UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica para la cocción de pan

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

AUTOR

Abiam Jamil Goicochea Garcia

ASESOR

William Fernando Villarreal Albitres

https://orcid.org/0000-0003-1743-6014

Chiclayo, 2025

Diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica para la cocción de pan

PRESENTADA POR

Abiam Jamil Goicochea Garcia

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Jony Villalobos Cabrera
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza
SECRETARIO

William Fernando Villarreal Albitres
VOCAL

Dedicatoria

Esta tesis la dedico a mis padres, que me formaron y me acompañaron con todo su apoyo durante todo el trayecto de mi carrera universitaria y por siempre demostrarme amor.

A mis hermanas, que produjeron un impacto durante mi desarrollo como persona y que con el ejemplo me llevaron al camino que me trajo hasta este momento de mi carrera.

A mis profesores, que gracias a sus enseñanzas me guiaron e inspiraron durante la carrera y mostrarme de lo que soy capaz.

Agradecimientos

A mi padre, Pedro, por brindarme los recursos, educación y conocimiento adicional que me llevó a concluir mi carrera universitaria.

A mi madre, Magali, por el esfuerzo diario y amor que aporta a la familia.

A mis hermanas por estar siempre presentes en las buenas y en las malas.

A los docentes de Ingenieros de la universidad, por enseñanza y dedicación que brindaron para guiarme en el aprendizaje diario.

DISEÑO DE UN HORNO CON FUENTE DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	18%	1%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	dokumen.pub Fuente de Internet	3%
2	repositorio.umsa.bo Fuente de Internet	3%
3	baixardoc.com Fuente de Internet	2%
4	repositorio.usm.cl Fuente de Internet	1%
5	minem.gob.pe Fuente de Internet	1%
6	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	Submitted to Universidad del Atlántico Trabajo del estudiante	1%
9	www.slideshare.net Fuente de Internet	

Índice

Resumen 9
Abstract 10
I. Introducción 11
Objetivos 12
Objetivo general 12
Objetivos específicos 12
1.1. Justificación 13
1.1.1. Justificación tecnológica 13
1.1.2. Justificación ambiental 13
1.1.3. Justificación social 13
1.1.4. Justificación económica 13
II. Revisión de literatura 14
2.1. Antecedentes 14
2.2. Bases teórico – científicas 17
2.2.1. Calor 17
2.2.2. Transferencia de calor 18
2.2.3. Mecanismos de transferencia de calor 18
2.2.4. Temperatura 20
2.2.5. Tipos de hornos para alimentos 20
2.2.6. Transferencia de calor por radiación 20
2.2.7. Teorías realizadas por otros investigadores 21
2.2.8. Mecanismo de cocción por radiación en un horno 21
2.2.9. Mecanismo de control 22
2.2.10. Fundamento del cálculo de demanda de calor 22
2.2.11. Parámetros de diseño y térmicos del diseño 23
2.2.12. Presupuesto 28
III. Materiales y métodos 31
3.1. Tipo y nivel de investigación: 31
3.2. Enfoque de la investigación 31
3.3. Diseño metodológico 31
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información. 31
3.5. Unidad de estudio y población. 32
3.6. Etapa de la metodología. 32
3.7. Diagrama de flujo metodológico. 33
3.8. Matriz de consistencia 34
3.9. Operacionalización de las variables 35
3.9.1. Variable independiente 35
3.9.2. Variable dependiente 35

IV. Resultados y discusión 36
4.1. Describir el proceso de horneado utilizando energía de manera híbrida 36
4.1.1. Diagrama de bloques de un horno a gas 36
4.1.2. Funcionamiento del horno híbrido gas/resistencia 36
4.2. Identificar los parámetros térmicos y estructurales que condicionan el diseño del horno 37
4.2.1. Cámara de cocción 37
4.2.2. Parámetros térmicos 39
4.2.3. Calor para la cocción del pan 39
4.2.4. Pérdidas de calor al abrir el horno 41
4.2.5. Calor disipado por las paredes 43
4.3. Seleccionar los equipos y accesorios que compondrán el sistema híbrido 48
4.3.1. Controlador de temperatura 48
4.3.2. Termocupla 49
4.3.3. Resistencia eléctrica 49
4.3.4. Quemador 49
4.3.5. Aislante térmico 50
4.4. Elaborar planos constructivos del horno empleando herramientas de diseño asistido por computadora 50
4.5. Estimar el presupuesto total requerido para la fabricación del horno, incluyendo materiales, equipos y mano de obra 50
4.5.1. Costo de materiales 50
4.5.2. Costo de mano de obra 51
4.5.3. Costo total 51
4.5.4. Beneficio 52
4.5.5. Gastos 52
4.5.6. Determinación del VAN y el TIR 54
4.6. Discusión 54
V. Conclusiones 55
VI. Recomendaciones 56
VII. Bibliografía 57
VIII. ANEXOS 61
Anexo 01: Ficha técnica de controlador de temperatura TC4W-N2R 61
Anexo 02: Ficha técnica termocupla tipo J 62
Anexo 03: Ficha técnica de quemador 63
Anexo 04: Aislante térmico 65
Anexo 05: Resistencia eléctrica 67
Anexo 06: Planos constructivos 68

Lista de tablas

Tabla 1: Matriz de consistencia 34
Tabla 2: Matriz de operacionalización de las variables 35
Tabla 3: Costo de materiales Fuente: Propia 50
Tabla 4: Costos de mano de obra Fuente: Propia 51
Tabla 5: Costo total Fuente: Propia 51
Tabla 6: Flujo de caja Fuente: propia 54

Lista de figuras

Figura 1: Transferencia de calor Fuente: Ciencia con Dr. Hans 18
Figura 2: Longitud de onda del espectro electromagnético Fuente: iStock 19
Figura 3: Diagrama de flujo 33
Figura 5: Partes del horno a gas 36
Figura 6:Diagrama del funcionamiento del horno híbrido..... 37
Figura 7: Dimensiones de cámara de cocción Fuente: Propia. 38
Figura 8: Dimensiones de cámara de cocción Fuente: Propia. 42

Resumen

El pan es un alimento esencial que es consumido mundialmente y es un alimento muy presente en las dietas de las personas desde hace miles de años, para poder producir este alimento es necesario de un horno para poder realizar la cocción de su masa, y a lo largo de los años los hornos que se utilizan para hacerlo han ido evolucionando. Este proyecto tiene como objetivo proponer un diseño de horno con fuente de energía hibrido a gas y resistencia eléctrica para la cocción pan con el fin de incrementar la disponibilidad del horno en caso de que no se cuente una fuente de calor. Se diseñará un horno con capacidad para producir 23,4 kg de pan por horneada cuyos componentes propuestos consisten en una válvula, quemador, sensor de temperatura, resistencia eléctrica, reóstato, controlador de temperatura. Para producir esta cantidad de pan es necesario 32,41 kW de calor, y considerando las perdidas obtenemos un requerimiento de 36,38 kW con un consumo de combustible de 3 kg/h. Finalmente se realizó un presupuesto de lo que podría costar la construcción de esta propuesta de horno con un resultado de $6119,32; luego se realizó una evaluación económica obteniendo retorno a los tres años.

Palabras clave: Horno hibrido, horno a gas, cocción de pan, panadería.

Abstract

Bread is an essential food consumed worldwide and has been a staple in people's diets for thousands of years. In order to produce this food, an oven is required to bake the dough. Over the years, the ovens used to make it have evolved. This project aims to propose an oven design with a hybrid gas and electric resistance power source for baking bread, increasing oven availability in the absence of a heat source. An oven will be designed with a capacity to produce 23.4 kg of bread per bake. The proposed components consist of a valve, burner, temperature sensor, electric resistance, rheostat, and temperature controller. To produce this amount of bread, 32.41 kW of heat is required, and considering the losses, we obtain a requirement of 36.38 kW with a fuel consumption of 3 kg/h. A cost estimate for this proposed kiln was finally drawn up, resulting in a total of $6,119.32; an economic evaluation was then conducted, yielding a return on investment after three years.

Keywords: Hybrid oven, gas oven, bread baking, bakery.

I. Introducción

La disponibilidad y gestión eficiente de la energía constituyen pilares fundamentales para garantizar el desarrollo sostenible de los procesos industriales. En el sector alimentario, particularmente en la industria panadera, el suministro térmico adecuado es esencial para operaciones como la cocción, conservación y transformación de productos, donde se requieren condiciones térmicas precisas y sostenibles para asegurar la calidad del pan. Generalmente, los hornos empleados en este rubro funcionan mediante gas o energía eléctrica, siendo esta última una opción menos común debido a su elevado costo de operación. En efecto, una parte significativa del consumo energético en panaderías se concentra en la operación de hornos que, al depender de una única fuente energética, se vuelven vulnerables frente a interrupciones en el suministro. Esta situación afecta directamente la continuidad del proceso productivo y puede generar pérdidas económicas considerables. Según estudios técnicos, el consumo energético promedio en este tipo de industrias se distribuye en un 82,3 % para combustibles, principalmente gas licuado de petróleo (GLP), y un 17,7 % para electricidad, destinada en su mayoría a motores, conservación y cocción [1].

Teniendo en cuenta este contexto, se identificó que muchas panaderías, especialmente aquellas de mediana y pequeña escala, enfrentan dificultades cuando ocurren cortes de energía eléctrica o fallos en la distribución de gas. Ahora bien, estos escenarios son más comunes de lo que se presume, y comprometen seriamente la productividad de dichos establecimientos, ya que los hornos convencionales no están diseñados para operar con una fuente energética alternativa. Por consiguiente, se hace evidente la necesidad de incorporar soluciones tecnológicas que brinden mayor flexibilidad y autonomía operativa [2].

A saber, la cocción del pan es un proceso que exige condiciones térmicas controladas para asegurar que el producto final cumpla con estándares de calidad. Así pues, la falta de estabilidad en la fuente de calor ya sea por interrupciones en el suministro o por fallas técnicas, puede traducirse en productos mal cocidos, pérdidas de materia prima y tiempos muertos. Simultáneamente, existe una creciente presión social e institucional por adoptar tecnologías que reduzcan la huella ambiental, lo que abre la posibilidad de aprovechar residuos orgánicos para la producción de biogás como fuente alternativa de energía [3].

Con motivo de estos desafíos, la presente investigación plantea el diseño de un horno industrial híbrido que integre dos fuentes de energía: gas (con posibilidad de biogás) y

resistencia eléctrica. Esta propuesta busca no solo garantizar la continuidad del proceso de cocción ante contingencias energéticas, sino también optimizar el aprovechamiento de recursos disponibles, reducir el impacto ambiental y fomentar el uso eficiente de la energía en el entorno panadero.

La formulación del problema parte de la pregunta central: ¿Cómo diseñar un horno industrial que combine de forma eficiente el uso de gas y energía eléctrica para la cocción de pan, asegurando la continuidad del proceso productivo y reduciendo la dependencia de una sola fuente energética? En respuesta a esta interrogante, el presente proyecto se orienta a diseñar un horno funcionalmente híbrido que permita alternar entre ambas fuentes según las condiciones de operación, garantizando así la versatilidad, eficiencia y sostenibilidad del sistema.

Objetivos

Objetivo general

- Diseñar un horno con fuente de energía híbrida a gas y resistencia eléctrica para la cocción de pan.

Objetivos específicos

- Describir el proceso de horneado utilizando energía de manera híbrida.
- Identificar los parámetros térmicos y estructurales que condicionan el diseño del horno.
- Seleccionar los equipos y accesorios que compondrán el sistema híbrido.
- Elaborar planos constructivos del horno empleando herramientas de diseño asistido por computadora.
- Estimar el presupuesto total requerido para la fabricación del horno, incluyendo materiales, equipos y mano de obra.

Así pues, la presente tesis no solo responde a una necesidad técnica concreta en el ámbito de la panificación, sino que también promueve la innovación tecnológica aplicada al diseño industrial, con un enfoque sostenible y resiliente frente a escenarios de vulnerabilidad energética.

1.1. Justificación

1.1.1. Justificación tecnológica

El proyecto de un horno híbrido que funcione tanto con gas como con resistencia eléctrica buscará superar las limitaciones que poseen los hornos convencionales al usar sol una fuente de energía. El sistema dual permitirá seguir operando a pesar de fallas en el suministro de gas o electricidad, aumentando su disponibilidad

1.1.2. Justificación ambiental

Desde la perspectiva ambiental, el horno híbrido permitirá optimizar el consumo según la disponibilidad y costo de cada fuente de energía, además de permitir el uso de fuentes de energías amigables con el medio ambiente, como lo sería un sistema de energía solar y un sistema de biogás con un biodigestor, como ejemplos.

1.1.3. Justificación social

Desde la perspectiva social, este proyecto de horno híbrido mejoraría la confiabilidad de la panadería que lo utilice, ya que aseguraría la producción constante de pan, siendo un alimento básico en la alimentación de casi toda la población.

1.1.4. Justificación económica

Desde la perspectiva económica, representaría una inversión rentable, al poder elegir la opción más económica o disponible en cualquier momento, reduciendo pérdidas económicas producidas por la interrupción de la producción de pan debido a cortes ya sea de gas o de electricidad.

II. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes

Rojas [4], en su investigación desarrollada en Bolivia en el año 2018, propuso el diseño de un horno rotatorio industrial destinado a la empresa panificadora San José, con el objetivo de optimizar el proceso de producción y elevar la calidad del producto final. Para ello, empleó cálculos de transferencia de calor y seleccionó acero inoxidable AISI 304 como material principal, dada su amplia aplicación en equipos térmicos industriales. Además, realizó una evaluación económica basada en los costos asociados al consumo de combustible y las ganancias proyectadas por la mejora en la producción. Como resultado, determinó que la implementación del horno diseñado era técnica y económicamente viable. Este antecedente se relaciona con el presente estudio en tanto ambos plantean el diseño de hornos rotatorios para panadería; sin embargo, difieren en la fuente energética utilizada, ya que la investigación anterior emplea exclusivamente gas natural, mientras que el presente proyecto propone un sistema híbrido que integra biogás y resistencia eléctrica para mayor eficiencia y sostenibilidad.

En Chile, Rubio [5] realizó en 2018 una evaluación técnica centrada en el proceso de combustión con gas licuado y la eficiencia energética de un horno industrial panadero. Su estudio consistió en la aplicación de balances de masa y energía, considerando como volumen de control el horno en operación. Asimismo, se registraron temperaturas de cocción y se utilizaron indicadores técnicos para calcular el rendimiento del quemado. Como parte de su metodología, se implementó un sistema de medición de flujos, temperaturas y análisis de gases de combustión. Los resultados indicaron que la eficiencia térmica del horno era de 9,69 % en máxima potencia y 9,19 % en mínima potencia, considerando cargas de 4,75 kg y 5,32 kg de pan, respectivamente. A partir de ello, se recomendó modificar componentes estructurales como la goma de cierre para mejorar el desempeño. Este estudio guarda relación con el presente proyecto en cuanto al uso de balances térmicos para evaluar el diseño del horno; sin embargo, se diferencia en que el trabajo de Rubio se enfoca exclusivamente en un horno existente y de una sola fuente de calor, mientras que la presente investigación propone un diseño nuevo con configuración híbrida gas-eléctrico.

En Nigeria, Ilesanmi y Akinnuli [6] llevaron a cabo en 2019 el diseño, fabricación y evaluación del desempeño de un horno doméstico portátil a gas con fines multipropósito. El proyecto incluyó el desarrollo de planos de ingeniería, el cálculo térmico y estructural

del horno, la selección de materiales adecuados para su construcción, así como la estimación de los costos asociados. Una vez construido, el horno fue sometido a pruebas de desempeño que arrojaron una eficiencia de horneado del 90,7 %, con capacidad para alojar 12 panes por bandeja. Esta investigación resulta relevante como referencia metodológica para el presente estudio, debido al enfoque en el diseño térmico y la validación experimental del equipo. Sin embargo, se diferencia en que el proyecto nigeriano se limita al uso exclusivo de gas como fuente energética y está orientado a un entorno doméstico, mientras que la presente investigación propone un diseño de horno híbrido (gas y resistencia eléctrica) con aplicación industrial.

Omoyi et. al [7], En su estudio desarrollan un prototipo de horno de panificación con fuente de energía dual (gas y eléctrica), con el objetivo de evaluar su rendimiento térmico y eficiencia en la cocción de productos como empanadas y pasteles. El diseño incluye una resistencia eléctrica de 2 000 W y un quemador de gas de 20 000 BTU/h, con controles para alternar entre ambos modos. Se midieron perfiles de calentamiento, tiempos de horneado, temperaturas internas y pérdida de peso. Los resultados revelaron que en modo gas el horno alcanzaba 150 °C en 6 min, mientras que en modo eléctrico tardaba 8 min para llegar a 120 °C. Aunque el gas permitió precalentamientos más rápidos (250 °C en 3 min vs. 4 min en eléctrico), cuando se aplicó carga, la resistencia eléctrica alcanzó 160 °C en 10 min, mientras que el gas apenas alcanzó 140 °C. También se observó una mayor pérdida de masa en modo gas (24,2 % vs. 16,2 %). Los autores concluyen que el enfoque híbrido combina la rapidez del gas con la precisión del control eléctrico, mejorando eficiencia energética y calidad de cocción.

Saini et. al [8], en su trabajo describen el diseño de un horno híbrido que combina captación solar térmica y resistencia eléctrica, buscando ahorrar energía y reducir emisiones. El prototipo STEPCO integra colectores solares y una resistencia de respaldo, controlados automáticamente según disponibilidad de radiación. Se realizó un análisis CFD para estudiar la distribución térmica y pruebas de laboratorio en tres modos: eléctrico, solar y combinado. El sistema híbrido alcanzó una eficiencia del 63 %, frente a 35 % (eléctrico) y solo 4 % (solar); reflejando un ahorro energético del 51 %, además de menor huella de CO_2. El análisis económico estimó un retorno de inversión en 2,3 años para modo híbrido. Se concluye que el uso de energía solar, apoyado por electricidad, mejora significativamente la eficiencia de cocción y representa una alternativa sostenible para panificación en zonas soleadas.

Darko et. al [9], En su estudio comparan tres diseños de quemador (forma U, H y rectangular) en hornos locales, con la meta de mejorar eficiencia térmica, consumo de combustible y calidad del pan. Construyeron tres versiones del horno, equipadas con sensores de temperatura y evaluadas mediante simulaciones CFD, análisis de consumo, emisiones y pruebas estructurales. El quemador de forma rectangular demostró la distribución térmica más uniforme (41,39 %) en bandejas, contra 30,72 % (H) y 27,89 % (U), además de menor pérdida de calor y mejor estabilidad mecánica. CFD confirmó flujo continuo y distribución homogénea. Concluyen que el diseño rectangular optimiza la calidad del horneado, ahorra gas y reduce emisiones, siendo ideal para hornos de panificación de fabricación local.

Terrones [10], En este trabajo se detalla el diseño y ejecución de la conversión de nueve hornos industriales incluyendo hornos duales de GLP/diésel a gas natural, con el fin de optimizar costos operacionales y asegurar un retorno de inversión eficiente. La metodología comprendió la ingeniería conceptual y de detalle conforme a normativas NTP (OSINERG-MIN), supervisión técnica de CALIDDA y ejecución "llave en mano" por TURBO GAS PERÚ SAC. El proyecto incluyó dimensionamiento de la red interna de gas, cambio de inyectores y puesta en marcha, con seguimiento de consumo energético en MMBTU/m³. Los resultados mostraron un ahorro significativo, recuperando la inversión en solo nueve meses, junto con mejoras en calidad de combustión y reducción del mantenimiento. Se concluye que la conversión a gas natural es una solución técnica y económicamente viable para hornos de panificación industrial, incrementando la eficiencia energética y sostenibilidad operativa.

jacome [11], en su estudio Con el fin de reducir el elevado consumo y mejorar precisión térmica, esta tesis propone el rediseño electrónico de un horno de secado que combina gas y control automático. La metodología incluyó evaluación de sensores y actuadores, acondicionamiento de circuitos, interfaz de usuario y control de temperatura entre 90 °C y 120 °C. Tras implementación, se realizaron pruebas variando ventilación y presión de gas. Los resultados evidenciaron que el horno alcanza estabilidad térmica en menos de 12 minutos con precisión de ±3,5 °C, garantizando la reducción de humedad según los requerimientos. Se concluye que la incorporación de gas y mejora electrónica optimiza procesos industriales, mejorando rendimiento energético y control —lo cual es aplicable a procesos de panificación en cuanto a eficiencia y uniformidad térmica

Morales y Quispe [12], describe el diseño de un horno a gas (GLP) optimizado para cocción de cerámica, con relevancia potencial para panificación industrial. La metodología incluyó la definición de parámetros térmicos, construcción de prototipo y pruebas a presiones de 8 psi (913 °C en 150 min) y 10 psi (918 °C en 75 min). Dichas pruebas demostraron que presiones mayores aceleran el calentamiento, reduciendo tiempo de cocción de forma significativa. Se concluye que ajustar la presión del gas es una estrategia eficaz para mejorar la eficiencia térmica de hornos y acelerar procesos de calentamiento, lo que puede trasladarse a hornos de panes para optimizar tiempos sin sacrificar calidad.

Chumbe [13], en su trabajo implementó un sistema automático basado en un controlador lógico programable (PLC) para regular la temperatura de un horno eléctrico industrial dedicado a panadería. La metodología combinó selección de hardware (PLC, termopares), diseño de software de control PID, e integración con sensores y actuadores. Se realizaron ensayos para validar precisión y capacidad de respuesta. Los resultados indicaron una estabilidad térmica dentro de ±2 °C tras el establecimiento, reduciendo la variabilidad de temperatura durante el horneado. Se concluye que el uso de PLC permite un control térmico preciso y repetible, mejorando la calidad y uniformidad en la producción de pan, y configurando una base tecnológica que puede complementarse con fuentes de energía híbridas.

2.2. Bases teórico – científicas

2.2.1. Calor

Se define como una forma de energía que se transfiere entre dos cuerpos o sistemas debido a una diferencia de temperatura. No debe confundirse con la energía interna de un cuerpo, ya que el calor representa un proceso de transferencia y no una cantidad almacenada. Esta transferencia de energía ocurre naturalmente del cuerpo de mayor temperatura hacia el de menor temperatura hasta alcanzar el equilibrio térmico. En aplicaciones de ingeniería térmica, el calor es fundamental para comprender los procesos de cocción, especialmente en el diseño de hornos industriales, donde la eficiencia del sistema depende de una adecuada transferencia de calor [14].

Figura 1:

Transferencia de calor

Fuente: Ciencia con Dr. Hans

Se suele llamar calor a las formas de energía interna que los cuerpos contienen, sin embargo, en termodinámica se refiere a estas como energía térmica para no confundirse con la transferencia de calor.

2.2.2. Transferencia de calor

Es el proceso mediante el cual la energía térmica se intercambia entre sistemas que se encuentran a diferente temperatura. Este fenómeno se produce hasta alcanzar un equilibrio térmico, y se puede presentar mediante tres mecanismos fundamentales: conducción, convección y radiación. En el diseño de un horno, comprender cómo ocurre esta transferencia permite dimensionar adecuadamente los elementos que garantizan una cocción uniforme, así como determinar los materiales y estrategias de aislamiento que minimicen las pérdidas térmicas [15].

2.2.3. Mecanismos de transferencia de calor

2.2.3.1. Conducción

Es la transferencia de energía térmica a través de un medio sólido o entre cuerpos en contacto directo, debido a la interacción molecular. Es predominante en metales y materiales sólidos donde los electrones libres contribuyen al transporte de calor. En hornos, este mecanismo ocurre entre las bandejas y el producto a cocer, afectando la velocidad de cocción del alimento. La Ley de Fourier permite calcular el flujo de calor conducido en función de la conductividad del material y el gradiente de temperatura [16].

2.2.3.2. Convección

Ocurre cuando un fluido, como el aire, transfiere calor hacia o desde una superficie sólida. Puede clasificarse en convección natural, inducida por diferencias de densidad, o convección forzada, generada mediante ventiladores o sistemas mecánicos. En el horno diseñado, la convección es esencial para distribuir homogéneamente la temperatura en la cámara, especialmente en hornos de gran volumen. El coeficiente de transferencia de calor por convección se calcula a partir de números adimensionales como Nusselt, Rayleigh y Prandtl [17].

2.2.3.3. Radiación

La radiación es la transferencia de calor mediante ondas electromagnéticas, que no requiere un medio material para su propagación. En los hornos, la radiación emitida por las paredes calientes incide directamente sobre el producto. La Ley de Stefan-Boltzmann describe este fenómeno, considerando la emisividad de las superficies y su temperatura absoluta. Es un mecanismo determinante para alcanzar temperaturas elevadas en corto tiempo, mejorando la eficiencia del horneado [18].

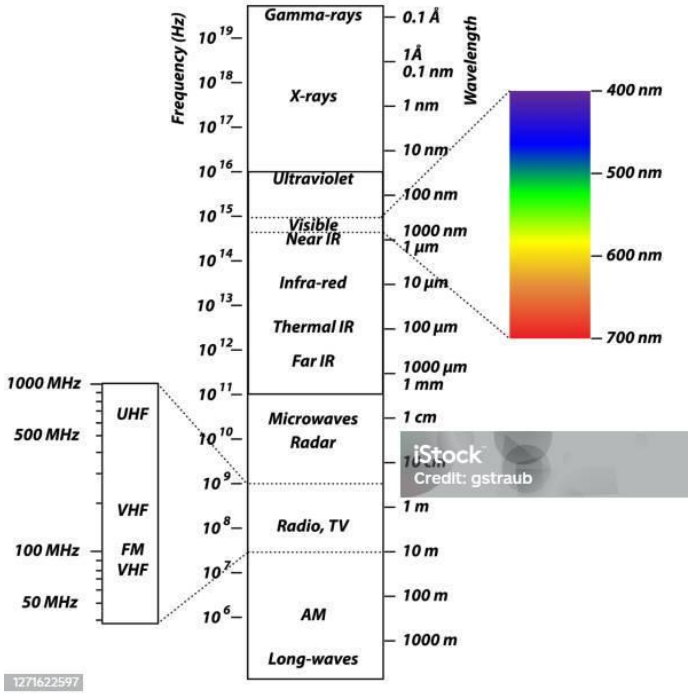


Figura 2: *Longitud de onda del espectro electromagnético*

Fuente: iStock

2.2.4. Temperatura

Representa la medida de la energía cinética promedio de las moléculas en una sustancia. Desde la termodinámica, es una variable fundamental para definir el estado de un sistema. Su importancia radica en que determina la dirección de la transferencia de calor entre cuerpos. En el contexto de hornos industriales, un control preciso de la temperatura permite garantizar la calidad del producto final, evitando sobrecocciones o procesos incompletos. Para ello, se utilizan sensores térmicos y sistemas de control automático, que responden a los cambios de temperatura en tiempo real [19].

2.2.5. Tipos de hornos para alimentos

2.2.5.1. Horno de fuego directo:

Utiliza quemadores internos cuya llama interactúa directamente con la cámara de cocción. Se caracteriza por su alta eficiencia térmica y rapidez en el calentamiento, pero puede presentar problemas de contaminación en alimentos delicados [20].

2.2.5.2. Horno de fuego indirecto

La fuente de calor se encuentra separada de la cámara de cocción. Utiliza intercambiadores de calor o tubos de transferencia, lo cual lo hace ideal para productos que requieren una cocción más controlada [21].

2.2.5.3. Horno eléctrico:

Opera mediante resistencias que generan calor por efecto Joule. Aunque su consumo energético puede ser alto, ofrece una excelente distribución térmica y control de temperatura, siendo ideal para procesos que demandan precisión [22].

2.2.6. Transferencia de calor por radiación

Es un mecanismo fundamental que no requiere un medio material para su propagación, ya que se da mediante ondas electromagnéticas. Este tipo de transferencia cobra especial importancia en hornos industriales, donde las superficies internas calientes emiten energía que incide directamente sobre los alimentos. Para cuantificar dicha energía se emplea la Ley de Stefan-Boltzmann, la cual relaciona la energía radiante con la cuarta potencia de la temperatura absoluta de la superficie emisora. Esta ecuación es clave para modelar el flujo térmico entre las paredes del horno y el producto, y permite optimizar la eficiencia del proceso de cocción mediante el control de la emisividad de los materiales y el área efectiva de emisión [23].

$$Q = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{amb}^4)$$

Nomenclatura:

Q: Energía radiante transferida (W)

ε: Emisividad de la superficie (adimensional)

σ: Constante de Stefan-Boltzmann (5.670374419 × 10^-8 W/m²K⁴)

A: Área de la superficie emisora (m²)

T_s^4: Temperatura de la superficie (K)

T_{amb}^4: Temperatura del entorno (K)

2.2.7. Teorías realizadas por otros investigadores

Numerosos estudios han explorado los efectos de las condiciones térmicas y las fuentes de energía en la calidad del horneado de alimentos. Omoyi et al. [24] desarrollaron un prototipo de horno dual alimentado por gas y electricidad, evaluando parámetros como la distribución de temperatura y la eficiencia energética. Sus resultados demostraron que la combinación de fuentes permite un control más preciso del proceso y una mejor uniformidad térmica. Además, se observó que el sistema híbrido mejora la retención de humedad en los productos, lo cual es deseable para mantener textura y calidad. Estas investigaciones respaldan la adopción de tecnologías híbridas en panaderías, no solo por razones energéticas, sino también por su impacto positivo en el producto final.

2.2.8. Mecanismo de cocción por radiación en un horno

Durante el proceso de horneado, el pan experimenta cambios fisicoquímicos relacionados con el aumento de temperatura y la pérdida de humedad. El calor suministrado por el horno debe ser suficiente para elevar la temperatura del agua contenida en la masa, evaporarla parcialmente y calentar los componentes sólidos del alimento. Este requerimiento se estima mediante tres ecuaciones fundamentales que permiten calcular el calor necesario para calentar agua, evaporarla, y calentar la materia seca. Estas ecuaciones son herramientas esenciales para diseñar un sistema de calefacción eficiente en hornos industriales, ya que permiten anticipar la demanda energética del proceso según las características del producto [23], [25].

- Calor para calentar el agua.

$$Q_1 = m_{agua} c_{p_{agua}} \Delta T$$

- Calor para evaporar el agua.

$$Q_2 = L_v * m_{agua}$$

- Calor para calentar sustancia seca.

$$Q_3 = m_{solido} c_{p_{solido}} \Delta T$$

2.2.9. Mecanismo de control

El control de temperatura es una de las funciones más críticas en los sistemas de horneado, ya que garantiza la repetibilidad y la calidad del producto. Para ello, se utilizan sensores de temperatura como termocuplas tipo J, que convierten la temperatura en una señal de voltaje proporcional. Esta señal es procesada por un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo), el cual compara la lectura real con un valor de referencia y ajusta el flujo de energía (gas o electricidad) para corregir cualquier desviación. Este tipo de control se ha vuelto común en aplicaciones industriales debido a su precisión y facilidad de programación. Su implementación mejora la eficiencia energética y permite una cocción uniforme sin oscilaciones de temperatura perjudiciales [26].

2.2.10. Fundamento del cálculo de demanda de calor.

Para garantizar el funcionamiento eficiente de un horno, es necesario calcular la demanda total de calor que este requiere. Este cálculo parte de un balance energético que considera tanto el calor requerido para cocer el producto como las pérdidas que se presentan durante el proceso. La fórmula general es:

$$Q_{total} = Q_{producto} + Q_{perdidas}$$

Las pérdidas de calor ocurren principalmente por las paredes del horno y por la apertura de la puerta. Para cuantificarlas, se utilizan correlaciones empíricas basadas en números adimensionales como el de Prandtl (Pr), Rayleigh (Ra) y Nusselt (Nu). El número de Nusselt para convección natural en placas verticales se estima mediante:

$$Nu = 0.59(Ra)^{\frac{1}{4}}$$

$$para$$

$$10^4 < Ra < 10^9$$

Una vez conocido, se calcula el coeficiente de convección y posteriormente la pérdida de calor mediante:

$$Q = \frac{kA(T_i - T_o)}{e}$$

Nomenclatura:

Q: Pérdida de calor (W)

k: Conductividad térmica del material aislante (W/m·K)

A: Área de superficie (m²)

$(T_i - T_o)$: Temperaturas interna y externa (K)

e: Espesor del aislante (m)

Este análisis permite establecer con precisión los requerimientos térmicos del sistema de calefacción, garantizando un diseño eficiente y funcional para el horno propuesto [22], [25].

2.2.11. Parámetros de diseño y térmicos del diseño.

a) Parámetros de diseño

El diseño de la cámara de cocción de un horno industrial está directamente relacionado con la capacidad de producción diaria, la cual depende del número de bandejas, dimensiones de estas y niveles de almacenamiento. Para estimar la masa total de pan que puede procesarse por ciclo, se emplea la siguiente expresión:

Fórmula 1 – Masa total de cocción:

$$M_{total} = M_{pan} \cdot N_{panes} \cdot N_{niveles}$$

Esta fórmula permite calcular la masa total de pan a hornear considerando la cantidad de panes por bandeja, el número de niveles disponibles y la masa promedio de cada pan. Es útil para determinar el tamaño y volumen necesario de la cámara de cocción.

Nomenclatura:

$\boldsymbol{M_{total}}$: Masa total de pan a hornear (kg)

$\boldsymbol{M_{pan}}$: Masa promedio de un pan (kg)

$\boldsymbol{N_{panes}}$: Número de panes por bandeja

$\boldsymbol{N_{niveles}}$: Número de niveles del carro portabandejas

Esta metodología se basa en criterios de diseño de equipos térmicos alimentarios, donde la eficiencia del horno se maximiza al adaptar el volumen disponible a la carga óptima de producto [22]. El acero inoxidable AISI 304, usado para fabricar la cámara, ofrece resistencia térmica, facilidad de limpieza e inocuidad, cumpliendo normativas de calidad alimentaria [24].

b) Parámetros térmicos: calor requerido para cocción del pan.

Para estimar la energía total necesaria para cocer el pan, se consideran tres fuentes principales de demanda: el calentamiento del agua contenida, su evaporación y el calentamiento de la sustancia seca del pan (miga y corteza). Se emplean las siguientes ecuaciones:

Fórmula 2 – Calor sensible del agua:

$$Q_1 = \frac{C_{pa} m_a (T_f - T_i)}{t}$$

Esta ecuación calcula el calor necesario para elevar la temperatura del agua desde una temperatura inicial hasta la temperatura de ebullición durante el proceso de horneado, considerando el tiempo de cocción.

Fórmula 3 – Calor latente de vaporización del agua:

$$Q = Lv \cdot m_a$$

Representa el calor necesario para convertir el agua en vapor sin que exista cambio de temperatura, lo que ocurre una vez que el agua alcanza los 100 °C.

Fórmula 4 – Calor sensible de sustancia seca:

$$Q = \frac{C_p m (T_f - T_i)}{t}$$

Permite calcular el calor que se requiere para calentar los componentes sólidos del pan, como harina, azúcar y grasas, hasta la temperatura final de cocción.

Nomenclatura:

Q : Calor (kcal/h)

C_{pa}: Calor específico del agua (1 kcal/kg·°C)

Lv : Calor latente del agua (539 kcal/kg)

C_p: Calor específico del pan (~0.47 kcal/kg·°C)

m_a, m: Masa del agua y del sólido (kg)

$(T_f - T_i)$: Temperaturas final e inicial (°C)

t : Tiempo de cocción (h)

Estas fórmulas derivan del principio de conservación de la energía y se aplican en ingeniería de procesos térmicos de alimentos [24], [25].

c) Pérdidas de calor al abrir el horno

Durante el funcionamiento del horno, parte del calor se pierde al abrir la puerta, lo que provoca una renovación del aire interno. Este fenómeno puede cuantificarse mediante:

Fórmula 5 – Pérdida por renovación de aire:

$$Q = V \cdot \rho \cdot C_a \cdot (T_f - T_i)$$

Esta ecuación estima la energía necesaria para calentar nuevamente el aire frío que ingresa al horno cada vez que se abre, generando una pérdida de calor hacia el entorno.

Fórmula 6 – Cálculo del flujo volumétrico:

$$V = V_c \cdot n$$

Determina la cantidad de aire que entra al horno en cada ciclo de apertura, siendo proporcional al volumen interno de la cámara y la tasa de filtración.

Fórmula 7 – Volumen de la cámara:

$$V = a \cdot b \cdot c$$

Esta expresión permite calcular el volumen útil de la cámara de cocción, a partir de sus dimensiones internas.

Nomenclatura:

Q: Calor perdido (kcal/h)

V: Flujo volumétrico de aire (m^3/h)

ρ : Densidad del aire (~0,7 kg/m^3)

C_a : Calor específico del aire (0,24 kcal/kg·°C)

$(T_f - T_i)$: Temperaturas del horno y ambiente (°C)

V_c : Volumen de la cámara de cocción (m³)

n : Tasa de renovación (~0,37 veces/h)

Estas pérdidas se consideran inevitables y son contempladas en el diseño energético del horno [5].

d) Calor disipado por las paredes del horno

La pérdida de calor por las paredes se analiza mediante transferencia por convección natural y conducción térmica. Este análisis se apoya en números adimensionales que permiten calcular el coeficiente de transferencia:

Fórmula 8 – Temperatura media de la pared:

$$T_f = \frac{T_w + T_e}{2}$$

Promedia la temperatura entre la superficie caliente y la cara exterior de la pared, permitiendo caracterizar el gradiente térmico.

Fórmula 9 – Número de Prandtl:

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k}$$

Relaciona las propiedades del fluido en términos de difusión de cantidad de movimiento y energía térmica. Es fundamental en análisis de convección.

Fórmula 10 – Número de Rayleigh:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{v^2} \cdot Pr$$

Representa la interacción entre la fuerza de flotación térmica y la difusión viscosa en la convección natural.

Fórmula 11 – Número de Nusselt:

$$Nu = 0{,}1 \cdot Ra^{1/3}$$

Indica la eficiencia del intercambio de calor por convección natural en relación con la conducción pura.

Fórmula 12 – Coeficiente de transferencia de calor:

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

Determina la velocidad con la que el calor se transfiere desde la superficie de la pared al ambiente, en función de la geometría y propiedades térmicas.

Fórmula 13 – Convección exterior:

$$Q = \frac{T_s - T_{amb}}{1/h}$$

Estima el calor cedido al ambiente por convección natural desde la superficie externa de la pared del horno.

Fórmula 14 – Conducción a través del aislante:

$$Q = \frac{T_i - T_e}{\Delta X/k}$$

Representa la cantidad de calor transferido por conducción a través del material aislante de la pared del horno.

Nomenclatura:

g: Aceleración gravitacional (9.81 m/s²)

β: Coef. de expansión térmica del aire (1/T)

v^2: Viscosidad cinemática del aire (m²/s)

μ: Viscosidad dinámica (kg/ms)

c_p: Calor específico del aire (kJ/kg·K)

k: Conductividad térmica (W/m·K)

L: Altura de la pared (m)

$T_s - T_i - T_e$: Temperaturas de superficie, interior y exterior (°C)

ΔX: Espesor del aislante (m)

El cálculo de estos parámetros se fundamenta en las leyes de transferencia de calor por conducción y convección natural en placas verticales, según Incropera et al. [24], [26].

2.2.12. Presupuesto

El presupuesto en ingeniería es una herramienta fundamental para prever los costos totales asociados a un proyecto antes de su ejecución. Su elaboración permite estimar con precisión los recursos económicos necesarios para cumplir los objetivos técnicos del diseño. En el caso del diseño de un horno híbrido, el presupuesto se compone de los costos directos de materiales y mano de obra. Estos elementos permiten establecer la viabilidad económica del proyecto y facilitar su gestión y control financiero [27].

2.2.12.1. Costo de materiales

Se refiere al conjunto de gastos necesarios para adquirir todos los insumos y componentes requeridos para la construcción del horno híbrido. Esto incluye materiales estructurales como el acero inoxidable AISI 304, componentes térmicos como resistencias eléctricas y quemadores, elementos de control como termocuplas y controladores PID, y aislantes como la lana de vidrio. La estimación se realiza mediante la técnica de presupuesto unitario, en la cual cada ítem es cuantificado y valorizado según su unidad, cantidad y precio unitario. Este método permite desglosar con precisión el gasto en cada componente [28].

Fórmula del costo de materiales:

$$C_{mat} = \sum_{i=1}^{n} (CU_i * Q_i)$$

Nomenclatura:

- C_{mat}: Costo total de materiales (USD)
- CU_i: Costo unitario del ítem i (USD/unidad)
- Q_i: Cantidad del ítem i (unidad)
- n: Número total de ítems considerados

2.2.12.2. Costo de mano de obra

Representa el valor económico del trabajo humano requerido para la ejecución del proyecto. Se clasifica según el nivel de calificación del personal: operarios especializados, oficiales y

peones. Cada categoría tiene un jornal diario establecido según normativas locales (por ejemplo, CAPECO en Perú), y el costo total se calcula multiplicando el jornal por el número de trabajadores y los días trabajados. Esta estimación es esencial para valorar la intervención del recurso humano en la manufactura y ensamblaje del horno, y se fundamenta en métodos tradicionales de planificación de obras mecánicas e industriales [29].

Fórmula del costo de mano de obra:

$$C_{mo} = \sum_{j=1}^{m} (N_j * J_j * D_j)$$

Nomenclatura:

- C_{mo}: Costo total de mano de obra (USD)
- N_j: Número de trabajadores del tipo j
- J_j: Jornal diario del trabajador tipo j (USD/día)
- D_j: Número de días trabajados
- m: Número total de categorías de trabajadores

2.2.12.3. Costo total

El **costo total** de un proyecto es el resultado de la suma de todos los costos directos involucrados, principalmente los costos de materiales y de mano de obra. Esta estimación general permite evaluar la inversión global requerida y es fundamental para análisis económicos como el retorno de inversión (ROI), punto de equilibrio o análisis de sensibilidad. En proyectos de diseño de sistemas térmicos, calcular el costo total permite comparar alternativas de construcción, ajustar el diseño técnico al presupuesto disponible y garantizar la factibilidad financiera del proyecto [30].

Fórmula del costo total:

$$C_{total} = C_{mat} + C_{mo}$$

Nomenclatura:

- C_{total}: Costo total del proyecto (USD)
- C_{mat}: Costo total de materiales (USD)

- C_{mo}: Costo total de mano de obra (USD)

III. Materiales y métodos

La metodología empleada en esta investigación permite estructurar el proceso técnico y científico para el diseño de un horno híbrido a gas y resistencia eléctrica. Se detallan a continuación los enfoques, niveles, herramientas y procedimientos utilizados, asegurando la reproducibilidad y la validez de los resultados obtenidos.

3.1. Tipo y nivel de investigación:

El presente estudio es de tipo aplicado y de nivel descriptivo correlacional. Es aplicado porque busca resolver un problema específico mediante el diseño de un sistema tecnológico (horno híbrido para cocción de pan). Es descriptivo porque se detallan las características técnicas del horno, los parámetros térmicos y los elementos constructivos. Y es correlacional porque se analiza la relación entre los parámetros térmicos y estructurales que condicionan la eficiencia del diseño, tales como el tipo de aislamiento, volumen útil, pérdidas térmicas y demanda energética.

3.2. Enfoque de la investigación

Se adopta un enfoque cuantitativo, basado en la recopilación y análisis de datos numéricos para dimensionar el horno, calcular el balance térmico, y determinar la eficiencia energética del sistema híbrido. Las fórmulas de transferencia de calor, pérdida por convección y conducción, así como el cálculo del consumo energético, se aplican para validar el diseño propuesto.

3.3. Diseño metodológico.

Se aplicó un diseño no experimental y transversal, ya que no se manipulan variables independientes en tiempo real, sino que se realiza un análisis y modelado basado en condiciones técnicas establecidas. Se recopila información técnica de literatura, catálogos industriales y normas para establecer las bases del diseño del horno.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información.

Revisión documental: Se consultaron normas técnicas, tesis relacionadas, artículos científicos y manuales de fabricantes para seleccionar componentes y validar cálculos térmicos.

Simulación térmica: Se aplicaron modelos físicos de transferencia de calor mediante herramientas computacionales para estimar pérdidas de energía.

Catálogos técnicos y fichas de producto: Para especificar el quemador, la resistencia eléctrica, la termocupla y el controlador PID.

Cálculo técnico–matemático: Para determinar dimensiones, carga térmica, pérdidas de calor y requerimientos energéticos, usando ecuaciones de la termodinámica y la transferencia de calor.

3.5. Unidad de estudio y población.

La unidad de estudio corresponde al diseño técnico de un horno híbrido industrial, mientras que la población objetivo son los hornos utilizados en panaderías artesanales e industriales. No se utilizó muestra estadística porque el enfoque es técnico y de carácter determinista, enfocado en un diseño específico.

3.6. Etapa de la metodología.

El desarrollo de la investigación se llevó a cabo en las siguientes etapas:

Diagnóstico técnico del proceso de cocción tradicional, identificando deficiencias en el uso de fuentes de energía únicas.

Recopilación de información técnica sobre hornos a gas, eléctricos e híbridos.

Cálculo térmico y estructural de la cámara de cocción: balance de calor, pérdidas por las paredes, volumen útil, y demanda energética.

Selección de componentes y equipos: quemador, resistencia, aislantes, controlador PID, sensor de temperatura, etc.

Elaboración de planos constructivos mediante software CAD (SolidWorks).

Determinación del presupuesto: costos de materiales, mano de obra y cálculo del costo total.

Validación técnica del diseño mediante comparación con investigaciones similares y normas del sector.

3.7. Diagrama de flujo metodológico.

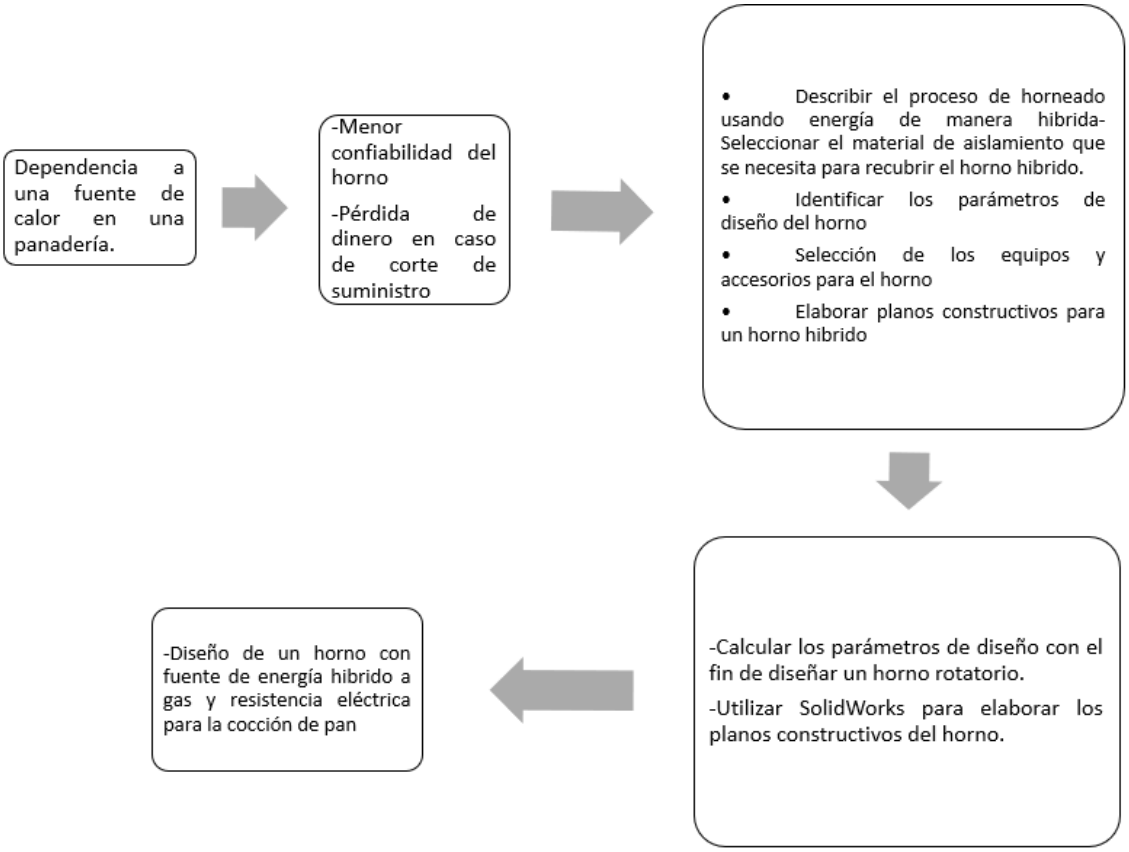


Figura 3: *Diagrama de flujo*

3.8. Matriz de consistencia

Tabla 1: Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
¿Es posible diseñar un horno híbrido a gas y resistencia eléctrica, para la cocción de pan?	General	General	**Variable independiente** Diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica **Indicadores** Temperatura de cocción Tiempo de horneado Masa por lote **Variable dependiente** Cocción de pan en una panadería **Indicadores** Potencia térmica requerida Perdidas térmicas Consumo de combustible Quemador Resistencia eléctrica Presupuesto	**Diseño de investigación** Tipo aplicada - correlacional **Técnica de recolección de datos** En este proyecto de investigación se usará el análisis documental de fichas técnicas de hornos en el mercado e investigaciones relacionadas al diseño de hornos. **Población y muestra** La unidad de estudio son los hornos con fuente de energía a gas o resistencia eléctrica.
	Diseñar un horno con fuente de energía híbrida a gas y resistencia eléctrica para la cocción de pan	Si se realiza el diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica, entonces se entenderá el comportamiento del horno con dos fuentes de energía para producir pan.		
	Específicos	Específicos		
	Describir el proceso de horneado utilizando energía de manera híbrida	Si se describe el proceso de horneado usando energía de manera híbrida, se entenderá el funcionamiento del horno con este mecanismo.		
	Identificar los parámetros térmicos y estructurales que condicionan el diseño del horno	Si se identifican los parámetros de diseño del horno, se podrá definir las dimensiones y seleccionar componentes del horno.		
	Seleccionar los equipos y accesorios que compondrán el sistema híbrido	Si se selecciona los equipos y accesorios para el horno, se tendrá los componentes que conformarían el horno a diseñar.		
	Elaborar planos constructivos del horno empleando herramientas de diseño asistido por computadora	Si se elaboran los planos constructivos para el horno, se podrá construir o replicar el horno diseñado.		
	Estimar el presupuesto total requerido para la fabricación del horno, incluyendo materiales, equipos y mano de obra	Si se estima el presupuesto total requerido para la fabricación del horno, se podrá realizar una evaluación económica para determinar su rentabilidad.		

3.9. Operacionalización de las variables

3.9.1. Variable independiente

Diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica.

3.9.2. Variable dependiente

Cocción de pan en una panadería.

Tabla 2: Matriz de operacionalización de las variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Diseño de un horno con fuente de energía híbrido a gas y resistencia eléctrica	Un horno se puede describir simplemente como una cámara completamente cerrada con aislamiento térmico que se utiliza para calentar, hornear o secar una sustancia [9]	A partir de la cantidad de masa de pan y el volumen de la cámara de cocción, se realizará el diseño del horno con fuente de energía híbrida a combustión de gas y resistencia eléctrica	Condiciones de horneado	Temperatura de cocción	°C
				Tiempo de horneado	min
				Masa por lote	kg
Variable dependiente	**Definición conceptual**	**Definición operacional**	**Dimensiones**	**Indicadores**	**Ítems**
Cocción de pan en una panadería	La cocción de pan se obtiene del proceso térmico mediante el cual una masa fermentada de harina, agua, levadura y otros ingredientes se transforma en pan mediante la aplicación de calor. [31]	Calculando los parámetros térmicos requeridos para la cocción de pan, se podrá determinar la potencia térmica del horno cuando usa gas y cuando usa resistencia eléctrica y la selección de equipos basada en fichas técnicas y cálculos térmicos.	Desempeño térmico	Potencia térmica requerida	kW
				Pérdidas térmicas	kW
				Consumo de combustible	kg/h
			Selección de equipos	Quemador	kW
				Resistencia eléctrica	kW
			Evaluación económica	Presupuesto	USD

IV. Resultados y discusión

4.1. Describir el proceso de horneado utilizando energía de manera híbrida

Se mostrará la información obtenida por medio de la recolección de datos para poder describir el proceso de horneado que tendrá el horno usando energía de manera híbrida.

4.1.1. Diagrama de bloques de un horno a gas

Toapanta, M. [5], reduce las partes de un horno a gas en un esquema simplificado en el presentado en la figura 3, en el que considera la alimentación de combustible, luego pasa a los distribuidores de calor, pasando por el hogar considerado para un horno doméstico, y finalmente a la chimenea para la emisión de los gases.

Figura 4: Partes del horno a gas

4.1.2. Funcionamiento del horno híbrido gas/resistencia

Tomando en consideración la información encontrada sobre el funcionamiento de los hornos de gas y eléctrico, realicé el esquema mostrado en la figura 4, en que se combina estas dos fuentes de calor para el funcionamiento del horno híbrido, donde se toma en cuenta el control de temperatura para cada fuente diferente.

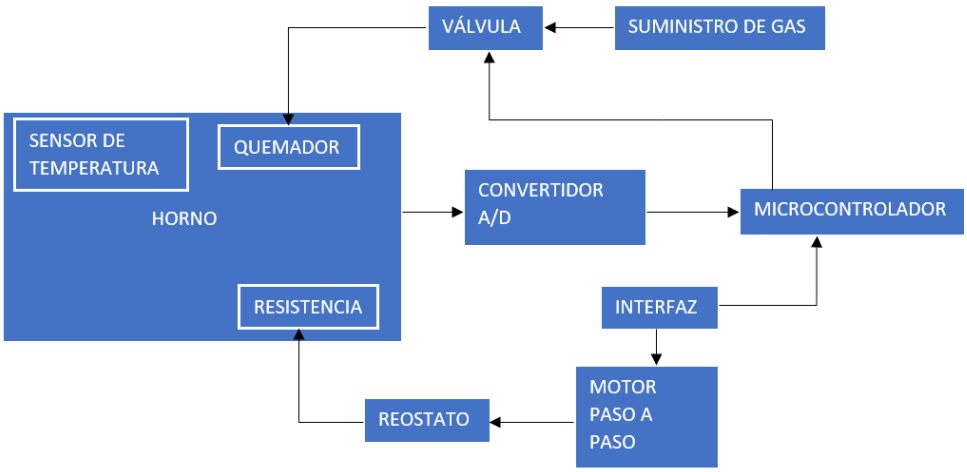


Figura 5:Diagrama del funcionamiento del horno híbrido

El horno hibrido consistirá en una cámara de cocción donde se llevará a cabo el proceso de horneado del pan, en esta cámara para su funcionamiento estará equipado de un quemador para la combustión del gas, una resistencia para la generación de calor por efecto joule, y un sensor de temperatura que permita regular la temperatura de la cámara regulando la cantidad de gas que pasa por la válvula o cuánta corriente llega a la resistencia. Los datos del sensor serán recibidos por el microprocesador y este permitirá la alteración del flujo de gas o de la corriente eléctrica.

El horno será operado por medio de un panel de mando, para ingresar la temperatura deseada y también definir el tiempo de cocción que se utilizará para el producto.

4.2. Identificar los parámetros térmicos y estructurales que condicionan el diseño del horno

El tamaño del horno está relacionado con la capacidad de este, que es la cantidad de panes que puede producir en un día.

4.2.1. Cámara de cocción

Para la cámara de cocción se partirá de bandejas de 65x45cm y se plantea utilizar un carro porta bandejas de 12 niveles

$$Masa\ total = M_{del\ pan} * N_{de\ panes} * N_{de\ niveles}$$

$$Masa\ total = 0{,}065\ kg * 30 \frac{panes}{bandeja} * 12\ niveles$$

$$Masa\ total = 23{,}4\ kg$$

La cámara de cocción tendrá las siguientes dimensiones;

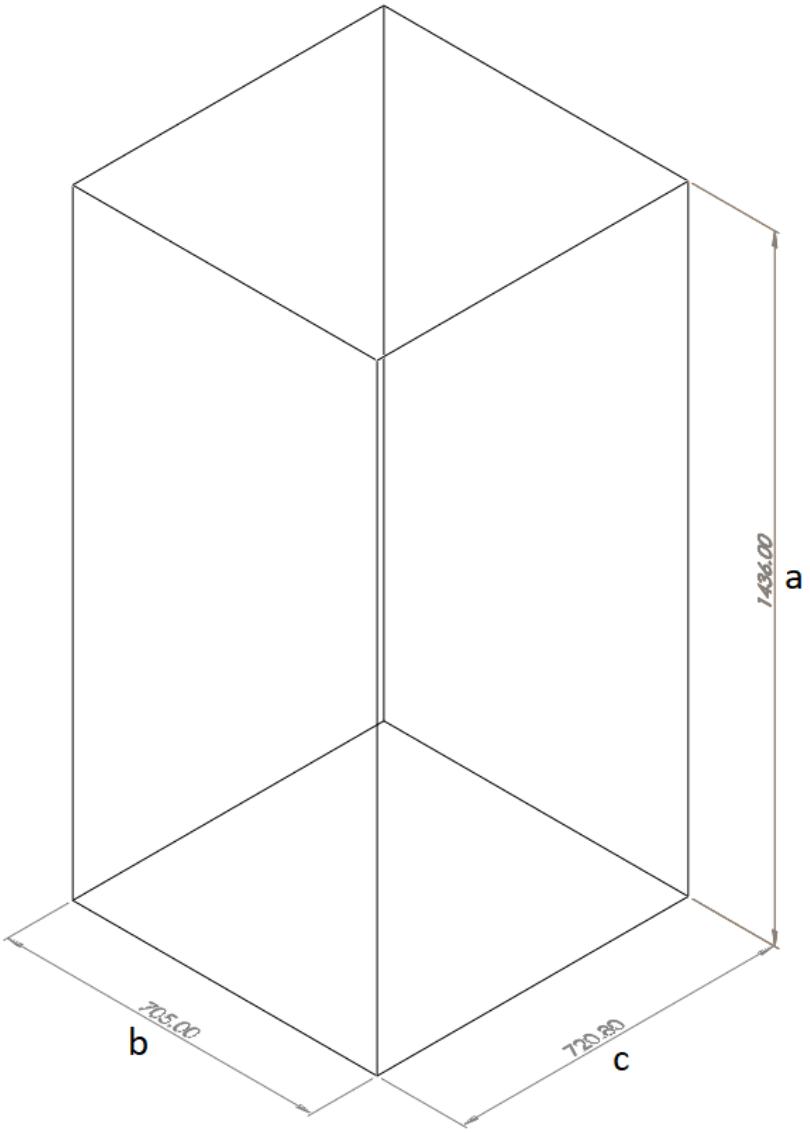


Figura 6: Dimensiones de cámara de cocción
Fuente: Propia.

A= 1436 mm

B= 705 mm

C= 720,8 mm

Su material de fabricación será el acero inoxidable AISI 304

4.2.2. Parámetros térmicos

El balance térmico en el horno se cumple al igualar los calores que participan en el proceso de horneado. Por lo que el calor entregado por las fuentes de energía (quema de gas y resistencia eléctrica) debe ser igual al calor que se consume al hornear el producto y las pérdidas de calor que suceden durante el proceso.

4.2.3. Calor para la cocción del pan

Calor para calentar el agua (12,4kg)

$$Q = \frac{C_{pa} m_a (T_f - T_i)}{t}$$

$C_{pa} = Calor\ específico\ del\ agua$

$T_f = Temperatura\ final$

$T_i = Temperatura\ inicial$

$m_a = masa\ del\ agua$

$t = tiempo\ de\ horneado$

$$Q = \frac{\left(1 \frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(12{,}4kg)(100ºC - 25ºC)}{0{,}33\ h}$$

$$Q = 2818{,}18\ kcal/h$$

Calor para evaporar el agua

$$Q = Lv * m_a$$

$Lv = Calor\ latente\ de\ vaporización\ del\ agua$

$m_a = masa\ del\ agua$

$$Q_2 = 539 \frac{kcal}{kh} * 12{,}4kg$$

$$Q_2 = 6683{,}6\ kcal/h$$

Calor para calentar kg de agua en la corteza (3,6kg)

$$Q_3 = \frac{\left(1\frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(3{,}6kg)(100ºC - 25ºC)}{0{,}33\ h}$$

$$Q_3 = 818{,}18\ kcal/h$$

Calor para calentar kg de sustancia seca en la corteza (17,7kg)

$$Q = \frac{C_{pp}m_p(T_f - T_i)}{t}$$

$C_{pp} = Calor\ específico\ del\ pan$

$m_p = masa\ del\ pan$

$$Q_4 = \frac{\left(0{,}47\frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(17{,}7kg)(210ºC - 25ºC)}{0{,}33\ h}$$

$$Q_4 = 4663{,}68\ kcal/h$$

Calor para calentar kg de agua en la miga (19,8kg)

$$Q_5 = \frac{\left(0{,}47\frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(19{,}8kg)(210ºC - 25ºC)}{0{,}33\ h}$$

$$Q_5 = 5217\ kcal/h$$

Calor para calentar kg de sustancia seca en la miga (29,1kg)

$$Q_6 = \frac{\left(0{,}47\frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(29{,}1kg)(210ºC - 25ºC)}{0{,}33\ h}$$

$$Q_6 = 7667{,}41\ kcal/h$$

$$Q_{Pan} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_{Pan} = 27868{,}05\ kcal/h$$

$$Q_{Pan} = 32{,}41\ kW$$

4.2.4. Pérdidas de calor al abrir el horno

El calor perdido por fugas se calculará de la siguiente manera:

$$Q = \dot{V} * \rho * C_a * (T_f - T_i)$$

Donde:

$\dot{V} = Flujo\ Volumétrico$

$\rho = Densidad\ del\ aire$

$C_a = Calor\ específico\ del\ aire$

$T_f = Temperatura\ final$

$T_i = Temperatura\ inicial$

$$\dot{V} = V_C * n$$

Donde:

$V_C = Volumen\ de\ la\ cámara$

$n = número\ filtraciones\ en\ un\ horno = 0{,}67\ veces/h$

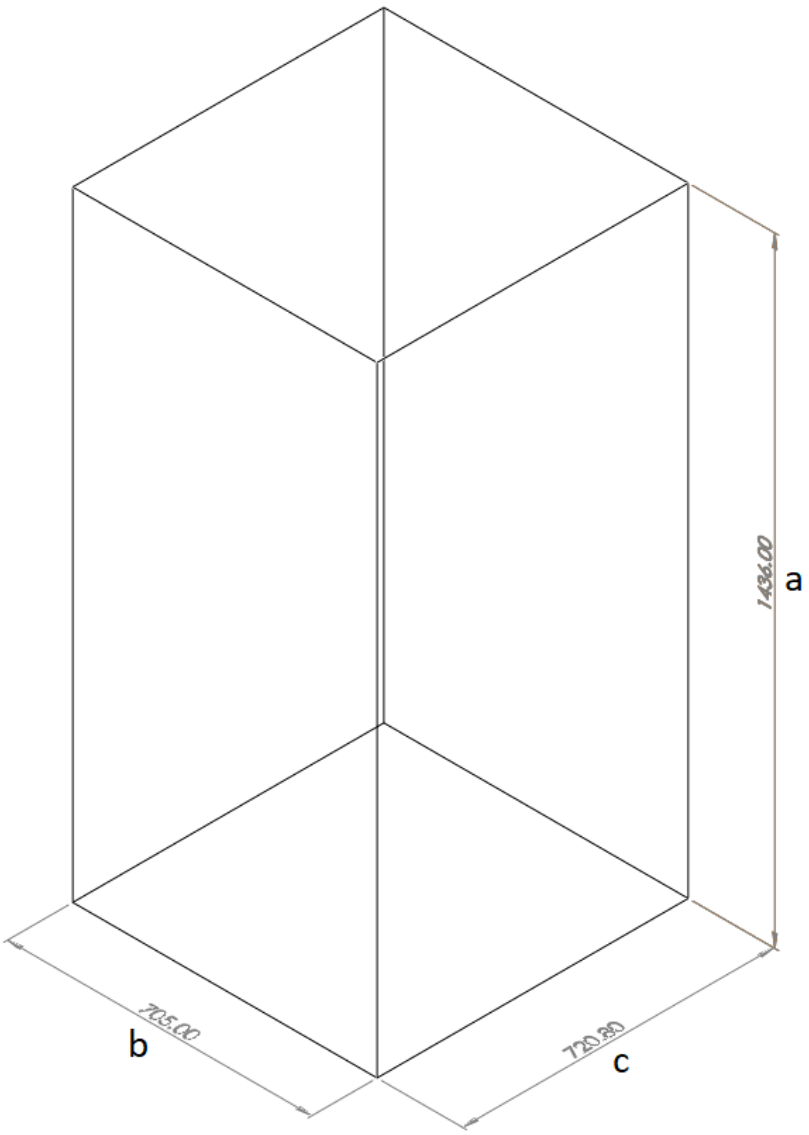


Figura 7: Dimensiones de cámara de cocción
Fuente: Propia.

$$V = (a)(b)(c)$$

$$V = (1436mm)(705mm)(720{,}8mm)$$

$$V = 0{,}73\ m^3$$

$$\dot{V} = (0{,}73\ m^3)(0{,}67\ veces/h)$$

$$\dot{V} = 0{,}49\ m^3/h$$

$$Q = (0{,}49\ m^3/h\ )(0{,}7\ kg/m^3)\left(0{,}24\frac{kcal}{kg\ ºC}\right)(210ºC - 25ºC)$$

$$Q_f = 15{,}22\ kcal/h$$

$$Q_f = 0{,}02\ kW$$

4.2.5. Calor disipado por las paredes

$$T_f = \frac{T_w + T_e}{2}$$

$T_f = Temperatura\ final$

$T_e = Temperatua\ exterior$

$T_w = Temperatura\ de\ pared$

$$T_f = \frac{25 + 20}{2}$$

$$T_f = 22{,}5$$

Extraemos las propiedades del aire con esta temperatura según tabla.

k = 0,025325 W/m.K

v = 1,539x10^{-5} m^2/s

Se calculará el número de Rayleigh para placas verticales

$$R_L = \frac{g\beta\Delta TL^3}{v^2}P$$

Y el número de Prandtl

$$P = \frac{C * \mu}{k}$$

Donde:

μ = Densidad dinámica 1,837x10^{-5} kg/ms

C = Calor específico del aire 1,005 kJ/kgK

k = Conductividad térmica del aire 0,025325 W/mK

$$P = \frac{1{,}005\,\frac{kJ}{kgK} * 1{,}837 \times 10^{-5}\,\frac{kg}{ms}}{0{,}025325\,\frac{W}{mK}}$$

$$P = 0{,}728$$

Entonces

$$R_L = \frac{9{,}81\,\frac{m}{s^2} * \frac{1}{22{,}5} * (25 - 20)°C * (1{,}436m)^3}{(1{,}539 \times 10^{-5})^2} * 0{,}728$$

$$R_L = 1{,}99 \times 10^{10}$$

Ahora se calcula el número de Nusselt para placas verticales.

$$N = 0{,}1(R_L)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 0{,}1(1{,}99 \times 10^{10})^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 270{,}846$$

Entonces:

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

$$h_e = \frac{0{,}025325\,\frac{W}{mK}}{1{,}436\,m} * 273{,}487$$

$$h_e = 4{,}77\,\frac{W}{m^2K}$$

Luego

$$Q = \frac{T_S - T_\infty}{\frac{1}{h}}$$

$$Q_1 = \frac{298 - 293}{\frac{1}{4{,}77}}$$

$$Q_1 = 23{,}88\ W$$

Para hallar h interno, asumimos Tw interno de:

$$Q = \frac{T_S - T_\infty}{\frac{1}{h}}$$

Que al despejar obtenemos:

$$T = T - Q\left(\frac{1}{he}\right)$$

Y tenemos los siguientes valores:

$T_i =$ Temperatura en el interior de la pared

$Q =$ 23,88 W de la ecuación

$he = 12\ \frac{W}{m^2 °C}$ se asume el valor de acuerdo con tablas.

Por lo tanto:

$$T = 30\ °C - 23{,}88\ W\left(\frac{1}{12\ \frac{W}{m^2\ °C}}\right)$$

$$T = 28\ °C$$

Y se corrige el hi con esta temperatura obtenida.

Primero hallamos:

$$T_f = \frac{T_i + T_W}{2}$$

$$T_f = \frac{30 + 28}{2}$$

$$T_f = 29$$

Obteniendo las propiedades del aire con 29 °C:

k = 0,025806 W/mK

v = 1,5988x10^{-5} m^2/s

$$P = \frac{1{,}005\,\frac{kJ}{kgK} * 1{,}837 \times 10^{-5}\,\frac{kg}{ms}}{0{,}025806\,\frac{W}{mK}}$$

$$P = 0{,}715$$

Luego:

$$R_L = \frac{9{,}81\,\frac{m}{s^2} * \frac{1}{29} * (30-28)°C * (1{,}436m)^3}{(1{,}5988 \times 10^{-5})^2} * 0{,}728$$

$$R_L = 5{,}58\ \times 10^9$$

Ahora, con este dato obtenido se calcula el número de Nusselt para convección natural en placas verticales.

$$N = 0{,}1(R_L)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 0{,}1(5{,}58\ \times 10^9)^{\frac{1}{3}}$$

$$N = 177{,}36$$

Luego:

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

$$h = \frac{0{,}025806\,\frac{W}{m\,°C}}{1{,}436\,m}(177{,}36)$$

$$h = 3{,}187$$

$$Q = \frac{T - T}{\frac{1}{he}}$$

$$Q_2 = \frac{29 - 20}{\frac{1}{3{,}18}}$$

$$Q_2 = 28{,}7\ W$$

Y luego hallar Q en ΔX:

$$Q_3 = \frac{T_i - T_e}{\frac{\Delta X}{k}}$$

$T_i =$ Temperatura en la placa interior

$T_e =$ Temperatura en la placa exterior

$\Delta X =$ Espesor aislante 0,05 m

$k =$ Conductividad térmica del aislante 0,038 W/m°C

Entonces:

$$Q_3 = \frac{28 - 20}{\frac{0{,}05\ m}{0{,}038 \frac{W}{m\ °C}}}$$

$$Q_3 = 6{,}09\ W$$

$$Q_p = 23{,}88\ W + 28{,}7\ W + 6{,}09\ W$$

$$Q_p = 58{,}67\ W$$

$$Q_p = 0{,}0587\ kW$$

4.2.6. Demanda de calor total

A continuación, se suman los calores calculados anteriormente para determinar la demanda del calor que tendrá el horno.

$$Q_T = Q_{pan} + Q_f + Q_p$$
$$Q_T = 32{,}41\ kW + 0{,}02\ kW + 0{,}0587\ kW$$
$$Q_T = 32{,}49\ kW$$

Finalmente, se le agregará un 12% de pérdidas de calor.

$$Q_T = 32{,}48\ kW + (32{,}48\ kW * 0{,}12)$$

$$Q_T = 36{,}39\ kW$$

Por lo que el calor total que necesitará la cámara de combustión es de 36,38 kW.

El consumo del combustible se calcula con:

$$\dot{m} = \frac{Q}{P * n}$$

Para este caso el rendimiento del horno será de 85%.

$$\dot{m} = \frac{36{,}39\ kW}{14\frac{kW - h}{kg} * 0{,}85}$$

$$\dot{m} = 3\ kg/h$$

4.3. Seleccionar los equipos y accesorios que compondrán el sistema híbrido

4.3.1. Controlador de temperatura

El controlador seleccionado es el controlador de temperatura PID TC4W-N2R de la marca Autonics.

El controlador PID TC4W-N2R tiene un tamaño de W96xH48, posee cuatro dígitos, 7 segmentos LED, con un método de control ON/OFF, P, PI, PD y PID. Además, posee el tipo de entrada para termopar K, J y L; y también entrada RTD Pt 100Ω y Cu 50Ω. Su ficha técnica en el Anexo 01.

4.3.2. Termocupla

Como sensor de temperatura se utilizará el termopar tipo J de la marca COEL, este termopar usa un polo de hierro, y el otro de Constantán. El resto de sus características se observan en el Anexo 02.

4.3.3. Resistencia eléctrica

Habiendo obtenido el calor total que requiere la cámara de cocción, tenemos que para hornear los panes por 19,8 min necesitamos:

$$Q_T = 36{,}39\ kW$$

Por lo que, teniendo en cuenta las resistencias eléctricas del mercado son de menor potencia, se procederá a realizar los mismos cálculos para tener el calor total necesario para la cocción de pan durante 1 hora con el fin de seleccionar la resistencia adecuada.

Para la cocción de pan durante 1h requerimos de:

$$Q_{T,elec} = 17{,}89\ kW$$

Para llegar a dicha potencia se utilizaría 6 resistencias de 3000 W, 3 en la parte superior y otros 3 en la parte inferior de la cámara, la resistencia que cumple con este requisito sería la resistencia marca Brototermic modelo M12360, cullas características técnicas se encontrarán en el Anexo 03.

4.3.4. Quemador

El quemador seleccionado será de la marca WAYNE, el quemador de modelo P250AF posee un esparcidor de flama que permite que se distribuya hacia la

cámara de combustión. Quema de 14,65 kW hasta 73,27 kW. Sus propiedades de aprecian en el Anexo 04.

4.3.5. Aislante térmico

Para el aislamiento térmico del horno, se tomará en cuenta que la temperatura máxima considerada en el diseño es de 210 °C. Además, si se desea utilizar el horno para otros productos adicionales, podría requerir de mayor temperatura. Por lo que se tomó la decisión de seleccionar como aislante térmico, la lana de roca, cuyas especificaciones técnicas de referencia se observarán en el Anexo 05.

4.4. Elaborar planos constructivos del horno empleando herramientas de diseño asistido por computadora

El dibujo detallado del horno se presenta en la sección de Anexo 05, con el propósito de complementar lo desarrollado a lo largo de la tesis.

4.5. Estimar el presupuesto total requerido para la fabricación del horno, incluyendo materiales, equipos y mano de obra

El costo del diseño del horno establecido sumando los costos de los materiales y el costo de la mano de obra. Esto será especificado a continuación por medio de tablas, utilizando como moneda para el costo total, el dólar. Luego se procederá a realizar una evaluación económica del proyecto para ver si es viable.

4.5.1. Costo de materiales

Para el costo de los materiales se tomará en cuenta la materia prima el acero AISI 304 y los componentes del horno como lo son el quemador, la termocupla, el controlador de temperatura, y los demás componentes que se podrán observar en el siguiente cuadro:

Tabla 3: Costo de materiales
Fuente: Propia

ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	METRADO	COSTO UNITARIO [$]	COSTO TOTAL [$]
Acero AISI 304	1200x2400x0,7 mm	u	10	52,35	785,25
Quemador Wayne	P250AF	u	1	2 057,48	2 057,48
Termocupla	COE TE-AA/J	u	1	21,75	21,75
Controlador de temperatura	TC4W-N2R	u	1	95,95	95,95

Lana de roca	1m x 60cm x 50mm	u	4	15,22	106,54
Vidrio templado		u	1	35	35
Ventilador hd52ae156	1HP	u	1	572,95	572,95
Electroválvula 220	JEM&JULES 1/2	u	1	135,43	135,43
Resistencia eléctrica		u	6	130	780
Ruedas	BP 312 con bloqueo	u	4	30	120
Bandeja de horno		u	12	40	480
B18.3.1	3 x 0,5 x 5 Hex	u	39	10	390
B18.22	Arandela 3 mm	u	68	0,5	34
			TOTAL	**3 196,63**	**5 614,35**

4.5.2. Costo de mano de obra

Para el costo de mano de obra, se requiere de 10 operarios, 20 oficiales, 15 peones, y considerando el jornal de Capeco para cada uno de ellos.

Tabla 4: Costos de mano de obra
Fuente: Propia

ESPECIALIDAD	CANTIDAD	JORNAL	COSTO	TIEMPO	COSTO TOTAL [S/.]	COSTO TOTAL [$]
OPERARIO	8	74,63	9,32875	10	746,3	186,575
OFICIAL	4	58,45	7,30625	20	584,5	146,125
PEON	7	52,5	6,5625	15	689,0625	172,265625
TOTAL	**19**				**2019,8625**	**504,965625**

4.5.3. Costo total

Sumando los costos, tenemos un presupuesto para la fabricación del horno y se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 5: Costo total
Fuente: Propia

ITEM	DETALLE	COSTO [$]
1	COSTO DE MATERIALES	3363,94
2	MANO DE OBRA	504,96
	TOTAL	**6119,32**

Este resultado se usará a continuación como inversión inicial para la evaluación económica del proyecto.

4.5.4. Beneficio

Para identificar el ingreso que generará el horno a una panadería ya tenemos que la capacidad de nuestro horno es de 360 panes, se considera que se horneará 2 veces al día, resultando que se producirá 720 panes por día. Agregando que el año se considerará de 280 días como margen conservador por posibles eventos que lleven al no uso del horno, ya sea algún fallo que genere paro de producción, u otro motivo; dando así una producción anual de 201 600 panes al año. Finalmente, el precio del pan será de S/. 0,35; al pasarlo a dólares será de $ 0,1.

$$201\,600\ panes * 0{,}1\ \frac{\$}{pan} = \$\ 20\,160$$

4.5.5. Gastos

Para los costos del horno se considera costos de mantenimiento y costos de energía.

Costos de mantenimiento:

El costo por mantenimiento del horno se establece como el 10% de la inversión del proyecto, es decir, el presupuesto.

$$Mantto = \$\ 6119{,}32 * 0{,}1 = \$\ 611{,}93$$

Por tanto, el costo de mantenimiento será de 611,93 dólares.

Costo de gas:

Teniendo que la potencia térmica usando gas es de 36,39 kW, y el horneado dura aproximadamente 19,8 minutos, tenemos que su operación anual será de 184,8 horas, resultando en una energía térmica de 6724,872 kWh al año usando solo gas.

$$Costo\ anual\ de\ gas = Volumen * \wp_g = \frac{E_{t,gas}}{H * \eta} * \wp_g$$

Donde:

$\wp_g$ = Precio del gas: 0,189 $/m^3

$E_{t,gas}$ = Energía térmica: 6724,872 kWh

H = Poder calorífico: 11,7 kWh/m^3

$\eta =$ Eficiencia del horno: 0,85

$$Costo\ anual\ de\ gas = \frac{6724{,}872\ \text{kWh}}{11{,}7\ \text{kWh/m}^3 * 0{,}85} * 0{,}189\ \$/\text{m3}$$

$$Costo\ anual\ de\ gas = \$\ 128$$

Costo energía eléctrica:

Teniendo que la potencia térmica cuando se usa solo la resistencia eléctrica es de 17,89 kW, se estima que se horneará el pan en más tiempo, con una duración de 1h para compensar la menor potencia, es decir, debido a su menor potencia va a requerir mayor tiempo de horneado. La operación anual será de 33600 horas. Resultando en una energía térmica de 601 104 kWh.

$$Costo\ anual\ eléctrico = E_{ele} * \wp_{ele} = \frac{E_{t,ele}}{\eta} * \wp_{ele}$$

Donde:

$E_{ele} =$ Energía eléctrica (kWh)

$\wp_{ele} =$ Precio electricidad: 0,2428 $/kWh

$E_{t,ele} =$ Energía térmica eléctrica: 601 104 kWh

$\eta =$ Eficiencia del horno: 0,85

$$Costo\ anual\ eléctrico = \frac{601\ 104\ \text{kWh}}{0{,}85} * 0{,}2428\ \$/\text{kWh}$$

$$Costo\ anual\ eléctrico = \$\ 171\ 744$$

Para el caso, con el costo anual de cada fuente de energía, se definió el costo de energía anual el 90% del consumo anual usando gas y el 10% del consumo anual usando las resistencias eléctricas, ya que el modo eléctrico será para fines de contingencia en caso no exista acceso al gas.

$$Costo\ de\ energía = \ \$\ 128 * 0{,}9 + \$\ 171\ 744 * 0{,}1$$

$$Costo\ de\ energía = \$\ 17\ 289{,}60$$

Sumando el costo de mantenimiento y el costo de energía tenemos que nuestro costo total es de $ 17 901,54.

Ahora se calcula el flujo de caja para una vida útil de 10 años.

Tabla 6: Flujo de caja
Fuente: propia

Año	Gastos	Beneficios	Diferencia	Acumulado
0				- 6 119,32
1	- 17 901,54	20 160	2 258,46	- 3 860,85
2	- 17 901,54	20 160	2 258,46	- 1 602,39
3	- 17 901,54	20 160	2 258,46	656,08
4	- 17 901,54	20 160	2 258,46	2 914,54
5	- 17 901,54	20 160	2 258,46	5 173,01
6	- 17 901,54	20 160	2 258,46	7 431,47
7	- 17 901,54	20 160	2 258,46	9 689,94
8	- 17 901,54	20 160	2 258,46	11 948,40
9	- 17 901,54	20 160	2 258,46	14 206,86
10	- 17 901,54	20 160	2 258,46	16 465,33

Se observa en la tabla 4 el flujo de caja, donde se observa recuperación de inversión a partir del tercer año.

4.5.6. Determinación del VAN y el TIR

A partir del flujo de caja obtenido, se realizó la evaluación económica usando el VAN y el TIR, y se consideró una tasa de descuento del 12% anual. El valor obtenido del cálculo del VAN dio como resultado un valor positivo de $ 6 641,51; y una TIR de 35%, lo que indica que el horno es rentable.

4.6. Discusión

Respecto al primer antecedente, se aprecia la diferencia que en su investigación se realiza un horno del tipo rotatorio, lo que lleva a que se añada un motor, fajas de transmisión y cierto mecanismo para lograr que las bandejas roten durante el horneado, esto ayuda bastante en el resultado del producto, pero lleva a una mayor inversión y complica la utilización del sistema de fuente de energía dual que se aplica en nuestro proyecto.

Así mismo, sobre el segundo antecedente se diferencian en que es una evaluación técnica de un horno ya existente, lo que les permite la obtención de datos para realizar mejoras, algo aplicable a nuestro horno en caso de que se lleve a fabricación.

V. Conclusiones

Finalizado este proyecto sobre el diseño del horno de fuente de energía a gas y resistencia eléctrica, obtenemos las siguientes conclusiones:

- Se describió el proceso de horneado que tendrá el horno diseñado, combinando elementos de hornos a gas y hornos eléctricos, como lo es el quemador, el intercambiador de calor con la resistencia eléctrica y el reóstato.
- Se identificó los parámetros de diseño del horno, obteniendo una cantidad de calor necesaria de 32,41 kW para el horneado de panes, la perdida de calor por medio de las paredes del horno de 0,0587 kW, un consumo del combustible de 3 kg/h para una demanda total de calor de 36,39 kW, así como la resistencia necesaria para el funcionamiento de fuente dual.
- Se seleccionó los equipos y accesorios que se instalarán en el horno, como lo es el controlador de temperatura TC4W-N2R, la termocupla TE-AA/J, el quemador Wayne P250AF.
- Se elaboró diez planos constructivos para el horno utilizando el software SolidWorks, mostrando el horno ensamblado y también la vista explosionada de piezas.
- Se estimó el presupuesto para la construcción del horno, teniendo un costo de materiales de $5614,35 y costo de mano de obras de $504,96, obteniendo un total de $6119,32. Además, se realizó la evaluación económica para el horno, mostrando que a los 3 años existe un retorno de inversión y se obtuvo un VAN de $ 6 641,51 y una TIR de 35%.

VI. Recomendaciones

- Se recomienda diseñar el horno dual utilizando distintas dimensiones de acuerdo con la cantidad de panes que se desean producir.
- Realizar simulaciones del flujo de aire dentro del horno para analizar la distribución de temperatura y la transferencia de energía.

VII. Bibliografía

[1] Dirección General de Eficiencia Energética, *Guía de orientación del uso eficiente de la energía y de diagnóstico energético*, Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2019. [En línea]. Disponible: https://www.minem.gob.pe/_publicacion.php?idSector=6&idPublicacion=6377

[2] P. I. Rubio Arellano, "Evaluación técnica del proceso de combustión y de eficiencia energética de un horno industrial panadero," Universidad de Santiago de Chile, 2018. [En línea]. Disponible: https://repositorio.usach.cl/handle/11718/4032

[3] M. Pérez y M. Sosa, "Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos," Universidad de las Américas Puebla, 2013. [En línea]. Disponible: https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/iga/perez_m_m/capitulo_2.pdf

[4] R. A. Rojas Leaño, *Diseño de un horno rotatorio industrial para la empresa panificadora San José*, La Paz, Bolivia, 2018.

[5] P. I. Rubio Arellano, *Evaluación técnica del proceso de combustión y de eficiencia energética de un horno industrial panadero*, Universidad de Santiago de Chile, 2018. [En línea]. Disponible: https://repositorio.usach.cl/handle/11718/4032

[6] O. E. Ilesanmi y B. O. Akinnuli, "Design, fabrication and performance evaluation of a domestic gas oven," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 211–221, 2019.

[7] C. O. Omoyi, R. R. Ana, D. O. Ushie y I. P. Okokpujie, "Construction and Performance Evaluation of a Dual Powered Mini Baking Oven," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 481–485, 2024. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/385525851_Construction_and_Performance_Evaluation_of_a_Dual_Powered_Mini_Baking_Oven

[8] P. Saini, S. Pandey, S. Goswami, A. Dhar, M. E. Mohamed y S. Powar, "Experimental and numerical investigation of a hybrid solar thermal-electric powered cooking oven," *Energy*, vol. 280, art. 128188, 2023. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015827

[9] S. K. Darko, G. K. Offeh, B. Addai y M. Anto, "Comparative Analysis of Different Burner Concepts in a Locally Manufactured Bread-Baking Oven," *International Journal of Energy and Power Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 42–51, Jun. 2024. Disponible en: https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijepe.20241303.11

[10] Proyecto Panadería Buondy, "Estudio de la conversión de los hornos de una panadería comercial diésel y GLP a gas natural," Lima, Perú, 2020. [En línea]. Disponible en: https://www.scribd.com/document/421136971/Estudio-de-La-Conversion-de-Los-Hornos-de-Una-Panaderia-Comercial-Diesel-y-GLP-a-Gas-Natural

[11] R. O. Jácome Gamboa, "Estudio y mejora del sistema electrónico de un horno de secado a gas para transformadores," Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12404/13821

[12] C. E. Morales Huaracallo y A. B. Quispe Jahuira, "Diseño y construcción de un prototipo de horno a gas para reducir el tiempo de cocción de cerámica, para el taller de cerámica Jallpa-Pucara," Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú, 2022. [En línea]. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18270

[13] Universidad Nacional del Centro del Perú, "Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando PLC para la línea de producción de panadería," Tesis de Pregrado, Facultad de Ingeniería Eléctrica, UNCP, Huancayo, Perú, 2019. [En línea]. Disponible en: http://hdl.handle.net/20.500.12894/6628

[14] R. Rudy, «DISEÑO DE UN HORNO ROTATORIO INDUSTRIAL PARA LA EMPRESA PANIFICADORA SAN JOSE,» La Paz, 2018.

[15] M. Plá, «Balance térmico de hornos de panaderías con el empleo de gas como combustible,» *APLICACIONES INDUSTRIALES,* vol. XXIII, nº 2, pp. 54-61, 2001.

[16] B. Francisco, S. Ramírez, S. Esmeralda, J. Pérez y A. Cruz, «Mecanismos de Transferencia de Calor,» *TEPEXI Boletín Científico de la Escuela Superior Tepeji del Río,* vol. 8, nº 16, pp. 38-42, 2021.

[17] Z. Ron, «Heat tansfer,» de *Introduction to Process Engineering*, Turku, Åbo Akademi University, 2014, p. 120.

[18] Dirección General de Eficiencia Energética, Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético, Ministerio de Energía y Minas.

[19] M. Pérez y M. Sosa, «Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos,» Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla, Puebla, 2013.

[20] M. Pérez y M. Sosa, "Mecanismos de transferencia de calor en alimentos," Universidad de las Américas Puebla, 2021. [Online]. Disponible: https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/iga/perez_m_m/capitulo_2.pdf

[21] C. Omoyi et al., "Construction and Performance Evaluation of a Dual Powered Mini Baking Oven," FUOYE J. of Eng. and Tech., vol. 9, no. 3, pp. 481–485, 2024. [Online]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/385525851

[22] P. Saini et al., "Experimental and numerical investigation of a hybrid solar thermal-electric powered cooking oven," Energy, vol. 280, art. 128188, 2023. [Online]. Disponible: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015827

[23] Universidad Nacional del Centro del Perú, "Control de temperatura de un horno eléctrico utilizando PLC para la línea de producción de panadería," 2019. [Online]. Disponible: http://hdl.handle.net/20.500.12894/6628

[24] A. M. Cengel y A. J. Ghajar, "Transferencia de Calor y Masa," 5ª ed., McGraw-Hill, 2019. [Online]. Disponible: https://www.mheducation.com/

[25] F. P. Incropera, T. L. Bergman, A. S. Lavine y D. P. DeWitt, "Fundamentos de transferencia de calor," 7ª ed., Pearson, 2020. [Online]. Disponible: https://www.pearson.com/

[26] M. Pérez y M. Sosa, "Mecanismos de transferencia de calor en alimentos," Universidad de las Américas Puebla, 2021. [Online]. Disponible: https://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/iga/perez_m_m/capitulo_2.pdf

[27] M. J. Moran, H. N. Shapiro, D. D. Boettner y M. B. Bailey, *Fundamentos de termodinámica técnica*, 9.ª ed., Wiley, 2020.

[28] A. M. Cengel y A. J. Ghajar, *Transferencia de Calor y Masa*, McGraw-Hill, 5.ª ed., 2019.

[29] Ministerio de Economía y Finanzas del Perú, *Guía para la formulación de estudios de preinversión*, Lima, 2022.

[30] C. Omoyi et al., "Construction and Performance Evaluation of a Dual Powered Mini Baking Oven," *FUOYE Journal of Engineering and Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 481–485, 2024.

[31] J. M. Mesas y M. T. Alegre, «El pan y su proceso de elaboración,» Ciencia y Tecnología alimentaria, vol. 3, nº 5, pp. 307-313, 2002.

VIII. ANEXOS

Anexo 01: Ficha técnica de controlador de temperatura TC4W-N2R

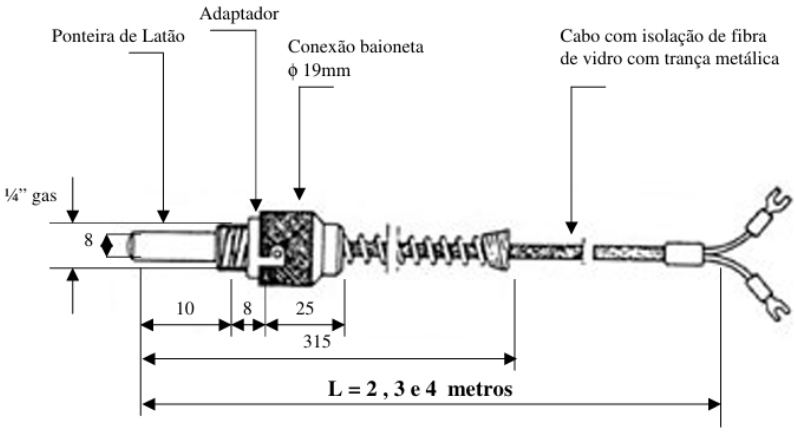
Hoja de datos

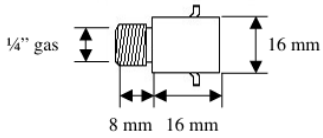
Tamaño	DIN W96XH48mm
Método de visualización	4 dígitos 7 segmentos LED
Método de control	ON/OFF, P, PI, PD, PID
Tipo de entrada	Termopar: K (CA), J (IC), L (IC) RTD: DPt100Ω, Cu50Ω
Ciclo de muestreo	100ms
Salida de control	Relé (250 V CA ~ 3 A) o SSR (12 V CC ⎓) [ON / OFF, fase, ciclo]
Fuente de alimentación	24VCA~ 50/60Hz, 24-48VCC ⎓
Precisión del display_RTD	•A temperatura ambiente(23°C±5°C):(PV ±0.5% o ±1°C, seleccione el valor más alto) ±1-digito •Fuera del rango de temperatura ambiente:(PV ±0.5% o ±2°C, seleccione el valor más alto) ±1-digito
Precisión del display_Termopar	•A temperatura ambiente(23°C±5°C):(PV ±0.5% o ±1°C, seleccione el valor más alto) ±1-digito •Fuera del rango de temperatura ambiente:(PV ±0.5% o ±2°C, seleccione el valor más alto) ±1-digito
Histéresis	1 a 100°C/°F(0.1 a 50.0°C/°F) variable
Banda proporcional	0.1 a 999.9°C/°F
Tiempo integral	0 a 9999 s
Tiempo derivativo	0 a 9999 s
Período de control	0.5 a 120.0 s
Reinicio manual	0.0 a 100.0%
Temperatura del entorno ambiental	De -10 a 50°C, almacenamiento: de -20 a 60°C
Ambiente de la humedad ambiente	35 a 85%RH, almacenamiento : 35 a 85%RH
Tipo de aislamiento	Doble aislamiento o aislamiento reforzado (marca: ⧈, rigidez dieléctrica entre la parte de entrada de medición y la parte de potencia: CA de 2kV, CA / CC de potencia 1kV)
Peso	194g aprox. (122g aprox.)

Fuente: https://www.autonics.com/es/model/TC4W-N2R

Anexo 02: Ficha técnica termocupla tipo J

Sensor
Termoelemento Fe-Co





Adaptador

OBS: Medida padrão da ponteira de latão é de 10mm.
Outras medidas sob consulta.

Marca	COEL
Modelo	J
Garantía	12 meses
Tipo De Artículo	Stock
Rango De Medición	0°-800°C
Longitud	2m
Sensores	J
Tipo De Señal	Analógica
Tipo De Sensor	Termocupla
País De Fabricación	Brasil

Fuente: https://www.promelsa.com.pe/1008676-termocupla-tipo-j-fe-co-c-malla-x2mts-bulbo-8mm.html

Anexo 03: Ficha técnica de quemador

Power Conversion

P250AF & P265F **GAS BURNERS**

WAYNE Combustion Systems
A Scott Fetzer Company

WE TAME THE FLAME

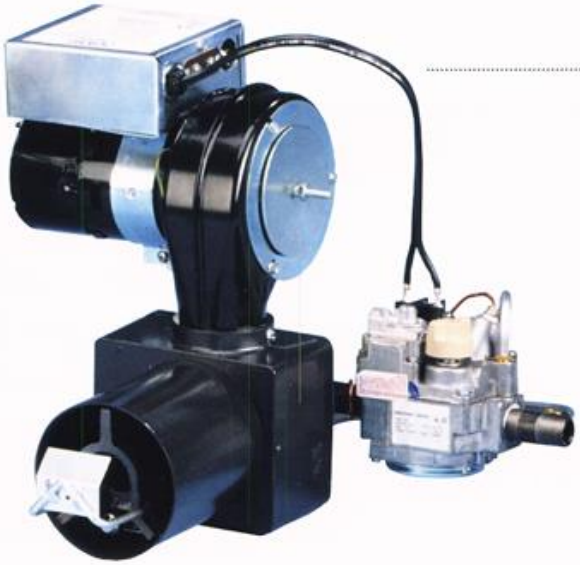
Model features:

All models feature forced draft compact design for high efficiency conversion of oil-fired furnaces, boilers, or water heaters to Natural or LP gas. Direct Spark Ignition is standard on all units. All Wayne gas burners include die cast aluminum housings for precise alignment of parts and a machined cast iron venturi for superior mixing of gas and air. Universal mounting flange adapts to any appliance. All models factory-wired and test-fired.

P250AF features:

The P250AF features an adjustable flame spreader to allow tailoring of the flame shape to the combustion chamber. Fires from 50,000 to 250,000 Btu/hr. Power burner design will increase efficiency up to 30% over atmospheric gas burners. Available in 8" air tube length only (7" maximum insertion).

UL UNDERWRITERS LABORATORIES INC. LISTED



P265F features:

The P265F line features a fixed flame spreader, which provides a consistent, bushy, round flame. Typical applications include furnaces, boilers ("BB" Boiler Burner version recommended) and most water heaters. This unit is frequently employed for oil to gas conversions. Fires from 65,000-200,000 Btu/hr. Quiet operation with uncomplicated design that is easy to install and service. Available in 5", 8" and 11" air tube lengths.

Our P265F BB Boiler Burner is exclusively designed for conversion of boilers (primarily 2,3 and 4 section) from oil to gas operation. This model utilizes a stainless steel air tube and stainless steel air tube end focusing ring to provide a tighter, shorter flame pattern. The P265F BB yields a high efficiency conversion, low emissions and is extremely simple to service. Maximum 6 3/8" usable insertion. Available only as a Natural gas fired unit from the factory, however it is easily converted to LP operation using our P/N 62955-001 conversion kit.

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Glasgow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.424.0904 • www.waynecombustion.com

Specifications

P250AF & P265F GAS BURNERS

WAYNE COMBUSTION SYSTEMS • 801 Glasgow Ave. • Fort Wayne, IN 46803 • 260.425.9200 • Fax 260.424.0904 • www.waynecombustion.com

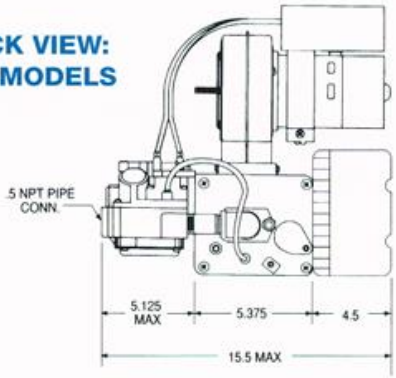
P250AF GAS BURNER	
Minimum Btu/hr Input	50,000
Maximum Btu/hr Input	250,000
Voltage	120 Volt, 60Hz (can run 50Hz *)
Gas Pressure Required	Natural gas - 4.5" W.C. LP gas 11.0" W.C.
Ignition Source	Direct Spark Ignition
Gas Valve	24 Volt
Floor Area	Minimum 0.6 sq. in./1000 Btu/hr Maximum 0.9 sq. in./1000 Btu/hr
Gas Connection	1/2" NPT
Air Tube Diameter	4"

*Reduces maximum output to 208,000 Btu/hr.

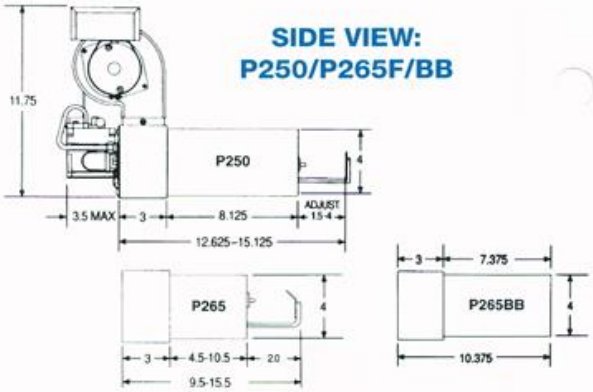
P265F GAS BURNER	
Minimum Btu/hr Input	65,000
Maximum Btu/hr Input	200,000
Voltage	120 Volt, 60Hz (can run 50Hz **)
Gas Pressure Required	Natural gas - 4.5" W.C. LP gas 11.0" W.C.
Ignition Source	Direct Spark Ignition
Gas Valve	24 Volt
Floor Area	Minimum 0.6 sq. in./1000 Btu/hr Maximum 0.9 sq. in./1000 Btu/hr
Gas Connection	1/2" NPT
Air Tube Diameter	4"

**Reduces maximum output to 166,000 Btu/hr.

BACK VIEW: ALL MODELS



SIDE VIEW: P250/P265F/BB



MODEL	ORDER WAYNE PART #	AIR TUBE LENGTH	FUEL	IGNITION*	SHIPPING WEIGHT EACH
P250AF	63365	8"	LP	D.I.	24 lbs.
P250AF	63366	8"	Nat	D.I.	24 lbs.
P265F	63367	5"	LP	D.I.	23 lbs.
P265F	63368	5"	Nat	D.I.	23 lbs.
P265F	63369	8"	Nat	D.I.	24 lbs.
P265F	63370	11"	LP	D.I.	25 lbs.
P265F	63371	11"	Nat	D.I.	25 lbs.
BOILER BURNER					
P265F BB	63388	7¾"	Nat	D.I.	24 lbs.

*D.I. = Direct Ignition

REV. 11-08

Fuente: https://pdf.directindustry.com/pdf/wayne-combustion-systems/p250af-p265f-gas-powered-burners/21961-206195.html

Anexo 04: Aislante térmico

SUMINISTROS, INGENIERÍA Y SOLUCIONES S.A.

Ficha técnica

Manta Lana Mineral De Roca

Código: SF-051 (210)	Versión: 2	Revisión:01/08/2018

Descripción:

Son aislamientos de fibra de lana mineral hechas de roca basáltica y escoria. Esta combinación resulta en un producto incombustible con un punto de fusión de aproximadamente 2150 ° F (1177 ° C), lo que le da excelente resistencia al fuego.

Principales calificadores de aplicación:

- Flexibilidad
- Incombustibilidad
- Baja absorción de humedad
- Puede ser fabricada / laminada
- Resistente al fuego
- Excelente resistencia térmica
- No se pudre ni mantener los bichos
- No promueve el crecimiento de hongos o moho
- Productos libre de CFC y HCFC y el proceso
- Hecho de material natural y reciclado

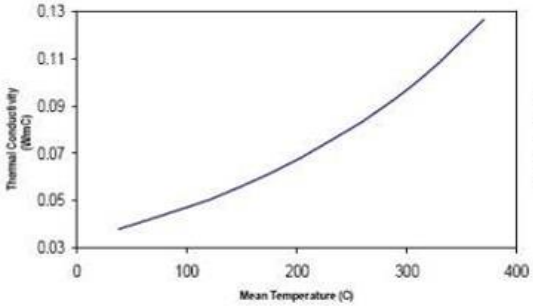
Propiedades:

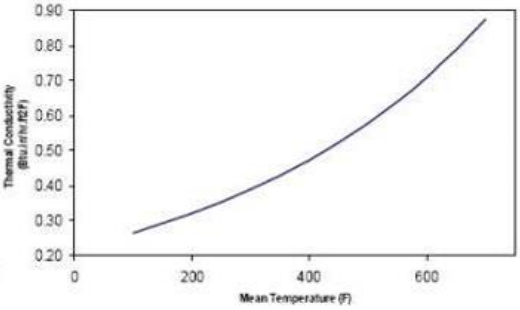
Es repelente al agua, material permeable al vapor es una solución flexible, ligera, resistente al fuego y al sonido absorbente.

Usos:

Es adecuado para su uso en industrias petroquímica, plantas de generación de energía, calderas, hornos, torres y equipos de secado.

Conductividad Térmica





Cra. 51B N° 12 Sur 77 PBX (034) 444 18 04 – 3147891636
www.sissa.com.co

SUMINISTROS, INGENIERÍA Y SOLUCIONES S.A.

Ficha técnica

Manta Lana Mineral De Roca

Código: SF-051 (210)	Versión: 2	Revisión:01/08/2018

Especificaciones:

Parámetros técnicos		
Propiedades	**Unidad**	**Vapor**
Densidad	Kg /m3	60-80-90 100
Conductividad térmica (70ºC)	W/(m*K)	≤0.038
Temperatura Máxima de Servicio	ºC	650
Temperatura de Contracción térmica bajo carga	ºC	400
Contracción lineal	%	<2
Tasa de volumen de absorción de humedad	%	≤0.02
Tasa Hidrofóbica	%	≥99
Rendimiento de combustión	Clase A1, No combustible	-

Rendimiento Acústico:

ASTM C423 CO-EFFICIENTS AT FREQUENCIES							
Thickness	**125 Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1000 Hz**	**2000 Hz**	**4000 Hz**	**NRC**
1.5"	0.15	0.47	0.98	1.06	1.02	1.02	0.90
2.0"	0.26	0.68	1.14	1.13	1.06	1.07	1.00
3.0"	0.62	1.03	1.20	1.10	1.08	1.10	1.10
4.0"	1.07	1.01	1.07	1.06	1.07	1.06	1.05

Cra. 51B N° 12 Sur 77 PBX (034) 444 18 04 – 3147891636
www.sissa.com.co

Fuente: https://sissa.com.co/site/wp-content/uploads/2018/09/SF-051210.pdf

Anexo 05: Resistencia eléctrica

GRUPO 2 - Resistencias para aire

2.12 - Resistencias para horno y estufa

REINF / R / U / Mx360

Características generales

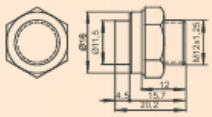
- Elementos tubulares blindados en acero inoxidable AISI 304 ó AISI 321 de Ø8 mm, resistencia aislada con óxido de magnesio electrofundido y comprimido por laminación.
- Borne BM4-P de M4.
- Racores engrampados de acero zincado, rosca M12x1'25
- Tensión normalizada ~230 V

Aplicaciones usuales

- Aire acondicionado
- Estufas aire recirculado
- Estufas aire estático
- Calor negro
- Secado industrial textil
- Hornos de retractilado de plástico
- Hornos en general
- Mesas o armarios calientes
- Aerotermos
- Convectores de aire caliente
- Reactores químicos

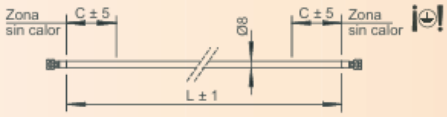
Dimensiones del rácor engrampado M12x1'25

Material: Acero niquelado



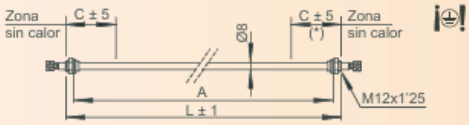
Modelos REINF

Código	Dimensiones en mm		Watios	W/cm²	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	C	L				
REINF460	50	460	500	5,7	T-700-T	0,10
REINF960	50	960	1000	4,7	T-700-T	0,20



Modelos R

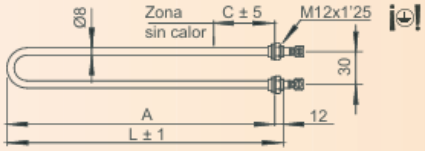
Código	Dimensiones en mm			Watios	W/cm²	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	A	C	L				
R762	738	45	762	500	3	T-700-T	0,20
R1092	1068	45	1092	750	3,1	T-700-T	0,26
R1422	1398	45	1422	1000	3,1	T-700-T	0,34
R2092	2068	45	2092	1500	3	T-700-T	0,49



(*) El racor de uno de los extremos va montado sin fijar

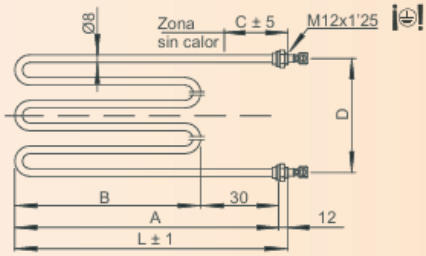
Modelos U

Código	Dimensiones en mm			Watios	W/cm²	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	A	C	L				
U365	365	45	377	500	3	T-700-T	0,20
U530	530	45	542	750	3,1	T-700-T	0,26
U695	695	45	707	1000	3,1	T-700-T	0,34
U1030	1030	45	1042	1500	3,1	T-700-T	0,49
U1365	1365	45	1377	2000	3,1	T-700-T	0,58



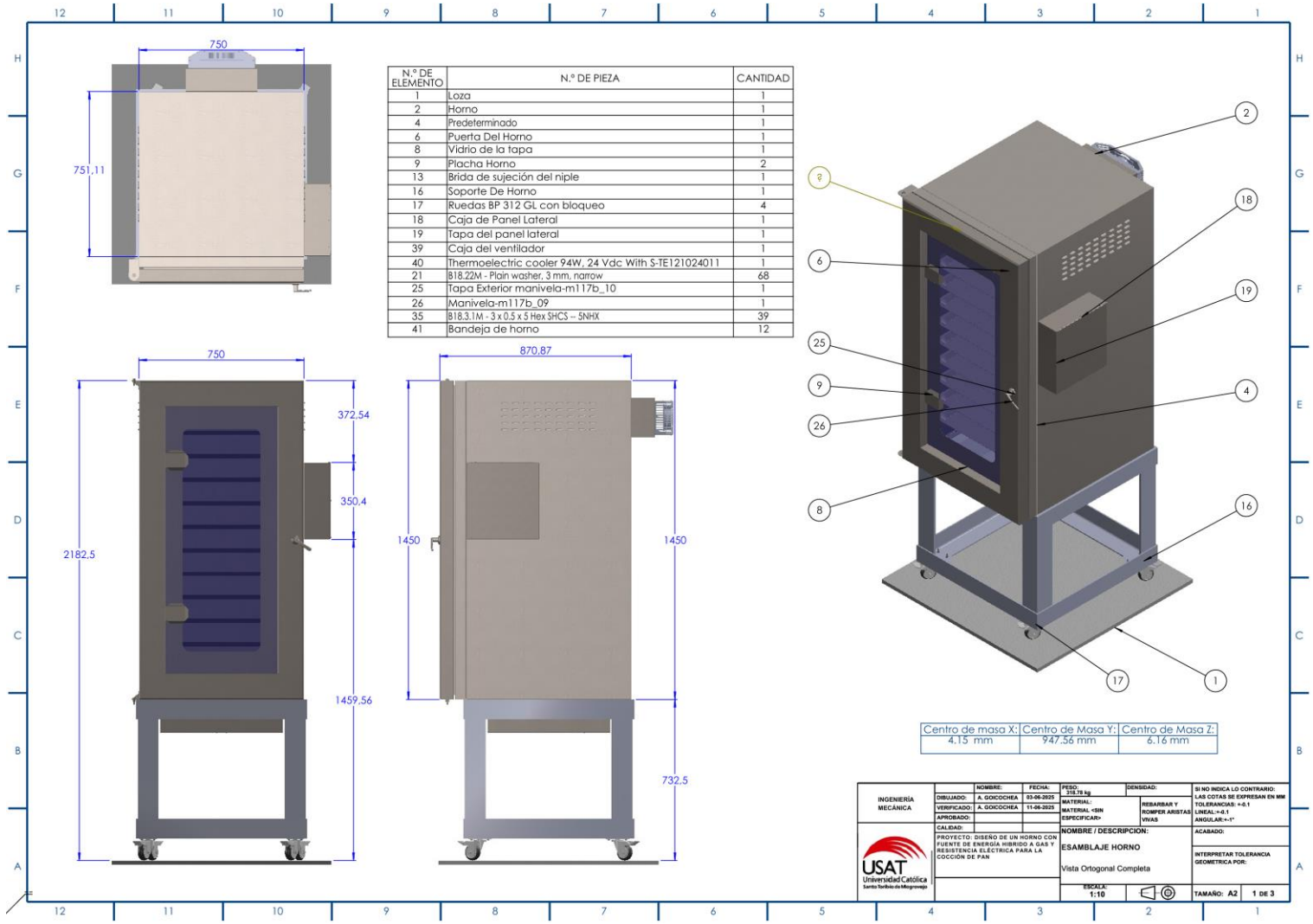
Modelos Mx360

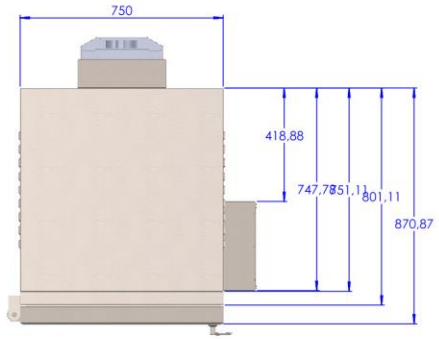
Código	Dimensiones en mm					Watios	W/cm²	Clase térmica constructiva Electricfor	Peso En Kg
	A	B	C	D	L				
M4360	360	330	45	90	372	1000	3,1	T-700-T	0,34
M6360	360	330	45	150	372	1500	3,1	T-700-T	0,49
M8360	360	330	45	210	372	2000	3,1	T-700-T	0,58
M12360	360	330	45	330	372	3000	3	T-700-T	0,89



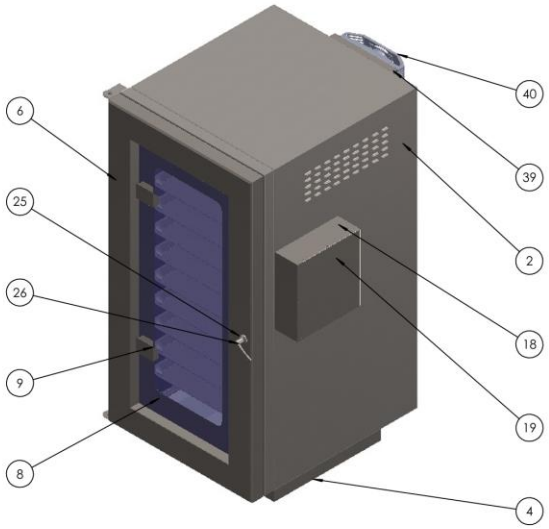
Fuente: https://brototermic.com/docs/catalogo-Brototermic-resistencias.pdf

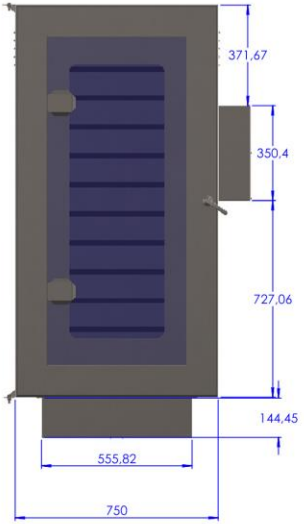
Anexo 06: Planos constructivos

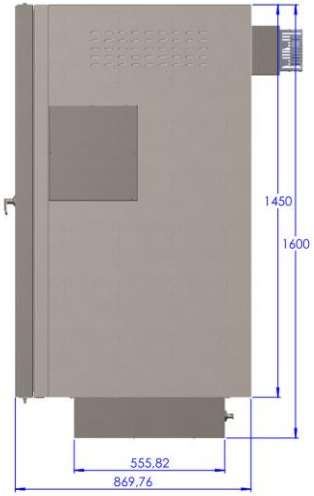




N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
2	Horno	1
4	Tapa Fondo del quemador del horno	1
6	Puerta Del Horno	1
8	Vidrio de la tapa	1
9	Placha Horno	2
12	Niple de Conector al Quemador	1
13	Brida de sujeción del niple	1
18	Caja de Panel Lateral	1
19	Tapa del panel lateral	1
39	Caja del ventilador	1
70	Tapa Exterior manivela-m117b_10	1
71	Manivela-m117b_09	1
35	B18.3.1M - 3 x 0.5 x 5 Hex SHCS -- 5NHX	39
81	Bandeja de horno	12







Centro de masa X:	Centro de Masa Y:	Centro de Masa Z:
4.15 mm	947.56 mm	6.16 mm

INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE:	FECHA:	PESO: 318.78 kg	DENSIDAD:
	DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	03-06-2025	MATERIAL: MATERIAL <SIN ESPECIFICAR>	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
	VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025		
	APROBADO:				
	CALIDAD:				

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO CON FUENTE DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

NOMBRE / DESCRIPCION:

ESAMBLAJE HORNO

Vista Ortogonal solo Horno

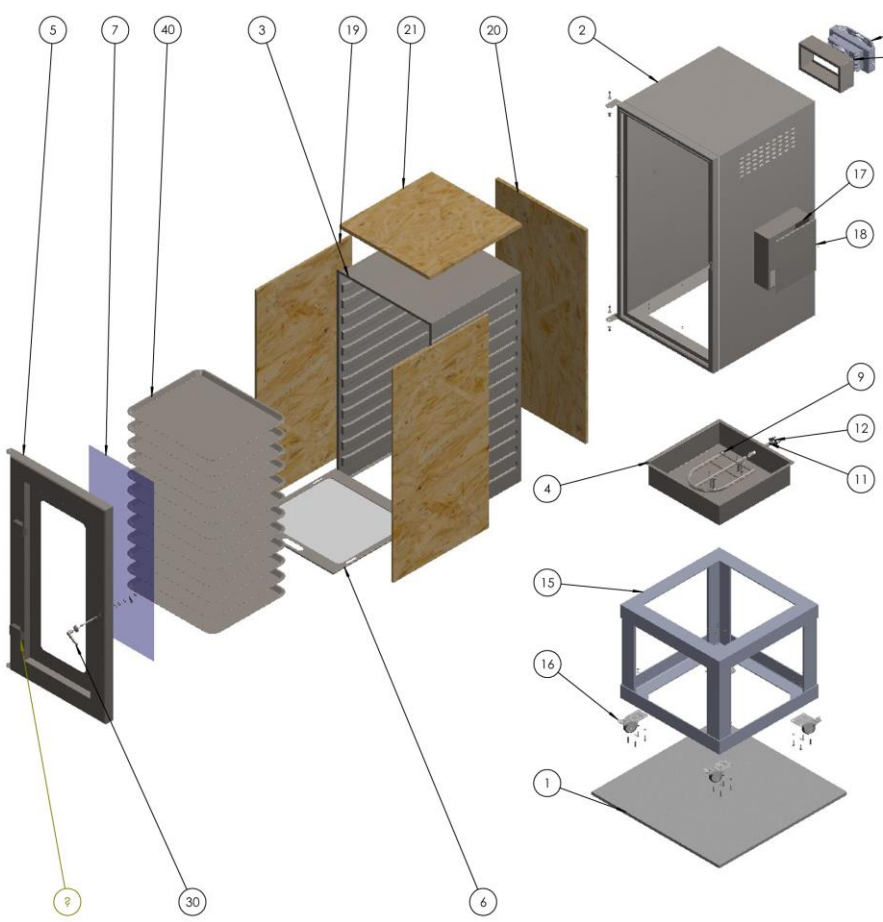
ESCALA: 1:10

SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: +-0.1 LINEAL:+-0.1 ANGULAR:+-1°

ACABADO:

INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

TAMAÑO: A2 2 DE 3



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Loza	1
2	Horno	1
3	Camara Interna Horno	1
4	Tapa Fondo del quemador del horno	1
5	Puerta Del Horno	1
6	Tapa superior de quemador	1
7	Vidrio de la tapa	1
8	Placha Horno	2
9	Quemador Horno	1
10	Conector del quemador con tubería	1
11	Niple de Conector al Quemador	1
12	Brida de sujeción del niple	1
14	Soporte del quemador	4
15	Soporte De Horno	1
16	Ruedas BP 312 GL con bloqueo	4
17	Caja de Panel Lateral	1
18	Tapa del panel lateral	1
19	Ailslante Lateral	2
20	Aislante de fondo	1
21	Aislante superior	1
22	Caja del ventilador	1
23	Thermoelectric cooler 94W, 24 Vdc With S-TE121024011	1
29	Tapa Exterior manivela-m117b_10	1
30	Manivela-m117b_09	1
40	Bandeja de horno	12

INGENIERÍA MECÁNICA

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

	NOMBRE:	FECHA:
DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	03-06-2025
VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025
APROBADO:		
CALIDAD:		

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO CON FUENTE DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELECTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

PESO: 318.78 kg

DENSIDAD:

MATERIAL: MATERIAL <SIN ESPECIFICAR>

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NOMBRE / DESCRIPCION:

ESAMBLAJE HORNO

Despiece Isométrico

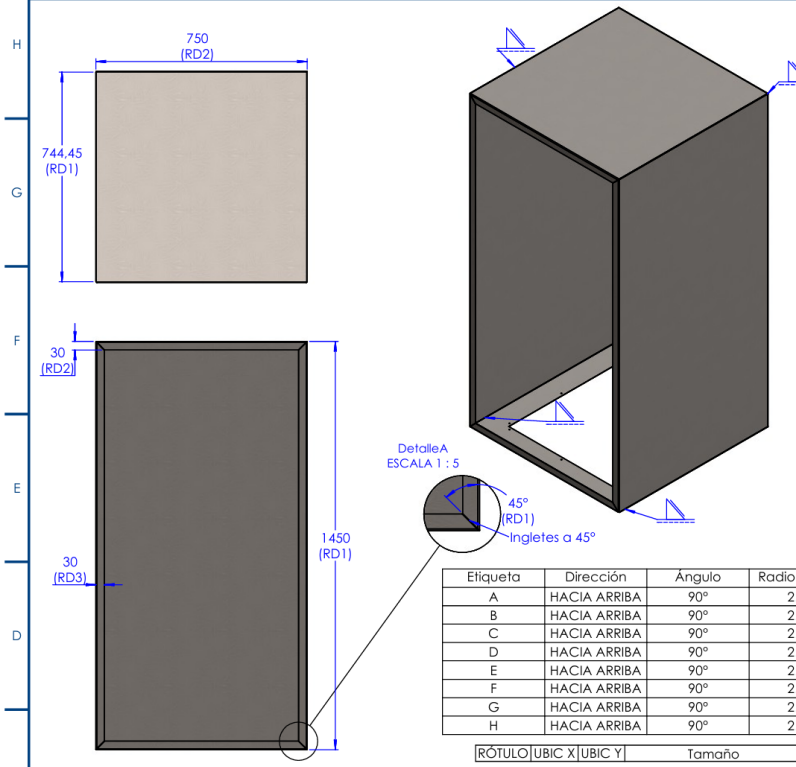
ESCALA: 1:15

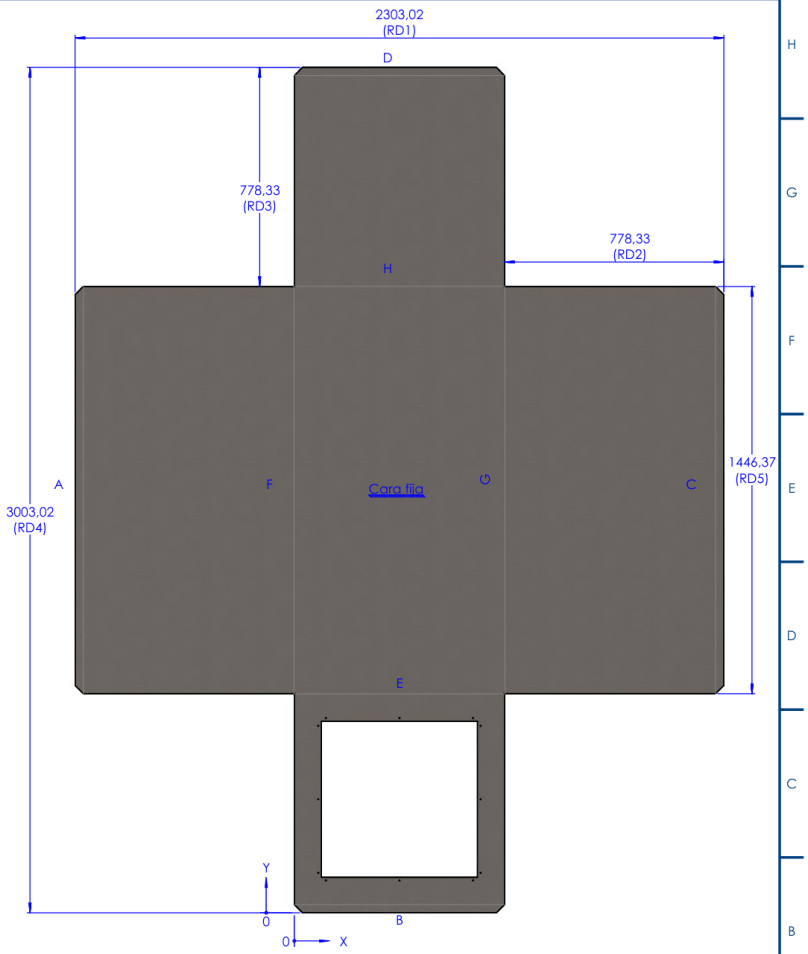
SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: +-0.1 LINEAL: +-0.1 ANGULAR:+-1°

ACABADO:

INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

TAMAÑO: A2 3 DE 3





Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ARRIBA	90°	2.22
B	HACIA ARRIBA	90°	2.22
C	HACIA ARRIBA	90°	2.22
D	HACIA ARRIBA	90°	2.22
E	HACIA ARRIBA	90°	2.22
F	HACIA ARRIBA	90°	2.22
G	HACIA ARRIBA	90°	2.22
H	HACIA ARRIBA	90°	2.22

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	Tamaño

N.º DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
19GA.	1,11	2.22	0.5

INGENIERÍA MECÁNICA

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

	NOMBRE:	FECHA:
DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	03-06-2025
VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025
APROBADO:		
CALIDAD:		

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO CON FUENTE DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

PESO: 37144.21 g

DENSIDAD: 0.008g/mm^3

MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NOMBRE / DESCRIPCION:

CUBIERTA EXTERIOR HORNO

Cubierta

ESCALA: 1:10

SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
TOLERANCIAS: +-0.1
LINEAL:+-0.1
ANGULAR:+-1°

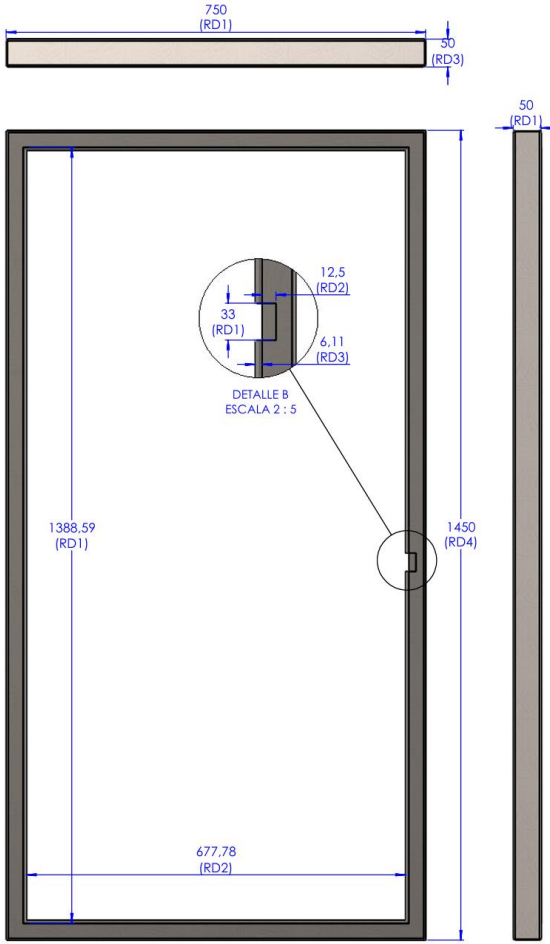
ACABADO:

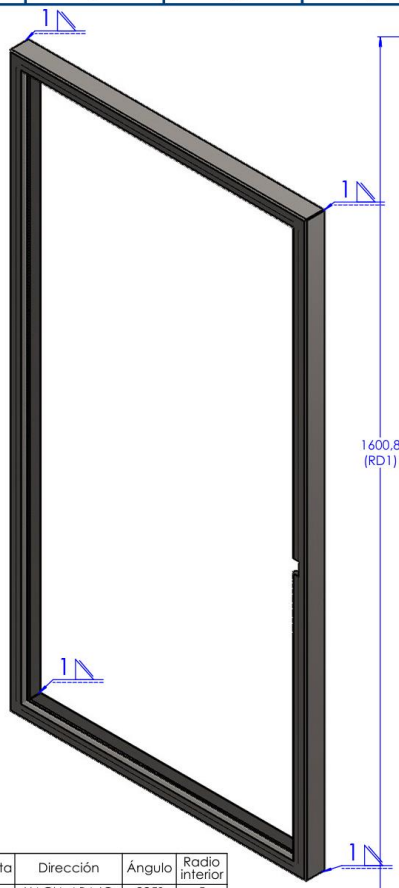
INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

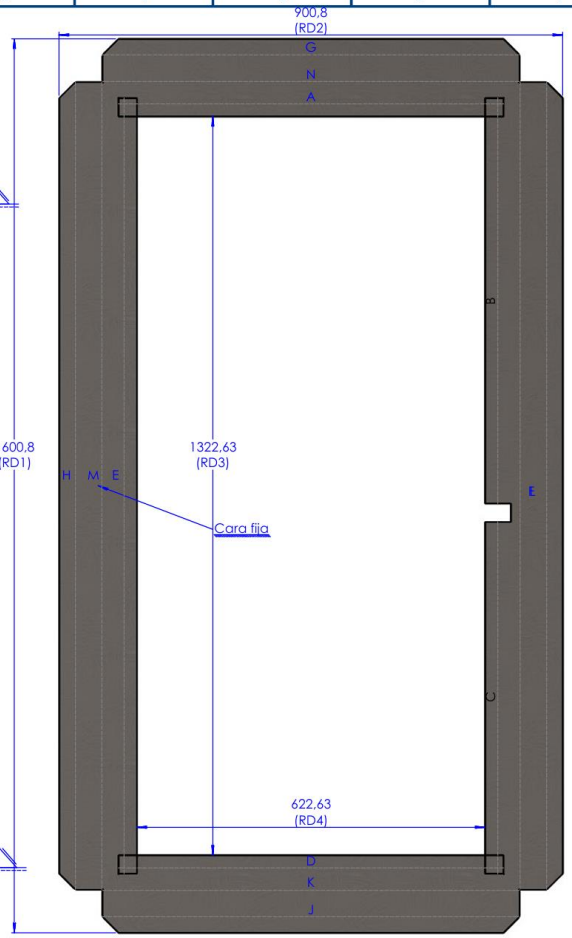
TAMAÑO: A2 1 DE 2

N.° DE ELEMENTO	TAMAÑO DE SOLDADURA	SÍMBOLO	LONGITUD DE SOLDADURA	MATERIAL DE SOLDADURA	CANTIDAD
1	1	◺	333.31	E-316L	4

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
19GA.	1.11	2.22	0.5







Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	225°	5
B	HACIA ABAJO	225°	5
C	HACIA ABAJO	225°	5
D	HACIA ABAJO	225°	5
E	HACIA ABAJO	225°	5
F	HACIA ABAJO	90°	2.22
G	HACIA ABAJO	90°	2.22
H	HACIA ABAJO	90°	2.22
J	HACIA ABAJO	90°	2.22
K	HACIA ABAJO	90°	2.22
L	HACIA ABAJO	90°	2.22
M	HACIA ABAJO	90°	2.22
N	HACIA ABAJO	90°	2.22

INGENIERÍA MECANICA

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

	NOMBRE:	FECHA:
DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	03-06-2025
VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025
APROBADO:		
CALIDAD:		

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO CON FUENTE DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

CLIENTE:

PESO: 5275.46 g

DENSIDAD: 0.00 kg/mm^3

MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
TOLERANCIAS: +-0.1
LINEAL:+-0.1
ANGULAR:+-1°

NOMBRE / DESCRIPCION:

MARCO CONTRAPUERTA-CUBIERTA
Marco Contrapuerta

ACABADO:

INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

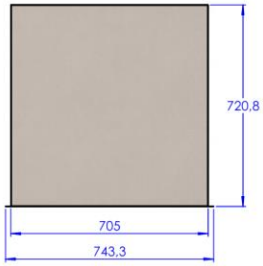
ESCALA: 1:5

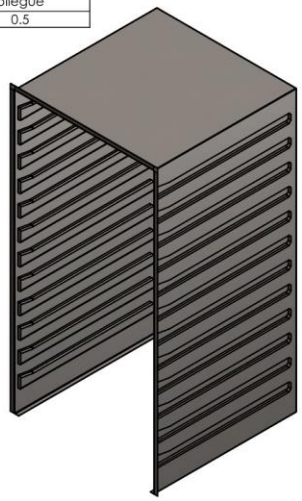
TAMAÑO: A2

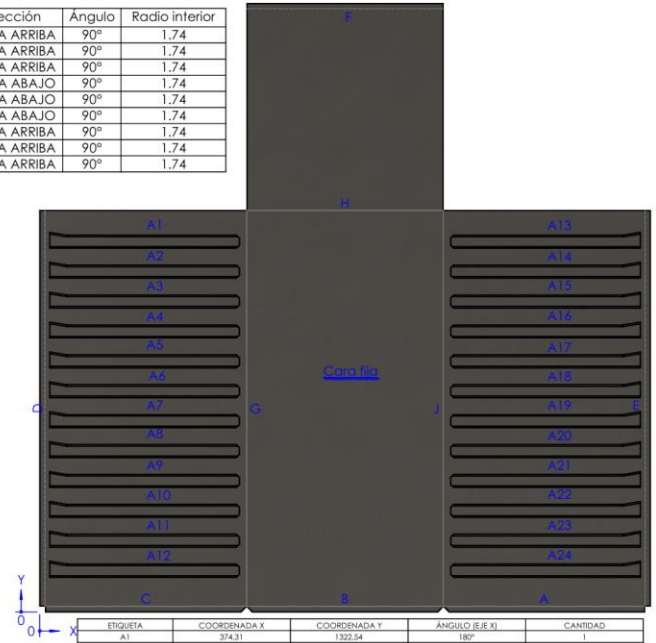
2 DE 2

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
21GA.	0.87	1.74	0.5

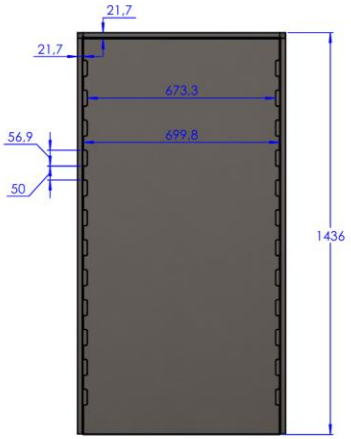
Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ARRIBA	90°	1.74
B	HACIA ARRIBA	90°	1.74
C	HACIA ARRIBA	90°	1.74
D	HACIA ABAJO	90°	1.74
E	HACIA ABAJO	90°	1.74
F	HACIA ABAJO	90°	1.74
G	HACIA ARRIBA	90°	1.74
H	HACIA ARRIBA	90°	1.74
J	HACIA ARRIBA	90°	1.74

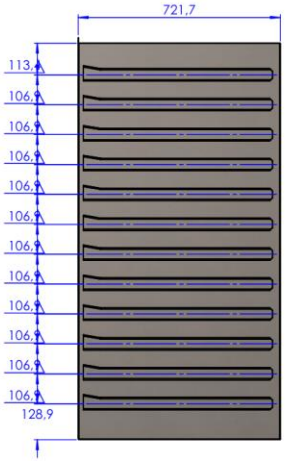




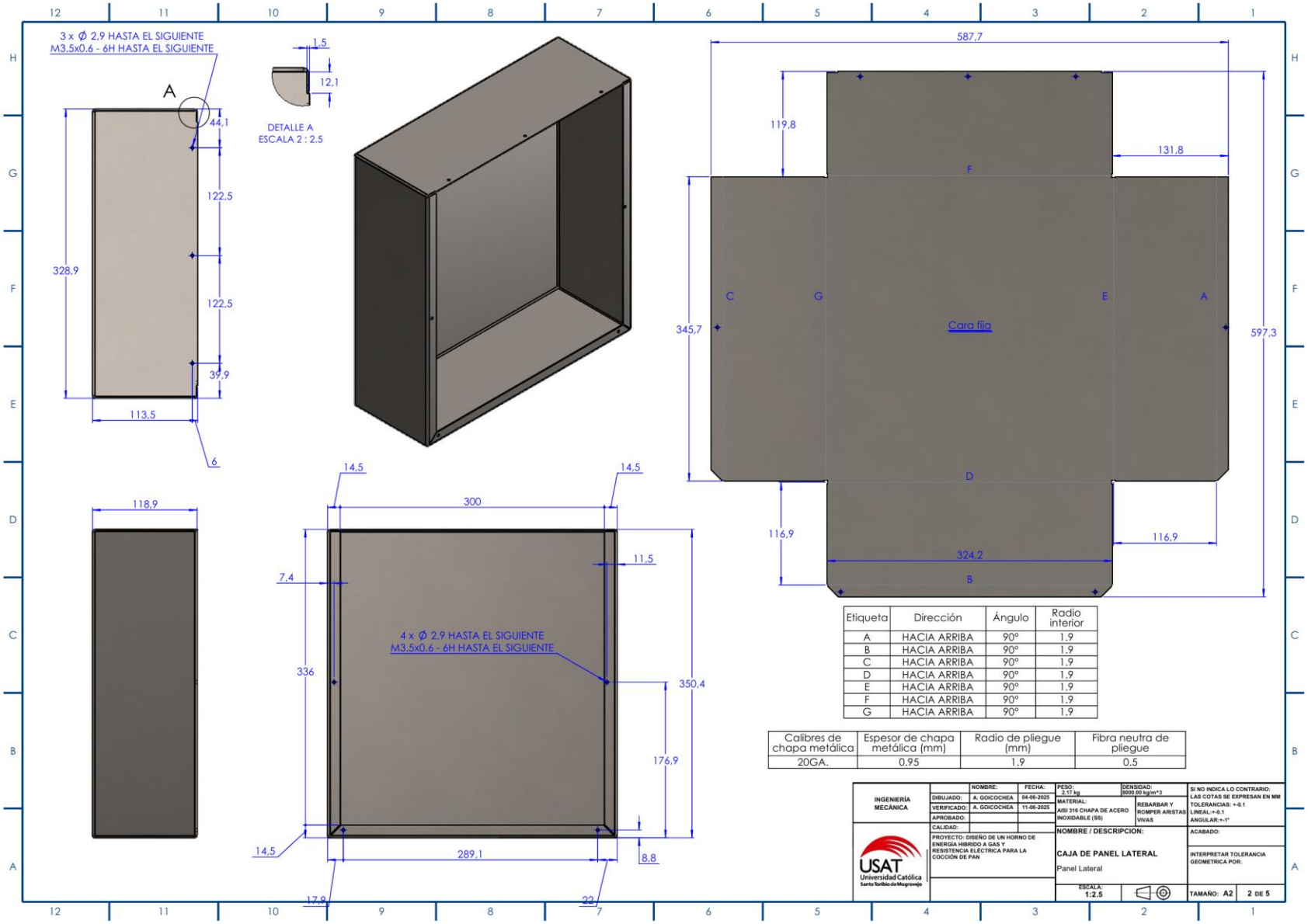


ETIQUETA	COORDENADA X	COORDENADA Y	ÁNGULO (EJE X)	CANTIDAD
A1	374,31	1322,54	180°	1
A2	374,31	1215,69	180°	1
A3	374,31	1108,83	180°	1
A4	374,31	1001,97	180°	1
A5	374,31	895,12	180°	1
A6	374,31	788,26	180°	1
A7	374,31	681,41	180°	1
A8	374,31	574,55	180°	1
A9	374,31	467,69	180°	1
A10	374,31	360,84	180°	1
A11	374,31	253,98	180°	1
A12	374,31	147,13	180°	1
A13	1806,82	1322,54	0°	1
A14	1806,82	1215,69	0°	1
A15	1806,82	1108,83	0°	1
A16	1806,82	1001,97	0°	1
A17	1806,82	895,12	0°	1
A18	1806,82	788,26	0°	1
A19	1806,82	681,41	0°	1
A20	1806,82	574,55	0°	1
A21	1806,82	467,69	0°	1
A22	1806,82	360,84	0°	1
A23	1806,82	253,98	0°	1
A24	1806,82	147,13	0°	1





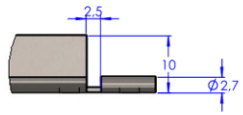
		NOMBRE:	FECHA:	PESO: 28.49 kg	DENSIDAD: 8000.00 kg/m^3	SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
INGENIERÍA MECÁNICA	DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	04-06-2025	MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	TOLERANCIAS: +-0.1 LINEAL: +-0.5 ANGULAR: +-1°
	VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025			
	APROBADO:					
	CALIDAD:					
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN			NOMBRE / DESCRIPCION: CAMARA INTERNA HORNO TURBO Camara		ACABADO:
						INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:
				ESCALA: 1:10		TAMAÑO: A2 1 DE 5



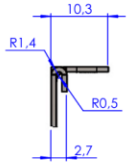
Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ARRIBA	90°	1.9
B	HACIA ARRIBA	90°	1.9
C	HACIA ARRIBA	90°	1.9
D	HACIA ARRIBA	90°	1.9
E	HACIA ARRIBA	90°	1.9
F	HACIA ARRIBA	90°	1.9
G	HACIA ARRIBA	90°	1.9

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
20GA.	0.95	1.9	0.5

		NOMBRE:	FECHA:	PESO: 2.17 kg	DENSIDAD: 8000.00 kg/m^3	SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
INGENIERÍA MECÁNICA	DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	04-06-2025	MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	TOLERANCIAS: +-0.1 LINEAL:+-0.1 ANGULAR:+-1°
	VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025			
	APROBADO:					
	CALIDAD:			NOMBRE / DESCRIPCION: CAJA DE PANEL LATERAL Panel Lateral		ACABADO:
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN					INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:
				ESCALA: 1:2.5		TAMAÑO: A2 — 2 DE 5

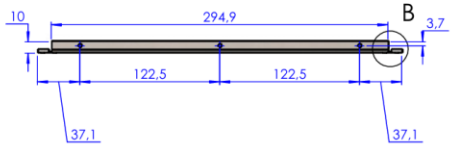


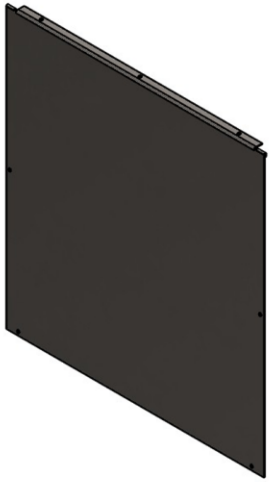
DETALLE B
ESCALA 2 : 1

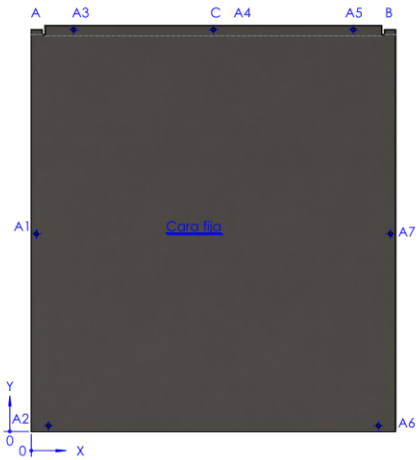


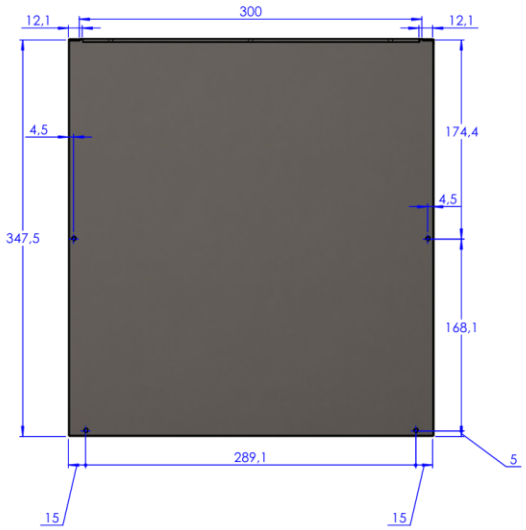
DETALLE C
ESCALA 2 : 1

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
21GA.	0.87	1.74	0.5









Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	180°	0.5
B	HACIA ABAJO	180°	0.5
C	HACIA ABAJO	90°	1.74

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	4,50	173,05	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A2	15	5	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A3	37,09	351,97	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A4	159,54	351,97	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A5	281,99	351,97	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A6	304,08	5	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A7	314,58	173,05	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE

INGENIERÍA MECANICA

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

	NOMBRE:	FECHA:
DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	04-06-2025
VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025
APROBADO:		

CALIDAD:

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

PESO: 5,79 kg
DENSIDAD: 8000,00 kg/m^3
MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)
REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NOMBRE / DESCRIPCION:
TAPA DEL PANEL LATERAL
Tapa Panel Lateral

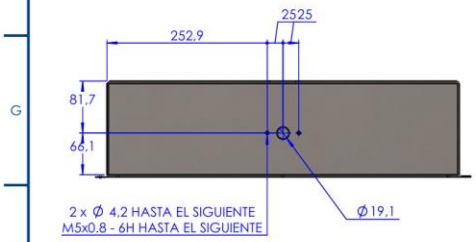
ESCALA: 1:2.5

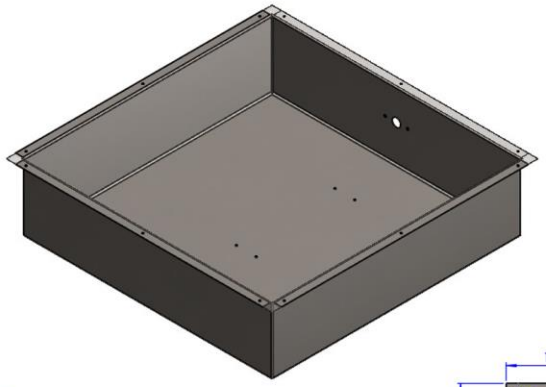
SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
TOLERANCIAS: +-0.1
LINEAL:+-0.1
ANGULAR:+-1°

ACABADO:

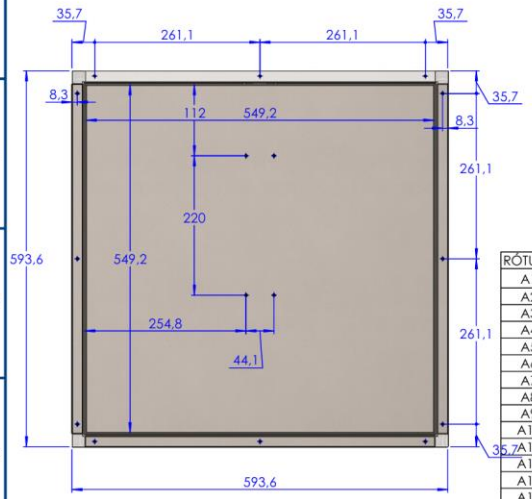
INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

TAMAÑO: A2 3 DE 5



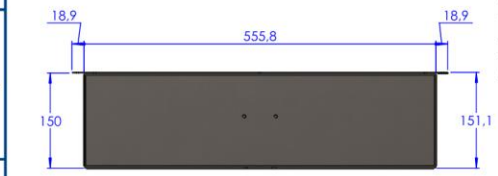


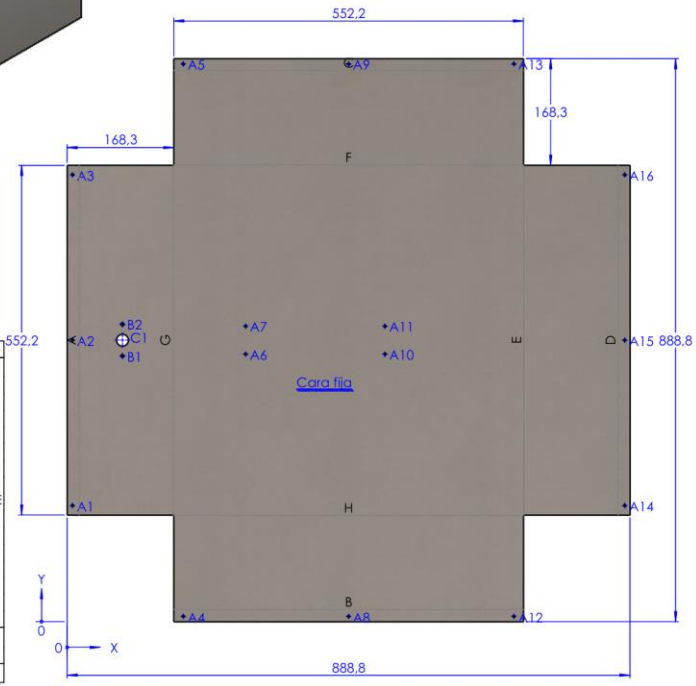
Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
19GA.	1.11	2.22	0.5



Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	90º	2.22
B	HACIA ABAJO	90º	2.22
C	HACIA ABAJO	90º	2.22
D	HACIA ABAJO	90º	2.22
E	HACIA ARRIBA	90º	2.22
F	HACIA ARRIBA	90º	2.22
G	HACIA ARRIBA	90º	2.22
H	HACIA ARRIBA	90º	2.22

RÓTULO	UBIC X	UBIC Y	TAMAÑO
A1	8,34	183,33	Ø 2,9 HASTA EL SIGUIENTE M3.5x0.6 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
A2	8,34	444,42	
A3	8,34	705,51	
A4	183,33	8,34	
A5	183,33	880,50	
A6	281,82	422,39	
A7	281,82	466,44	
A8	444,42	8,34	
A9	444,42	880,50	
A10	501,82	422,39	
A11	501,82	466,44	
A12	705,51	8,34	
A13	705,51	880,50	
A14	880,50	183,33	
A15	880,50	444,42	
A16	880,50	705,51	
B1	87,14	419,42	Ø 4,2 HASTA EL SIGUIENTE M5x0.8 - 6H HASTA EL SIGUIENTE
B2	87,14	469,42	
C1	87,14	444,42	Ø19,1 POR TODO





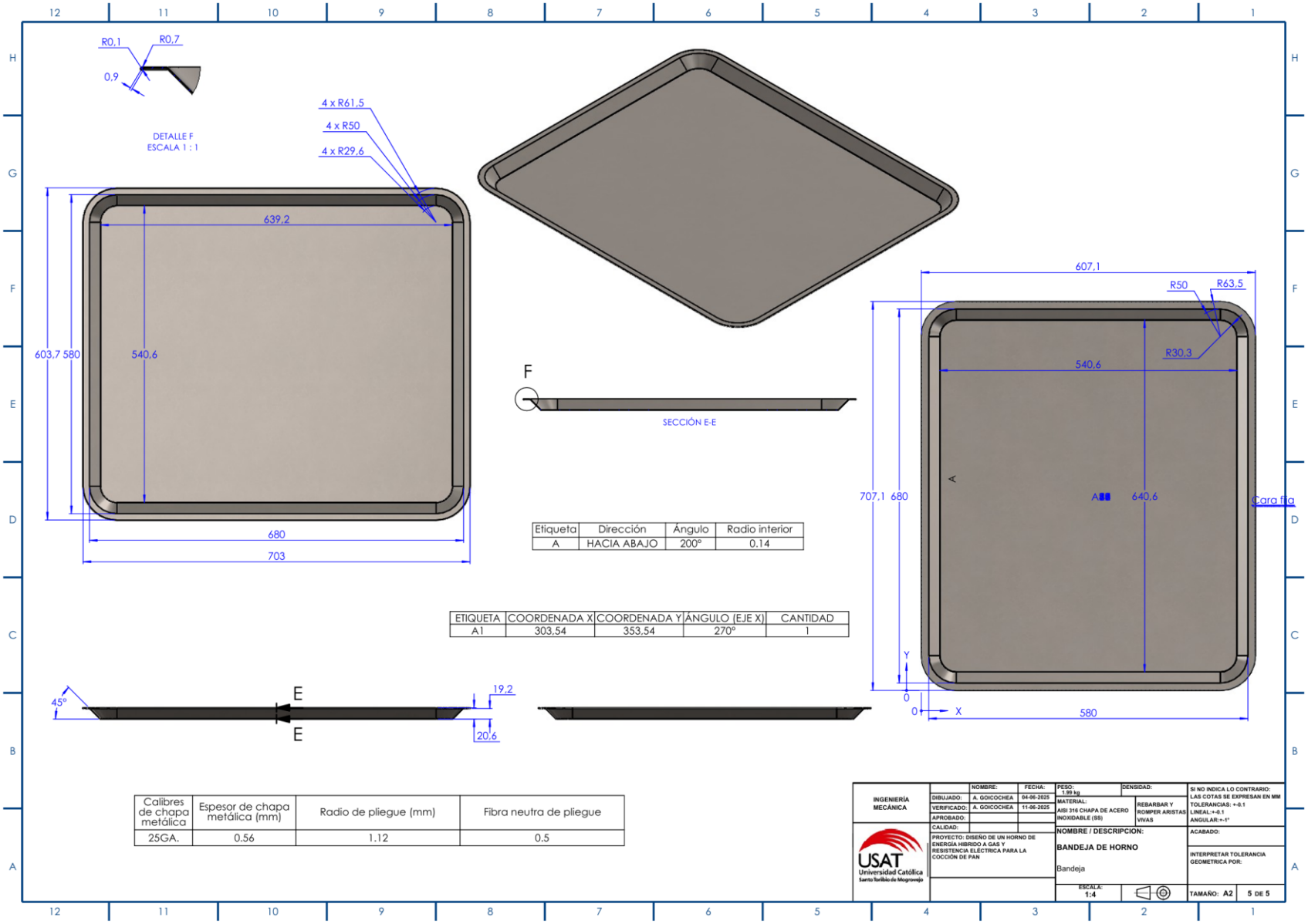
INGENIERÍA MECÁNICA		NOMBRE:	FECHA:	PESO: 8.03 kg	DENSIDAD:
	DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	04-06-2025	MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS
	VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025		
	APROBADO:				
	CALIDAD:				
USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo	PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN			NOMBRE / DESCRIPCION: TAPA FONDO DEL QUEMADOR DEL HORNO Tapa Fondo	
				ESCALA: 1:4.5	

SI NO INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
TOLERANCIAS: +-0.1
LINEAL:+-0.1
ANGULAR:+-1°

ACABADO:

INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

TAMAÑO: A2 4 DE 5



Etiqueta	Dirección	Ángulo	Radio interior
A	HACIA ABAJO	200°	0.14

ETIQUETA	COORDENADA X	COORDENADA Y	ÁNGULO (EJE X)	CANTIDAD
A1	303,54	353,54	270°	1

Calibres de chapa metálica	Espesor de chapa metálica (mm)	Radio de pliegue (mm)	Fibra neutra de pliegue
25GA.	0.56	1.12	0.5

INGENIERÍA MECÁNICA

USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

	NOMBRE:	FECHA:
DIBUJADO:	A. GOICOCHEA	04-06-2025
VERIFICADO:	A. GOICOCHEA	11-06-2025
APROBADO:		
CALIDAD:		

PROYECTO: DISEÑO DE UN HORNO DE ENERGÍA HIBRIDO A GAS Y RESISTENCIA ELÉCTRICA PARA LA COCCIÓN DE PAN

PESO: 1,99 kg

DENSIDAD:

MATERIAL: AISI 316 CHAPA DE ACERO INOXIDABLE (SS)

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NOMBRE / DESCRIPCION:

BANDEJA DE HORNO

Bandeja

ESCALA: 1:4

SI NO INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
TOLERANCIAS: +-0.1
LINEAL:+-0.1
ANGULAR:+-1°

ACABADO:

INTERPRETAR TOLERANCIA GEOMETRICA POR:

TAMAÑO: A2 5 DE 5