experimental de procesos de horneado, al tiempo que abre la posibilidad de futuras mejoras en aislamiento.

1.1. Antecedentes

Se han considerado como punto de partida las siguientes investigaciones:

Mellado (2019). Con su tesis de postgrado, su objetivo fue controlar la temperatura del horno eléctrico para panificación mediante PLC S7-1200, programado con el software TIA PORTAL, tuvo como entrada principal un sensor RTD, el cual brindó datos de la temperatura dentro del horno. Así mismo, para simular el comportamiento de la temperatura respecto al tiempo implementó un modelo matemático con ecuaciones diferenciales, las cuales fueron introducidas y procesadas a través del software SIMULINK de MATLAB, el resultado que alcanzó fue 206°C. en 1500 segundos. Este antecedente brindará una idea para desarrollar el proyecto de tesis, debido a que se planteará el diseño y control de temperatura de una máquina panificadora eléctrica casera, utilizando el sensor RTD controlado por Arduino. Así mismo, se usará ecuaciones diferenciales para obtener un modelo matemático, y este introducir en el SIMULINK de MATLAB, con la finalidad de alcanzar una temperatura variable.

Jaguaco (2019). En su investigación de tesis de postgrado, implementó dimensiones y parámetros eléctricos con el objetivo de diseñar y controlar la temperatura de un horno industrial eléctrico, que cumplió la función de secar el aislante eléctrico en el proceso de rebobinado de motores eléctricos asíncronos. Concluyó que, la potencia requerida para el equipo que realiza el proceso de secado es de 6000 W., para ello utilizó 3 resistencias industriales de 2000 W. cada una, y para hermetizar el calor recomienda utilizar un aislante térmico hecho de lana mineral de fibra de vidrio. Además, para el horno eléctrico industrial fue necesario un tablero de control, por ello utilizó diferentes componentes eléctricos para la correcta manipulación del equipo. Esta tesis aportará con ideas fundamentales, que servirán

para el diseño y elección del material, tales como: láminas de cubierta exterior hechas de acero galvanizado y actuadores. Es necesario aclarar que se diseñará una máquina panificadora eléctrica para experimentos de panificación, por ende, será de baja capacidad comparado al de un horno industrial planteado en este antecedente. Por lo que, se recurrirá a utilizar resistencias de menor potencia, como también no se implementará un tablero eléctrico, ya que la idea es realizar un control electrónico.

Abundis (2020). Con su tesis de doctorado, realizó una investigación y tuvo como objetivo realizar distintas simulaciones correspondientes al estudio de la distribución del calor en el interior del horno hecho de piedra brasa, utilizando el software SOLIWORKS. Para la ejecución le adaptaron resistencias eléctricas de alta potencia logrando alcanzar altas temperaturas, estas fueron hasta 1600°C. Recalca que, la piedra brasa será útil para la ejecución de la estructura cerrada, que por sus propiedades de composición servirá para mantener una temperatura constante evitando altos grados de pérdida de calor. Este antecedente proporcionará información de como relacionar los cálculos matemáticos con la simulación en el software especializado, analizando todos los casos posibles en los diferentes componentes a utilizar en la investigación del proyecto (Abundis 2020), ya que, a diferencia del antecedente mencionado, nosotros utilizaremos como estructura láminas de cubierta exterior hechas de acero inoxidable.

Echeverria & Reyes (2016). Con su tesis de postgrado, su objetivo fue diseñar un horno de resistencia para recalentamiento, empleó un programa de diseño y simulación SolidWorks, en su prototipo utilizó tablas de fibra cerámica como refractario y colchoneta de fibra cerámica como aislante, como resultados del análisis térmico del modelo con fibra cerámica como aislante y lana mineral obtuvieron una temperatura exterior de 25 °C temperatura interior de 1100 °C con sus respectivos coeficientes de conectividad. Concluyendo que, el diseño de recalentamiento proporciona facilidad en el manejo y seguridad para el trabajador; ya que,

utilizaron resistencias eléctricas de 80 Ni – 20 Cr, y estas fueron puestas en placas en placas con ranuras para evitar el contacto directo. Recomendando considerar nuevas variables que pueden ser evaluadas en el software de diseño como: variables de esfuerzos, deformaciones y fallas. Este antecedente brindará información acerca del diseño que se realizó con el software SolidWorks, dando a conocer el tipo de diseño asistido por ordenador CAD y simulación CAE. Ya que, al usar este tipo de software dará facilidades para ganar tiempo y dinero en cuanto a ensayos de prueba y error en la construcción de dicha máquina eléctrica panificadora (Echeverria and Reyes 2016), y de esta manera poder alcanzar los estándares requeridos para realizar ensayos de recalentamiento y cambios de fase en la estructura metálica.

Solís (2019). Con su tesis de postgrado, tuvo como objetivo mejorar el sistema de control automático de un horno ineficiente, implementando un control térmico con técnica PID y usando ventiladores para la circulación de aire caliente. Según su metodología, se trató de una investigación descriptiva y experimental. En las pruebas de control de temperatura para el secado de barniz, lograron valores de 120 °C y de pre-secado a 100 °C. Concluyeron que la simulación del sistema de control PID de temperatura disminuyó significativamente el sobre impulso de la variable de proceso (temperatura). Recomiendan realizar un estudio detallado de la ficha técnica de cada componente involucrado en el funcionamiento del sistema de control, y así realizar nuevas investigaciones y/o evitar percances de manipulación. Esta tesis aportará ideas fundamentales del uso aplicativo del software Simulink de Matlab, que servirán para el uso de sistemas o modelos matemáticos de primer orden y segundo orden, para ello se utilizará diagramas de bloques simplificados de las variables y/o valores (Solís 2019). Las entradas del sistema serán representadas por señales de tipo cuadradas, escalón unitario, rampa e impulsos unitarios. Así mismo, este antecedente de investigación brindará información de los distintos sensores RTD y su aplicación; ya que, estos pueden variar su resistencia cuando es sometido a

una variación de temperatura, porque la agitación térmica ocasionará una dispersión de sus electrones, a consecuencia se reducirá la velocidad y aumenta su resistencia (Solís 2019).

Naidiuk & Torres (2018) realizaron la introducción al análisis térmico mediante ANSYS Workbench, relacionado a la transferencia de calor, esta ciencia se ocupa del análisis de la tasa de traspaso de energía que puede ocurrir entre los cuerpos materiales. En este estudio consideró tres formas distintas de transferencia: conducción, convección y radiación. Así mismo, comentó del interfaz gráfico del módulo de manejo de materiales, esta área de manejo de materiales fue diseñada para la creación, conservación y recuperación de materiales como también la generación de biblioteca de datos en el elemento Engineering Data. Para la selección del material existente en la librería, seleccionó la columna de contenidos Outline Pane, es en este apartado en el que seleccionó el tipo y estado del material. Luego realizó el procedimiento para la creación del nuevo material eligió y abrió la ventana del Workbench, aquí escogió Transient Thermal. Finalmente, para las condiciones de contorno térmicas eligió la ventana Heat Flow he indica que, existe una tasa de calor que se puede aplicar a un vértice, una arista o superficie; además recomendó utilizar Heat Flux y Internal Heat Generation; el primero término aplicado solamente al flujo del calor en superficies (bordes en 2D); y el segundo término aplicó una tasa de generación interna de calor solamente a cuerpos.

1.2. Planteamiento del Problema

La Agencia Internacional de Energía (2021), señala que el consumo energético a nivel mundial se ha incrementado en gran medida, esto ocurrió en gran parte por del uso de equipos que no cuentan sistemas inteligentes de control para mitigar este impacto, en tal sentido, la eficiencia energética viene siendo un aspecto muy importante a tener en cuenta por todas las industrias, ya que está obligando al desarrollo de nuevas tecnologías que ayuden a mejorar este aspecto, en el informe realizado menciona que la adopción de los avances tecnológicos, pueden

reducir hasta en un 30% el consumo energético en muchos sectores industriales. Los aspectos claves que se debe enfatizar para tener un equipo eficiente en varios sectores industriales (incluyendo el rubro de panificación) vienen a ser los siguientes: la utilización de materiales aislantes y la implementación de sistemas de control a través de sensores inteligentes, donde se pueda monitorizar el flujo de calor y la distribución adecuada de la temperatura en tiempo real.

En el ámbito nacional Instituto de investigación y capacitaciones de telecomunicaciones-UNI (2021), realizó una evaluación a los hornos eléctricos tradicionales de algunas empresas en la ciudad de Lima dedicadas al rubro de panificación, el resultado fue que el 50% de equipos presentaban deficiencias energéticas, por no tener un buen diseño y dimensionamiento de los materiales con las que fueron fabricados estos equipos, así mismo se logró apreciar que aún no se tiene una tecnología adecuada para el control de todo el proceso de producción de panificación.

Actualmente en el mercado existen hornos industriales y/o comerciales disponibles y son de gran volumen, estos no son prácticos para evaluar muestras pequeñas en procesos de experimentación científica en laboratorios de industrias alimentarias en el campo de panificación; no solo por el costo inicial que implica adquirir un horno industrial de gran tamaño, si no por un tema de eficiencia energética al tener que usar un gran volumen disponible para hornear muestras pequeñas o de la rapidez y frecuencia con la que se requiere realizar los ensayos. Además, la falta de control preciso provoca la inconsistencia en la distribución del calor ocasionando el desperdicio de espacio y energía, por tales motivos estos hornos no son ideales para la evaluación de muestras pequeñas en diferentes centros de experimentos e investigación relacionados a laboratorios de industrias alimentarias que se dedican al rubro de panificación.

Por ejemplo, existen laboratorios de tecnología de alimentos en empresas dedicadas al rubro de panificación que podrían emplear este equipo, además de las universidades públicas y privadas de nuestro país. Por ende, cuando un determinado grupo de personas investigadoras (alumnos, profesores o personal técnico) deseen llevar a cabo una investigación y evaluar las diferentes formulaciones de la textura de pan, postres, etc., necesitan hornear pequeñas muestras de cada formulación en condiciones controladas de temperatura y tiempo en un pequeño horno de laboratorio. Sin embargo, solo se dispone de un horno industrial grande diseñado para hornear grandes cantidades de productos a la vez, entonces al intentar utilizar estos hornos para hornear las muestras pequeñas requeridas para el estudio, genera ineficiencia energética, falta de precisión en el control de temperatura, entre otros.

1.3. Justificación

Este proyecto propone diseñar y construir un horno panificador eléctrico, analizar el flujo de calor y realizar el control de temperatura a través de circuitos electrónicos. Se ejecuta el proyecto con la finalidad de realizar el proceso de cocción de distintas muestras experimentales en ensayos del rubro de panificación, las cuales no deben ser de gran volumen; por lo que, la idea innovadora es crear una máquina eléctrica panificadora pequeña con una temperatura variable respecto al tiempo de cocido, y así poder evaluar las muestras en el laboratorio de tecnología de alimentos. Esta máquina panificadora debe ser capaz de realizar el cocido de las diferentes muestras tales como: productos de panadería, pastelería, entre otros. La máquina panificadora eléctrica será dimensionada acorde a la temperatura durante el horneado, teniendo en cuenta que, una muestra cruda de harina se cueza y llegue a generar gases en su interior, la temperatura ideal y tradicional de cocer el pan debe ser de unos 180-220 °C en hornos domésticos y la temperatura que debe alcanzar el interior del pan para estar bien cocido es de 82-99 °C (C. Gonzales 2022). Para lograr estos parámetros, la máquina tendrá un control de

temperatura con sensores para medir el flujo de calor, y actuadores para regular la energía eléctrica que proporciona el calor dentro ella; por ende, el principal actuador (resistencias) serán dimensionadas de acuerdo con la temperatura mínima y máxima necesaria para el cocido del producto. Todas las variables mencionadas serán controladas por un Sistema Arduino. Para el diseño y construcción de la máquina panificadora, se hará uso de distintos conceptos teóricos y prácticos de diferentes investigaciones, las cuales nos permitirá obtener con precisión de los parámetros mecánicos, eléctricos y electrónicos, estos nos ayudarán a lograr la eficiencia de la máquina, cumpliendo con las expectativas requeridas. Así mismo, contribuir con futuros proyectos de investigación relacionados a temas de transferencia de calor.

La implementación de esta máquina eléctrica panificadora, con control programable de temperatura, para el cocido de muestras experimentales en panificación, reduce el consumo energético y minimiza el desperdicio de materiales, resultando en un uso más eficiente de los recursos. Su flexibilidad permite la cocción de una variedad de productos, eliminando la necesidad de múltiples equipos especializados y facilitando la experimentación con nuevas recetas sin incurrir en grandes costos. La inversión inicial es menor en comparación con equipos industriales grandes, y su tamaño compacto es ideal para laboratorios con espacio limitado. Además, el sistema programable mejora la precisión y velocidad de los ensayos, acelerando el desarrollo de nuevos productos y reduciendo el tiempo de llegada al mercado.

Con la correcta realización de este proyecto se contribuirá con los alumnos, profesores y personal técnico en laboratorios de industrias alimentarias interesados en la línea de producción de pan y otros productos relacionados, y así puedan poner en práctica las distintas investigaciones necesarias que ayudarán a la mejorar la calidad de sus productos.

El impacto ambiental positivo de un horno panificador eficiente es significativo. Ya que, al reducir el consumo de energía, se disminuye la dependencia de fuentes de energía no

renovables y se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (Cruz 2024). Además, la utilización de materiales y tecnologías que permiten una mayor eficiencia energética también implica un menor uso de recursos naturales y una reducción en la generación de residuos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar y construir un mini horno eléctrico para muestras experimentales en el rubro de panificación, con sistema de control programable de la temperatura.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E.1. Definir requerimientos técnicos y operativos del prototipo de mini horno para muestras experimentales.

O.E.2. Diseñar la estructura del prototipo considerando análisis térmico con software CAD/CAE.

O.E.3. Manufacturar el prototipo de mini - horno, así como el sistema eléctrico y electrónico para el control automático de la temperatura.

O.E.4. Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo y evaluar su desempeño en base a los resultados obtenidos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

2.1.1. Tarjeta electrónica embebida programable (ESP32)

	<ul style="list-style-type: none"> • Conversor Digital a Analógico DAC: 2 (8bit). • Chip USB-Serial: CP2102 • Conector USB: USB-C y Antena en PCB
Voltaje de alimentación	(USB-C): 5V DC
V _{in}	4V - 12V VDC (5V - 9V recomendado)
V _{in/out}	3.3 V DC
Dimensiones y peso	<ul style="list-style-type: none"> • 55 * 28 mm. • 9 gramos

Nota: Datos tomados de la ficha técnica del microcontrolador

2.1.2. Sensor de temperatura (Termocupla Tipo K)

Se seleccionó este tipo de sensor debido a su capacidad para medir un rango amplio de temperaturas con adecuada linealidad y alta precisión. Este tipo de sensores representa una opción confiable para aplicaciones de control y monitoreo, precisa y versátil para el monitoreo y control de temperatura en hornos eléctricos, asegurando eficiencia y precisión en el proceso, ver figura 2.

Figura 2:

Termopar tipo K (sensor de temperatura)



Tabla 2:

Especificaciones técnicas Termopar tipo K

Característica	Descripción
Tipo de sensor	Termocupla tipo K

Temperatura de operación	-200 °C a 1300°C
Corriente de operación	50mA
Voltaje de operación	5V DC
Material	Acero Inoxidable
Recubrimiento del Cable	fibra de vidrio
Resolución de temperatura	0,25 °C
Dimensiones	25*15*13 mm

Nota: Ficha técnica del sensor de temperatura, adaptado del fabricante

2.1.3. Resistencias eléctricas

Se considerarán criterios fundamentales como la temperatura de trabajo, la naturaleza del medio y el flujo calorífico de intercambio. En función de ello, se seleccionan materiales resistentes adecuados, entre ellos el AISI 304L, una variante del AISI 304 que ofrece buena resistencia a la corrosión a temperatura ambiente. Su bajo contenido de carbono (<0,03%) minimiza la formación de carburo de cromo cuando se exponen al intervalo crítico de temperaturas comprendido entre 450 °C y 850 °C, reduciendo así el riesgo de corrosión intercrystalina. Asimismo, se empleó el AISI 321, también derivado del AISI 304, pero estabilizado con Titanio para impedir la prevención de carburo de cromo, lo que lo hace recomendable en condiciones de exposición prolongada dentro del intervalo crítico de temperatura, ver figura 3.

Figura 3:

Resistencia tubular tipo "U" (AISI 304-Rosca UNC con tuerca)



Tabla 3:*Especificaciones técnicas resistencia tubular AISI 304*

Característica	Descripción
Tipo de resistencia	Tubulares Acero INOX - AISI 304
Modelo	M8GRK1
Tensión Nominal	230V AC
Potencia Nominal	1000W
Longitud	240mm
Dimensiones del rácor engrampado	M14 x 1"25
Material	Acero Inoxidable
Clase Térmica	T-700-T.
Peso	0,75Kg
Potencia x cm2	1,8 W/cm2

W/cm2 = 1,8	• Aire en reposo = 450 °C
	• Aire recirculando a 1 m/seg. = 500 °C
	• Aire recirculando a 2 m/seg. = 530 °C
	• Aire recirculando a 3 m/seg. = 560 °C
	• Aire recirculando a 4 m/seg. = 580 °C

Nota: Ficha técnica de la resistencia tubular AISI 304, **Fuente:** (Brototermic 2016) menciona que; La temperatura ambiente en el interior de la cámara del horno o estufa se mantiene entre 25 °C y 350 °C por debajo de la zona de resistencias, dependiendo de la eficiencia en la circulación de aire, de la cantidad de material introducido y de la frecuencia de carga. Cabe señalar que estas resistencias están diseñadas para operar en entornos de hasta 350 °C, considerando que el rácor está fabricado en acero zincado.

2.1.4. Ventilador Axial

Se elige este dispositivo por su idoneidad en la ventilación de pequeñas tarjetas electrónicas, tales como controladores de potencia, reguladores de voltaje u otros circuitos que requieran disipación de calor, ver figura 4.

Figura 4:

Ventilador axial DC



Tabla 4:

*Ventilador axial 50*50mm 5VDC*

Característica	Descripción
Modelo	SKU: 000887
Voltaje de alimentación	5 VDC
Corriente nominal	200 mA
Longitud del cable	25 cm
Peso	20 gramos
Dimensiones	50 * 50 * 12 mm

Nota: Ficha técnica del ventilador axial, adaptado del fabricante

2.1.5. Relé de Estado Sólido Monofásico AC 24-380 V, SSR-40A

Se seleccionó este dispositivo debido a que facilita el control de cargas de voltaje alterno (220 V AC) a través de un microcontrolador como el ESP32. Además, permite la regulación del voltaje de salida, obteniendo valores intermedios entre 24 y 380 V AC, lo que hace posible

variar la potencia de un calentador resistivo, entre otras aplicaciones. Este módulo incorpora optoacopladores, que aseguran el aislamiento eléctrico entre la etapa de control y la de potencia. El SSR 40A es para realizar el control ON/OFF de cargas en corriente alterna, ver figura 5.

Figura 5:

Relé de Estado Sólido Monofásico



Tabla 5:

Especificaciones técnicas Relé de Estado Sólido

Característica	Descripción
Modelo	SSR-40 DA
Tamaño	6,2 x 4,5 x 2,3 cm (largo x ancho x alto)
Voltaje de control	3-32 VDC
Voltaje de carga	24-380 VAC
Frecuencia	50/60 Hz
Corriente máxima carga	40 A ($\leq 50\%$)
Potencia para carga	4 000W máx.
Peso	50 gramos

Nota: Datos tomados de la ficha técnica del Relay

2.1.6. Transmisor para termocupla

Se utilizó el transmisor MAX6675, diseñado para la conexión de una termocupla tipo K, el cual realiza la conversión de la señal analógica a digital mediante un ADC interno de 12

bits, ofreciendo una resolución adecuada en el rango de 0 °C a 1023 °C. Este dispositivo emplea una interfaz de comunicación digital SPI, lo que permite una integración sencilla con el ESP32, ver figura 6.

Figura 6:

Transmisor MAX6675

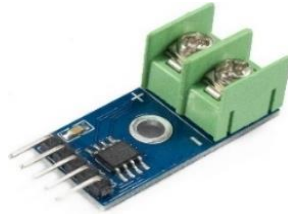


Tabla 6:

Especificaciones técnicas Transmisor MAX6675

Característica	Descripción
Modelo	Transmisor MAX6675
Tensión de operación	5V DC
Corriente nominal	50 mA
Rango de Temperaturas Termocupla K	- 200°C – 1300°C
Temperatura MAX6675	0°C – 1023°C
Lectura de temperatura	0, 25°C
Protocolo de comunicación	SPI
Dimensiones	25 * 15 * 13 mm

Nota: Ficha técnica del transmisor MAX6675, adaptado del fabricante

2.1.7. Módulo adaptador LCD a I2C - PCF8574

Se elige este dispositivo porque permite controlar el LCD empleando únicamente dos pines de comunicación (SDA y SCL). El módulo es compatible con pantallas LCD 1602 y 2004, y está basado en el controlador I2C PCF8574, el cual funciona como un expensor de entradas y salidas digitales a través del bus I2C. Su diseño está optimizado para el manejo de

un LCD alfanumérico, aunque también puede utilizarse como un expansor genérico de E/S, ver figura 7.

Figura 7:

Adaptador LCD a I2C – PCF8574



Tabla 7:

Especificaciones técnicas Adaptador LCD a I2C – PCF8574

Característica	Descripción
Tensión de entrada (VCC)	3.3V-5V DC
Chip Controlador	PCF8574
Protocolos compatibles	I2C
Señal lógica igual a VCC	3.3V/5V
Dirección I2C de fábrica	0x27F - 0x3F
Jumper para luz de fondo	backlight
Outputs	tipo Latch
Medidas	54 * 80 * 64 mm
Masa	5 g.

Nota: Ficha técnica Módulo adaptador LCD a I2C - PCF8574, adaptado del fabricante

2.1.8. Módulo MPR121 Sensor capacitivo táctil

Se seleccionó este dispositivo porque permite implementar interfaces táctiles empleando distintos materiales. El módulo funciona como un controlador táctil capacitivo con comunicación mediante interfaz I2C. En la parte posterior de la placa se encuentran cuatro

jumpers conectados por defecto, los cuales pueden retirarse para modificar la dirección del módulo en el bus I2C o para deshabilitar las resistencias pull-up integradas en la misma interfaz, ver figura 8.

Figura 8:

Sensor capacitivo táctil

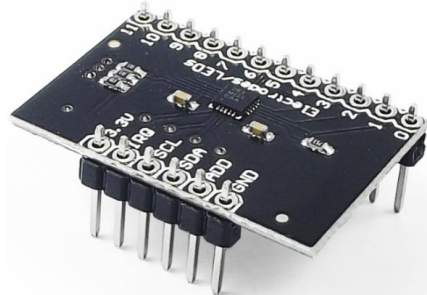


Tabla 8:

Especificaciones técnicas Sensor capacitivo táctil

Característica	Descripción
Modelo	MPR121
Electrodos táctiles	12 y 1 simulado
Leds que puede controlar	8
Voltaje nominal	2.5 - 3.6V DC
Dirección I2C por defecto	0x5 A

Nota: Ficha técnica del Módulo MPR121 Sensor capacitivo táctil

2.1.9. Enchufe de alimentación con switch 250V/10A

Se consideró este dispositivo porque es ideal para usar como entrada de alimentación e interruptor principal en el proyecto, alimentado con corriente alterna (AC). Posee un portafusible para fusibles cilíndricos de 5x20mm, incluye fusible de 15A. Posee switch con luz indicadora de encendido. Tanto el switch como el fusible se pueden reemplazar y de esta manera adecuar para nuestro requerimiento. El enchufe es de tipo IEC-320 C14, compatible con cable de poder con conector IEC-320 C13, ver figura 9.

Figura 9:*Enchufe de alimentación con switch***Tabla 9:***Enchufe de alimentación con switch 250V/10A*

Característica	Descripción
Modelo	AC-01A
Switch tipo Rocker	15x21mm DPST (Doble poste canal simple)
Voltaje Switch	125-250 VAC
Corriente Switch	12A(125V) o 6A(250V)
Corriente Enchufe	10A (250V)
Tipo de Fusible	Cilíndrico 5x20mm
Corriente ruptura Fusible	15A
Dimensiones montaje chasis	48*28 mm
Dimensiones externas	59 * 49 * 30 mm
Peso	27 gramos

Nota: Ficha técnica del Enchufe de alimentación con switch 250V/10A, adaptado del fabricante

2.1.10. Conversor de nivel lógico 4CH 5V/3.3V

Se elige este dispositivo porque permite convertir niveles lógicos entre 3.3 V y 5 V, o en sentido inverso, lo que facilita la adaptación de señales digitales como SPI, I2C u otras. Sus pines cuentan con un espaciado estándar de 0.1", lo que lo hace totalmente compatible con Protoboard y permite una conexión rápida durante el desarrollo. Para su funcionamiento, la

placa requiere ser alimentada con ambos voltajes a convertir y está diseñada únicamente para manejar señales lógicas digitales (niveles alto y bajo), ver figura 10.

Figura 10:

Conversor de nivel lógico

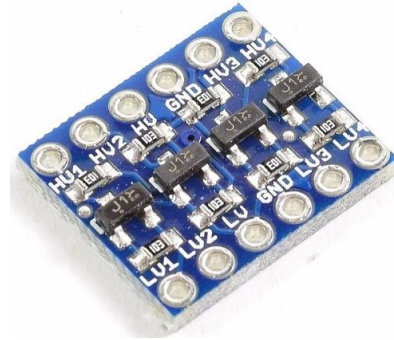


Tabla 10:

Conversor de nivel lógico 4CH 5V/3.3V

Característica	Descripción
Modelo	Conversor 4CH
Voltaje bajo (LV)	1.2 - 3.6V DC
Voltaje Alto (HV)	1.65 - 5.5V DC
Rangos de voltaje	LV debe ser menor que HV
Taza de transf. datos (máx.)	60 Mbps

Nota: Ficha técnica del Conversor de nivel lógico, adaptado del fabricante

2.2. Métodos

El método para el desarrollo tecnológico, comúnmente conocido como el proceso tecnológico o método de proyectos, es un enfoque sistemático para resolver problemas y satisfacer necesidades, transformando ideas en productos o servicios. Este método implica varias fases, desde la identificación del problema hasta la evaluación de resultados, pasando por la investigación, el diseño, el desarrollo y la implementación.

Arias (2022), con su libro Proyecto de tesis guía para elaboración. Define al método inductivo como inicio de situaciones específicas para generalizar a casos más amplios, es decir, de lo particular a lo general. Es decir, como primer paso inferir en lo específico y finalmente concluir en lo más general.

Ríos (2017), con su libro Metodología para la investigación y redacción. Define a la investigación por: el propósito o finalidades, la naturaleza de datos o enfoque, el nivel de conocimiento, las fuentes y condiciones de la información y el diseño o control de las variables. Entonces los tipos de investigación tienen que relacionarse con el método de investigación, por ende:

El método de investigación también implica el análisis inductivo, porque al diseñar y fabricar una máquina panificadora casera eléctrica con control de temperatura implica variables y factores que interactúan entre sí, por ejemplo: Capacidad térmica, temperatura de operación, tamaño y capacidad, entre otros (Arias 2022). Además, se lleva a cabo un orden secuencial describiendo, explicando y relacionando las distintas fuentes de información, que servirán como guías.

Esta investigación se llevará a cabo siguiendo el procedimiento que se detalla a continuación, el cual se describe en los objetivos que fue planteado en el proyecto, con el fin de lograr los resultados.

III. RESULTADOS

O.E.1. Definir requerimientos técnicos y operativos del prototipo de mini horno para muestras experimentales.

3.1. Determinación del tamaño del mini horno eléctrico

El dimensionamiento de un equipo térmico como el horno eléctrico es un aspecto fundamental del proceso de diseño, ya que incide directamente en la eficiencia energética, la capacidad funcional y la viabilidad constructiva del sistema. En esta etapa, se definen las dimensiones internas del horno, el volumen útil disponible y, posteriormente las dimensiones externas considerando los materiales estructurales y el aislamiento térmico. La finalidad del

mini horno es permitir la realización de pruebas térmicas a escala experimental, por lo que se requiere un volumen suficiente para alojar una bandeja metálica con la muestra, resistencias y sensores, sin sobredimensionar el equipo (Olugbade 2019).

3.1.1. Dimensiones del mini horno eléctrico

a) Dimensiones internas

En esta etapa del diseño se propuso una configuración inicial de tipo prismático rectangular, la cual facilita tanto la fabricación como el modelado tridimensional mediante software CAD. Se considera también que esta forma geométrica permite una distribución térmica más uniforme, dado que elimina zonas de difícil acceso al calor (Alverca 2023).

Estas medidas se han definido de manera referencial en base a criterios funcionales esperados para el prototipo, las dimensiones internas propuestas son las siguientes:

Longitud = L: 0.30 m

Ancho = A: 0.25 m

Altura = H: 0.25 m

Considerando las medidas calcula área interna del equipo, con la siguiente fórmula matemática:

$$A_{interna} = 2 (L * A + L * H + A * H) \quad (1)$$

$$A_{interna} = 2 [(0.30 * 0.25) + (0.30 * 0.25) + (0.25 * 0.25)]$$

$$A_{interna} = 0.425 \text{ m}^2$$

b) Dimensiones externas

Longitud = L: 0.352 m

Ancho = A: 0.302 m

Altura = H: 0.276 m

Para reemplazar los datos del área externa del equipo eléctrico, se considera la ecuación (1), y se obtiene:

$$A_{externa} = 2 (L * A + L * H + A * H)$$

$$A_{externa} = 2 [(0.352 * 0.302) + (0.352 * 0.302) + (0.302 * 0.302)]$$

$$A_{externa} = 0.6076m^2$$

Estas dimensiones permiten alojar una bandeja metálica con muestras de ensayo, dejando espacio suficiente para la circulación del aire caliente, el montaje de las resistencias eléctricas y la instalación de sensores de control de temperatura.

c) Dimensiones del aislante térmico

El uso de aislamiento térmico en el diseño del horno tiene como finalidad reducir la transferencia de calor hacia el exterior, lo cual permite mejorar la eficiencia energética, disminuir el consumo eléctrico y mantener condiciones de operación seguras (Deshmukh 2018).

Longitud = 0.35 m

Ancho = 0.30 m

Espesor = 0.025 m

Por su parte, el espesor de 25 mm del aislante térmico fue determinado con base en su baja conductividad térmica y su capacidad para reducir significativamente la transferencia de calor, manteniendo temperaturas externas dentro de los límites de seguridad (<65°C) durante el funcionamiento del horno (Jaramillo and Peralta 2022).

3.2. Cálculo de los parámetros térmicos para el diseño de la estructura del equipo

Se realizó el cálculo de los parámetros eléctricos considerando tres diferentes tipos de materiales, con la finalidad de evaluar sus propiedades térmicas y así elegir el material más adecuado para la manufactura del prototipo.

3.2.1. Cálculo de volumen útil

A partir de las dimensiones internas propuestas, se calculó el volumen útil del mini horno mediante la expresión matemática:

$$V = L \times A \times H \quad (2)$$

Donde:

- L = Longitud
- A = Ancho
- H = Altura

$$V = L \times A \times H$$

$$V = 0.30 \times 0.25 \times 0.25$$

$$V = 0.01875 \text{ m}^3 = 18.75 \text{ l.}$$

El volumen útil de **18.75 litros** resulta adecuado para el propósito experimental de este proyecto, ya que permite alojar una muestra sobre una bandeja metálica de tamaño reducido, junto con los elementos térmicos y sensores necesarios. Además, un volumen más compacto favorece una respuesta térmica más rápida, menor consumo energético y mayor control del proceso de calentamiento, aspectos fundamentales para equipos utilizados en pruebas a pequeña escala en laboratorio (Holman 2019).

3.2.2. Cálculo de energía calorífica

La cantidad de energía (en kilojulios o Joules) necesaria para subir la temperatura del aire dentro del horno desde temperatura ambiente hasta la temperatura de operación. Para ello, se considera la temperatura ambiente de 25 °C hasta una temperatura objetivo de 220 °C, se tiene en cuenta las siguientes expresiones matemáticas:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T \quad (3)$$

Donde:

- $m = \text{Masa del aire}$
- $C_p = \text{Calor específico del aire}$
- $\Delta T = \text{Variación de la temperatura}$

$$m = \rho \times V \quad (4)$$

Donde:

- $\rho = \text{Densidad del aire}$
- $V = \text{Volumen}$

Cálculo de la masa del aire, teniendo como dato que la densidad del aire es $1.184 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$ y el volumen ya calculado anteriormente es 0.01875 m^3 , reemplazando en ecuación (3).

$$m = \rho \times V$$

$$m = 1.184 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0.01875 \text{ m}^3$$

$$m = 0.0222 \text{ Kg}$$

Se realiza el cálculo de la energía calorífica (Q), reemplazando en ecuación (2), considerando el calor específico del aire de $1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \times \text{K}}$ valor determinante.

$$Q = m \times C_p \times \Delta T$$

$$Q = 0.0222 \text{ Kg} \times 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{Kg} \times \text{K}} \times (195 \text{ }^\circ\text{K})$$

$$Q = 4.351 \text{ kJ}$$

Se concluye que el valor obtenido ideal de la energía calorífica para calentar el aire dentro del mini horno es 4.351 kJ.

3.2.2.1. Análisis térmico para elección del material de fabricación

El horno eléctrico está compuesto por una cámara interna, una capa aislante y una carcasa externa. La del material de la capa interna es fundamental, ya que estará en contacto directo con el aire caliente y estará sometida a ciclos térmicos constantes (Barrera et al. 2021). Se evaluarán tres opciones: acero inoxidable AISI 304, aluminio y acero al carbono.

A continuación, se muestran las tablas de las propiedades térmicas de los materiales y aislante térmico respectivamente, ver tabla 11 y 12.

Tabla 11:

Propiedades térmicas de los 03 materiales para estructura

Propiedad térmica	Símbolo	AISI 304 (Inoxidable)	Aluminio 6061-T6	Acero al carbono
Conductividad térmica	$k \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	16	167	50
Temperatura máxima de trabajo	$T_{max}(^\circ C)$	870 - 925	200 - 300	400 - 500
Coef. de expansión térmica lineal	$\alpha \left(\frac{\mu m}{m \cdot ^\circ C} \right)$	17.3	23.6	12.0
Calor específico	$C_p \left(\frac{J}{Kg \cdot K} \right)$	500	896	486

Densidad	$\rho \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$	8000	2700	7850
Difusividad térmica	$\alpha_t = \frac{k}{\rho C_p} (mm^2 / S)$	~4.0	~84.8	~11.7
Emisividad (superficie sin tratar)	ε	0.55 - 0.8	0.09 - 0.2	0.6 - 0.9

Nota: Propiedades térmicas de los materiales para la estructura, **Fuente:** (Callister and Rethwisch 2016)

Tabla 12:

Propiedades del aislante térmico

Aislante fibra de vidrio Tipo E	
Propiedad	Valor típico
Conductividad térmica k	$0.035 - 0.045 \frac{W}{m * K}$
Capacidad Calorífica C_p	$840 - 1030 \frac{J}{Kg * K}$
Densidad ρ	$10 - 120 \frac{Kg}{m^3}$
Temperatura máxima de operación	$500 - 650 \text{ } ^\circ C$

Nota: Propiedades térmicas del material para el aislante térmico, **Fuente:** (Callister and Rethwisch 2016)

Los cálculos realizados representan una estimación razonable y técnicamente sustentada de las pérdidas térmicas que ocurren durante el funcionamiento del mini horno. Se ha considerado la conducción a través del aislamiento, la convección natural hacia el ambiente y la radiación térmica desde la superficie externa. Estos modelos están basados en principios de transferencia de calor aceptados en ingeniería térmica (Holman 2019).

Datos del equipo:

- Temperatura interna: $T_{int} = 220 \text{ } ^\circ C = 493 \text{ } ^\circ K$

- Temperatura ambiente: $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C} = 298\text{ }^{\circ}\text{K}$
- Diferencia de temperatura: $\Delta T = 195\text{ }^{\circ}\text{K}$
- Tiempo de análisis: $t = 600\text{ s}$
- Espesor del metal: $e_m = 0.001\text{ m}$
- Espesor del aislante: $e_m = 0.025\text{ m}$
- k_a (aislante): $0.04 \frac{W}{m * K}$
- h (Coef. de convección natural): $10 \frac{W}{m^2 * K}$
- σ (Stefan – Boltzmann): $5.67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$
- Área interna: $A = 0.425\text{ m}^2$
- Área externa: 0.6076 m^2

Considerando cálculos previos necesarios y teniendo las propiedades mecánicas y térmicas de los materiales adjunto en las tablas 11 y 12, se procedió a realizar el cálculo de los distintos tipos de transferencia de calor.

a) Acero inoxidable (AISI 304)

❖ Flujo de calor por conducción (AISI 304)

Cálculo de pérdida por conducción (metal más aislante), área interna del equipo:

$$R_{total} = \frac{e_{acero}}{K_1 * A} + \frac{e_{aislante}}{K_2 * A} + \frac{e_{acero}}{K_3 * A} \quad (5)$$

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{total}} \quad (6)$$

Por lo tanto, reemplazando datos en la fórmula matemática (5) de la Resistencia total, se obtiene:

$$R_{total} = \frac{e_{acero}}{K_1 * A_{interna}} + \frac{e_{aislante}}{K_2 * A_{interna}} + \frac{e_{acero}}{K_3 * A_{interna}}$$

$$R_{total} = \frac{0.001}{16 * 0.425} + \frac{0.025}{0.04 * 0.425} + \frac{0.001}{16 * 0.425}$$

$$R_{total} = 1.467429 \text{ kW}$$

Reemplazando en fórmula matemática (6), que es pérdida de calor por conducción del material acero inoxidable (AISI 304)

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$Q_{cond} = \frac{195 \text{ }^\circ\text{K}}{1.467429 \text{ kW}}$$

$$Q_{cond} = 132.898 \text{ W}$$

Por lo tanto, se concluye que para el material acero inoxidable AISI 304, la pérdida por conducción es de 132.898 W

❖ Flujo de calor por radiación (AISI 304)

Cálculo de pérdida por radiación (metal más aislante) del área del equipo; se considera los datos detallados en la tabla 11.

Área externa: $A = 0.6076 \text{ m}^2$;

Emisividad: $\varepsilon = 0.8$ y

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5.67 * 10^{-8}$

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_{externa} (T_{intrerna}^4 - T_{ambiente}^4) \quad (7)$$

$$Q_{rad} = 0.8 * 5.67 * 10^{-8} * 0.6076 (493.15^4 - 298.15^4)$$

$$Q_{rad} = 1412.286 \text{ W}$$

Por lo tanto, se concluye que para el material acero inoxidable AISI 304, la pérdida por

radiación es de 1412.286 W

❖ Flujo de calor por convección (AISI 304)

Cálculo de pérdida por convección (metal más aislante) del área del equipo, considerando datos de la tabla 11.

Coeficiente de convección natural: $10 \frac{W}{m^2}$

$$Q_{convec} = h * A * \Delta T \quad (8)$$

Reemplazando datos en ecuación (8), para encontrar el flujo de calor por convección del material Acero Inoxidable AISI 304:

$$Q_{convec} = 10 * 0.6076 * 195$$

$$Q_{convec} = 1184.82W$$

Por lo tanto, se concluye que para el material acero inoxidable AISI 304, la pérdida por convección es de 1 184.82 W.

❖ Flujo total de calor

A continuación, se calcula la energía total disipada en un tiempo de 10 minutos.

$$Q_{total} = Q_{aire} + (Q_{conducción} + Q_{radiación} + Q_{convección}) * t \quad (9)$$

$$Q_{total} = 4350 J + (132.898 W + 1412.286 W + 1184.82W) * 660 \text{ segundos.}$$

$$Q_{total} = 1\ 342\ 352.4 J = 1\ 342.3524 kJ$$

❖ Potencia total

La potencia total del mini horno eléctrico fabricado con este primer material sería:

$$P = \frac{Q_{total}}{t} \quad (10)$$

$$P = \frac{1\,342\,352.4 \text{ J}}{660 \text{ seg.}}$$

$$P = 2\,033.8 \text{ W} = 2 \text{ KW}$$

❖ Resistencia eléctrica

Se calcula la resistencia eléctrica utilizando datos calculados del primer material, teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Ver fórmula matemática ecuación (11):

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (11)$$

$$R = \frac{(220 \text{ V})^2}{2\,033.8 \text{ W}} = 23.79 \, \Omega$$

❖ Corriente eléctrica

Se calcula la corriente eléctrica utilizando datos obtenidos y teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Ver fórmula matemática ecuación (12):

$$I = \frac{P}{V} \quad (12)$$

$$I = \frac{2\,033.8 \text{ W}}{220 \text{ V}} = 9.2 \text{ A}$$

b) Aluminio (6061)

❖ Flujo de calor por conducción (Aluminio 6061)

Cálculo de pérdida por conducción (metal más aislante) del área interna del equipo; Por lo tanto, en la fórmula matemática (5) de la Resistencia total, se obtiene:

e: espesor, K: Conductividad térmica y A: Área

$$R_{total} = \frac{e_{aluminio}}{K_1 * A_{interna}} + \frac{e_{aislante}}{K_2 * A_{interna}} + \frac{e_{aluminio}}{K_3 * A_{interna}}$$

$$R_{total} = \frac{0.001}{167 * 0.425} + \frac{0.025}{0.04 * 0.425} + \frac{0.001}{167 * 0.425}$$

$$R_{total} = 1.467164 \text{ kW}$$

Reemplazando en fórmula matemática (6), que es pérdida de calor por conducción del material (aluminio 6061).

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$Q_{cond} = \frac{195 \text{ }^\circ\text{K}}{1.467164 \text{ kW}}$$

$$Q_{cond} = 132.909 \text{ W}$$

Por lo tanto, se concluye que para el material aluminio 6061, la pérdida por conducción es de 132.909 W.

❖ Flujo de calor por radiación (Aluminio 6061)

Cálculo de pérdida por radiación (metal más aislante) del área del equipo; se considera los datos detallados en la tabla 11.

$$\text{Área externa: } A = 0.6076 \text{ m}^2;$$

$$\text{Emisividad: } \varepsilon = 0.2 \text{ y}$$

$$\text{Constante de Stefan-Boltzmann: } \sigma = 5.67 * 10^{-8}$$

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_{externa} (T_{intrerna}^4 - T_{ambiente}^4)$$

$$Q_{rad} = 0.2 * 5.67 * 10^{-8} * 0.6076 (493.15^4 - 298.15^4)$$

$$Q_{rad} = 353.072 \text{ W}$$

Por lo tanto, se concluye que para el material aluminio 6061, la pérdida por radiación es

de 353.072 W.

❖ Flujo de calor por convección (Aluminio 6061)

Cálculo de pérdida por convección (metal más aislante) del área del equipo, considerando datos de la tabla 11.

Coeficiente de convección natural: $10 \frac{W}{m^2}$

Por lo tanto, reemplazando datos en ecuación (8), para encontrar el flujo de calor por convección del material aluminio 6061:

$$Q_{convec} = h * A * \Delta T$$

$$Q_{convec} = 10 * 0.6076 * 195$$

$$Q_{convec} = 1184.82W$$

Por lo tanto, se concluye que para el material aluminio 6061, la pérdida por convección es de 1 184.82 W.

❖ Flujo total de calor

A continuación, se calcula la energía total disipada en un tiempo de 10 minutos, reemplazando datos en la fórmula matemática (9):

$$Q_{total} = Q_{aire} + (Q_{conducción} + Q_{radiación} + Q_{convección}) * t$$

$$Q_{total} = 4350 J + (132.909 W + 353.072 W + 1184.82W) * 660 \text{ segundos.}$$

$$Q_{total} = 1 006 803.6 J = 1 006.8036 kJ$$

❖ Potencia total

La potencia total del mini horno eléctrico fabricado con este segundo material sería, reemplazando en fórmula matemática (10).

$$P = \frac{Q_{total}}{t}$$

$$P = \frac{1\,006\,803.6\text{ J}}{660\text{ seg.}}$$

$$P = 1525.46\text{ W} = 1.5\text{ KW}$$

❖ Resistencia eléctrica

Se calcula la resistencia eléctrica utilizando datos calculados del segundo material, teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Reemplazando datos en fórmula matemática (11):

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{(220\text{ V})^2}{1\,525.46\text{ W}} = 31.72\ \Omega$$

❖ Corriente eléctrica

Se calcula la corriente eléctrica utilizando datos obtenidos y teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Reemplazar en fórmula matemática (12):

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1\,525.46\text{ W}}{220\text{ V}} = 6.9\text{ A}$$

c) Acero al carbono (A36)

❖ Flujo de calor por conducción Acero al carbono (A36)

Cálculo de pérdida por conducción (metal más aislante) del área interna del equipo; Por lo tanto, en la fórmula matemática (5) de la Resistencia total, se obtiene:

e: espesor, K: Conductividad térmica A: Área

$$R_{total} = \frac{e_{acero}}{K_1 * A_{interna}} + \frac{e_{aislante}}{K_2 * A_{interna}} + \frac{e_{acero}}{K_3 * A_{interna}}$$

$$R_{total} = \frac{0.001}{50 * 0.425} + \frac{0.025}{0.04 * 0.425} + \frac{0.001}{50 * 0.425}$$

$$R_{total} = 1.46723 kW$$

Reemplazando en fórmula matemática (6), que es pérdida de calor por conducción del material Acero al carbono (A36).

$$Q_{cond} = \frac{\Delta T}{R_{total}}$$

$$Q_{cond} = \frac{195 \text{ }^\circ K}{1.46723 \text{ kW}}$$

$$Q_{cond} = 132.903 \text{ W}$$

Por lo tanto, se concluye que para el material Acero al carbono (A36), la pérdida por conducción es de 132.903 W.

❖ Flujo de calor por radiación Acero al carbono (A36)

Cálculo de pérdida por radiación (metal más aislante) del área del equipo; se considera los datos detallados en la tabla 11.

Área externa: $A = 0.6076 \text{ m}^2$;

Emisividad: $\varepsilon = 0.7$ y

Constante de Stefan-Boltzmann: $\sigma = 5.67 * 10^{-8}$

$$Q_{rad} = \varepsilon * \sigma * A_{externa} (T_{intrerna}^4 - T_{ambiente}^4)$$

$$Q_{rad} = 0.7 * 5.67 * 10^{-8} * 0.6076 (493.15^4 - 298.15^4)$$

$$Q_{rad} = 1235.751 W$$

Por lo tanto, se concluye que para el material Acero al carbono (A36), la pérdida por radiación es de 1235.751 W.

❖ Flujo de calor por convección Acero al carbono (A36)

Cálculo de pérdida por convección (metal más aislante) del área del equipo, considerando datos de la tabla 11.

$$\text{Coeficiente de convección natural: } 10 \frac{W}{m^2}$$

Por lo tanto, reemplazando datos en ecuación (8), para encontrar el flujo de calor por convección del material Acero al carbono (A36):

$$Q_{convec} = h * A * \Delta T$$

$$Q_{convec} = 10 * 0.6076 * 195$$

$$Q_{convec} = 1184.82W$$

Por lo tanto, se concluye que para el material Acero al carbono (A36), la pérdida por convección es de 1 184.82 W.

❖ Flujo total de calor

A continuación, se calcula la energía total disipada en un tiempo de 10 minutos, reemplazando datos en la fórmula matemática (9):

$$Q_{total} = Q_{aire} + (Q_{conducción} + Q_{radiación} + Q_{convección}) * t$$

$$Q_{total} = 4350 J + (132.903 W + 1235.751 W + 1184.82W) * 660 \text{ segundos.}$$

$$Q_{total} = 1 536 434.4 J = 1 536.4344 kJ$$

❖ Potencia total

La potencia total del mini horno eléctrico fabricado con este tercer material sería, reemplazando en fórmula matemática (10).

$$P = \frac{Q_{total}}{t}$$

$$P = \frac{1\,536\,434.4\text{ J}}{660\text{ seg.}}$$

$$P = 2\,327.93\text{ W} = 2.3\text{ KW}$$

❖ Resistencia eléctrica

Se calcula la resistencia eléctrica utilizando datos calculados del tercer material, teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Reemplazando datos en fórmula matemática (11):

$$R = \frac{V^2}{P}$$

$$R = \frac{(220\text{ V})^2}{2\,327.93\text{ W}} = 20.79\ \Omega$$

❖ Corriente eléctrica

Se calcula la corriente eléctrica utilizando datos obtenidos y teniendo en cuenta una red monofásica de 220 VAC. Reemplazar en fórmula matemática (12):

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{2\,327.93\text{ W}}{220\text{ V}} = 10.58\text{ A}$$

Tabla 13:*Resumen de los cálculos realizados*

Material	Conducción (W)	Radiación (W)	Convección (W)	Potencia total (W)	Tiempo estimado (s)
AISI 304 inoxidable	132.898	1412.286	1184.82	2 033. 86	660
Aluminio 6061-T6	132.909	353.072	1184.82	1 327. 93	660
Acero al carbono A36	132.903	1235.751	1184.82	2 327. 93	660

Nota: Cálculos realizados según los principios básicos de transferencia de calor.

De manera preliminar según los cálculos realizados de los tres tipos de materiales, el material adecuado para la estructura vendría siendo el ACERO AISI 304, debido a que cumple con mejores características para este tipo de aplicaciones, este indicador debe ser contrastado con la simulación térmica en software especializado ANSYS.

O.E.2. Diseñar la estructura del prototipo considerando análisis térmico con software CAD/CAE.

3.3. Diseño en software CAD de la estructura del mini horno eléctrico

El diseño de la estructura del mini horno eléctrico se desarrolló con un enfoque orientado a la eficiencia térmica, compacidad y seguridad en su uso experimental. La configuración adoptada corresponde a un sistema cerrado de forma rectangular prismático.

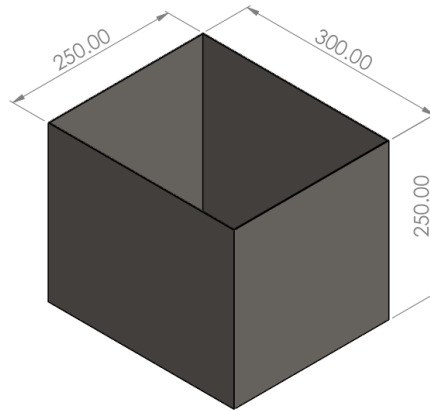
3.3.1. Diseño capa interna del mini horno eléctrico

Considerando dimensiones que se definió según el requerimiento del equipo, el cual se justificó con los cálculos del volumen útil, se procedió a diseñar en base a las dimensiones antes mencionadas. Entonces se realizó el diseño de la capa interna, el cual se empezó creando un plano en vista alzado dentro del software de diseño mecánico, luego se realizó el croquis y se asignó medidas ya definidas, seguidamente se procedió a ejecutar la operación extruir/corte,

generando la estructura de la capa interna, ver figura 11.

Figura 11:

Estructura interna del mini horno eléctrico



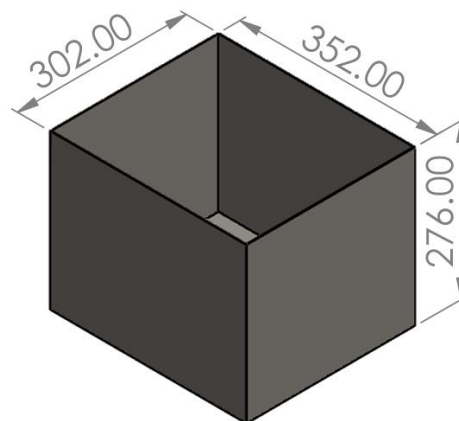
Nota: Dimensiones de la capa interna del equipo.

3.3.2. Diseño de la capa externa del mini horno eléctrico

Considerando las dimensiones definidas en el requerimiento para esta capa, se procedió al diseño, ver figura 12

Figura 12:

Estructura externa del mini horno eléctrico



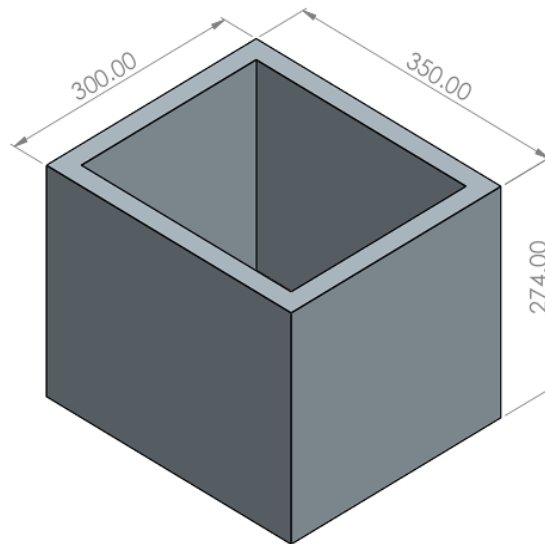
Nota: Dimensiones capa externa del equipo.

3.3.3. Diseño de la capa aislamiento térmico para el equipo

Considerando las propiedades térmicas y mecánicas descritas en la tabla 12, y cálculos por conducción convección y radiación; se procedió a diseñar la capa del aislante térmico definiendo un espesor de 25 mm, que fue el adecuado para aislar la conducción del calor de la capa interna de externa, ver figura 13.

Figura 13:

Aislamiento térmico del mini horno eléctrico

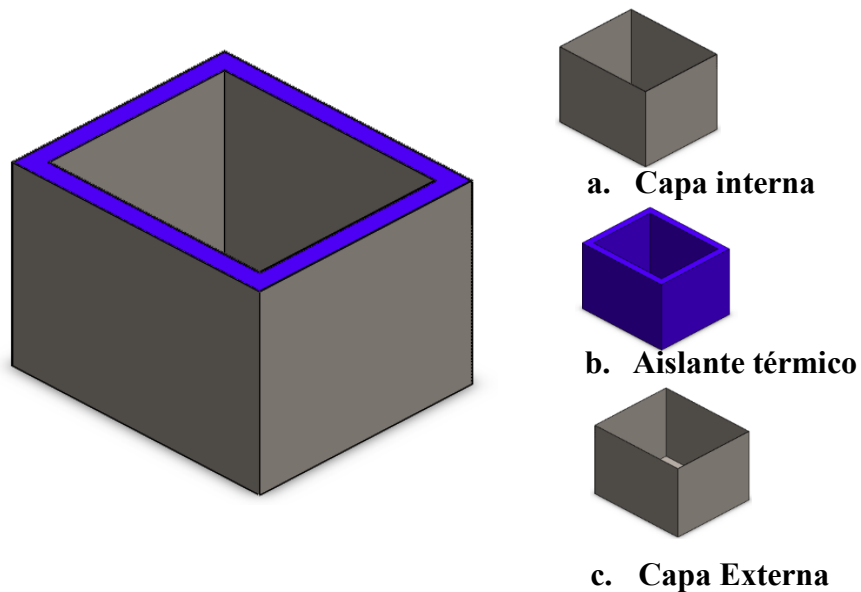


Nota: Dimensiones de la capa – aislante térmico de lana mineral fibra de vidrio.

Realizado el diseño, se procedió a ensamblar las tres capas mencionadas para luego exportar la geometría mecánica al software ANSYS y así ejecutar la simulación térmica, ver figura 14.

Figura 14:

Ensamblaje en software CAD de las 3 capas del mini horno eléctrico



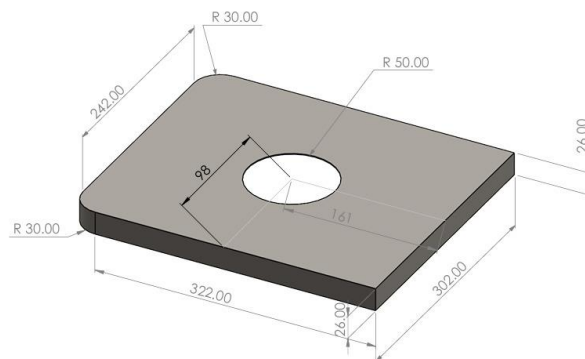
Nota: Ensamblaje de tres capas del equipo.

3.3.4. Diseño de la puerta del mini horno

Realizado ensamblaje de las tres capas se procedió a realizar el diseño de la puerta del prototipo, considerando las dimensiones adecuadas para lograr hermetizar el calor dentro del área de cocción, así mismo se vio conveniente dejar un espacio circular, donde se colocará un vidrio templado, el cual servirá para ir monitoreando el proceso de cocción de las muestras, ver figura 15.

Figura 15:

Diseño de la puerta del mini horno



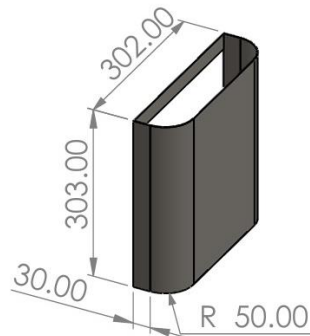
Nota: Mediciones asignadas a la puerta del equipo.

3.3.5. Diseño de la estructura para el sistema de control y potencia

Se determinó la ubicación adecuada del sistema, para luego proceder a realizar el diseño del área donde posteriormente se colocará la placa electrónica para el control automático de la temperatura del prototipo, ver figura 16.

Figura 16:

Diseño de la estructura para el sistema de control y potencia



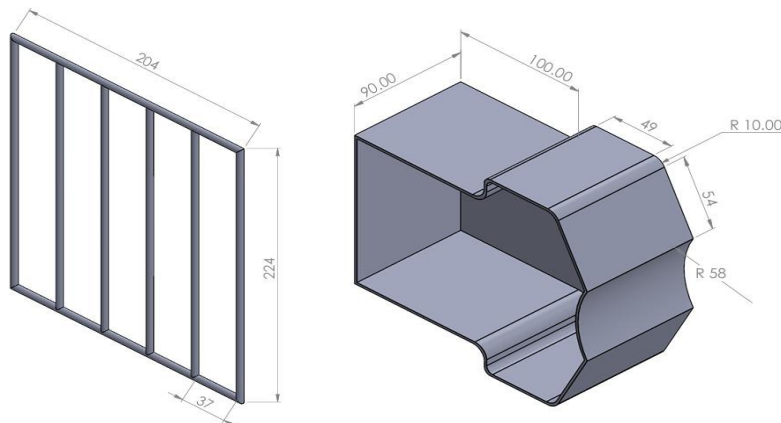
Nota: Área para la ubicación del sistema electrónico y terminales de actuadores.

3.3.6. Diseño de parrilla y molde para horneado de las muestras experimentales

Para el horneado de las muestras experimentales se diseñó un molde y una parrilla, las cuales se encuentran en el área interna del mini horno, función de la parrilla es sostener el molde para evitar el contacto directo con las resistencias eléctricas, la parrilla se diseñó y fabricó de acero INOX AISI 304 y el molde es de material aluminio, ver figura 17.

Figura 17:

Molde y parrilla para horneado de muestras



3.4. Simulación térmica estática (Steady-State Thermal) de la estructura en ANSYS

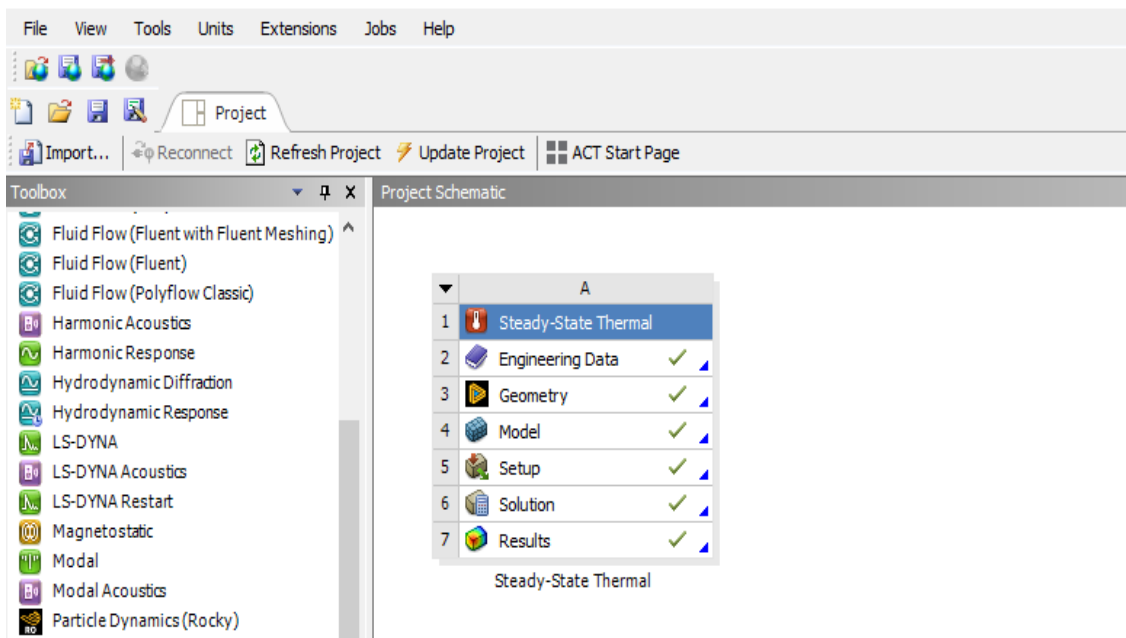
Con la finalidad de validar el comportamiento térmico del horno eléctrico en condiciones de operación estacionaria, se realizaron simulaciones comparativas mediante el software ANSYS Workbench, empleando el módulo Steady-State Thermal (Majeed 2022).

Este análisis permitió estudiar la distribución de temperatura en el horno cuando se alcanza el equilibrio térmico, es decir, sin variación de temperatura respecto al tiempo, considerando tres configuraciones distintas de material estructural: acero inoxidable AISI 304, aluminio 6061-T6 y acero al carbono A36.

El objetivo principal fue determinar cuál de los tres materiales estructurales permite una mejor retención del calor dentro de la cámara del horno y una menor transferencia térmica hacia el exterior, evaluando así la eficiencia del aislamiento (Esaú 2016).

Figura 18:

Entorno del ANSYS Workbench, módulo Steady-State Thermal



a. Definición de materiales

Para esta primera simulación, se seleccionó el acero inoxidable AISI 304 como material de la carcasa exterior e interior del mini horno. Por lo que, se procedió a ingresar los datos de las propiedades térmicas del material en el apartado Engineering Data.

Figura 19:

Engineering Data propiedades térmicas del material

The image shows a screenshot of the 'Outline of Schematic A2: Engineering Data' window. It contains three tables: a main outline table, a table for 'fibradevidriotipoE' properties, and a table for 'Structural Steel' properties.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	fibradevidriotipoE				
4	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Properties of Outline Row 3: fibradevidriotipoE			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	96	kg m ⁻³
4	Isotropic Thermal Conductivity	0.04	W m ⁻¹ K ⁻¹
5	Specific Heat Constant Pressure, C _p	800	J kg ⁻¹ K ⁻¹

Properties of Outline Row 4: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Material Field Variables	Table	
3	Density	8000	kg m ⁻³
4	Isotropic Thermal Conductivity	16	W m ⁻¹ C ⁻¹
5	Specific Heat Constant Pressure, C _p	500	J kg ⁻¹ K ⁻¹

Nota: Las propiedades térmicas que se consideraron fueron la densidad, la conductividad térmica y el calor específico.

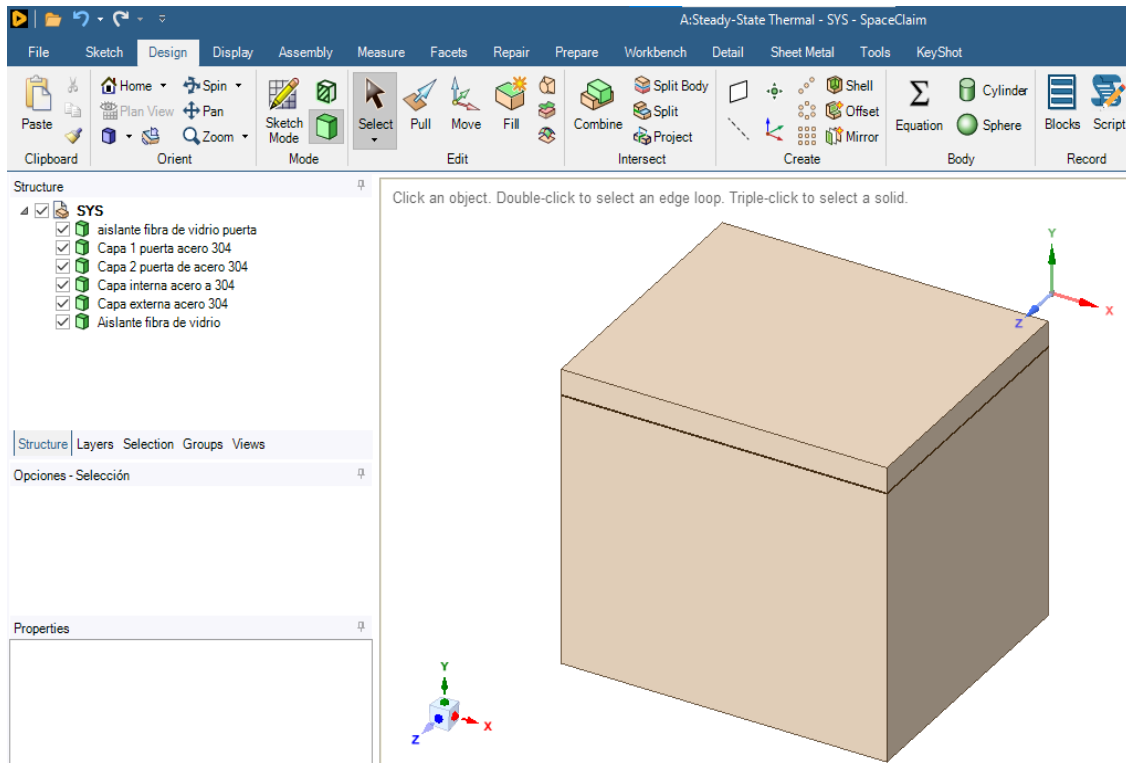
b. Importación de la geometría

La geometría del horno fue diseñada previamente en el software SolidWorks (versión estudiante), con las tres capas: cámara interior (acero AISI 304), aislante térmico (fibra de vidrio tipo E) y carcasa externa (acero AISI 304). Esta geometría fue exportada en formato

STEP (.stp) y posteriormente importada al entorno de ANSYS (geometry), (Gonzales et al. 2020).

Figura 20:

Geometría de mini horno importado al módulo de ANSYS.



Nota: Ventana del Módulo Steady-State Thermal-SpaceClaim-ANSYS R1 2025

c. Mallado de la geometría del mini horno eléctrico.

Se generó una malla tridimensional compuesta por elementos finitos de tipo tetraédrico, adecuada para geometrías complejas con múltiples capas.

Se aplicó refinamiento local en las interfaces entre la cámara interior, el aislante y la carcasa externa, a fin de capturar con mayor precisión los gradientes térmicos en las zonas de mayor cambio de conductividad (Simbaña 2025).

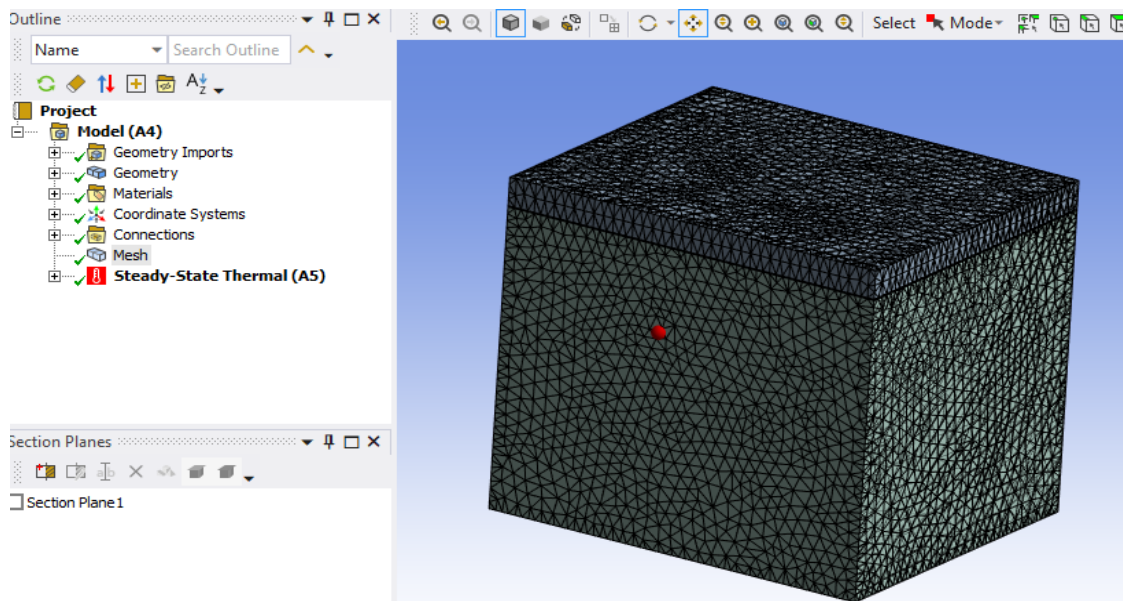
El tamaño del elemento fue de 5 mm para lograr un equilibrio entre la precisión numérica y el tiempo de cómputo, garantizando la convergencia de la solución y la correcta

transmisión del flujo de calor entre los materiales.

La calidad de la malla fue verificada mediante los parámetros de distorsión y aspecto, garantizando valores dentro del rango recomendado por el software para una simulación térmica confiable (Calderón and Herencia 2025).

Figura 21:

Mallado de la estructura del mini horno eléctrico



Fuente: Elaboración propia mediante ANSYS Workbench.

d. Condiciones de frontera.

Se impuso una temperatura fija de 220 °C en la cara interna del horno, correspondiente a la temperatura típica de operación durante el proceso de cocción del sartén.

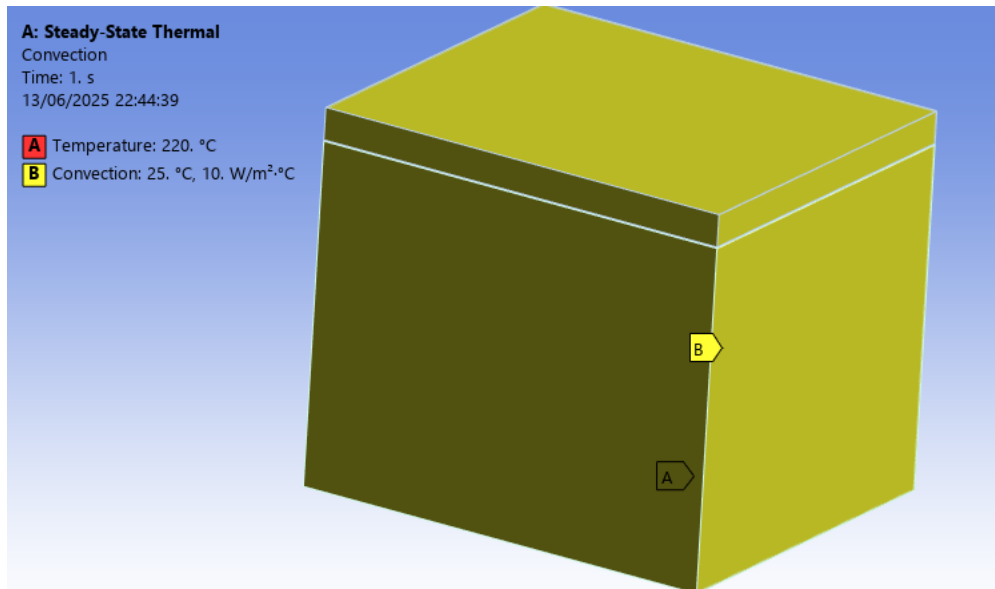
En la superficie externa de la carcasa se aplicó una condición de convección natural con un coeficiente de transferencia térmica de 10 W/m²·K (Holman 2019), y una temperatura ambiente de 25 °C.

Estas condiciones permitieron simular el comportamiento térmico del horno en régimen estacionario, representando una situación de operación continua con disipación térmica hacia

el entorno.

Figura 22:

Condiciones de frontera, temperatura y convección



Fuente: Elaboración propia mediante ANSYS Workbench.

3.3.1. Resultados de la Simulación térmica con el acero AISI 304 y Aislante fibra de vidrio tipo E

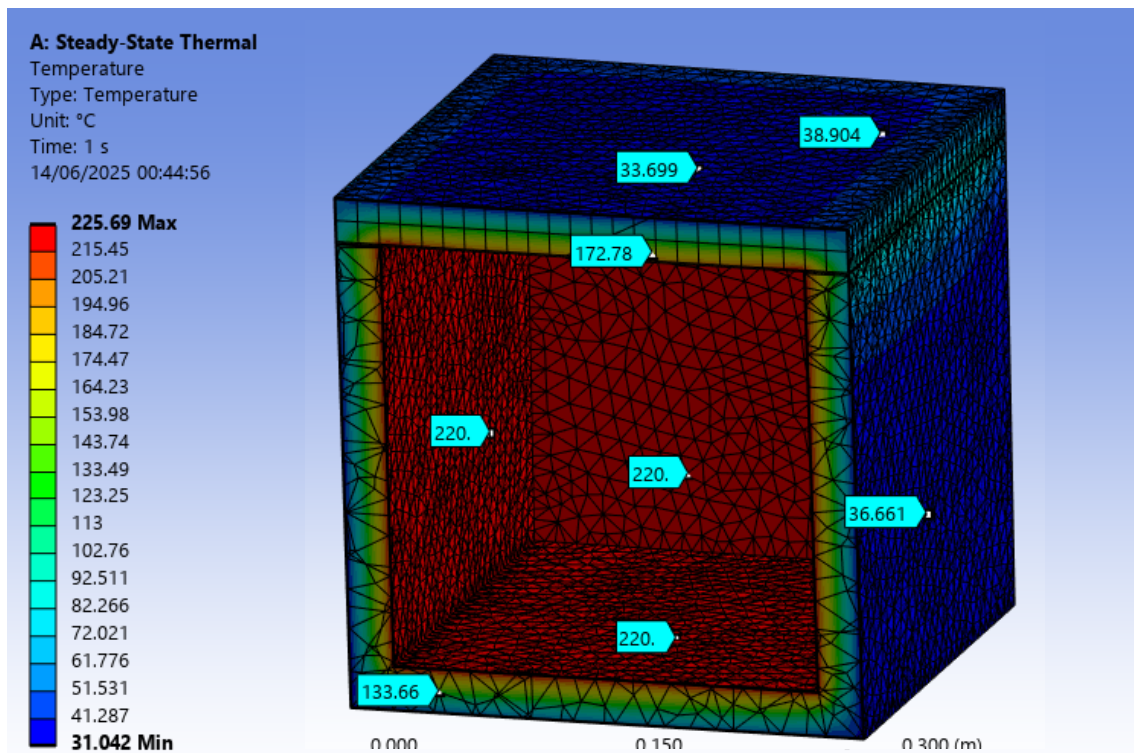
Con la malla definida y las condiciones de frontera asignadas, se procedió a ejecutar el análisis térmico en estado estacionario. El sistema resolvió sin errores, logrando convergencia numérica adecuada.

El software generó los resultados correspondientes al perfil de temperaturas en todo el dominio, permitiendo observar la distribución térmica entre las distintas capas del mini horno eléctrico.

Para el análisis se aplicó una condición de temperatura fija de 220°C en la superficie interna de la cámara de cocción, mientras que en la superficie externa del horno se demuestra una condición de convección natural, con temperatura ambiente de 25°C y un coeficiente de transferencia térmica de 10 W/m²·K (Montes 2024).

Figura 23:

Distribución del calor en el interior del mini horno eléctrico (Acero inoxidable AISI 304)



Con el propósito de analizar la disipación del calor a través de las capas del horno, se realizó un corte transversal del modelo. En el volumen interno se mantuvo una temperatura constante de 220°C, mientras que en el interior del aislante térmico las temperaturas disminuyen progresivamente, alcanzando valores de 172.8°C y 133.7°C, la cara superior registró temperaturas de 33.7°C a 38.9°C, mientras que en la cara lateral derecha se alcanzó 36.6°C.

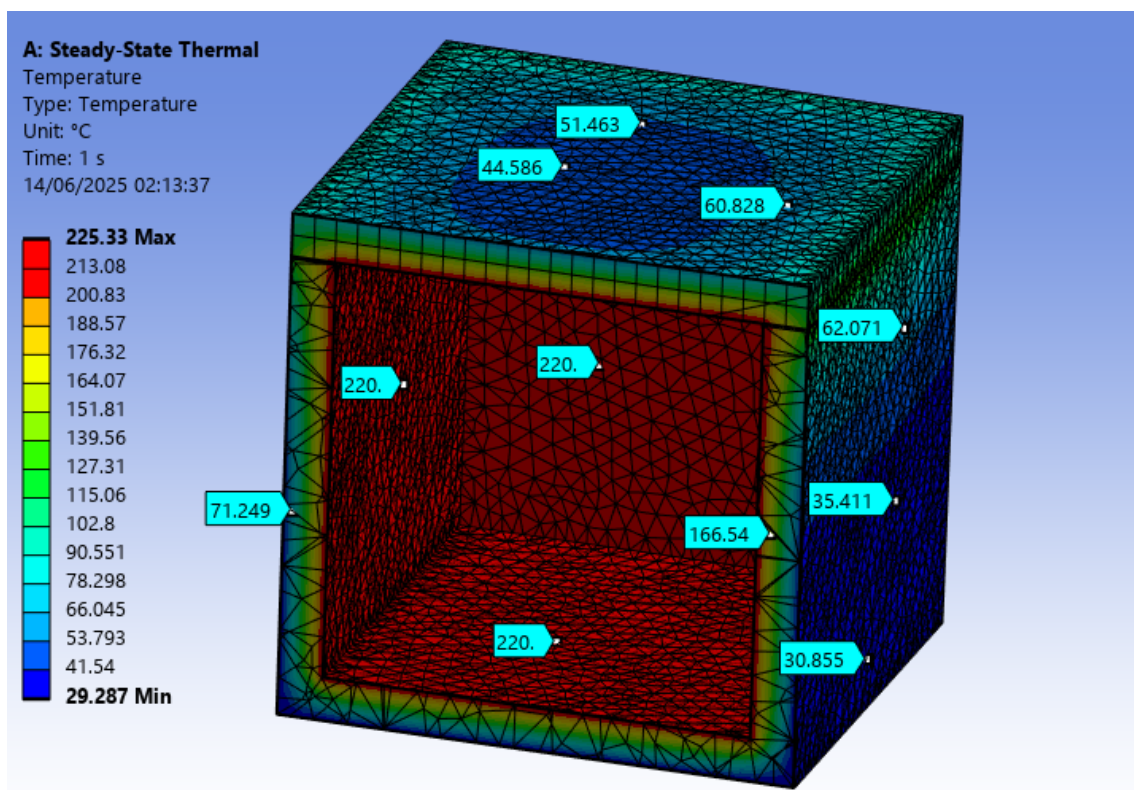
Los resultados confirmaron disipación térmica progresiva y controlada desde la cámara de cocción hacia la carcasa externa, validando la eficacia del aislamiento térmico. Las temperaturas en la superficie externa se mantuvieron en los límites de seguridad establecidos por las normas internacionales para superficies metálicas accesibles.

3.3.2. Resultados de la Simulación térmica con Aluminio y aislante Manta fibra de vidrio

En este caso, se analizó el comportamiento térmico del mini horno considerando el material de aluminio 6061-T6. Se mantuvieron las mismas condiciones de contorno empleadas en la simulación anterior, con el objetivo de evaluar el efecto de las propiedades térmicas del aluminio sobre la distribución de temperatura en la estructura del equipo.

Figura 24:

Distribución de del calor en el mini horno eléctrico (aluminio 6061-T6)



En la figura 24 se presenta la distribución térmica del horno cuando se utilizó aluminio 6061-T6 y aislante térmico Manta fibra de vidrio, la temperatura en la cámara interna se mantuvo estable en 220°C, mientras que en el interior del aislante térmico se observaron valores que disminuyeron progresivamente, alcanzando 166.5°C en la zona más cercana a la carcasa, con este material se observará una alta transferencia de calor a través de las capas del horno. La temperatura al final del aislamiento térmico alcanzó los 71,2°C, lo que evidencia una

menor resistencia al flujo térmico en comparación con otros materiales.

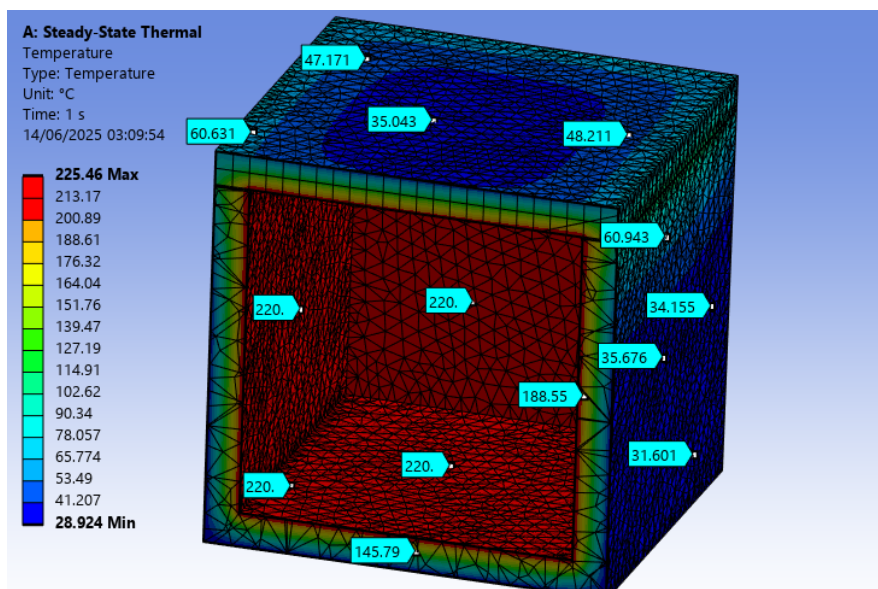
El aislante manta de fibra de vidrio logró reducir la temperatura interna de 220°C a 71.2°C, cumpliendo su función. Sin embargo, la alta conductividad del aluminio facilitó que el calor llegara rápidamente a la superficie externa, comprometiendo la eficiencia térmica del sistema y elevando la temperatura en la carcasa más allá de los límites de seguridad recomendados.

3.3.3. Resultados de la Simulación térmica con el acero al carbono A36 y aislante fibra de vidrio tipo E

Se analizó el comportamiento térmico del horno utilizando acero al carbono A36, se aplicó una temperatura interna de 220°C, con convección externa a 25°C ($h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$), y se utilizó fibra de vidrio tipo E como aislante térmico, bajo las mismas condiciones que los casos anteriores.

Figura 25:

Distribución de del calor en el mini horno eléctrico (Acero A36)



En la figura 25 el análisis térmico mostró que la temperatura interna del horno se mantuvo constante en 220°C, mientras que en la superficie externa de la carcasa se observaron

temperaturas entre 31.3°C y 60.0°C, dependiendo de la zona de la estructura. En la parte superior, la temperatura alcanzó aproximadamente 48°C, y en las zonas con mayor exposición, como el área frontal o laterales, se registraron valores cercanos a los 60°C.

La fibra de vidrio tipo E logró reducir de forma progresiva la temperatura desde el interior hasta la superficie externa. Aunque el acero al carbono A36 posee una conductividad térmica mayor que la del acero inoxidable, sus temperaturas superficiales se mantuvieron dentro del rango aceptable para superficies metálicas accesibles, según normativas internacionales.

El acero A36 no presenta resistencia a la corrosión, lo que lo hace vulnerable a la oxidación a altas temperaturas y en ambientes húmedos, afectando su durabilidad si no se protege adecuadamente. Aunque térmicamente es funcional, su uso requiere tratamiento superficial o recubrimiento para aplicaciones prolongadas.

3.3.4. Elección del material adecuado para la fabricación del prototipo

Tabla 14:

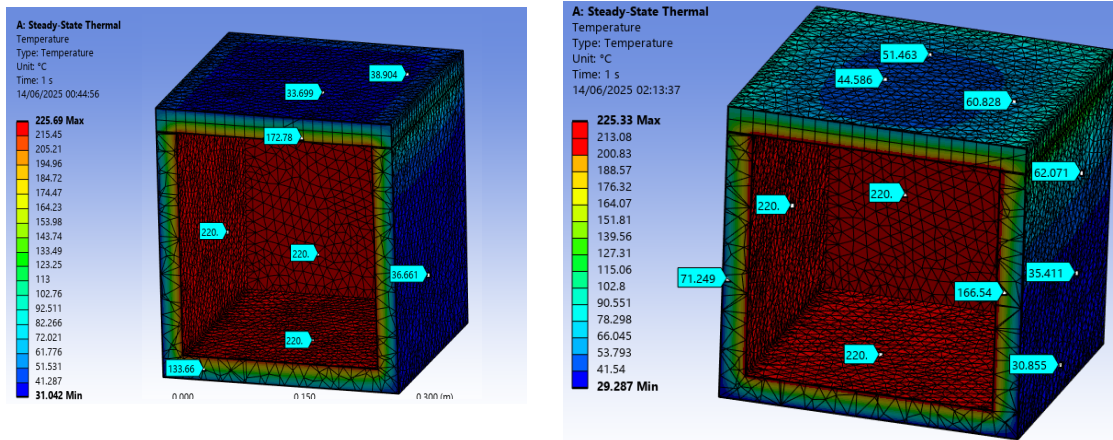
Resumen comparativo de los materiales evaluados

Material de carcasa	Aislante usado	Temp. interna (°C)	Temp. externa máx. (°C)	¿Cumple límite ≤ 65 °C?	Observaciones
AISI 304 inoxidable	Fibra de vidrio tipo E	220	38.9	Sí	Buen aislamiento, seguro y resistente a la corrosión.
Aluminio 6061-T6	Fibra de vidrio tipo E	220	> 65 (estimado)	No	Alta conductividad, supera el límite de seguridad térmica
Acero al carbono A36	Fibra de vidrio tipo E	220	60	Sí	Funciona, pero requiere protección contra oxidación

Nota: Valores de temperatura tomados de análisis con ANSYS.

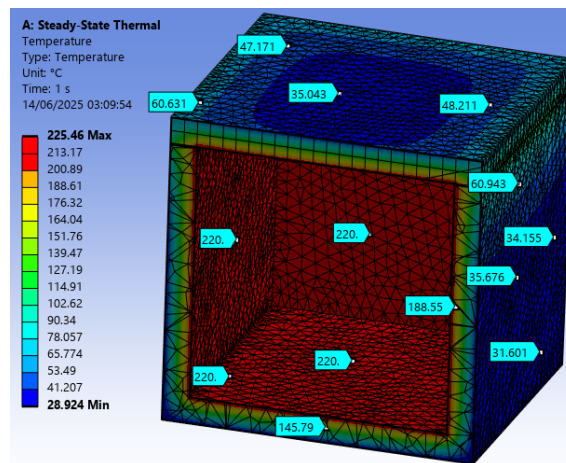
Figura 26:

Simulación comparativa de los 3 materiales evaluados



a) Análisis con acero AISI 304

b) Análisis con aluminio 6061-



c) Análisis con Acero A36

De los tres materiales evaluados, el acero inoxidable AISI 304 demostró un comportamiento térmico superior en términos de transferencia de calor controlada, manteniendo la temperatura superficial externa por debajo de los **65°C** (IEC 2025). Esta característica asegura condiciones de operación seguras para el usuario, sin comprometer la eficiencia del sistema. Su baja conductividad térmica permitió limitar el flujo de calor hacia el exterior, evidenciando una disipación gradual y estable a través del sistema multicapa.

El aluminio 6061-T6, a pesar de haber sido combinado con un aislante de mayor capacidad térmica, presentó una rápida conducción del calor hacia la superficie externa, superando los límites de seguridad térmica establecidos por las normativas internacionales

(IEC 2025). Este resultado reflejó su alta conductividad, lo que lo hace inadecuado para aplicaciones donde la temperatura superficial debe permanecer contenida.

El acero al carbono A36 mostró un rendimiento intermedio, si bien mantuvo las temperaturas externas dentro del rango permitido $\leq 65\text{ °C}$ (IEC 2025), su mayor conductividad en comparación con el AISI 304 y su vulnerabilidad a la oxidación plantean limitaciones para su uso prolongado sin tratamientos de protección.

En función de estos resultados, seleccionó el acero inoxidable AISI 304 como el material más adecuado para la carcasa externa e interna del horno. Esta elección permitió continuar con un análisis térmico transitorio, orientado a evaluar el comportamiento del sistema en función del tiempo y bajo condiciones operativas representativas, con el objetivo de predecir su desempeño en escenarios reales de uso.

3.4. Simulación térmica transitoria (Transient Thermal) de la estructura en con el material elegido Acero inoxidable AISI 304

Se llevó a cabo un análisis térmico transitorio con el propósito de evaluar el comportamiento térmico del horno fabricado íntegramente en acero inoxidable AISI 304, sometido a una condición de calentamiento en el tiempo. Para este análisis, se aplicó un flujo de calor total (heat flow) en la superficie interna del horno, simulando la transferencia de energía desde una fuente térmica activa durante la fase de encendido.

a. Definición de los materiales

En módulo Transient Thermal de Workbench Ansys en el apartado Engineering Data se ingresó las propiedades térmicas de los materiales (Steel AISI 304 y fibra de vidrio tipo E).

Las principales propiedades térmicas a considerar son, densidad, conductividad térmica y calor específico.

Figura 27:

Configuración de materiales para el análisis Transient Thermal.

The image shows three screenshots from the ANSYS Workbench Engineering Data interface. The top screenshot, titled 'Outline of Schematic A2: Engineering Data', shows a table with columns A, B, C, D, and E. Row 4 is highlighted, showing 'Structural Steel' in column A and 'Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1' in column E. The middle screenshot, titled 'Properties of Outline Row 4: Structural Steel', shows a table with columns A, B, C, D, and E. Row 3 is highlighted, showing 'Density' in column A, '8000' in column B, and 'kg m^-3' in column C. The bottom screenshot, titled 'Properties of Outline Row 3: fibradevidriotipoE', shows a table with columns A, B, C, D, and E. Row 3 is highlighted, showing 'Density' in column A, '96' in column B, and 'kg m^-3' in column C.

Outline of Schematic A2: Engineering Data					
	A	B	C	D	E
1	Contents of Engineering Data			Source	Description
2	Material				
3	fibradevidriotipoE				
4	Structural Steel				Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5 -110.1
*	Click here to add a new material				

Properties of Outline Row 4: Structural Steel					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	8000	kg m^-3		
4	Isotropic Thermal Conductivity	16	W m^-1 K^-1		
5	Specific Heat Constant Pressure, C _p	500	J kg^-1 K^-1		

Properties of Outline Row 3: fibradevidriotipoE					
	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	96	kg m^-3		
4	Isotropic Thermal Conductivity	0.04	W m^-1 K^-1		
5	Specific Heat Constant Pressure, C _p	800	J kg^-1 K^-1		

Nota: Realizado en Engineering data de Workbench Ansys -modulo transient Thermal

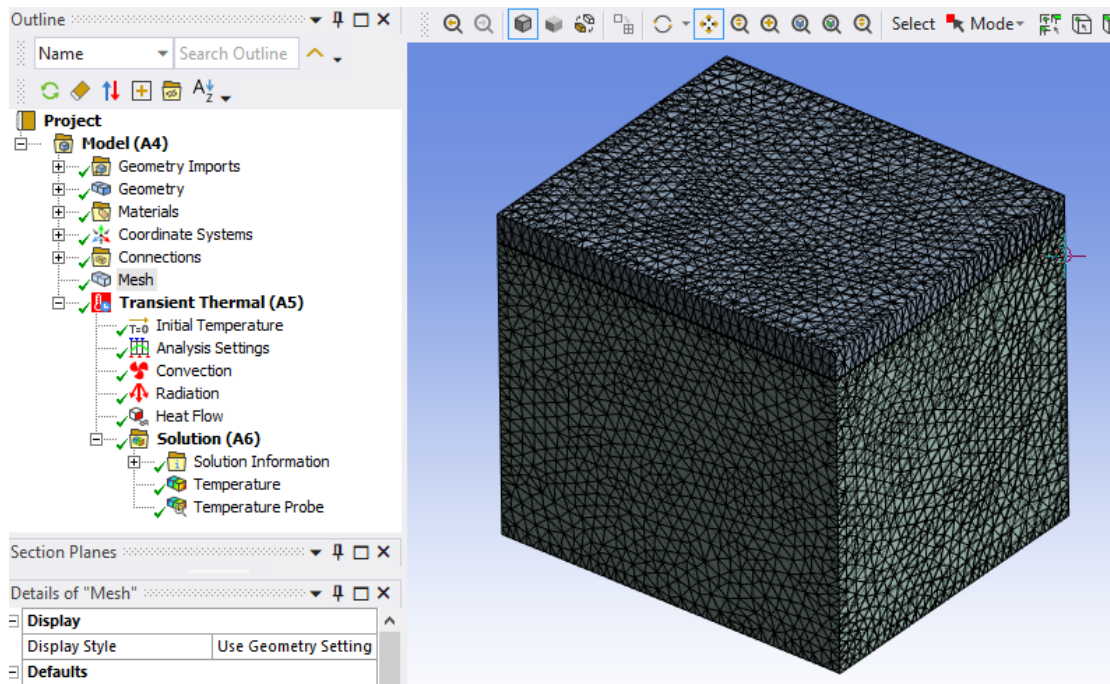
b. Geometría y mallado de la estructura

La geometría utilizada en el análisis corresponde a un horno cerrado de configuración rectangular, modelado íntegramente en acero inoxidable AISI 304, con dimensiones representativas de un equipo de laboratorio.

Para el estudio transitorio, se generó un mallado tridimensional compuesto por elementos finitos tipo tetraédrico, garantizando una adecuada resolución espacial de los gradientes térmicos.

Figura 28:

Geometría y mallado de la estructura metálica del mino horno eléctrico.



Fuente: Elaboración propia a través de Mechanical ANSYS Workbench

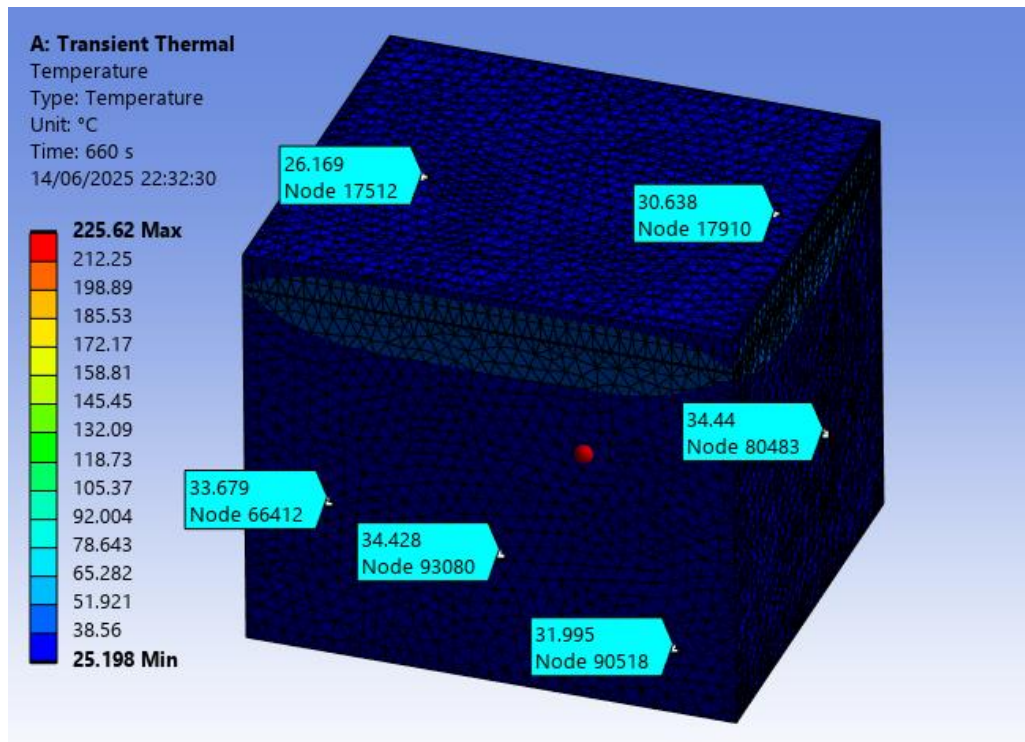
c. Simulación e interpretación de resultados.

Se realizó una simulación térmica transitoria aplicando un flujo de calor (head Flow) de 2000 W distribuido en la superficie interna del horno para representar el calentamiento de las resistencias. En la cara externa se definieron condiciones de convección natural ($h = 10 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, $T = 25^\circ\text{C}$) y radiación con una emisividad de 0.8, correspondiente al acero inoxidable. En relación con el aislante térmico se considera un valor de conductividad térmica de $0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

La simulación permitió observar la distribución de temperatura en el tiempo, teniendo en cuenta que el objetivo es llegar a 220°C , evaluar la eficiencia del material en la conducción térmica y aislamiento. Así mismo, verificar que la temperatura externa se mantuviera dentro de los márgenes de seguridad durante el proceso de calentamiento.

Figura 29:

Simulación térmica de la distribución de la temperatura parte externa



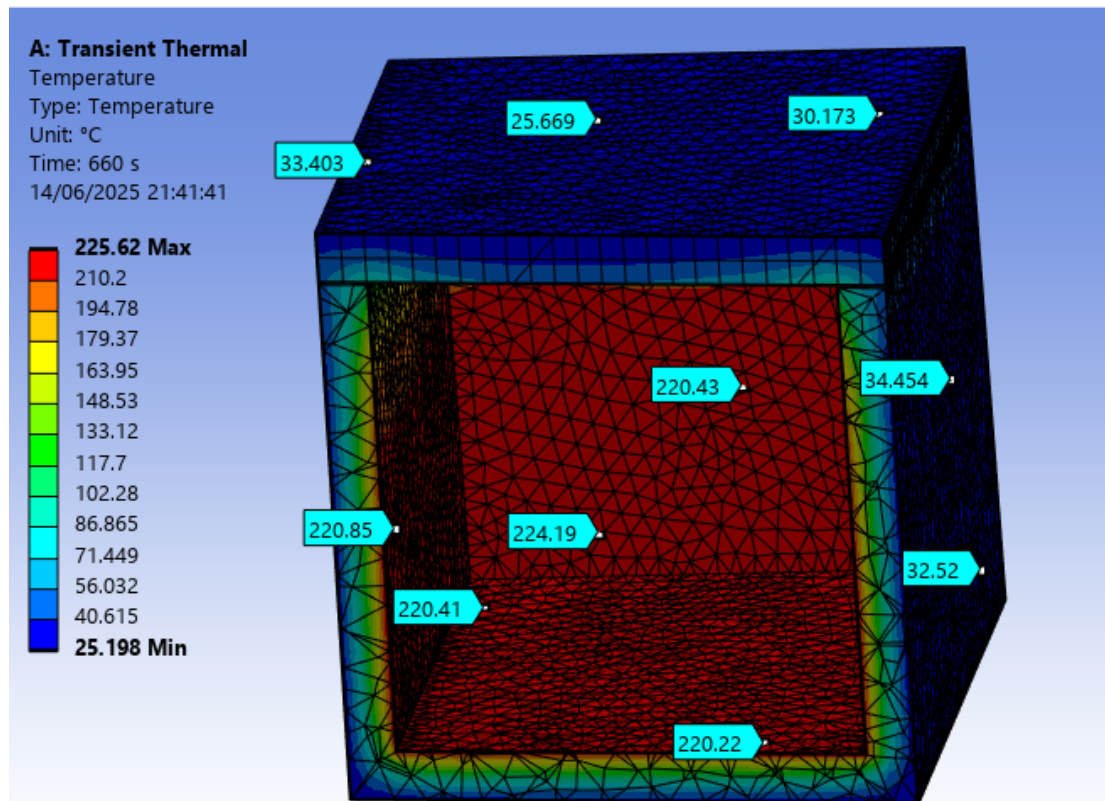
Fuente: Elaboración propia a través de Mechanical ANSYS Workbench

El objetivo principal fue verificar si el diseño propuesto permite alcanzar la temperatura interna mínima de 220 °C, necesaria para el proceso de panificación, para lograrlo, se aplicaron condiciones de temperatura constante a las superficies internas del horno, representando el efecto térmico de resistencias eléctricas distribuidas, después de 660 segundos (11 minutos) de simulación, se registró una temperatura máxima de 225,62 °C, lo que confirmó el cumplimiento de los requisitos funcionales del sistema.

Los nodos ubicados en la cara externa del horno presentaron temperaturas entre 26.17°C y 34.44°C, evidenciando un gradiente térmico marcado entre el interior y el exterior. Este comportamiento indica que el sistema de aislamiento térmico funciona adecuadamente, limitando la transferencia de calor hacia el ambiente y asegurando una alta eficiencia energética del horno.

Figura 30:

Simulación térmica de la distribución de la temperatura parte interna.



Nota: Elaboración propia a través del módulo Transient Thermal de ANSYS

La simulación muestra que, al alcanzar los 660 segundos (11 minutos), la temperatura interna se estabiliza entre 220.2°C y 225.6°C. Estos valores se presentan de manera uniforme en la zona central del horno, lo cual indica una distribución térmica adecuada para garantizar una cocción homogénea.

En cuanto a la potencia térmica requerida, se obtuvo un valor de 2000 W de total en la cámara interna, según el resultado del análisis numérico. Por tanto, la potencia total suministrada por el conjunto de resistencias debe alzar ese valor.

Esta distribución uniforme en el volumen útil del horno demuestra que el diseño térmico permite alcanzar las condiciones requeridas para procesos como el horneado de pan, cumpliendo con el objetivo funcional del sistema.

Figura 31:

Distribución de la temperatura vs el tiempo.

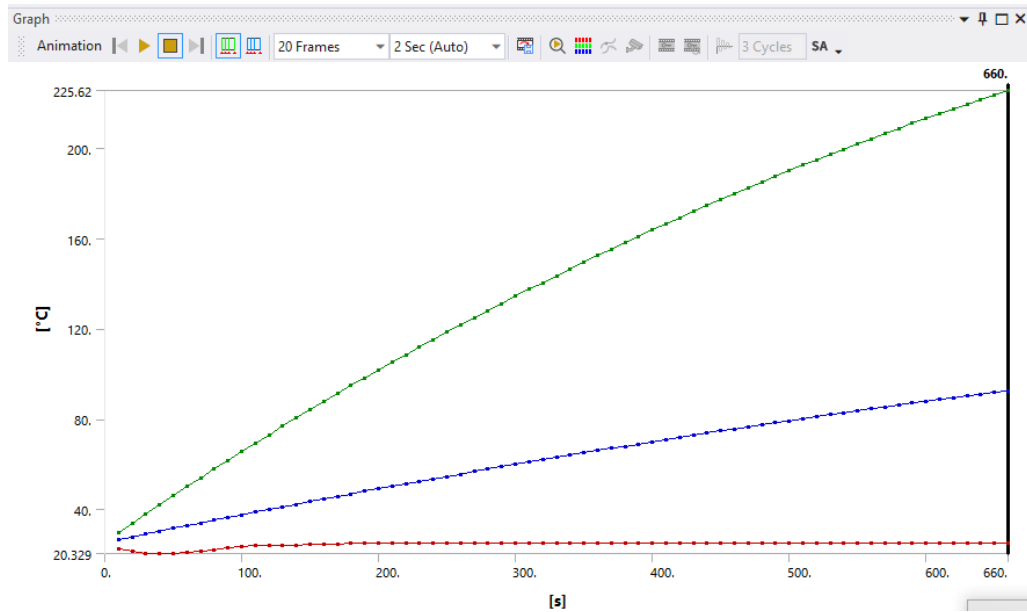


Tabla 15:

Datos de la distribución de la temperatura vs el tiempo.

	Time [s]	✓ Minimum [°C]	✓ Maximum [°C]	✓ Average [°C]						
	1	10.	22.522	29.552	26.32	34	340.	25.001	146.47	63.893
	2	20.	21.209	33.728	27.616	35	350.	25.004	149.43	64.905
	3	30.	20.547	37.8	28.895	36	360.	25.006	152.36	65.91
	4	40.	20.329	41.902	30.158	37	370.	25.007	155.25	66.907
	5	50.	20.411	45.948	31.409	38	380.	25.009	158.12	67.897
	6	60.	20.731	49.943	32.647	39	390.	25.01	160.95	68.881
	7	70.	21.229	53.893	33.874	40	400.	25.012	163.75	69.857
	8	80.	21.885	57.801	35.09	41	410.	25.014	166.52	70.825
	9	90.	22.679	61.665	36.296	42	420.	25.016	169.25	71.787
	10	100.	23.592	65.488	37.492	43	430.	25.019	171.96	72.741
	11	110.	23.966	69.27	38.679	44	440.	25.022	174.63	73.687
	12	120.	23.987	73.012	39.857	45	450.	25.025	177.27	74.627
	13	130.	24.042	76.716	41.027	46	460.	25.029	179.88	75.559
	14	140.	24.13	80.383	42.188	47	470.	25.032	182.45	76.483
	15	150.	24.25	84.015	43.342	48	480.	25.037	185.	77.4
	16	160.	24.401	87.609	44.488	49	490.	25.041	187.52	78.31
	17	170.	24.579	91.168	45.626	50	500.	25.046	190.	79.212
	18	180.	24.785	94.691	46.757	51	510.	25.052	192.45	80.106
	19	190.	24.927	98.179	47.881	52	520.	25.058	194.87	80.993
	20	200.	24.939	101.63	48.997	53	530.	25.064	197.26	81.873
	21	210.	24.956	105.05	50.106	54	540.	25.071	199.62	82.745
	22	220.	24.977	108.44	51.208	55	550.	25.078	201.95	83.609
	23	230.	24.978	111.79	52.304	56	560.	25.086	204.25	84.466
	24	240.	24.98	115.11	53.392	57	570.	25.095	206.52	85.315
	25	250.	24.981	118.39	54.473	58	580.	25.104	208.76	86.156
	26	260.	24.982	121.64	55.548	59	590.	25.113	210.97	86.99
	27	270.	24.984	124.86	56.615	60	600.	25.124	213.15	87.817
	28	280.	24.987	128.05	57.676	61	610.	25.135	215.3	88.635
	29	290.	24.99	131.2	58.729	62	620.	25.146	217.43	89.447
	30	300.	24.993	134.32	59.776	63	630.	25.158	219.52	90.25
	31	310.	24.994	137.4	60.816	64	640.	25.171	221.58	91.046
	32	320.	24.996	140.46	61.849	65	650.	25.184	223.61	91.835
	33	330.	24.998	143.48	62.874	66	660.	25.198	225.62	92.616

Nota: Máxima temperatura alcanzada en 660s. es de 225.62 °C

La temperatura máxima, inicia en 22.52°C y asciende progresivamente hasta alcanzar 225.62°C al minuto 11. Esta corresponde al volumen útil del horno, donde se concentra la mayor parte del flujo térmico aplicado.

La temperatura promedio refleja un incremento sostenido, alcanzando 92.62°C al final del análisis, lo cual demuestra una transferencia térmica efectiva desde las superficies calefactoras hacia el volumen total del sistema.

La temperatura mínima se mantiene en un rango bajo, estabilizándose alrededor de 25.20°C. Esto indica que el exterior del horno permanece a temperatura cercana al ambiente, confirmando el correcto funcionamiento del aislamiento térmico.

O.E.3. Manufacturar el prototipo de mini - horno, así como el sistema eléctrico y electrónico para el control automático de la temperatura.

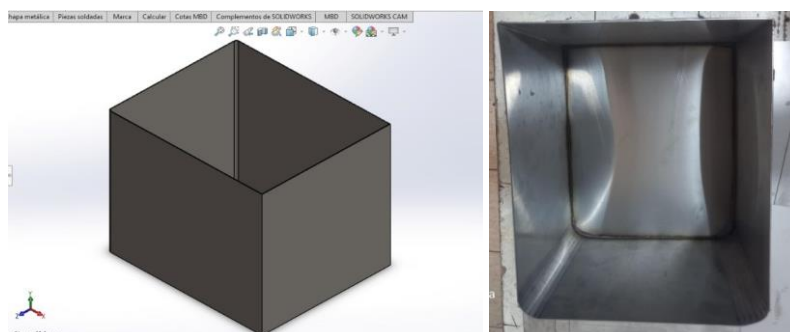
3.5. Manufactura de la estructura del mini horno eléctrico

3.5.1. Fabricación de la capa interna de la estructura

Considerando las medidas del diseño y la simulación térmica se procedió a realizar el corte, doblado y soldado del material elegido acero AISI 304, logrando fabricar la primera capa de la máquina, que constó de las siguientes medidas: 300mm. x 250mm. x 250mm. longitud, ancho y altura respectivamente, ver figura 32.

Figura 32:

Capa interna del minihorno: Diseño y fabricación.



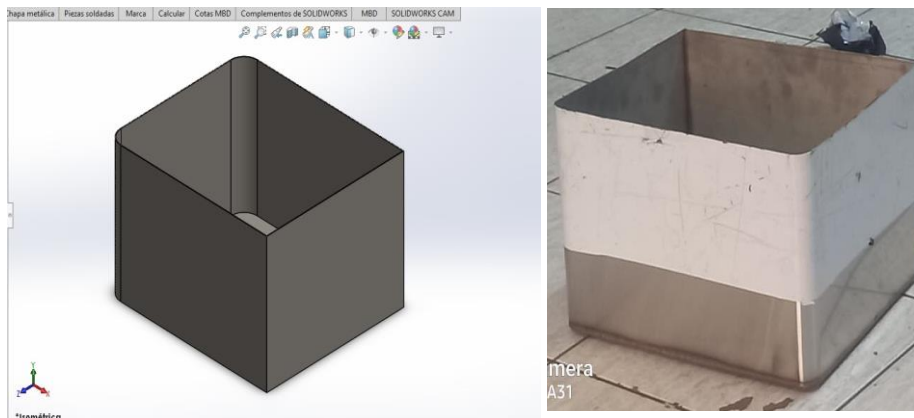
Nota: La figura 32 muestra el diseño estructural juntamente con la manufactura de la capa interna del equipo

3.5.2. Fabricación de la capa externa de la estructura

Considerando las medidas del diseño y la simulación térmica se procedió a realizar el corte, doblado y soldado del material elegido acero AISI 304, logrando fabricar la capa externa de la máquina, que constó de las siguientes medidas: 352mm. x 302mm. x 276mm. longitud, ancho y altura respectivamente, ver figura 33.

Figura 33:

Capa externa del minihorno: Diseño y fabricación.



Nota: La figura muestra el diseño estructural juntamente con la manufactura de la capa interna del equipo

3.5.3. Colocación de aislante térmico

Fabricadas la capa interna y externa, se procedió a colocar aislante térmico fibra de vidrio de un espesor de 25 mm. en las partes laterales e inferior de la estructura metálica, ver figura 34.

Figura 34:

Colocación del aislante térmico.



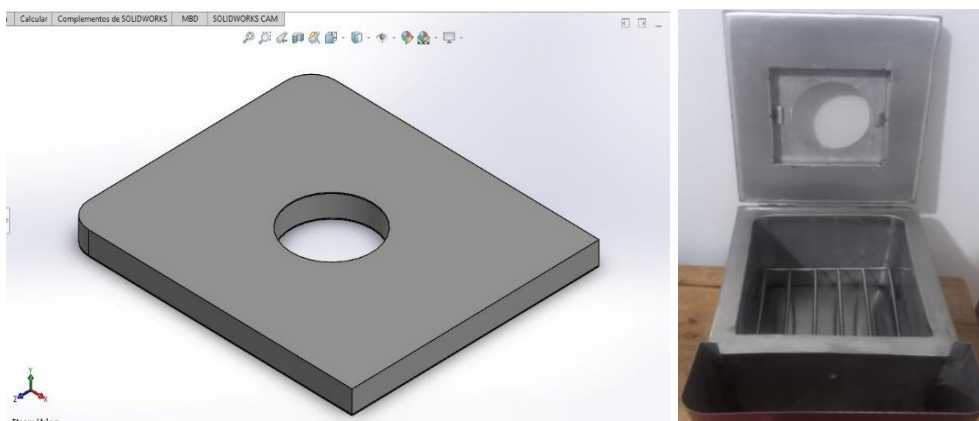
Nota: La figura muestra la manufactura de la colocación del aislante térmico en el equipo

3.5.4. Fabricación de la puerta del equipo

Considerando las medidas del diseño y la simulación térmica se procedió a realizar el corte, doblado y soldado del material elegido acero AISI 304, logrando fabricar las capas de la puerta de la máquina, que constó de las siguientes medidas: 352mm. x 302mm. x 26mm. longitud, ancho y altura respectivamente. Así mismo, se colocó el aislante térmico fibra de vidrio de 25mm. de espesor, y también se consideró un espacio circular para adaptación del vidrio templado con un radio de 50mm. que permitirá observar la cocción del producto, ver figura 35.

Figura 35:

Fabricación de la puerta del minihorno: Diseño y fabricación.



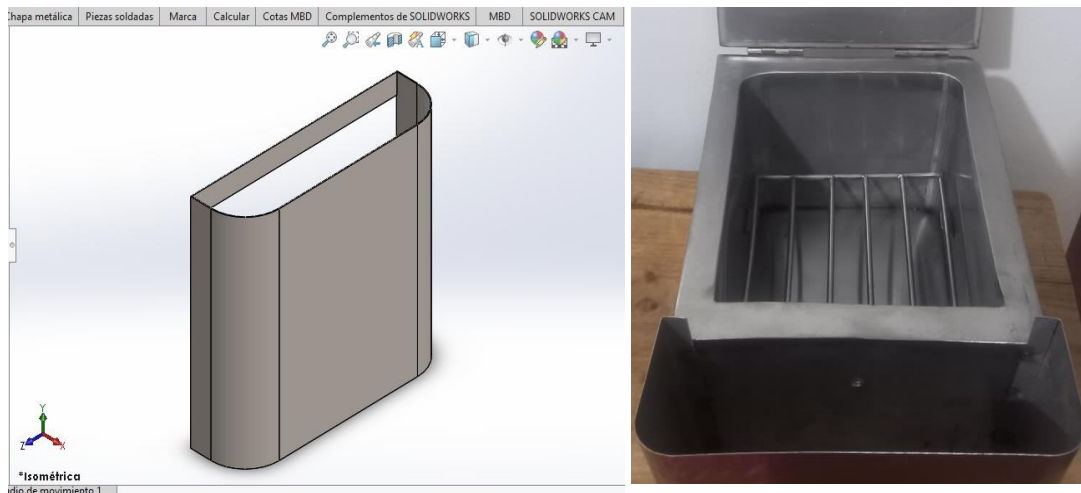
Nota: La figura 35 muestra el diseño estructural y la manufactura de la puerta del equipo.

3.5.5. Fabricación de accesorios del equipo

Considerando las medidas del diseño, se procedió a realizar el corte, doblado y soldado del material elegido acero AISI 304, logrando fabricar la capa de la estructura para adaptación del sistema de control, que constó de las siguientes medidas: 80mm. x 302mm. x 302mm. longitud, ancho y altura respectivamente. Así mismo, se realizó la parrilla con una varilla de acero AISI 304 con diámetro de 5 mm., la cual cumplirá con sujetar la bandeja y/o molde para pan de molde. Esta mini parrilla consta de las siguientes dimensiones 280mm. x 245mm. longitud y ancho respectivamente, ver figura 36.

Figura 36:

Fabricación estructura para sistema de control y parrilla de sujeción: Diseño y manufactura del prototipo



Nota: La figura muestra el diseño estructural y la manufactura del accesorio de adaptación para el sistema de control.

3.5.6. Ensamblaje de partes estructurales del minihorno

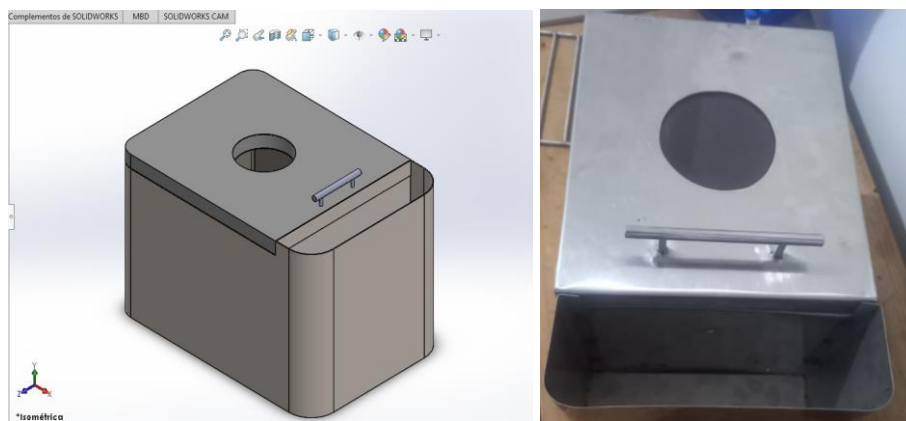
La finalidad del ensamblaje de las partes estructurales del minihorno fue lograr la

integración de cada componente diseñado y fabricado, de manera que la estructura final cumpla con los requisitos de resistencia, aislamiento y funcionalidad. Para ello, se unieron progresivamente las capas internas y externas, colocando entre ellas el aislante térmico que asegura la conservación del calor en el interior del horno. Posteriormente, se fabricó y acopló la puerta con su respectivo aislamiento y ventana de observación, garantizando un cierre hermético y seguro. Finalmente, se incorporan los accesorios, tales como la estructura de soporte para el sistema de control y la parrilla interna para las bandejas, completando así la unión de todas las partes.

De esta forma, el proceso de ensamblaje permitió consolidar en un solo cuerpo los elementos individuales fabricados, obteniendo una estructura compacta, robusta y lista para la integración de los sistemas eléctricos y electrónicos del minihorno, ver figura 37.

Figura 37:

Mini horno eléctrico, estructura ensamblada



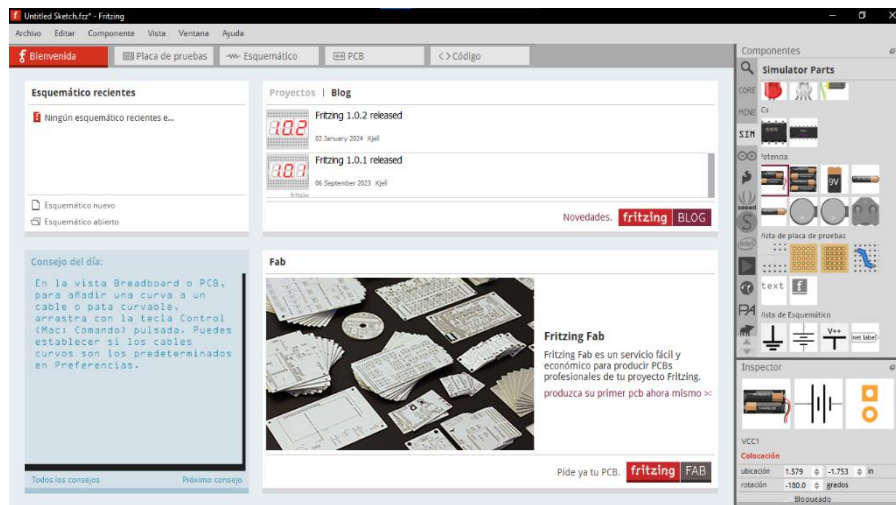
Nota: La figura muestra el diseño estructural y la manufactura del prototipo terminado.

3.6. Diseño de circuito electrónico para el sistema de control

Para el desarrollo del sistema electrónico de control de temperatura del mini horno se empleó el software FRITZING, el cual permitió esquematizar el circuito, validar la disposición de los componentes y posteriormente obtener el diseño de la placa de circuito impreso (PCB), ver figura 38.

Figura 38:

Interfaz de software fritzing



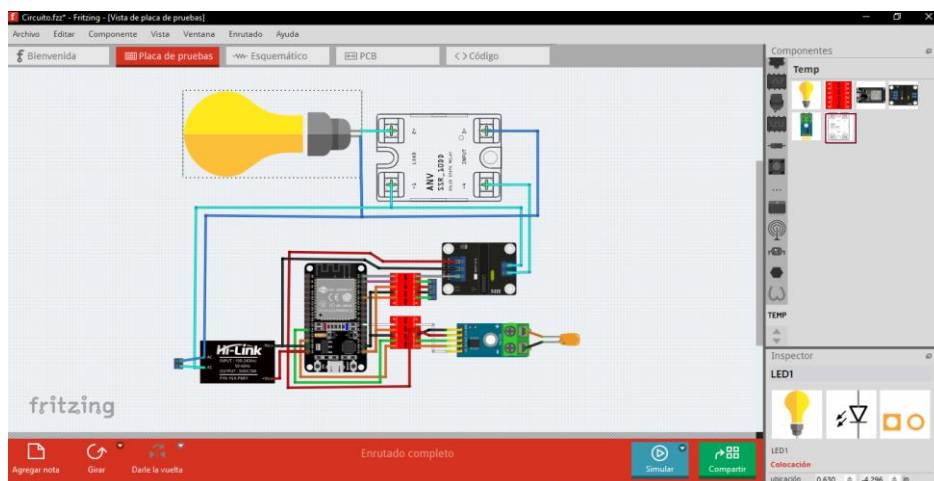
Nota: La figura muestra esquematizado en placa de pruebas del microcontrolador ESP32 y el sensor de temperatura.

3.6.1. Prototipado en placa de pruebas (Protoboard)

Se realizó la representación del montaje inicial del circuito, ubicando el microcontrolador, el sensor de temperatura y el módulo de control de potencia. Esta vista permitió verificar la correcta interconexión entre los pines del microcontrolador y los periféricos asociados antes de proceder con el conjunto físico, ver figura 39.

Figura 39:

Componentes electrónicos en interfaz placa de pruebas



Nota: La figura 39 muestra circuito integrado en protoboard.

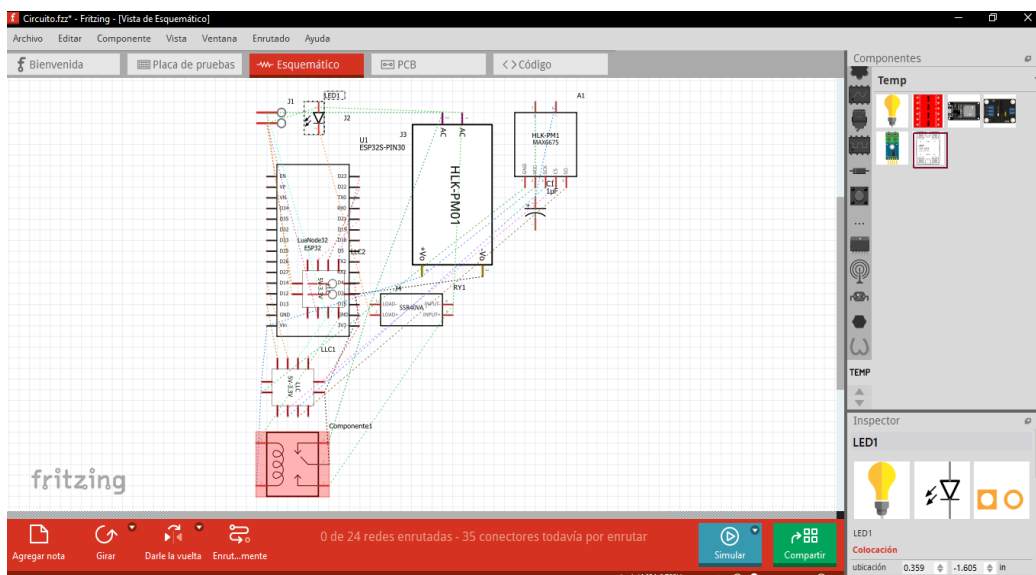
3.6.2. Elaboración del esquema eléctrico (Esquemático)

A partir del montaje preliminar, se generó el diagrama esquemático que muestra de manera clara la relación funcional entre los bloques del sistema, los cuales comprenden de:

- Unidad de medición; conformada por el sensor de temperatura (termopar tipo K con módulo acondicionador MAX6675)
- Unidad de control; basada en un microcontrolador ESP32, encargado de recibir la señal del sensor, ejecutar el algoritmo de control y generar la señal de mando
- Unidad de potencia: integrada por un transformador y un convertor 230 VAC / 5 VDC, que permite la conmutación segura de la resistencia calefactora del mini horno.
- Protecciones eléctricas: Interruptor de seguridad y conexión a tierra, implementadas para garantizar la seguridad operativa del sistema.

Figura 40:

Vista de Componentes electrónicos en interfaz esquemático



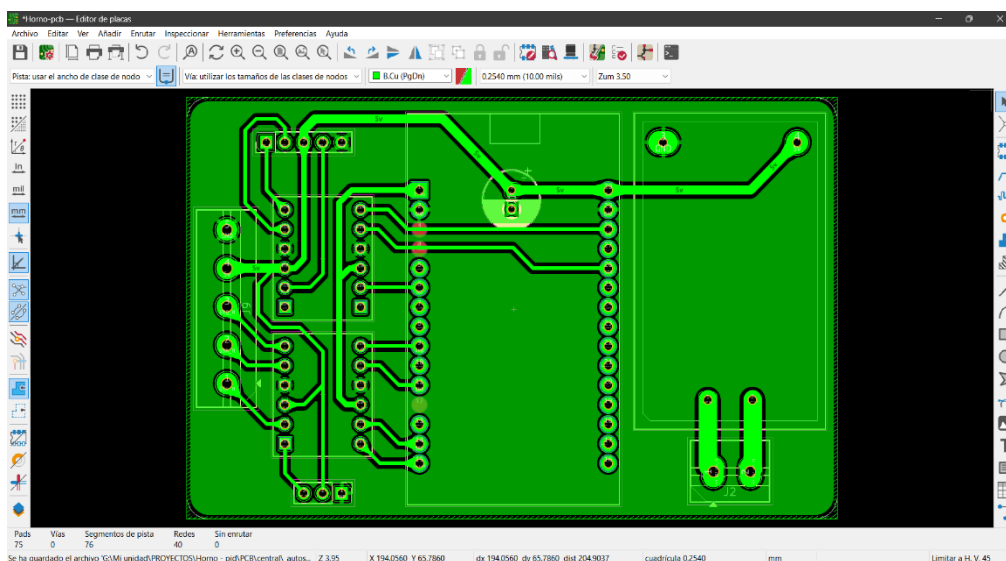
Nota: La figura muestra circuito integrado de los componentes en forma esquemática.

3.6.3. Diseño de la tarjeta de circuito impreso (PCB)

El software permitió trasladar el esquema eléctrico al diseño físico de la tarjeta, definiendo el ancho de las pistas de acuerdo con la corriente de trabajo, estableciendo la separación entre líneas de potencia y control. Asimismo, se incluyen terminales de conexión tipo pin para facilitar la integración del módulo con el mini horno experimental.

Figura 41:

Vista de componentes electrónicos en interfaz PCB



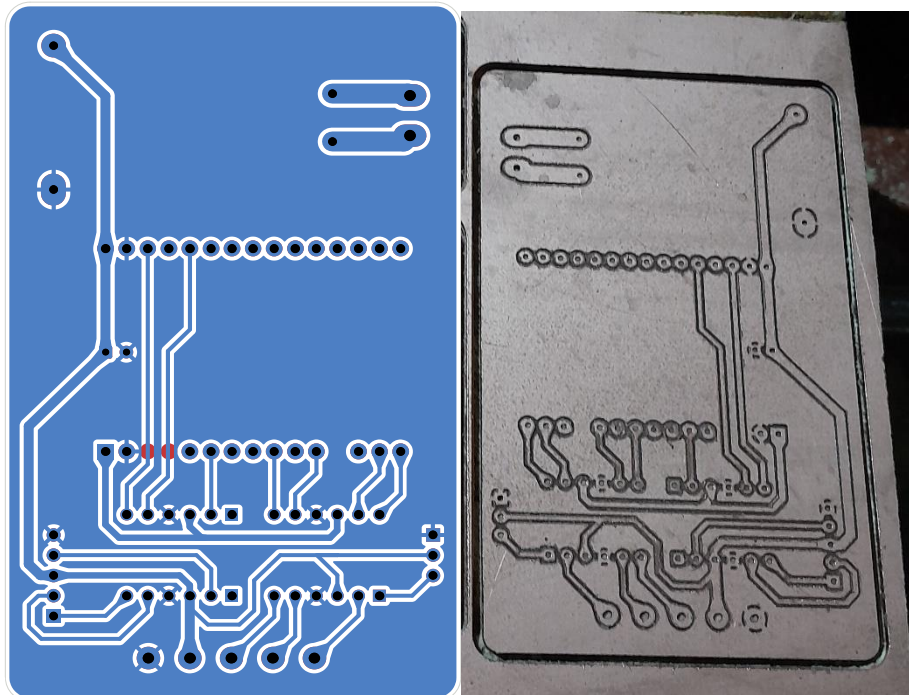
Nota: La figura muestra circuito integrado de los componentes para impresión PCB.

3.7. Impresión PCB del circuito en la placa electrónica

Una vez definido el diseño esquemático y validada la interconexión de los componentes mediante el software FRITZING, se procedió al desarrollo de la placa de circuito impreso (PCB) que alberga el sistema electrónico de control. Este paso resulta esencial; ya que permite trasladar el diseño conceptual a un soporte físico compacto, seguro y confiable, garantizando la correcta integración de las etapas de sensado, control y potencia, ver figura 42.

Figura 42:

Interfaz PCB e impresión del circuito de control electrónico



Nota: La figura izquierda muestra circuito integrado de los componentes para impresión PCB y la figura derecha se observa placa impresa.

La impresión de la PCB (Placa de Circuito Impreso) representó la materialización del sistema de control, ya que proporcionó una tarjeta electrónica ordenada que integra en un solo módulo las funciones de medición de temperatura, procesamiento mediante microcontrolador y accionamiento de la resistencia calefactora. Este proceso asegura que el mini horno cuente con un sistema confiable y de fácil replicación para futuras aplicaciones experimentales en panificación (Gallardo 2015).

3.8. Montaje y soldado de pines de los componentes electrónicos

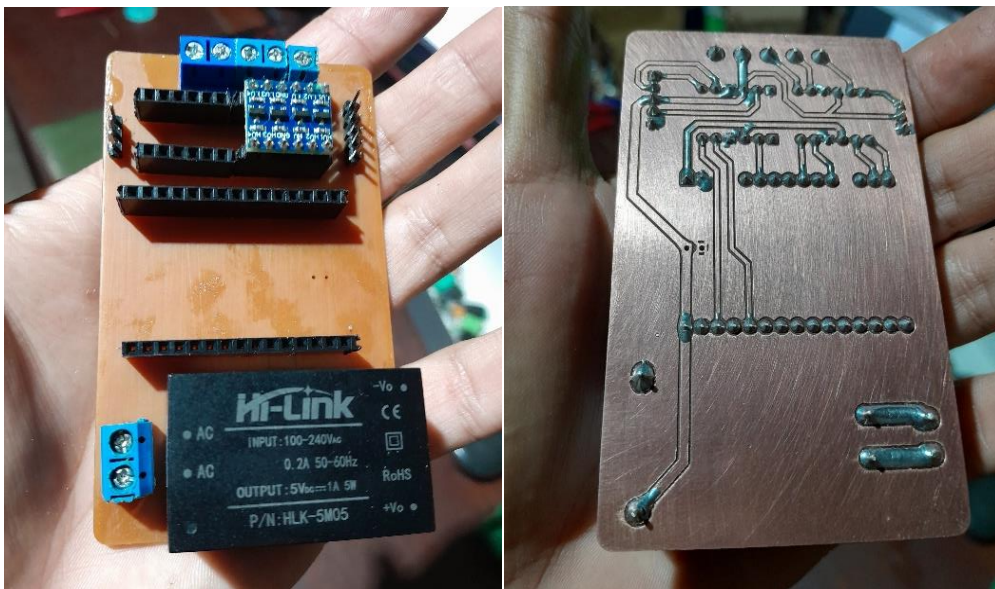
Realizada la impresión de la placa de circuito impreso (PCB), se procedió a la etapa de montaje y soldadura de los componentes electrónicos, con el objetivo de integrar inicialmente los dispositivos al sustrato diseñado y garantizar la continuidad eléctrica de todas las conexiones.

Para ello, la PCB fue limpiada previamente con alcohol isopropílico a fin de retirar residuos de polvo que podrían afectar la adherencia del estaño. Por ello, los componentes electrónicos (resistencias, microcontrolador, módulo sensor y conversor AC/DC) fueron clasificados y organizados de acuerdo con el diagrama de ensamblaje generado en el software FRITZING.

Además, con la ayuda de un cautín de punta fina y estaño de aleación con resina incorporada, se procedió a soldar cada pin sobre las islas conductoras de la PCB. Se cuidó que la temperatura del cautín fuera la adecuada para evitar daños térmicos a los componentes. Asimismo, se verificó que cada unión presentara una soldadura brillante, uniforme y libre de excesos o puentes accidentales entre pistas, ver figura 43 y 44.

Figura 43:

Montaje y soldado de componentes electrónicos



Nota: La figura izquierda muestra los componentes montados en la placa y la figura derecha se observa pines soldados.

Figura 44:

Integración de Sistema de potencia y Control



Nota: La figura muestra integración de los componentes eléctricos de potencia (transformador y conversor) y control (microcontrolador, transmisor y conversor de nivel lógico).

3.9. Conexión y programación del circuito integrado

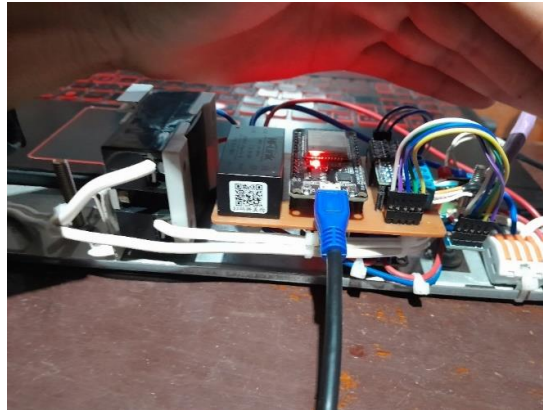
Una vez culminado el montaje y soldado de los componentes electrónicos en la placa de circuito impreso, se procedió a la conexión y programación del circuito integrado de control, con la finalidad de establecer la lógica de funcionamiento que permite regular automáticamente la temperatura del mini horno.

3.9.1. Conexión del microcontrolador al entorno de programación

En esta etapa, el microcontrolador ESP32 se conectó al ordenador mediante un cable de comunicación USB, lo que permitió tanto su alimentación inicial como la transferencia del código de control desarrollado en el entorno de programación IDE de Arduino. Para ello, se configuró el software seleccionando el modelo de placa, el puerto de comunicación y las bibliotecas necesarias para leer el sensor de temperatura del sistema, ver figura 45.

Figura 45:

Programación del microcontrolador del ESP32

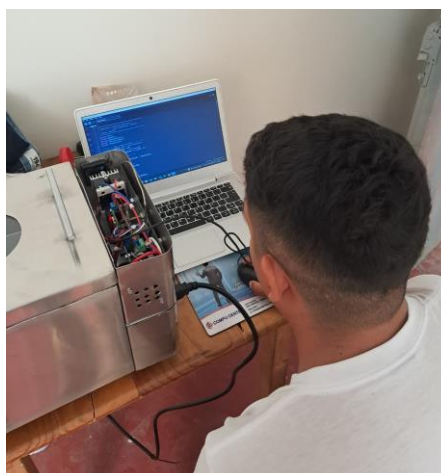


Nota: La figura muestra el circuito electrónico conectado a un ordenador para cargar la programación en lenguaje C/C++.

El programa implementado contempló la lectura periódica de la señal de temperatura y su comparación con el valor de consigna establecido. En función de la desviación registrada, el microcontrolador ejecutó la lógica de control mediante un sistema de encendido y apagado, generando la señal de mando hacia el convertor AC/DC encargado de accionar la resistencia calefactora del horno. Una vez verificado el funcionamiento del código, este fue cargado en el circuito integrado, quedando programado para ejecutar de manera autónoma el control de temperatura sin necesidad de permanecer conectado al ordenador, ver figura 46.

Figura 46:

Interfaz del lenguaje de programación hacia la placa electrónica



Nota: La figura 46 muestra la transferencia del lenguaje C/C++ de Arduino al microcontrolador ESP32, mediante cable USB.

Finalmente, se realizaron pruebas preliminares de validación conectando los actuadores sin integrar a la estructura, en las que se observó la respuesta del sistema frente a variaciones de temperatura y se comprobó que el ESP32 actuara de acuerdo con la lógica definida en el programa. Con ello se asegurará que el circuito integrado cumpliera correctamente su función dentro del sistema de control electrónico del mini horno.

3.10. Integración del sistema de control y potencia a la estructura del mini horno

Este proceso consistió en la adaptación de la placa electrónica en el espacio previamente definido dentro de la carcasa del equipo, considerando criterios de seguridad, accesibilidad y disipación de calor. Para ello se selecciona una ubicación estratégica que permita mantener aislada la tarjeta de control de las zonas de mayor temperatura, garantizando al mismo tiempo un acceso adecuado para labores de mantenimiento y conexión de los cables de alimentación, sensores y resistencia calefactora. Estas resistencias tipo “U” fueron integradas al circuito de control a través del conductor eléctrico, entonces para elección de la capacidad del mencionado conductor se realizó:

$$I = \frac{P}{V} * FC = \frac{2000 W}{220 V} * 0.25 = 11.25 A.$$

Realizado el cálculo se seleccionó el conductor de 12 AWG, por su capacidad de corriente máxima de 20 A (INDECO, 2020).

Además, con esta integración, el sistema electrónico quedó incorporado de manera definitiva en la estructura del mini horno, logrando una configuración compacta, segura y funcional. De este modo, la etapa de diseño y fabricación del sistema de control alcanzó su consolidación al quedar acoplada al prototipo mecánico, permitiendo el inicio de las pruebas

experimentales de temperatura en condiciones reales de operación, ver figura 47.

Figura 47:

Integración de placa electrónica acoplado a prototipo mecánico



Nota: La figura muestra el circuito electrónico + actuadores integrados al prototipo mecánico.

O.E.4. Realizar las pruebas de funcionamiento del prototipo y evaluar su desempeño en base a los resultados obtenidos.

3.11. Pruebas de funcionamiento del equipo

3.11.1. Energizado de circuitos de control y potencia

Instalado placa electrónica y actuadores (resistencias eléctricas) en el prototipo, la primera medición que se realizó fue la prueba de cortocircuito, con la finalidad de descartar una avería al momento energizar el equipo, dicha prueba se realizó en la función de continuidad del multímetro, ver figura 48.

Seguidamente se procedió a energizar con una corriente alterna de 220 VAC – 60 HZ, observando el correcto encendido del equipo. Así mismo, se verificó el voltaje DC en el circuito

de control, el cual arrojó medidas de 5 VDC que alimentaba al microcontrolador ESP32, ver figura 48.

Figura 48:

Medición de continuidad entre los terminales (Línea - Neutro)



Nota: En la figura se observa la medición de prueba de cortocircuito entre fase y neutro.

Figura 49:

Medición de voltaje AC/DC en el equipo



Nota: En la figura se observa la medición de voltaje AC en la alimentación del circuito de control y potencia.

3.11.2. Instalación y configuración de aplicativo móvil (APK) – Serial Bluetooth Terminal

Para la evaluación del sistema de control del mini horno, se procedió con la instalación y configuración del aplicativo móvil Serial Bluetooth Terminal, el cual permitió establecer la comunicación entre la placa electrónica y el dispositivo móvil. El proceso consistió en la instalación del software en un teléfono inteligente con sistema operativo Android, seguido del emparejamiento mediante Bluetooth con el módulo de control del horno. Posteriormente, se realizó la configuración del parámetro de referencia (punto de ajuste) de temperatura, lo que permitió ajustar de manera precisa el valor deseado y verificar la respuesta del sistema. Este procedimiento garantizó la interacción usuario–sistema y facilitó la validación del correcto funcionamiento del control automático de la temperatura, ver figura 50.

Figura 50:

Interfaz para control automático



Nota: La figura muestra el valor asignado (Set Point de 100 °C).

3.11.3. Verificación de temperatura interna y externa del equipo sin muestras – pruebas en vacío

Una vez definido el valor del Set Point mediante el aplicativo móvil, se procedió a realizar pruebas en vacío con el fin de observar el comportamiento térmico del mini horno. Para ello, se fijó un valor de referencia de 100 °C, monitoreando la variación de la temperatura interna y externa en función del tiempo, tanto a través de la visualización en el celular mediante la aplicación Serial Bluetooth Terminal, como mediante el uso de un termómetro digital para contrastar y validar las mediciones. Se registró que el sistema alcanzó la temperatura programada en un tiempo aproximado de 310 segundos, lo que permitió verificar la estabilidad del sistema de control y la capacidad de respuesta del horno ante el valor de referencia establecido. Estas pruebas iniciales sirvieron para identificar la dinámica térmica del equipo en condiciones sin presencia de muestras de panificación, ver figura 51.

Figura 51:

Temperatura interna del mini horno sin muestras experimentales



Nota: La figura 51 muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil.

3.12. Pruebas de cocción de muestras experimentales del pan

3.12.1. Cocción de muestras de pan convencional

Para evaluar el desempeño del mini horno en condiciones reales de uso, se realizaron pruebas de cocción utilizando muestras de pan convencional. El procedimiento consistió en poner en funcionamiento el horno hasta alcanzar una temperatura aproximada de 150, 180, 200 y 220 °C, lo cual por teoría se debe lograr en un tiempo estimado de 360, 470, 550 y 660 segundos respectivamente por cada temperatura asignada en el “set Point” del aplicativo del celular. Una vez estabilizada dichas temperaturas, se introducen las muestras en el interior del equipo, asegurando que la cocción se lleve a cabo de manera uniforme. Paralelamente, se verificó que el aislante térmico de fibra de vidrio cumpliera correctamente su función, para lo cual se realizaron mediciones de la temperatura en la capa externa del mini horno mediante un termómetro digital. Los valores registrados oscilaron entre 35 °C y 41 °C, confirmando la efectividad del aislamiento y garantizando condiciones seguras de operación (IEC 2025). Este ensayo permitió validar la funcionalidad del sistema electrónico, la eficiencia del aislamiento térmico y la capacidad del mini horno para mantener condiciones térmicas adecuadas en procesos experimentales de panificación, ver figuras y tablas siguientes que detallan cada una de las experimentaciones (total 4).

a) EXPERIMENTACIÓN 1: La primera experimentación fue a 150 °C, para ello se conectó el equipo a la corriente eléctrica 220 VAC, se abrió el switch del equipo y luego se programó un “Set Point” de 150 °C, esta temperatura se logró alcanzar en un tiempo aproximado de **380** segundos y el registro de temperatura fue de (150. 95°C), el cual significa un error del **5.26%**

respecto a la simulación de ANSYS que fue una temperatura de (152. 36 °C) en un tiempo de 360 segundos.

Habiendo alcanzado el valor aproximado de la temperatura configurada en el “S.P” es cuando se abrió el mini horno y se ingresó el molde con las muestras y estas se empezaron a cocer. Así mismo, habiendo realizado el ingreso de las muestras, estas alcanzaron una cocción óptima a los “1550” segundos.

Figura 52:

Cocción de pan convencional a 150 °C y medición de temperatura



Nota: La figura muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil – capa interna 151.3 °C y capa externa 33.5 °C.

Tabla 16:

Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 150 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo

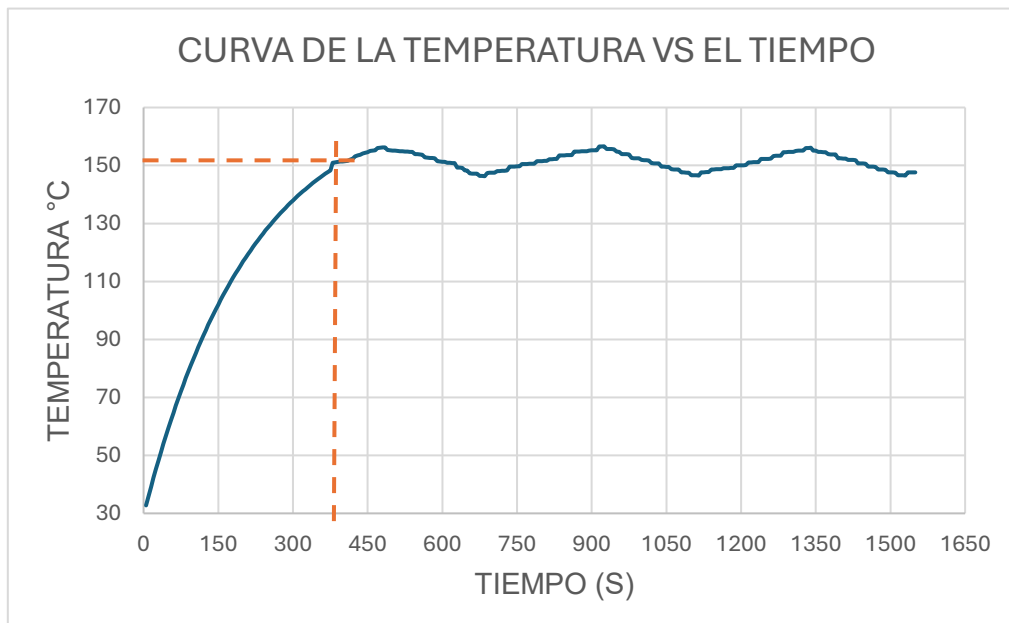
Tiempo (s)	Temperatura (°C)
5	32.75
10	36.01

15	39.19
20	42.29
25	45.33
30	48.29
35	51.19
40	54.02
45	56.78
50	59.48
55	62.12
60	64.69
65	67.2
70	69.66
75	72.06
80	74.4
85	76.69
90	78.93
95	81.11
100	83.25
105	85.33
110	87.37
115	89.35
120	91.3
125	93.19
130	95.05
135	96.85
140	98.62
145	100.35
150	102.04
155	103.68
160	105.29
165	106.86
170	108.4
175	109.9
180	111.36
185	112.79
190	114.19
195	115.56
200	116.89
205	118.19
210	119.46
215	120.71
220	121.92
225	123.1
230	124.26
235	125.39
240	126.5

245	127.58
250	128.63
255	129.66
260	130.67
265	131.65
270	132.61
275	133.54
280	134.46
285	135.35
290	136.23
295	137.08
300	137.91
305	138.73
310	139.52
315	140.3
320	141.06
325	141.8
330	142.52
335	143.23
340	143.92
345	144.59
350	145.25
355	145.9
360	146.52
365	147.14
370	147.74
375	148.32
380	150.95

Figura 53:

De la tabla 16: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo



Nota: La figura 53 muestra un valor aproximado ($150.95\text{ }^{\circ}\text{C}$) de la temperatura programada desde el dispositivo móvil (S.P. “ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ”), el cual se logró alcanzar en un tiempo de 380 segundos. Estos datos obtenidos en la experimentación hacen contraste con una diferencia mínima con los valores obtenidos de la simulación en SOFTWARE ANSYS.

b) EXPERIMENTACIÓN 2: La segunda experimentación fue a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, para ello se conectó el equipo a la corriente eléctrica 220 VAC, se aperturó el switch del equipo y luego se programó un “Set Point” de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$, esta temperatura se logró alcanzar en un tiempo aproximado de **495** segundos y el registro de temperatura fue de ($180.72\text{ }^{\circ}\text{C}$), el cual significa un error del **5.05 %** respecto a la simulación de ANSYS que fue una temperatura de ($182.45\text{ }^{\circ}\text{C}$) en un tiempo de **470** segundos.

Habiendo alcanzado el valor aproximado de la temperatura configurada en el “S.P” es cuando se abrió el mini horno y se ingresó el molde con las muestras y estas se empezaron a cocer. Así mismo, habiendo realizado el ingreso de las muestras, estas alcanzaron una cocción óptima a los “1350” segundos.

Figura 54:

Cocción de pan convencional a $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ y medición de temperatura



Nota: La figura 54 muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil – capa interna 181.7 °C y capa externa 34.7 °C

Tabla 17:

Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 180 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo

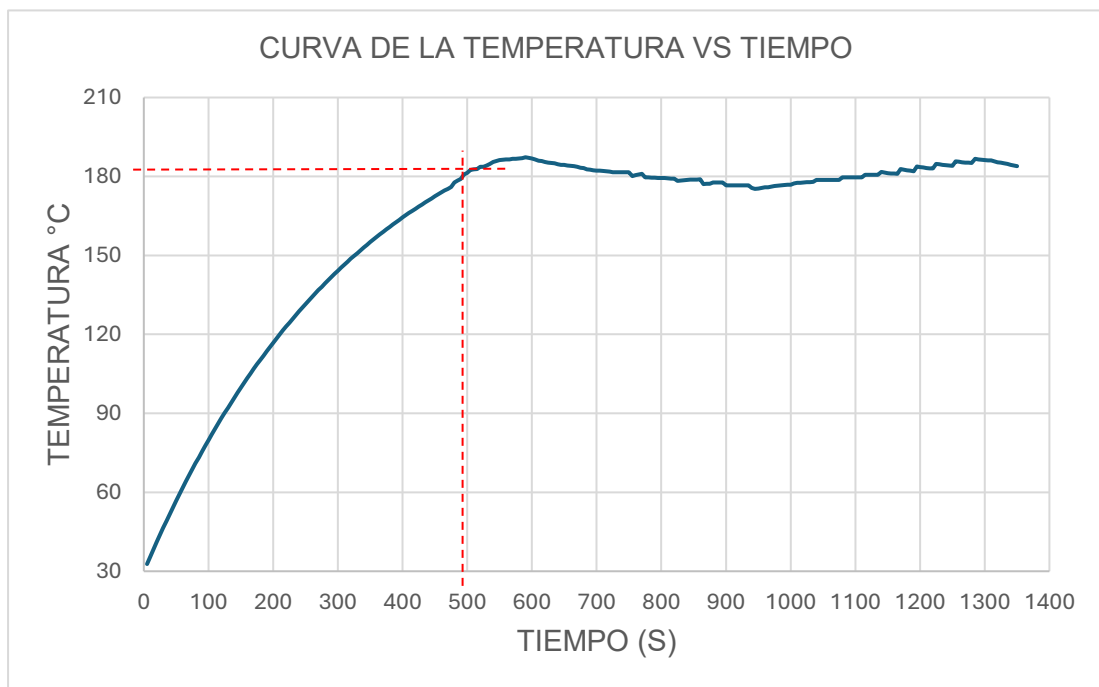
Tiempo (s)	Temperatura (°C)
5	32.75
10	35.58
15	38.37
20	41.11
25	43.82
30	46.48
35	49.11
40	51.69
45	54.24
50	56.75
55	59.22
60	61.65
65	64.05
70	66.41
75	68.74
80	71.03
85	73.28
90	75.51
95	77.7
100	79.85
105	81.98
110	84.07
115	86.13
120	88.17
125	90.17
130	92.14
135	94.08
140	95.99
145	97.87
150	99.73
155	101.56
160	103.36
165	105.13
170	106.88
175	108.6
180	110.29

185	111.96
190	113.61
195	115.23
200	116.82
205	118.4
210	119.94
215	121.47
220	122.97
225	124.45
230	125.91
235	127.35
240	128.76
245	130.15
250	131.53
255	132.88
260	134.21
265	135.52
270	136.81
275	138.09
280	139.34
285	140.58
290	141.79
295	142.99
300	144.17
305	145.33
310	146.48
315	147.61
320	148.72
325	149.81
330	150.89
335	151.95
340	153
345	154.03
350	155.05
355	156.05
360	157.03
365	158
370	158.96
375	159.9
380	160.83
385	161.74
390	162.64
395	163.53
400	164.4
405	165.26
410	166.11

415	166.94
420	167.76
425	168.57
430	169.37
435	170.16
440	170.93
445	171.69
450	172.44
455	173.18
460	173.91
465	174.63
470	175.34
475	176.03
480	177.72
485	178.42
490	179.06
495	180.72

Figura 55:

De la tabla 17: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo



Nota: La figura 55 muestra un valor aproximado (180.72 °C) de la temperatura programada desde el dispositivo móvil (S.P. “180 °C”), el cual se logró alcanzar en un tiempo de 495 segundos. Estos datos obtenidos en la experimentación hacen contraste con una diferencia mínima con los valores obtenidos de la simulación en SOFTWARE ANSYS.

c) EXPERIMENTACIÓN 3: La tercera experimentación fue a 200 °C, para ello se conectó el equipo a la corriente eléctrica 220 VAC, se aperturó el switch del equipo y luego se programó un “Set Point” de 200 °C, esta temperatura se logró alcanzar en un tiempo aproximado de 575 segundos y el registro de temperatura fue de (200.34 °C), el cual significa un error del 4.347% respecto a la simulación de ANSYS que fue una temperatura de (201.95 °C) en un tiempo de 550 segundos.

Habiendo alcanzado el valor aproximado de la temperatura configurada en el “S.P” es cuando se abrió el mini horno y se ingresó el molde con las muestras y estas se empezaron a cocer. Así mismo, habiendo realizado el ingreso de las muestras, estas alcanzaron una cocción óptima a los “1285” segundos.

Figura 56:

Cocción de pan convencional a 200 °C y medición de temperatura



Nota: La figura muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil – capa interna 202.1 °C y capa externa 37.8 °C

Tabla 18:

Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 200 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo

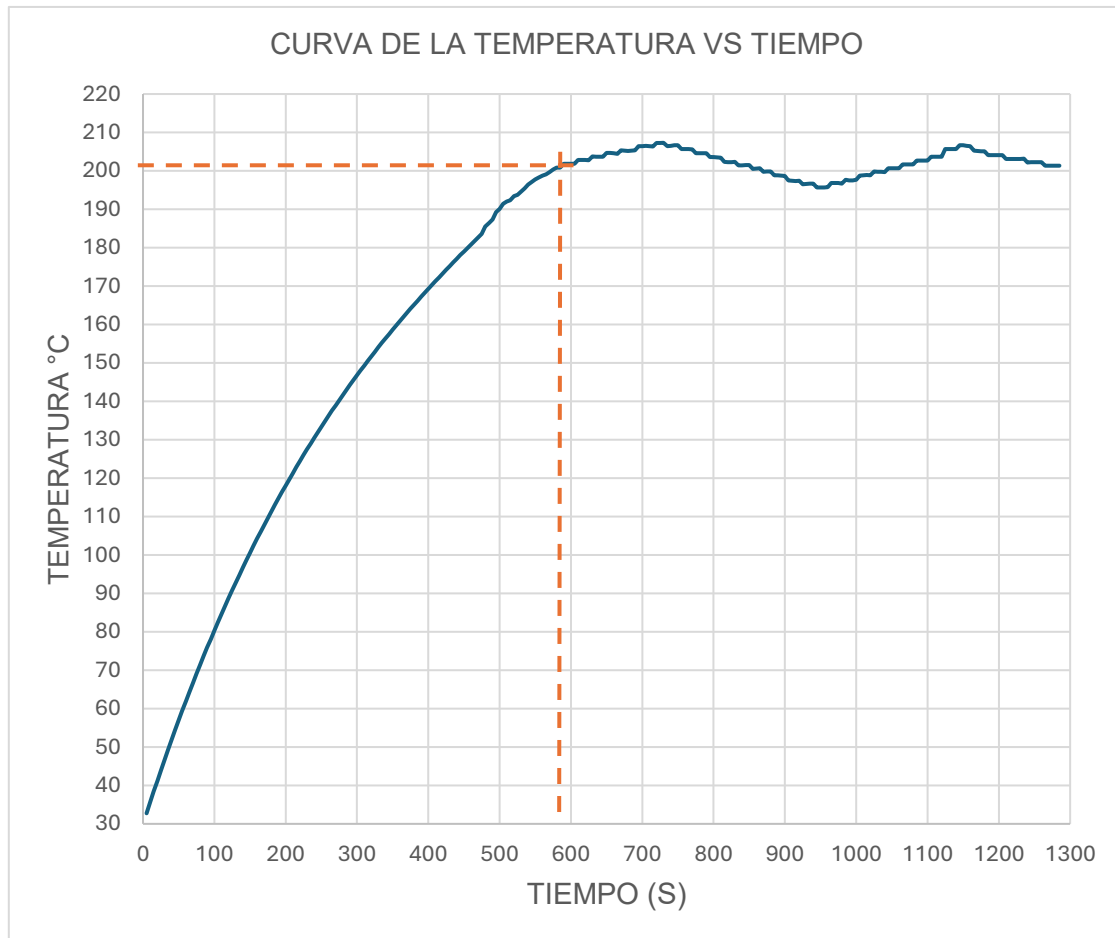
Tiempo (s)	Temperatura (°C)
5	32.75
10	35.6
15	38.41
20	41.17
25	43.9
30	46.58
35	49.23
40	51.83
45	54.4
50	56.94
55	59.43
60	61.88
65	64.31
70	66.69
75	69.05
80	71.37
85	73.65
90	75.9
95	78.12
100	80.3
105	82.46
110	84.58
115	86.68
120	88.75
125	90.78
130	92.79
135	94.76
140	96.71
145	98.63
150	100.53
155	102.4
160	104.24
165	106.05
170	107.84
175	109.61
180	111.34
185	113.06
190	114.76
195	116.43

200	118.07
205	119.7
210	121.29
215	122.88
220	124.43
225	125.97
230	127.49
235	128.99
240	130.46
245	131.92
250	133.36
255	134.78
260	136.18
265	137.56
270	138.93
275	140.28
280	141.61
285	142.93
290	144.22
295	145.5
300	146.77
305	148.01
310	149.26
315	150.48
320	151.68
325	152.87
330	154.05
335	155.21
340	156.37
345	157.51
350	158.64
355	159.75
360	160.85
365	161.94
370	163.02
375	164.09
380	165.15
385	166.2
390	167.23
395	168.26
400	169.28
405	170.29
410	171.29
415	172.28
420	173.26
425	174.23

430	175.2
435	176.17
440	177.12
445	178.06
450	179
455	179.93
460	180.86
465	181.78
470	182.7
475	183.61
480	185.52
485	186.45
490	187.32
495	189.22
500	190.1
505	191.4
510	191.99
515	192.36
520	193.43
525	193.78
530	194.55
535	195.39
540	196.44
545	197.08
550	197.75
555	198.26
560	198.74
565	199.12
570	199.64
575	200.34

Figura 57:

De la tabla 18: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo



Nota: La figura 57 muestra un valor aproximado (200.34 °C) de la temperatura programada desde el dispositivo móvil (S.P. “200 °C”), el cual se logró alcanzar en un tiempo de 575 segundos. Estos datos obtenidos en la experimentación hacen contraste con una diferencia mínima con los valores obtenidos de la simulación en SOFTWARE ANSYS.

d) EXPERIMENTACIÓN 4: La cuarta experimentación fue a 220 °C, para ello se conectó el equipo a la corriente eléctrica 220 VAC, se abrió el switch del equipo y luego se programó un “Set Point” de 220 °C, esta temperatura se logró alcanzar en un tiempo aproximado de **665** segundos y el registro de temperatura fue de (220.25 °C), el cual significa un error del **3.75%** respecto a la simulación de ANSYS que fue una temperatura de (221. 58 °C) en un tiempo de **640** segundos.

Habiendo alcanzado el valor aproximado de la temperatura configurada en el “S.P” es cuando se abrió el mini horno y se ingresó el molde con las muestras y estas se empezaron a cocer. Así mismo, habiendo realizado el ingreso de las muestras, estas alcanzaron una cocción óptima a los “1205” segundos.

Figura 58:

Cocción de pan convencional a 220 °C y medición de temperatura



Nota: La figura muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil – capa interna 221. 3 °C y capa externa 43. 3 °C.

Tabla 19:

Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 220 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
5	32.75
10	35.61
15	38.44
20	41.21
25	43.96
30	46.65
35	49.32

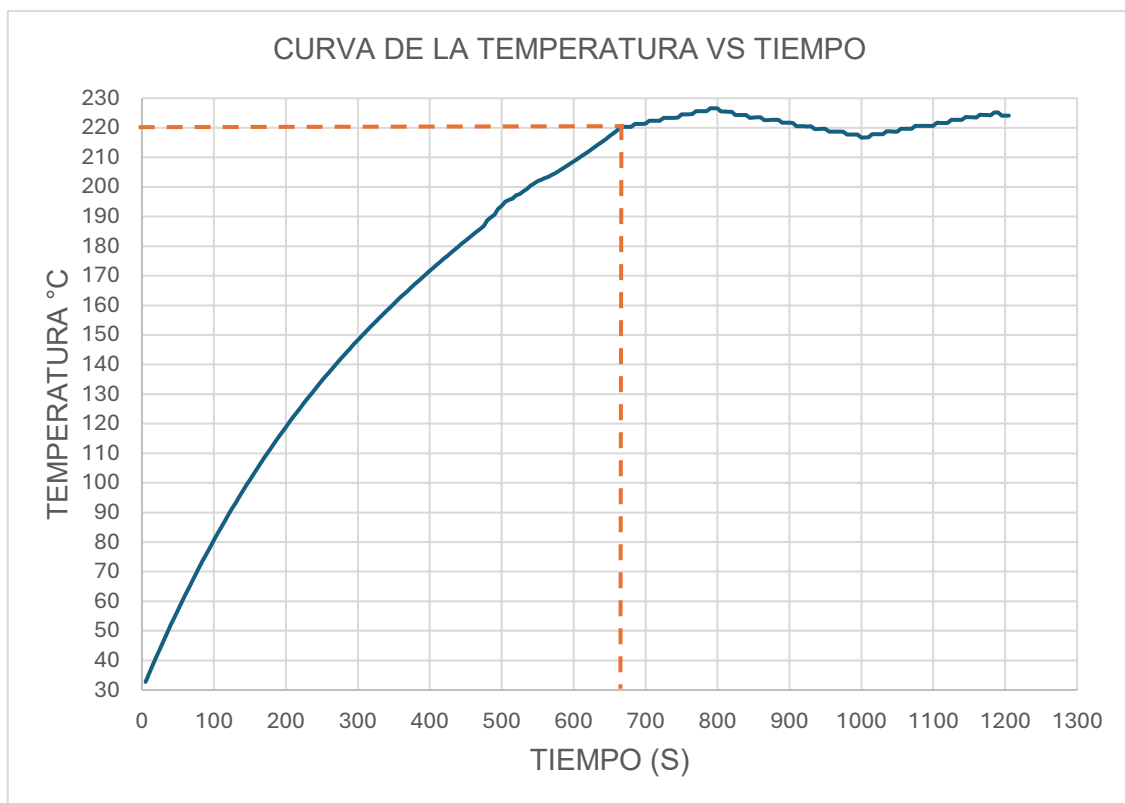
40	51.94
45	54.53
50	57.08
55	59.59
60	62.06
65	64.5
70	66.91
75	69.28
80	71.62
85	73.91
90	76.19
95	78.43
100	80.63
105	82.81
110	84.95
115	87.07
120	89.16
125	91.22
130	93.24
135	95.24
140	97.21
145	99.15
150	101.08
155	102.97
160	104.83
165	106.67
170	108.49
175	110.28
180	112.04
185	113.79
190	115.51
195	117.21
200	118.88
205	120.54
210	122.16
215	123.77
220	125.36
225	126.93
230	128.48
235	130.01
240	131.51
245	133
250	134.48
255	135.93
260	137.36
265	138.78

270	140.18
275	141.57
280	142.93
285	144.29
290	145.61
295	146.94
300	148.24
305	149.53
310	150.81
315	152.07
320	153.31
325	154.54
330	155.76
335	156.97
340	158.17
345	159.35
350	160.53
355	161.68
360	162.83
365	163.96
370	165.09
375	166.21
380	167.32
385	168.41
390	169.49
395	170.58
400	171.64
405	172.7
410	173.75
415	174.79
420	175.83
425	176.86
430	177.88
435	178.9
440	179.9
445	180.9
450	181.9
455	182.89
460	183.87
465	184.85
470	185.83
475	186.8
480	188.77
485	189.75
490	190.69
495	192.65

500	193.6
505	194.96
510	195.61
515	196.04
520	197.18
525	197.59
530	198.42
535	199.34
540	200.45
545	201.16
550	201.9
555	202.47
560	203.02
565	203.47
570	204.05
575	204.79
580	205.54
585	206.29
590	207.06
595	207.84
600	208.63
605	209.43
610	210.24
615	211.06
620	211.9
625	212.75
630	213.61
635	214.48
640	215.36
645	216.26
650	217.18
655	218.1
660	219.04
665	220.25

Figura 59:

De la tabla 19: Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo



Nota: La figura 59 muestra un valor aproximado (220.25 °C) de la temperatura programada desde el dispositivo móvil (S.P. “220 °C”), el cual se logró alcanzar en un tiempo de 665 segundos. Estos datos obtenidos en la experimentación hacen contraste con una diferencia mínima con los valores obtenidos de la simulación en SOFTWARE ANSYS.

e) EXPERIMENTACIÓN 5 (PAN DE MOLDE): La quinta experimentación fue a 220 °C, para ello se conectó el equipo a la corriente eléctrica 220 VAC, se aperturó el switch del equipo y luego se programó un “Set Point” de 220 °C, esta temperatura se logró alcanzar en un tiempo aproximado de **665** segundos y el registro de temperatura fue de (220.85 °C), el cual significa un error del **3.75%** respecto a la simulación de ANSYS que fue una temperatura de (221.58 °C) en un tiempo de **640** segundos.

Habiendo alcanzado el valor aproximado de la temperatura configurada en el “S.P” es cuando se abrió el mini horno y se ingresó pan de molde y este se empezó a cocer. Así mismo, habiendo realizado el ingreso del pan en molde, este alcanzó una cocción óptima a los “1830” segundos.

Figura 60:

Cocción de pan de molde a 220 °C y medición de temperatura



Nota: La figura muestra un valor aproximado de la temperatura programada desde el dispositivo móvil – capa interna 222.7 °C y capa externa 39.0 °C.

Tabla 20:

Valores obtenidos temperatura vs tiempo programado a 220 °C (Data procesada desde aplicativo móvil) al momento de alimentar el equipo

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
5	32.85
10	35.71
15	38.54
20	41.31
25	44.06
30	46.75
35	49.42

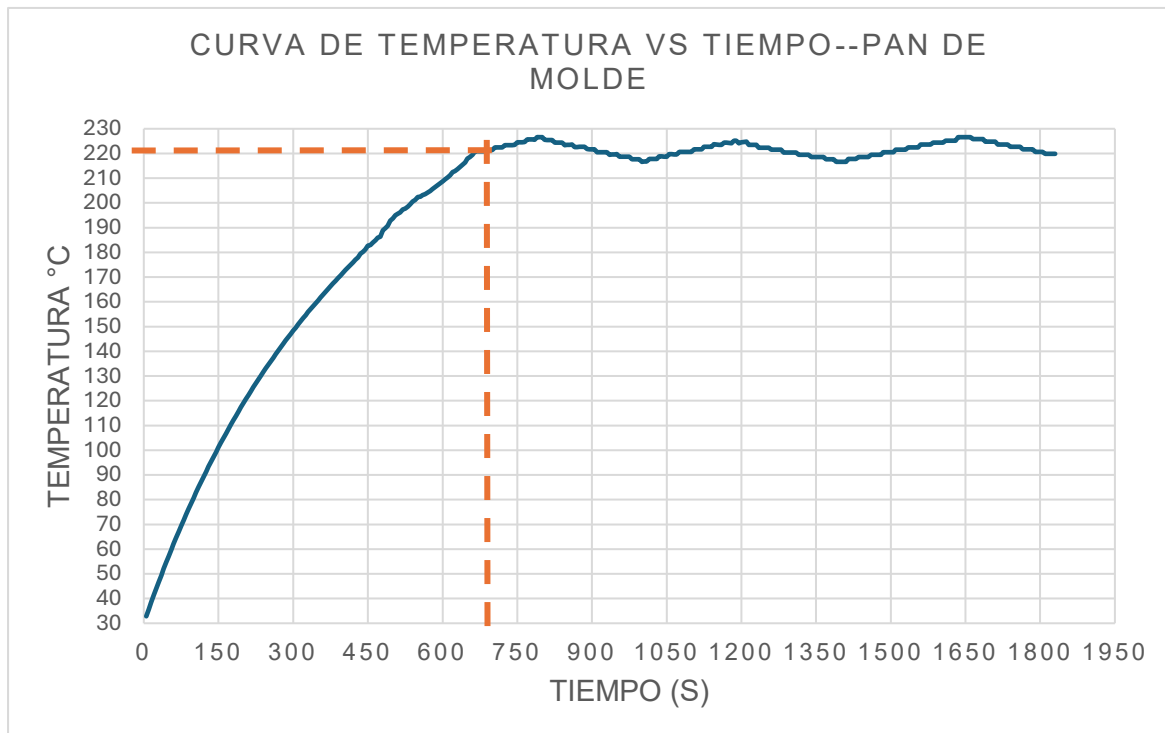
40	52.04
45	54.63
50	57.18
55	59.69
60	62.16
65	64.6
70	67.01
75	69.38
80	71.72
85	74.01
90	76.29
95	78.53
100	80.73
105	82.91
110	85.05
115	87.17
120	89.26
125	91.32
130	93.34
135	95.34
140	97.31
145	99.25
150	101.18
155	103.07
160	104.93
165	106.77
170	108.59
175	110.38
180	112.14
185	113.89
190	115.61
195	117.31
200	118.98
205	120.64
210	122.26
215	123.87
220	125.46
225	127.03
230	128.58
235	130.11
240	131.61
245	133.12
250	134.58
255	136.03
260	137.46
265	138.88

270	140.28
275	141.67
280	143.03
285	144.39
290	145.71
295	147.04
300	148.34
305	149.63
310	150.91
315	152.17
320	153.41
325	154.64
330	155.86
335	157.07
340	158.27
345	159.45
350	160.63
355	161.78
360	162.93
365	164.06
370	165.19
375	166.31
380	167.42
385	168.51
390	169.59
395	170.68
400	171.74
405	172.81
410	173.85
415	174.89
420	175.93
425	176.96
430	177.98
435	179.45
440	180.31
445	181.16
450	182.75
455	182.99
460	183.97
465	184.95
470	185.93
475	186.39
480	188.87
485	189.85
490	190.79
495	192.75

500	193.7
505	195.06
510	195.71
515	196.14
520	197.28
525	197.69
530	198.52
535	199.44
540	200.55
545	201.26
550	202.35
555	202.57
560	203.12
565	203.57
570	204.15
575	204.89
580	205.64
585	206.39
590	207.16
595	207.94
600	208.73
605	209.53
610	210.34
615	211.16
620	212.51
625	212.85
630	213.71
635	214.58
640	215.46
645	216.36
650	217.86
655	218.52
660	219.54
665	220.85

Figura 61:

De la tabla 20: *Curva del comportamiento de la temperatura respecto al tiempo*



Nota: La figura 61 muestra un valor aproximado (220.85 °C) de la temperatura programada desde el dispositivo móvil (S.P. “220 °C”), el cual se logró alcanzar en un tiempo de 665 segundos. Estos datos obtenidos en la experimentación hacen contraste con una diferencia mínima con los valores obtenidos de la simulación en SOFTWARE ANSYS.

En conclusión; el objetivo fue validar el comportamiento térmico del mini horno, y se realizó la experimentación monitoreando la evolución de la temperatura respecto al tiempo. Para ello, se procesaron los valores obtenidos mediante el aplicativo móvil en el celular, los cuales fueron comparados con los resultados de la simulación térmica realizada en el software de dinámica de fluidos ANSYS. Los datos experimentales mostraron una tendencia cercana a la simulación, verificando que el sistema alcanzó los valores de referencia programados y confirmando la precisión del control automático de temperatura. Esta evaluación permitió comprobar la confiabilidad del modelo simulado y la efectividad del diseño implementado en el mini horno, para verificación de lo mencionado ver tablas: tabla 21 - de simulación en

ANSYS y tabla 16, 17, 18, 19 Y 20 - tablas de datos procesados al momento de la experimentación.

Tabla 21:

Valores obtenidos en la simulación con ANSYS de la temperatura vs el tiempo

	Time [s]	Minimum [°C]	Maximum [°C]	Average [°C]					
1	10.	22.522	29.552	26.32	34	340.	25.001	146.47	63.893
2	20.	21.209	33.728	27.616	35	350.	25.004	149.43	64.905
3	30.	20.547	37.8	28.895	36	360.	25.006	152.36	65.91
4	40.	20.329	41.902	30.158	37	370.	25.007	155.25	66.907
5	50.	20.411	45.948	31.409	38	380.	25.009	158.12	67.897
6	60.	20.731	49.943	32.647	39	390.	25.01	160.95	68.881
7	70.	21.229	53.893	33.874	40	400.	25.012	163.75	69.857
8	80.	21.885	57.801	35.09	41	410.	25.014	166.52	70.825
9	90.	22.679	61.665	36.296	42	420.	25.016	169.25	71.787
10	100.	23.592	65.488	37.492	43	430.	25.019	171.96	72.741
11	110.	23.966	69.27	38.679	44	440.	25.022	174.63	73.687
12	120.	23.987	73.012	39.857	45	450.	25.025	177.27	74.627
13	130.	24.042	76.716	41.027	46	460.	25.029	179.88	75.559
14	140.	24.13	80.383	42.188	47	470.	25.032	182.45	76.483
15	150.	24.25	84.015	43.342	48	480.	25.037	185.	77.4
16	160.	24.401	87.609	44.488	49	490.	25.041	187.52	78.31
17	170.	24.579	91.168	45.626	50	500.	25.046	190.	79.212
18	180.	24.785	94.691	46.757	51	510.	25.052	192.45	80.106
19	190.	24.927	98.179	47.881	52	520.	25.058	194.87	80.993
20	200.	24.939	101.63	48.997	53	530.	25.064	197.26	81.873
21	210.	24.956	105.05	50.106	54	540.	25.071	199.62	82.745
22	220.	24.977	108.44	51.208	55	550.	25.078	201.95	83.609
23	230.	24.978	111.79	52.304	56	560.	25.086	204.25	84.466
24	240.	24.98	115.11	53.392	57	570.	25.095	206.52	85.315
25	250.	24.981	118.39	54.473	58	580.	25.104	208.76	86.156
26	260.	24.982	121.64	55.548	59	590.	25.113	210.97	86.99
27	270.	24.984	124.86	56.615	60	600.	25.124	213.15	87.817
28	280.	24.987	128.05	57.676	61	610.	25.135	215.3	88.635
29	290.	24.99	131.2	58.729	62	620.	25.146	217.43	89.447
30	300.	24.993	134.32	59.776	63	630.	25.158	219.52	90.25
31	310.	24.994	137.4	60.816	64	640.	25.171	221.58	91.046
32	320.	24.996	140.46	61.849	65	650.	25.184	223.61	91.835
33	330.	24.998	143.48	62.874	66	660.	25.198	225.62	92.616

Nota: La tabla 21 muestra valor de temperatura vs el tiempo de la simulación en ANSYS.

3.12.2. Verificación de la calidad de cocción del producto

Una vez culminado el proceso de horneado, se procedió a la verificación de la calidad de cocción de la muestra y pan de molde. La evaluación se centró en aspectos visuales y sensoriales, tales como el color de la corteza, la textura interna y la uniformidad de cocción en toda la muestra. Este análisis permitió determinar la eficiencia térmica del mini horno y validar

su capacidad para reproducir condiciones adecuadas en procesos experimentales de panificación, ver figura 62.

Figura 62:

Textura de muestras cocidas pan de molde y pan convencional



Nota: La figura izquierda muestra el pan de molde (cocido a 220 °C aprox.) y la figura derecha es pan convencional (cocido a 180 °C aprox.).

3.13. Verificación de consumo (kW/h) del equipo

Se realizó el cálculo de consumo de corriente eléctrica del equipo, teniendo en cuenta que se horneó dos muestras experimentales a 180 °C (C. Gonzales 2022), Dicha temperatura se alcanzó en periodo de tiempo **495** segundos (ver tabla 17).

Se calculó la potencia eléctrica activa (en funcionamiento) del prototipo; los datos obtenidos realizando la medición se obtuvo una tensión de entrada de 218 VAC y una corriente de 8.9 A. Para el cálculo se utilizó la ecuación de OHM (12):

$$P = V * I$$

$$P = 218 * 8.9 = 1\ 940.2\ W = 1.94\ KW$$

Nota: La potencia calculada hace referencia a todo el sistema del equipo (control y potencia)

Seguidamente, se procedió a calcular el consumo en KW.h teniendo en cuenta el tiempo en mención y la facturación por kW.

Datos:

- Potencia: $1\ 940.2\ W = 1.94\ KW$
- Tiempo de ciclo: $1350\ segundos = 22.5\ minutos = 0.375\ horas$
- Tarifa: $0.80\ soles/kW * h$

$$E = P * t \quad (13)$$

$$E = 1.94 * 0.375$$

$$E = 0.7275\ kW * h$$

Por lo tanto, el consumo de energía en el horneado de dos muestras experimentales en el prototipo implementado es de:

$$Costo = E * tarifa \quad (14)$$

$$Costo = 0.7275 * 0.80 = S/. \mathbf{0.582}$$

Aplicando el cálculo para los tres experimentos restantes: 150, 200 y 220, se obtuvieron:

- **CONSUMO POR UN CICLO EN LA EXPERIMENTACIÓN DE 150 °C**

$$Costo = 0.8352 * 0.80 = S/. \mathbf{0.6682}$$

- **CONSUMO POR UN CICLO EN LA EXPERIMENTACIÓN DE 200 °C**

$$Costo = 0.6925 * 0.80 = S/. \mathbf{0.554}$$

- **CONSUMO POR UN CICLO EN LA EXPERIMENTACIÓN DE 220 °C**

$$Costo = 0.6493 * 0.80 = S/. \mathbf{0.5194}$$

IV. DISCUSIÓN

El desarrollo del mini horno eléctrico experimental evidencia que el diseño estructural con acero inoxidable AISI 304 y aislante de fibra de vidrio permitió mantener una adecuada distribución térmica, con pérdidas mínimas de calor al ambiente. Este resultado coincide con lo planteado por Jaguaco (2019), quien recomendó el uso de aislantes como la lana mineral de fibra de vidrio en hornos industriales, lo cual confirma que incluso en equipos de menor escala dicho material conserva su efectividad térmica.

Asimismo, la simulación realizada en ANSYS mostró comportamientos térmicos similares a los descritos en investigaciones como la de Abundis (2020), quien comprobó que materiales de alta resistencia térmica y estructuras cerradas favorecen la conservación del calor. En esta investigación, aunque no se alcanzaron temperaturas tan elevadas como las de hornos de piedra brasa, sí se logró validar la utilidad del modelado computacional para anticipar la transferencia de calor y definir materiales óptimos.

En lo relativo al control de temperatura, la integración del microcontrolador ESP32 con el sensor tipo K permitió obtener lecturas estables y un control eficiente, lo cual se relaciona con lo expuesto por Mellado (2019), quien usó un PLC para panificación. Aunque nuestro sistema es de menor escala y emplea electrónica embebida en lugar de PLC, los resultados son comparables en cuanto a precisión y confiabilidad, demostrando que existen alternativas más accesibles y de bajo costo para equipos experimentales.

Las pruebas de cocción en panificación alcanzó una temperatura de 180 °C en aproximadamente 505 segundos, lo que evidencia una mejora respecto al antecedente de Mellado (2019), donde se reportó alcanzar 206 °C en 1500 segundos con un sistema industrial. Esto resalta que, en aplicaciones de menor volumen, el control programable y el aislamiento adecuado permiten obtener un rendimiento térmico más eficiente.

Así mismo, se debe destacar que, a diferencia de antecedentes como Echeverria and Reyes (2016), que trabajaron con hornos de recalentamiento de alta temperatura, nuestro prototipo estuvo orientado específicamente al rubro de panificación, lo que representa un aporte innovador en el diseño de equipos de baja capacidad y costo reducido. No obstante, se reconoce como limitación la escala reducida del prototipo, por lo que investigaciones futuras deberían evaluar su ampliación a volúmenes mayores y la optimización de algoritmos de control como PID para mejorar aún más la precisión térmica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

El prototipo de mini horno eléctrico desarrollado demostró un desempeño térmico eficiente y confiable para procesos de panificación experimental, alcanzando temperaturas internas entre 180 °C y 220 °C en un tiempo aproximado de 367 - 640 segundos. Las simulaciones en ANSYS confirmaron una adecuada distribución de calor en el interior y valores uniformes en el área de cocción, lo que garantizó un horneado homogéneo de las muestras.

El análisis comparativo de materiales para la estructura del horno evidenció que el acero inoxidable AISI 304, en combinación con el aislante de fibra de vidrio tipo E, fue la opción más eficiente frente al aluminio 6061-T6 y al acero al carbono A36. Este material no solo permitió mantener la temperatura interna estable en 220 °C, sino que además evitó que la temperatura superficial sobrepasara los límites normativos de 65 °C establecidos en estándares internacionales de seguridad.

El sistema de control electrónico basado en el microcontrolador ESP32 y el sensor de temperatura tipo K demostró un desempeño preciso y confiable, logrando mantener la

temperatura del horno dentro de los rangos establecidos (150°C, 180°C, 200°C y 220°C). La concordancia entre las curvas obtenidas en la simulación y en las pruebas experimentales confirmó la estabilidad del control implementado y validó la eficacia del hardware y la programación desarrollada.

El consumo energético fue de 0.7275 kWh por ciclo, equivalente a un costo aproximado de S/ 0.582, lo que demuestra la eficiencia y viabilidad económica del prototipo en comparación con hornos industriales de gran capacidad, que exigen mayor potencia y consumo aun cuando se utilizan para pequeñas cantidades.

5.2. Recomendaciones

Mejorar del aislamiento térmico y seguridad del usuario, si bien el prototipo cuenta con tres capas estructurales, se recomienda incorporar una cuarta capa adicional que permita reducir aún más la temperatura en la superficie exterior del horno, con el fin de minimizar el riesgo de quemaduras por contacto.

Se recomienda utilizar pernos con aislamiento térmico o aplicar recubrimientos aislantes para mejorar la estabilidad estructural y controlar la conducción térmica. Estas medidas garantizan la correcta fijación de la capa exterior que soporta el sistema de control y evitan la transferencia de calor al exterior.

Se recomienda la inclusión de un ventilador dentro del área de cocción con el objetivo de mejorar la circulación del aire caliente y, de esta manera, alcanzar una distribución uniforme de la temperatura en todo el volumen interno.

Se recomienda incorporar el sistema de control de temperatura mediante la implementación de algoritmos más avanzados, como controladores PID, que permitan mejorar la precisión y reducir las variaciones observadas durante las pruebas.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abundis, Paula Bulnes. 2020. “Diseño de Un Horno Eléctrico de Piedra Braza Para Vidrio Soplado.” Universidad Autónoma Metropolitana. http://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/7056/Diseno_de_un_horno_electrico_Bulnes_Abundis_P_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Agencia Internacional de Energía. 2021. “Perspectiva Energética Mundial.” IEA Publications. 2021. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021#downloads>.
- Alverca, Bryan. 2023. “Diseño y Construcción de Un Horno Eléctrico de Tratamientos Térmicos Para El Laboratorio Industrial de La Universidad Técnica Estatal de Quevedo.” UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO. <https://repositorio.uteq.edu.ec/server/api/core/bitstreams/cd2b5db8-3310-4ed0-b60c-4835d0161c91/content>.
- Arias, José. 2022. *Proyecto de Tesis, Guía Para Elaboración*. 1er ed. Puno-Perú. <https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/catalog/view/22/16/32>.
- Barrera, Francisco, Samuel Ramírez, Esmeralda Sánchez, Josué Pérez, and Agustín Cruz. 2021. “Mecanismos de Transferencia de Calor.” *Tepexi* 8 (16): 38–42. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/tepexi/issue/archive>.
- Brototermic, Distribuciones Industrial. 2016. “Resistencias Calefactoras.” *Industry & Technology*. 2016. <https://www.jmi.com.mx/resistencias-calefactoras>.
- Calderón, Belén, and Alejandro Herencia. 2025. “Diseño y Optimización de Cavidad Resonante Para El Sistema de Deshidratación de Frutas Con Microondas.” UNIVERSIDAD DE PIURA. <https://pirhua.udep.edu.pe/item/b22970c3-d4b8-4b7a-a837-6635b606dc84>.
- Callister, William, and David Rethwisch. 2016. *Ciencia e Ingeniería de Materiales*. Edited by Pere Molera and Núria Salán. 2da edició. Barcelona. <https://www.reverte.com/media/reverte/files/book-attachment-2717.pdf>.
- Cruz, Cristian. 2024. “Horno Eléctrico Para El Acondicionamiento Térmico Del Material Acrílico En La Producción de Lámparas Ornamentales y Cantoneras Para Avisos Caso CREATOR ACRILICOS S.A.S.” UNIVERSIDAD EIA INGENIERÍA MECATRÓNICA ENVIGADO, COLOMBIA.

<https://repository.eia.edu.co/entities/publication/4621a9c2-1ad9-45af-877d-9f86165c3b09>.

Deshmukh, Gajanan. 2018. "Materiales de Aislamiento Térmico: Una Herramienta Para La Conservación de Energía." <https://doi.org/10.4172/2157>.

Echeverria, Teresa, and Carlos Reyes. 2016. "Diseño, Optimización Y Construcción De Un Horno De Recalentamiento Utilizando Resistencias Eléctricas Y El Software Solidwork." Universidad Nacional de Trujillo. <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/43dcc71b-13ce-47dd-b401-0fd0e26c9c6d/content>.

Esaú, Armando. 2016. "Simulación de La Transferencia de Calor En Tarjetas de Circuitos Impreso FR-4 Durante El Proceso de Reflujo." *Universida Autonoma de Nuevo Leon*. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN. <http://eprints.uanl.mx/15789/1/1080237872>.

Gallardo, Omar. 2015. "Fabricación de Placas de Circuito Impreso Con Proteus." UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14625>.

Gonzales, Carlos. 2022. "Profesionalización Del Calentamiento de Un Horno de Pan Artesanal, Empleando La Metodología DMAIC." Instituto Tecnológico Superior de Álamo Temapache. <https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/5104/1/26> CARLOS GONZALEZ GUZMAN PROYECTO TESIS.pdf.

Gonzales, Jose, Jorge Guerrero, Adrian Holguin, and Fernando Machacuay. 2020. "Análisis de La Transferencia de Calor y Masa Durante El Secado de Productos Alimenticios Utilizando Microondas." UNIVERSIDAD DE PIURA. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4866/T_IME_2003.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Holman, José. 2019. *Transferencia de Calor*. Edited by Pablo Martinez, Teresa Mena, and Pérez; Isabel. *Sustainability (Switzerland)*. 8va edició. Vol. 11. https://www.academia.edu/39997616/Transferencia_de_Calor_8va_Edicion_J_P_Holman.

IEC. 2025. "Norma Aparatos Electrodomésticos y Análogos Seguridad." 2025. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0074902>.

- Instituto de investigación y capacitaciones de telecomunicaciones-UNI. 2021. “Evaluación Eléctricos Tradicionales.” INICTEL-UNI. 2021. <https://doi.org/10.5944/reop.vol.32.num.3.2021.32564>.
- Jaguaco, Byron Eduardo Cumba. 2019. “Diseño e Implementación de Un Horno Eléctrico Para El Secado de Motores En La Empresa Siproelectrik S.A.” Universidad Técnica de Cotopaxi. <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5533/1/PI-001400.pdf>.
- Jaramillo, P, and P Peralta. 2022. “Diseño de Un Horno Para Procesos de Tratamientos Térmicos En La Empresa Fibroacero S.A.” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/23553/1/UPS-CT010127.pdf>.
- Majeed, Akash. 2022. “Software Ansys Para Ingeniería Mecánica.” <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18076.97927>.
- Mellado, Edgar Elmer Chumbe. 2019. “Control de Temperatura de Un Horno Eléctrico Utilizando Controlador Lógico Programable Para Línea de Producción de Panadería.” Universidad Nacional del Centro del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/6628/T010_20114058_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- Montes, Alejandro. 2024. “Prototipo de Horno Industrial de Doble Compartimiento Controlado Para El Sector Hostelero.” UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA. <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/95023921-4e0a-4b7b-bce9-6b69d689fe78/content>.
- Naidiuk, Olena, and Paúl Torres. 2018. *Introducción Al Análisis Térmico y de Fluidos Mediante Ansys*. 1er ed. Cuenca, Ecuador. [https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17052/1/Introduccion al analisis termico y de fluidos mediante Ansys.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17052/1/Introduccion%20al%20 analisis%20 termico%20 y%20 de%20 fluidos%20 mediante%20 Ansys.pdf).
- Olugbade, Temitope Olumide. 2019. “Desarrollo y Evaluación Del Rendimiento de Un Horno Eléctrico de Panadería Mejorado.” https://www.researchgate.net/publication/332221489_Development_and_performance_evaluation_of_an_improved_electric_baking_oven.
- Ríos, Roger Ricardo. 2017. *Guía Para La Investigación y Redacción*. 1er ed. Málaga-España.

<https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/1662.pdf>.

Simbaña, I. 2025. “Análisis de La Eficiencia Energética En Un Horno Eléctrico Con La Implementación de Un Ventilador Convectivo” 0 (22): 46–52.
<https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/708/1071>.

Solis, Manuel. 2019. “Diseño de Un Sistema de Control de Temperatura de Un Horno, Utilizado Para Secado de Barniz Aislante.” Universidad Tecnológica del Perú.
[https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2398/Manuel Solis_Trabajo de Suficiencia Profesional_Titulo Profesional_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2398/Manuel_Solis_Trabajo_de_Suficiencia_Profesional_Titulo_Profesional_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y).

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecemos a Dios por brindarnos la vida, la salud y la fortaleza necesarias para superar los desafíos que se presentan en el transcurso de esta etapa académica, iluminando nuestro camino y permitiéndonos culminar con éxito este proyecto que representa un anhelo profundamente deseado.

Extendemos también nuestro agradecimiento a nuestro asesor de tesis, Mg. Ing. Henry Oswaldo Pinedo Nava, director del Instituto de Investigación en Energías Renovables (INRER). Así mismo, agradecimiento por las facilidades brindadas para el uso de equipos e instrumentos del Laboratorio de Diseño, Fabricación y Manufactura Mecánica (DFABLAB), creado según RES. CCO N.º 200-2025-CCO-UNJ y el Laboratorio de Medición de Recursos Energéticos Renovables, Calidad y Eficiencia Eléctrica (MEDRER), creado según RES. P. N.º 444-2023-CO-UNJ, fueron fundamentales para el avance y la experimentación de este estudio.

De igual manera, agradecemos el respaldo académico ofrecido por los semilleros de investigación: “Diseño Mecánico y Procesos de Manufactura – CAD-CAM” (RES. VPI N.º 893-2022-UNJ) y “Desarrollo Tecnológico con Electrónica Embebida Programable – TECDES” (RES. CCO N.º 608-2024-CO-UNJ), espacios, equipos e instrumentos que fortalecieron nuestras competencias investigativas y técnicas.

Así mismo, agradecemos a la Universidad y a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por su guía y enseñanza en todo el proceso académico. No menos importante, reconocemos a nuestros compañeros, con quienes compartimos experiencias, aprendizajes y esfuerzos que enriquecieron nuestro desarrollo personal y profesional.

Finalmente, expresamos nuestro reconocimiento a nuestras familias, quienes con paciencia, amor y apoyo incondicional se convirtieron en la base y motivación de nuestros esfuerzos durante el desarrollo de la tesis.

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis primeramente a Dios por darme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para superar cada obstáculo y culminar esta etapa tan importante de mi formación profesional. También a mis padres Santos Edwin Tirado Arroyo y Lastenia Marcelina Urteaga Paredes, como a mis hermanos y profesores; quienes con su compañía, consejos y motivación fueron parte fundamental en este camino. A cada persona que, de una u otra forma, contribuyó con su apoyo y comprensión, les dedico este logro, porque detrás de cada página de esta tesis hay un poco de sus enseñanzas, su paciencia y su fe en mí.

Jesús Edwin Tirado Urteaga.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Miguel Vasquez Idrogo y María Cruzado Lara, quienes con su esfuerzo, sacrificio y amor incondicional me han acompañado en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme el valor del compromiso, la perseverancia y la responsabilidad, pilares que han hecho posible alcanzar esta meta académica. A mi familia en general, por su apoyo constante, sus palabras de aliento y la confianza depositada en mí, que me motivaron a seguir adelante incluso en los momentos de mayor dificultad. Este logro no solo me pertenece, sino que también es reflejo de todo lo que me han brindado con generosidad y cariño.

Elmer Roiser Vasquez Cruzado

VII. ANEXOS

Anexo 1: Panel fotográfico

Figura 63:

Instalación de switch de alimentación 220 VAC



Figura 64:

Manufactura de base de placa electrónica, para integración de esta en la estructura del prototipo



Figura 65:

Seccionamiento de la estructura (división de placa interna de externa), para evitar conducción a través del acero INOX AISI 304



Figura 66:

Inserción de material aislante térmico – Fibra de vidrio



Figura 67:

Pruebas iniciales a 100 °C sin muestras experimentales, utilizando un termómetro para verificación. Además, se observa el control de la temperatura desde un dispositivo móvil.



Figura 68:

Pruebas finales a 180 °C con muestras experimentales, utilizando un termómetro para verificación



Anexo 2: Código de programación C/C++ para el control de temperatura.

```
/* *****
 * ESP32 horno – Termóstato ON/OFF ±0,5 °C
 *           Buzzer proporcional + tonos BT
 * 2025
 * *****/
#include <SPI.h>
#include <MAX6675.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include "freertos/FreeRTOS.h"
#include "freertos/task.h"

/* ----- Pines y lógica de salida ----- */
constexpr int SSR_PIN = 23; // G3MB (activo-bajo)
constexpr bool SSR_ON_LEVEL = LOW;
constexpr int BUZ_PIN = 18; // buzzer pasivo
constexpr int SO_PIN = 16, SCK_PIN = 14, CS_PIN = 13;

/* ----- Helper SSR ----- */
inline void setSSR(bool on) {
    digitalWrite(SSR_PIN, on ? SSR_ON_LEVEL : !SSR_ON_LEVEL);
}

/* ----- Objetos ----- */
MAX6675 tcouple(CS_PIN, SO_PIN, SCK_PIN);
BluetoothSerial SerialBT;

/* ----- Compartidos ----- */
volatile float g_tempC = 0.0;
volatile uint8_t g_status = 128;
portMUX_TYPE mux = portMUX_INITIALIZER_UNLOCKED;

/* ----- Control ON/OFF ----- */
double tempSET = 30.0; // °C
const double HYST = 1; // ±1 °C
bool ssrState = false;

/* ----- Buzzer proporcional ----- */
const uint16_t BUZ_ERR_FREQ = 2000; // Hz para error
const double MAX_ERR = 30.0; // error "muy lejos"
const uint16_t BEEP_ON = 150; // ms ON
const uint16_t CAD_MIN = 100; // ms (rápido)
const uint16_t CAD_MAX = 1500; // ms (lento)
uint32_t lastBeep = 0;
bool buzOn = false;

/* ----- Override para tonos BT ----- */
```

```

uint32_t buzOverrideUntil = 0; // deja en silencio la lógica normal
bool prevConnected = false;

/* ===== Lector MAX6675 (núcleo 0) ===== */
void TaskReadMAX6675(void*) {
    const TickType_t d250ms = pdMS_TO_TICKS(250);
    for (;;) {
        uint8_t st = tcouple.read();
        float t = tcouple.getCelsius();
        portENTER_CRITICAL(&mux);
        g_tempC = t;
        g_status = st;
        portEXIT_CRITICAL(&mux);
        vTaskDelay(d250ms);
    }
}

/* ----- Tonos de conexión / desconexión ----- */
void playConnectTone() {
    tone(BUZ_PIN, 2000, 100);
    delay(150);
    tone(BUZ_PIN, 2500, 100);
    delay(100);
    noTone(BUZ_PIN);
    buzOverrideUntil = millis() + 300; // 300 ms de veto al beep normal
}

void playDisconnectTone() {
    tone(BUZ_PIN, 600, 300);
    delay(300);
    noTone(BUZ_PIN);
    buzOverrideUntil = millis() + 300;
}

/* ===== SETUP ===== */
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    SerialBT.begin("ESP32_OVEN");

    SPI.begin();
    tcouple.begin();
    tcouple.setSPISpeed(4'000'000);
    xTaskCreatePinnedToCore(TaskReadMAX6675, "ReadMAX6675", 2048, nullptr, 1,
    nullptr, 0);

    pinMode(SSR_PIN, OUTPUT);
    setSSR(false);
    pinMode(BUZ_PIN, OUTPUT);
}

```

```

}

/* ===== LOOP (núcleo 1) =====
*/
void loop() {
    static uint32_t tSend = 0;
    const uint32_t SEND_INT = 5000;

    /* 0 - Detectar conexión / desconexión BT */
    bool connected = SerialBT.hasClient();
    if (connected && !prevConnected) playConnectTone();
    if (!connected && prevConnected) playDisconnectTone();
    prevConnected = connected;

    /* 1 - Copiar temperatura */
    portENTER_CRITICAL(&mux);
    float temp = g_tempC;
    uint8_t st = g_status;
    portEXIT_CRITICAL(&mux);

    /* 2 - ON/OFF ±0,5 °C */
    if (st == STATUS_OK) {
        if (temp > tempSET + HYST) ssrState = false;
        else if (temp < tempSET - HYST) ssrState = true;
    } else {
        ssrState = false;
    }
    setSSR(ssrState);

    /* 3 - Buzzer de error (omitido si override activo) */
    uint32_t now = millis();
    if (now > buzOverrideUntil) {
        double error = fabs(tempSET - temp);

        if (error <= HYST) {
            if (buzOn) {
                noTone(BUZ_PIN);
                buzOn = false;
            }
        } else {
            double ratio = constrain(error / MAX_ERR, 0.0, 1.0);
            uint16_t cadence = CAD_MAX - (uint16_t)((CAD_MAX - CAD_MIN) * ratio);

            if (buzOn && (now - lastBeep >= BEEP_ON)) {
                noTone(BUZ_PIN);
                buzOn = false;
                lastBeep = now;
            } else if (!buzOn && (now - lastBeep >= cadence)) {

```

```

        tone(BUZ_PIN, BUZ_ERR_FREQ);
        buzOn = true;
        lastBeep = now;
    }
}

/* 4 - Telemetría */
if (now - tSend >= SEND_INT) {
    if (st == STATUS_OK) SerialBT.printf("T:%.2f\n", temp);
    else SerialBT.printf("ERR:%u\n", st);
    tSend = now;
}

/* 5 - Set-point desde La app */
if (SerialBT.available()) {
    String cmd = SerialBT.readStringUntil('\n');
    cmd.trim();
    if (cmd.startsWith("S:")) tempSET = cmd.substring(2).toFloat();
}
}

```

Anexo 3: Ficha técnica de materiales para implementación del prototipo.

Tabla 22:

Ficha técnica de Acero Inoxidable AISI 304

PROPIEDADES MECÁNICAS A 20C	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN RECOCIDO / DEFORMACIÓN EN FRÍO		Rm (N/mm ²)	520 - 720 / 540 - 750
	ELASTICIDAD RECOCIDO / CON DEFORMACIÓN EN FRÍO		Rp (N/mm ²)	210 / 230
	ELONGACIÓN (A ₅) MIN		(%)	≥ 45
	RESILIENCIA KCUL / KVL		(J/cm ²)	160 / 180
PROPIEDADES MECÁNICAS EN CALIENTE	ELASTICIDAD	RP(0.2) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	125 / 97 / 93
		RP(1) A 300C/400C/500C	(N/mm ²)	147 / 127 / 107
	LÍMITE DE FLUENCIA A 500C/600C/700C/800C		σ _{1/10⁵/t (N/mm²)}	68 / 42 / 14.5 / 4.9
TRATAMIENTO TÉRMICOS	RECOCIDO COMPLETO RECOCIDO INDUSTRIAL		(OC)	ENFR. RÁPIDO 10081120
	TEMPLADO			NO ES POSIBLE
	INTERVALO DE FORJA INICIAL / FINAL		(C)	1200 / 925
	FORMACIÓN DE CASCARILLA, SERVICIO CONTINUO / SERVICIO INTERMITENTE			925 / 840
TABLA DE CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ACERO INOXIDABLE				
ACERO INOXIDABLE AISI 304				
DESIGNACIÓN	TIPO AISI 304			304
	COMPOSICIÓN QUÍMICA			C ≤ 0.08%* Si ≤ 1.00% Mn ≤ 2.00% Cr 18% - 20%* Ni 8% - 10,5%*
PROPIEDADES FÍSICAS	PESO ESPECÍFICO A 20C (DENSIDAD)		(g/cm ³)	7.9
	MÓDULO DE ELASTICIDAD		(N/mm ²)	193,000
	ESTRUCTURA			AUSTENÍTICO
	CALOR ESPECÍFICO A 20C		(J/Kg K)	500
	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA A 20C/100C		(W/m K)	15 / 16
	COEFICIENTE DE DILATACIÓN A 100C		(x 10 ⁶ C ⁻¹)	16.0 - 17.30
	INTERVALO DE FUSIÓN		(C)	13981454
PROPIEDADES ELÉCTRICAS	PERMEABILIDAD ELÉCTRICA EN ESTADO SOLUBLE RECOCIDO			MAGNÉTICO 1.008
	CAPACIDAD DE RESISTENCIA ELÉCTRICA A 20C		(μΩm)	0.72 - 0.73
	DUREZA BRINELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO			130150 / 180330
	DUREZA ROCKWELL RECOCIDO HRB/CON DEFORMACIÓN EN FRÍO			7088 / 1035

Tabla 23:

Ficha técnica de aislador térmico fibra de lana de vidrio



LANA DE VIDRIO UNITED INSULATION



DESCRIPCIÓN

La manta de Lana de Vidrio de United Insulation, es la solución ideal para el aislamiento térmico y acústico. La lana Vidrio de United Insulation tiene un gran número de pequeñas bolsas de aire, para desempeña el buen papel de aislamiento térmico, la absorción de sonido, la resistencia a la corrosión y el rendimiento químico estable. Este producto de Lana de vidrio con revestimiento y sin revestimiento son el mejor material para aplicaciones de aislamiento.

USOS

- Uso para la pared en separaciones del edificio de alto grado, como aislamiento térmico de equipos, hornos industriales y electrodomésticos que trabajen hasta 250 °C.
- Instalado sobre cielorrasos suspendidos y entre techos en posición horizontal o inclinadas sin cargas.
-

PRESENTACIÓN

LANA DE VIDRIO	ESPESOR	ANCHO (m)	LONGITUD (m)	AREA (m ²)	DENSIDAD (Kg/m ³)
Sin Revestir	50 mm (2")	1,20	15,00	18	24
Sin Revestir	90 mm (3 ½")	1,20	15,00	18	10
Con Foil de Aluminio	38 mm (1 ½")	1,20	15,00	18	13
Con Foil de Aluminio	50 mm (2")	1,20	15,00	18	13

RESISTENCIA TERMICA (R)

ASTM C518

ESPESOR	R ₁₀
38 mm (1 ½")	10
50 mm (2")	15
90 mm (3 ½")	22
100 mm (4")	29

CONDUCTIVIDAD TERMICA

ASTM C518

0,032 W/m °C

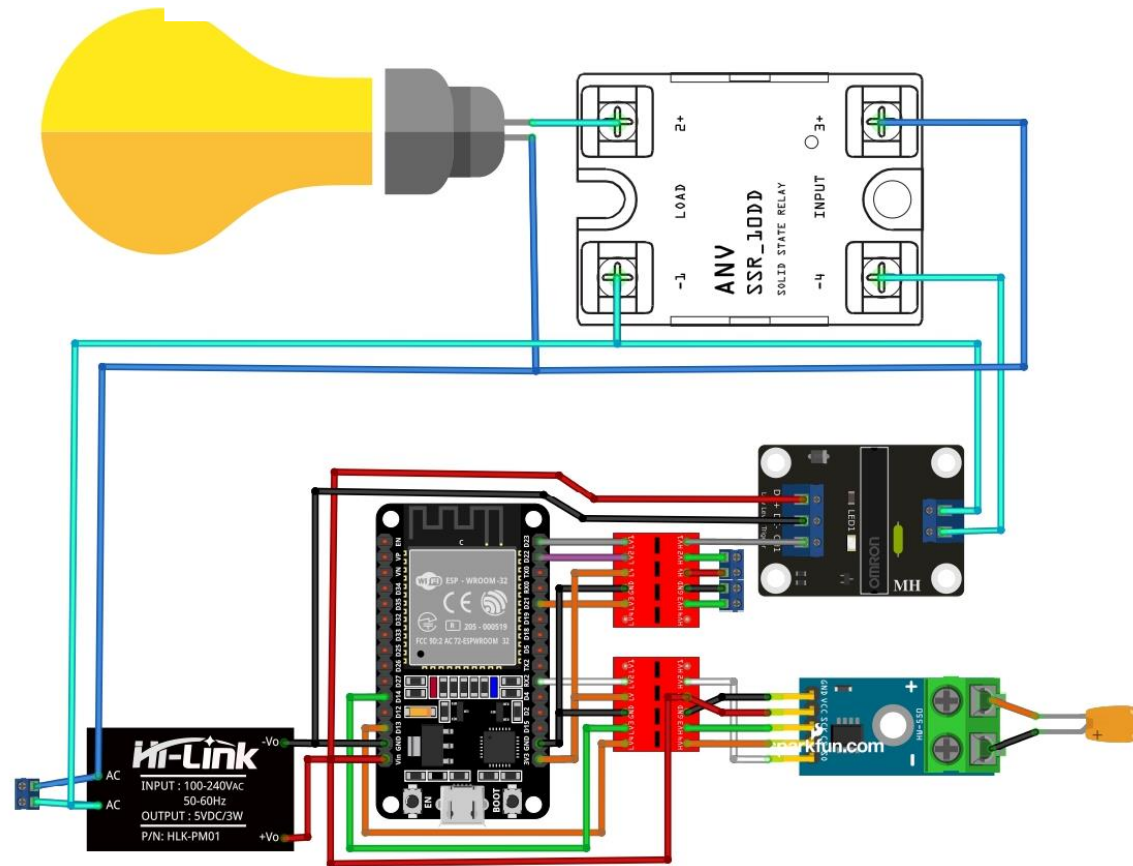
0,223 BTU·in/h·ft²·°F


ABSORCIÓN ACÚSTICA

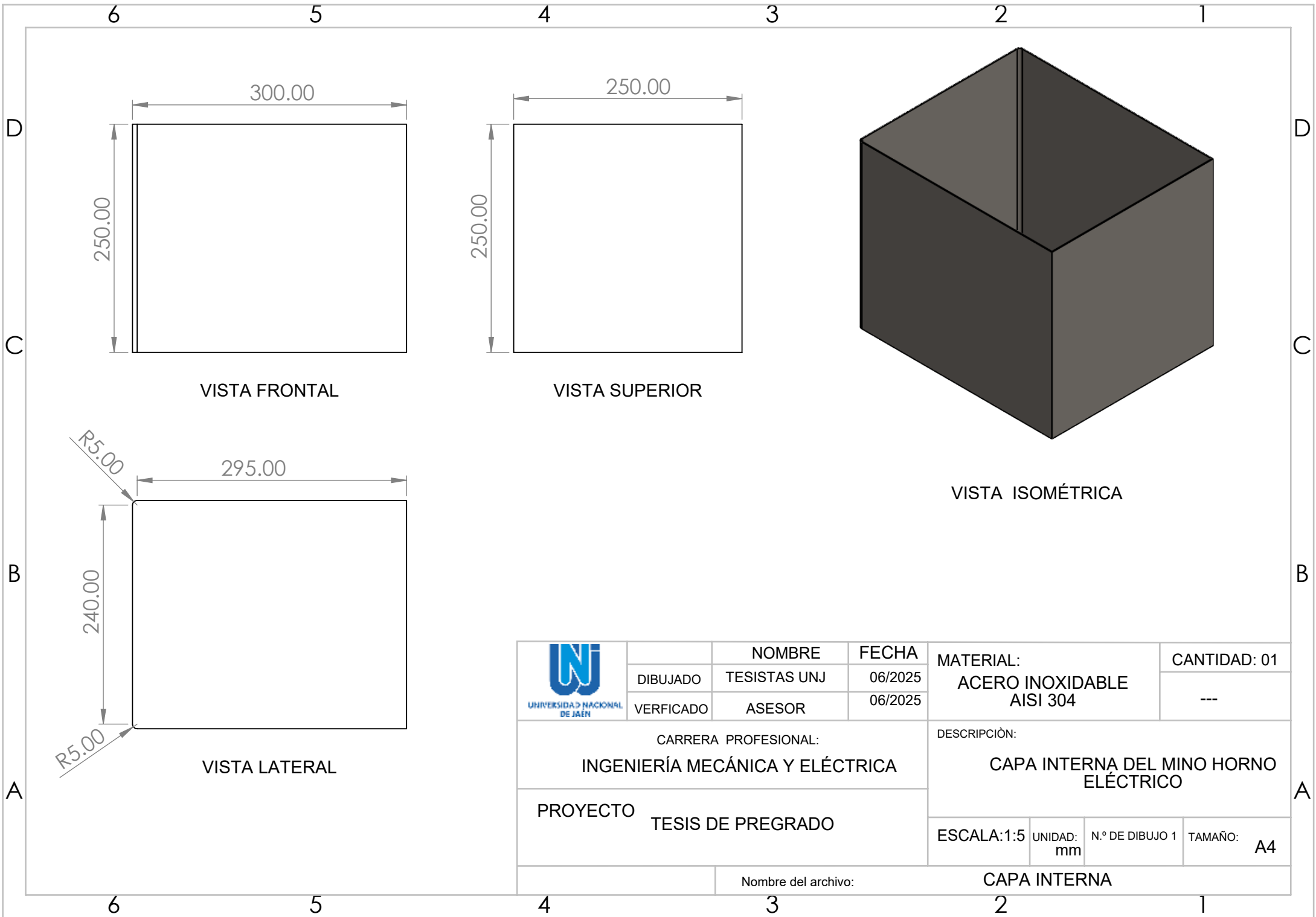
ESPESOR (mm)	NCR
50	0,75
100	0,80
150	0,85

Anexo 4: Planos de diseño estructural y circuito integrado de control electrónico.

CIRCUITO DE CONTROL DEL MINI HORNO ELECTRÓNICO

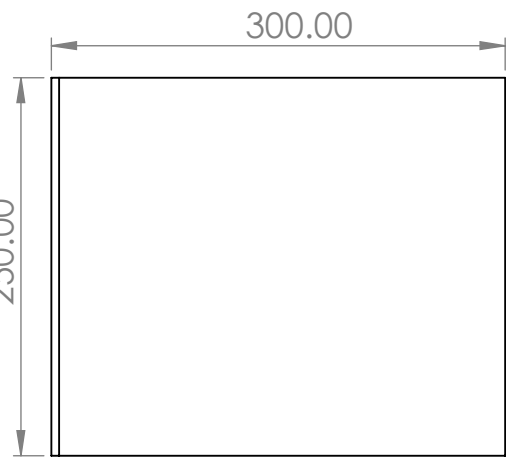


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	DIBUJADO	NOMBRE TESISTAS UNJ	FECHA 06/10/2025	MATERIAL: COBRE		CANTIDAD: 01
	VERIFICADO	ASESOR	06/10/2025			---
	CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA			DESCRIPCIÓN: CIRCUITO DE CONTROL DEL MINO HORNO ELÉCTRICO		
PROYECTO	TESIS DE PREGRADO				UNIDAD: mm	TAMAÑO: A4
			Nombre del archivo:	CIRCUITO ELECTRÓNICO		

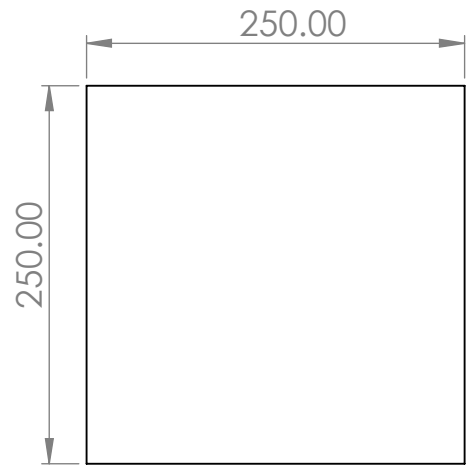


D
C
B
A

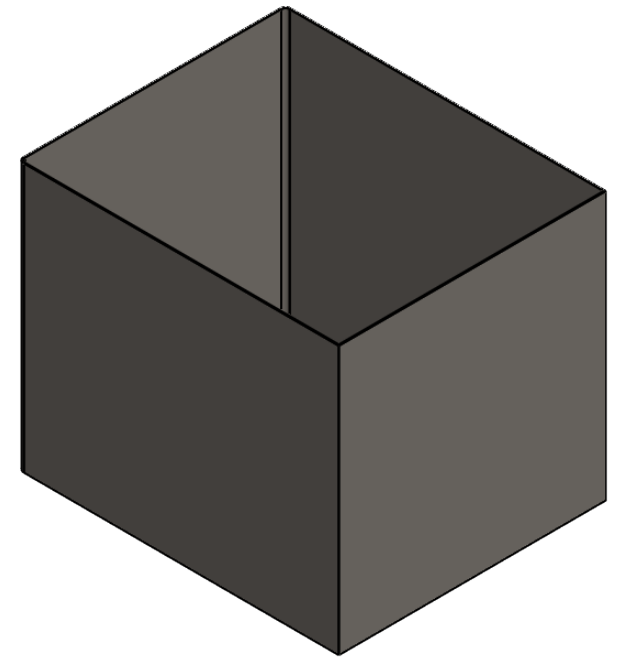
D
C
B
A



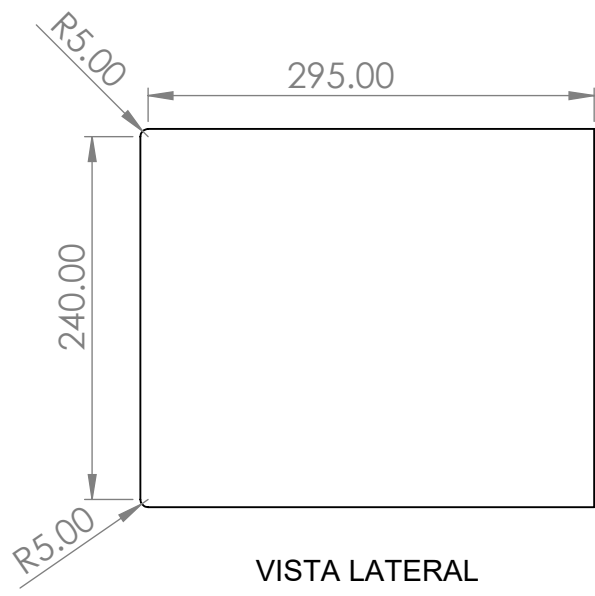
VISTA FRONTAL




VISTA SUPERIOR



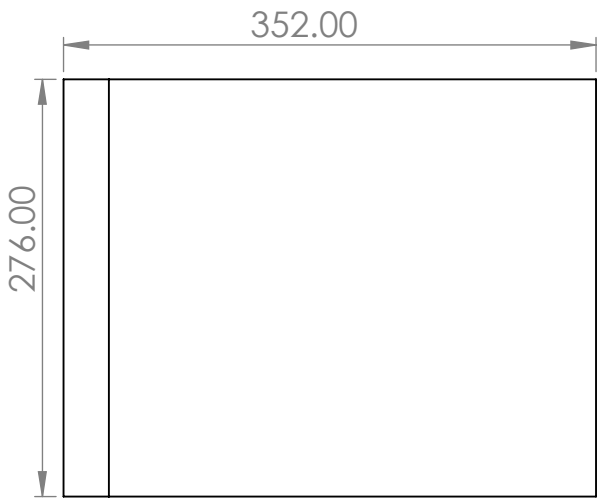
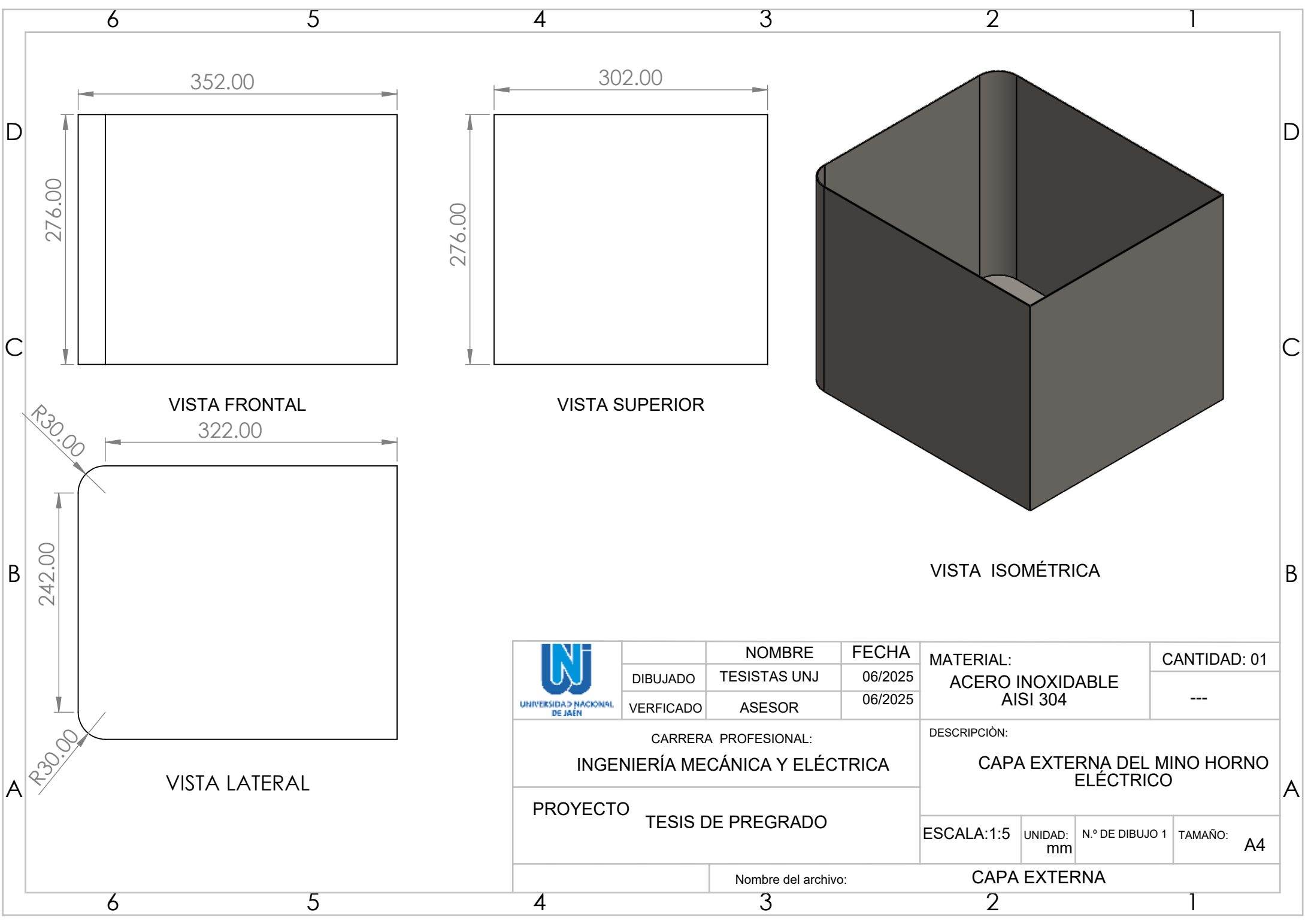
VISTA ISOMÉTRICA



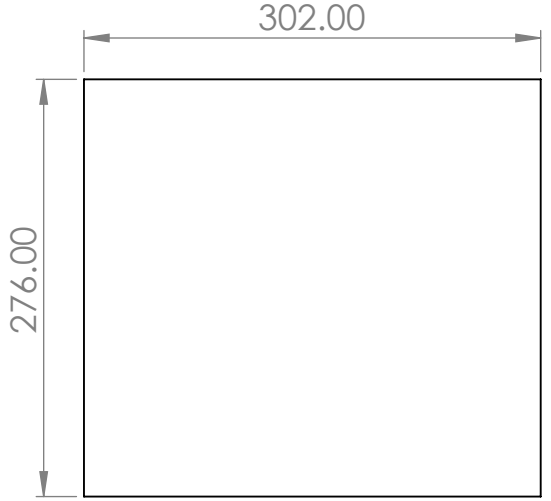
VISTA LATERAL

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01		
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE	---		
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304			
CARRERA PROFESIONAL:				DESCRIPCIÓN:			
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				CAPA INTERNA DEL MINO HORNO ELÉCTRICO			
PROYECTO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
				Nombre del archivo: CAPA INTERNA			

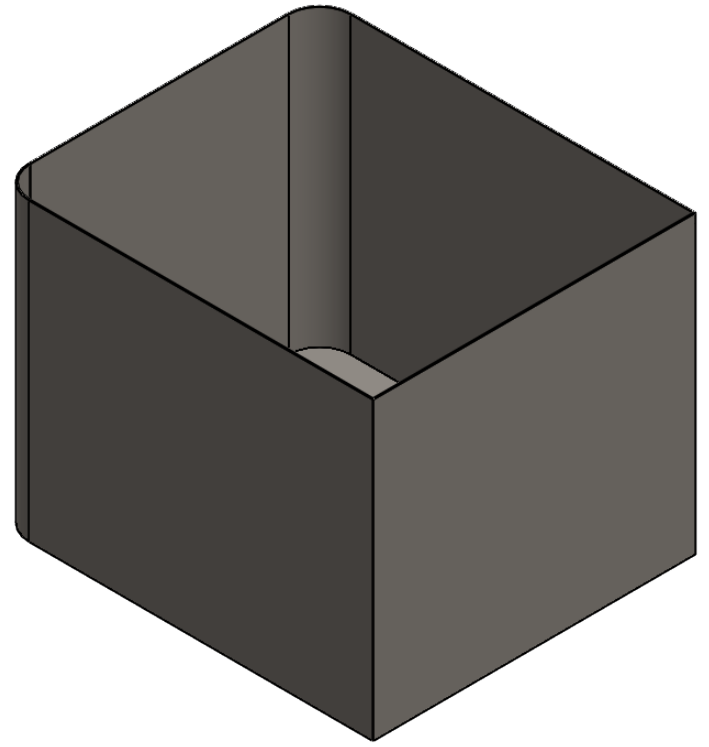
6 5 4 3 2 1



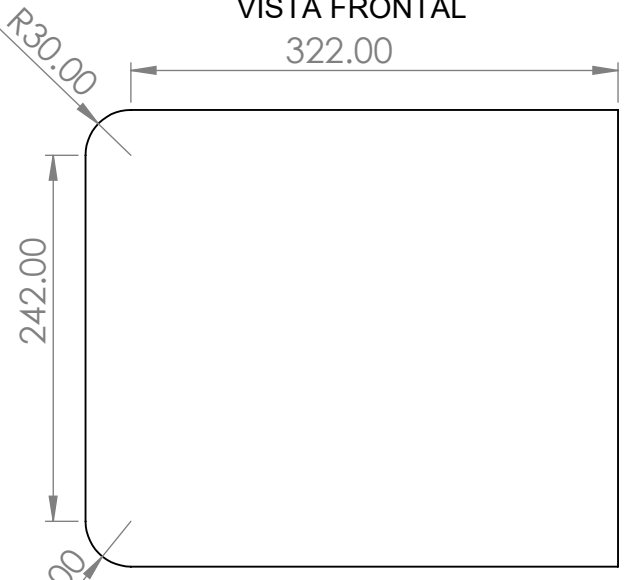
VISTA FRONTAL




VISTA SUPERIOR

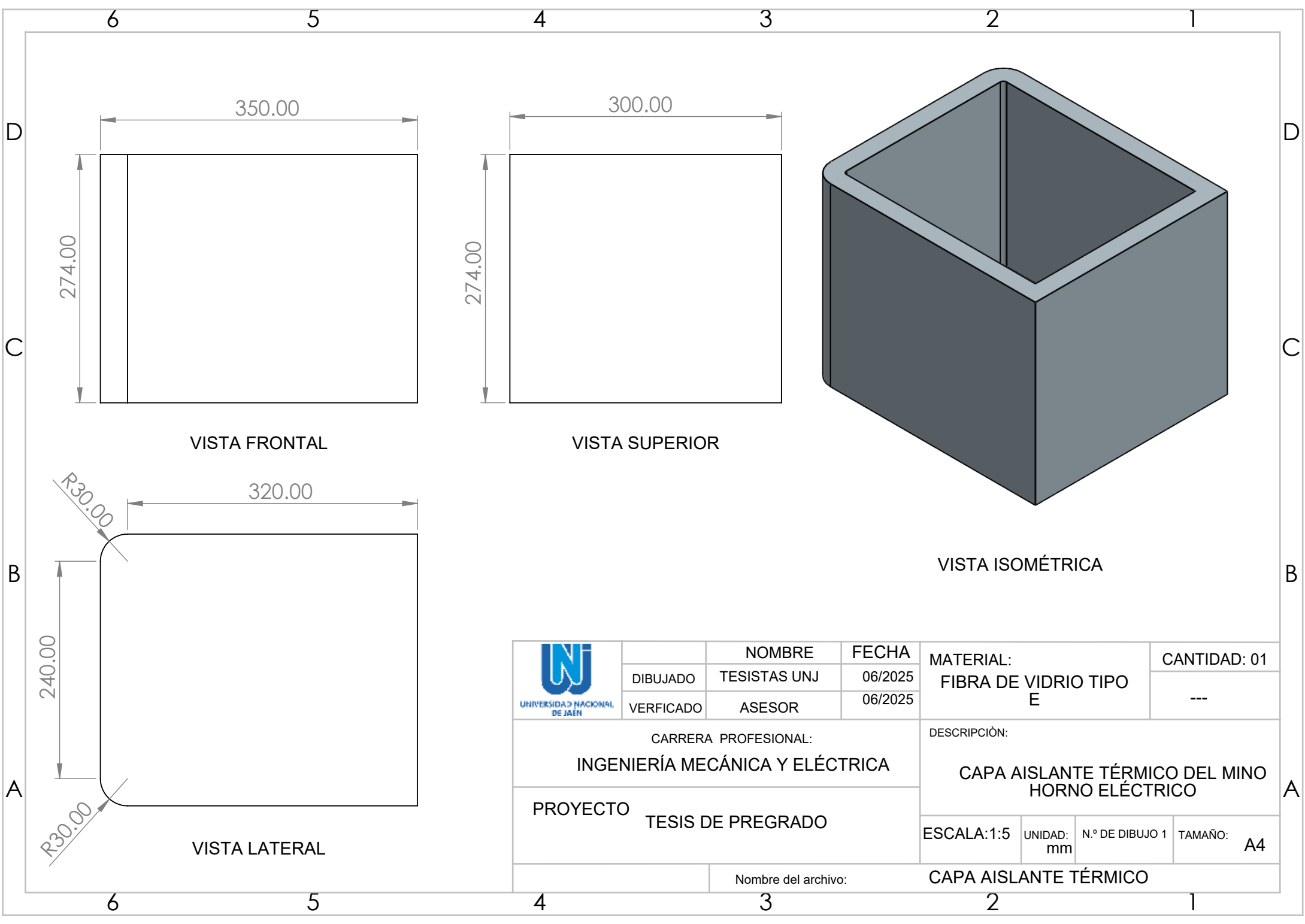


VISTA ISOMÉTRICA



VISTA LATERAL

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01		
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE	---		
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304			
CARRERA PROFESIONAL:				DESCRIPCIÓN:			
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				CAPA EXTERNA DEL MINO HORNO ELÉCTRICO			
PROYECTO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
				Nombre del archivo: CAPA EXTERNA			



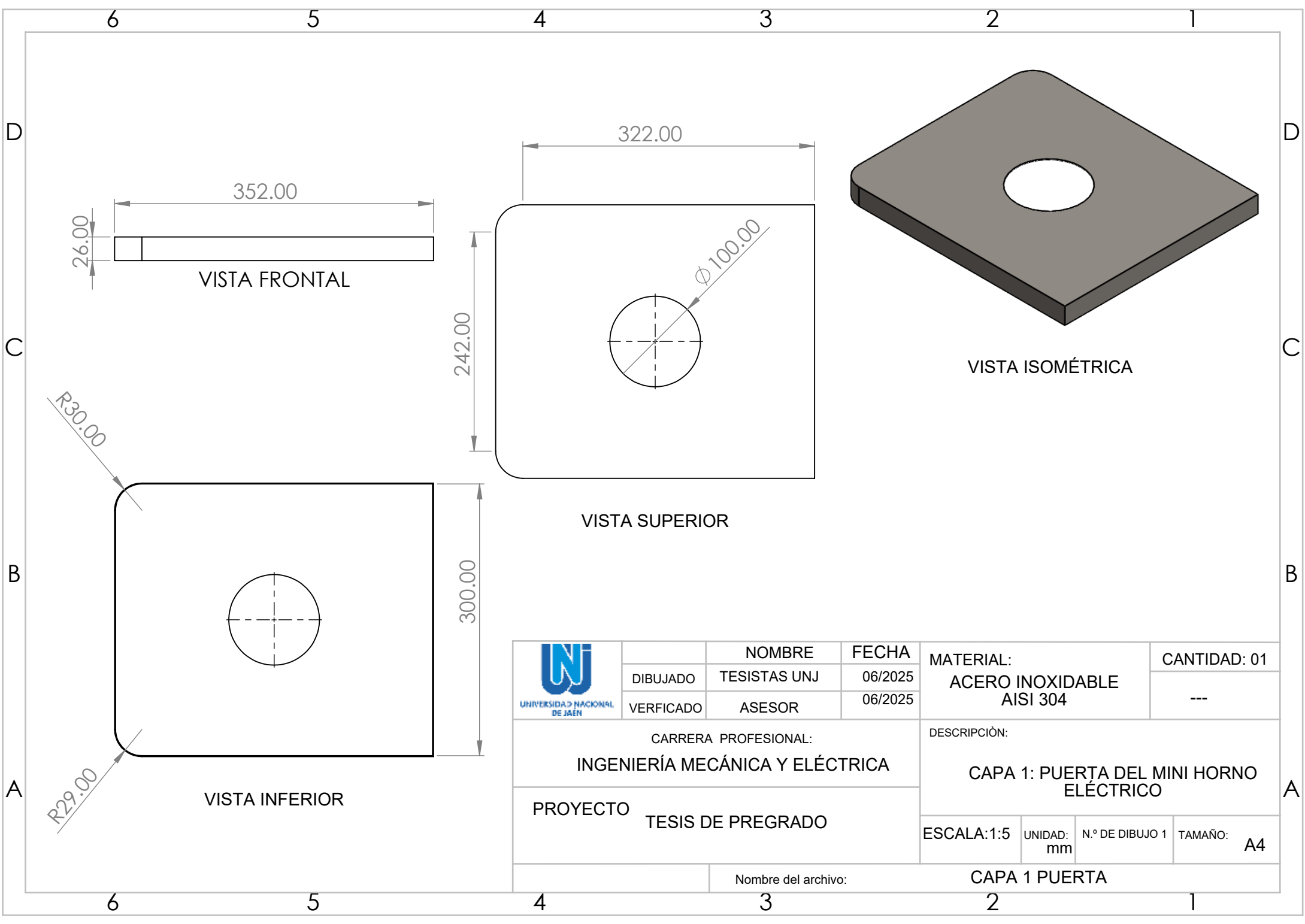
VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR

VISTA ISOMÉTRICA

VISTA LATERAL

		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	FIBRA DE VIDRIO TIPO E	---
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025		
CARRERA PROFESIONAL:				DESCRIPCIÓN:	
INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				CAPA AISLANTE TÉRMICO DEL MINO HORNO ELÉCTRICO	
PROYECTO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm
TESIS DE PREGRADO				N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
Nombre del archivo:			CAPA AISLANTE TÉRMICO		




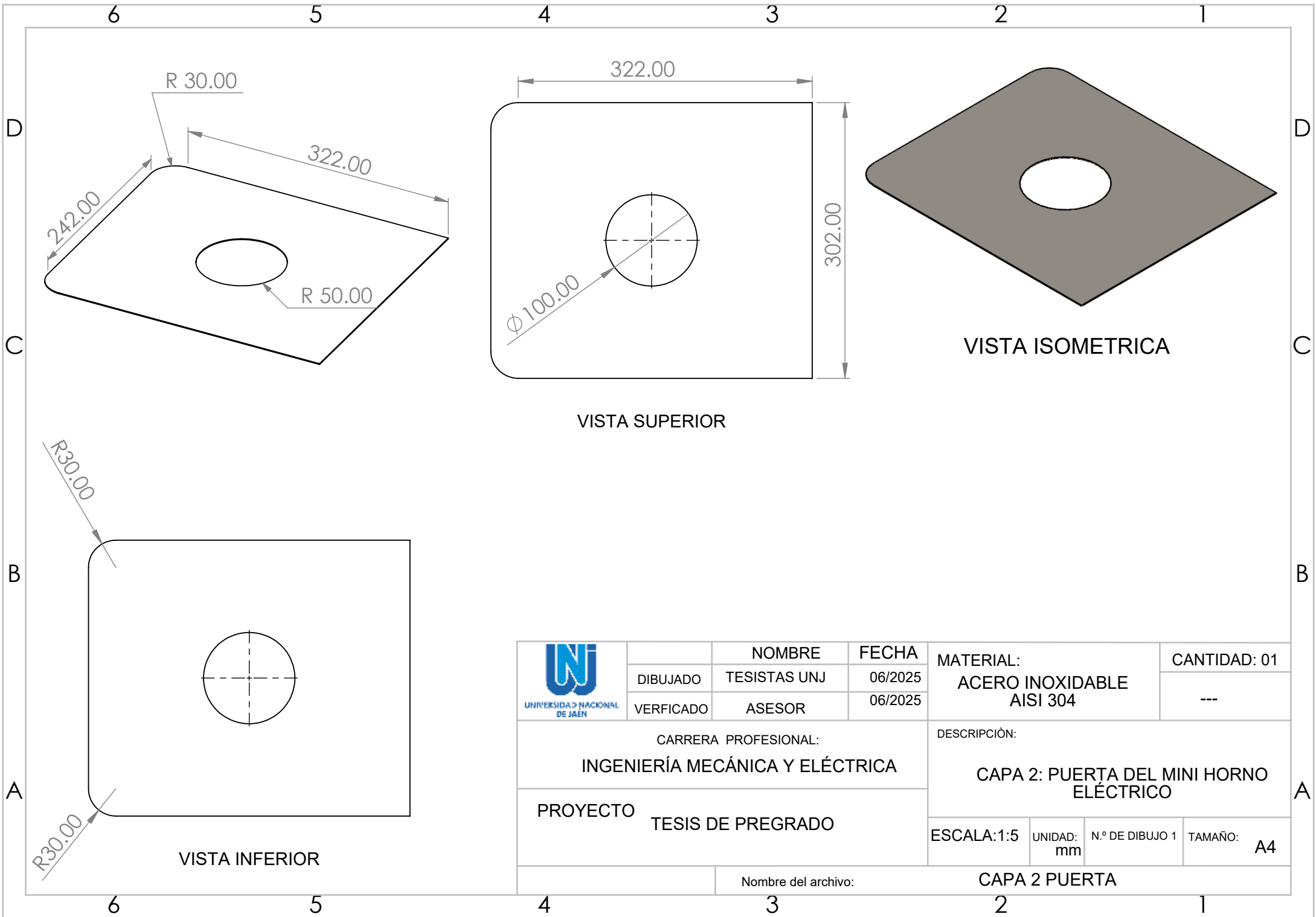
VISTA FRONTAL

VISTA SUPERIOR

VISTA INFERIOR

VISTA ISOMÉTRICA


 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE	---
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304	
CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				DESCRIPCIÓN: CAPA 1: PUERTA DEL MINI HORNO ELÉCTRICO	
PROYECTO TESIS DE PREGRADO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm
				N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
				Nombre del archivo: CAPA 1 PUERTA	

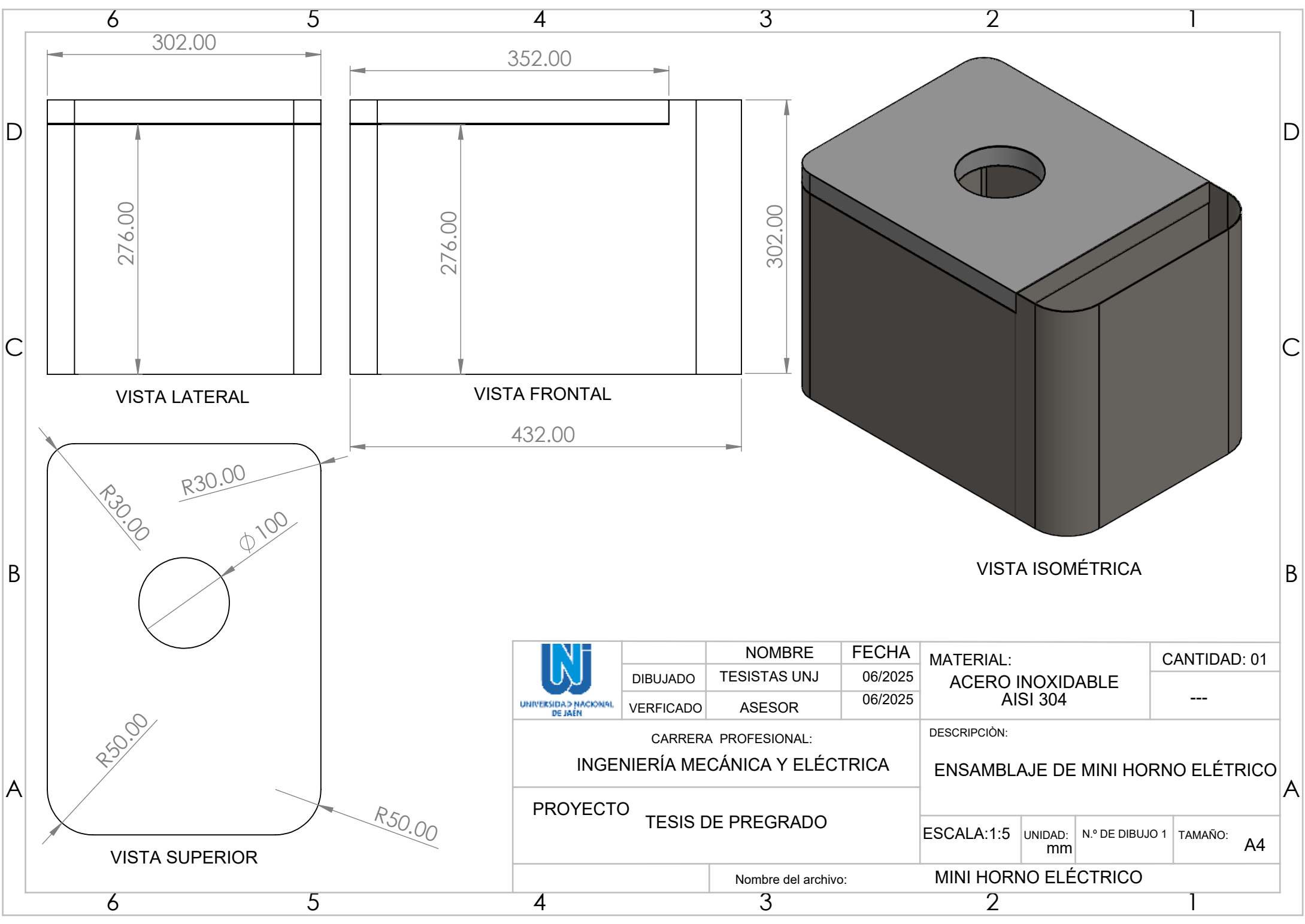


VISTA SUPERIOR

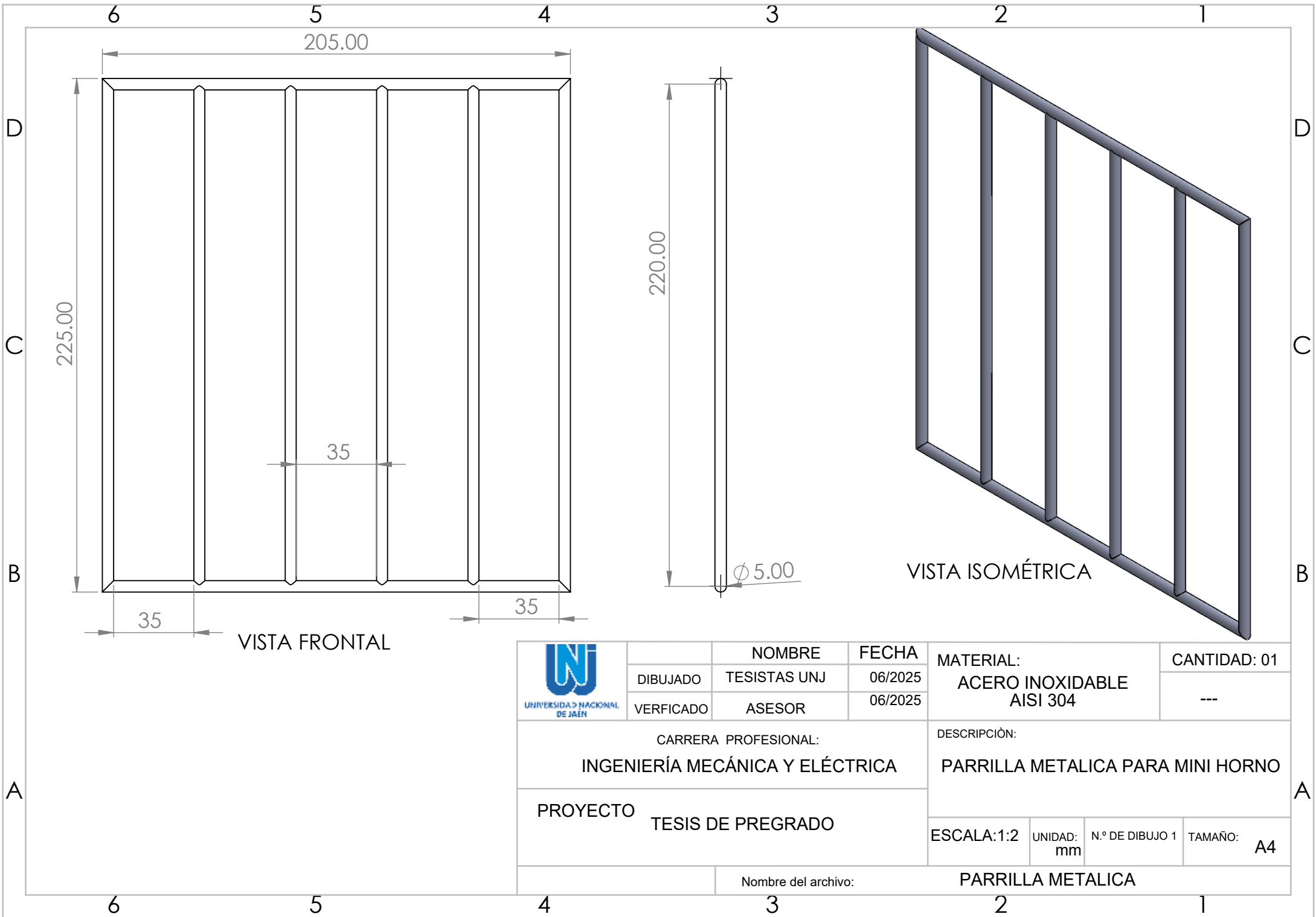
VISTA ISOMETRICA

VISTA INFERIOR

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:		CANTIDAD: 01	
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE		---	
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304			
CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				DESCRIPCIÓN: CAPA 2: PUERTA DEL MINI HORNO ELÉCTRICO			
PROYECTO TESIS DE PREGRADO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
				Nombre del archivo: CAPA 2 PUERTA			



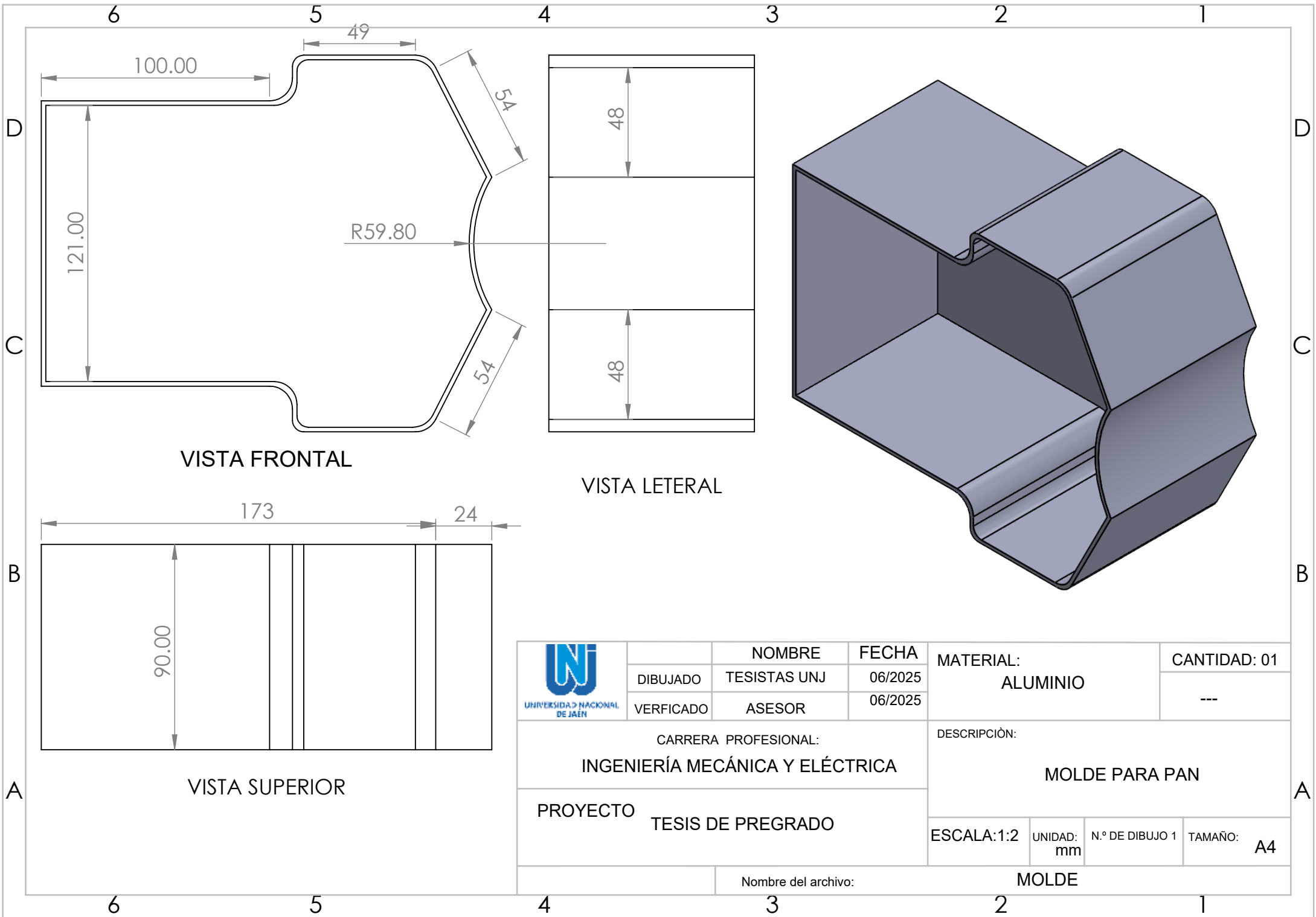
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01		
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE	---		
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304			
CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				DESCRIPCIÓN: ENSAMBLAJE DE MINI HORNO ELÉCTRICO			
PROYECTO TESIS DE PREGRADO				ESCALA: 1:5	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
Nombre del archivo:			MINI HORNO ELÉCTRICO				



VISTA FRONTAL

VISTA ISOMÉTRICA


		NOMBRE	FECHA	MATERIAL:	CANTIDAD: 01		
	DIBUJADO	TESISTAS UNJ	06/2025	ACERO INOXIDABLE	---		
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025	AISI 304			
CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA				DESCRIPCIÓN: PARRILLA METALICA PARA MINI HORNO			
PROYECTO TESIS DE PREGRADO				ESCALA: 1:2	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
Nombre del archivo:				PARRILLA METALICA			



VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL

VISTA SUPERIOR

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN	DIBUJADO	NOMBRE TESISTAS UNJ	FECHA 06/2025	MATERIAL: ALUMINIO		CANTIDAD: 01	
	VERIFICADO	ASESOR	06/2025			---	
	CARRERA PROFESIONAL: INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA			DESCRIPCIÓN: MOLDE PARA PAN			
PROYECTO TESIS DE PREGRADO				ESCALA: 1:2	UNIDAD: mm	N.º DE DIBUJO 1	TAMAÑO: A4
Nombre del archivo:			MOLDE				