

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño y construcción de un horno de termoformado para la  
fabricación de sockets protésicos**

**Carlo Giulliano Cajas Palacios  
David Alejandro Cuenca Fernández  
Franklin Bryan Navia Buenaño  
Lucas Cristóbal Ordóñez Ramos**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de Ingeniería Mecánica

Quito, 20 de diciembre de 2024

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Diseño y construcción de un horno de termoformado para la fabricación de  
sockets protésicos**

**Carlo Giulliano Cajas Palacios  
David Alejandro Cuenca Fernández  
Franklin Bryan Navia Buenaño  
Lucas Cristóbal Ordóñez Ramos**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Patricio Chiriboga, PhD.**

Quito, 20 de diciembre de 2024

## DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Nombres y apellidos: Carlo Giulliano Cajas Palacios  
David Alejandro Cuenca Fernández  
Franklin Bryan Navia Buenaño  
Lucas Cristóbal Ordóñez Ramos

Código: 00321480  
00322281  
00320456  
00323354

Cédula de identidad: 1725082646  
1105007064  
0930235841  
1722057484

Lugar y fecha: Quito, 20 de diciembre de 2024

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## DEDICATORIA

### **Giulliano Cajas**

Dedico este trabajo a mi familia. A mis padres por siempre apoyarme en todo momento, siempre dan todo y luchan conmigo para poder cumplir mis objetivos. Dedico a mis hermanos, quienes me enseñan de la vida y me motivan siempre a crecer como persona. Agradezco a José y a Gabriel por siempre sacarme una sonrisa y ser un pilar fundamental en mi vida. Doy gracias a Helen que durante este último año me ha acompañado y alentado para cumplir esta meta. También quiero agradecer a todos mis profesores que me han acompañado y motivado a aprender. Finalmente, agradezco a mis compañeros y amigos de la universidad por compartir conmigo momentos especiales. Celebro este trabajo final con mis compañeros de titulación, con quienes tuve la dicha de desarrollar un gran proyecto final.

### **David Cuenca**

Dedico este trabajo a mis padres, Juan y Mercedes, quienes me han guiado por la vida y me han apoyado en todos los momentos, ellos son el pilar de mi vida y todos mis logros son por y para ellos. También quiero agradecer a mi hermano, Juan Pablo, quien no solo me motivó e inspiró a seguir esta carrera sino en muchos otros aspectos de mi vida. Así mismo, agradezco a mis compañeros de titulación con quienes compartí varios momentos de risas y estrés para poder completar este proyecto. Gracias a mi perrito, Checo, quien me sacó varias sonrisas en los momentos más duros de la carrera. Finalmente, agradezco a Romina con quien he compartido varios momentos especiales y nos pudimos apoyar en culminar nuestras carreras universitarias lejos de nuestro hogar.

### **Bryan Navia**

Dedico este trabajo con cariño y esfuerzo a mis padres que son un pilar importante en mi vida y que siempre están para brindarme una mano cuando más los necesito. Agradezco a Dios por permitirme dar la sabiduría de aprender nuevos conocimientos y luego integrarlos en este proyecto de titulación. Finalmente, destaco a mis compañeros de titulación quienes, con su apoyo y dedicación, logramos exitosamente cumplir con el proyecto, y reflejar la integración de las asignaturas estudiadas a lo largo de la carrera.

**Lucas Ordóñez**

Dedico este trabajo a mis padres Paul y Verónica, quienes siempre me han apoyado en los momentos más difíciles y estresantes, y me han ayudado a salir delante de problemas y desafíos que sean presentado durante los años y siempre buscan sacarme una sonrisa. También me gustaría agradecer a mi hermana, Emma que me alegra los días siempre que me ve estresado y llena de cariño cada minuto que está conmigo. Quiero agradecer a mis compañeros de titulación con los que compartí momentos estresantes y divertidos sé que llegaran muy lejos. Finalmente quiero dar gracias a todos los profesores que me acompañaron durante el camino del aprendizaje.

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos agradecer a nuestro director de tesis, Patricio Chiriboga, por haber sido una guía fundamental durante la realización de nuestro proyecto de titulación, agradecemos tus consejos, paciencia y dedicación hacia cada uno de nosotros. Así mismo, queremos expresar nuestra gratitud con todos los profesores de la carrera de Ingeniería Mecánica por siempre estar prestos a darnos un consejo para nuestro proyecto. Por último, queremos agradecer a la empresa SANITRON, quienes nos guiaron para la construcción del horno asegurando que este proyecto sea completamente funcional.

## ABSTRACT

The objective of this project is the design and construction of a thermoforming oven for the fabrication of prosthetic sockets for the Mechanical Engineering program at Universidad San Francisco de Quito. This oven integrates with the existing mobile suction system in the program to manufacture various types of prostheses using different thermoplastics. To achieve this, the oven must ensure thermal uniformity, efficiency, and precise control. After several uniformity tests, it was confirmed that the system successfully performs the thermoforming process for plastics, thanks to the optimization of the oven's design and the selection of key components, such as stainless steel, fiberglass as a thermal insulator, ceramic infrared heaters, and control via a PLC integrated with an HMI. Similarly, the project offers significant potential for improvement in future work, such as integrating more precise sensors to measure the thermoplastic's surface temperature and adapting the oven for other processes beneficial to the program, such as heat treatments or material characterization.

**Keywords:** Thermoforming, thermal uniformity, prosthetic sockets, energy efficiency, thermal insulation, control, PLC, infrared oven.

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y construcción de un horno de termoformado con el fin de fabricar sockets protésicos para la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito. Este horno se integra con el sistema de succión móvil existente en la carrera para fabricar distintos tipos de prótesis con distintos termoplásticos. De tal forma, para asegurar eso se debe garantizar que el horno cumpla con uniformidad térmica, sea eficiente y preciso en el control. Luego de varias pruebas de uniformidad se corroboró que el sistema es capaz de realizar el proceso de termoformado de un plástico de manera exitosa y esto debido a la optimización del diseño del horno y a la elección de criterios importantes como el uso de acero inoxidable, fibra de vidrio como aislante térmico, calentadores infrarrojos de cerámica y un control a través de un PLC integrado con un HMI. Del mismo modo, el proyecto tiene una amplia ventana de mejora con trabajos futuros como la integración de sensores más precisos para medir la temperatura superficial del termoplástico y, así mismo, la integración del horno hacia otro tipo de procesos útiles para la carrera como tratamientos térmicos o caracterización de materiales.

**Palabras clave:** Termoformado, uniformidad térmica, sockets protésicos, eficiencia energética, aislamiento térmico, control, PLC, horno infrarrojo.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>10</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>13</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>14</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1. Planteamiento del problema y especificación del proyecto .....	18
Definición del problema: .....	18
Requerimientos .....	18
2. Revisión de Literatura.....	19
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
3. Conceptos y selecciones de diseño .....	23
Selección de Alternativas .....	23
Control .....	24
Aislamiento.....	26
Acero de la estructura .....	27
Acero de las paredes del horno .....	29
Fuente de Calor .....	30
4. Gestión de Proyectos.....	32
5. Normas de Ingeniería.....	33
6. Plan de manufactura.....	37
Diagramas de flujo.....	37
Hoja de Procesos.....	44
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>45</b>
7. Informe de diseño .....	45
8.1. Cálculos.....	46
Cálculos térmicos.....	46
Calor cedido a los componentes internos del horno (aletas, bandeja, termoplástico) .....	46
Pérdidas paredes.....	50

Potencia requerida para el horno.....	61
Relación espesor del termoplástico y la potencia requerida .....	62
Distribución de temperatura.....	62
Dimensionamiento de los calentadores.....	64
Cálculos estructurales patas .....	66
Cálculo Soldadura Horno-Pata .....	69
Cálculo soldadura estructura caja externa.....	72
Modelo Matemático del Sistema .....	75
Cálculo Circuito de Potencia y Control .....	77
8.2. Simulaciones .....	78
Simulaciones térmicas .....	78
Resultados de la simulación térmica.....	87
Simulación estructural patas .....	95
Resultados de la simulación estructural .....	97
8.3. Resultados .....	99
Pruebas de pruebas de sockets protésicos.....	99
Pruebas de uniformidad .....	101
Temperaturas externas superficiales .....	102
Mediciones para control.....	104
Eficiencia .....	105
Comparación con productos similares .....	106
8.4. Análisis de Riesgos .....	106
8.5. Manual de Operación y Mantenimiento .....	108
8.6. Discusión.....	123
8.7. Conclusiones .....	123
8.8. Trabajos Futuros .....	124
<b>Referencias.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>128</b>
ANEXO A: Gestión de Proyecto .....	128
ANEXO B: Códigos de Matlab .....	130

ANEXO C: Facturas de compra .....	132
ANEXO D: Programa PLC TIA PORTAL .....	137
ANEXO E: Códigos EES.....	143
ANEXO F: Tabla de Riesgos .....	146
ANEXO G: Planos y Hojas de Procesos.....	148

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Selección de alternativas para el control.....	25
Tabla 2. Selección de alternativas para el aislamiento.....	27
Tabla 3. Selección de alternativas para el acero de la estructura .....	28
Tabla 4. Selección de alternativas para acero de las paredes del horno.....	30
Tabla 5. Selección de alternativas para la fuente de calor .....	31
Tabla 6. Diagrama de Gantt .....	32
Tabla 7. Calor específico para cada material .....	47
Tabla 8. Masa calculada para cada componente .....	48
Tabla 9. Propiedades del aire para $T_f=398.15K$ (Bergman et al., 2018) .....	52
Tabla 10. Propiedades del aire para $T_f=295.65K$ .....	56
Tabla 11. Distribución de la temperatura en las paredes.....	64
Tabla 12. Factores de forma.....	65
Tabla 13. Áreas y emisividades. ....	66
Tabla 14. Propiedades Acero AISI 430.....	67
Tabla 15. Constantes de la función de transferencia.....	77
Tabla 16. Coeficientes de convección calculados.....	82
Tabla 17. Resultados de las temperaturas en las simulaciones .....	92
Tabla 18. Error porcentual entre los resultados de las simulaciones y los cálculos.....	93
Tabla 19. Resultados Estadísticos de Pruebas.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Subsistemas del horno de termoformado .....	24
Figura 2 Diagrama de procesos para estructura caja interna .....	38
Figura 3 Diagrama de procesos para estructura caja externa.....	39
Figura 4 Diagrama de procesos para caja externa .....	40
Figura 5 Diagrama de procesos para caja interna .....	41
Figura 6 Diagrama de procesos para las patas del horno.....	42
Figura 7 Diagrama de procesos para ensamble del horno .....	43
Figura 8 Relación del espesor del termoplástico y la potencia requerida.....	62
Figura 9 Pared con temperaturas T1, T2, T3 y T4 .....	63
Figura 10 Fórmula predeterminada para el factor de forma. ....	65
Figura 11 Diagrama de junta soldada Horno-Pata .....	69
Figura 12 Juntas soldadas de la estructura de la caja externa .....	72
Figura 13 Detalle de la esquina a soldar y esquema de soldaduras .....	73
Figura 14 Respuesta Temporal.....	77
Figura 15 Circuito de Potencia y Control .....	78
Figura 16 Vista isométrica de la pared del horno .....	79
Figura 17 Vista lateral de las paredes.....	80
Figura 18 Pared vertical con mallado de 10 mm .....	81
Figura 19 Pared horizontal inferior y superior con mallado de 10 mm .....	81
Figura 20 Convección aplicada a la superficie interna de la pared vertical.....	82
Figura 21 Convección aplicada a la superficie externa de la pared vertical .....	83
Figura 22 Convección aplicada a la superficie externa de la pared horizontal superior.....	83
Figura 23 Convección aplicada a la superficie interna de la pared horizontal superior .....	84
Figura 24 Convección aplicada a la superficie interna de la pared horizontal inferior .....	84
Figura 25 Convección aplicada a la superficie externa de la pared horizontal inferior.....	85
Figura 26 Convección Paredes Verticales .....	85
Figura 27 Convección Paredes Superiores .....	86
Figura 28 Convección Paredes Inferiores .....	86
Figura 29 Radiación en Calefactores .....	86
Figura 30 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared vertical .....	87

Figura 31 Flujo de calor en el eje Z en la pared vertical.....	87
Figura 32 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared vertical .....	88
Figura 33 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared horizontal superior.....	89
Figura 34 Flujo de calor en el eje Y en la pared horizontal superior .....	89
Figura 35 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared horizontal superior .....	90
Figura 36 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared horizontal inferior.....	91
Figura 37 Flujo de calor en el eje Y en la pared horizontal inferior .....	91
Figura 38 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared horizontal inferior .....	92
Figura 39 Distribución Temperatura Path Central Horno .....	94
Figura 40 Gráfico Temperatura Cámara Interna Horno.....	94
Figura 41 Nodos Indicativos Caras Externas e Internas .....	95
Figura 42 Condición Inicial: Fixed Support Base.....	96
Figura 43 Condición Inicial: Carga Central Aplicada.....	96
Figura 44 Mallado Estructural Pata .....	97
Figura 45 Curva de Deformación en función de Altura.....	97
Figura 46 Resultados Deformación Total Estructural Pata.....	98
Figura 47 Curva Independencia de Mallado.....	99
Figura 48 Plástico usado para las pruebas .....	99
Figura 49 Burbujas formadas en los tres armazones .....	100
Figura 50 Colocación de plástico en los moldes.....	100
Figura 51 Pruebas de sockets protésicos.....	100
Figura 52 Resultados de Distribución de Temperatura en Placa Metálica .....	101
Figura 53 Resultados Temperaturas Superficiales Paredes Laterales.....	102
Figura 54 Resultados Temperaturas Superficiales Techo .....	102
Figura 55 Resultados Temperaturas Superficiales Puertas .....	103
Figura 56 Resultados Temperaturas Superficiales Pared Posterior .....	103
Figura 57 Gráfica Temperatura vs. Tiempo datos experimentales.....	104
Figura 58 Gráfica Temperatura vs Tiempo. Modelo primer orden con retardo.....	105

## INTRODUCCIÓN

En Ecuador de acuerdo con el CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades) existen más de 480 mil personas discapacitadas en 2023, de las cuales 44.87% tienen una discapacidad física (CONADIS, 2023). Así, el uso de prótesis ha permitido que las personas que se someten a amputaciones puedan mejorar su calidad de vida y vuelvan a realizar la mayoría de las actividades cotidianas. Por tanto, en Ecuador la fabricación de prótesis es una necesidad, lo cual conlleva a que se tengan que realizar varios procedimientos de manufactura para llegar a la prótesis completa. De esa forma, uno de los elementos más importantes es el socket, el cual es el elemento de conexión entre el muñón y la prótesis, este se encarga de transferir la carga entre la persona y la prótesis brindando estabilidad y, sobre todo le dará comodidad a quien lo use (Baldock et al., 2023). En consecuencia, el socket tiene que ser fabricado con un alto nivel de calidad, para lo cual usualmente se realiza un procedimiento de termoformado, el cual es uno de los procedimientos más antiguos para la fabricación de piezas plásticas. Este proceso consiste en calentar una lámina de plástico dentro de un rango de temperaturas adecuadas para volver al plástico maleable y darle la forma deseada, por tanto, uno de los elementos más importantes del proceso es el horno, el cual calienta la lámina teniendo en cuenta criterios importantes como uniformidad de temperatura y el consumo de energía.

De tal manera, a nivel mundial la industria del plástico ha crecido considerablemente en los últimos años, facilitando la fabricación de partes plásticas como el socket protésico. Sin embargo, en Ecuador la mayoría de la industria del plástico se enfoca en la industria alimenticia, industria de la construcción y en productos del hogar o juguetes, por lo cual, aún no existe una amplia industria para la fabricación de sockets protésicos teniendo que recurrir a importaciones u otros medios (Castro & Cortés, 2022). De este modo, para la facultad de Mecánica de la

Universidad San Francisco de Quito la fabricación de estos elementos ha resultado en un área de interés puesto que les permite aportar en el desarrollo de esta área en el país, así como una oportunidad con fines investigativos. Así, la facultad ya cuenta con la estación móvil y el sistema de vacío para realizar el proceso de termoformado, no obstante, para el sistema de calentamiento se han tenido que utilizar hornos de organizaciones externas, lo cual encarece el proceso.

Por tanto, en base a las necesidades planteadas, se establece el objetivo del presente proyecto, diseñar y fabricar un horno de termoformado que pueda trabajar con distintos termoplásticos con el fin de desarrollar los sockets prostéticos y, así, complementar la estación móvil y el sistema de vacío ya existentes en la facultad de Mecánica.

De este modo, el horno será construido en base a las características existentes en la facultad, es decir, en base a la estación móvil y el sistema de vacío. Así, el diseño del horno estará adaptado a las dimensiones del armazón para el polímero y del soporte de este, por tanto, en base a las dimensiones se harán las selecciones pertinentes de diseño y materiales para el horno. Así mismo, es de gran importancia que el horno cumpla con el objetivo de calentar uniformemente la lámina de plástico y que sea eficiente energéticamente, por tal motivo, la selección de la fuente de calentamiento, los materiales a usar y el aislamiento son cruciales para el buen funcionamiento del horno pudiendo cumplir con los requerimientos mencionados.

## **1. Planteamiento del problema y especificación del proyecto**

### **Definición del problema:**

Actualmente, en la Universidad San Francisco de Quito existe un sistema de succión para la fabricación de sockets prostéticos por medio de termoformado. No obstante, carece del horno encargado de llevar los termoplásticos a las temperaturas deseadas de trabajo. Por ende, para el termoformado, se depende de una organización externa que brinde sus servicios y equipos. Esto genera un problema debido a que la universidad trabaja regularmente con prótesis tanto para personas como animales. Un ejemplo de ello es Mechanimals, fundación la cual se dedica a desarrollar estas prótesis para animales domésticos. Debido a la frecuente demanda de las prótesis, se planteó diseñar y fabricar un horno que satisfaga la necesidad de trabajar con distintos termoplásticos para el desarrollo de las prótesis mencionadas con anterioridad, y que complementa al sistema de succión existente en la institución universitaria.

### **Requerimientos**

En esta sección se detalla las especificaciones y condiciones necesarias para el diseño y operación óptima del horno para sockets prostéticos. Estos requerimientos se definen con el objetivo de garantizar que el equipo cumpla con los estándares de calidad, seguridad y funcionalidad necesarios para la fabricación de piezas médicas precisas y duraderas.

- El horno debe manejar altas temperaturas para trabajar con distintos termoplásticos.
- Mantener una temperatura uniforme dentro de la cámara para evitar deformaciones en los termoplásticos.
- El horno debe contar con un sistema de monitoreo y control para mantener las condiciones adecuadas.

- El horno debe fabricarse con materiales resistentes a las temperaturas de trabajo para evitar la contaminación del termoplástico.
- El horno requiere de un aislamiento que permita reducir las pérdidas de energía.
- Debe contar con una ventana que permita observar el comportamiento del termoplástico.
- Se necesita una estructura que soporte la carga del equipo y que permita su respectivo traslado.

## **2. Revisión de Literatura**

Un socket protético es un elemento que requiere de un proceso de fabricación de alta calidad puesto que sirve como la conexión entre la prótesis y el miembro residual, por tanto, el socket tiene que transferir la carga entre la persona y la prótesis de forma que se protejan los tejidos del miembro residual y se mantenga el control de movimiento de la prótesis (Baldock et al., 2023). De tal manera, el socket se personaliza con el fin de adaptarse a la anatomía y necesidades de cada persona, siendo también liviano y estructuralmente sólido para soportar las actividades cotidianas, por tal razón, su fabricación se realiza a través de procesos el termoformado y laminado o con nuevos procesos como impresión 3D (Gariboldi et al., 2023). Sin embargo, el termoformado es uno de los métodos más antiguos para la fabricación de piezas y sigue siendo uno de los más usados debido a las amplias ventajas que ofrece, de esa forma, este proceso involucra el calentamiento de una lámina de plástico en un rango de temperaturas adecuada que permita volver al plástico maleable para luego estirar la lámina en un molde frío con el fin de darle la forma deseada, por esta razón, es necesario contar con un horno adecuado, el cual deberá calentar la lámina por ambos lados teniendo en cuenta que los criterios

más importantes son la uniformidad de la temperatura que se distribuye en la lámina y el consumo de energía dando como resultado a soluciones como aislamientos (Throne, 2024).

Por tanto, en primer lugar, se requiere un buen diseño del horno para que se cumplan todos los requerimientos propuestos. Maohua et al. (2017) afirman que el diseño del horno tiene que contemplar cinco aspectos claves: un arreglo secuencial, en donde los componentes tienen que estar colocados de tal manera que se optimice el calor; un mecanismo de calor, en donde se caliente el plástico de forma uniforme y controlada; la integración con otros componentes, para que se adapte con otros elementos como el molde y el sistema de succión; el control, el cuál puede ser realizado con un controlador lógico programable (PLC); eficiencia en el espacio de trabajo, la cual es importante para realizar el diseño del horno con todos sus componentes de la manera más óptima. De esta manera, es importante considerar las dimensiones y los materiales para la construcción del horno, así como los costos de diseño. Akwasi (2017), propone un modelo en donde se diseña un horno con materiales relativamente económicos y resistente a los impactos que puede recibir por parte del usuario. Se utiliza materiales como aluminio y lana de roca (aislamiento), con la capacidad de trabajar con láminas de 30x30 cm y con capacidad de calentar a 180 C. Esta temperatura es suficiente para realizar el termoformado de varios plásticos de aproximadamente estas mismas dimensiones (Anayo, 2021). Así mismo, Anayo (2021) menciona que la temperatura tiene que ser controlada para evitar el deterioro del material. Además, es importante considerar la estructura del horno, en donde se debe tomar en cuenta elementos como juntas empernadas (Akwasi, 2017). Por último, respecto al diseño del control, se encuentran varios métodos para esto, incluyendo PID u otras técnicas para controlar la temperatura como el TILC (Gauthier & Boulet, 2008).

Así mismo, uno de los criterios más importantes a considerar es que el horno pueda calentar la lámina de plástico de manera uniforme con el fin de evitar problemas de calidad posterior. De tal forma, es importante mencionar que el termoformado se divide para láminas delgadas y gruesas, siendo las delgadas de un espesor menor a 1.50 mm y las gruesas de un espesor mayor a ese valor (Klein, 2009). Así, para láminas gruesas, usadas en la fabricación de sockets prostéticos, la distribución de temperatura al calentarlas es menos uniforme debido al espesor por lo que hay tener un mejor control de temperatura en el horno, lo cual tiene soluciones relacionadas principalmente a la fuente de energía (Castro & Cortés, 2022). Por tanto, para reducir el diferencial de temperatura en la lámina es necesario que el horno alcance las temperaturas necesarias lo más rápido posible para lo cual se necesita aumentar la potencia de calentamiento radiativo, esto se logra con mayor facilidad utilizando calentadores halógenos que brindan una mayor penetración de la radiación en comparación a otros calentadores, así mismo, colocar calentadores en la parte superior e inferior del horno brinda mayor uniformidad así como colocar elementos aislantes (Buffel et al., 2015).

Otro criterio importante y destacable del horno es la decisión de qué tipo de fuente de calor utilizar para que el proceso de termoformado se lleve a cabo de acuerdo con los requerimientos necesarios. Según Andrieu et al. (2019), los hornos de termoformado suelen utilizar con mayor frecuencia calentadores de tipo cerámicos cuya longitud de onda es de aproximadamente un máximo de tres micrómetros. Este tipo de calentadores son conocidos dentro de las tecnologías de calentamiento por radiación debido a que albergan una transferencia de calor controlable y proveen los mejores resultados posibles (Ashter, 2014). Por otro lado, PLASTIGLAS (2019) menciona en su manual técnico de termoformado que otro tipo de fuente de calor por radiación infrarroja son los filamentos de tungsteno dentro de tubos de cuarzo los

cuales pueden llegar incluso a temperaturas altas como de 2200°C, por ende, se debe controlar bien su transferencia de calor para que el termoplástico no se degrade por un sobrecalentamiento. En adición, Ashter (2014) destaca que los hornos de termoformado también utilizan calentadores tubulares que se basan en resistencias de nicromio centradas en un tubo de acero inoxidable y que son cubiertas por un aislamiento mineral (óxido de magnesio) que les permite alcanzar un rango de temperatura hasta los 815°C. De ahí, Throne (2011) especifica que los hornos de termoformado llegan a las temperaturas deseadas a través los calentadores halógenos, otro tipo de fuente de calor los cuales están hechos a base de una cinta de tungsteno dentro de tubos de vidrio de cuarzo que luego son llenados con gas halógeno para evitar el desgaste del tungsteno. Finalmente, los calentadores de tipo cuarzo son otro tipo de fuente calor para un horno de termoformado los cuales poseen la mejor eficiencia energética, ya que son fuertes y rígidos bajo condiciones de temperaturas altas, brindan ayuda estructural a los cables de resistencia eléctrica mediante la conexión de capas de porcelana a cada extremo que les permiten tener una buena sincronía con los materiales de aislamiento (Ashter, 2014).

Por último, el aislamiento térmico es importante en aplicaciones de altas temperaturas, incluye hornos y conductos de calor, y un aislamiento para este tipo de aplicaciones puede garantizar que el calor no se transfiera al cuerpo y al medio exterior, reduciendo el riesgo de quemaduras y pérdidas energéticas (Wasmi, 2021). Dentro de este contexto siempre se busca utilizar los mejores materiales de aislamiento térmico posibles, los cuales reducen todos los tipos de modos de transferencia de calor como conducción, convección y radiación. Dicho esto, la lana de vidrio resulta ser uno de los aislantes térmicos más comunes, de igual forma podemos encontrar poliuretano, fibras cerámicas, polímeros, corcho, entre otros (Wasmi, 2015). Al comparar dos de los materiales más comunes en hornos hallamos la lana de vidrio y la fibra

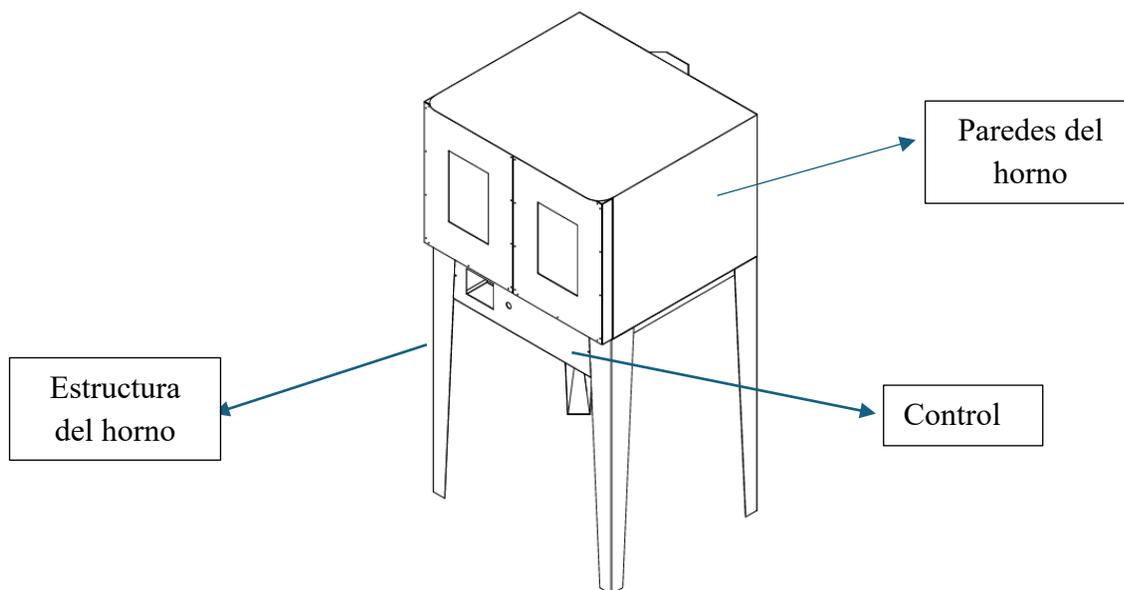
cerámica, sobre las cuales se pueden considerar factores claves al momento de seleccionar una de ellas, mientras que ambas se caracterizan por sus altas capacidades a soportar temperaturas extremadamente altas, la fibra cerámica, puede llegar a soportar hasta  $1200^{\circ}\text{C}$ , mientras que la lana de vidrio llega a soportar menos de la mitad de estas temperaturas ( $550^{\circ}\text{C}$ ). Por otro lado, al utilizar ambas se debe tomar en cuenta los riesgos de trabajar con ambas ya que pueden llegar a causar problemas respiratorios similares (Sadler, 2023).

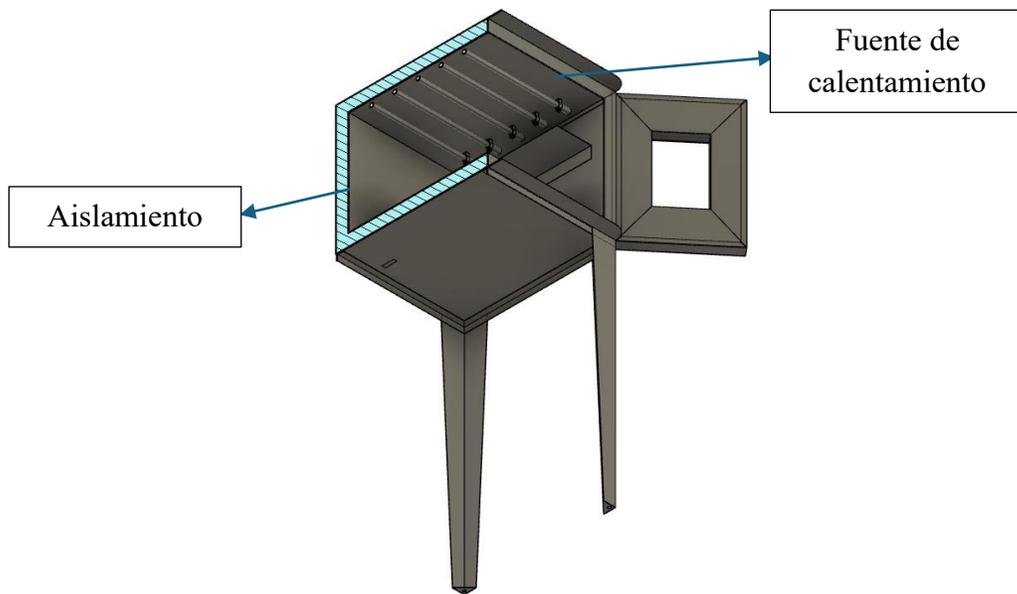
## MATERIALES Y MÉTODOS

### 3. Conceptos y selecciones de diseño

#### Selección de Alternativas

Para la selección de alternativas de los subsistemas del horno se eligieron criterios para cada uno y se los evalúa del 1 al 5, siendo 1 el menor puntaje y 5 el mayor puntaje. Así, en primer lugar, se presentan los subsistemas del horno para luego analizar cada uno:





*Figura 1 Subsistemas del horno de termoformado*

### **Control**

El sistema de control es importante ya que este permite garantizar la precisión en las condiciones de operación del horno. Por lo que se necesita un sistema automático que regule y establezca la temperatura del horno para lograr un buen proceso de termoformado. Para el análisis de selección de alternativas, se consideraron las siguientes opciones: PLC, Arduino, Controlador de temperatura. Los criterios ingenieriles establecidos se presentan a continuación:

- Costo: es importante ya que se tiene un presupuesto limitado.
- Programación: dificultad en programar y configurar el sistema de control. Cada tipo de control requiere diferentes conocimientos que pueden ser muy especializados.
- Precisión: se refiere a la capacidad del sistema de control para mantener la temperatura del horno y la uniformidad de esta dentro de un valor o un rango deseado. Es importante

debido a que no se quiere picos muy altos de temperatura o un error de estado estable considerablemente grande.

- Versatilidad/compatibilidad: la capacidad de adaptación de este control a diferentes condiciones, actuadores y sensores. Es importante ya que no todos los sistemas de control son compatibles con algunas de estas herramientas.

Para el análisis, se estableció la siguiente distribución de peso para cada criterio: Costo 15%, programación 10%, precisión 40%, y compatibilidad 35%. Dentro de estos criterios se consideró más importante la precisión y compatibilidad debido a que el proceso de termoformado requiere una buena precisión y uniformidad en la temperatura para que se realice adecuadamente. La compatibilidad es importante ya que el sistema tiene que permitir que los sensores se adapten correctamente.

*Tabla 1. Selección de alternativas para el control*

Control							
Criterios Ingenieriles		Alt. 1	PLC	Alt. 2	Arduino	Alt. 3	Controlador de Temperatura
<b>Costo</b>	15	2	0,3	4	0,6	3	0,45
<b>Programación</b>	10	2	0,2	4	0,4	4	0,4
<b>Precisión</b>	40	4	1,6	3	1,2	2	0,8
<b>Versatilidad/compatibilidad</b>	35	4	1,4	2	0,7	2	0,7
<b>Total</b>	100		<b>3,5</b>		<b>2,9</b>		<b>2,35</b>

Al realizar el análisis, la alternativa que se escoge para el control es el PLC. Seleccionar este componente es adecuado ya que es la mejor opción en cuanto a control y la precisión. Esto es fundamental ya que uno de los requerimientos más importantes del horno a diseñar es que pueda realizar un buen proceso de termoformado (uniformidad de temperatura), para esto se necesita un control preciso. Además a este componente se le puede agregar más elementos que

pueden ser útiles para un mejor calentamiento y operación (como módulos de extensión, HMI, más termopares, etc), esto ya que dispone de varias entradas tanto digitales como analógicas (dependiendo el PLC). El único inconveniente del PLC radica en su precio. Sin embargo se puede encontrar PLC de precios no tan elevados que son suficientes para el presente proyecto.

### **Aislamiento**

El aislamiento resulta un factor fundamental dentro de un sistema de horno, debido a que este componente ayuda a disminuir las pérdidas por el flujo de calor que recorren las paredes del horno, a su vez protege al usuario de quemaduras con la superficie externa, es por esto que la selección de un material óptimo para el aislamiento debe considerar los siguientes criterios:

- Costo: factor importante debido al presupuesto del proyecto
- Temperatura máxima de trabajo: importante debido a que cada material aislante tiene una temperatura máxima de operación antes de que el material entre en un estado de combustión
- Coeficiente de conducción térmica: uno de los factores más importantes al seleccionar un material aislante ya que esta propiedad del material es la que expresa su capacidad de conducir el calor
- Facilidad de trabajo: factor importante debido a que al tener que colocar el material aislante dentro de una cámara formada por dos paredes metálicas, debe tener un alto grado de manejabilidad.
- Densidad: característica a tomar en cuenta debido a que el horno podría ganar mucha masa dificultando su traslado

Para el análisis se tomó en cuenta un peso del 30% para el coeficiente de conducción térmica debido a que es la propiedad del material más importante al realizar la selección de un

aislante, un 20 % para el costo, temperatura máxima de trabajo y facilidad de trabajo, finalmente se consideró un 10% para la densidad ya que al ser un sistema que va a permanecer inmóvil adquiere este peso.

Tomando en cuenta estos factores y sus pesos se obtuvo el siguiente resultado:

*Tabla 2. Selección de alternativas para el aislamiento*

<b>Aislamiento</b>							
<b>Criterios Ingenieriles</b>		<b>Alt. 1</b>	<b>Fibra Cerámica</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Fibra de Vidrio</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Fibroemento</b>
<b>Costo</b>	20	2	0.4	3	0.6	5	1
<b>Temp. Max de trabajo</b>	20	4	0.8	3	0.6	2	0.4
<b>Coefficiente de conducción térmica</b>	30	3	0.9	4	1.2	4	1.2
<b>Facilidad de trabajo</b>	20	2	0.4	3	0.6	1	0.2
<b>Densidad</b>	10	3	0.3	3	0.3	4	0.4
<b>Total</b>	100		<b>2.8</b>		<b>3.3</b>		<b>3.2</b>

De esta forma se determinó que la fibra de vidrio es uno de los materiales óptimos para usarlo como aislamiento. Esto es una opción aceptable ya que la fibra de vidrio tiene el coeficiente de conducción térmica adecuado para un buen aislamiento, que es un aspecto crucial del horno. El fibrocemento tiene un coeficiente similar, sin embargo la temperatura máxima de operación no es mejor que la fibra de vidrio.

### **Acero de la estructura**

La estructura se refiere a la base que soporta al horno y que sirve para su fácil traslado y manipulación. Por tanto, para el análisis de la mejor alternativa se selecciona entre acero A36, AISI 316, AISI 430, AISI 440 y se consideran los siguientes criterios:

- Costo: punto importante al contar con un presupuesto limitado
- Resistencia: se refiere a la resistencia mecánica del material, importante debido a que la estructura tiene que soportar todas las cargas que genere el horno sin deformarse
- Densidad: importante debido a que la densidad del acero afecta en el peso total de la estructura, lo cual influye en costos y facilidad de transporte e instalación
- Resistencia a la corrosión: si la estructura se encuentra expuesta a condiciones variables la corrosión puede afectar haciendo que la vida útil de la estructura se reduzca y pueda fallar prematuramente

Así, para el análisis se consideró un peso del 30% para el costo, resistencia y resistencia a la corrosión debido a que son criterios que tienen que ver con presupuesto, posible falla de la estructura y vida útil respectivamente, mientras que se coloca un peso del 10% a la densidad debido a que entre algunos aceros no puede haber una diferencia significativa en su densidad.

Entonces, se obtuvo el siguiente resultado:

*Tabla 3. Selección de alternativas para el acero de la estructura*

<b>Acero de la Estructura</b>									
<b>Criterios Ingenieriles</b>		<b>Alt. 1</b>	<b>A-36</b>	<b>Alt. 2</b>	<b>Acero 316</b>	<b>Alt. 3</b>	<b>Acero 430</b>	<b>Alt. 4</b>	<b>Acero 440</b>
<b>Costo</b>	30	4	1.2	2	0.6	3	0.9	4	1.2
<b>Resistencia</b>	30	3	0.9	4	1.2	4	1.2	4	1.2
<b>Densidad</b>	10	3	0.3	3	0.3	3	0.3	3	0.3
<b>Resistencia a la corrosión</b>	30	2	0.6	3	0.9	4	1.2	2	0.6
<b>Total</b>	100		<b>3</b>		<b>3</b>		<b>3.6</b>		<b>3.3</b>

De tal modo, la alternativa a seleccionar es el acero AISI 430.

### **Acero de las paredes del horno**

Las paredes del horno resultan importantes puesto que dan la pauta para la construcción del horno, así en conjunto con el aislante térmico que está en medio de las planchas se reducen las pérdidas energéticas del horno. Así mismo, al seleccionar un acero se asegura que el horno tendrá buena resistencia y durabilidad al ser capaz de soportar varios ciclos térmicos. Entonces, para el análisis se selecciona entre acero A36, AISI 316, AISI 430, AISI 440 y se consideran los siguientes criterios:

- Costo: importante debido al presupuesto
- Propiedades mecánicas: aspecto crucial debido a que estas permiten que el horno sea lo suficientemente resistente para soportar las cargas térmicas del proceso de termoformado sin deformarse
- Densidad: importante para definir el peso final del horno. Un horno muy pesado puede complicar la instalación en el soporte, así como complicar su construcción y movilización.

Por tanto, para el análisis se consideró un peso del 40% para el costo puesto que resulta muy importante considerando que las paredes del horno representan la mayoría del mismo y al estar hechas de acero los costos se elevan. Por otro lado, para las propiedades mecánicas y densidad se considera un peso del 30% resultando igualmente importantes puesto que determinarán la resistencia del horno y su peso respectivamente.

Entonces, se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 4. Selección de alternativas para acero de las paredes del horno

Acero de las paredes del horno									
Criterios Ingenieriles		Alt. 1	A-36	Alt. 2	Acero 316	Alt. 3	Acero 430	Alt. 4	Acero 440
Costo	40	4	1.6	2	0.8	3	1.2	4	1.6
Propiedades mecánicas	30	2	0.6	2	0.6	4	1.2	2	0.6
Densidad	30	3	0.9	3	0.9	3	0.9	3	0.9
<b>Total</b>	100		<b>3.1</b>		<b>2.3</b>		<b>3.3</b>		<b>3.1</b>

De tal modo, la alternativa a seleccionar es el acero AISI 430. Esta es una opción adecuada ya que el acero 430 es el que mejor se adapta a las condiciones que requiere el horno como la presencia de cargas térmicas. También resulta ser una buena opción debido a su costo (no elevado comparado a otros aceros inoxidable) y su disponibilidad en el mercado.

#### Fuente de Calor

La fuente de calor es un subsistema importante para el diseño del horno de termoformado debido a que depende tanto de la ubicación en la que se coloque como de la temperatura máxima que pueda generar dentro de la cámara evitando generar la menor cantidad de daños posibles al termoplástico. A partir de esto, se plantearon las tres alternativas de niquelinas, elementos infrarrojos y a gas bajo los siguientes criterios:

- Costo: aspecto crítico debido al límite de presupuesto brindado.
- Potencia: factor que destaca la potencia de la fuente de calor para llegar a la temperatura deseada en el menor tiempo posible o deseado.
- Facilidad de instalación: si la fuente de calor requiere de instalación de accesorios como placas que no conduzcan bien el calor o mangueras para la distribución del gas en la cámara del horno.

- Eficiencia energética: factor importante que indica qué tanta energía se está aprovechando para el calentamiento del horno.

Los pesos para cada uno de los criterios mencionados con anterioridad fueron de 20, 30, 20 y por ciento respectivamente, ya que el costo influye en la decisión de selección de fuente de calor. Sin embargo, los criterios de potencia y eficiencia energética pesan más porque es indispensable que el horno alcance las temperaturas deseadas para el termoformado de los termoplásticos seleccionados al mismo tiempo que no se consume energía eléctrica en cantidades altas. Por ende, se realizaron los siguientes cálculos para analizar la mejor alternativa.

*Tabla 5. Selección de alternativas para la fuente de calor*

Fuente de Calor							
Criterios Ingenieriles		Alt. 1	Niquelinas	Alt. 2	Infrarrojo	Alt. 3	Gas
<b>Costo</b>	20	2	0,4	3	0,6	4	0,8
<b>Potencia</b>	30	4	1,2	4	1,2	3	0,9
<b>Facilidad instalación</b>	20	3	0,6	4	0,8	2	0,4
<b>Eficiencia energética</b>	30	2	0,6	4	1,2	3	0,9
<b>Total</b>	100		<b>2,8</b>		<b>3,8</b>		<b>3</b>

En sí, la alternativa más destacable para la fuente de calor es el elemento infrarrojo. Esta es una opción razonable considerando que tiene suficiente potencia para calentar el horno a la temperatura deseada. Es importante mencionar que los hornos de termoformado industriales tienen los calentadores de este tipo. Además, con estos calentadores se puede obtener una buena uniformidad de temperatura sin necesidad de un agitador.

#### 4. Gestión de Proyectos

La planificación en un proyecto es esencial puesto que permite gestionar tareas en un determinado rango de tiempo. De tal forma, usar un diagrama de Gantt resulta de gran ayuda al momento de establecer actividades y su tiempo de ejecución, por tanto, en el caso de la planificación del horno las actividades se dividieron principalmente en análisis del proyecto, cálculos, simulaciones y construcción abarcando un rango de 4 meses donde el tiempo de ejecución se dividió por semanas. De ese modo, se sabe cuáles actividades realizar de manera simultánea y su tiempo de ejecución dando como resultado a una mejor eficiencia y control del tiempo a lo largo del proyecto. Entonces, en la planificación se trata de priorizar los cálculos y simulaciones en los primeros meses con una duración máxima de dos semanas cada uno con el fin de llevar a cabo la construcción y pruebas del horno durante el tiempo restante de la planificación

*Tabla 6. Diagrama de Gantt*

Actividad	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Revisión Lit.				
Introducción				
Estándares				
Análisis de Riesgos				
Cálculos de transferencia de calor				
Calculos de perdidas				
Calculos para dimensionamiento de elementos de calentamiento				
Calculos estructurales de las camaras del horno				
Calculos estructurales de la base				
Calculos para dimensionamiento del ventilador				
Calculos para sistema electrico				
Simulaciones Estructurales				
Simulaciones Térmicas Estáticas				
Documento Parcial Planos				
Plan de Manufactura				
Construcción de camara interna y externa				
Colocación elementos infrarrojos				
Construcción Base Soporte				
Construcción circuito de control				
Pruebas de funcionamiento				
Manual O&M				
Documento Final				
Defensa Presentación				

## 5. Normas de Ingeniería

En la fabricación de un horno para el termoformado de sockets prostéticos, es fundamental cumplir con estándares técnicos internacionales que aseguren la calidad, seguridad y confiabilidad del equipo. Para este proyecto, se consideraron normativas reconocidas, tales como las normas ISO, ASTM, DIN, IEC, ANSI y AWS, que cubren desde aspectos de diseño y materiales hasta pruebas de seguridad y rendimiento. La aplicación de estos estándares no solo garantiza la conformidad con las mejores prácticas de la industria, sino que también optimiza el desempeño del horno, asegurando que los sockets producidos cumplan con los requisitos de precisión y durabilidad necesarios para su uso en aplicaciones médicas.

### **ASTM D3418: Método de prueba estándar para temperaturas de transición y entalpías de fusión y cristalización de polímeros mediante calorimetría diferencial de barrido.**

Según el alcance de esta prueba estándar, este método cubre la determinación de temperaturas de transición, entalpías de fusión y cristalización de polímeros mediante calorimetría diferencial de barrido, que nos enfocaremos en la sección de cristalización porque afecta las propiedades mecánicas, transparencia (en el caso de trabajar con un termoplástico de este estilo), tiempo de procesamiento, contracción y deformación.

### **ASTM E136: Método de prueba estándar para evaluar la combustibilidad de materiales utilizando un horno tubular vertical a 750 °C**

Este método de ensayo sobre la respuesta a una prueba a altas temperaturas cubre como se determina bajo condiciones de laboratorio, combustibilidad de diversos materiales, los materiales que comúnmente pasan esta prueba se clasifican como materiales no combustibles. Dentro del contexto del horno se debe verificar la combustibilidad de los materiales que estarán

expuestos a altas temperaturas, para prevenir incidentes al momento del funcionamiento del horno, a su vez se pueden evitar problemas técnicos producidos por la exposición de dichos materiales al calor de la cámara interna del horno.

#### **ANSI Z21.47: Hornos centrales de gas**

Esta publicación presenta un estándar para la operación segura, construcción sustancial y duradera y rendimiento aceptable de hornos alimentados por gas. A pesar de que los hornos a gas e infrarrojos no resultan la misma tecnología, presentan similitudes considerando sus materiales, construcción, aislamiento y diseño.

#### **ASTM C447: Práctica estándar para estimar la temperatura máxima de uso de los aislamientos térmicos**

Esta es una guía para evaluar el comportamiento de materiales aislantes expuestos a temperaturas elevadas, para juzgar su idoneidad para su aplicación en condiciones previstas. Esta norma, ayudara en la verificación de un material aislante para las paredes del horno, de este modo evitando perdidas energéticas al medio, y evitando el riesgo de que la superficie externa del mismo se convierta en un riesgo para el usuario.

#### **DIN 12880-2007: Requerimientos técnicos y pruebas para la precisión de la temperatura en hornos y estufas de laboratorio.**

Este estándar establece las pruebas para hornos con un rango de funcionamiento de -10 C a 300 C. Dentro del alcance de estas pruebas, se contempla la distribución y estabilidad de temperatura, tiempos de recuperación, y precisión de la temperatura. Para nuestra aplicación, esta norma aplica para lograr una eficiente y segura uniformidad en la temperatura. Asimismo, este

estándar permitirá realizar el proceso de termoformado correctamente, manteniendo la integridad de los materiales.

### **ISO 13485: Sistema de gestión de la calidad en productos sanitarios.**

Esta norma establece los requerimientos para una gestión de calidad específico para la industria de productos médicos. Este estándar tiene como objetivo regular los procesos de diseño, producción, instalación y mantenimiento de estos productos. De esta manera, es esencial cumplir con esta norma para asegurar que el horno sea seguro y efectivo para satisfacer los requerimientos médicos.

### **IEC 60519-1: Seguridad en instalaciones de calentamiento eléctrico y procesamiento electromagnético. Parte 1: Requisitos generales**

El estándar cubre los requisitos de seguridad para equipos que generan calor a través de procesos de calentamiento eléctrico. Así, este reúne requisitos de diseño, construcción, operación y mantenimiento para que los equipos funcionen de manera segura con el fin de reducir los riesgos de incendio o explosión del equipo. De tal modo, el estándar se aplica a equipos que generan calentamiento eléctrico a través de resistencia eléctricas, calentamiento por inducción, microondas o por rayos infrarrojos.

### **AWS D1.1/D1.1M: Código de soldadura de estructural – acero**

Dentro de este código recaen los requisitos de soldadura, para cualquier tipo de estructura soldada. Dentro de nuestra aplicación este código puede ser tomado en cuenta debido a la estructura sobre la cual reposara el horno, y a su vez las juntas de la cámara tanto interna que albergara los calentadores, como la externa que se encarga de juntar la cámara interna con el aislamiento.

**ISO 20795-1 - Prosthetics and orthotics - Transfemoral sockets - Part 1 Vocabulary, principles of description and nomenclature:**

Este estándar se centra específicamente en los sockets termoformados utilizados en la prótesis de miembros inferiores. Define el vocabulario, los principios de descripción y la nomenclatura relacionados con los sockets transfemorales y proporciona orientación para su diseño y fabricación

**ISO 10328: Requisitos Biomecánicos para Prótesis Ortopédicas**

Esta norma internacional establece los requisitos biomecánicos y de rendimiento para las prótesis ortopédicas de extremidades inferiores, incluyendo los sockets.

Proporciona directrices sobre los criterios de diseño, fabricación y evaluación de calidad de las prótesis y sus componentes.

**ISO 13485: Gestión de Calidad en Fabricación de Dispositivos Médicos**

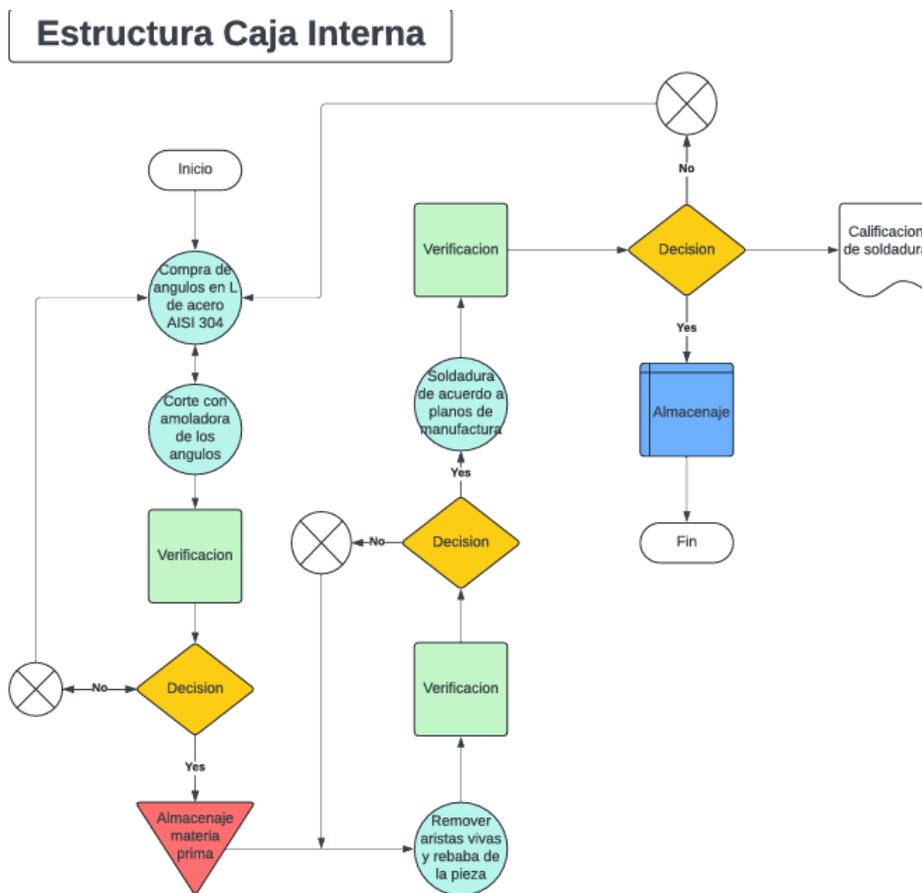
Esta norma especifica los requisitos para un sistema de gestión de calidad para el diseño y fabricación de dispositivos médicos. Es aplicable a organizaciones involucradas en todas las etapas del ciclo de vida del dispositivo médico, incluyendo la fabricación de sockets de prótesis

## **6. Plan de manufactura**

El plan de manufactura es de suma importancia a la hora de la construcción del horno para el termoformado de sockets protéticos. El presente plan describe los procesos, materiales y tecnología empleados para su construcción y ensamblaje. Esta sección abarca desde la selección de componentes hasta las técnicas de montaje, asegurando la precisión y eficiencia requeridas para el funcionamiento óptimo del horno. Asimismo, se detallan los pasos necesarios para garantizar que el horno cumpla con las especificaciones de diseño, seguridad y control de temperatura, fundamentales para la elaboración de encajes protésicos de alta calidad.

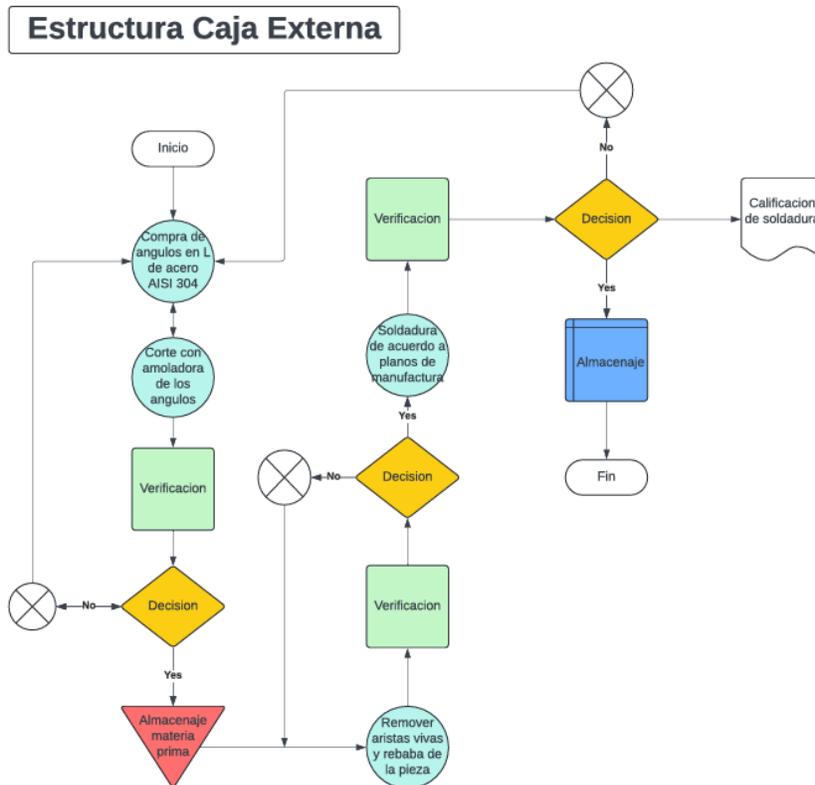
### **Diagramas de flujo**

Los diagramas de flujo proporcionan una representación visual de los procesos involucrados en el diseño, fabricación y operación del horno para sockets protésicos. Estos diagramas son herramientas esenciales para comprender y optimizar cada etapa del proyecto, ya que muestran de forma clara y secuencial las actividades, decisiones y puntos críticos en el proceso. A partir de esto, se facilita la identificación de posibles mejoras, así como la comunicación entre los miembros del equipo, asegurando una implementación eficiente y coordinada del proyecto.



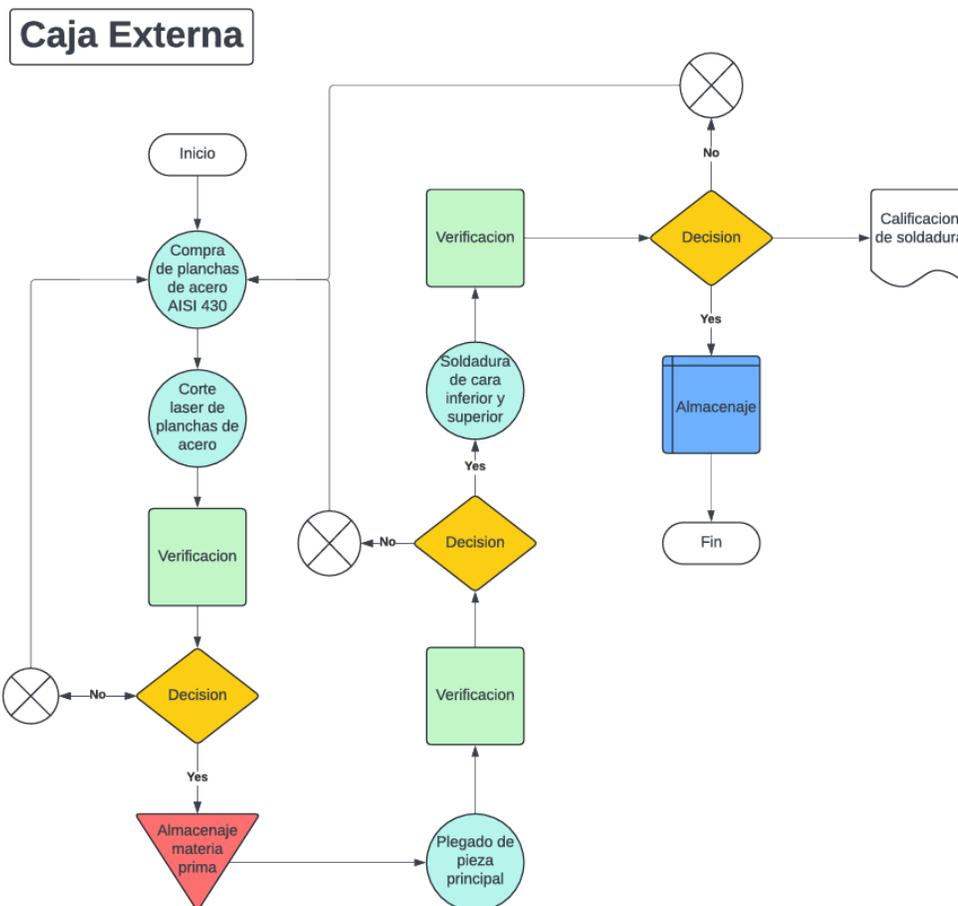
*Figura 2 Diagrama de procesos para estructura caja interna*

La estructura de la caja interna parte de la compra de los ángulos de acero AISI 304. A partir de esto, se utiliza una amoladora para cortar las longitudes necesarias para el horno. Tras este paso, se realiza una verificación del material para tomar una decisión si se aprueba o rechaza el material. El material aprobado pasa por un proceso de retiro de aristas vivas y se verifican para que no haya lesiones por corte. Una vez estos pasos estén hechos, se traspasan los ángulos al punto de soldadura en función del plano de manufactura para que soporten las cámaras respectivas del horno. Luego, se verifica la calidad de la soldadura para evitar roturas y, al ser aprobada, se coloca en almacenaje el producto final.



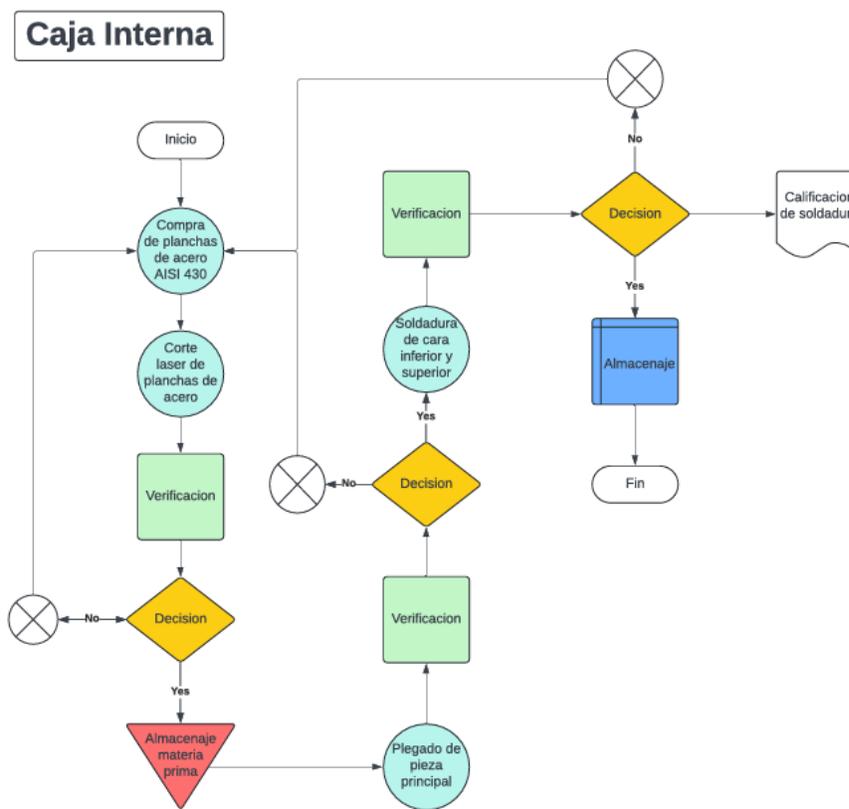
*Figura 3 Diagrama de procesos para estructura caja externa*

Para la estructura de la caja externa se sigue el mismo procedimiento que con la estructura de la caja interna cambiando las dimensiones por lo cual se debe prestar especial atención a los cortes que se hacen y a la soldadura que dependerá de los planos de esta.



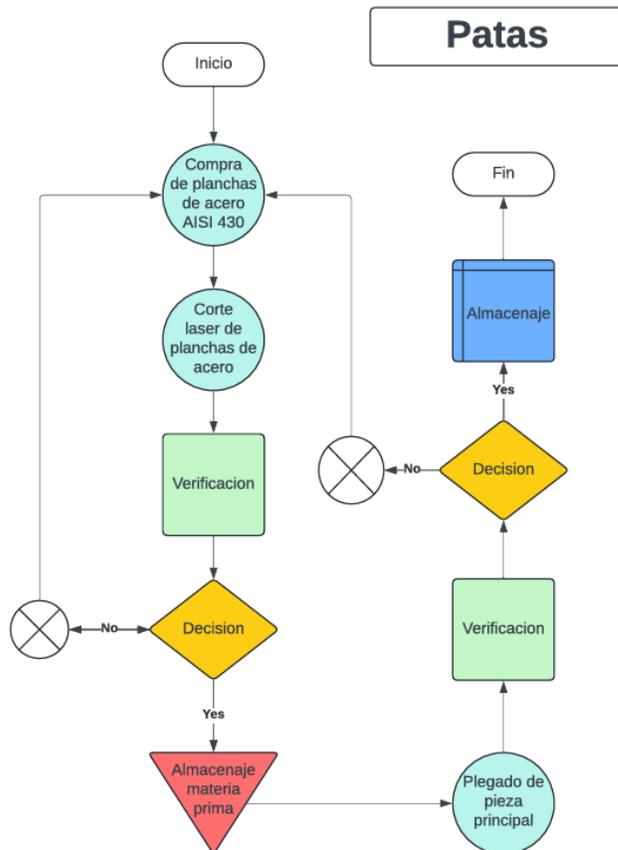
*Figura 4 Diagrama de procesos para caja externa*

Del mismo modo, la caja externa empieza con la compra de las planchas de acero AISI 430 para luego cortarlas con láser y al ser aprobadas se las almacene hasta plegarlas en lo que conformará la caja externa, luego de verificar que el procedimiento esté correcto se procede a realizar la soldadura de acuerdo con el plano que dicta la unión de la cara inferior y superior. Finalmente, se procede a calificar la soldadura para evitar roturas y se almacena.



*Figura 5 Diagrama de procesos para caja interna*

Para la caja interna también se sigue el mismo proceso que con la caja externa haciendo variaciones en las dimensiones para lo cual se debe prestar atención a los planos de cada uno.



*Figura 6 Diagrama de procesos para las patas del horno*

Ahora, para las patas que se unen al horno igualmente se realiza la compra de las planchas de acero AISI 430 para luego proceder al corte con láser de acuerdo con las medidas necesarias, luego se verifica el corte y se procede a almacenarlas hasta que se requiera realizar el plegado de las patas, luego se verifica nuevamente y se las almacena.

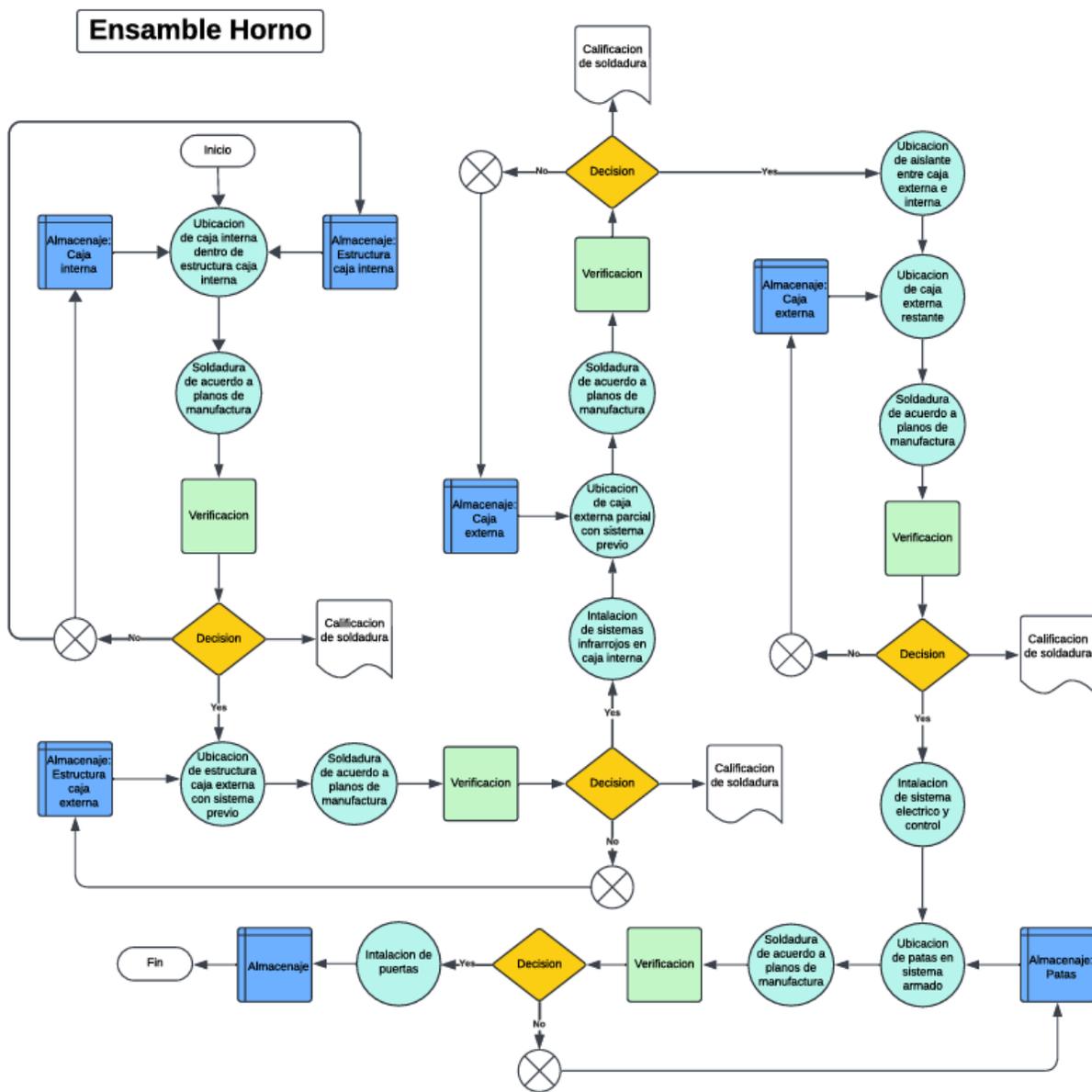


Figura 7 Diagrama de procesos para ensamble del horno

Ahora para el ensamble del horno se tiene el diagrama de procesos general en donde se incluyen las partes anteriormente mencionadas. Por tanto, se inicia colocando la caja interna dentro de su respectiva estructura y soldando de acuerdo con los planos, así mismo, se verifica y acepta el proceso para luego incluir el sistema dentro de la estructura de la caja externa para luego soldar y verificar. Ahora, se procede a colocar el sistema de calentamiento dentro de la caja

interna y se coloca la caja externa de manera parcial en el sistema previo realizando la soldadura y la verificación. Con la decisión tomada se procede a colocar el aislante y se coloca la parte de la caja externa restante y se procede con la soldadura y la verificación para luego realizar las instalaciones eléctricas y de control, la ubicación de las patas con su respectiva soldadura y la verificación. Finalmente, se colocan las puertas del horno, se almacena el horno terminando su ensamble.

### **Hoja de Procesos**

La hoja de procesos detalla cada una de las etapas necesarias para la manufactura y ensamblaje del horno destinado a la fabricación de sockets protésicos. Esta hoja es un documento estructurado que especifica los materiales, herramientas, tiempos, y métodos de trabajo en cada paso del proceso. Así, se garantiza la consistencia y calidad en la producción. Además, sirve como guía de referencia para los operadores, ya que proporciona instrucciones precisas y permite un control eficiente sobre el avance de la manufactura. Con esta sección, se busca optimizar el flujo de trabajo y asegurar que cada fase del proyecto cumpla con los estándares técnicos y de seguridad establecidos. La presente hoja de procesos consta de elementos como los elementos de la caja interna y externa (base, tapas, perfiles), las patas y armazones. Las hojas de procesos se pueden encontrar en Anexos

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 7. Informe de diseño

El horno se diseñó en base a múltiples consideraciones, en primera instancia, se exploró el trabajo de la máquina de moldeo a vacío para los sockets prostéticos de donde se obtuvieron las medidas de los moldes para los plásticos, así, se dio la primera idea para las dimensiones que podría tener el horno. Posteriormente, se realizó la revisión literaria con el fin de obtener la mayor cantidad de información para establecer los parámetros más importantes para el diseño del horno, de esta manera, se definió que para que el horno de termoformado funcione correctamente y cumpla su propósito se tiene que asegurar que exista uniformidad de temperatura al momento de calentar el plástico, por ende, se determinó que los materiales a usar, el aislamiento, el control y la fuente de calentamiento son cruciales para el diseño. Por tanto, partiendo de esos criterios se realizó el diseño del horno que por conveniencia para ensamblar se realizó por cajas de acero que componen una estructura tipo “sánduche” con el fin de mejorar la colocación del aislamiento y facilitar la construcción. Posteriormente, con el diseño inicial se realizó la selección de materiales a usar, donde se estableció el uso de acero inoxidable por el uso quirúrgico del horno, fibra de vidrio para el aislamiento por su baja conductividad térmica, control por un PLC y lámparas infrarrojas como fuente de calentamiento por la uniformidad que provee al calentar. Luego, también se incluyó en el diseño patas de soporte para el horno y para facilitar su transporte, así como una ventana para que el operario visualice el proceso de termoformado. Así, con todo el diseño se procedieron a realizar los cálculos en donde los principales fueron los térmicos donde se determinó la carga necesaria para calentar las láminas de plásticas y las pérdidas a través de las paredes con lo que se calculó la potencia necesaria que necesita el horno, de esa forma, se eligió la posición y la potencia de los calentadores. Posteriormente, se realizaron los cálculos estructurales con el fin de determinar que el horno soporte las cargas a las que esté

sometido, así se realizaron cálculos de pandeo y soldadura con el que se obtuvieron resultados de factor de seguridad altos, los cuales se esperaban debido a que el horno no está sometido a cargas que sean altamente perjudiciales. Por último, se realizó el diagrama de circuito de control y potencia para establecer las conexiones y los elementos a utilizar. Del mismo modo, se llevaron a cabo simulaciones que permitieron corroborar los cálculos realizados a través de la comparación con errores y, así, establecer si la elección para el diseño del horno son los correctos. De esta manera, estos fueron los pasos y criterios a seguir para realizar el diseño del horno de forma que cumpla con el objetivo de realizar el termoformado.

## **8. Análisis de ingeniería (cálculos, simulaciones y experimentos)**

### **8.1. Cálculos**

#### **Cálculos térmicos**

Una parte importante para el diseño del presente horno es determinar la potencia necesaria para calentarlo. Para esto se necesita calcular la energía necesaria para calentar todos los componentes de la cámara interna del horno y las pérdidas que este tiene considerando la composición de sus paredes.

#### **Calor cedido a los componentes internos del horno (aletas, bandeja, termoplástico)**

El horno se diseña para calentar el plástico a la temperatura deseada, para esto se necesita saber la carga total que necesitan los componentes internos para calentarse a esta temperatura. De acuerdo con el diseño establecido, se debe calcular la energía necesaria para calentar el termoplástico, las aletas de soporte y la bandeja. Según Cengel & Boles (2015), para esto se considera, la masa, el calor específico de cada material y la temperatura a las que se quiere alcanzar. Entonces, se tiene la siguiente ecuación para determinar este calor.

$$Q_{cedido} = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

En donde:

$m = \text{Masa de la pieza [kg]}$

$C_p = \text{Calor específico de la pieza } \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right]$

$\Delta T = \text{Variación de Temperatura } [^\circ\text{C}]$

De esta manera, se necesita calcular el calor cedido al termoplástico, las aletas de soporte y la bandeja. Para esto se establece el calor específico y la masa para cada material. La tabla 1 muestra el calor específico de los componentes. De acuerdo con Plastiglas (2014), el termoplástico con mayor temperatura requerida para llegar al punto viscoelástico es el polímero SAN. Debido a esto, se realizan los cálculos considerando las propiedades de este polímero.

*Tabla 7. Calor específico para cada material*

<b>Componente</b>	<b>Material</b>	<b>Cp [kJ/kg*K]</b>
Termoplástico	Polímero SAN	1.5
Aletas y armazón	Acero Inox AISI 430	0.54

Respecto a la masa de los componentes se calcula con su relación con el volumen  $\forall$  y la densidad  $\rho$ .

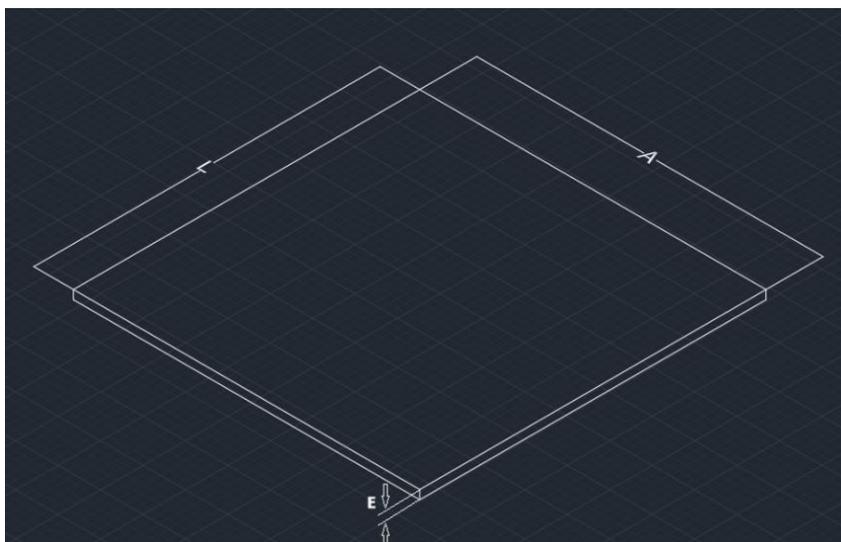
$$\rho = \frac{m}{\forall}$$

Entonces:

$$m = \rho\forall$$

Por esta razón, se necesita saber el volumen de los componentes. El volumen de las aletas de soporte y la bandeja se obtienen directamente del modelado que se realizó en *Fusion 360*, estos valores son de 0.00087 y 0.001 m<sup>3</sup>, respectivamente. Respecto al termoplástico, la figura 1 muestra la geometría de este. Siendo L y A igual a 510 mm, y E representa el espesor que va a variar. Por lo tanto, el horno tiene que ser diseñado para trabajar con termoplásticos de diferentes espesores. De acuerdo con Álvarez (2016), los espesores comunes de los plásticos para estos

procesos de termoformado van de 2 a 11 mm. Con el objetivo de ser conservadores, se realizan los cálculos con un rango de espesor de 2 a 13 mm. Inicialmente, se realizaron los cálculos considerando un espesor de 13 mm, para obtener la potencia máxima que se necesitará para calentar el horno.



*Figura 8. Geometría del termoplástico*

La tabla 2 muestra la masa para cada componente, con su volumen y densidad.

*Tabla 8. Masa calculada para cada componente*

<b>Componente</b>	<b>Volumen [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Densidad [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Masa [kg]</b>
Termoplástico	0.003381	1080	3.65
Aletas de soporte y armazón	0.00187	7800	13.786

Con estos datos y la ecuación se determinan los calores cedidos para cada componente:

- Termoplástico (SAN)  $Q_{ct}$ :

$$Q_{ct} = 3.652 \text{ kg} \cdot 1.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (230 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q_{ct} = 1123 \text{ kJ}}$$

- Aletas (430) y armazón (430)  $Q_{ca}$ :

$$Q_{ca} = 13.786 \text{ kg} \cdot 0.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \cdot (230 - 25)^\circ\text{C}$$

$$\mathbf{Q_{ca} = 1452.7 \text{ kJ}}$$

- Calor cedido total  $Q_{cTotal}$ :

$$Q_{cTotal} = Q_{ct} + Q_{ca}$$

$$Q_{cTotal} = 1123 \text{ kJ} + 1452.7 \text{ kJ}$$

$$\mathbf{Q_{cTotal} = 2576 \text{ kJ}}$$

- Potencia cedida Total

Para la potencia cedida total  $\dot{Q}_{cedida_T}$  se determina el tiempo en que se desea calentar el termoplástico. La guía de Plastiglas (2014) para los procesos de termoformado establece que el tiempo de calentamiento depende del espesor del material. Para un espesor de 4 mm se suele necesitar 7 minutos. Entonces para un espesor de 13 mm (espesor utilizado en los cálculos) se establece un tiempo de 20 minutos para los cálculos.

$$\dot{Q}_{cedida_T} = \frac{Q_{cTotal}}{t}$$

$$\dot{Q}_{cedida_T} = \frac{2576 \text{ kJ}}{1200 \text{ s}}$$

$$\mathbf{\dot{Q}_{cedida_T} = 2.146 \text{ kW}}$$

El valor de la potencia cedida total obtenida es adecuada de acuerdo con Jaramillo et al. (2022) y Garzón & Vaca (2019), que proponen un diseño con medidas parecidas. No obstante, en

los presentes cálculos se obtiene un valor menor al de la literatura ya que el presente diseño no consta de varios elementos internos que se necesitan calentar.

### **Pérdidas paredes**

En cada pared del horno se tienen tres capas, la interior y exterior de acero inoxidable y la capa intermedia de fibra de vidrio. Así, el análisis de pérdidas se realiza con resistencias térmicas para lo cual se necesita conocer los materiales, sus espesores, conductividad térmica y hacer el cálculo de los coeficientes de convección respectivos.

Entonces, en primer lugar, para las paredes del horno se sabe que:

$$T_i = 230^{\circ}C$$

$$T_{\infty e} = 25^{\circ}C$$

$$L_{SS} = 2 \text{ mm}$$

$$L_{FG} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{W_v} = 0.27 \text{ m}^2$$

$$A_{W_{T/B}} = 0.42 \text{ m}^2$$

Donde  $T_i$  es la temperatura interna del aire,  $T_{\infty e}$  es la temperatura externa,  $L_{SS}$  es el espesor de la placa de acero,  $L_{FG}$  es el espesor de la fibra de vidrio,  $A_W$  es el área de cada pared del horno. Así mismo, para tener una idea más clara de lo que se analiza se presenta la siguiente figura:

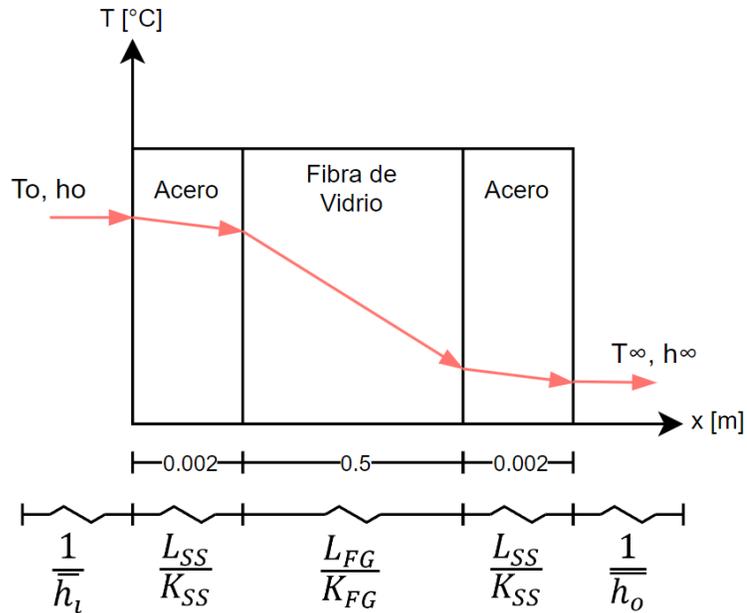


Figura 9 Resistencias térmicas en la pared

En la figura anterior se observa lo que sucede en cada una de las paredes del horno, al interior se encuentra el aire caliente y a medida que avanza por la pared la temperatura disminuye hasta llegar al exterior de la pared del horno, en este caso de izquierda a derecha.

Entonces, se empieza a encontrar las variables faltantes con el fin de calcular las resistencias térmicas a lo largo de la pared. Así, considerando el acero seleccionado AISI 430 y la fibra de vidrio, a temperatura ambiente sus conductividades térmicas son (CHILEXPO, n.d.) y (TECNOL, 2020):

$$K_{SS} = 26.1 \frac{W}{m \cdot K}$$

$$K_{FG} = 0.05 \frac{W}{m \cdot K}$$

Donde  $K_{SS}$  es la conductividad térmica del acero y  $K_{FG}$  es la conductividad térmica de la fibra de vidrio.

Así mismo, para los coeficientes de convección se hace el cálculo para cada uno de estos. Entonces, puesto que en el interior del horno el aire no se mueve se hace un análisis de convección natural, sin embargo, hay que tomar en cuenta que se tienen 6 paredes, 2 horizontales

y 4 verticales, haciendo que el cálculo del coeficiente sea diferente para una pared horizontal y para una vertical.

Así, en primer lugar, se calcula el **coeficiente de convección al interior del horno** para las paredes verticales utilizando las ecuaciones de Bergman et al. (2018). Para esto se necesita seguir un procedimiento, el cual consiste en calcular el número de Rayleigh ( $Ra_L$ ), que define flujo laminar o turbulento, sabiendo dicho número se puede elegir una ecuación para calcular el número de Nusselt ( $\overline{Nu}_L$ ) de acuerdo con el flujo y con el número de Nusselt se puede calcular el coeficiente de convección respectivo.

Entonces, se calcula inicialmente el número de Rayleigh:

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

Donde  $g$  es la gravedad,  $\beta$  es el coeficiente de expansión térmica,  $T_s$  es la temperatura superficial del material,  $T_\infty$  es la temperatura del aire dentro del horno,  $L$  es la longitud característica de la pared (para este caso es la altura de la pared),  $\alpha$  es la difusividad térmica y  $\nu$  es la viscosidad cinemática. Estas propiedades se las obtienen de tablas usando una temperatura  $T_f$ , que es el promedio entre  $T_s$  y  $T_\infty$ . Así,  $T_\infty$  es  $230^\circ\text{C}$  y  $T_s$  es  $20^\circ\text{C}$  considerando temperatura ambiente. Por tanto, de las tablas de Bergman et al., con la siguiente temperatura:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{20^\circ\text{C} + 230^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 125^\circ\text{C} = 398.15\text{ K}$$

Tabla 9. Propiedades del aire para  $T_f=398.15\text{K}$  (Bergman et al., 2018)

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690

Interpolando para  $T_f=398.15\text{K}$ :

$$\nu = 26.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 33.7 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\alpha = 37.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.6903$$

Así mismo, para calcular el coeficiente de expansión térmica

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{398.15 \text{ K}} = 0.00251 \text{ K}^{-1}$$

Y de la pared se sabe que su longitud vertical es

$$L = 0.45 \text{ m}$$

Entonces:

$$Ra_L = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.00251 \text{ K}^{-1} (20 - 230) \text{ K} (0.45 \text{ m})^3}{37.9 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 26.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_L = 4.74 \times 10^8$$

Con el número de Rayleigh se obtiene un flujo laminar, lo cual es coherente al no tener convección forzada, con este se procede a calcular el número de Nusselt para una pared vertical:

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

$$\overline{Nu}_{L_v} = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu}_{L_v} = 0.68 + \frac{0.670 (4.74 \times 10^8)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.6903)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu}_{L_v} = 14.99$$

Luego, se calcula el coeficiente de convección al interior del horno para las paredes verticales ( $\bar{h}_{lv}$ ) de la siguiente manera:

$$\bar{h}_{lv} = \frac{\overline{Nu}_{Lv} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h}_{lv} = \frac{14.99 \times 33.7 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0.45 m}$$

$$\bar{h}_{lv} = 1.12 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Ahora, se calcula el **coeficiente de convección al interior del horno para las paredes horizontales**. Se calcula el número de Rayleigh considerando las propiedades ya encontradas, simplemente cambiando la longitud  $L$  que para esta pared es 0.7 m:

$$Ra_L = \frac{9.8 m/s^2 \times 0.00251 K^{-1} (20 - 230) K (0.7 m)^3}{37.9 \times 10^{-6} m^2/s \times 26.2 \times 10^{-6} m^2/s}$$

$$Ra_L = 1.78 \times 10^9$$

Sabiendo que el número de Rayleigh se procede a calcular el número de Nusselt para la pared horizontal superior con la siguiente ecuación:

$$\overline{Nu}_{Lht} = 0.15 Ra_L^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{Lht} = 0.15 (1.78 \times 10^9)^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{Lht} = 181.93$$

Así mismo, para la pared horizontal inferior:

$$\overline{Nu}_{Lhb} = 0.52 Ra_L^{1/5}$$

$$\overline{Nu}_{Lhb} = 0.52 (1.78 \times 10^9)^{1/5}$$

$$\overline{Nu}_{Lhb} = 36.84$$

Cabe resaltar que para el cálculo de los números de Nusselt las ecuaciones son diferentes para una pared horizontal superior e inferior, esto debido a la disposición y movimiento del aire caliente.

Después, se calcula el coeficiente de convección al interior del horno para la pared horizontal inferior ( $\bar{h}_{i_{hb}}$ ) de la siguiente manera:

$$\bar{h}_{i_{hb}} = \frac{\overline{Nu}_{L_{hb}} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h}_{i_{hb}} = \frac{36.84 \times 33.7 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0.7 m}$$

$$\bar{h}_{i_{hb}} = 1.77 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Del mismo modo, se calcula el coeficiente de convección al interior del horno para la pared horizontal superior ( $\bar{h}_{i_{ht}}$ ) de la siguiente manera:

$$\bar{h}_{i_{ht}} = \frac{\overline{Nu}_{L_{ht}} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h}_{i_{ht}} = \frac{181.93 \times 33.7 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0.7 m}$$

$$\bar{h}_{i_{ht}} = 8.76 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Luego de calcular los tres coeficientes de convección para las paredes del horno, se puede notar que el coeficiente para las paredes verticales es el más bajo de los tres, para la pared horizontal inferior ligeramente más alto y para la pared horizontal superior es mucho más alto, esto se debe a cómo se mueve el aire por la temperatura y densidad al interior del horno, así como la disposición de cada pared. Entonces, en el horno, el aire tiende a subir y a acumularse en la parte superior, por tal razón, el coeficiente para la pared superior es el más alto y debido a que el aire sube este se aleja de la parte inferior dando como resultado un coeficiente de convección más bajo en la pared inferior. En cambio, en las paredes verticales el coeficiente es el más bajo

debido a que el aire sube directamente y no se adhiere en gran medida a esas paredes (Bergman et al., 2018)

Finalmente, se necesita calcular el **coeficiente de convección al exterior del horno**. Entonces, debido a que el horno se encontrará en un laboratorio, se asume que no estará expuesto a flujos de aire considerables, por lo cual también se realiza un análisis de convección natural

Entonces, se calcula el **coeficiente de convección al exterior del horno** para las paredes verticales. Primero, se calcula el número de Rayleigh, considerando  $T_\infty$  es  $25^\circ\text{C}$  y  $T_s$  es  $20^\circ\text{C}$  considerando temperatura ambiente. Por tanto, de las tablas de Bergman et al., con la siguiente temperatura:

$$T_f = \frac{T_s + T_\infty}{2}$$

$$T_f = \frac{20^\circ\text{C} + 25^\circ\text{C}}{2}$$

$$T_f = 22.5^\circ\text{C} = 295.65\text{ K}$$

Tabla 10. Propiedades del aire para  $T_f=295.65\text{K}$

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg·K)	$\mu \cdot 10^7$ (N·s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m·K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
Air, $M = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690

Interpolando:

$$\nu = 15.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 26.2 \times 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\alpha = 21.93 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$Pr = 0.7081$$

Así mismo,

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{295.65 \text{ K}} = 0.00338 \text{ K}^{-1}$$

Y para la pared vertical se sabía que su longitud era:

$$L = 0.45 \text{ m}$$

Entonces:

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

$$Ra_L = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.00338 \text{ K}^{-1} (20 - 25) \text{ K} (0.45 \text{ m})^3}{21.93 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 15.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_L = 4.44 \times 10^7$$

Sabiendo que el número de Rayleigh y obteniendo un flujo laminar, se procede a calcular el número de Nusselt para una pared vertical:

$$\overline{Nu}_{L_v} = 0.68 + \frac{0.670 Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu}_{L_v} = 0.68 + \frac{0.670 (4.44 \times 10^7)^{1/6}}{[1 + (0.492/0.7081)^{9/16}]^{4/9}}$$

$$\overline{Nu}_{L_v} = 10.35$$

Así, se calcula el coeficiente de convección al exterior del horno ( $\overline{h}_{o_v}$ ) para las paredes verticales de la siguiente manera:

$$\overline{h}_{o_v} = \frac{\overline{Nu}_{L_v} \cdot k}{L}$$

$$\overline{h}_{o_v} = \frac{10.35 \times 33.7 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0.45 \text{ m}}$$

$$\overline{h}_{o_v} = 0.78 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Ahora, se calcula el **coeficiente de convección al exterior del horno para las paredes horizontales**.

Se calcula el número de Rayleigh considerando las propiedades ya encontradas, simplemente cambiando la longitud  $L$  que para esta pared es 0.7 m:

$$Ra_L = \frac{9.8 \text{ m/s}^2 \times 0.00338 \text{ K}^{-1} (20 - 25) \text{ K} (0.7 \text{ m})^3}{21.93 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \times 15.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Ra_L = 1.67 \times 10^8$$

Una vez obtenido el número de Rayleigh, se procede a calcular el número de Nusselt para la pared horizontal inferior con la siguiente ecuación:

$$\overline{Nu}_{L_{hb}} = 0.15 Ra_L^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{L_{hb}} = 0.15 (1.67 \times 10^8)^{1/3}$$

$$\overline{Nu}_{L_{hb}} = 82.6$$

Así mismo, para la pared horizontal superior:

$$\overline{Nu}_{L_{ht}} = 0.52 Ra_L^{1/5}$$

$$\overline{Nu}_{L_{ht}} = 0.52 (1.67 \times 10^8)^{1/5}$$

$$\overline{Nu}_{L_{ht}} = 22.94$$

Igualmente que con el interior del horno, para la zona exterior también se considera un cálculo del número de Nusselt diferente para la pared superior e inferior.

Se calcula el coeficiente de convección al exterior del horno para la pared horizontal inferior ( $\overline{h}_{o_{hb}}$ ) de la siguiente manera:

$$\overline{h}_{o_{hb}} = \frac{\overline{Nu}_{L_{hb}} \cdot k}{L}$$

$$\overline{h}_{o_{hb}} = \frac{82.6 \times 26.2 \times 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}{0.7 \text{ m}}$$

$$\bar{h}_{ohb} = 3.09 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Así mismo, se calcula el coeficiente de convección al exterior del horno para la pared horizontal superior ( $\bar{h}_{ohs}$ ) de la siguiente manera:

$$\bar{h}_{ohs} = \frac{\overline{Nu}_{Lht} \cdot k}{L}$$

$$\bar{h}_{ohs} = \frac{23.02 \times 26.2 \times 10^{-3} \frac{W}{m \cdot K}}{0.7 m}$$

$$\bar{h}_{ohs} = 0.86 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Igualmente, en este caso los coeficientes de convección del aire para el exterior del horno son menores a los del interior debido a que el aire circundante es más estable y tiene mayor libertad de movimiento en comparación al interior y, así mismo, observando el mismo comportamiento de los coeficientes, aunque en este caso el aire se tiende a acumular en la parte inferior del horno.

Por tanto, para calcular las pérdidas totales en las paredes ( $q_{lossT}$ ) se hace un análisis de las resistencias térmicas involucradas como se muestra en la figura 1, entonces, las pérdidas de las paredes verticales ( $q_{lossv}$ ) son las siguientes:

$$q''_{lossv} = \frac{T_i - T_{\infty e}}{R_{TOT}}$$

$$q''_{lossv} = \frac{T_i - T_{\infty e}}{\frac{1}{\bar{h}_{iv}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{L_{FG}}{K_{FG}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{1}{\bar{h}_{ov}}}$$

$$q''_{lossv} = \frac{(230 - 25)K}{\frac{1}{1.12 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.05 m}{0.05 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{0.78 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$q''_{lossv} = 64.57 \frac{W}{m^2}$$

$$q_{loss_v} = q''_{loss_v} \times A_{W_v} = 64.57 \frac{W}{m^2} \times 0.27 m^2$$

$$\mathbf{q_{loss_v} = 17.43 W}$$

Ahora, para las pérdidas de la pared horizontal superior ( $q_{loss_{ht}}$ )

$$q''_{loss_{ht}} = \frac{T_i - T_{\infty e}}{\frac{1}{\bar{h}_{iht}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{L_{FG}}{K_{FG}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{1}{\bar{h}_{oht}}}$$

$$q''_{loss_{ht}} = \frac{(230 - 25)K}{\frac{1}{8.76 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.01 m}{0.05 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{0.86 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$q''_{loss_{ht}} = 90.03 \frac{W}{m^2}$$

$$q_{loss_{ht}} = q''_{loss_{ht}} \times A_{W_{T/B}} = 90.03 \frac{W}{m^2} \times 0.42 m^2$$

$$\mathbf{q_{loss_{ht}} = 37.81 W}$$

Finalmente, para las pérdidas de la pared horizontal inferior ( $q_{loss_{hb}}$ )

$$q''_{loss_{hb}} = \frac{T_i - T_{\infty e}}{\frac{1}{\bar{h}_{ihb}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{L_{FG}}{K_{FG}} + \frac{L_{SS}}{K_{SS}} + \frac{1}{\bar{h}_{ohb}}}$$

$$q''_{loss_{hb}} = \frac{(230 - 25)K}{\frac{1}{1.77 \frac{W}{m^2 \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.01 m}{0.05 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{0.002 m}{26.1 \frac{W}{m \cdot K}} + \frac{1}{3.09 \frac{W}{m^2 \cdot K}}}$$

$$q''_{loss_{hb}} = 108.54 \frac{W}{m^2}$$

$$q_{loss_{hb}} = q''_{loss_{hb}} \times A_{W_{T/B}} = 108.54 \frac{W}{m^2} \times 0.42 m^2$$

$$\mathbf{q_{loss_{hb}} = 45.59 W}$$

Por tanto, las pérdidas totales del horno son las siguientes:

$$q_{loss_T} = q_{loss_{hb}} + q_{loss_{ht}} + (4 \times q_{loss_v})$$

$$q_{loss_T} = 45.59 W + 37.81 W + (4 \times 17.43 W)$$

$$q_{loss_T} = \mathbf{153.12 W}$$

Observando las pérdidas totales calculadas se puede mencionar que son razonables debido al tamaño del horno y a la temperatura que se necesita alcanzar. Como menciona IHT (n.d.) los hornos de este tipo suelen ser capaces de utilizar 88% del total de la potencia teniendo lo demás como pérdidas. Entonces, el valor obtenido no resulta preocupante debido a que, si nos basamos en el dato anterior, teóricamente tendría que haber un máximo de 276W de pérdidas basándose en el dato de potencia que se verá en la siguiente sección. Esto indica que el horno no tiene grandes pérdidas de energía y el material aislante es el correcto para la aplicación del horno donde se tienen que mantener temperaturas constantes.

### **Potencia requerida para el horno**

La potencia total requerida por la fuente de calor ( $\dot{Q}_{Req_T}$ ) para calentar adecuadamente el horno se calcula sumando el calor perdido y el calor cedido a los componentes internos. A este valor se le aplica un factor de seguridad para poder realizar un calentamiento efectivo y seguro. Entonces, primero se calcula la potencia total requerida de la siguiente manera:

$$\dot{q}_{Req_T} = \dot{q}_{loss_T} + \dot{q}_{cedida_T}$$

$$\dot{q}_{Req_T} = 153.12 W + 2146 W$$

$$\dot{q}_{Req_T} = \mathbf{2.3 kW}$$

Se aplica un factor de seguridad de 2 para calcular la potencia requerida del horno:

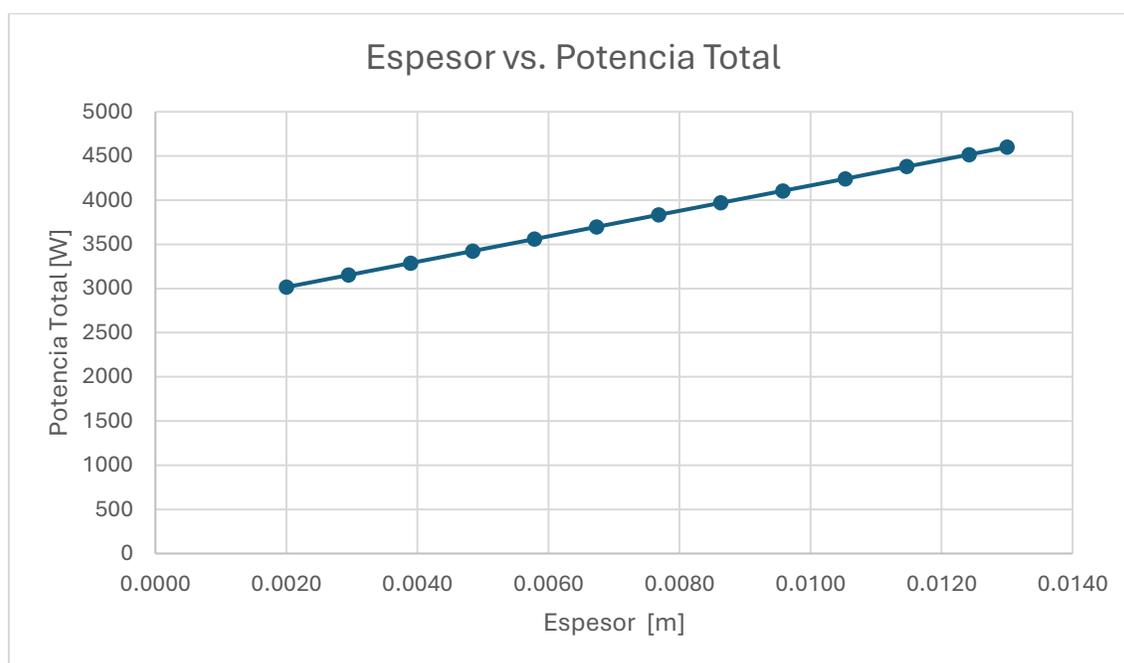
$$P_{Req_T} = \dot{Q}_{Req_T} \cdot 2$$

$$P_{Req_T} = 2.3 kW \cdot 2$$

$$\dot{q}_{Req_T} = \mathbf{4.6 [kW]}$$

### Relación espesor del termoplástico y la potencia requerida

En la sección anterior se observó como el espesor del termoplástico influía directamente en la masa de este, que a su vez influía en el calor cedido. Esto último influye a la potencia requerida total por parte de la fuente de energía. Ya se mencionó que el horno va a ser diseñado para que pueda realizar el proceso de termoformado con diferentes espesores (2 – 13 mm). Se repitieron los cálculos para cada espesor para mostrar cómo cambia la potencia requerida total. La figura muestra la relación del espesor del termoplástico y la potencia total.



*Figura 8 Relación del espesor del termoplástico y la potencia requerida*

### Distribución de temperatura

Se requiere determinar la distribución de temperatura en las paredes, es decir, los valores de T1, T2, T3 y T4. Esto con el objetivo de evaluar el aislamiento de las paredes y para posteriormente comparar con simulaciones.

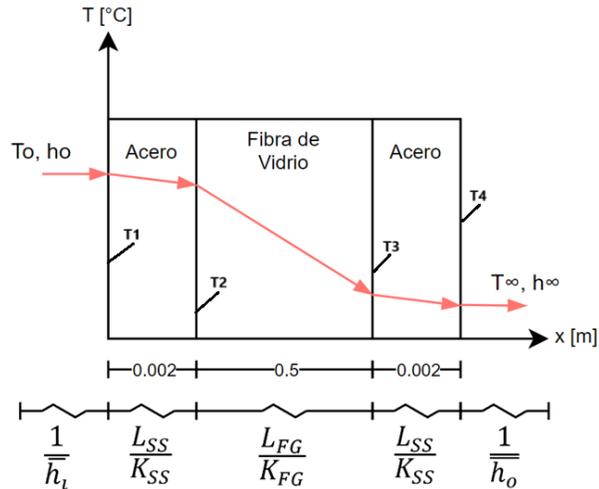


Figura 9 Pared con temperaturas  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  y  $T_4$

Con los datos y ecuaciones determinadas para las pérdidas del horno, se puede calcular la temperatura en cada sección de la pared. Para esto se considera la siguiente ecuación:

$$T_{i+1} = T_i - q_{loss}R$$

Donde  $T_i$  representa la temperatura en la pared  $i$ ,  $q_{loss}$  las pérdidas de cada pared y  $R$  la resistencia térmica

De esta manera, se tienen las expresiones para cada temperatura:

$$T_1 = T_o - q_{loss} \frac{1}{\bar{h}_i \cdot A_W}$$

$$T_2 = T_1 - q_{loss} \frac{L_{SS}}{K_{SS} \cdot A_W}$$

$$T_3 = T_2 - q_{loss} \frac{L_{FG}}{K_{FG} \cdot A_W}$$

$$T_4 = T_3 - q_{loss} \frac{L_{SS}}{K_{SS} \cdot A_W}$$

La tabla muestra el valor de estas temperaturas para cada pared. Los valores de  $q''_{loss}$  son los que se calcularon en la sección de calor perdido.

Tabla 11. Distribución de la temperatura en las paredes

Pared	$q''_{loss}$ [W/m <sup>2</sup> ]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]
Vertical	64.17	174.4	172.3	107.8	107.7
Horizontal Superior	90.03	219.7	219.6	129.7	129.6
Horizontal Inferior	108.54	168.4	168.3	60.137	60.13

### Dimensionamiento de los calentadores

Como fue establecido en la sección de selección de alternativas, se eligieron calentadores infrarrojos para la fuente de calor. Para esto es importante considerar solo un porcentaje de la radiación emitida por los calentadores es transmitida al termoplástico. Según Bergman et al. (2006), la radiación  $q_{rad}$  depende en parte de la diferencia de temperatura de las superficies que transmiten calor (calentadores y plástico) a la cuarta. De esta manera, y con el cálculo de la potencia total requerida determinada anteriormente, surge la necesidad de encontrar la temperatura de la superficie del horno requerida para transmitir efectivamente esta potencia.

Bergman et al. (2006), establece diferentes estrategias para la transferencia de calor por radiación. Sin embargo, para el presente caso se asume que se está trabajando con una “reradiating surface”. Este término se le denomina a una superficie cuya transferencia de calor neta es igual a cero, es decir absorbe y emite calor de manera simétrica. Se utilizó esta suposición para simplificar el análisis. De esta manera Bergman et al. (2006), propone la siguiente ecuación.

$$q_{rad} = \frac{\sigma(T_c^4 - T_p^4)}{\frac{1 - \varepsilon_c}{\varepsilon_c A_c} + \frac{1}{A_c F_{cb} + [(1/A_c F_{cR}) + (1/A_p F_{pR})]^{-1}} + \frac{1 - \varepsilon_p}{\varepsilon_p A_p}}$$

En donde para nuestro caso  $T_c$  es la temperatura superficial de los calentadores,  $T_p$  es la temperatura del termoplástico.  $A_c$  y  $A_p$  es el área de transferencia de calor de los calentadores y

el plástico, respectivamente. Se puede ver que esta ecuación depende de las emisividades de las superficies, así como la constante de Stefan-Boltzman  $\sigma$ . Por último, también depende de un factor de forma que se calculan de acuerdo a la geometría y la posición relativa de las superficies. La figura 6, muestra como calcular este factor suponiendo que nuestros calentadores son cilindros y el plástico una superficie plana.

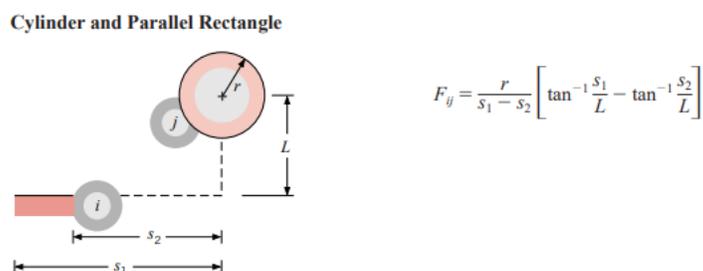


Figura 10 Fórmula predeterminada para el factor de forma.

Con esta expresión y la relación de reciprocidad, se puede establecer lo siguiente.

$$A'_c F_{cp} = A'_p F_{pc}$$

Asimismo, para la relación entre los calentadores y el plástico con la superficie irradiada se utiliza la regla de la suma.

$$F_{cR} = 1 - F_{cp}$$

$$F_{pR} = 1 - F_{pc}$$

De esta manera se obtienen los factores de forma.

Tabla 12. Factores de forma.

Factor de forma	
$F_{cp}$	0.683
$F_{cR}$	0.317
$F_{pR}$	0.4528

La tabla 13 muestra los valores de área y emisividades correspondientes. Para el área de los calentadores, se estima que son 5 cilindros de máximo 20 mm de diámetro. También se asume un L igual a 600 mm, el cual corresponde a las dimensiones horizontales del horno.

Tabla 13. Áreas y emisividades.

Pared	Área [ $m^2$ ]	$\epsilon$
Calentadores	$\pi(0.02)^2L$	0.8
Plástico	0.5 L	0.9

Con estos valores, se despeja  $T_c$  de la ecuación de radiación.

$$T_c = \left( q_{rad} \left( \frac{1 - \epsilon_c}{\epsilon_c A_c} + \frac{1}{A_c F_{cb} + [(1/A_c F_{cR}) + (1/A_p F_{pR})]^{-1}} + \frac{1 - \epsilon_p}{\epsilon_p A_p} \right) + \frac{T_p^4}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$T_c = 463.85 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Este valor de temperatura superficial para los calentadores debe ser comparada con los disponibles en el mercado. Estos suelen llegar de 450 a 700 grados centígrados. Por lo que se debe escoger un calentador de al menos una capacidad máxima de 470 aproximadamente.

### Cálculos estructurales patas

Para los cálculos estructurales se deben analizar que las columnas de soporte tengan la resistencia necesaria para que no entren en falla. Por ende, se toma como parámetro inicial las propiedades del acero a utilizar para sus respectivas estructuras. A partir de la siguiente tabla, se obtuvo las propiedades mecánicas necesarias para el análisis.

Tabla 14. Propiedades Acero AISI 430

Table 2.

Properties of the AISI 430 stainless steel

Density ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Young's Modulus $E$ (GPa)	Tensile Strength $R_m$ (MPa)	Yield Strength $R_{p0.2}$ (MPa)	Elongation to Failure $A$ (%)	Hardness Rockwell B (HRB)
7.8	200	468	323	22	85

Luego, se procede con el cálculo de esfuerzo de compresión ( $\sigma_c$ ) sobre la estructura de una las patas para analizar geoméricamente su factor de seguridad ante la carga que va a soportar del horno.

$$\sigma_c = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_c = \frac{\frac{130[\text{kg}] \times 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right]}{4}}{2[\text{mm}] \times 50[\text{mm}] + 2 \times 48[\text{mm}]}$$

$$\sigma_c = 1.63[\text{MPa}]$$

Una vez obtenido el esfuerzo de compresión al cual es sometido una pata, se calcula el factor de seguridad en función del esfuerzo de fluencia del acero inoxidable 430 ( $Y_s$ ).

$$FS = \frac{Y_s}{\sigma_c}$$

$$FS = \frac{318[\text{MPa}]}{1.63[\text{MPa}]}$$

$$FS = 195$$

Como se puede observar el factor de seguridad es bastante alto en este caso debido a la poca carga que debe soportar una de las patas a su vez que el esfuerzo de fluencia del acero inoxidable 430 es bastante alto. Sin embargo, esto demuestra que geoméricamente la estructura como tal no falla. Por ende, es necesario corroborar que la estructura de la pata no entre en un estado de pandeo debido a que este efecto es considerado como falla.

Según Shigley (2015), el pandeo de una columna larga con carga central se basa en la ecuación de columna de Euler (p.195).

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{C\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2}$$

Esta ecuación contiene variables como  $P_{cr}$  que corresponde a la carga crítica que la estructura puede soportar para no entrar en pandeo. Por otro lado,  $\frac{l}{k}$  es la razón de esbeltez que está compuesta por el cociente entre la longitud de la columna y el radio de giro  $k$ . De ahí,  $C$  es una constante cuyo valor dependerá del estado o tipo de sujeción al cual está sometida la columna (para este caso, la constante tendrá un valor de 0.25) (Budynas & Nisbett, 2015, p.196).

En adición, para obtener el radio de esbeltez, mayoría de diseñadores recurren a la siguiente ecuación que se basa en un punto de la curva de Euler en donde  $\frac{P_{cr}}{A} = \frac{S_y}{2}$ . Dando así la siguiente expresión.

$$\left(\frac{l}{k}\right) = \left(\frac{2\pi^2 CE}{S_y}\right)^{1/2}$$

Entonces, se calcula inicialmente la razón de esbeltez para la pata de soporte.

$$\left(\frac{l}{k}\right) = \left(\frac{2\pi^2 \times 0.25 \times 200[GPa]}{318[MPa]}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{l}{k}\right) = 55.71$$

Después, se sustituye aquel valor en la ecuación de columna de Euler para obtener la carga crítica que puede soportar la pata como columna.

$$P_{cr} = \frac{C\pi^2 E}{\left(\frac{l}{k}\right)^2} \times A$$

$$P_{cr} = \frac{0.25\pi^2 200[GPa]}{(55.71)^2} \times (2[mm] \times 50[mm] + 2 \times 48[mm])$$

$$P_{cr} = 31164.5 [N]$$

Como se puede apreciar, la carga crítica que necesitaría la pata para pandearse sería de un aproximado de 31.2[kN]. No obstante, para obtener la carga útil que puede soportar del peso del horno se recurre a un factor de seguridad mínimo de 2. Esto permite conseguir lo siguiente.

$$P_{cr} = \eta_d \times P$$

$$P = \frac{P_{cr}}{\eta_d} = \frac{31164.5[N]}{2}$$

$$P = 15582.3[N]$$

La carga útil que llegaría a pandear la pata como columna es de un aproximado de 15.58[kN].

### Cálculo Soldadura Horno-Pata

Para este cálculo se considera la junta soldada entre la pata de la estructura de la base y el horno, de esta manera, con este cálculo se pretende determinar el tamaño del cordón de soldadura. Así, la pata tiene un perfil en forma de L con un espesor de 2 mm, longitud ( $l$ ) de 100 mm y de material acero AISI 430, así mismo, se sabe que el material del horno también es del mismo acero de la pata. Entonces, la junta de la soldadura estará sometida a una fuerza estática provocada por el peso del horno, es decir, 130 kg. Por tanto, se muestra una figura con el diagrama de la junta soldada para un mejor entendimiento

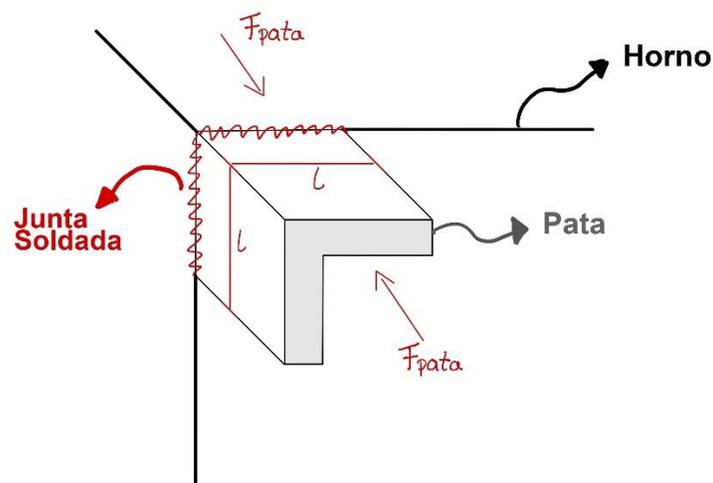


Figura 11 Diagrama de junta soldada Horno-Pata

También se considera que la junta soldada será tipo filete realizada a lo largo del perfil en L por lo cual se tienen 2 cordones. Entonces, en primer lugar, se determina la fuerza a la cual estará sometida la junta ( $F_{pata}$ ) teniendo en cuenta que el horno tendrá cuatro patas por lo que cada pata soportará un peso 32.5 kg, así, la fuerza se distribuirá de la siguiente manera en cada pata:

$$F_{pata} = 32.5 \times 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{pata} = 318.825 N$$

Ahora, al solo existir una fuerza estática en compresión hacia el cordón de soldadura se considera la presencia de una fuerza primaria, es decir, de cortante puro debido a la disposición y la tendencia que genera la fuerza sobre la junta. Por lo cual, usando las ecuaciones para soldadura del libro de Diseño Mecánico de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015) se establece el cortante:

$$\tau = \frac{F_{pata}}{A_w} = \frac{F_{pata}}{N(0.707hl)}$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante,  $A_w$  es el área de la soldadura,  $N$  es el número de cordones,  $h$  es el tamaño o garganta del cordón de soldadura y  $l$  es la longitud del cordón. Entonces, debido a que se quiere encontrar el tamaño del cordón se procede a calcular el esfuerzo cortante estableciendo un cortante permisible de acuerdo con el material que se tiene, es decir, el AISI 430 y se define su resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) y su resistencia última a la tracción ( $S_{ut}$ ) (CHILEXPO, n.d.):

$$S_{y_{430}} = 200 MPa$$

$$S_{ut_{430}} = 438 MPa$$

Ahora de acuerdo con el libro de Shigley se sabe que para un esfuerzo cortante y una soldadura en filete se debe considerar el siguiente esfuerzo permisible ( $\tau_{per}$ ):

$$\tau_{per} = 0.30S_{ut_{430}} = 0.30(438 MPa) = 131.4 MPa$$

Del mismo modo, al considerar este tipo de soldadura y el esfuerzo, también se debe evaluar que el esfuerzo cortante no exceda la resistencia a la fluencia del metal base de la siguiente manera:

$$\tau_{per} = 0.40S_{y_{430}} = 0.40(200 \text{ MPa}) = 80 \text{ MPa}$$

Por tanto, se toma como esfuerzo permisible el segundo cálculo al ser el más crítico para el diseño de la junta. Ahora, se puede calcular el tamaño del cordón sabiendo que se tienen 2 cordones de soldadura:

$$\tau_{per} = \frac{F_{pata}}{N(0.707hl)}$$

$$80 \text{ MPa} = \frac{318.825 \text{ N}}{2(0.707 \times h \times 100 \text{ mm})}$$

Resolviendo para  $h$ :

$$h = 0.0282 \text{ mm}$$

Así, se observa que se obtiene un valor para la garganta de la soldadura sumamente pequeño, esto se debe a que el horno no está sometido a fuerzas que sean considerables o que lleguen afectar la integridad del horno, por eso el tamaño obtenido no es algo que se pueda lograr en la práctica. Por tanto, con el fin de ser conservadores y realistas al momento de soldar se selecciona un tamaño del cordón de 5 mm con el cual el esfuerzo cortante es el siguiente:

$$\tau = \frac{318.825 \text{ N}}{2(0.707 \times 5 \text{ mm} \times 100 \text{ mm})}$$

$$\tau = 0.451 \text{ MPa}$$

Dando como resultado el siguiente factor de seguridad ( $FS$ ):

$$FS = \frac{\tau_{per}}{\tau} = \frac{80 \text{ MPa}}{0.451 \text{ MPa}}$$

$$FS = 177.4$$

El factor de seguridad alto indica que la junta es considerablemente más resistente de las cargas a las que estará sometido, esto debido al sobredimensionamiento del tamaño del cual se

realiza el cordón de soldadura puesto a que el obtenido no era realista con los cordones hechos en la práctica, entonces, las juntas de las patas no estarán sometidas a cargas peligrosas.

Por otro lado, también se puede seleccionar un electrodo para realizar la soldadura, sabiendo que:

$$\tau_{per} = 0.3Exx$$

Donde  $Exx$  es la resistencia del electrodo, entonces

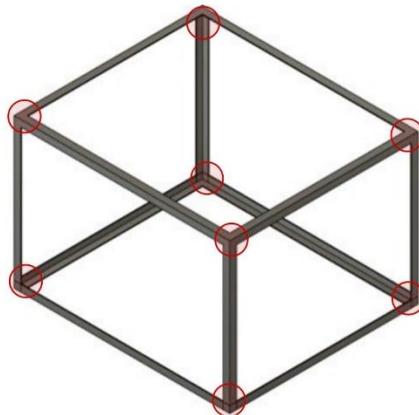
$$Exx = \frac{\tau_{per}}{0.3} = \frac{80 \text{ MPa}}{0.3}$$

$$Exx = 266.67 \text{ MPa}$$

Por tanto, con la ayuda de las tablas de Budynas & Nisbett (2015) se puede seleccionar un electrodo E60xx o cualquiera superior a este puesto todos exceden la resistencia calculada.

#### **Cálculo soldadura estructura caja externa**

En esta sección se calcula la junta soldada para la estructura de la caja externa, la cual se muestra a continuación con sus respectivas juntas.

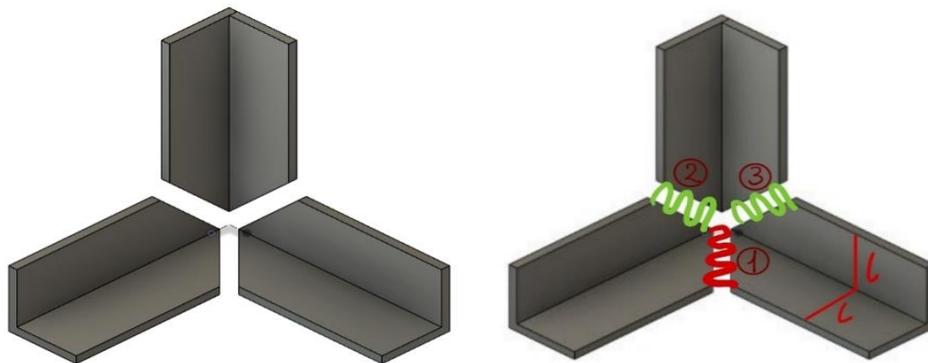


*Figura 12 Juntas soldadas de la estructura de la caja externa*

De tal forma, como se observa en la figura, se tienen 8 esquinas donde se realizará soldadura. Entonces, se debe tomar en cuenta que no todas las esquinas soportan el mismo peso por lo cual solo se realiza el cálculo para las 4 esquinas inferiores que es donde se soporta el mayor peso de las paredes y componentes del horno. Así, esas 4 esquinas serán el punto crítico

para la soldadura de las estructuras, por otro lado, no se considera el cálculo para la estructura de la caja interna puesto que soporta menor cantidad de peso siendo solo el peso de las paredes de la caja interna mientras que la estructura externa soporta las paredes de la caja interna, la estructura de la caja interna, el material del aislamiento y todos los componentes relacionados al calentamiento.

Ahora, se muestra un detalle para la junta soldada para cada una de las esquinas inferiores de la estructura:



*Figura 13 Detalle de la esquina a soldar y esquema de soldaduras*

Entonces, se realizan tres cordones de soldadura a tope, en donde se puede notar que el cordón **1** es el más crítico por su disposición a soportar mayor carga en comparación a **2** y **3**. Por tanto, se realiza el cálculo de soldadura para el cordón **1**. Así, para el cordón se considera una longitud de 32 mm ( $l$ ) y el material del acero que se suelda es AISI 430. Entonces, el peso total que deberá soportar las 4 esquinas inferiores de la estructura es de 50 kg. Por tanto, el peso que soportará cada esquina será 12.5 kg, así se calcula la carga a la que estará sometida la junta ( $F_{esq}$ ):

$$F_{esq} = 12.5 \text{ kg} \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_{esq} = 122.625 \text{ N}$$

Así mismo, esta es una fuerza estática en compresión hacia el cordón por lo que se considera únicamente la presencia de un esfuerzo primario. Al igual que el anterior cálculo de soldadura, se usan las ecuaciones para soldadura del libro de Diseño Mecánico de Diseño Mecánico de Shigley (Budynas & Nisbett, 2015) y se establece el esfuerzo ( $\sigma$ ) destacando que se trata de una soldadura a tope:

$$\sigma = \frac{F_{esq}}{A_w} = \frac{F_{esq}}{hl}$$

Donde las variables ya fueron explicadas en el anterior cálculo. Entonces, se procede a encontrar el tamaño del cordón estableciendo el cortante permisible de acuerdo con el material AISI 430 cuyas propiedades ya se establecieron anteriormente. Ahora, de acuerdo con Budynas & Nisbett (2015) para una fuerza de compresión en una soldadura a tope se considera el siguiente esfuerzo permisible

$$\sigma_{per} = 0.60S_{y_{430}} = 0.60(200 \text{ MPa}) = 120 \text{ MPa}$$

Ahora, con este valor se puede calcular el tamaño del cordón:

$$\sigma_{per} = \frac{F_{esq}}{hl}$$

$$120 \text{ MPa} = \frac{122.625 \text{ N}}{h \times 32 \text{ mm}}$$

Resolviendo para  $h$ :

$$h = 0.032 \text{ mm}$$

Así, se obtiene un resultado similar al anterior cálculo de soldadura, es decir, un tamaño de soldadura bastante pequeño por el mismo hecho que ya se explicó. Por tanto, con el fin de ser conservadores y realistas al momento de soldar, al igual que el anterior cálculo de la otra junta, se selecciona un tamaño del cordón de 5 mm con el cual el esfuerzo es el siguiente:

$$\sigma = \frac{122.625 \text{ N}}{5 \text{ mm} \times 32 \text{ mm}}$$

$$\sigma = 0.766 \text{ MPa}$$

Dando como resultado el siguiente factor de seguridad ( $FS$ ):

$$FS = \frac{\sigma_{per}}{\sigma} = \frac{120 \text{ MPa}}{0.766 \text{ MPa}}$$

$$FS = 156.7$$

Así mismo, en este caso se obtiene un factor de seguridad muy alto, el cual indica que la junta resiste mucho más de lo que debe debido al tamaño del cordón que se seleccionó. Igualmente, que el anterior cálculo, este también indica que la estructura interna no está sometido a cargas que sean de riesgo.

Del mismo modo, se selecciona un electrodo para realizar la soldadura, sabiendo que:

$$\sigma_{per} = 0.3Exx$$

Donde  $Exx$  es la resistencia del electrodo, entonces

$$Exx = \frac{\sigma_{per}}{0.3} = \frac{120 \text{ MPa}}{0.3}$$

$$Exx = 400 \text{ MPa}$$

Por tanto, se recomienda seleccionar un electrodo E80xx para que la soldadura se encuentre en rangos seguros.

### Modelo Matemático del Sistema

Para analizar el comportamiento del sistema, se realiza un modelo matemático del horno para encontrar una función de transferencia y, consecuentemente, una respuesta temporal. Para esto, primero se encontró el modelo matemático de la siguiente manera con un balance de energía.

$$mC_p \frac{dT}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

Siendo  $Q_{in}$  la potencia de entrada que se le multiplica por una constante  $\alpha$  que representa la fracción que realmente se transmite de la potencia de entrada.  $Q_{out}$  representa las pérdidas por

conducción, convección y radiación del sistema. Las pérdidas por conducción y convección ya fueron determinadas anteriormente, pero para estos cálculos se lo expone en función de la temperatura interna del horno. Entonces la ecuación queda de la siguiente forma.

$$mC_p \frac{dT}{dt} = \alpha Q_i - A Q_{rad} - Q_{pérdidas, cond-conv}$$

$$mC_p \frac{dT}{dt} = \alpha Q_i - A \epsilon \sigma (T^4 - T_{\infty}^4) - 0.4919(T - T_{\infty})$$

Se realiza una linealización en un punto de operación  $T_o = 298.15 K$ , con la siguiente expresión. Cabe recalcar que con esta linealización se obtiene una expresión para el cambio de temperatura. Por lo que a la respuesta temporal se debe sumar la temperatura inicial.

$$\frac{d\bar{T}}{dt} = \left. \frac{\partial f}{\partial T} \right|_{T_s, Q_{is}} \bar{T} + \left. \frac{\partial f}{\partial Q_i} \right|_{T_s, Q_{is}} \bar{Q}_i$$

Resolviendo la ecuación:

$$\frac{d\bar{T}}{dt} = - \frac{(4A\epsilon\sigma T_o^3 + 0.4919)}{mC_p} \bar{T} + \frac{\alpha}{mC_p} \bar{Q}_i$$

Se realiza la transformada de Laplace para encontrar la función de transferencia.

$$\left\{ \frac{d\bar{T}}{dt} \right\} = L \left\{ - \frac{(4A\epsilon\sigma T_o^3 + 0.4919)}{mC_p} \bar{T} + \frac{\alpha}{mC_p} \bar{Q}_i \right\}$$

$$s\bar{T}(s) - \bar{T}(0) = - \frac{(4A\epsilon\sigma T_o^3 + 0.4919)}{mC_p} \bar{T}(s) + \frac{\alpha}{mC_p} \bar{Q}_i(s)$$

$$s\bar{T}(s) = - \frac{(4A\epsilon\sigma T_o^3 + 0.4919)}{mC_p} \bar{T}(s) + \frac{\alpha}{mC_p} \bar{Q}_i(s)$$

$$\frac{\bar{T}(s)}{\bar{Q}_i(s)} = \frac{\frac{\alpha}{mC_p}}{s + \frac{(4A\epsilon\sigma T_o^3 + 0.4919)}{mC_p}}$$

La tabla muestra los valores de las constantes de la función de transferencia.

Tabla 15. Constantes de la función de transferencia.

$\alpha$	0.9
$m[kg]$	1.2
$C_p[J/kgK]$	1105
$\varepsilon$	0.9

Con esto se obtuvo una respuesta temporal asumiendo una entrada tipo escalón de 5kW de potencia. Este cálculo se lo realizó en Matlab.

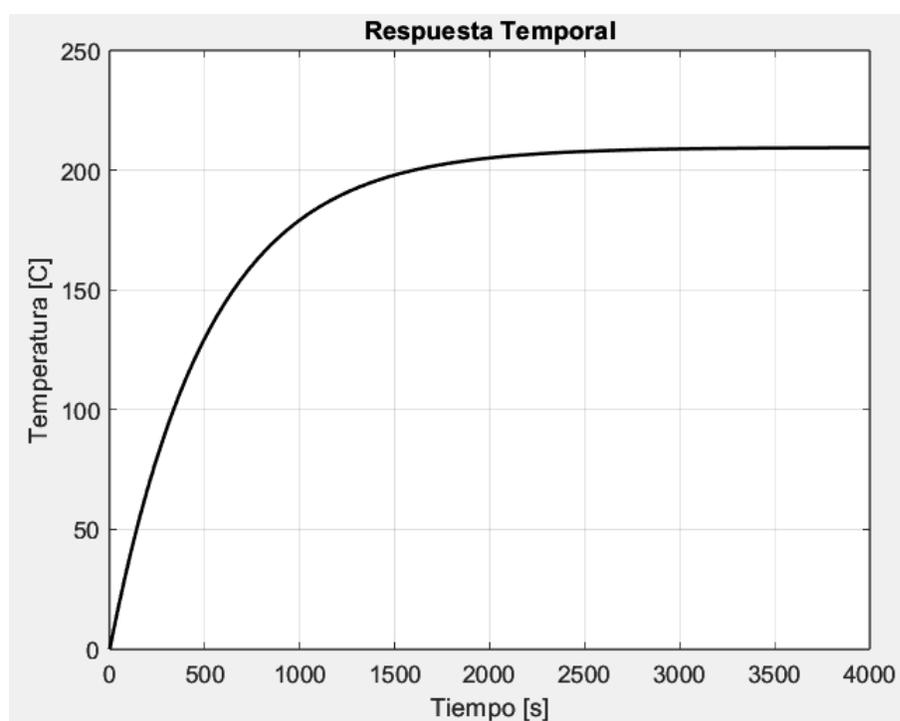


Figura 14 Respuesta Temporal.

### Cálculo Circuito de Potencia y Control

En la figura se puede ver el circuito de control y potencia. El circuito consta de un PLC con un módulo de expansión para procesar la señal del termopar tipo K, un HMI, calentadores infrarrojos y una termocupla tipo K. Para el circuito de control se consta de un breaker automático para encender el sistema y de un botón de parada de emergencia. Para administrar el voltaje adecuado, se incluyó una fuente de voltaje para transformar 110 VAC en 24 VDC. Esto

fue necesario debido a que el PLC es de tipo DC/DC/DC. El PLC consta de cuatro salidas y dos entradas. Las entradas incluyen dos microswitch, el botón de emergencia y un fusible térmico. Por otro lado, las salidas del PLC van al relay de estado sólido (SSR) que controla el circuito de potencia. Este SSR abre y cierra el circuito para activar y desactivar cinco calentadores en paralelo. Respecto a las protecciones del sistema, este consta de un fusible para el PLC, otro para el HI, y un breaker de 40A para el cuadro de potencia.

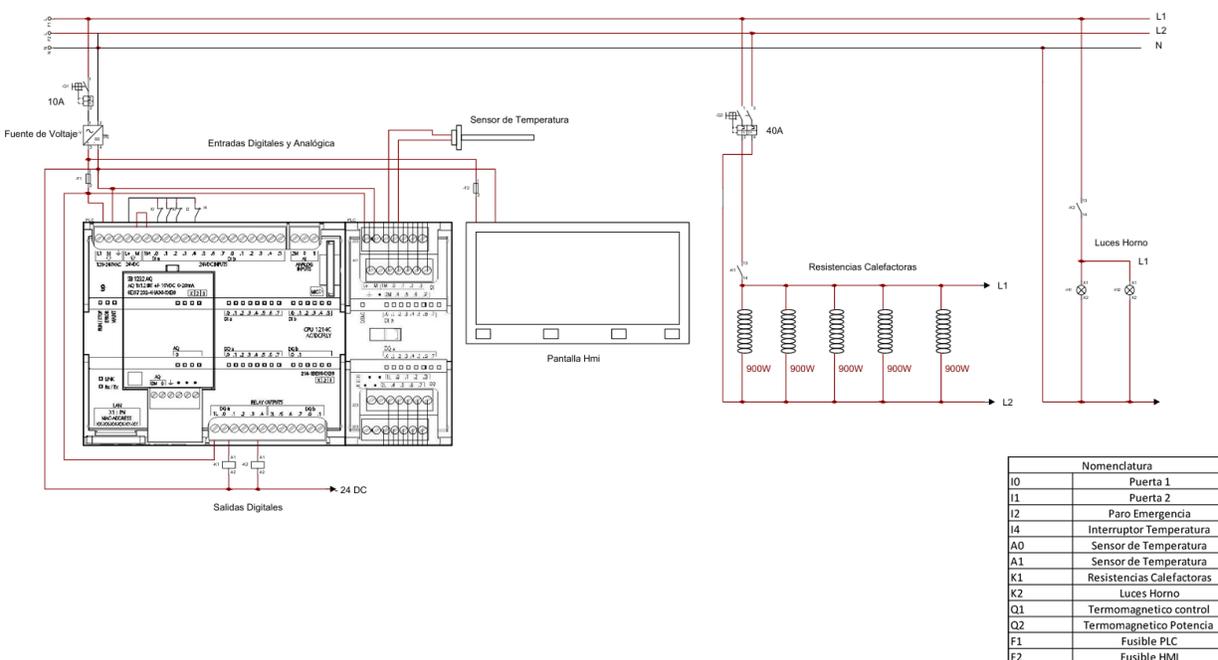


Figura 15 Circuito de Potencia y Control

## 8.2.Simulaciones

### Simulaciones térmicas

Para comprobar los resultados de las pérdidas se realizaron simulaciones de los tres tipos de paredes que hay en el sistema (4 verticales, 1 horizontal abajo y 1 horizontal arriba) y una del cuerpo en conjunto. Las simulaciones tienen el objetivo de ver la distribución de la temperatura y el flujo de calor a lo largo de las paredes.

Con los valores de la tabla 5 se puede realizar una comparación con las simulaciones. Estas se las realizó en el software *Ansys 2024*. Los pasos para realizar la simulación fueron los siguientes: definir los materiales en la sección de “Engineering Data”, modelar las paredes en

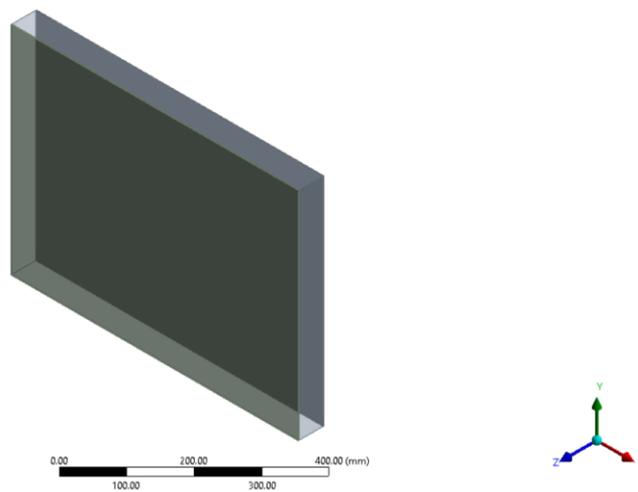
“Geometry in DesignModeler”, definir los parámetros de simulación y simular en la sección de “Model”.

- Definición de Materiales

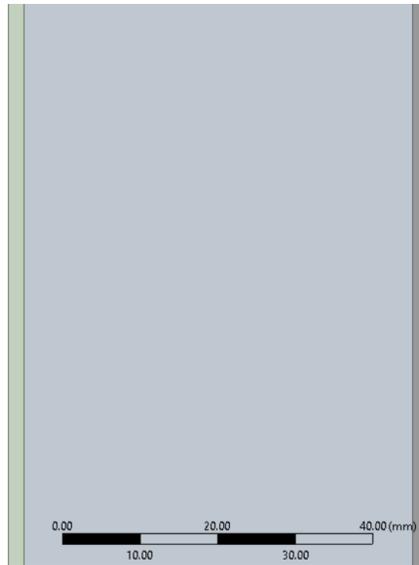
Las paredes constan de dos materiales, la fibra de vidrio y el acero inoxidable AISI 430.

- Modelar las paredes

Se modelaron las paredes con dos capas de acero inoxidable 430 de 2 mm a los bordes y una capa de fibra de vidrio de 50 mm en el medio.



*Figura 16 Vista isométrica de la pared del horno*

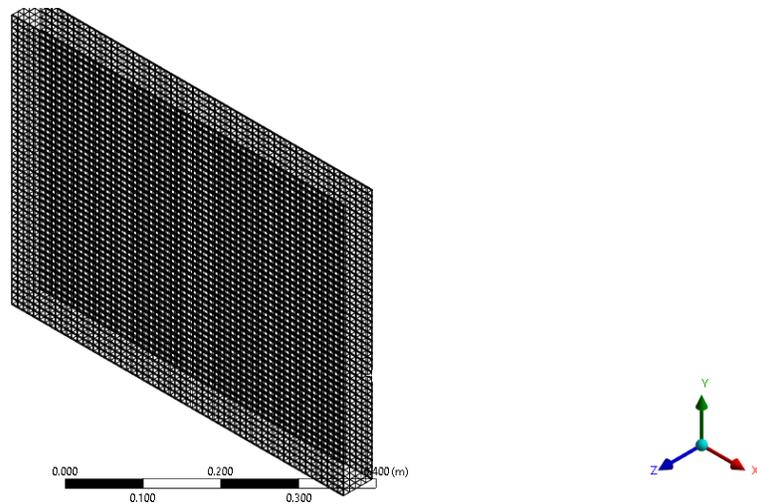


*Figura 17 Vista lateral de las paredes*

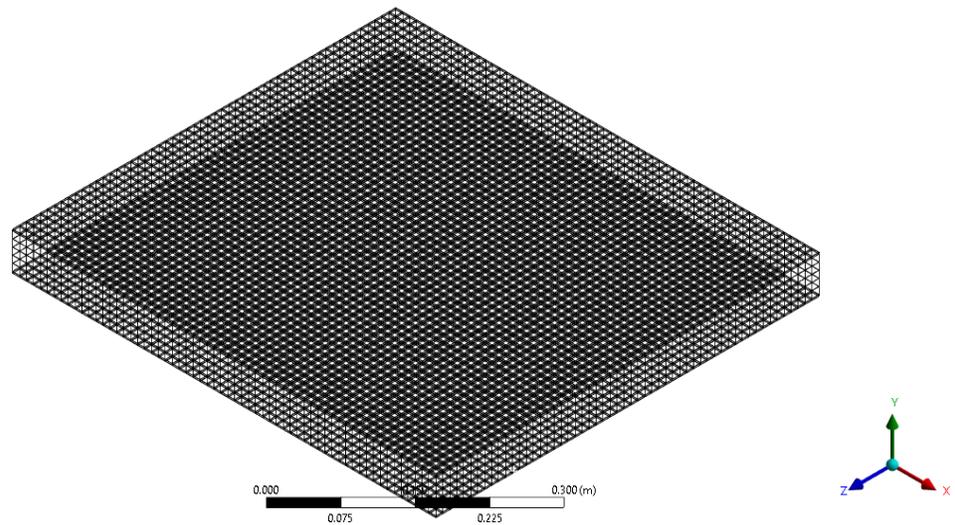
- **Parámetros de simulación**

Respecto a los parámetros se consideran las condiciones de borde que se le aplican a las paredes, y el mallado. Respecto a las condiciones de borde se aplican convección a cada lado de las paredes. Para esto se requiere la temperatura ambiente y el coeficiente de convección para cada lado. Estas temperaturas y coeficientes fueron calculados anteriormente en la sección de pérdidas en las paredes.

Para el mallado se realizó un “body sizing” 10 mm, que era lo mínimo que permitía la licencia.



*Figura 18 Pared vertical con mallado de 10 mm*



*Figura 19 Pared horizontal inferior y superior con mallado de 10 mm*

A continuación, se muestra cómo se aplicaron las condiciones de borde en cada pared. Para las temperaturas se estableció  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$  a un lado de las paredes (interior del horno) ya que esa es la temperatura deseada en el interior del horno. Al otro lado de la pared se estableció una temperatura de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  (temperatura ambiente). La tabla muestra los coeficientes de convección previamente calculados.

Tabla 16. Coeficientes de convección calculados

Pared	hi [W/m <sup>2</sup> K]	ho [W/m <sup>2</sup> K]
Vertical	1.12	0.78
Horizontal Superior	8.76	0.86
Horizontal Inferior	1.77	3.09

- Pared vertical:

A: Steady-State Thermal  
 Convection  
 Time: 1. s  
 9/29/2024 5:40 PM  
 Convection: 230. °C, 1.22 W/m<sup>2</sup>·°C

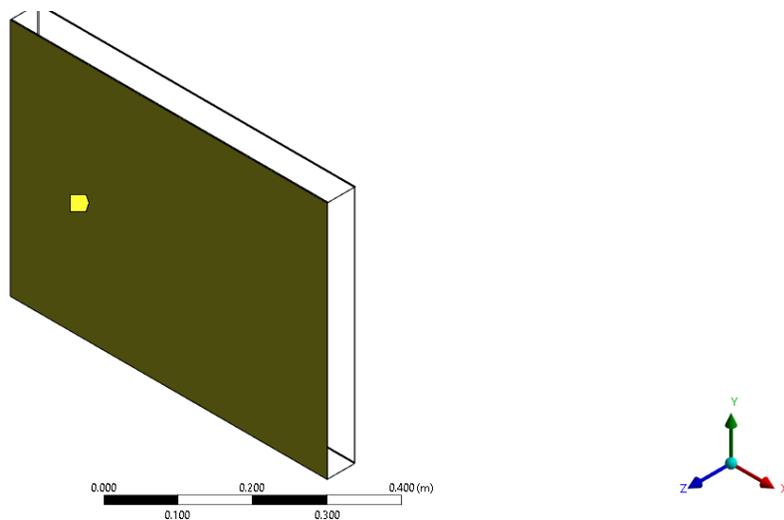
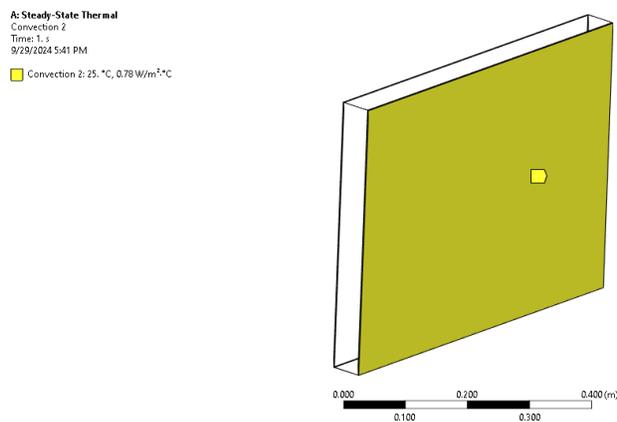
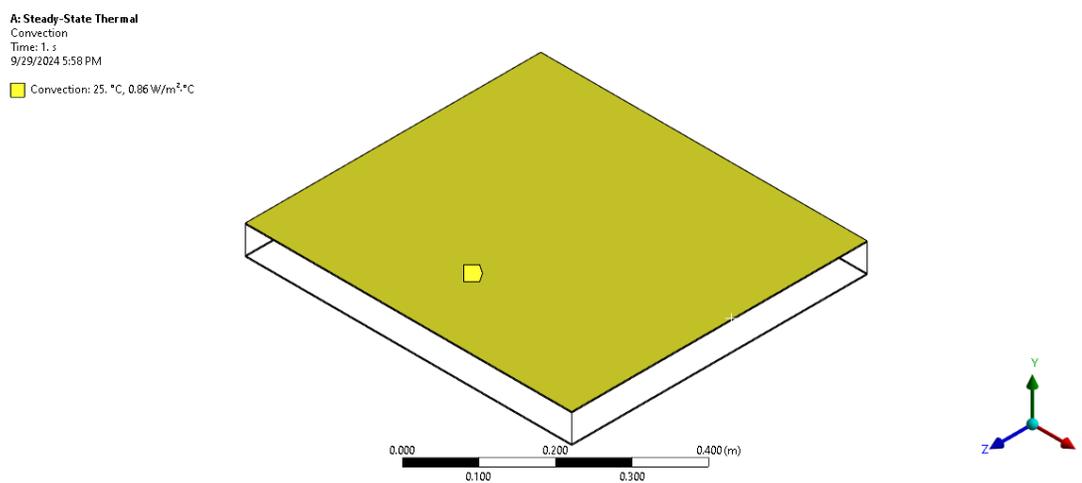


Figura 20 Convección aplicada a la superficie interna de la pared vertical



*Figura 21 Convección aplicada a la superficie externa de la pared vertical*

- Pared horizontal superior:



*Figura 22 Convección aplicada a la superficie externa de la pared horizontal superior*

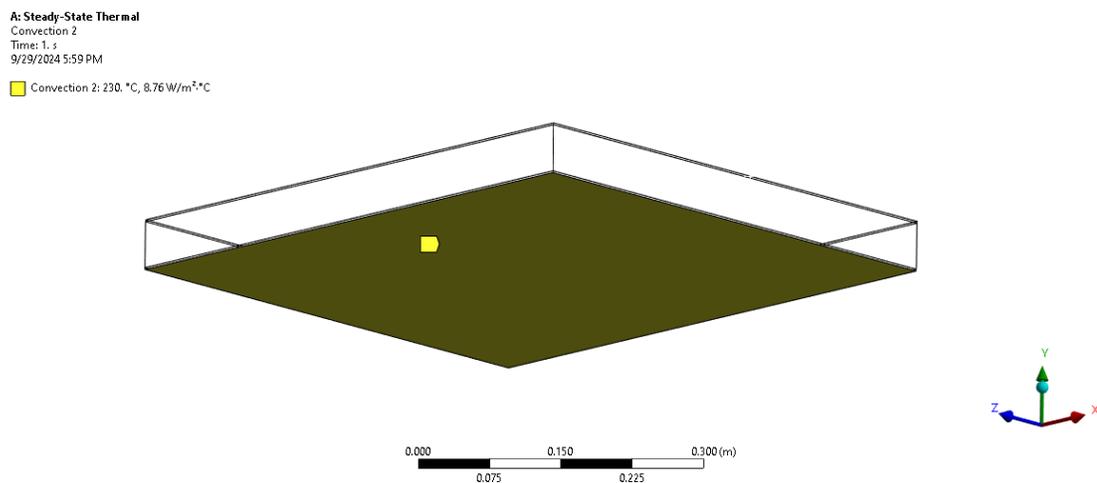


Figura 23 Convección aplicada a la superficie interna de la pared horizontal superior

- Pared horizontal inferior:

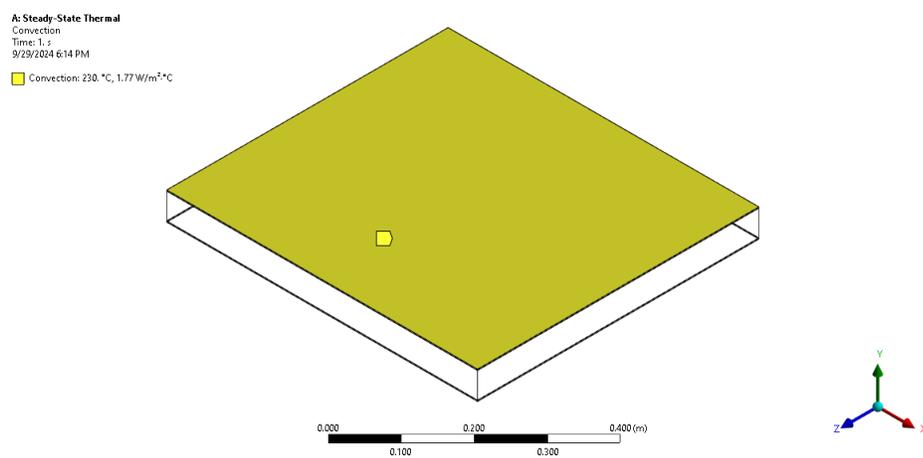
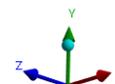
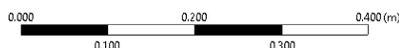
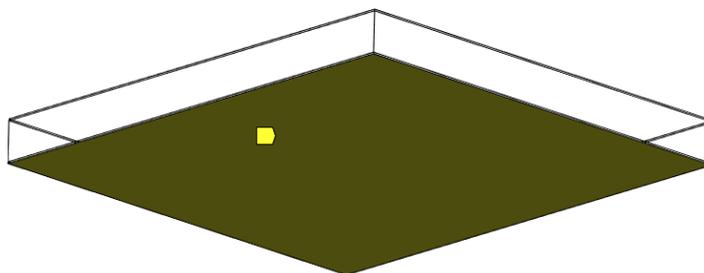


Figura 24 Convección aplicada a la superficie interna de la pared horizontal inferior

**A: Steady-State Thermal**  
 Convection 2  
 Time: 1, s  
 9/29/2024 6:15 PM

Convection 2: 25, °C, 3,09 W/m<sup>2</sup>·°C



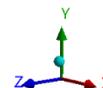
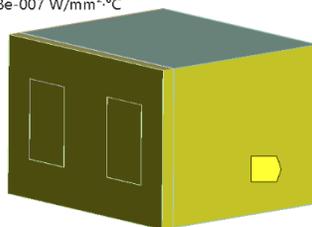
*Figura 25 Convección aplicada a la superficie externa de la pared horizontal inferior*

En el caso de la simulación del cuerpo completo, se establecieron cuatro condiciones de borde: tres de convección en las caras externas del horno con sus respectivos coeficientes y una carga de radiación a una temperatura de 463.85°C en función del dimensionamiento de los calentadores cerámicos.

**C: Steady-State Thermal**  
 Ambiente-Paredes Verticales  
 Time: 1, s  
 18/12/2024 19:48

Ambiente-Paredes Verticales: 25, °C, 7,8e-007 W/mm<sup>2</sup>·°C

**Ansys**  
 2024 R1  
 STUDENT



*Figura 26 Convección Paredes Verticales*

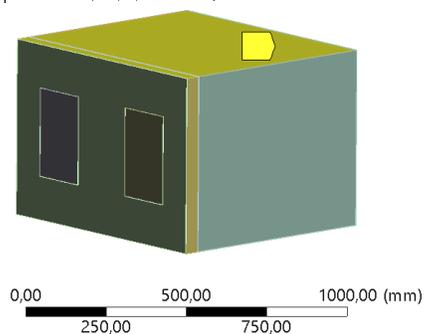
**C: Steady-State Thermal**

Ambiente-Paredes Horizontales Superiores

Time: 1, s

18/12/2024 19:49

 Ambiente-Paredes Horizontales Superiores: 25, °C, 8,6e-007 W/mm<sup>2</sup>·°C

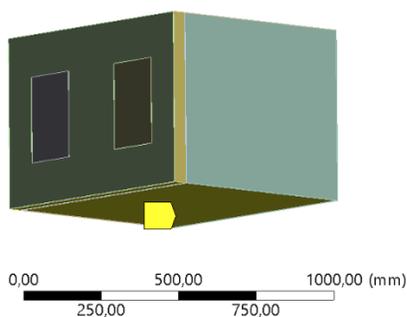

**Ansys**  
 2024 R1  
 STUDENT
*Figura 27 Convección Paredes Superiores***C: Steady-State Thermal**

Ambiente-Paredes Horizontales Inferiores

Time: 1, s

18/12/2024 19:50

 Ambiente-Paredes Horizontales Inferiores: 25, °C, 3,09e-006 W/mm<sup>2</sup>·°C

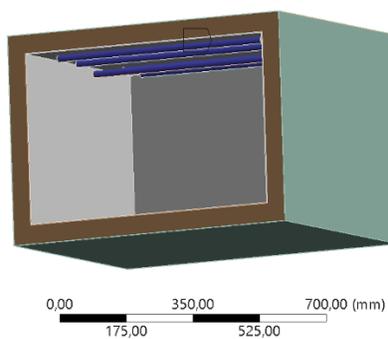

**Ansys**  
 2024 R1  
 STUDENT
*Figura 28 Convección Paredes Inferiores***C: Steady-State Thermal**

Radiation

Time: 1, s

18/12/2024 19:52

 Radiation: 463,85 °C, 0,8


**Ansys**  
 2024 R1  
 STUDENT
*Figura 29 Radiación en Calefactores*

## Resultados de la simulación térmica

Para los resultados, se obtuvo la distribución de temperatura y el flujo de calor direccional. En adición, se realizó un “path” perpendicular a la pared para obtener resultados de la temperatura en diferentes puntos. A continuación, se muestran estos resultados.

- Pared vertical

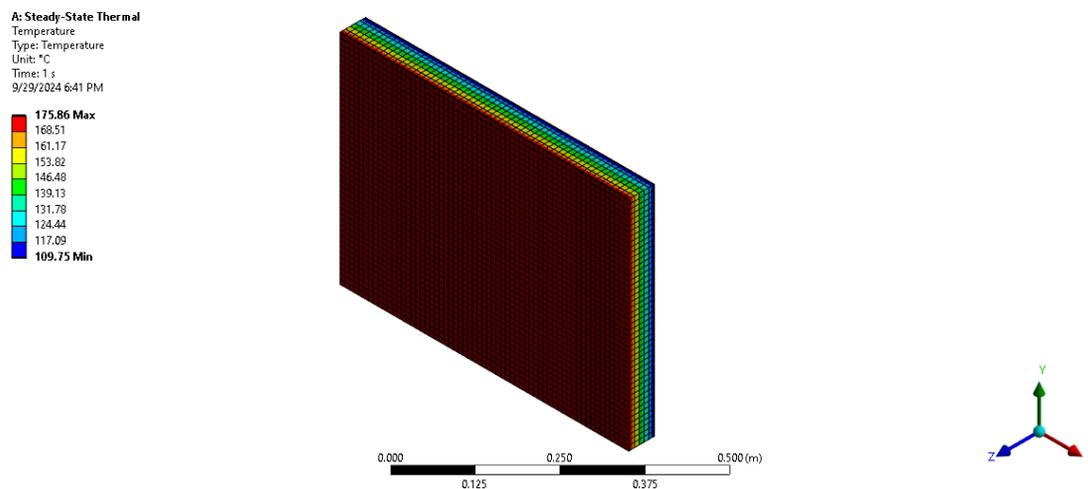


Figura 30 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared vertical

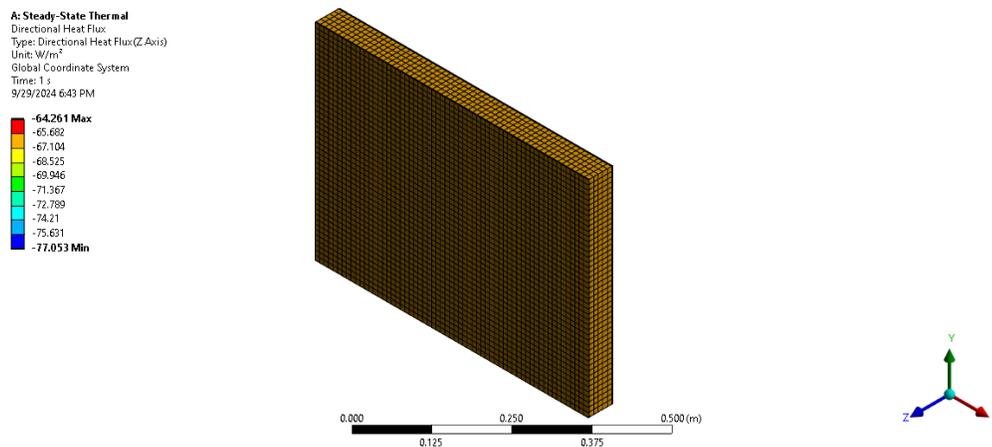


Figura 31 Flujo de calor en el eje Z en la pared vertical

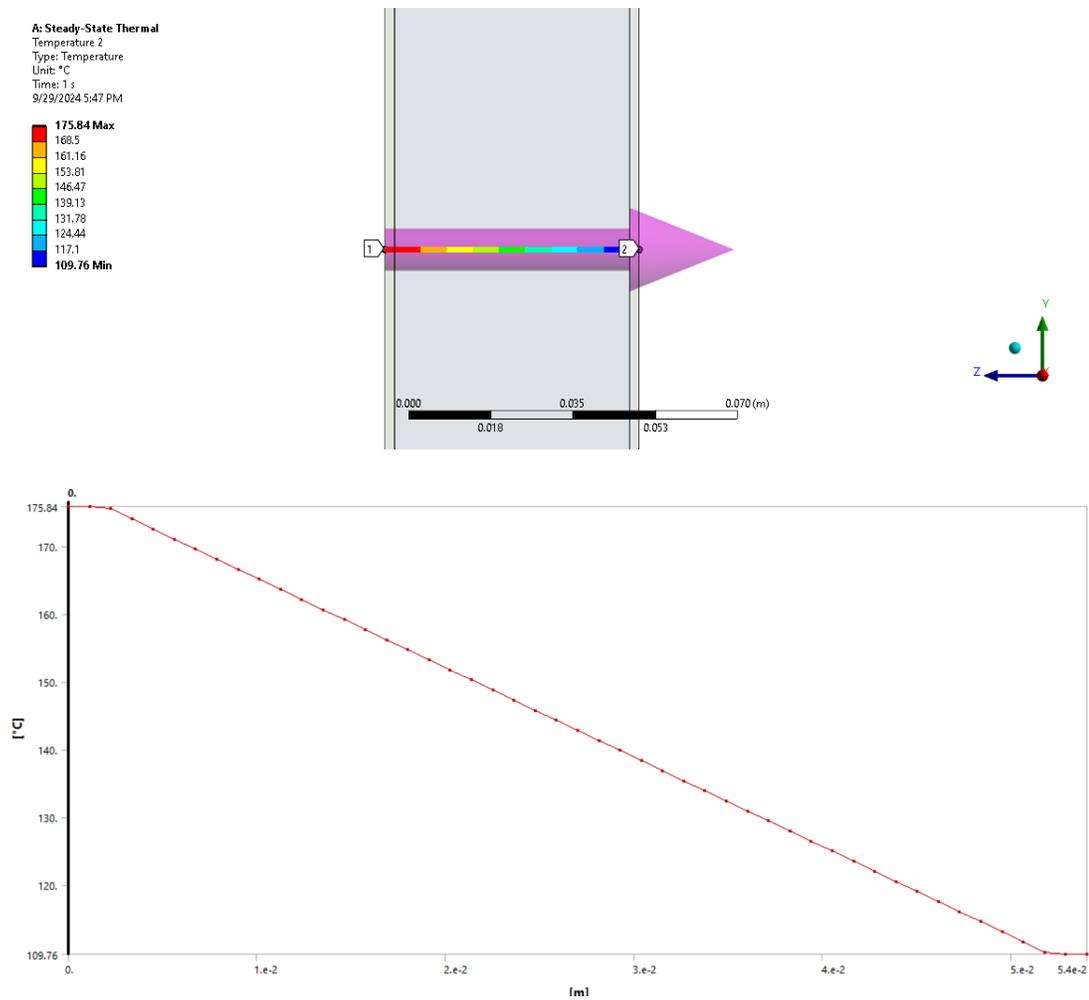
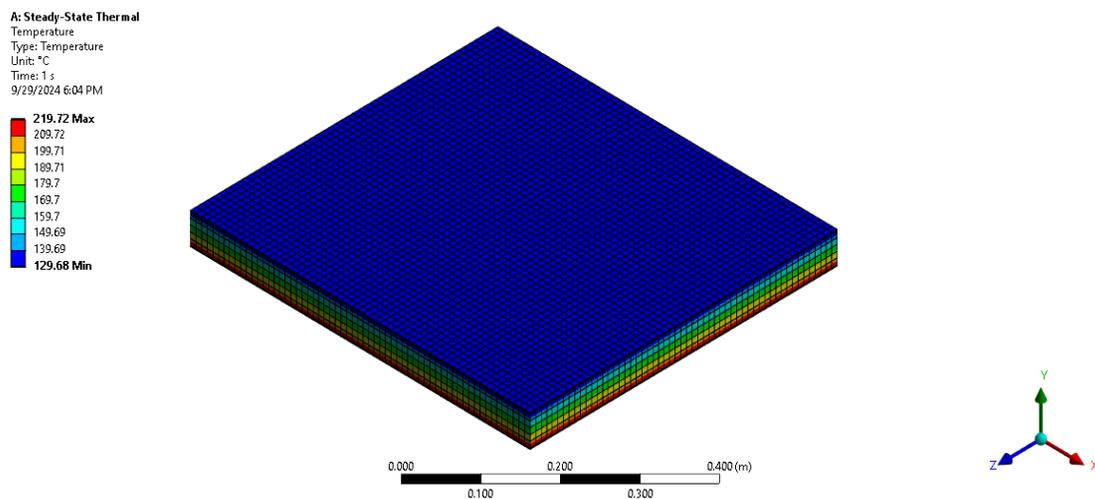
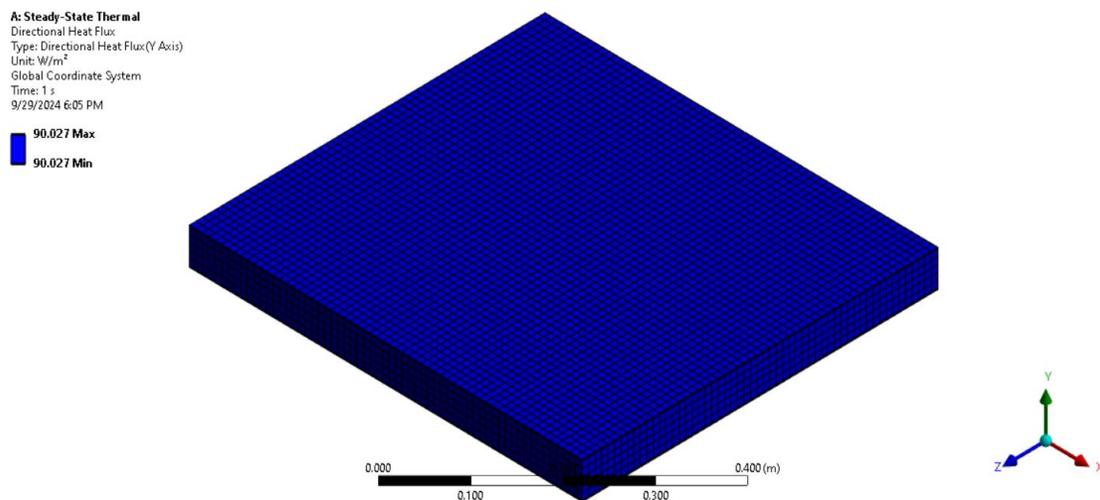


Figura 32 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared vertical

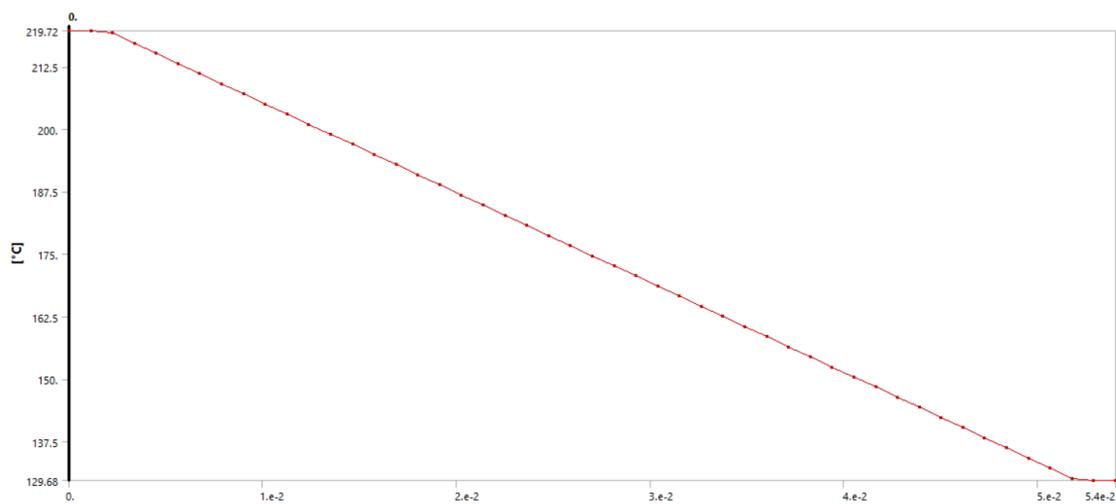
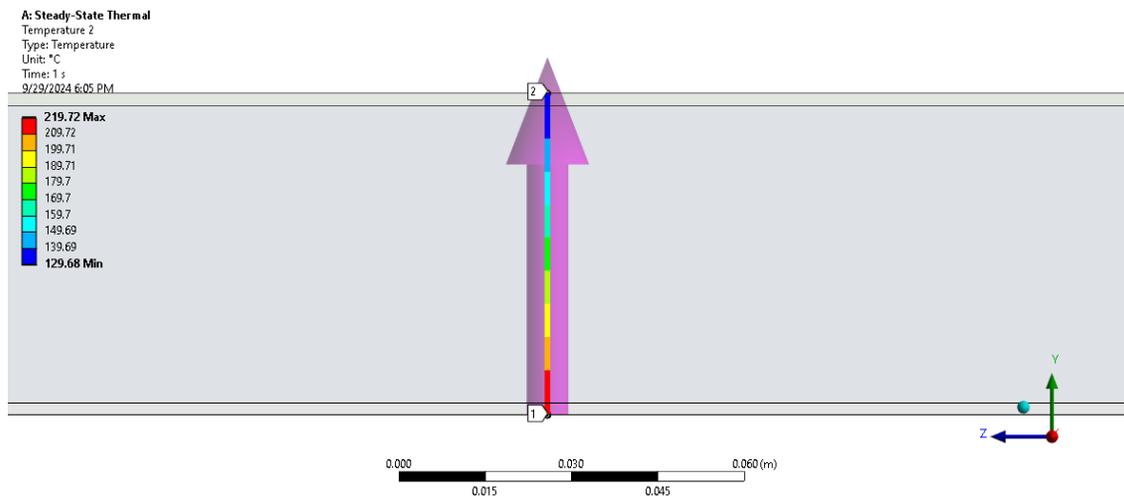
- Pared horizontal superior



*Figura 33 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared horizontal superior*

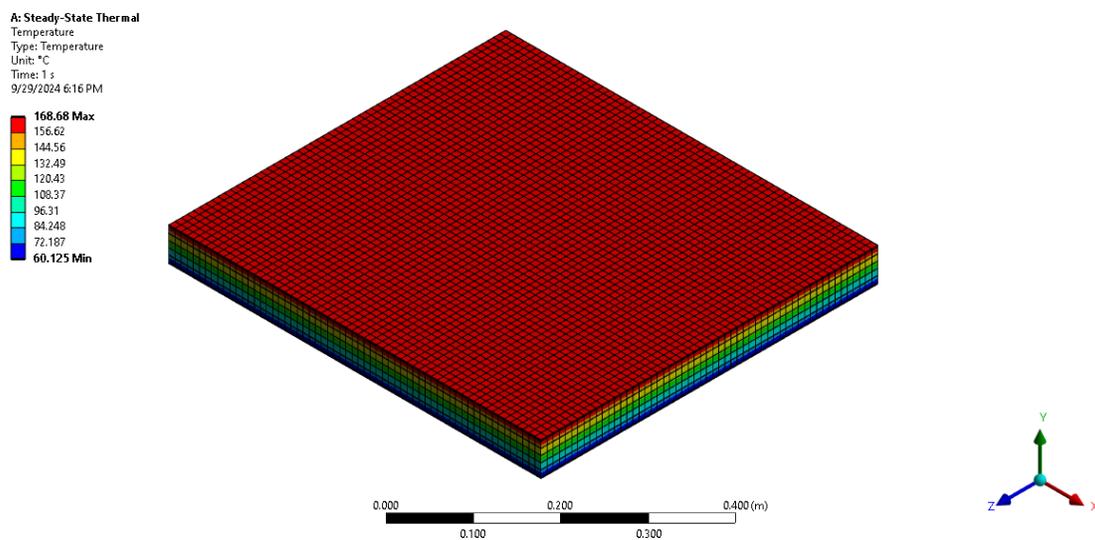


*Figura 34 Flujo de calor en el eje Y en la pared horizontal superior*

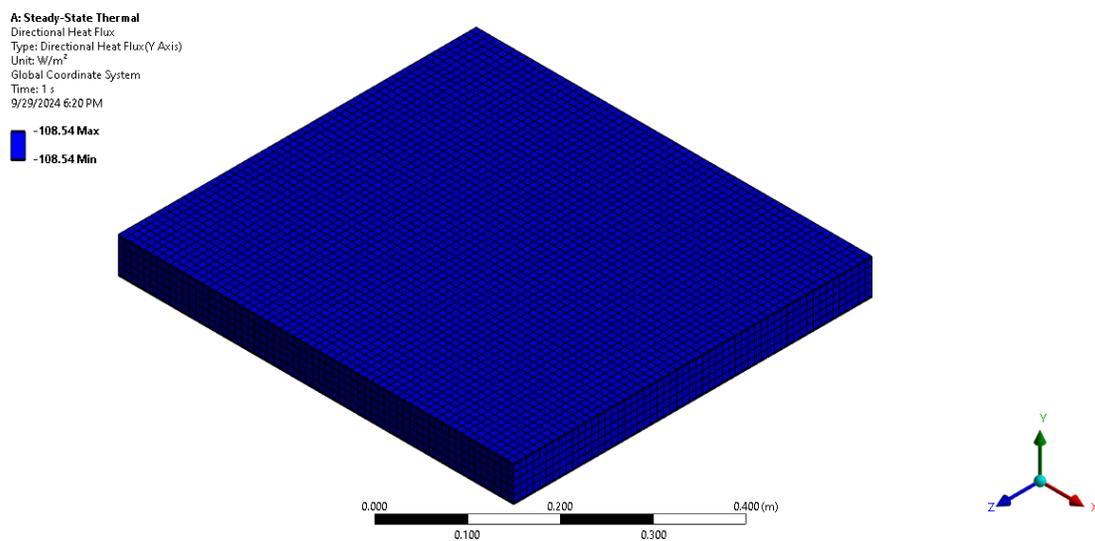


*Figura 35 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared horizontal superior*

- Pared horizontal inferior:



*Figura 36 Vista isométrica de la distribución de temperatura de la pared horizontal inferior*



*Figura 37 Flujo de calor en el eje Y en la pared horizontal inferior*

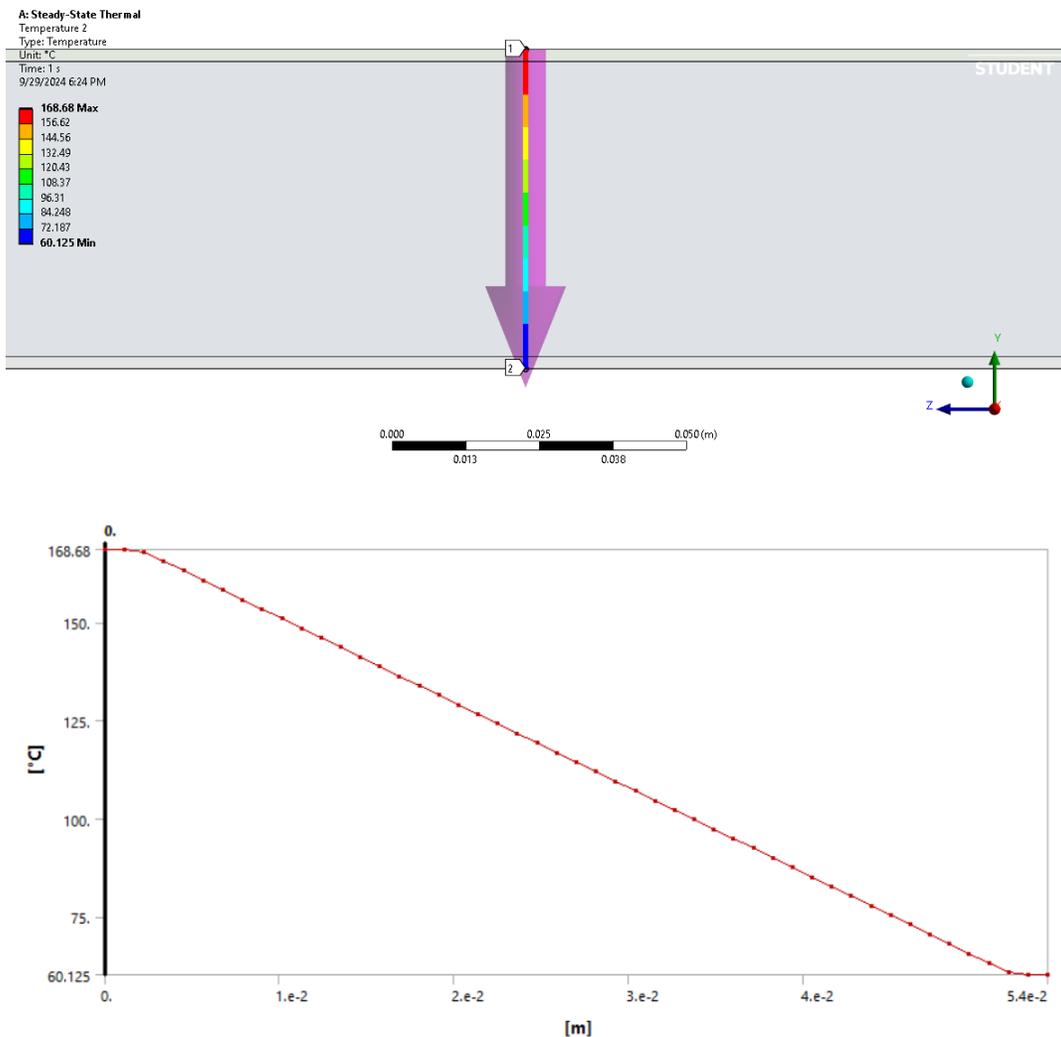


Figura 38 Path que muestra el cambio de temperatura en la pared horizontal inferior

La tabla muestra la compilación de los resultados de la simulación:

Tabla 17. Resultados de las temperaturas en las simulaciones

Pared	$q''_{loss}$ [W/m <sup>2</sup> ]	T1 [°C]	T2 [°C]	T3 [°C]	T4 [°C]
Vertical	64.2	175.84	175.51	109.79	109.75
Horizontal Superior	90.027	219.72	219.27	130.14	129.68
Horizontal Inferior	108.54	168.68	168.13	60.677	60.125

A partir de esto se puede determinar el error porcentual en las temperaturas con la siguiente expresión.

$$error\% = \frac{|T_{teorico} - T_{simulación}|}{T_{teorico}} \times 100\%$$

La tabla muestra el error porcentual para cada temperatura.

*Tabla 18. Error porcentual entre los resultados de las simulaciones y los cálculos*

	<b>T1 [%]</b>	<b>T2 [%]</b>	<b>T3 [%]</b>	<b>T4 [%]</b>
Vertical	0.825688	1.86303	1.846011	1.903435
Horizontal Superior	0.009103	0.150273	0.339244	0.061728
Horizontal Inferior	0.166271	0.10101	0.89795	0.008315

Como se puede apreciar en la tabla, no se tiene errores considerables. Siendo el más grande de 1.9%. Por esta razón, se puede afirmar que los cálculos realizados son válidos, entonces se tiene un valor aproximado a las pérdidas reales que tiene el horno. De esta manera y con un factor de seguridad de 2, se tiene un valor de potencia requerida para configurar de manera adecuada la fuente de calor del horno. Las simulaciones demuestran que las paredes pueden hacer que el horno aisle lo suficiente para que internamente se pueda calentar el termoplástico de la manera adecuada. Al igual que los cálculos, los resultados de las simulaciones tienen sentido ya que, dependiendo de la ubicación de la pared, la transferencia de calor varía dependiendo la ubicación. En la simulación se comprobó que en la pared horizontal inferior se tiene el mayor flujo de calor.

Tomando los datos de la simulación del cuerpo completo, se realizó un “path” para analizar la distribución de temperatura en la cámara interna del horno y ver el comportamiento del aire dentro de la cámara.

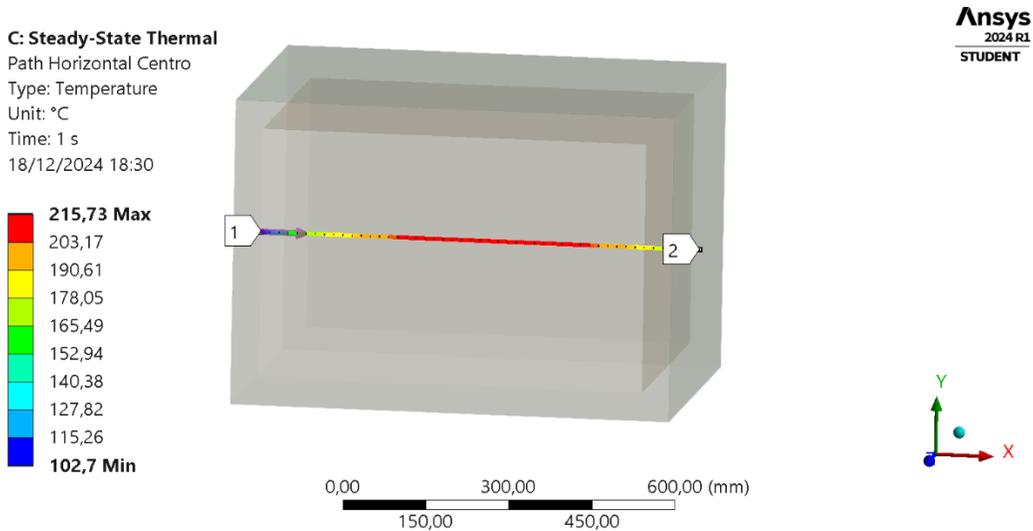


Figura 39 Distribución Temperatura Path Central Horno

Se puede observar que la sección central de la cámara está aproximadamente a unos 215°C. En adición, se tomaron las posiciones de los puntos de dicho “path” para realizar una gráfica.

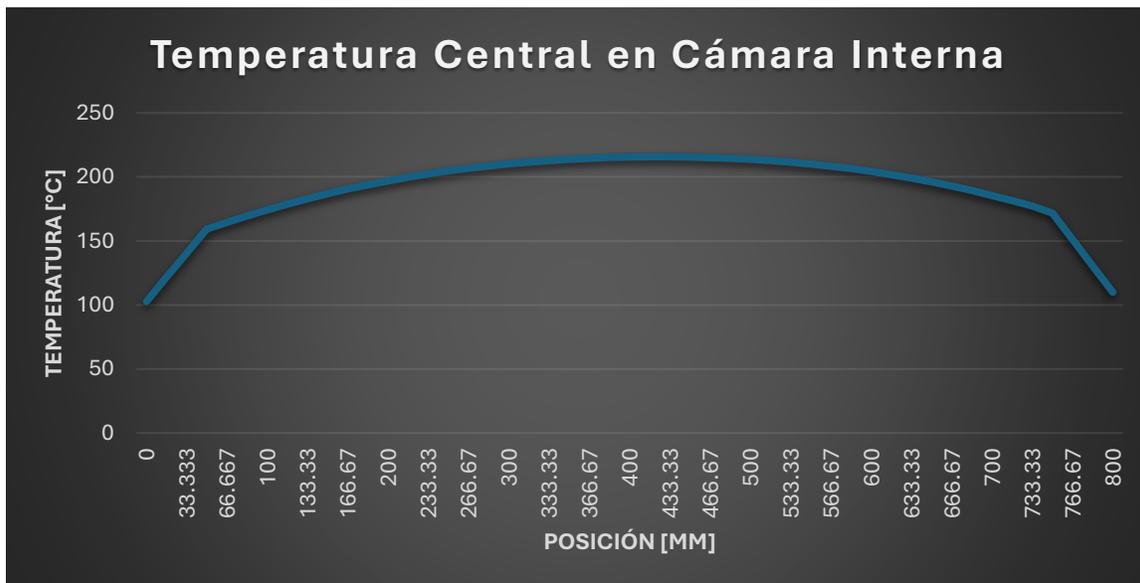
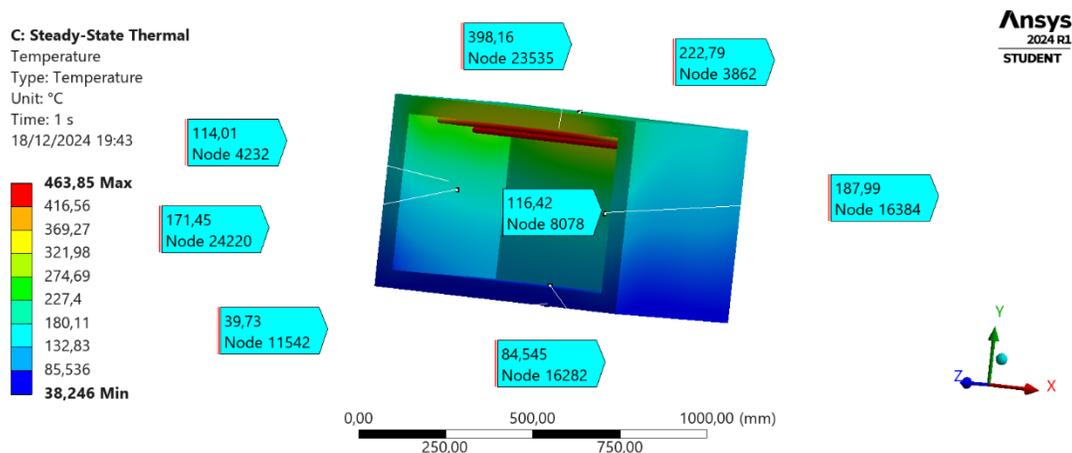


Figura 40 Gráfico Temperatura Cámara Interna Horno

Es importante destacar que la gráfica previa demuestra una uniformidad de temperatura en la sección central de la cámara lo cual indica que la simulación ha sido generada en función de uno de los objetivos planteados.

Finalmente, se seleccionaron ciertos puntos para indicar las temperaturas referenciales tanto para las caras externas como internas del horno. La siguiente figura demuestra que la cara superior es aquella que presentará mayor temperatura en comparación al resto. Asimismo, cabe recalcar que la cara externa inferior del horno presenta una temperatura menor a  $40^{\circ}\text{C}$ , por ende, se decidió utilizar dicha área para colocar el sistema de control evitando su deterioro o sobrecalentamiento.

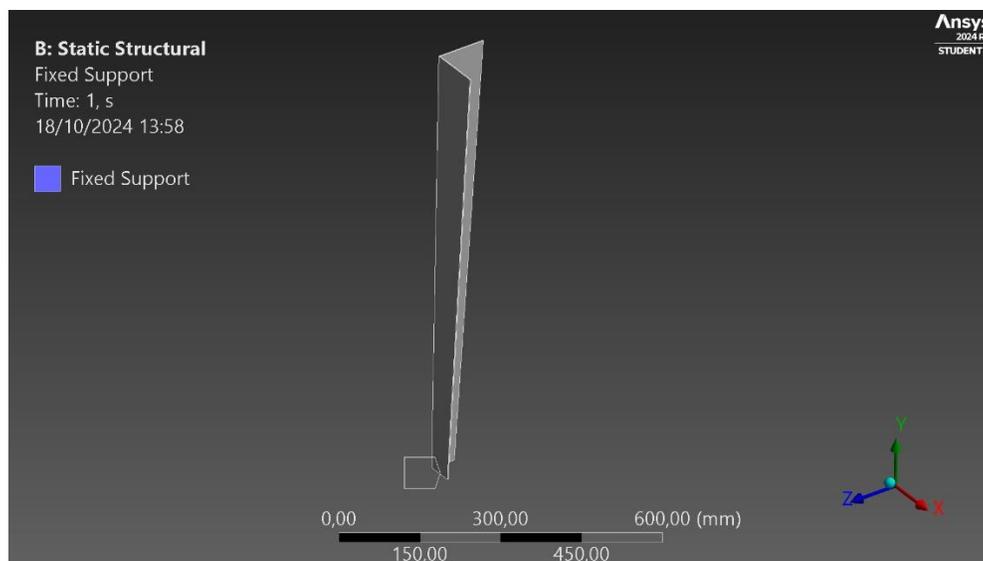


*Figura 41 Nodos Indicativos Caras Externas e Internas*

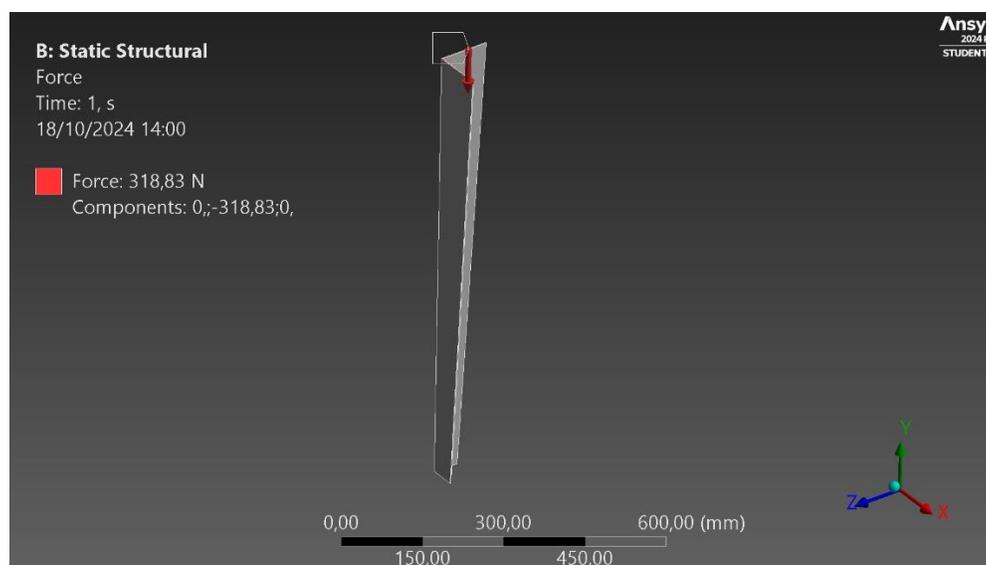
### Simulación estructural patas

A partir de los datos estructurales obtenidos, se busca comparar los resultados en conjunto con una simulación de análisis estructural por medio del software de elementos finitos *Ansys Workbench*.

En primer lugar, se ingresaron las propiedades del acero inoxidable 430 en la sección de *Engineering Data*. Consecuentemente, se utilizó la geometría importada de la pata previamente mencionada. A la cual se le asignaron las siguientes condiciones iniciales:

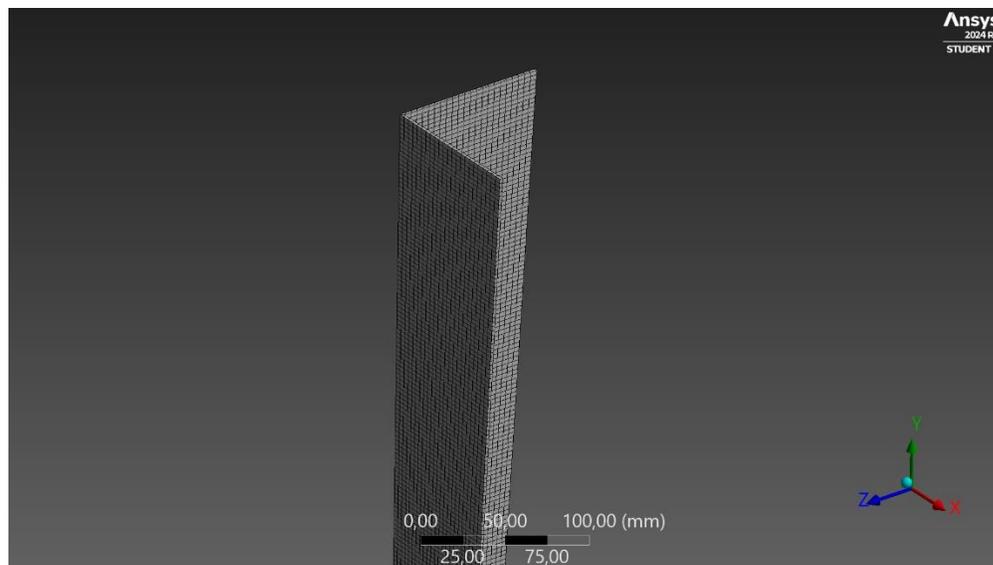


*Figura 42 Condición Inicial: Fixed Support Base*



*Figura 43 Condición Inicial: Carga Central Aplicada*

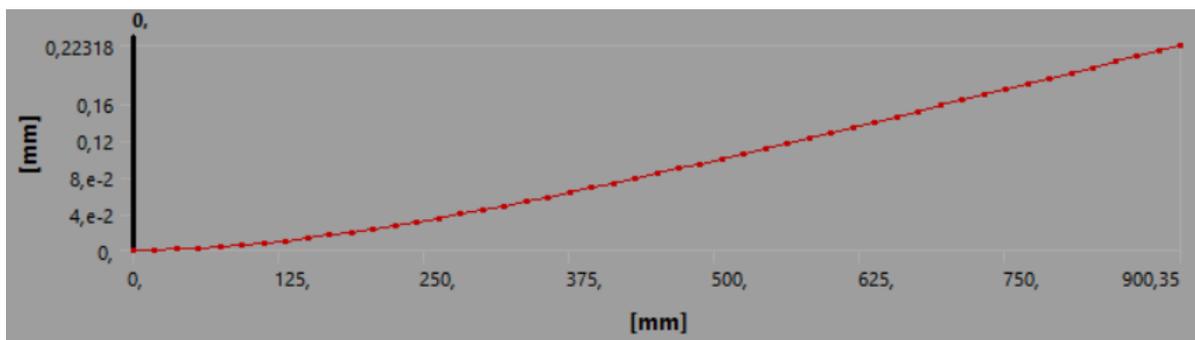
Una vez asignadas las condiciones iniciales para el análisis estructural, se procede con un mallado cuadrado.



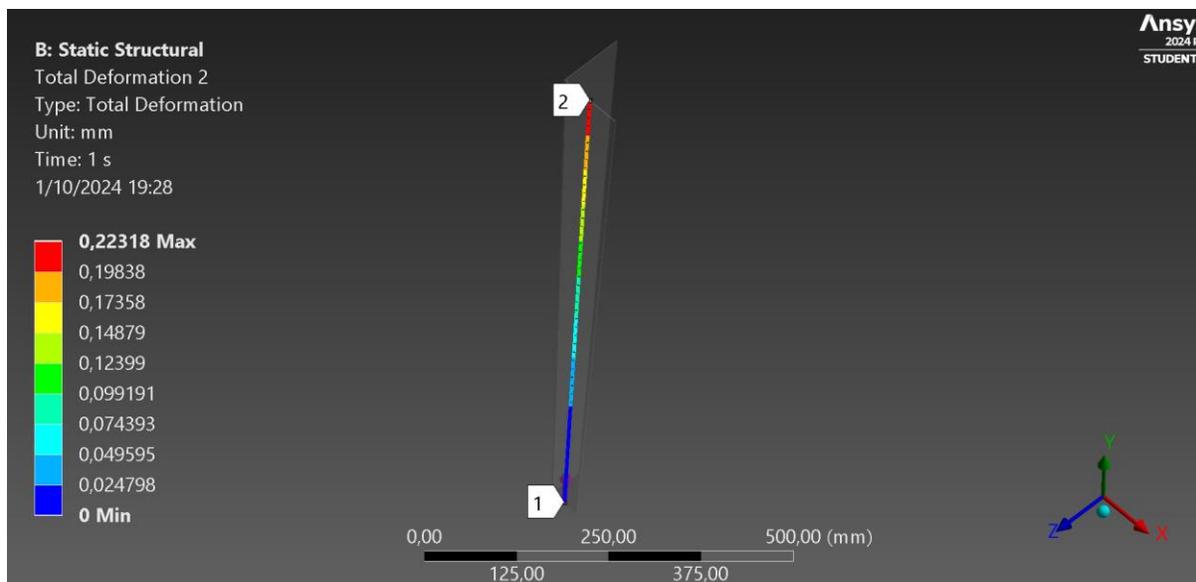
*Figura 44 Mallado Estructural Pata*

Luego, se realiza la respectiva simulación en donde se obtienen los posteriores resultados.

#### **Resultados de la simulación estructural**



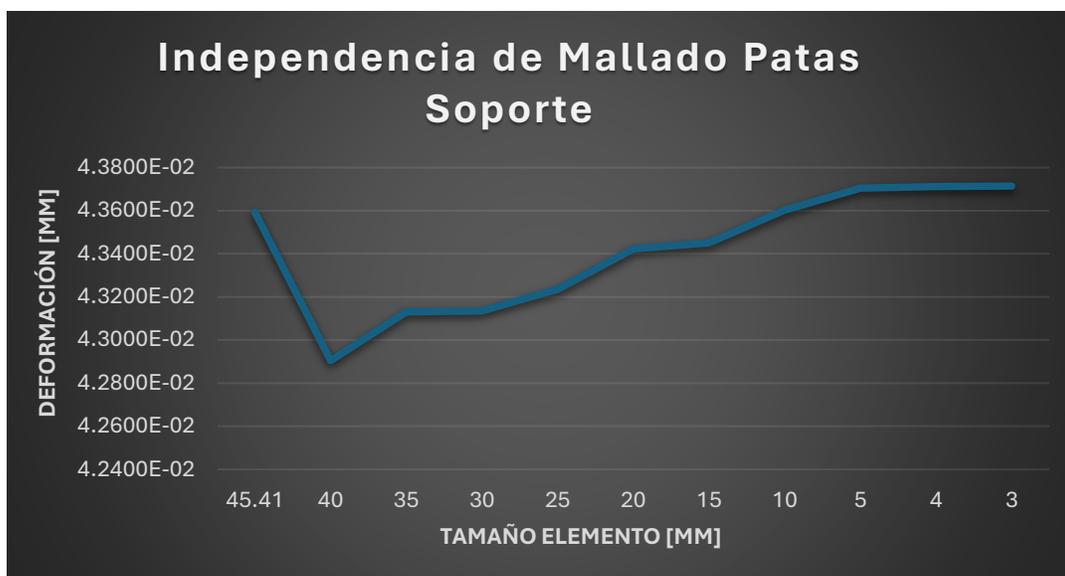
*Figura 45 Curva de Deformación en función de Altura*



*Figura 46 Resultados Deformación Total Estructural Pata*

Como se puede observar, la deformación total máxima que sufre la pata por la carga del horno es de 0.22 [mm] lo cual, a su vez que el resultado del factor de seguridad demuestra que la estructura no entrará en falla debido a la carga a la que se encuentra sometida. Asimismo, se debe destacar que la curva de deformación obtenida tiene un incremento exponencial.

Finalmente, para que estos resultados entren en un rango de precisión adecuado se utiliza una independencia de mallado en función de la deformación en un punto escogido específicamente para analizar la variación de los valores que refleje. Gracias a esto, se encontró que el tamaño de elemento necesario para una independencia de mallado es menor a 5 milímetros.



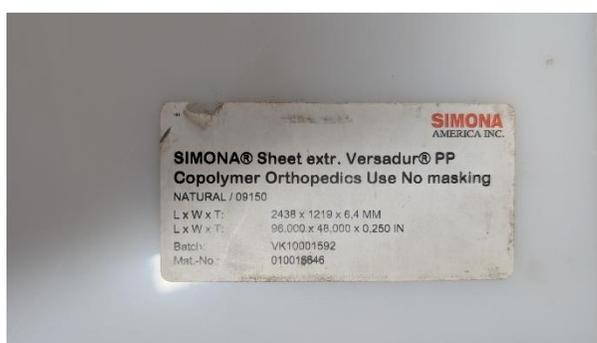
*Figura 47 Curva Independencia de Mallado*

### 8.3.Resultados

En esta sección se destacan los resultados obtenidos por medio de pruebas realizadas bajo el criterio de los autores.

#### Pruebas de pruebas de sockets protésicos

Se realizaron tres pruebas para la realización de sockets protésicos, para esto se usaron los tres armazones para los plásticos, el sistema de vacío de la tesis anterior y los moldes para tres distintos sockets. Por tanto, se realizaron las pruebas con un plástico ortopédico de 6.4 mm como se muestra a continuación.



*Figura 48 Plástico usado para las pruebas*

De esta forma, con las propiedades del plástico se lo calentó a una temperatura de 160°C y el tiempo de termoformado dependió del tamaño del socket a realizar variando entre un tiempo

de 8 minutos el más pequeño y 17 minutos el más grande hasta formar la burbuja ideal para formar el socket.



*Figura 49 Burbujas formadas en los tres armazones*

Así, como se observa en la anterior figura se puede apreciar la correcta formación de las burbujas en los tres armazones distintos para posteriormente colocarlas en el sistema de vacío como se muestra a continuación.



*Figura 50 Colocación de plástico en los moldes*



*Figura 51 Pruebas de sockets protésicos*

De esta manera, se obtuvieron tres sockets protésicos con los moldes existentes como se observa en la figura anterior. Por tanto, se puede mencionar que el correcto termoformado del plástico en el horno pudo lograr que el socket protésico pueda ser formado de la manera deseada. Así mismo, se debe notar que entre más grande es el molde se observa que hay una capa más delgada de plástico, esto indica que puede ser necesario el uso de un plástico de mayor espesor para los moldes más grandes. Entonces, se pudo lograr el principal objetivo del horno que era realizar sockets protésicos e integrarlo con el sistema de vacío ya existente.

### Pruebas de uniformidad

Esta prueba fue realizada mediante un mallado de elementos cuadrados a una placa metálica que se colocaba sobre los soportes del horno y se medía su temperatura con un pirómetro.

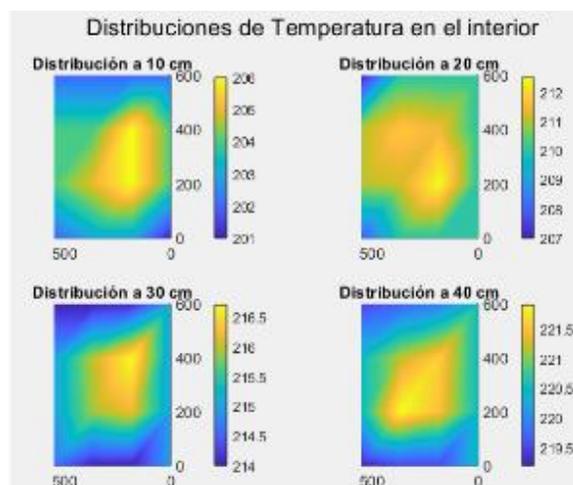


Figura 52 Resultados de Distribución de Temperatura en Placa Metálica

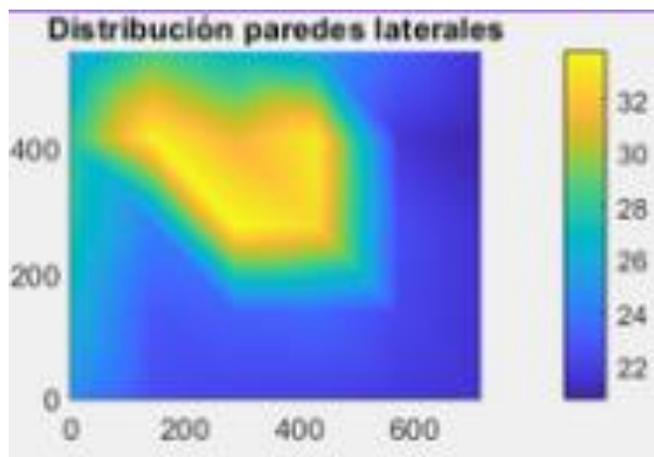
Tabla 19. Resultados Estadísticos de Pruebas

Altura de la plancha [cm]	Promedio [C]	Desviación Estándar
10	203.50	2.02
20	209.17	1.75
30	214.63	1.69
40	220.13	1.69

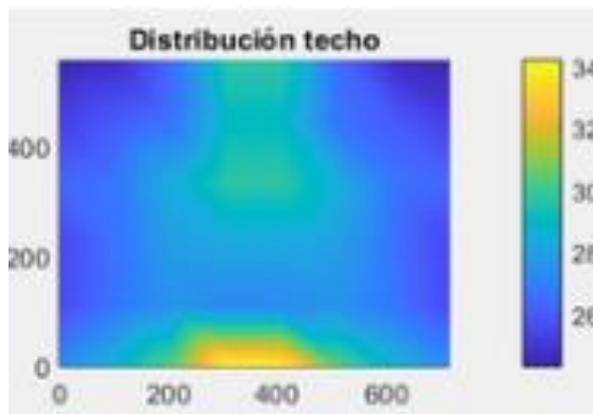
Los resultados de esta prueba demostraron la existencia de uniformidad de temperatura en una sección central de la placa. En adición, a medida que la placa estaba más cerca de las lámparas la temperatura uniforme estaba más cerca del valor deseado. Por otro lado, se tomaron los datos de temperatura reales junto con su respectiva desviación estándar la cual no supera de 2.02°C corroborando que los valores son fiables.

### Temperaturas externas superficiales

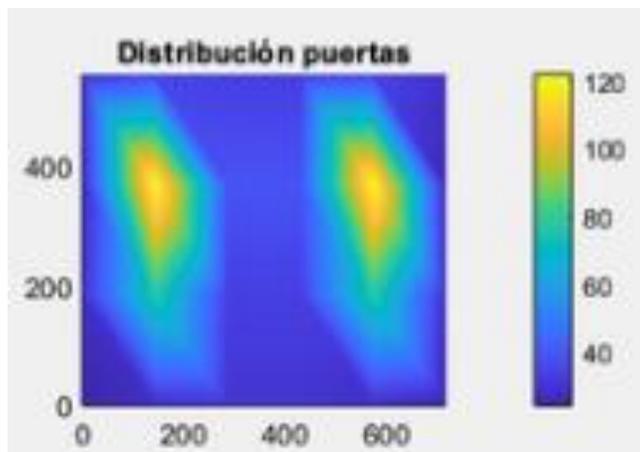
Al igual que la placa metálica, se realizó un mallado cuadrangular en las caras externas del horno para luego medir su temperatura con un pirómetro. , y así, corroborar qué valores de temperatura son aceptables para evitar alguna lesión por parte del operario o usuario.



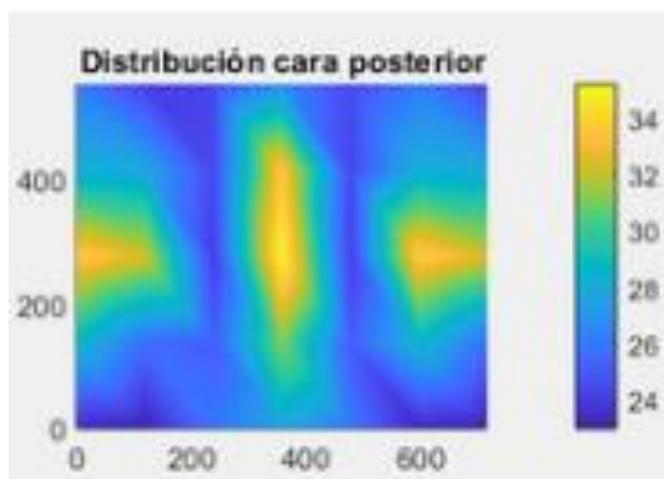
*Figura 53 Resultados Temperaturas Superficiales Paredes Laterales*



*Figura 54 Resultados Temperaturas Superficiales Techo*



*Figura 55 Resultados Temperaturas Superficiales Puertas*



*Figura 56 Resultados Temperaturas Superficiales Pared Posterior*

Gracias a este análisis superficial de temperatura se pudo encontrar que la esquina superior izquierda de la pared lateral destaca mayor temperatura lo cual es debido a que existe un espacio libre para que el calor se escape y no produzca un sobrecalentamiento al sistema del horno. Finalmente, cabe destacar que existen puntos calientes tanto en los vidrios de las puertas como en la cara posterior del horno debido a que son áreas en donde el calor puede escapar con mayor facilidad.

## Mediciones para control

Al realizar las pruebas, se tomaron datos de temperatura para realizar una gráfica y ver el comportamiento del sistema. Se requería calentar el horno a 210 C, y así fue como reaccionó el sistema con un control ON/OFF.

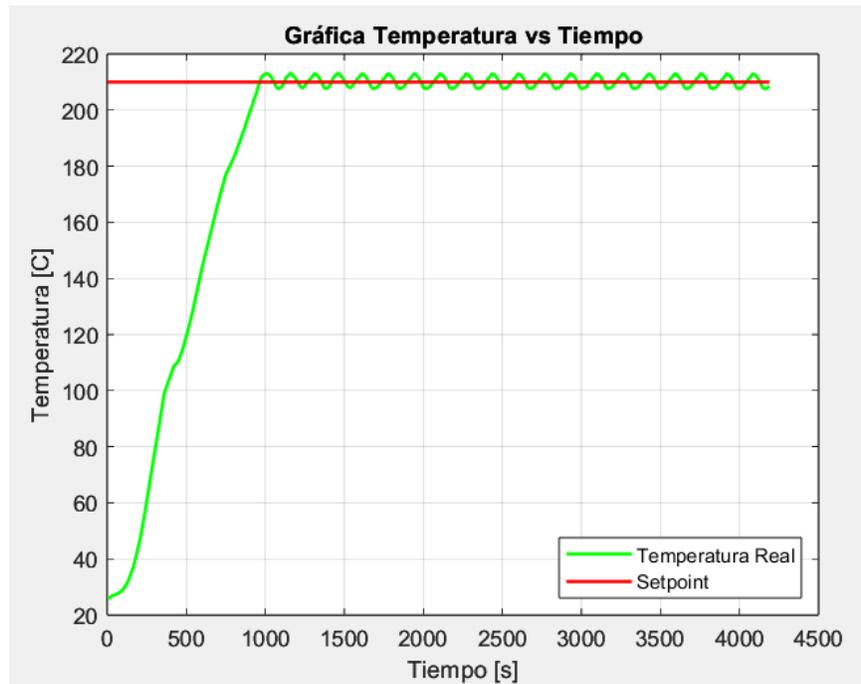


Figura 57 Gráfica Temperatura vs. Tiempo datos experimentales.

Con estos datos se pudo observar que hubo picos de hasta 6 grados mayor a lo requerido. Por lo que puede considerarse encontrar otro modelo de control para no tener estas fluctuaciones. A priori se puede estudiar un sistema de primer orden con retardo, que es común para control de temperatura.

$$T(s) = \frac{K}{\tau s + 1} e^{-t_0 s}$$

Donde K:

$$K = \frac{216.35 - 45}{5000 - 0} = 0.365$$

Para  $\tau$  y  $t_0$ :

$$\tau = 1.5(t_{63.2\%} - t_{28.3\%}) = 150 \text{ s}$$

$$t_0 = t_{63.2\%} - \tau = 450 \text{ s}$$

De esta manera, se obtienen datos preliminares que pueden ser útiles para analizar una posible mejora del control, ya sea un PID o un PI. La figura 50 muestra una aproximación del modelo propuesto a analizar.

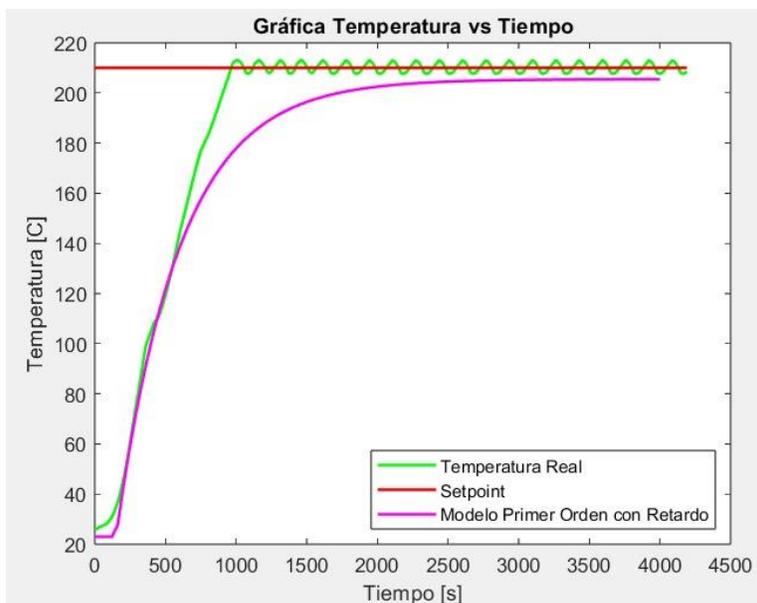


Figura 58 Gráfica Temperatura vs Tiempo. Modelo primer orden con retardo.

## Eficiencia

Para analizar la eficiencia del sistema de calentamiento por infrarrojos, se midió la temperatura interna del horno utilizando un termopar, registrando un valor de  $230^{\circ}\text{C}$ . Simultáneamente, se observó que el termoplástico alcanzó una temperatura de  $225^{\circ}\text{C}$ , indicando que la transferencia térmica hacia el material es altamente eficiente. Este comportamiento se evaluó aplicando la ecuación de radiación térmica, utilizando las temperaturas medidas, lo que permitió calcular la potencia real transmitida al termoplástico, obteniendo un valor de  $P_{RealPlastico} = 2941\text{W}$ . Por otro lado, para determinar la potencia total consumida por el sistema, se realizó una medición de corriente, registrando un valor de  $20\text{ A}$ . Multiplicando este valor por el voltaje de operación y el factor de potencia para corriente alterna, se obtuvo  $P_{Total} = 3940\text{W}$ . Con estas dos potencias, se calculó la eficiencia dando como resultado  $0.7427$ .

El valor calculado de eficiencia destaca la efectividad del diseño con infrarrojos para transferir energía directamente al termoplástico, minimizando las pérdidas de calor hacia el ambiente. En comparación con hornos de convección convencionales, cuya eficiencia se

encuentra típicamente entre un 40% y un 60%, el sistema basado en radiación infrarroja demuestra un desempeño superior. Este aumento en eficiencia es atribuible a la capacidad de los infrarrojos para dirigir el calor directamente al material objetivo, reduciendo significativamente las pérdidas energéticas y los tiempos de calentamiento. De este modo, el diseño actual no solo optimiza el uso energético, sino que también mejora la uniformidad en el calentamiento del termoplástico, lo que lo hace especialmente adecuado para aplicaciones industriales que requieren precisión térmica y ahorro de energía.

### **Comparación con productos similares**

Para esta sección se abordaron tres aspectos importantes: consumo energético, fuente de calor y costos. Por tanto, en cuanto al consumo el horno tiene un consumo promedio de 4.4 kW, comparado con otros hornos con infrarrojos que suelen consumir 8 kW, así nuestro diseño resulta más eficiente gracias a la elección de los calentadores de cerámica. Así mismo, en contraste con hornos industriales con mejor aislamiento como fibra cerámica pueden alcanzar consumos menores por su alta eficiencia, pero a costa de precios elevados. Ahora, el horno utiliza 5 barras infrarrojas de cerámica, capaces de alcanzar una temperatura máxima de operación de 500°C. En comparación, con hornos que usan resistencias de níquelina que alcanzan menores temperaturas, que tienen una vida útil más corta y menor capacidad para calentar de manera uniforme. Por último, el costo de nuestro horno es menor que el de hornos industriales similares, esto se logró utilizando materiales como acero inoxidable AISI 430 y un diseño optimizado, así, los hornos industriales pueden costar de 2 a 3 veces más debido al uso de materiales avanzados. De esta manera, el diseño propuesto del horno logra un balance óptimo entre eficiencia y costo, convirtiéndose en una opción viable.

### **8.4. Análisis de Riesgos**

Se presenta una tabla de riesgos identificados para el diseño y construcción de un horno destinado a la fabricación de sockets protéticos. El análisis de riesgos se ha realizado considerando los posibles eventos adversos que podrían afectar tanto la operación del equipo como la seguridad de los operadores y el cumplimiento del presupuesto. Cada riesgo ha sido evaluado en términos de su impacto y probabilidad, clasificando la gravedad de sus consecuencias y la probabilidad de ocurrencia en una escala del 1 al 5. Además, se han propuesto acciones específicas para gestionar cada uno de los riesgos, utilizando estrategias como evitar,

reducir, compartir, transferir, prepararse, postergar, asegurar o aceptar, con el fin de minimizar los efectos negativos y garantizar el éxito del proyecto. La tabla de análisis de riesgos se encuentra en la sección de Anexos.

## 8.5. Manual de Operación y Mantenimiento

MANUAL DE  
OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO

# HORNO DE TERMOFORMADO

USFQ



AUTORES:  
GIULLIANO CAJAS  
DAVID CUENCA  
LUCAS ORDÓÑEZ  
BRYAN NAVIA

# ÍNDICE



01	INTRODUCCIÓN	02
02	COMPONENTES	03
03	DESCRIPCIÓN	05
04	DATOS TÉCNICOS	06
05	MANEJO	07
06	MANTENIMIENTO	13
07	PRECAUCIÓN	14

# 01 INTRODUCCIÓN

## HORNO DE TERMOFORMADO

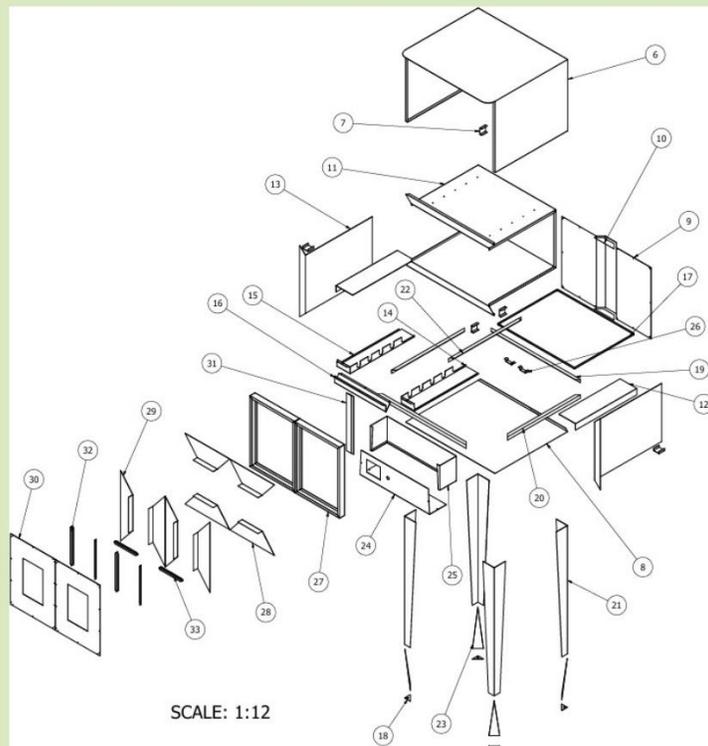
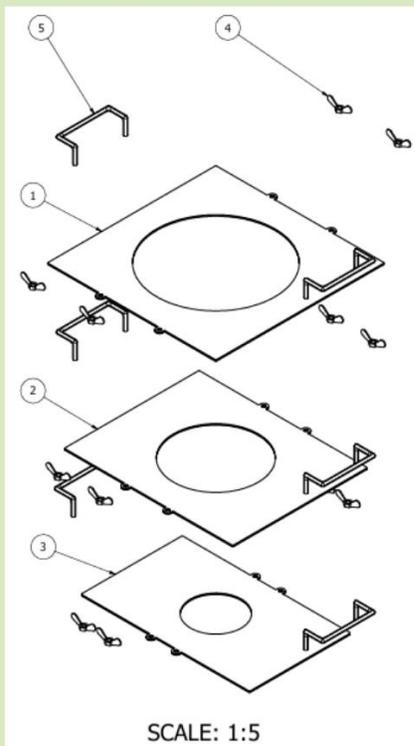


El Horno de Termoformado es un sistema de calentamiento enfocado en el termoformado de cualquier plástico con el objetivo principal de fabricar sockets protéticos. El Horno se diseñó y construyó como proyecto de titulación en Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito.

El sistema está construido de acero inoxidable principalmente, cuenta con cinco calentadores en la parte superior, tiene fibra de vidrio como aislante térmico, integra un PLC y HMI para el control y cuenta con distintos armazones para múltiples tamaños de sockets protéticos.

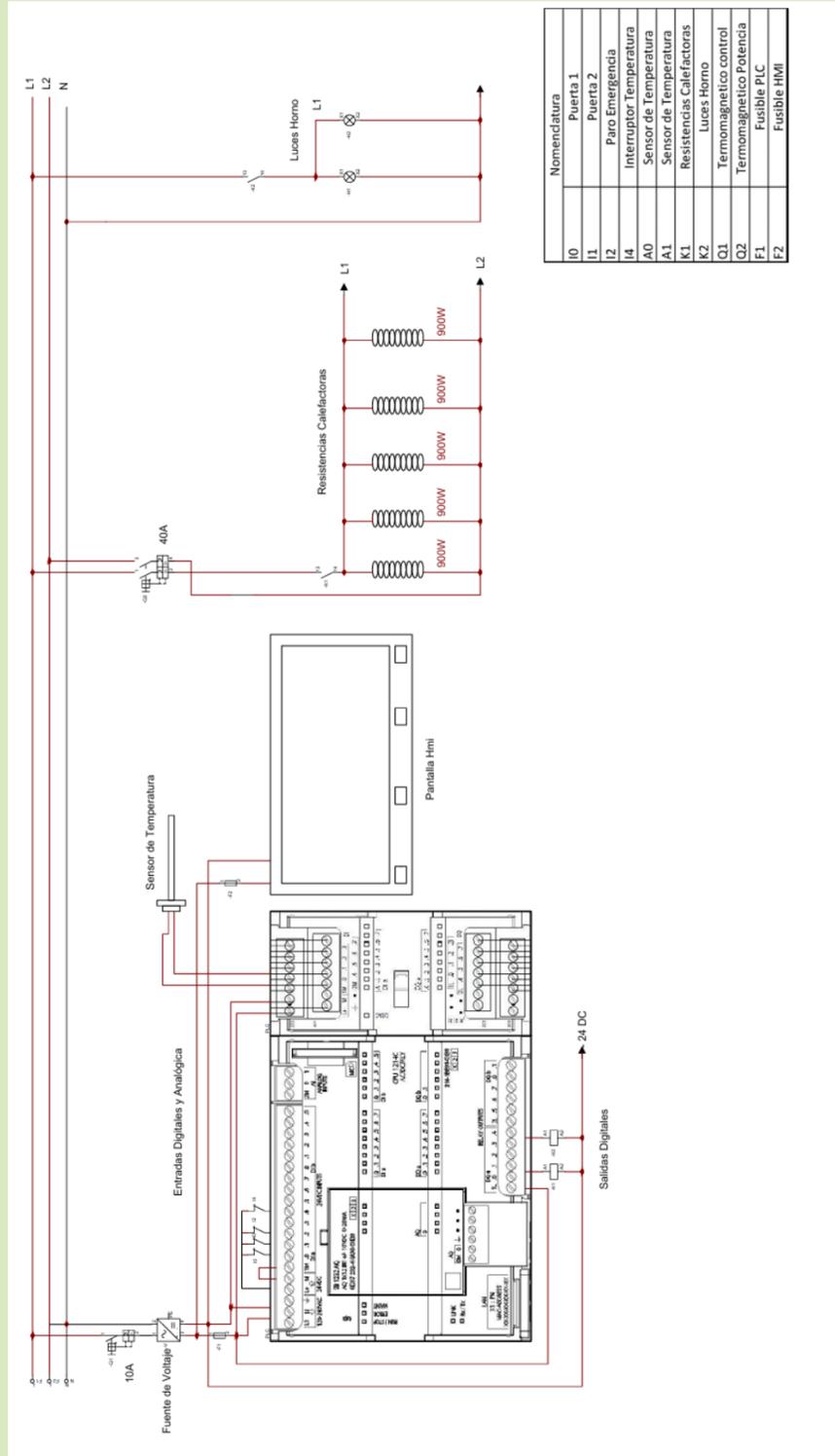
# 02 COMPONENTES

## HORNO



33	2	OV005-07	SOPORTE VIDRIO 2
32	4	OV005-06	SOPORTE VIDRIO 1
31	2	OV005-05	TOPE PUERTA
30	2	OV005-04	TAPA PUERTA
29	4	OV005-03	TAPA CARA POSTERIOR LARGA
28	4	OV005-02	TAPA CARA POSTERIOR CORTA
27	2	OV005-01	MARCO PUERTA
26	2	OV004-09	SOPORTE MICRO SWITCH
25	1	OV004-08	TAPA PANEL DE CONTROL
24	1	OV004-07	PANEL DE CONTROL
23	4	OV004-06	CUBIERTA PATAS
22	1	OV004-05	MARCO PATAS 3
21	4	OV004-04	PATA
20	2	OV004-03	MARCO PATAS 2
19	2	OV004-02	MARCO PATAS 1
18	4	OV004-01	BASE PATA
17	1	OV003-07	BANDEJA
16	1	OV003-06	CUBIERTA LAMPARAS FRONTAL
15	1	OV003-05	CUBIERTA LAMPARAS IZQUIERDA
14	1	OV003-04	CUBIERTA LAMPARAS DERECHA
13	2	OV003-03	TAPA LATERAL CAJA INTERNA
12	2	OV003-02	SOPORTE ARMAZON
11	1	OV003-01	BASE CAJA INTERNA
10	2	OV002-05	CUBIERTA TAPA POSTERIOR CAJA EXTERNA
9	1	OV002-04	TAPA POSTERIOR CAJA EXTERNA
8	1	OV002-03	TAPA INFERIOR CAJA EXTERNA
7	5	OV002-02	REFUERZO CAJAS
6	1	OV002-01	BASE CAJA EXTERNA
5	6	OV001-05	TIRADERA ARMAZON
4	24	OV001-04	OREJA TUERCA ARMAZON
3	2	OV001-03	ARMAZON PEQUEÑO
2	2	OV001-02	ARMAZON MEDIANO
1	2	OV001-01	ARMAZON GRANDE
ITEM	QTY	PART NUMBER	DESCRIPTION

# PLANO ELÉCTRICO



Nomenclatura	
I0	Puerta 1
I1	Puerta 2
I2	Paro Emergencia
I4	Interruptor Temperatura
A0	Sensor de Temperatura
A1	Sensor de Temperatura
K1	Resistencias Calificadoras
K2	Luces Horno
Q1	Termomagnético control
Q2	Termomagnético Potencia
F1	Fusible PLC
F2	Fusible HMI

## 03 DESCRIPCIÓN

### INDICACIONES DE USO

El horno de termoformado se construyó con el fin principal de servir para la creación de sockets prostéticos a través del termoformado de una lámina de plástico. Sin embargo, el horno puede ser usado con otros fines tomando en cuenta que tiene un fusible térmico que se quemará si el interior del horno alcanza una temperatura de 300°C, si se desea una mayor temperatura de trabajo se deberá realizar un “bypass” al fusible.

### CONSTRUCCIÓN Y FUNCIONAMIENTO

El horno se constituye principalmente de acero inoxidable AISI 430, de esa forma, toda su estructura está hecho de tal material. Así, el horno se compone dos cajas una externa y otra interna que en medio tiene el aislante térmico. Por tanto, la caja interna se constituye de la base de la caja interna (11) y de las tapas laterales (13), para la caja externa se tiene la base (6), la tapa inferior (8) y la posterior (9). Una vez montada la caja interior se colocan los calentadores, la termocupla, las luces y el fusible al interior de esta con su cableado. Luego se coloca la fibra de vidrio como aislante y luego se coloca la caja externa. Toda la estructura se la coloca sobre las patas (21). Finalmente, se colocan las puertas (27-33) y su estructura en la parte frontal de la caja interior. Así mismo, se colocan todos lo componentes eléctricos en la parte inferior del horno en el panel de control (24, 25).

## 04 DATOS TÉCNICOS

### HORNO TEMOFORMADO

<b>DIMENSIONES</b>	Exterior: A 806 mm – P 715 mm – H 557 mm Interior: A 700 mm – P 604 mm – H 454 mm
<b>DETALLES</b>	Patatas ajustables: 50 mm Elevación del piso a la parte inferior del horno: 1000 mm Área efectiva de calentamiento: A 645 mm – D 550 mm
<b>ALIMENTACIÓN ELÉCTRICA</b>	220V / 60 Hz / 1F-3H / (32 Amp. CEE) / Capacidad total 5kW
<b>CALENTADORES</b>	5 barras infrarrojas de cerámica.
<b>LECTURA DE TEMPERATURA</b>	Termopar tipo K TCE.K05H5-100K 25-800°C
<b>CONTROL TEMPERATURA E ILUMINACIÓN</b>	Control ON/OFF con PLC SIEMENS 6ES7 212-1AE40-0XBO. Panel Touch HMI KTP400 6AV2 123-2DB03-0AXO para mostrar la temperatura actual y "setear" temperatura de termoformado. SSR-100DA para encender y apagar los calentadores
<b>FUSIBLE TÉRMICO</b>	G4AM0600, Fusible 300 °C
<b>AISLANTE TÉRMICO</b>	Paredes: Capas de fibra de vidrio de 5 cm Sello de puertas: Cinta de aislamiento de alta temperatura 3M 2220
<b>MECANISMO DE PUERTAS</b>	Dos puertas con apertura horizontal mediante bisagras. Ventana de A H mm de vidrio templado en cada puerta.
<b>ILUMINACIÓN INTERIOR</b>	2x60 W
<b>COLOR</b>	Acero inoxidable
<b>PESO</b>	Peso neto: 230 kg
<b>ARMAZONES</b>	3 armazones de acero inoxidable 430 con agujero de 150, 250 y 350 mm de diámetro.

## 05 MANEJO

### INSTRUCCIONES DE USO PARA EL HORNO

#### PASOS A SEGUIR PARA TERMOFORMAR UNA LÁMINA DE PLÁSTICO

##### \*A PARTIR DEL PASO 6 SE RECOMIENDA REVISAR A LA PAR LA SECCIÓN DEL MANEJO DE LA PANTALLA HMI

1. Conectar el horno a la fuente de alimentación de 220V AC
2. Seleccionar el plástico para el termoformado sabiendo sus características como su temperatura de moldeo (En el HMI se puede seleccionar temperaturas manuales y por defecto. Más detalles en la sección de manejo de HMI).
3. Seleccionar el armazón de moldeo a utilizar, esto dependerá del socket protésico que se desea lograr. Se entregan tres armazones (pequeño, mediano y grande) a seleccionar donde los diámetros del agujero de moldeo son: 150 mm, 250 mm y 350 mm.
4. Colocar la lámina de plástico en el armazón la cuál no podrá exceder las dimensiones de cada armazón, es decir, para el pequeño 500x300 mm, para el mediano 500x400 mm y para el grande 500x500 mm.



Armazón Pequeño



Armazón Mediano



Armazón Grande

5. Nivelar la altura de los soportes del armazón dentro del horno dependiendo de las necesidades y colocar la bandeja en la parte inferior del horno para en un posible derrame del plástico caiga sobre esta.
6. El proceso tiene dos etapas: precalentamiento y termoformado. Inicialmente se realiza el precalentamiento, para esta etapa **NO** es necesario colocar el plástico en el horno.
7. Para el precalentamiento cerrar las puertas del horno e iniciar este proceso. **ver** sección de manejo de pantalla HMI para realizar este proceso
8. Una vez completado el precalentamiento abrir las puertas del horno y colocar el armazón con el plástico dentro del horno, cerrar las puertas y continuar con el proceso de termoformado.

9. A partir de este punto, el HMI proporcionará un tiempo referencial de termoformado, sin embargo, el operario deberá **verificar** en todo momento el tamaño de la burbuja del plástico para saber cuando detener el proceso.

10. Una vez completada la burbuja el operario deberá parar el proceso, colocar el paro de emergencia o simplemente abrir las puertas para que el horno deje de calentar. El tamaño de la burbuja dependerá del largo del molde de la prótesis que se vaya a realizar, así, el tamaño debe ser  $2/3$  de ese largo.



Burbuja en Armazón  
Pequeño



Burbuja en Armazón  
Mediano



Burbuja en Armazón  
Grande

11. Finalmente el operador debe trasladar el armazón con la burbuja formada hacia la estación para moldear el socket protético.



Socket formado  
con Armazón  
Pequeño



Socket formado  
con Armazón  
Mediano



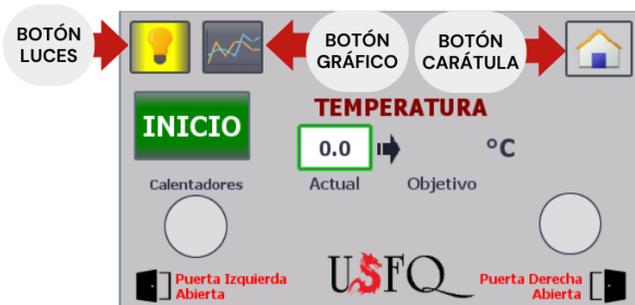
Socket formado  
con Armazón  
Grande

# MANEJO PANTALLA HMI



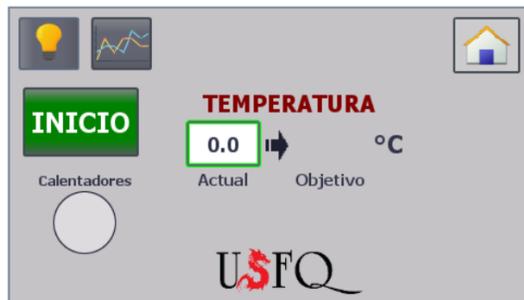
## CARÁTULA

Pantalla que da la bienvenida al programa. Presenta a los autores, la universidad y la carrera. Se puede seleccionar cada perfil para ver los contactos. Para dar inicio al programa se debe presionar el botón "Iniciar".



## PANTALLA DE INICIO

Pantalla con el estado actual del Horno. Inicialmente muestra la temperatura interior del horno, indicando la actual y la objetivo. Cuenta con indicadores para la detección de puertas abiertas y pilotos para los calentadores y proceso actual.



## PANTALLA DE INICIO

Al cerrar las puertas los indicadores de las puertas dejarán de parpadear y las luces se apagarán, por lo que las luces se pueden controlar manualmente. Las luces siempre estarán encendidas con las puertas abiertas, durante un proceso y durante un paro de emergencia.



## PANTALLA SELECCIÓN DEL PLÁSTICO

Al presionar el botón "INICIO" en la pantalla de inicio se inicia el proceso de selección. Para esto se despliega un menú con la selección de cuatro plásticos por defecto con su respectiva temperatura. También se puede seleccionar el Modo Manual.

RETORNO A PANTALLA ANTERIOR.  
CORRESPONDE A BOTÓN FÍSICO F1 DEL HMI

**INGRESE LOS VALORES**

Temperatura Termoformado:  °C

Temperatura Pre calentamiento:  °C

Tiempo Referencial:  Hora:Min:Sec

**Realizado**

### PANTALLA MODO MANUAL

Si se presiona el botón de modo manual se despliega esta pantalla. Se puede seleccionar una temperatura de termoformado, temperatura de pre calentamiento y un tiempo referencial. Al presionar el botón "Realizado" se despliega la pantalla de inicio para iniciar el proceso.

**Selección de Espesor**

2 mm	6 mm	10 mm	13 mm
3 mm	7 mm	11 mm	
4 mm	8 mm	11.5 mm	
5 mm	9 mm	12 mm	

La selección de espesor solo proporciona un tiempo referencial de termoformado

### PANTALLA SELECCIÓN ESPESOR

Si se selecciona uno de los plásticos por defecto en la Pantalla Selección del Plástico se despliega esta pantalla. Permite elegir el espesor del plástico a usar con el fin de obtener un tiempo de termoformado referencial para el operador. Cabe recalcar que al seleccionar un plástico por defecto también se establece una temperatura de pre calentamiento por defecto asociada al plástico.

**TEMPERATURA**

**PARO**  → °C

Calentadores Actual Objetivo

**Precalear**

USFQ

### PANTALLA DE INICIO (PRECALENTAMIENTO)

Al seleccionar valores manuales o seleccionar un plástico y espesor se despliega la pantalla de inicio lista para iniciar el proceso de pre calentamiento. Se deben cerrar las puertas (sin el plástico dentro del horno) para iniciar el proceso con el botón "Precalear". Si se desea seleccionar los valores nuevamente o detener un proceso se debe presionar "PARO" y repetir la selección como se vio anteriormente.

**TEMPERATURA**

**PARO**  →  °C

Calentadores Actual Objetivo Pre calentamiento

**Precautando**

USFQ

### PANTALLA DE INICIO (PRECALENTAMIENTO)

Al presionar el botón "Precalear" se iniciará el proceso. Aquí se mostrará la temperatura objetivo del pre calentamiento, el piloto de los calentadores se encenderá y el piloto del proceso también. Así mismo, las luces se encenderán.

**PRECALENTAMIENTO COMPLETADO**

**COLOQUE EL PLÁSTICO EN EL HORNO**

**Continuar con Termoformado**

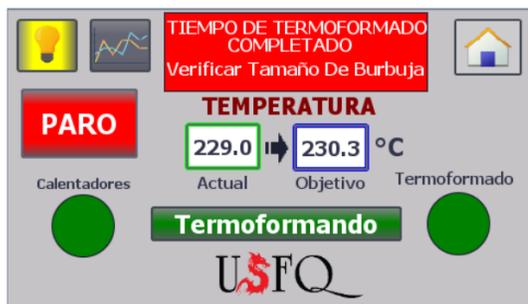
### PANTALLA PRECALENTAMIENTO COMPLETADO

Al llegar a la temperatura de pre calentamiento objetivo los calentadores se apagarán y se despliega esta pantalla que indica que el proceso de pre calentamiento acabó y que se debe colocar el plástico en el horno. Cuando el operador lo haga presionará el botón "Continuar con Termoformado" para iniciar ese proceso



#### PANTALLA DE INICIO (TERMOFORMADO)

Al presionar el botón "Continuar con Termoformado" se iniciará el proceso de termoformado. Igualmente se muestra la temperatura y pilotos. Así mismo, se despliega el temporizador que servirá como referencia al operador.



#### PANTALLA DE INICIO (TERMOFORMADO)

Al completarse el tiempo referencial de termoformado aparecerá un mensaje parpadeante para advertir al operador. Sin embargo, el tamaño de la burbuja se tendrá que verificar por el operario en todo el proceso de termoformado.

## DATOS ADICIONALES SOBRE HMI



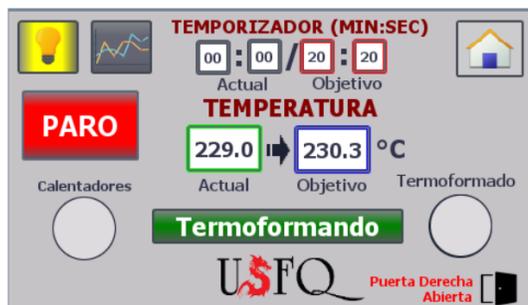
#### PANTALLA DE INICIO

Al llegar a la temperatura deseada los calentadores se apagan por lo que el piloto también lo hace.



#### GRÁFICO

En cualquiera de los procesos se puede presionar el botón que hace referencia al gráfico con el fin de observar cómo cambia la temperatura a lo largo del tiempo. La línea roja es el máximo punto que se puede alcanzar por el fusible, la verde es la temperatura actual y la azul es la temperatura objetivo.



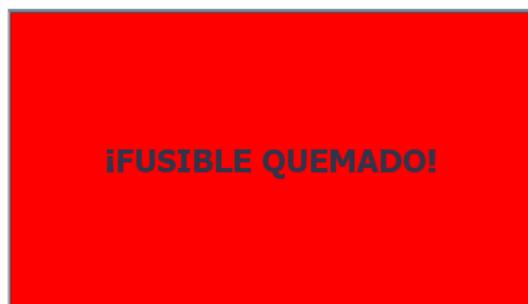
#### PANTALLA DE INICIO (PUERTA ABIERTA)

Al momento de realizar cualquiera de los procesos, si por algún motivo se abre alguna de las puertas el proceso se detiene y aparece el mensaje de puerta abierta. El proceso se retoma si se cierra la puerta.



#### PARO DE EMERGENCIA

Al presionar el paro de emergencia aparecerá esta pantalla y las luces se encenderán. Al quitar el paro de emergencia todos los procesos se reinician al estado inicial.



#### FUSIBLE QUEMADO

Si por algún motivo se sobrepasa la carga del fusible (300°C) este se quemará y aparecerá esta pantalla. La pantalla no desaparece hasta que se coloque un nuevo fusible. Si se desea llegar a temperaturas superiores a 300°C se debe realizar un "bypass" al fusible.

## 06 MANTENIMIENTO



### FIBRA DE VIDRIO

La fibra de vidrio tiene aproximadamente una vida útil de 20-30 años. No obstante, el desgaste que sufre por el calentamiento de la cámara interna obliga a mantenerla en proceso de encerado de uso marino.

La cera de autos no es efectiva en este caso debido a su poca capacidad para rellenar los poros de la capa de gel de la fibra.

Es importante revisar que no queden astillas o elementos de suciedad que fomenten la oxidación de la fibra de vidrio al estar sometida al calentamiento.

Se recomienda realizar el encerado de la fibra de vidrio de forma regular en función de un alto uso del horno.



### CABLE TERMORESISTENTE

El cable utilizado en las conexiones eléctricas de los circuitos posee un recubrimiento que le permite resistir altas temperaturas en seguidos ciclos de operación.

Por ende, es importante revisar el estado del recubrimiento semanalmente con el objetivo de comprobar la conductividad de los circuitos.



### LIMPIEZA DEL HORNO

Si por algún en algún proceso con el horno se derrama el plástico, este caerá sobre la bandeja inferior dentro del horno. Por esto es importante seguir los pasos de manejo del horno, para evitar derrames directo en el horno y poder limpiarlo de una manera más sencilla

# 07 PRECAUCIÓN

## INSTALACIÓN Y UBICACIÓN

- Asegurarse que el horno esté instalado en una área libre de materiales inflamables.
- No exponer el horno a la humedad.
- No instalar cerca de fuentes de agua.

## CONEXIÓN ELÉCTRICA

- Verificar una conexión adecuada de acuerdo a las especificaciones del horno.

## USO Y OPERACIÓN

- No tocar la superficie del horno mientras que esté en funcionamiento.
- Usar equipo adecuado para manipular objetos calientes dentro del horno (guantes,, gafas, etc.).

## CONTROL DE TEMPERATURA

- Supervisar la temperatura del horno en el HMI.
- Evitar superar temperaturas mayores a las establecidas para no comprometer a los componentes del horno.

## SITUACIONES DE EMERGENCIA

- Desconectar el horno de la fuente de energía antes de intentar cualquier intervención.
- Si se detecta un fallo en el sistema de control, detenga el horno y no intente repararlo sin el personal autorizado.
- En caso de incendios, utilice el extintor adecuado para aparatos eléctricos.



## ADVERTENCIAS GENERALES

- Siga las instrucciones y especificaciones técnicas provistas por el fabricante.
- No utilice el horno para propósitos distintos a los especificados, como la cocción de alimentos o el secado de otros materiales.

## 8.6. Discusión

A lo largo del desarrollo del horno se pudo encontrar aspectos importantes a destacar. En primer lugar, la selección del material se basó en criterios ingenieriles como la facilidad de adquisición o costo y las propiedades mecánicas-térmicas adecuadas para evitar pérdidas innecesarias. El ejemplo de esto se observa en la fuente de calor. Este aspecto tuvo alternativas como lámparas infrarrojas, gas y resistencias eléctricas de las cuales las lámparas infrarrojas obtuvieron el mayor puntaje debido a las altas temperaturas que puede llegar mientras se regula el voltaje por medio de un circuito de control. Por otro lado, se encontró que los resultados de las simulaciones van de acuerdo con la teoría utilizada en los cálculos manuales. Según el análisis de elemento finitos térmico en *Ansys*, existe un mayor flujo de calor en la cara superior de la caja interna debido a que las lámparas infrarrojas están ubicadas en ese punto, mientras que la cara inferior posee ligeramente un menor flujo de calor que aquella. Esto se demuestra también en función del coeficiente de convección en donde la parte superior refleja el mayor de todos. De ahí, en la sección estructural, el material seleccionado fue un acero inoxidable AISI 430 el cual es permitido y aceptado en proyectos donde se involucran elementos a emplearse en humanos. Asimismo, este acero tiene la capacidad de resistir 31 [kN] permitiendo soportar el peso completo de todo el cuerpo del horno y sus componentes electrónicos. En la simulación estructural se pudo corroborar esta afirmación, ya que la deformación máxima sufrida por una pata del horno es menor a un milímetro. Otro aspecto por destacar es el hecho que existen factores de seguridad altos. Se podría considerar geoméricamente sobredimensionados estos factores, pero lo más importante es que aquellos demuestran que tanto los materiales escogidos como el diseño del horno está dentro de las regulaciones ingenieriles para su respectiva aplicación.

## 8.7. Conclusiones

Gracias a los datos obtenidos con anterioridad, se pudo comprender que la selección de material para un horno de termoformado implica criterios tanto ingenieriles como financieros debido a que se tuvo que reducir la mayor cantidad de inversión posible sin afectar el objetivo necesario para calentar los termoplásticos para las prótesis. Por otro lado, las simulaciones corroboraron los cálculos teóricos de modo que se refleja una noción de los efectos físicos a los

cuales se somete el horno. En adición, existen factores de seguridad altos debido a la propia selección de materiales que aseguran la estabilidad y funcionamiento del horno para su objetivo.

Así mismo, las pruebas de uniformidad de temperatura realizadas en el sistema corroboraron la capacidad del horno para mantener un control térmico adecuado durante el proceso de calentamiento del termoplástico. Así, este control gradual resulta de suma importancia para garantizar que el material alcance de una forma homogénea la temperatura requerida, evitando puntos calientes o fríos que puedan comprometer la calidad del termoformado.

Finalmente, se pudo cumplir exitosamente el objetivo principal del horno, es decir se logró que el diseño del sistema de calentamiento sea capaz de llevar a cabo el proceso de termoformado y, por ende, se pudieron producir sockets protésicos.

### **8.8.Trabajos Futuros**

Para esta sección se tomaron tres temas principales: ajustar un PID con un PLC con salida analógica; cambiar al sensor a infrarrojo y ampliar el rango de procesos. De esta manera, en el proyecto actual, el PLC usa salidas digitales para controlar los calentadores de forma ON/OFF, lo que genera ciertas fluctuaciones indeseadas, un trabajo futuro sería implementar un PID basándose en los datos del modelo de primer orden con retardo, acompañado con un PLC con salidas analógicas que permita un control gradual y más preciso de la potencia. Del mismo modo, en el horno actual se usa un termopar para medir únicamente la temperatura del ambiente en el horno, por tanto, a futuro se plantea integrar un sensor infrarrojo que permita medir directamente la temperatura del plástico, aunque tiene un costo elevado, esto mejoraría el control térmico al garantizar que el plástico trabaje en su ventana de temperatura adecuada. Finalmente, el horno está diseñado para termoformar plásticos, pero a futuro se puede adaptar otros procesos térmicos útiles para la carrera de Ingeniería Mecánica, por ejemplo, tratamientos térmicos o experimentos de caracterización de materiales. Así, esto requiere ajustar el control para alcanzar temperaturas más elevadas y adaptar el diseño interno para soportar otros materiales.

### Referencias

- Akwasi, O. (2017). Design and Manufacturing of A Benchtop Thermoforming Machine. [Requirements for the Degree of Bachelor of Science in Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology]. Dspace MIT.  
<https://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/112552/1012945874-MIT.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Anayo, Cornelius. (2021). Economic Design, Fabrication, and Performance Evaluation of Conventional Ovens Made of Glass-Fiber-Reinforced Thermoset Composites. *Makara Journal of Technology*, 25(3). 125-132. DOI: 10.7454/mst.v25i3.3853
- Andrieu, S., Schmidt, F & Maoult, Y. (2019). Experimental and numerical infrared heating of thermoplastic sheet during thermoforming process. *Polymer Processing Society 20th anniversary celebration, Jun 2004, Akron (Ohio), United States*. 9 p. <https://hal.science/hal-01796841>
- Ashter, S. (2014). *Thermoforming of Single and Multilayer Laminates: Plastic Films Technologies, Testing and Applications*. ELSEVIER. ISBN: 978-1-4557-3172-5.
- Baldock, M., Pickard, N., Prince, M., Kirkwood, S., Chadwell, A., Howard, D., Dickinson, A., Kenney, L., Gill, N., & Curtin, S. (2023). Adjustable prosthetic sockets: a systematic review of industrial and research design characteristics and their justifications. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 20(1), 147. <https://doi.org/10.1186/s12984-023-01270-0>
- Bergman, T., Lavine, A., Incropera, F., & DeWitt, D. (2018). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (Wiley (ed.); 8th ed.).
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2015). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Tenth Edit). McGraw-Hill Education.
- Buffel, B., Amerijckx, M., Hamblok, M., van Mieghem, B., Desplentere, F., & Van Bael, A. (2015). Experimental and Computational Analysis of the Heating Step during Thermoforming of Thermoplastics. *Key Engineering Materials*, 651–653, 1003–1008. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.651-653.1003>

- Castro, L., & Cortés, J. (2022). Modelo matemático de un horno resistivo para termoformado de láminas de polipropileno. *Ingenius*, 28, 80–91. <https://doi.org/10.17163/ings.n28.2022.08>
- CHILEXPO. (n.d.). AISI 430. <https://www.chilexpo.com/calidad/430-2/>
- Gariboldi, F., Cutti, A. G., Fatone, S., Nickel, E., Dickinson, A., Steer, J., Erenstone, J., & Zahedi, S. (2023). Mechanical testing of transtibial prosthetic sockets: A discussion paper from the American Orthotic and Prosthetic Association Socket Guidance Workgroup. *Prosthetics & Orthotics International*, 47(1), 3–12. <https://doi.org/10.1097/PXR.0000000000000222>
- Gauthier, G. & Boulet, B. (2008). Robust Design of Terminal ILC with  $H_\infty$  Mixed Sensitivity: Approach for a Thermoforming Oven. *Journal of Control Science and Engineering*, 2008(6). 1-6. doi:10.1155/2008/289391
- IHT. (n.d.). *Infrared Convection Combination Ovens*. <https://www.infraredheating.com/portfolio/convection-combination-ovens/>
- Jaramillo, P. & Peralta P. (2022). Diseño de un horno para procesos de tratamiento térmico. [Trabajo de titulación, Universidad Politecnica Salesiana]. Repositorio UPS.
- Klein, P. (2009). Fundamentals of Plastics Thermoforming. *Synthesis Lectures on Materials Engineering*, 1(1), 1–97. <https://doi.org/10.2200/S00184ED1V01Y200904MRE001>
- PLASTIGLAS. (2019). *Manual Técnico Termoformado*. UNIGEL. [https://www.plastiglas.com.mx/pdfs/literatura/Manual\\_termoformado.pdf](https://www.plastiglas.com.mx/pdfs/literatura/Manual_termoformado.pdf)
- TECNOL. (2020). *Diccionario sobre aislamiento térmico*. <https://tecnol.es/shop/tecnol-basics/es/blog/post/diccionario-sobre-aislamiento-termico.html>
- Throne, J. (2024). Thermoforming. In *Applied Plastics Engineering Handbook* (Vol. 187, pp. 449–480). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88667-3.00001-1>
- Throne, J. (2011). Thermoforming. In *Applied plastics engineering handbook* (pp. 347-348). William Andrew Publishing.
- Sadler, M. (2023). *Understanding Safety Differences: Ceramic Fibre vs. Glass Fibre - A Comparative Analysis*. Gamasco Ltd; Gamasco Ltd.

<https://gamasco.co.uk/blogs/news/understanding-safety-differences-ceramic-fibre-vs-glass-fibre-a-comparative-analysis?srsId=AfmBOoqcIVMyT9VxZEtsuBQsJcSiNOWeETasYuipGjv6gcUn3tUu49cV>

Wasmi, T. [Dr. Tawfeeq Wasmi Mohammed Salih]. (2021). *Insulation Materials: Fundamentals and applications* (1st ed.). Mustansiriyah University.

[https://www.researchgate.net/publication/350905688\\_Insulation\\_materials\\_Fundamentals\\_and\\_Applications](https://www.researchgate.net/publication/350905688_Insulation_materials_Fundamentals_and_Applications)

Wasmi, T. [Dr. Tawfeeq Wasmi M. Salih]. (2015). Insulation materials. *Ministry of Higher Education and Scientific Research*, 6.

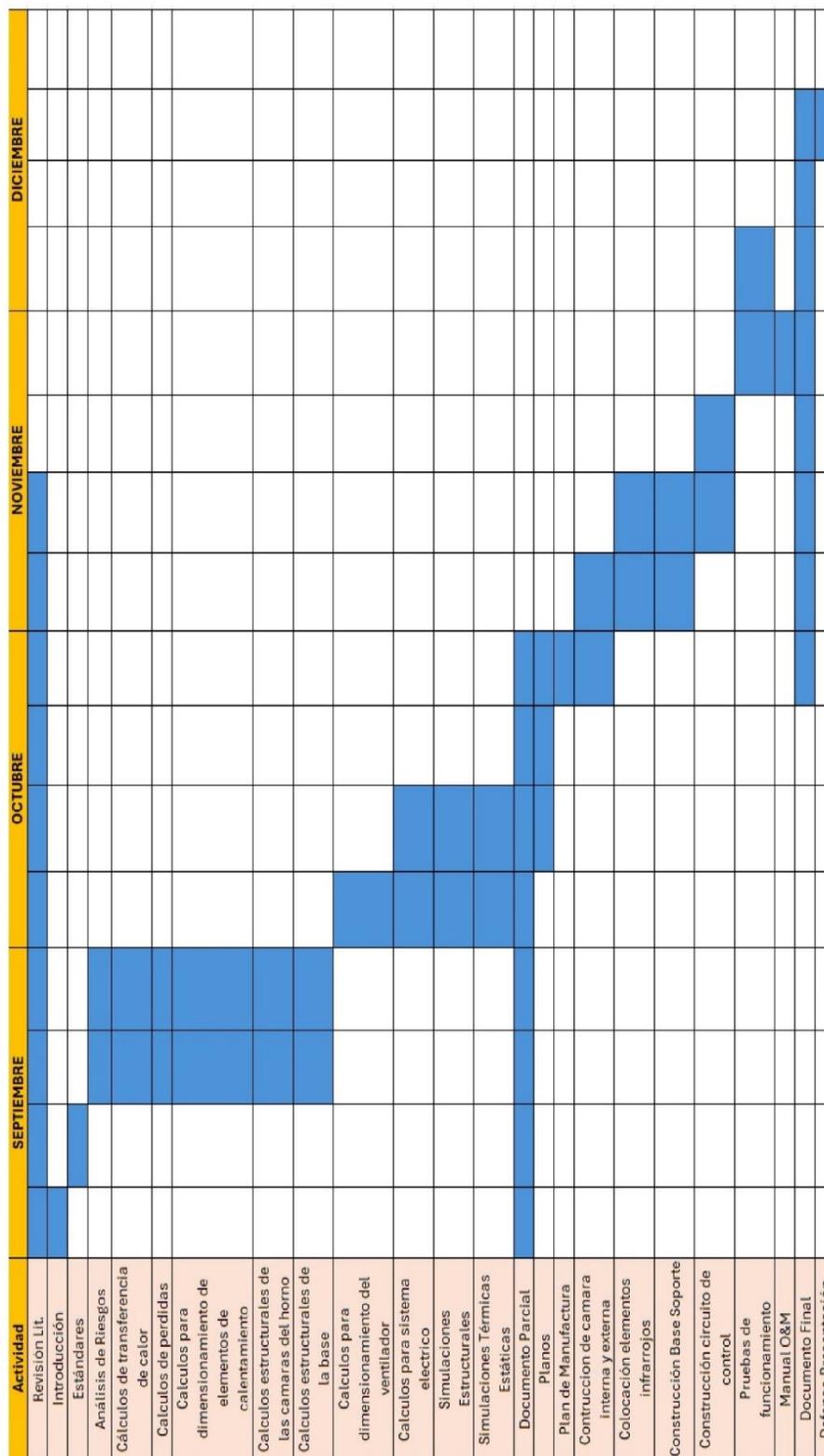
[https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5\\_2016\\_04\\_20!10\\_55\\_39\\_AM.pdf](https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/5/5_2016_04_20!10_55_39_AM.pdf)

Zhang, Maohua., Chen, Weimeng., Zhang, Wenkai. (2018). *Plastic product thermoforming machine*. Pennsylvania State University.

## ANEXOS

### ANEXO A: Gestión de Proyecto

**Diagrama de Gantt**



# PRESUPUESTO

## MATERIALES

Materiales		Precio (\$)
Descripción		
Plancha de acero 430 2mm/1mm		287.71
Lámparas infrarrojas		298.58
Fibra de vidrio		68.80
Vidrio templado		10.36
Soporte de lámpara de horno		39.56
Bombilla para horno		8.20
Cinta de junta horno		12.15
Pestillos de retención de rodillo		12.18
24VDC Easy To Install Rail Power Supply		40.57
Thermal Fuse 10A 250V Temperature (300 Degree)		25.60
Thermal Fuse 10A 250V Temperature (260 Degree)		25.60
Siemens 6ES7231-5QD32-0XB0, modulo termocupla		160.50
SIEMENS 6AV2123-2DB03-0AX0 TOUCH PANEL		209.68
Siemens Module 6ES7 211-1AE40-0XB0 6ES7211-1AE40-0XB0, PCL		157.29
Fusible de corte térmico		18.18
Solid State Relay		22.34
TCELEC TCE-K05H5-100 K-Type Thermocouple Sensor Probe		15.72
Pernos, tuercas, arandela y arandela de presión		63.34
Cable siliconado		120.35
Manijas puerta		13.50
Bisagras de 1/2 in		10.00
Botón paro de emergencia		4.35
Micro switch		8.68
Breaker 40A		7.24
Agarraderas armazón		7.00
<b>Total</b>		<b>1657.83</b>

## SERVICIOS

Servicios		Precio (\$)
Descripción		
Corte laser		172.75
Doblado de acero		89.90
Soldador		700.00
Ingeniero eléctrico (Programación PLC)		1200.00
Ingeniero mecánico (Diseño)		1200.00
Grabado laser		25.00
<b>Total</b>		<b>3387.65</b>

## COSTO TOTAL

Costo total		Precio (\$)
Descripción		
Materiales		1657.83
Servicios		3387.65
<b>Total</b>		<b>5045.48</b>

## ANEXO B: Códigos de Matlab

```

1 clear variables;
2 close all;
3 clc;
4
5 %% Datos experimentales
6
7 [data] = xlsread('Curva');
8 plot(data(:,1),data(:,2),'g','LineWidth',1.5, 'DisplayName','Datos Experimentales'); hold on
9 plot(data(:,1),data(:,3),'r','LineWidth',1.5,'DisplayName','Datos Experimentales'); hold on
10 legend('Temperatura Real','Setpoint', 'Location', 'southeast');
11 ylabel('Temperatura [C]');
12 xlabel('Tiempo [s]')
13 title('Gráfica Temperatura vs Tiempo');
14
15 %% Modelo matemático
16
17 syms s;
18 tiempo = linspace(0,4000);
19 alpha = 0.895;
20 Cp = 1105;
21 m = 10;
22 P = 5000;
23 Tamb = 23;
24 Ti = Tamb + 273.15;
25 e = 0.9;
26 A = (0.8*0.82)*6
27 sigma = 5.67e-8;
28 %
29 To = (alpha/(m*Cp))/(s+((4*A*e*sigma*Ti^3 + 0.4919)/(m*Cp)))
30 KK=alpha/(m*Cp)
31 Q = P/s
32 TF = To*Q
33
34 T = ilaplace(TF)
35 pretty(T)
36
37 t_val = subs(T,tiempo);
38 plot(tiempo, t_val,'k','LineWidth',1.5,'DisplayName','Modelo Matemático'); hold on
39

```

```

40 ylabel('Temperatura [C]')
41 xlabel('Tiempo [s]')
42 legend('Location','southeast')
43 grid on
44
45 %% Aprox 1er Orden con retardo
46
47 Temperatura = data(:,2); %revisar posicion excel
48 Tiempo = data(:,1); %revisar posicion excel
49
50 DeltaT = Temperatura(end)-Temperatura(1)
51 Temperatura(end)
52 Temperatura(1)
53
54 Temperatura_63_2 = Temperatura(1) + 0.632 * DeltaT
55 Tiempo_63_2 = Tiempo(find(Temperatura >= Temperatura_63_2,1))
56
57 Temperatura_28_3 = Temperatura(1) + 0.283 * DeltaT
58 Tiempo_28_3 = Tiempo(find(Temperatura >= Temperatura_28_3,1))
59
60 DeltaQ = P;
61
62 K = DeltaT/DeltaQ
63 t1 = Tiempo_28_3
64 t2 = Tiempo_63_2
65 tau = 1.5*(t2-t1)
66 t0 = t2 -tau
67
68 G_po = K/((tau*s)+1)*exp(-t0*s);
69 TFpo = G_po*Q;
70
71 T_po = ilaplace(TFpo)+ Tamb
72 pretty(T_po)
73
74 t_val_po = subs(T_po,tiempo)
75
76 plot(tiempo, t_val_po,'m','LineWidth',1.5,'DisplayName','Modelo Primer Orden con Retardo'); hold

```

## ANEXO C: Facturas de compra

COMERCIAL KYWI S.A.  
 RUC 1790041220001  
 GRAN CONTRIBUYENTE  
 NAC-GCFDI0C21-00000890-E  
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL-RESOL. SRI 5368  
 AGENCIA 15 (MEGAKYWI UTO)  
 Sucursal : ELOY ALFARO N52-46B Y PASAJE  
 GUILLERMO MENSI  
 Telf: 022403594 022403591 QUITO  
 FACTURA ELECTRONICA N. 015-915-000010861  
 S-150

Sr(s). PATRICIO CHIRIBOGA  
 Cliente: 888885-000000  
 Id : 1710634641  
 Direc : PASAJE CARLOS GUEVARA  
 Telf : 0002268432 TUMBACO  
 Fecha de Emision : 26/NOV/2024 12:18:58  
 Vend: VENTAS ALMACEN

---

7862113530095  
 LANA VIDRIO 50MMX120CMX15M OWENS RT  
 288179 59,826087 1 59,83

---

SUBTOTAL	59,83
DESCUENTO Tarifa IVA	0,00
DESCUENTO Tarifa 0%	0,00
TOTAL SIN IVA	59,83
Vta.tarifa 15%	59,83
Total Vta.Neta	59,83
+ IVA Tar. 15%	8,97
TOTAL A PAGAR	68,80

---

IVA BIENES	8,97
IVA SERVICIOS	0,00

---

Forma de Pago:  
 MOTA-CREDI R: 15915000074864 68,80

# ORDEN: Ident: 70/22/0322/01

Estimado cliente:  
 Le invitamos a visitar nuestra tienda en  
 linea: <https://www.kywi.com.ec/>  
 Consulte sus facturas electronicas de  
 C O M E R C I A L K Y W I S . A . en  
[www.kywi.com.ec/facturacion-electronica](http://www.kywi.com.ec/facturacion-electronica)  
 o ingresando a la pagina web del SRI con  
 Clave de Acceso SRI 2611202401179004122  
 000120159150000108611790041219  
 Facturacion Electronica al 02-3987-970  
 \*\*\*\*\*  
 PARA INFORMACION Y CONSULTAS  
 CONTACTENOS AL 1700-150-150  
 Lunes a Sabado de 08h00 a 20h00  
 Domingos y feriados de 10h00 a 19h00  
 \*\*\*\*\* [www.kywi.com.ec](http://www.kywi.com.ec) \*\*\*\*\*

# METALMET

ACEROS INDUSTRIALES

R.U.C.: 1715998983001

**FACTURA**

No. 005-100-000005566

Número de Autorización:  
2810202401171599898300120051000000055661234567810

FECHA Y HORA DE AUTORIZACIÓN:  
2024-10-28T16:35:37

Ambiente: Producción  
Emisión: Normal

CLAVE DE ACCESO:

2810202401171599898300120051000000055661234567810



**HERRERA AGUIRRE SANDRA MARGARITA**  
METALMET

Dir Matriz: CUTUGLAHUA LOTE 1 - PANAMERICANA SUR

Dir Sucursal: CUTUGLAHUA - LTJ

Teléfono: 023077121-0998171732

Contribuyente Especial Nro:

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Razón Social/ Nombres y Apellidos: CHIRIBOGA ARROYO PATRICIO GABRIEL  
Identificación: 1710634641  
Fecha Emisión: 28/10/2024  
Vendedor: NORTE VENTAS

CANTIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	DETALLE ADICIONAL	PRECIO UNITARIO	DESCUENTO	PRECIO TOTAL
2.0000	ABP2MM	FLANCHA A/I BRILLANTE PULIDA 2MM (430N42MM)		82.3071	0.00	164.61
2.0000	ABP1MM	FLANCHA A/I BRILLANTE PULIDA 1MM (430N41MM)		42.7836	0.00	85.57

Información Adicional del Cliente

Dirección: FICHINCHA / QUITO / LA CONCEPCIÓN / CUMBAYA

Teléfono: 098 789 2785

Email: lucasordonez@yahoo.com

SUBTOTAL 15 %	250.18
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL No Objeto De IVA	0.00
SUBTOTAL Exento De IVA	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	250.18
TOTAL DESCUENTO	0.00
ICE	0.00
IVA 15 %	37.53
IRBPNR	0.00
PROPINA	0.00
VALOR TOTAL	287.71
VALOR A PAGAR	287.71

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
20-OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	287.71	0	Días

Notas:

FICHINCHA ING34490

DICOMTEK DISTRIBUIDORA DE COMPONENTES

TECNICOS DE INGENIERIA CIA. LTDA.

Av. Eloy Alfaro N52-300 y Ramón Borja

Teléfono: 2410312 / 2410392 SI

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD

Cliente: CHIRIBOGA PATRICIO

CI / RUC : 1710634641

Teléf: 0987892785

Dirección: CUMBAYA

Ciudad: CUMBAYA

O / C:

Código Alterno Cant. Descripción

Código	Alterno	Cant.	Descripción	P. Unit.	Dscto.	P. Total
PIHN033	10 45 040 02	20	PERNO ALLEN Acero Inox.cabeza cilíndrica M 4-0.7 X 20	0.12	0.00	2.49
PIHN034	10 45 040 02	20	PERNO ALLEN Acero Inox.cabeza cilíndrica M 4-0.7 X 25	0.13	0.00	2.68
TIAM198	.	30	TUERCA ACERO INOXIDABLE M 4 - 0.7	0.03	0.00	1.04
AIAI001	.	20	ARANDELA PRESION Acero Inox. 0.16 ( 5/32 - M4 )	0.03	0.00	0.54
APAI006	&	40	ARANDELA PLANA Acero Inox. 0.16 ( 5/32 - M4 )	0.03	0.00	1.07

No. Suj IVA	Sujeto a IVA	IVA 15%	VALOR TOTAL
	7.82	1.17	9.00

Recibido por:

Forma de Pago: OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO Valor: 9.00

AGENTE DE RETENCION / RESOLUCION NAC-DNCRASC20-00000001

DICOMTEK DISTRIBUIDORA DE COMPONENTES  
 TECNICOS DE INGENIERIA CIA. LTDA.  
 Av. Eloy Alfaro N52-300 y Ramón Borja  
 Teléfono: 2410312 / 2410392 SI  
 OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD  
 Cliente: CHIRIBOGA PATRICIO  
 CI / RUC : 1710634641 Teléf: 0987892785  
 Dirección: CUMBAYA  
 Ciudad: CUMBAYA O / C:  
 Código Alerno Cant. Descripción P. Unit. Dscto. P. Total

RUC: 1792623219001  
 FACTURA 001001000284149  
 CLAVE DE ACCESO 3010202401179262321900120010010002841491234567816  
 AMBIENTE: PRODUCCION EMISIÓN NORMAL  
 Fecha / Hora: 30/10/2024 13:25:00  
 Correo: lfv00@hotmail.com  
 Cobro: Tarjeta Vencimiento: [30/10/24] 2(D)

Código	Alerno	Cant.	Descripción	P. Unit.	Dscto.	P. Total
PIIM159	23224	15	PERNO ACERO INOX. M10-1.50 X 50	0.90	0.00	13.50
TIAM350	23239	15	TUERCA ACERO INOXIDABLE M10 - 1.5	0.22	0.00	3.33

Medlanet  
 DICOMTEK CIA LTDA  
 RUC: 1792623219001  
 - ROTATIVO -  
 TRANSACCION # 001522 AUTORIZACION Y CANCELACION  
 TOTAL: \$ 19.35  
 VISA DEBITO 43810864XXXX545  
 30/10/24 13:25:37  
 QUITO - ECUADOR  
 POLITICAS DE DEVOLUCION SEGUN EL COMERCIO  
 VISA DEBITO  
 AID: 40000000031010  
 Nombre: PAYAVE/VISA  
 - COMPROBANTE -

Forma de Pago: TARJETA CREDITO  
 RESOLUCION NAC-DNCRASC20-00000001

No Suj IVA	Sujeto a IVA	IVA 15%	VALOR TOTAL
	16.83	2.52	19.35
			Valor: 19.35



**ARISTA**

La mejor opción en vidrio

Cliente: CHIRIBOGA PATRICIO  
 Dirección Matriz: CUMBAYA  
 Identificación: 1710634641  
 Fecha de Emisión: 05/11/2024  
 E-mail: lucasordonez@yahoo.com

LUIS ALFONSO DAVALOS AYALA  
 DE LOS CIPRESES N65-31 Y MANUEL AMBROSI  
 R.U.C.: 1701215798001  
 e-mail: contabilidad@arista.ec  
 Teléfono: 023464280

FACTURA

No.: 002 - 001 - 000077524

NUMERO DE AUTORIZACION:  
 0511202401170121579800120020010000775241234567817  
 FECHA Y HORA DE AUTORIZACION:  
 AMBIENTE: PRODUCCIÓN  
 EMISION: NORMAL

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI  
 Agente de Retención Resolución No. 1

Clave de acceso:



0511202401170121579800120020010000775241234567817

SEGUN PROFORMA(S) No. 106224 DEL 28/10/2024 OP 88441

Cant	Descripción	Precio Unitario	Precio Total
2	VIDRIO 08mm + SERVICIOS 2 = 210 X 310 2 = 210 X 310	9.0000	18.00

Debo incondicionalmente a la orden de LUIS ALFONSO DAVALOS AYALA el valor expresado en este documento más el máximo interés legal por mora, vigente en el Sistema Financiero Nacional desde la fecha de vencimiento, SIN PROTESTO, eximase de presentación para el pago, así como la falta de estos nechos. Acepto que LUIS ALFONSO DAVALOS AYALA, ceda y transfiera en cualquier momento los derechos que emanan de la presente factura sin que sea necesaria notificación alguna ni nueva aceptación de mi parte. Suscribo la presente factura en conformidad con todos sus términos.

SUBTOTAL 15%	18.00
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	18.00
TOTAL DESCUENTO	0.00
IVA 15%	2.70
VALOR TOTAL	20.70

Forma de Pago	Valor	Plazo	Tiempo
ENDOSO DE TITULOS	20.70	0	Ninguno

**ARISTA****CANCELADO**

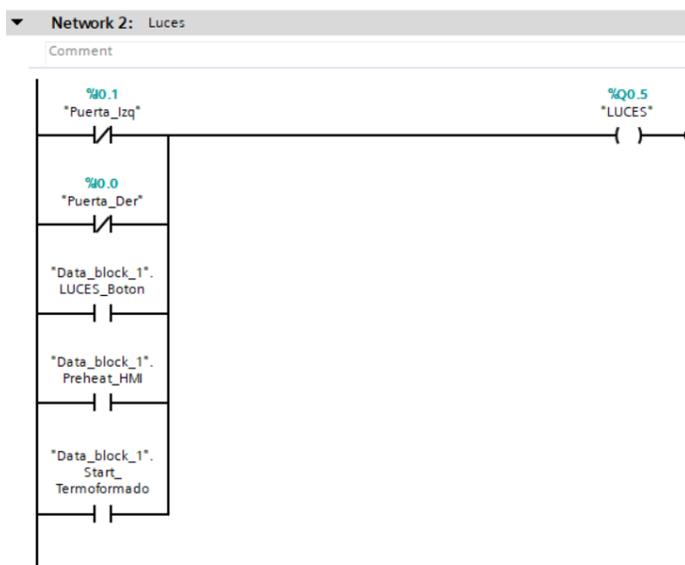
Fecha: .....

## ANEXO D: Programa PLC TIA PORTAL

The screenshot displays the Siemens TIA Portal interface for a PLC program. The main workspace shows two networks:

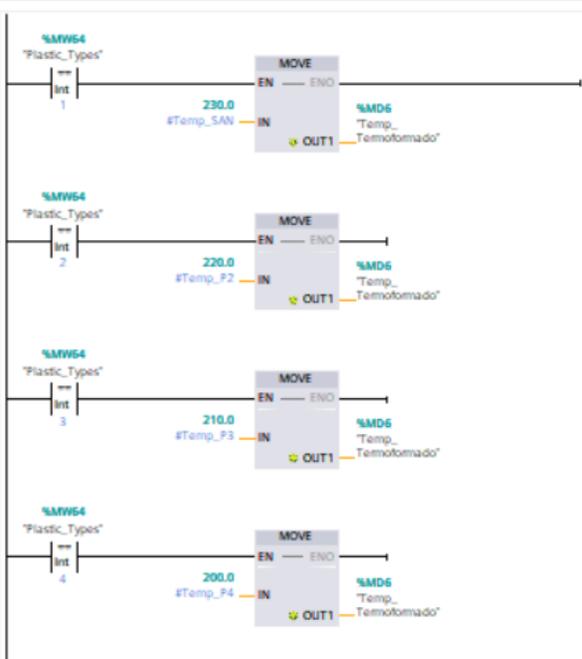
- Network 1: Run\_Programa**: Contains a ladder logic network with the following elements:
  - Input: %I 0.4 "Fusible" (Normally Open contact)
  - Input: %I 0.2 "Paro\_Emergencia" (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".STOP (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".Start\_Programa (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".Run\_Programa (Normally Open contact)
  - Output: "Data\_block\_1".Run\_Programa (Coil)
- Network 2: Luces**: Contains a ladder logic network with the following elements:
  - Input: %I 0.1 "Puerta\_Izq" (Normally Open contact)
  - Input: %I 0.0 "Puerta\_Der" (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".LUCES\_Boton (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".Preheat\_HMI (Normally Open contact)
  - Input: "Data\_block\_1".Start\_Termoformado (Normally Open contact)
  - Output: %Q 0.5 "LUCES" (Coil)

The interface also shows a project tree on the left, a toolbar at the top, and a right-hand sidebar with various toolbars and instruction lists.



### Network 3: SeleccionPlastico

Comment



### Network 4: SeleccionEspesor

Comment

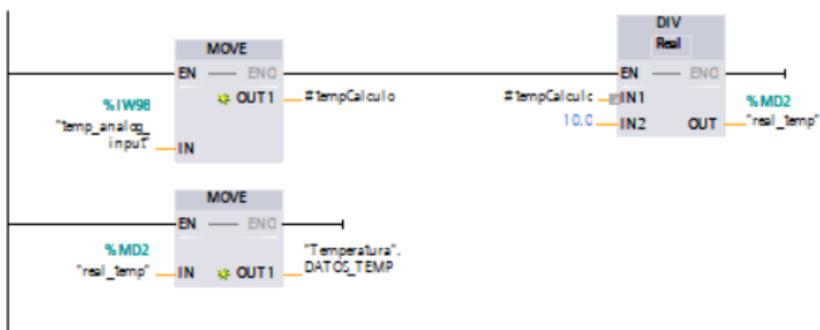
```

1
2 IP ("Plastic_Types" >= 1 AND "Plastic_Types" <= 4) THEN
3   "TiemposMatrix".Plindex := "Plastic_Types";
4 ELSE
5
6   "TiemposMatrix".Plindex := 1; // Valor predeterminado
7 END_IP;
8
9 IP ("Espesor_Plastico" >= 1 AND "Espesor_Plastico" <= 13) THEN
10  "TiemposMatrix".Espindex := "Espesor_Plastico";
11 ELSE
12
13  "TiemposMatrix".Espindex := 1; // Valor predeterminado
14 END_IP;
15
16 "TiemposMatrix".Tiempo_Espesor := "TiemposMatrix".Esp_Time_Array["TiemposMatrix".Plindex, "TiemposMatrix".Espindex];
17
18

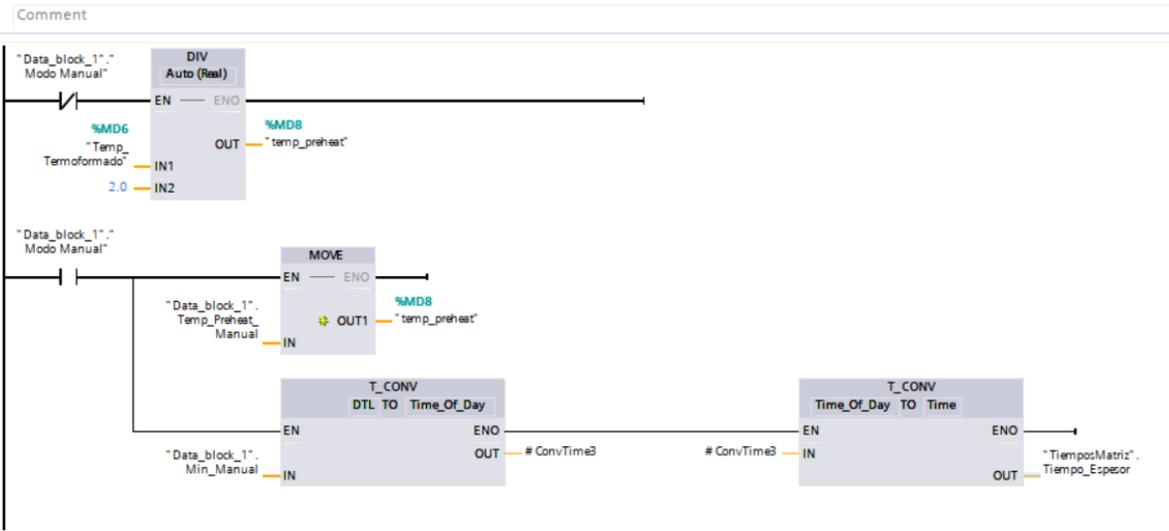
```

### Network 5: Lectura

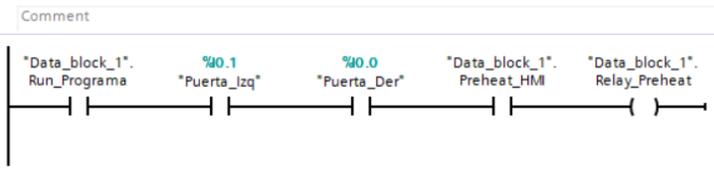
Comment



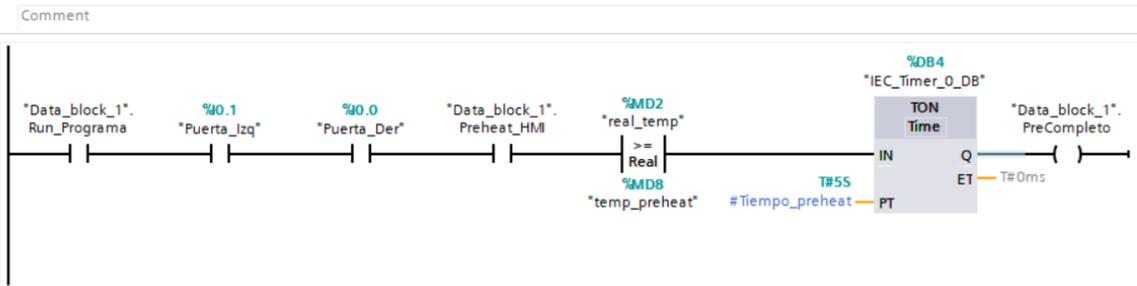
**Network 6: Temp preheat**



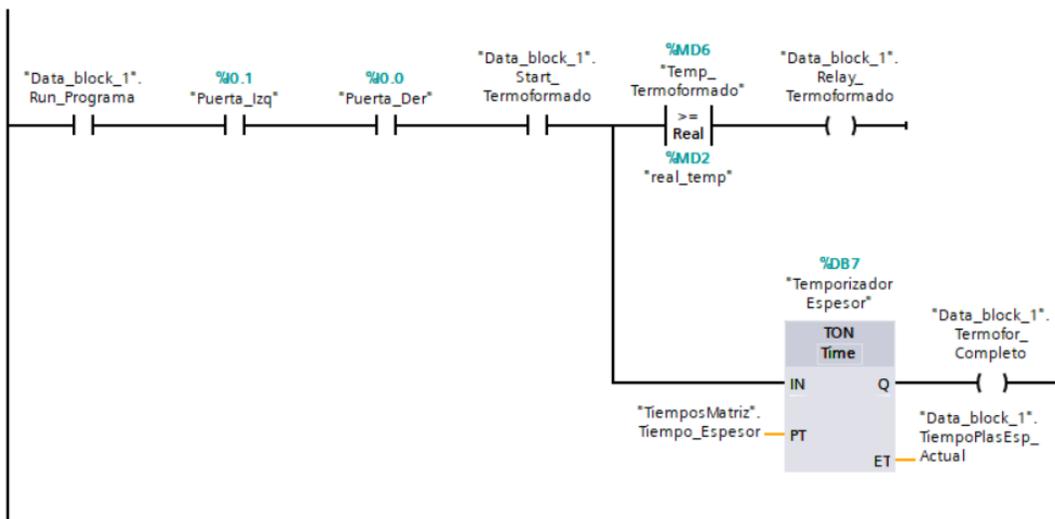
**Network 7: Preheat1**



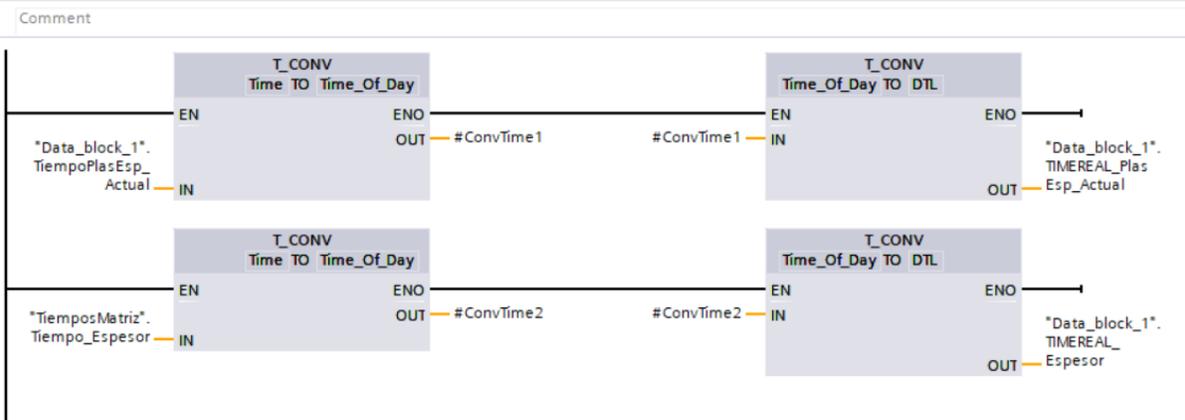
**Network 8: Preheat2**



**Network 9: Control**



**Network 10: Conversiones**



**Network 11: Relay\_Resistencias**



**Network 12: Puertas\_Estado**



Data_block_1									
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Start_Programa	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Run_Programa	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Preheat_HMI	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Start_Termoformado	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Relay_Termoformado	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Relay_Preheat	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	PreCompleto	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	STOP	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	LUCES_Boton	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	TiempoPlasEsp_Actual	Time	T#0ms	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	TIMEREAL_PlusEsp_Ac...	DTL	DTL#1970-01-01-4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Esp_Actual_Texto	String	"	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	TIMEREAL_Espesor	DTL	DTL#1970-01-01-4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Modo Manual	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	Temp_Preheat_Manual	Real	50.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	Min_Manual	DTL	DTL#1970-01-...	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	Termofor_Completo	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	Puertas_Estado	Bool	false	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	Temp_max	Int	300	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

TiemposMatriz									
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Comment
1	Static			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	Esp_Time_Array	Array[1..4, 1...		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#14M_30S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#15M_13S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#15M_57S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#16M_41S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#17M_25S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#18M_9S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#18M_53S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#19M_36S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
11	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#20M_20S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
12	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#21M_4S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
13	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#21M_47S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
14	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#22M_31S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
15	Esp_Time_Array[1,...	Time	T#23M_15S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
16	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#13M_47S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
17	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#14M_29S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
18	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#15M_11S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
19	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#15M_52S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
20	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#16M_34S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
21	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#17M_15S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
22	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#17M_57S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
23	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#18M_39S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
24	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#19M_20S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
25	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#20M_2S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
26	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#20M_44S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
27	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#21M_25S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
28	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#22M_7S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
29	Esp_Time_Array[2,...	Time	T#22M_5S	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Tesis ▶ PLC\_1 [CPU 1212C DC/DC/DC] ▶ PLC tags

Tags User constants System

PLC tags

	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Acces...	Writa...	Visibl...	Comment
1	temp_analog_input	Default tag table	Int	%IW98	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	temperature	Default tag table	Int	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	real_temp	Default tag table	Real	%MD2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	relay_resistencias	Default tag table	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Plastic_Types	Default tag table	Int	%MW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	Temp_Termoformado	Default tag table	Real	%MD6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	LUCES	Default tag table	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	TiempoReferencia	Default tag table	Bool	%M0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
9	Espesor_Plastico	Default tag table	Int	%MW66	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
10	Tiempo_Conto_Termo	Default tag table	Time	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
11	temp_preheat	Default tag table	Real	%MD8	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
12	Puerta_Izq	Default tag table	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
13	Puerta_Der	Default tag table	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
14	Paro_Emergencia	Default tag table	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
15	Fusible	Default tag table	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
16	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	

## ANEXO E: Códigos EES

```
EES Equations Window

"Plastico SAN"
Cp_plastico=1.5 [kJ/kg*K]
alpha_p = 100e-6 [1/C]
k_p = 0.21 [W/m*K]
Ti = 25 [C]
Tf = 230 [C]
rho_plastico = 1080 [kg/m^3]
E=0.013 [m]
L= 0.51 [m]
A=0.51 [m]

V_plastico = E*A*L
m_plastico = V_plastico*rho_plastico

Q_san = m_plastico*Cp_plastico*(Tf-Ti)

"Aletas (430)"
Cp_al=0.5 [kJ/kg*K]

alpha_al = 100e-6 [1/C]
k_al = 0.21 [W/m*K]

rho_al = 7800 [kg/m^3]
V_al = 0.00087 [m^3]
m_al = V_al*rho_al

Q_al = m_al*Cp_al*(Tf-Ti)

"Armazón (430)"
Cp_ba=0.5 [kJ/kg*K]
```

**Eq.** Equations Window

$$\alpha_{ba} = 100e-6 \text{ [1/C]}$$

$$k_{ba} = 0.21 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$\rho_{ba} = 7930 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$V_{ba} = 0.001 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m_{ba} = V_{ba} \cdot \rho_{ba}$$

$$Q_{ba} = m_{ba} \cdot C_{p_{ba}} \cdot (T_f - T_i)$$

"Calor cedido Total"

$$Q_{Tcedido} = Q_{san} + Q_{al} + Q_{ba}$$

"Potencia cedida Total"

$$t_0 = 3600/3 \text{ [s]}$$

$$W_{Tcedido} = (Q_{Tcedido}/t_0) \cdot 1000$$

"Pérdidas"

$$L_a = 0.002 \text{ [m]}$$

$$L_{fv} = 0.1 \text{ [m]}$$

$$k_a = 26.1 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$k_{fv} = 0.05 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$R_a = L_a/k_a$$

$$R_{fv} = L_{fv}/k_{fv}$$

$$h_{bi} = 1.77 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_{ti} = 8.76 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_{li} = 1.12 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_{bo} = 3.09 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_{to} = 0.86 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$h_{lo} = 0.78 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$Q_{base} = (T_f - T_i) / ((1/h_{bi}) + 2 \cdot R_a + R_{fv} + (1/h_{bo}))$$

$$Q_{top} = (T_f - T_i) / ((1/h_{ti}) + 2 \cdot R_a + R_{fv} + (1/h_{to}))$$

$$Q_{lateral} = (T_f - T_i) / ((1/h_{li}) + 2 \cdot R_a + R_{fv} + (1/h_{lo}))$$

### Eq. Equations Window

$$A_{\text{base}} = 0.42 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{top}} = 0.42 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_{\text{lateral}} = 0.27 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$W_{\text{base}} = Q_{\text{base}} * A_{\text{base}}$$

$$W_{\text{top}} = Q_{\text{top}} * A_{\text{top}}$$

$$W_{\text{lateral}} = Q_{\text{lateral}} * A_{\text{lateral}}$$

$$W_{\text{Tperdidas}} = W_{\text{base}} + W_{\text{top}} + 4 * W_{\text{lateral}}$$

#### "Potencia Necesaria"

$$W_{\text{TotalRequerida}} = W_{\text{Tcedido}} + W_{\text{Tperdidas}}$$

#### "Verificación"

$$T_{1b} = T_f - W_{\text{base}} * (1 / (A_{\text{base}} * h_{bi}))$$

$$T_{2b} = T_{1b} - W_{\text{base}} * (L_a / (A_{\text{base}} * k_a))$$

$$T_{3b} = T_{2b} - W_{\text{base}} * (L_{fv} / (A_{\text{base}} * k_{fv}))$$

$$T_{4b} = T_{3b} - W_{\text{base}} * (L_a / (A_{\text{base}} * k_a))$$

$$T_{5b} = T_{4b} - W_{\text{base}} * (1 / (A_{\text{base}} * h_{bo}))$$

$$T_{1t} = T_f - W_{\text{top}} * (1 / (A_{\text{top}} * h_{ti}))$$

$$T_{2t} = T_{1t} - W_{\text{top}} * (L_a / (A_{\text{top}} * k_a))$$

$$T_{3t} = T_{2t} - W_{\text{top}} * (L_{fv} / (A_{\text{top}} * k_{fv}))$$

$$T_{4t} = T_{3t} - W_{\text{top}} * (L_a / (A_{\text{top}} * k_a))$$

$$T_{5t} = T_{4t} - W_{\text{top}} * (1 / (A_{\text{top}} * h_{to}))$$

$$T_{1l} = T_f - W_{\text{lateral}} * (1 / (A_{\text{lateral}} * h_{li}))$$

$$T_{2l} = T_{1l} - W_{\text{lateral}} * (L_a / (A_{\text{lateral}} * k_a))$$

$$T_{3l} = T_{2l} - W_{\text{lateral}} * (L_{fv} / (A_{\text{lateral}} * k_{fv}))$$

$$T_{4l} = T_{3l} - W_{\text{lateral}} * (L_a / (A_{\text{lateral}} * k_a))$$

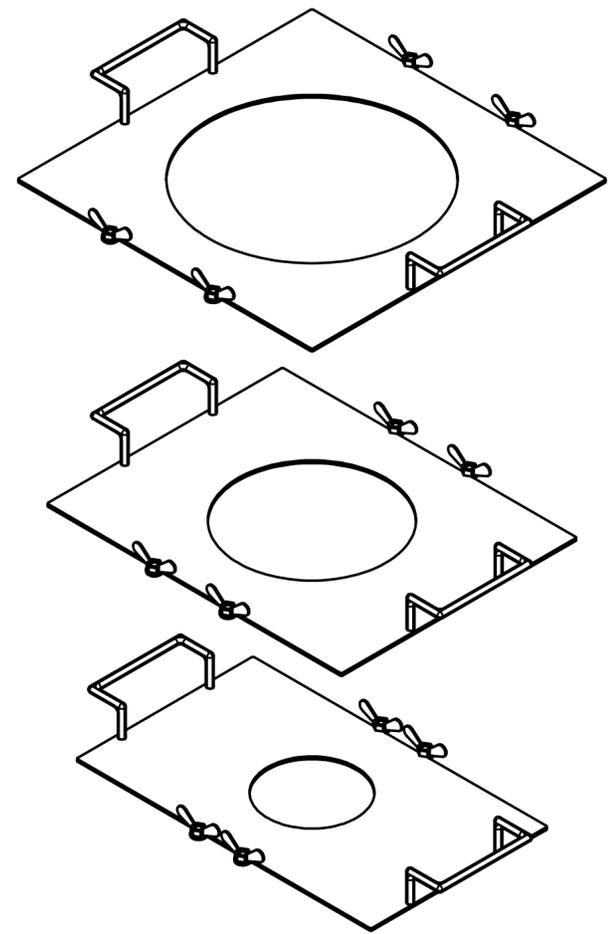
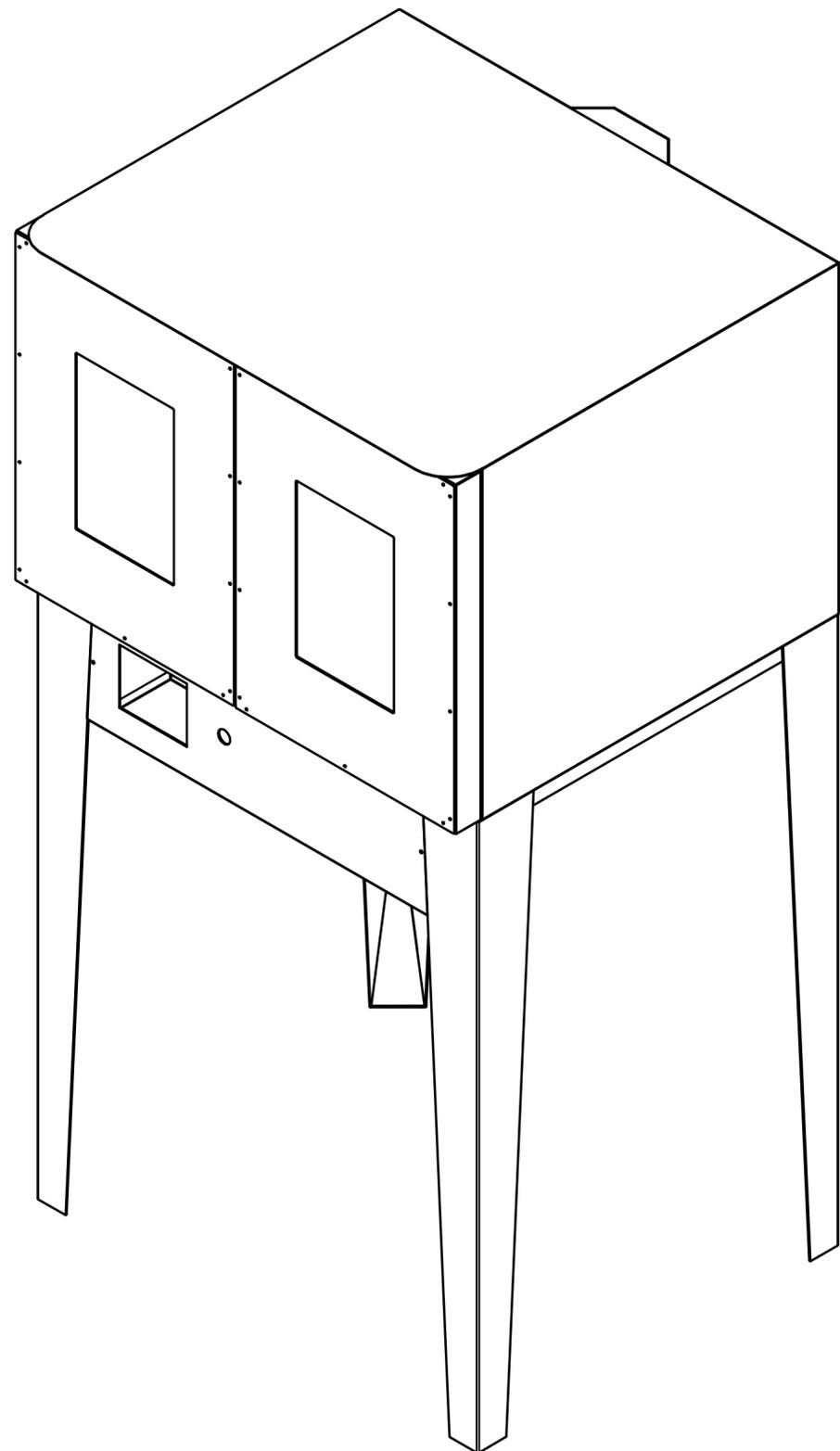
$$T_{5l} = T_{4l} - W_{\text{lateral}} * (1 / (A_{\text{lateral}} * h_{lo}))$$

## ANEXO F: Tabla de Riesgos

Código	Descripción	Prioridad = Impacto x Probabilidad	Responsable	Decisión tomada	Estatus	Observaciones
001	Fuente de alimentación inestable, debido a picos de corriente lo cual puede causar fallos en los componentes.	4x3=12	Bryan Navia	Reducir: Implementar estabilizadores de corriente UPS	Vigente	Se debe considerar el precio de un UPS, que es relativamente elevado.
002	Fallos en los componentes electrónicos: cables, sensores, controlador. Lo cual puede provocar fallos en la operación y el monitoreo de temperatura.	4x3=12	Giulliano Cajas	Reducir: Utilizar dispositivos de alta calidad y verificar su funcionamiento.	Vigente	Realizar pruebas de continuidad a la hora de trabajar con estos componentes.
003	Los calentadores calientan más de lo necesario. Esto puede provocar fallos en los componentes o en el proceso de termoformado.	5x3=15	Lucas Ordóñez	Reducir: Realizar el control de temperatura con límites de temperatura.	Vigente	Programar adecuadamente el módulo de temperatura.
004	No se realiza un calentamiento uniforme, lo provoca deformaciones desiguales e imperfecciones en la superficie.	5x4=20	David Cuenca	Prepararse: Realizar pruebas de calentamiento, implementar otro calentador de ser necesario.	Vigente	Desarrollar planes de mantenimiento para la correcta calibración de los componentes.
005	Problemas de aislamiento, que provocan pérdidas de calor no deseadas y en ineficiencias energéticas.	4x3=12	Lucas Ordóñez	Evitar: Realizar inspecciones periódicas para asegurar el correcto aislamiento.	Vigente	Revisar si existen posibles fugas térmicas.
006	Se realiza una mala ejecución de las juntas soldadas comprometiendo la durabilidad del sistema.	3x4=12	Lucas Ordóñez	Transferir: Subcontratar a un soldador calificado.	Vigente	Costo posiblemente elevado
007	El operador puede accidentarse utilizando el horno, ya sea por quemaduras o golpes.	4x3=12	Bryan Navia	Reducir: Implementar plan para la capacitación al operario y protocolos de seguridad.	Vigente	Implementar las señalizaciones adecuadas e identificar EPP adecuado.

008	Ocurren daños accidentales en los calentadores al realizar mantenimientos, lo que provocan retrasos de operación y aumento de costos de mantenimiento.	3x3=9	David Cuenca	Reducir: Realizar un plan de mantenimiento cauteloso.	Vigente	Proporcionar el manual de mantenimiento al personal.
009	El operador utiliza de manera inadecuada el horno, lo que compromete la integridad del horno y del personal.	4x3=12	David Cuenca	Evitar: Capacitar debidamente a los operadores.	Vigente	Presentar los riesgos y manual de uso a los operadores.
010	Aumento en los gastos del polipropileno al realizar las pruebas de funcionamiento.	3x3=9	Giulliano Cajas	Reducir: Realizar las pruebas de manera cautelosa para disminuir errores en el termoformado	Vigente	Considerar plásticos de menor precio para las pruebas.
011	El costo de materiales y componentes (acero, elementos electrónicos) resulta más elevado de lo previsto.	4x4=16	Lucas Ordóñez	Prepararse: Realizar un control riguroso a la hora de comprar los materiales, y considerar un costo estimado más elevado en el presupuesto planeado (20% más del estimado).	Vigente	Tener en cuenta posibles proveedores.
012	No se encuentra el material con las especificaciones y dimensiones requeridas. (Acero, calentadores)	4x3=12	Bryan Navia	Prepararse: Buscar previamente otros proveedores o considerar otros materiales.	Vigente	Los calentadores pueden ser importados (2 semanas de entrega).

**ANEXO G: Planos y Hojas de Procesos**



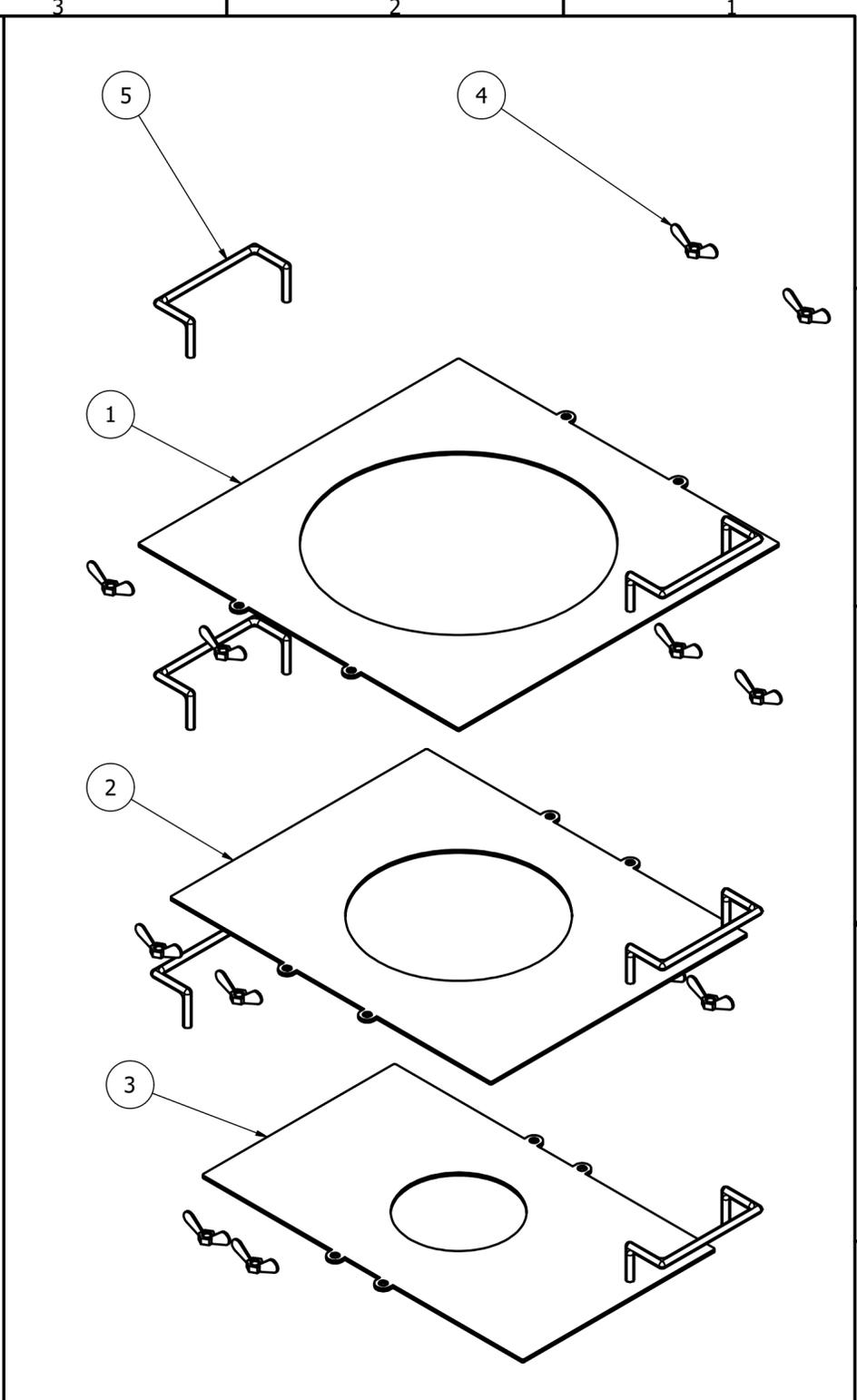
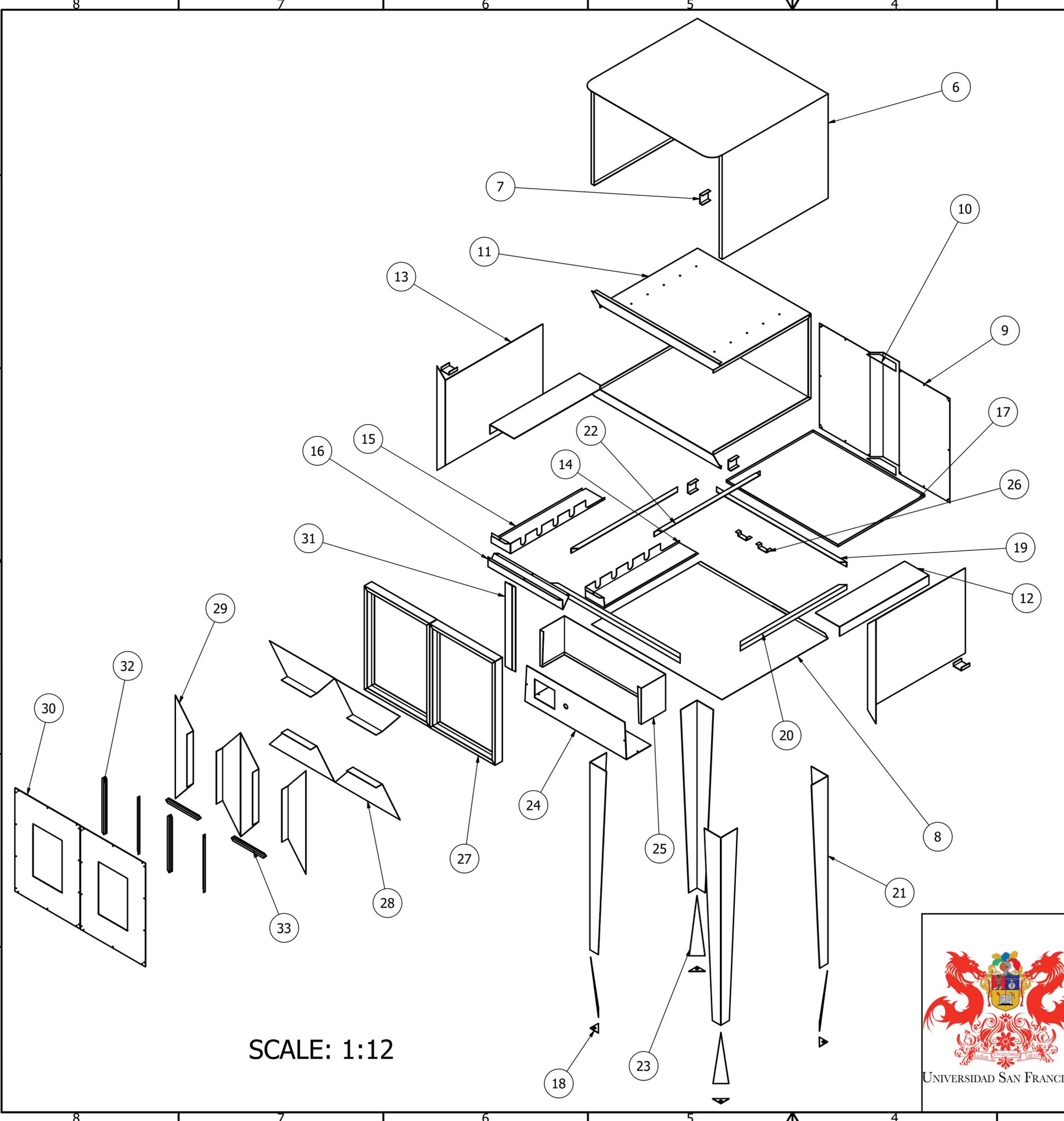
33	2	OV005-07	SOPORTE VIDRIO 2	STEEL, AISI 430	2-B7
32	4	OV005-06	SOPORTE VIDRIO 1	STEEL, AISI 430	2-C8
31	2	OV005-05	TOPE PUERTA	STEEL, AISI 430	2-D7
30	2	OV005-04	TAPA PUERTA	STEEL, AISI 430	2-C8
29	4	OV005-03	TAPA CARA POSTERIOR LARGA	STEEL, AISI 430	2-C7
28	4	OV005-02	TAPA CARA POSTERIOR CORTA	STEEL, AISI 430	2-B6
27	2	OV005-01	MARCO PUERTA	STEEL, AISI 430	2-B6
26	2	OV004-09	SOPORTE MICRO SWITCH	STEEL, AISI 430	2-D3
25	1	OV004-08	TAPA PANEL DE CONTROL	STEEL, AISI 430	2-B5
24	1	OV004-07	PANEL DE CONTROL	STEEL, AISI 430	2-B6
23	4	OV004-06	CUBIERTA PATAS	STEEL, AISI 430	2-A5
22	1	OV004-05	MARCO PATAS 3	STEEL, AISI 304	2-D5
21	4	OV004-04	PATA	STEEL, AISI 430	2-B4
20	2	OV004-03	MARCO PATAS 2	STEEL, AISI 304	2-C4
19	2	OV004-02	MARCO PATAS 1	STEEL, AISI 304	2-D3
18	4	OV004-01	BASE PATA	STEEL, AISI 430	2-A6
17	1	OV003-07	BANDEJA	STEEL, AISI 430	2-D3
16	1	OV003-06	CUBIERTA LAMPARAS FRONTAL	STEEL, AISI 430	2-D7
15	1	OV003-05	CUBIERTA LAMPARAS IZQUIERDA	STEEL, AISI 430	2-D6
14	1	OV003-04	CUBIERTA LAMPARAS DERECHA	STEEL, AISI 430	2-D6
13	2	OV003-03	TAPA LATERAL CAJA INTERNA	STEEL, AISI 430	2-E6
12	2	OV003-02	SOPORTE ARMAZON	STEEL, AISI 430	2-C3
11	1	OV003-01	BASE CAJA INTERNA	STEEL, AISI 430	2-E6
10	2	OV002-05	CUBIERTA TAPA POSTERIOR CAJA EXTERNA	STEEL, AISI 430	2-E4
9	1	OV002-04	TAPA POSTERIOR CAJA EXTERNA	STEEL, AISI 430	2-E3
8	1	OV002-03	TAPA INFERIOR CAJA EXTERNA	STEEL, AISI 430	2-B4
7	5	OV002-02	REFUERZO CAJAS	STEEL, AISI 430	2-E6
6	1	OV002-01	BASE CAJA EXTERNA	STEEL, AISI 430	2-F4
5	6	OV001-05	TIRADERA ARMAZON	STEEL, AISI 430	2-F3
4	24	OV001-04	OREJA TUERCA ARMAZON	STEEL, AISI 430	2-F2
3	2	OV001-03	ARMAZON PEQUEÑO	STEEL, AISI 430	2-C3
2	2	OV001-02	ARMAZON MEDIANO	STEEL, AISI 430	2-D3
1	2	OV001-01	ARMAZON GRANDE	STEEL, AISI 430	2-E3

ITEM QTY PART NUMBER DESCRIPTION MATERIAL LOCATION

PARTS LIST

 <p>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO</p>	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME		DATE			
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		DRAWN		LUCAS O. R.		01/12/2024	
	REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES		PEER REVIEW		DAVID C. F.		01/12/2024	
	TOLERANCES:		REVIEWED				XX/10/2024	
	LINEAR:		APPROVED				XX/10/2024	
X ± 0.5MM								
X.X ± 0.1MM								
X.XX ± 0.05MM								
ANGULAR:		TITLE		DWG. NO				
X ± 1°		DESPIECE HORNO		OV000				
X.X ±		MATERIAL		SCALE		SIZE		
0.5°		N/A		SPECIFIED		A3		
						REV		
						A		
						SHEET		
						1/2		

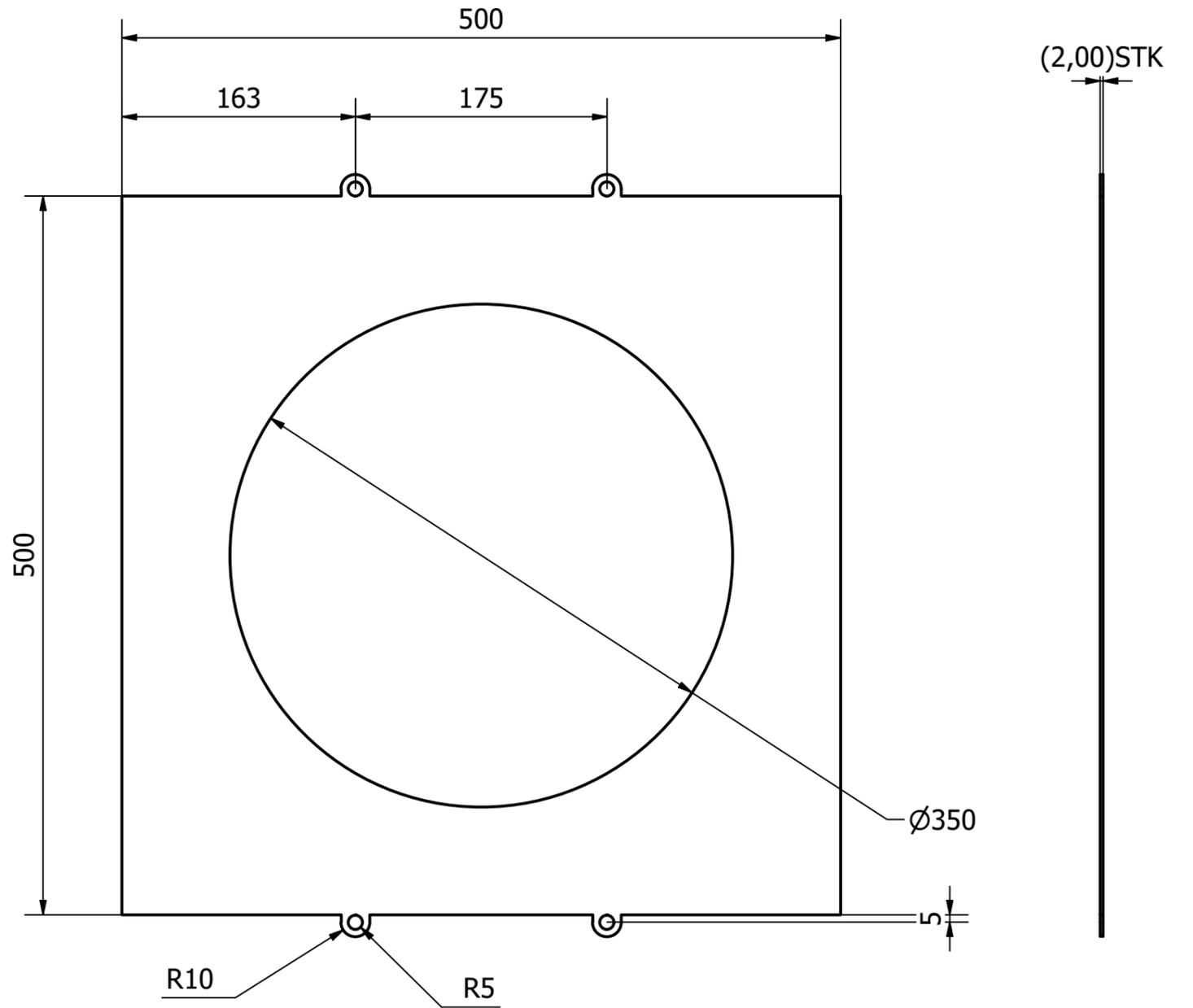
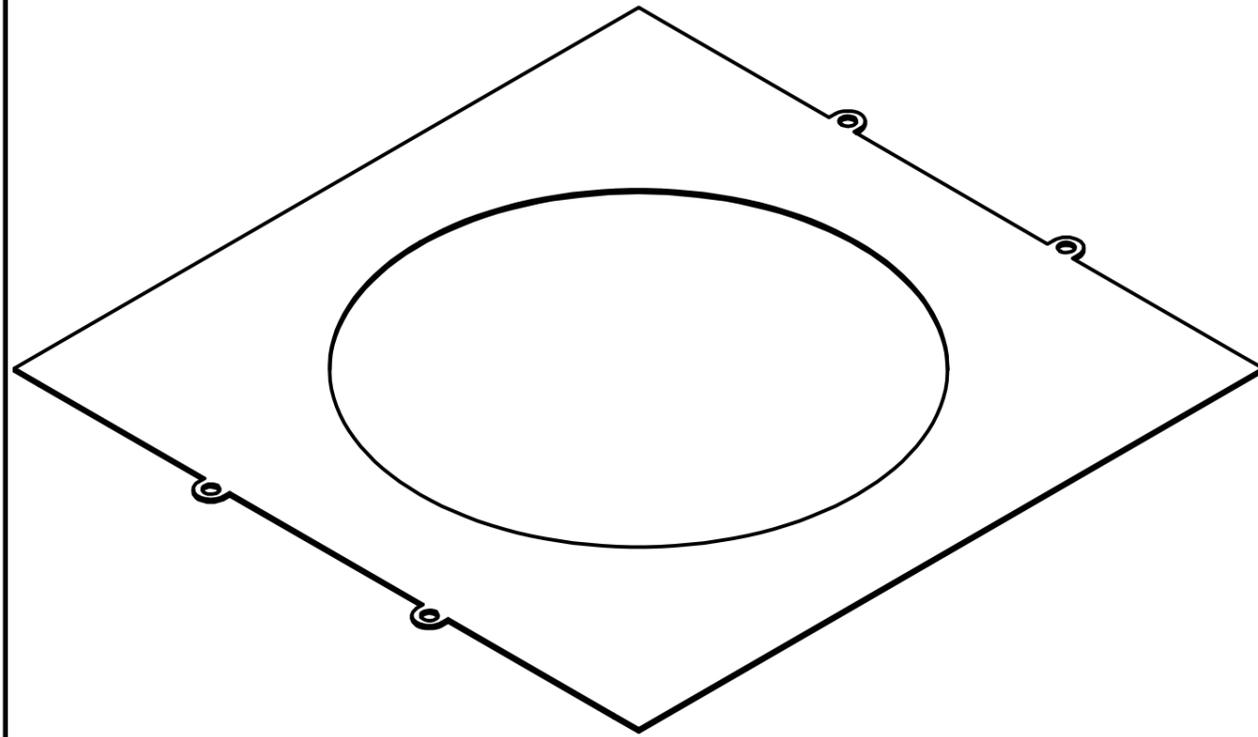
SCALE: 1:6



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

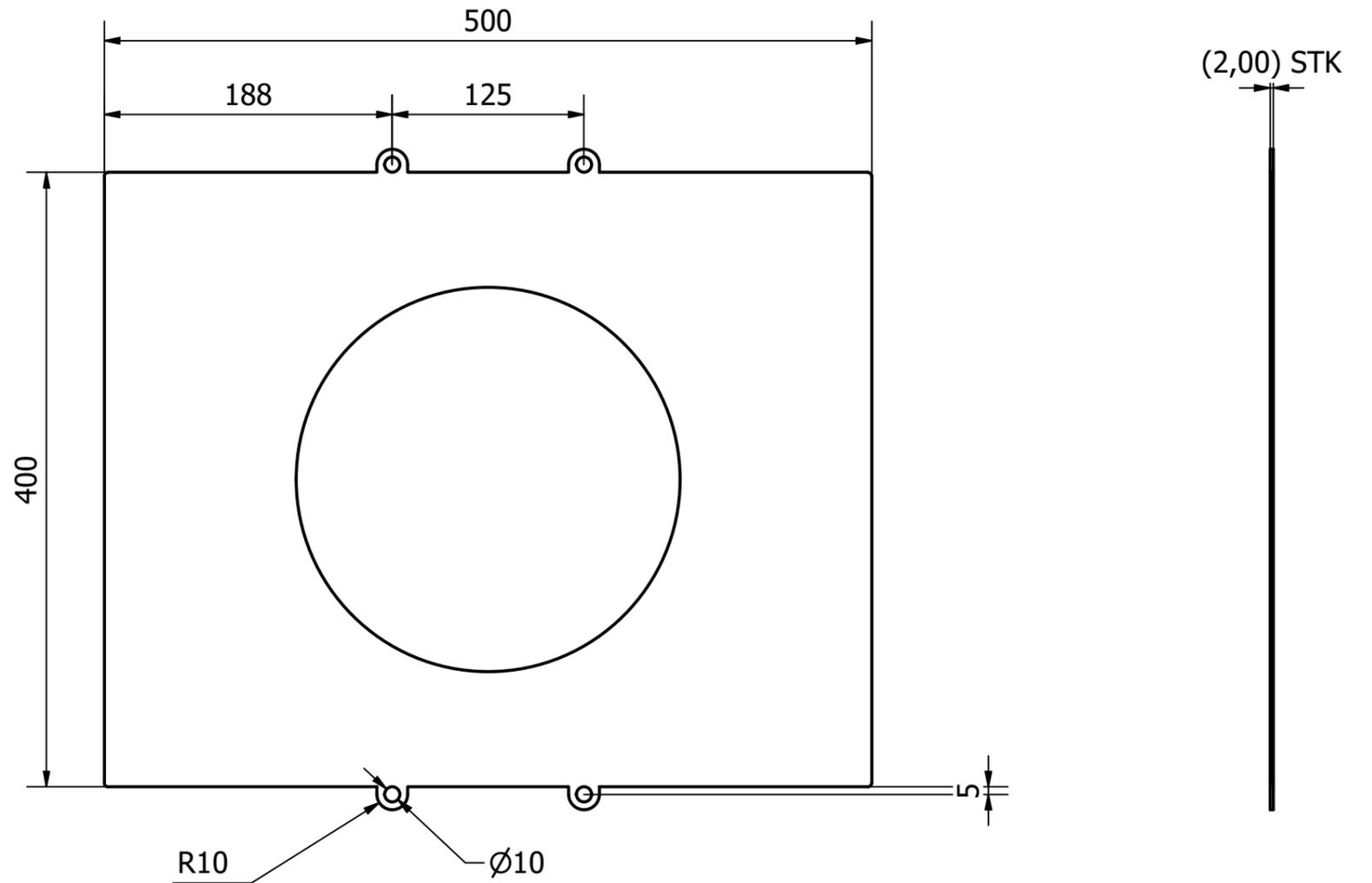
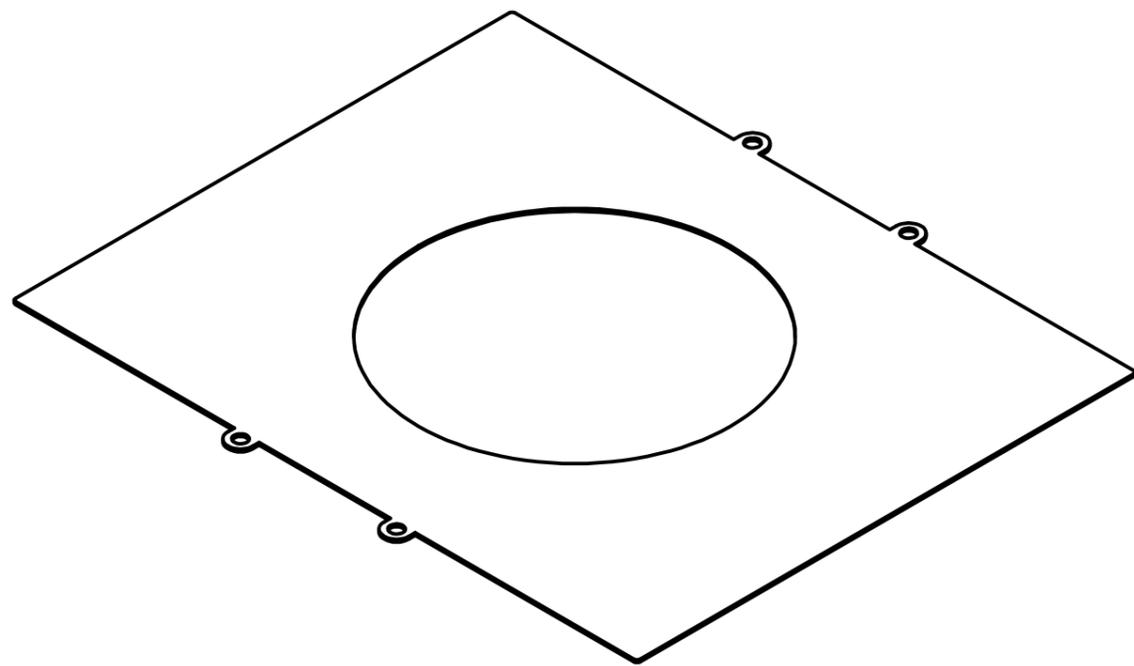
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

		NAME	DATE
DRAWN		LUCAS O. R.	01/12/2024
PEER REVIEW		DAVID C. F.	01/12/2024
REVIEWED			XX/10/2024
APPROVED			XX/10/2024
TITLE		DWG. NO	
DESPIECE HORNO		OV000	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
N/A	SPECIFIED	A3	A
			SHEET
			2/2



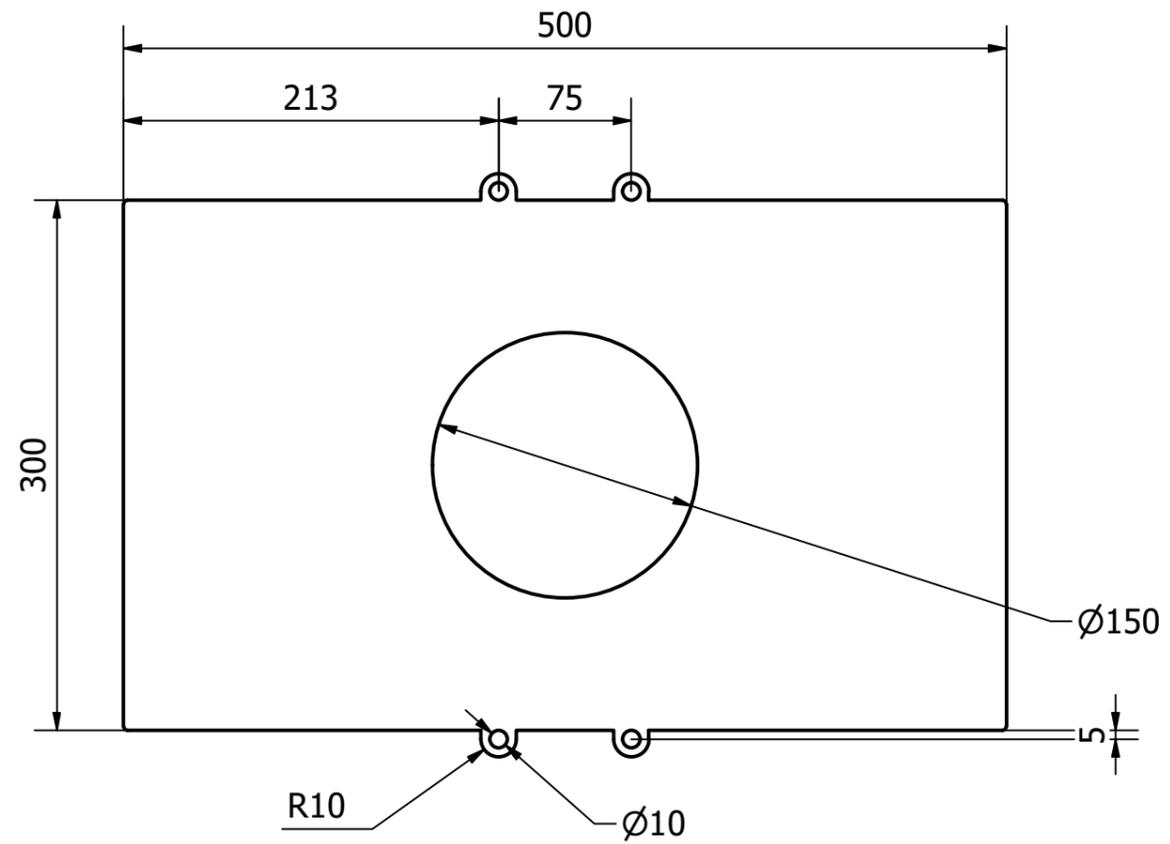
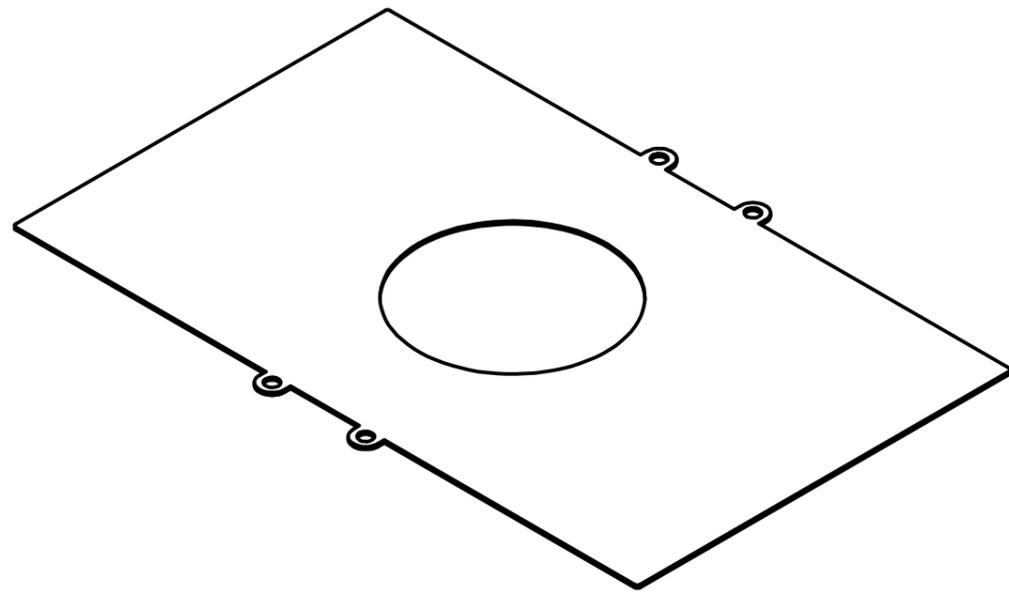
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

		NAME	DATE		
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024		
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024		
REVIEWED			XX/10/2024		
APPROVED			XX/10/2024		
TITLE			DWG. NO		
ARMAZON GRANDE			OV001-01		
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET	
ACERO AISI 430	1:4	A3	-	1/1	



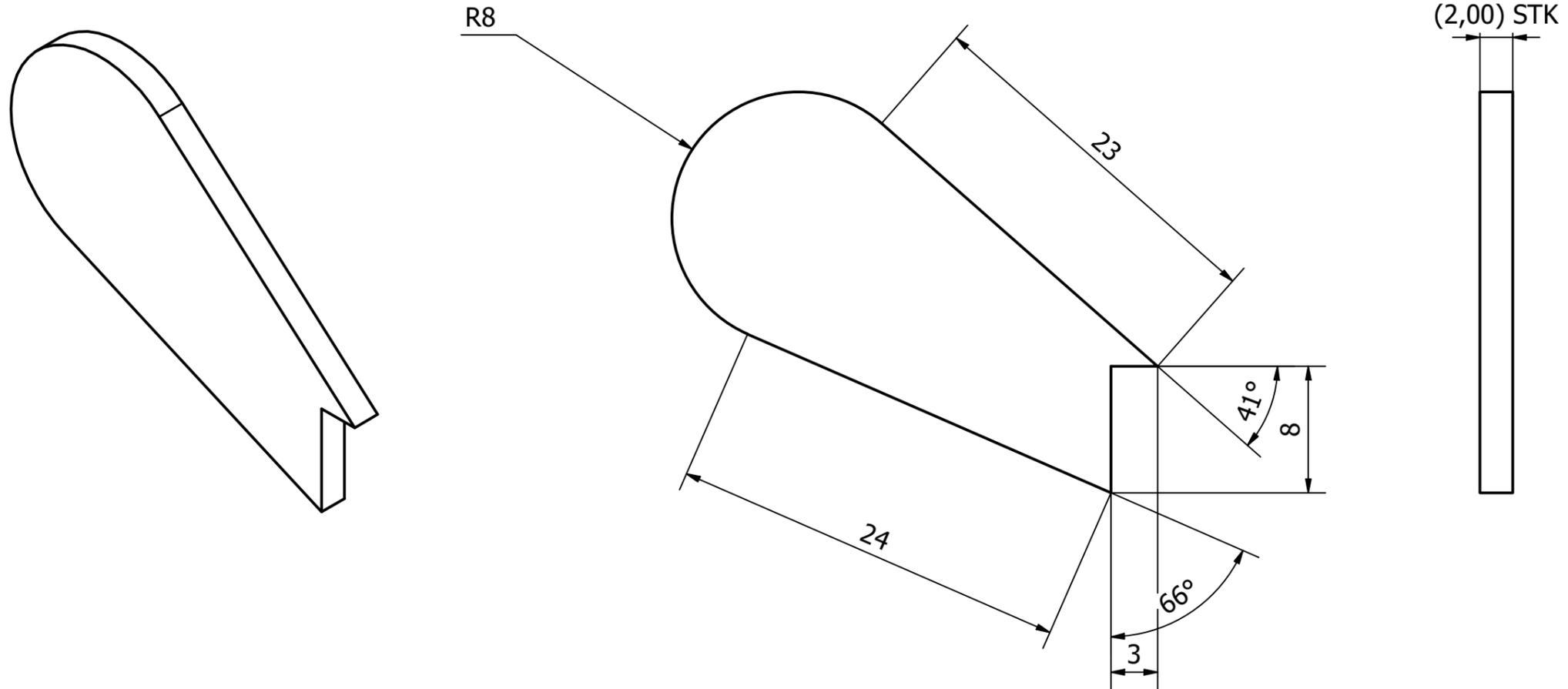
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

		NAME	DATE
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024
REVIEWED			XX/10/2024
APPROVED			XX/10/2024
TITLE		DWG. NO	
ARMAZON MEDIANO		OV001-02	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ACERO AISI 430	1:4	A3	-
			SHEET
			1/1



(2,00) STK

 <p>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO</p>	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
		PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
		REVIEWED		XX/10/2024	
		APPROVED		XX/10/2024	
		TITLE	DWG. NO		
	ARMAZON PEQUEÑO	OV001-03			
	MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET
	ACERO AISI 430	1:4	A3	-	1/1

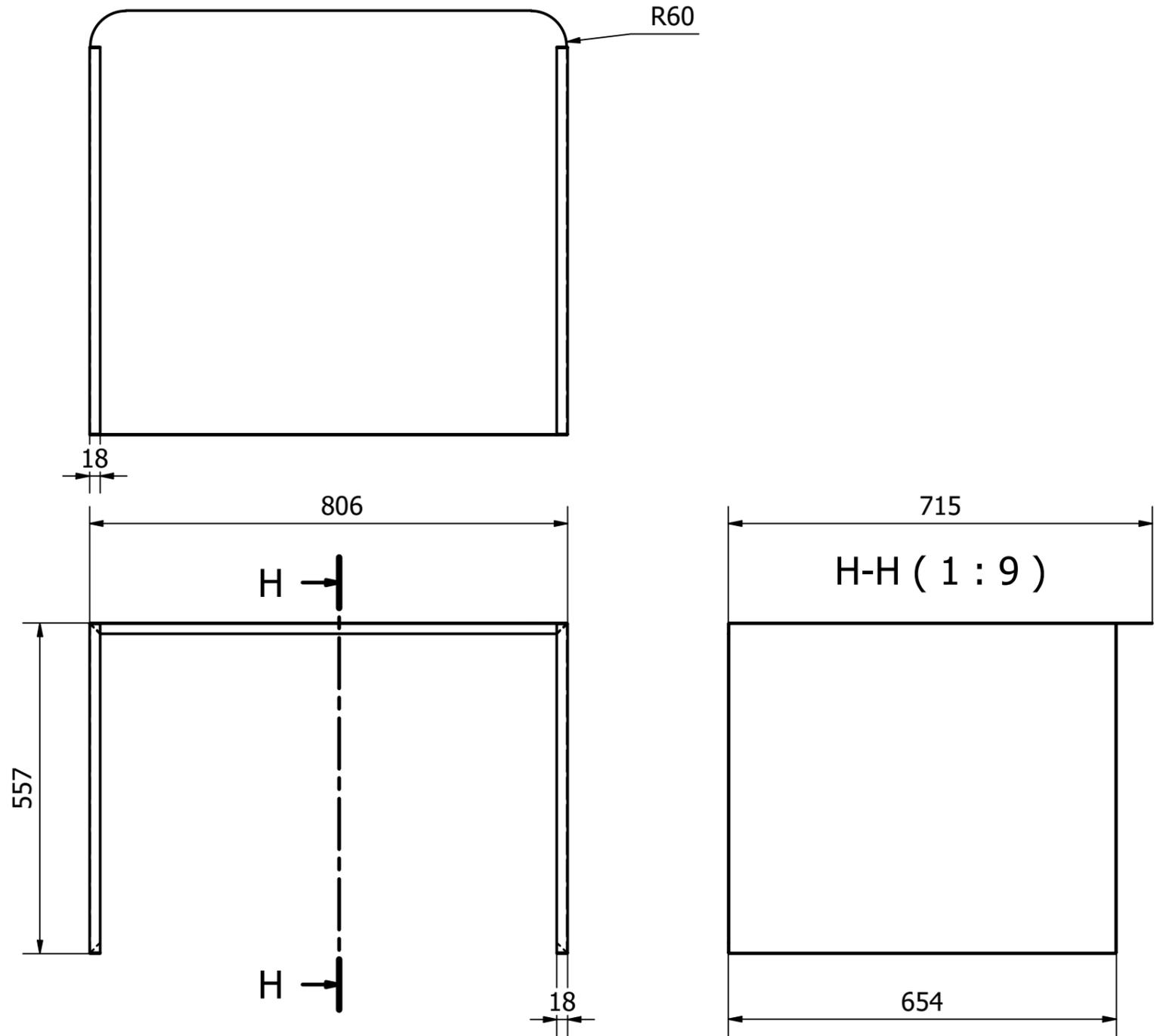
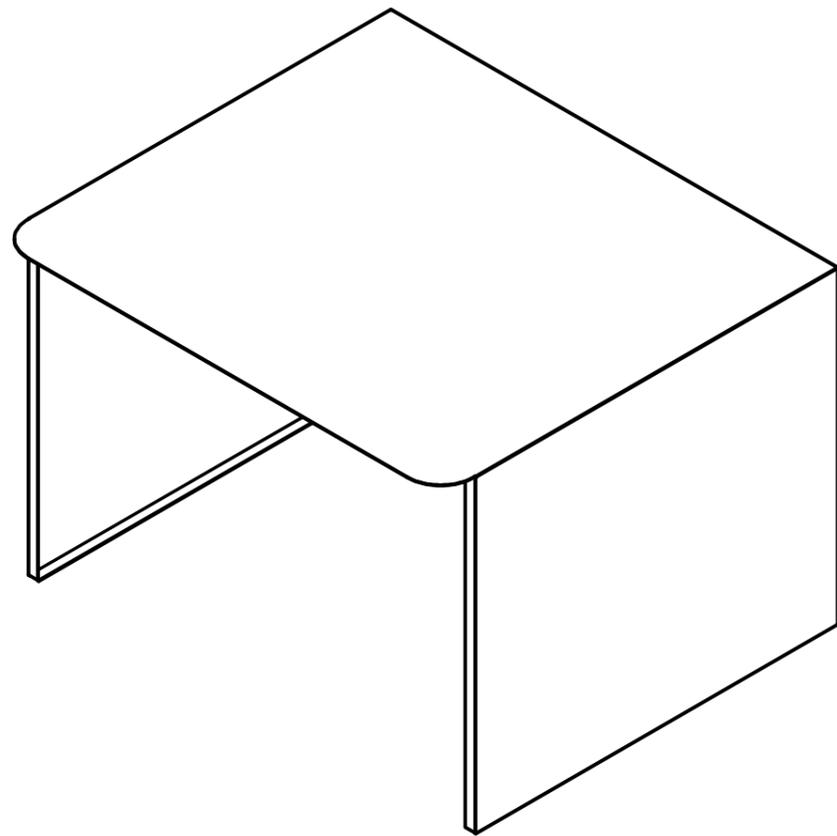


UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
REVIEWED		XX/10/2024	
APPROVED		XX/10/2024	
TITLE OREJA TUERCA ARMAZON		DWG. NO OV001-04	
MATERIAL ACERO AISI 430	SCALE 3:1	SIZE A3	REV -
			SHEET 1/1

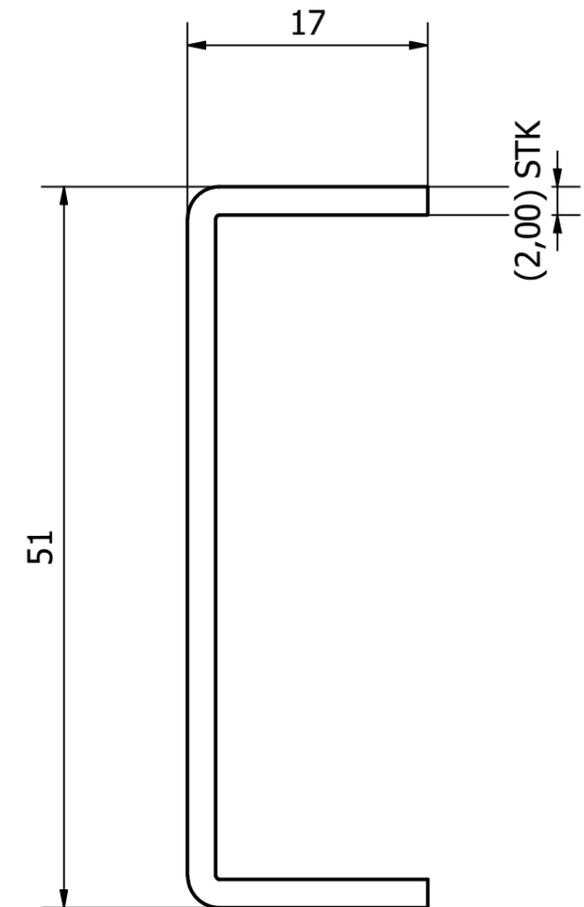
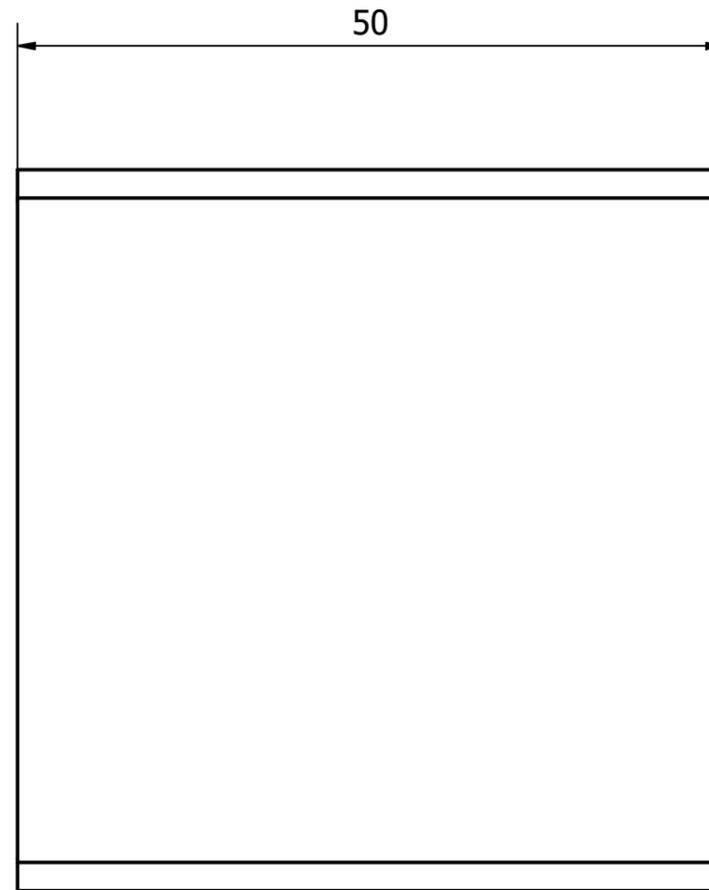
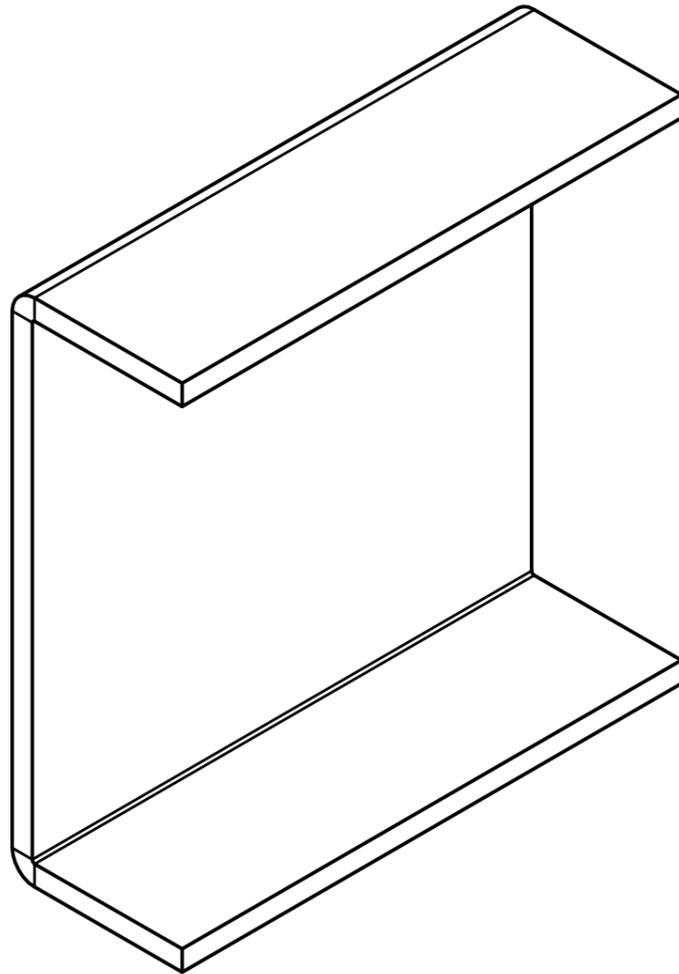
NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN  
 PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND  
 BEND ANGLE 90°



 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024
	REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES	PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024
	TOLERANCES:	REVIEWED		XX/10/2024
	LINEAR:	APPROVED		XX/10/2024
	X ± 0.5MM	TITLE		DWG. NO
X.X ± 0.1MM	BASE CAJA EXTERNA		OV002-01	
X.XX ± 0.05MM	MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ANGULAR:	ACERO AISI 430	1:9	A3	-
X ± 1°				SHEET
X.X ± 0.5°				1/1
IF IN DOUBT ASK				

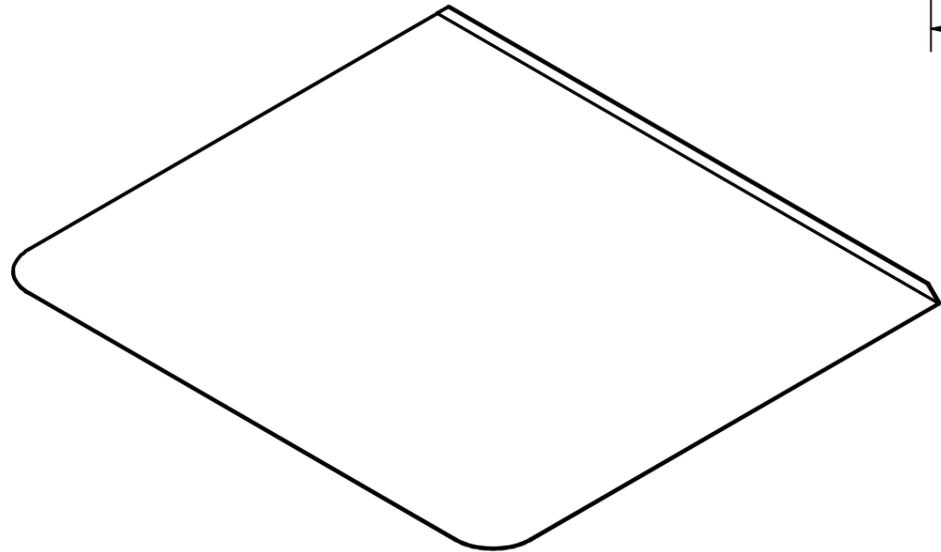
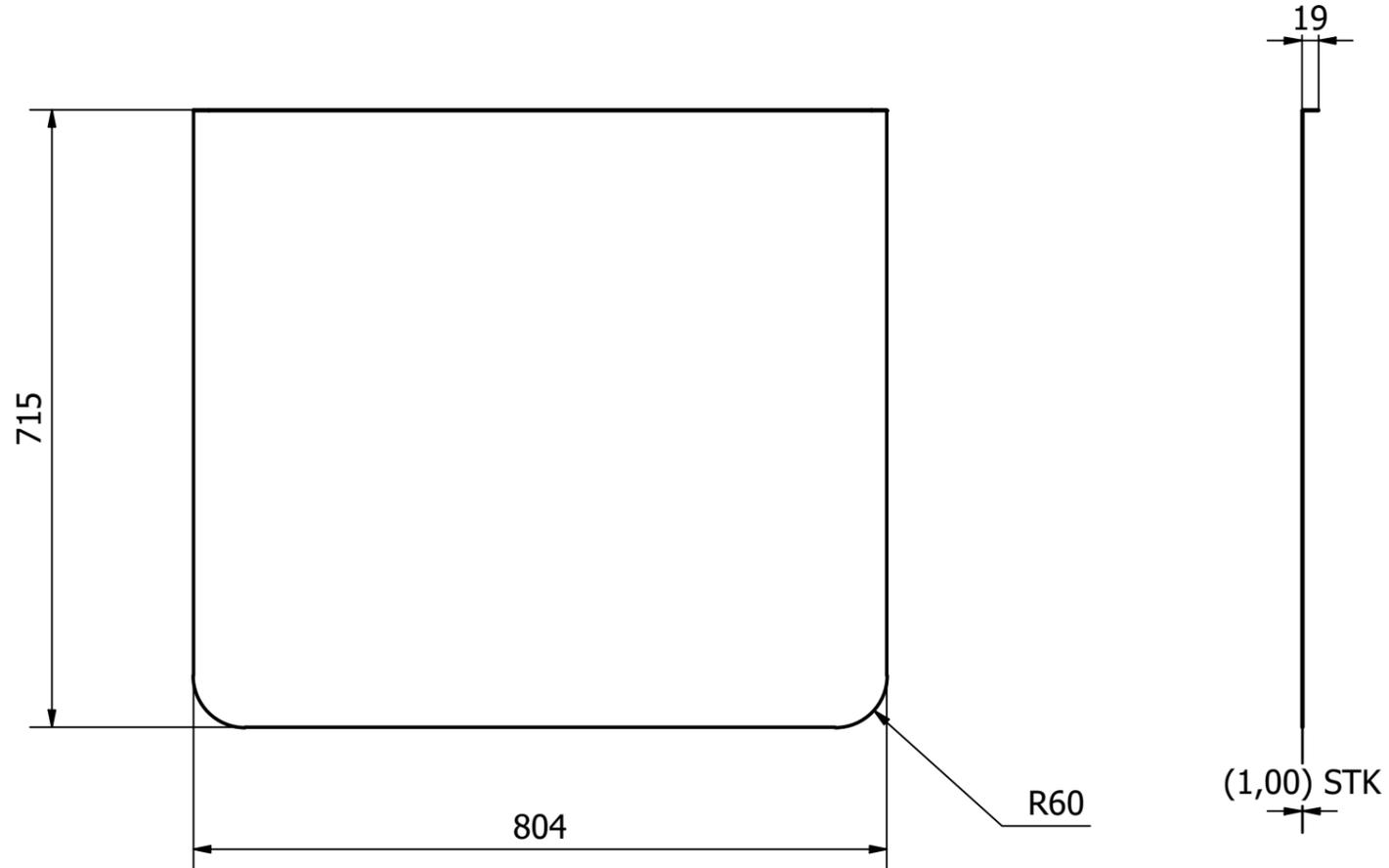
NOTES:

1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN  
PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND  
BEND ANGLE 90°



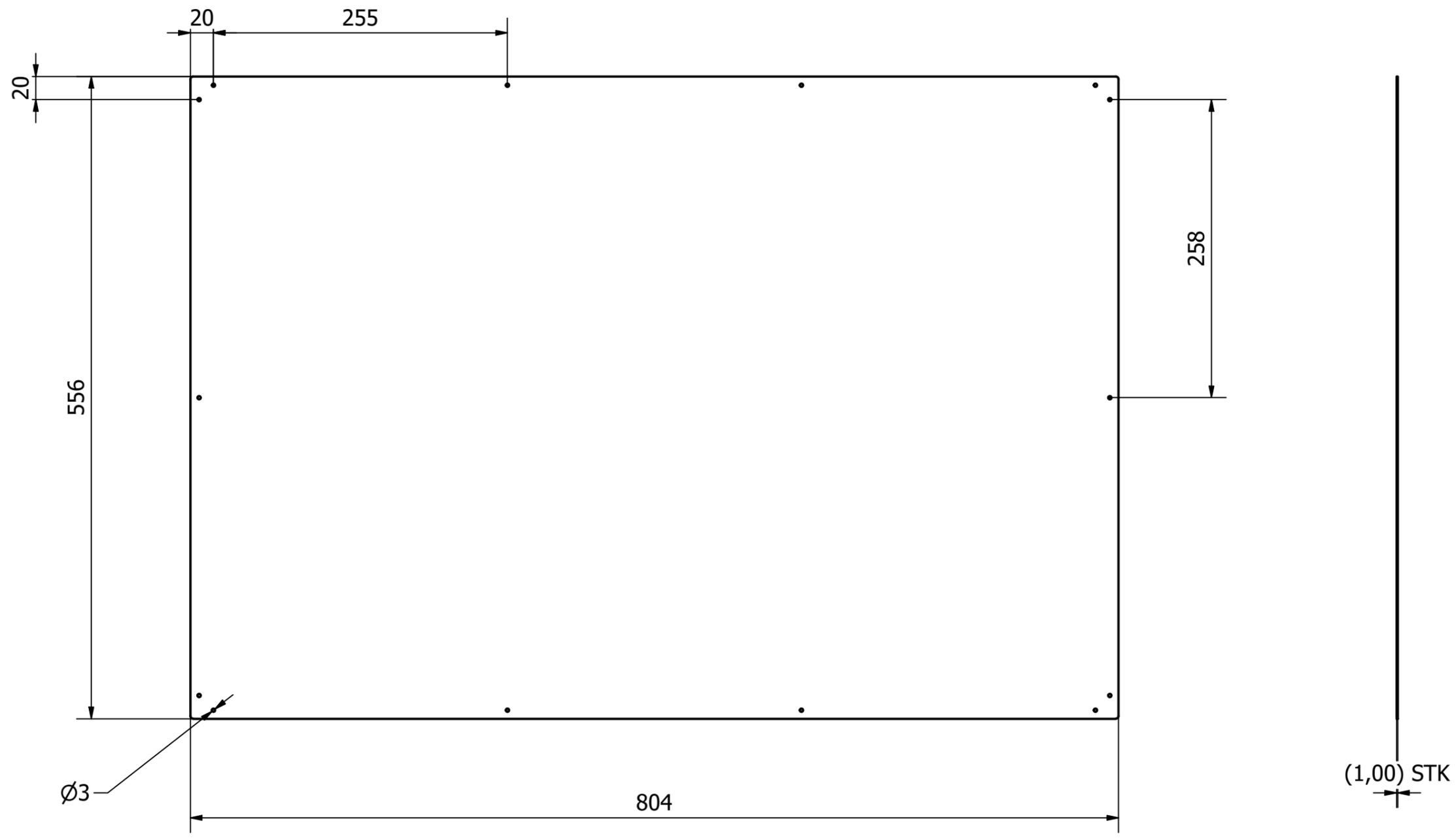
 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
		PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
		REVIEWED		XX/10/2024	
		APPROVED		XX/10/2024	
		TITLE	DWG. NO		
		REFUERZO CAJAS	OV002-02		
	MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET
	ACERO AISI 430	2:1	A3	-	1/1

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME		DATE	
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM  ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
	PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
	REVIEWED		XX/10/2024	
	APPROVED		XX/10/2024	
	TITLE TAPA INFERIOR CAJA EXTERNA	DWG. NO OV002-03		
MATERIAL ACERO AISI 430	SCALE 1:8	SIZE A3	REV -	SHEET 1/1

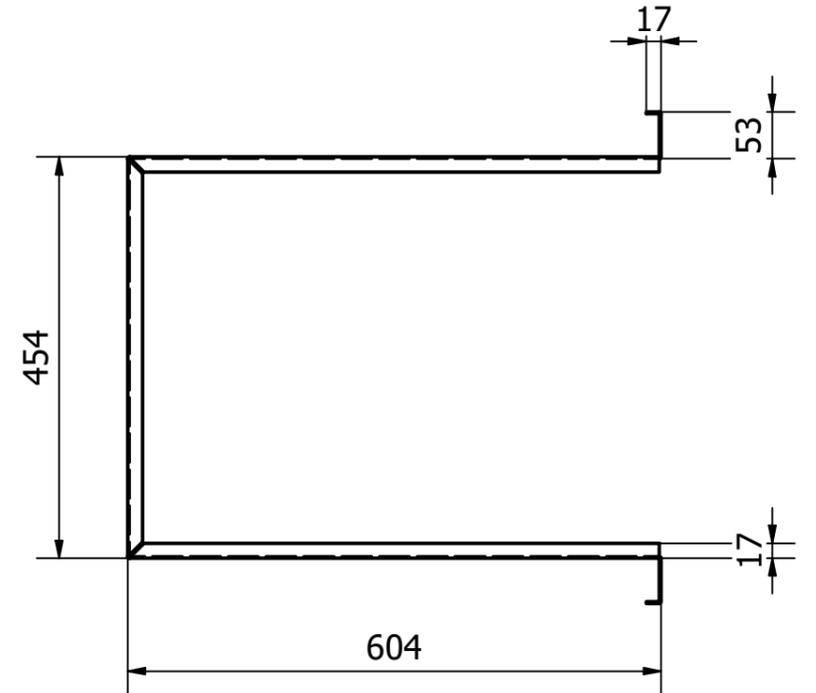
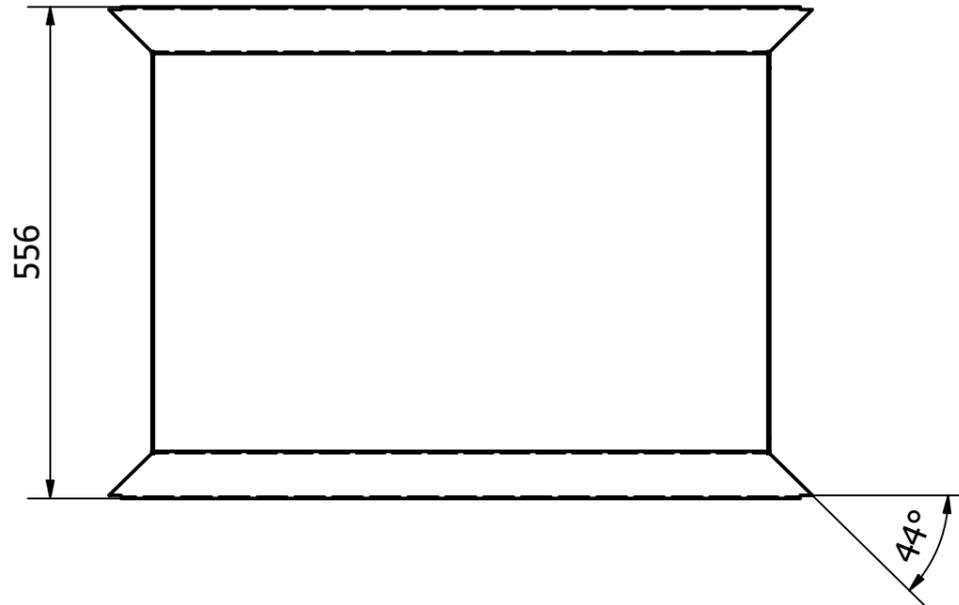
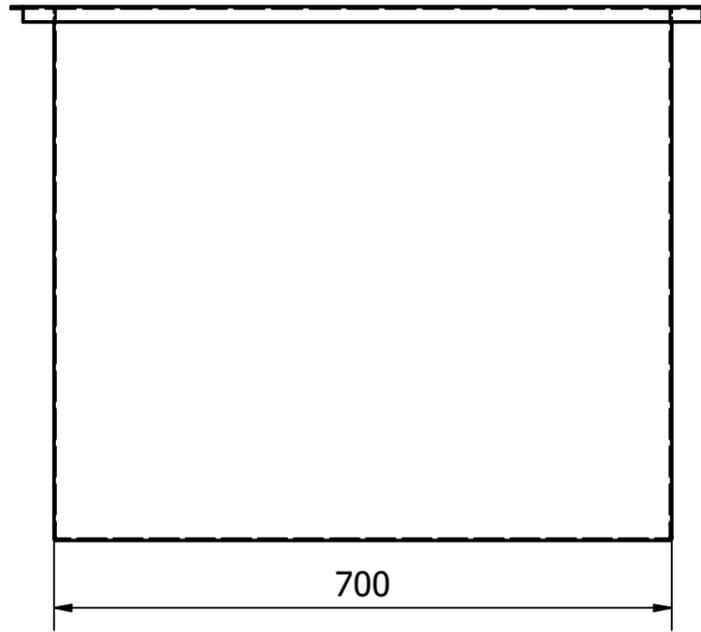
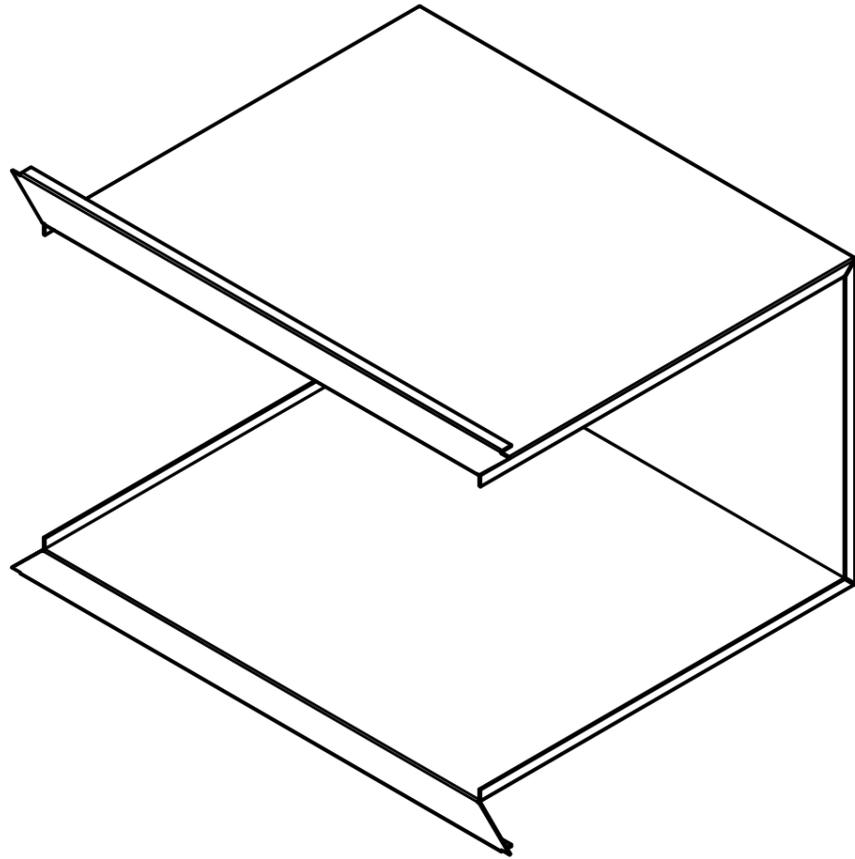


UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X  $\pm 0.5\text{MM}$   
 X.X  $\pm 0.1\text{MM}$   
 X.XX  $\pm 0.05\text{MM}$   
 ANGULAR:  
 X  $\pm 1^\circ$   
 X.X  $\pm 0.5^\circ$   
 0.5° IF IN DOUBT ASK

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
REVIEWED		XX/10/2024	
APPROVED		XX/10/2024	
TITLE		DWG. NO	
TAPA POSTERIOR CAJA EXTERNA		OV002-04	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ACERO AISI 430	1:4	A3	-
			SHEET
			1/1

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN  
 PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND  
 BEND ANGLE 90°



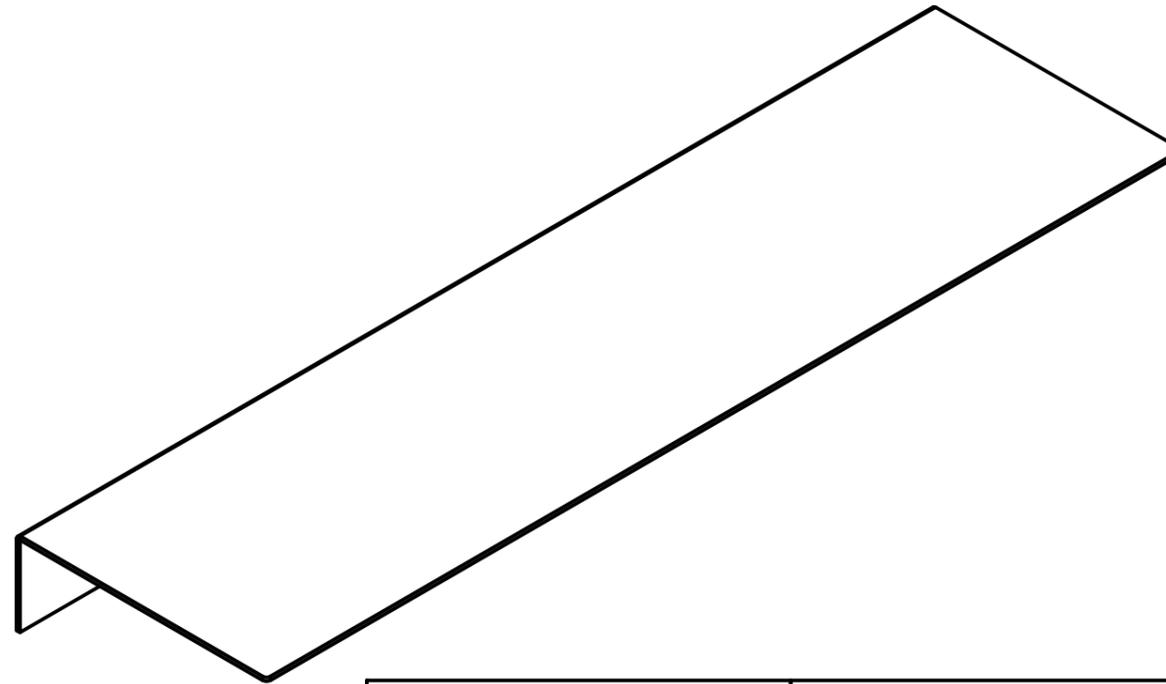
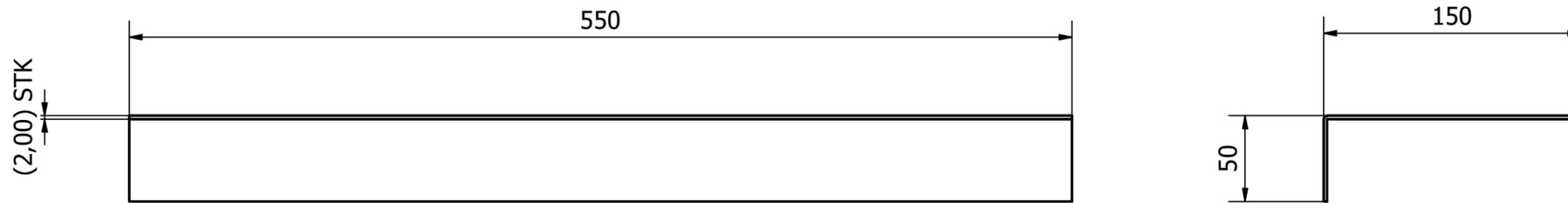
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

ALL DIMENSIONS ARE IN  
 MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK  
 SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM

ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ±  
 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

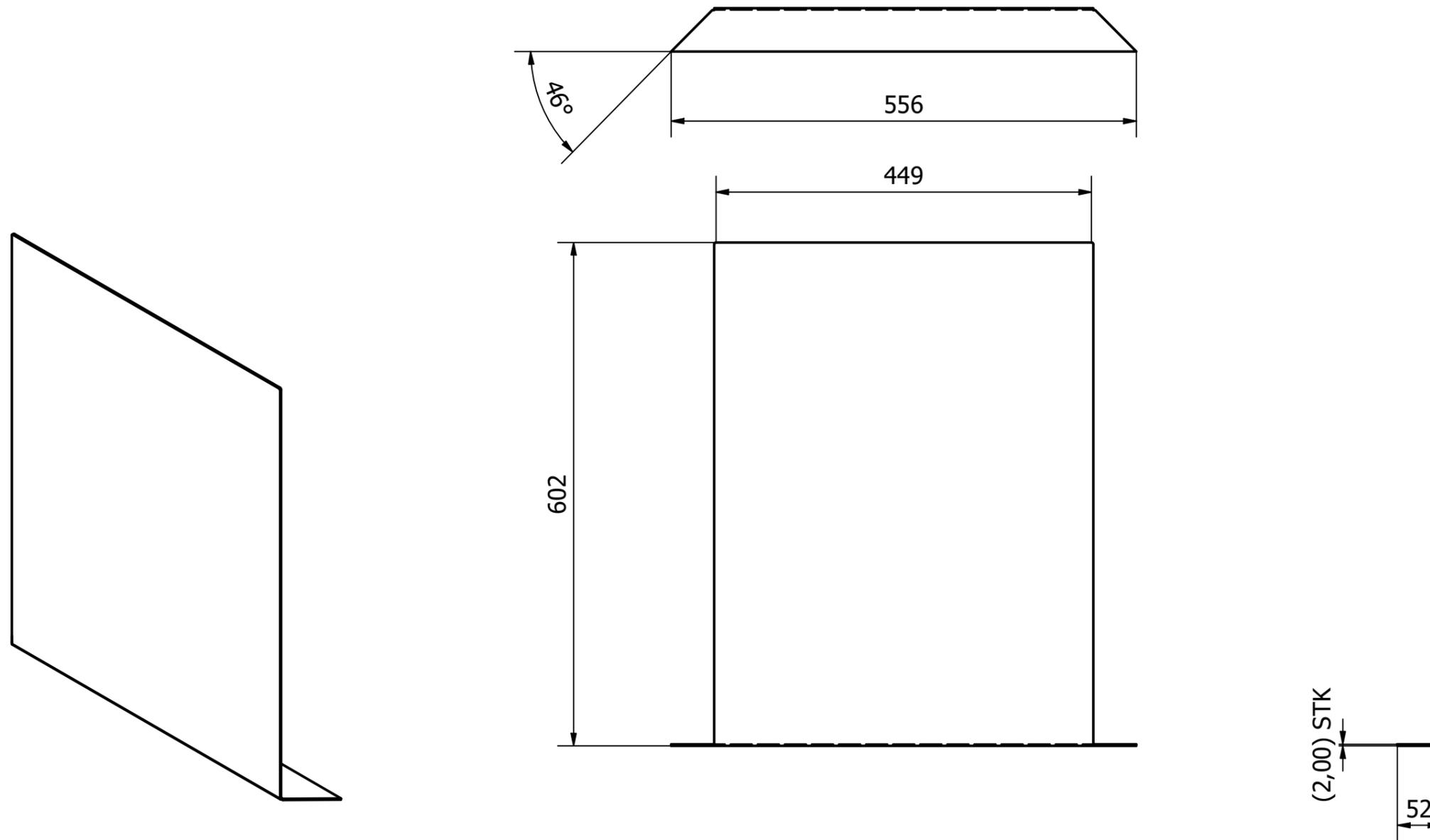
		NAME	DATE		
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024		
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024		
REVIEWED			XX/10/2024		
APPROVED			XX/10/2024		
TITLE			DWG. NO		
BASE CAJA INTERNA			OV003-01		
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET	
ACERO AISI 430	1:8	A3	-	1/1	

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°



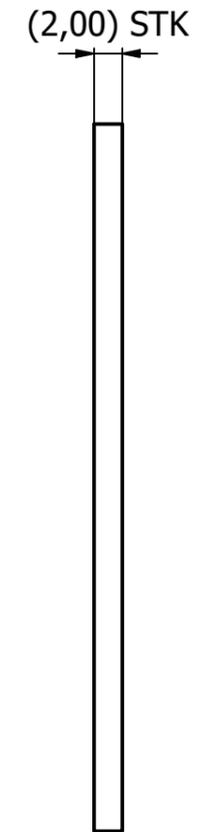
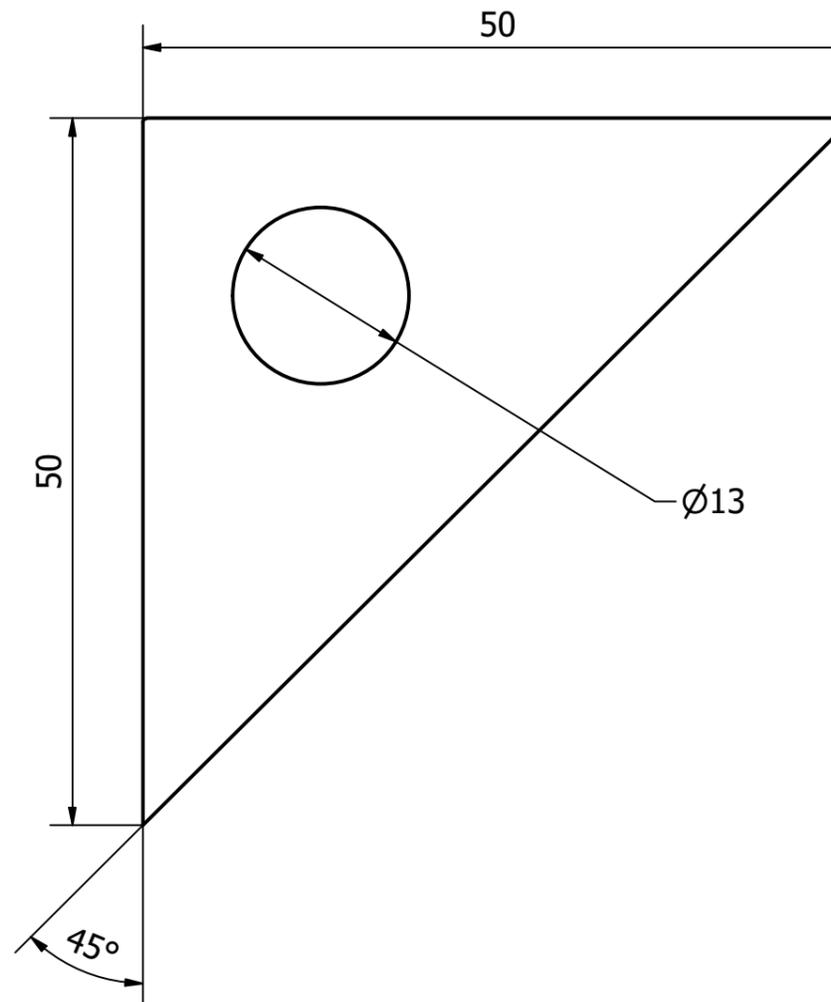
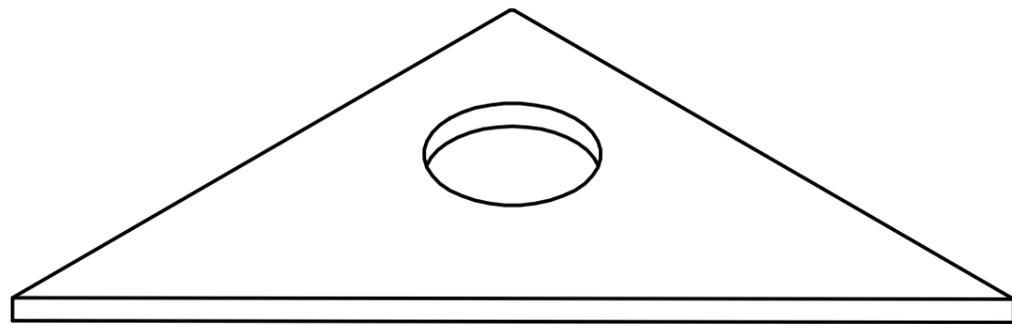
 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES:		DRAWN	LUCAS O. R. 06/11/2024
	LINEAR:		PEER REVIEW	DAVID C. F. 06/11/2024
	X ± 0.5MM		REVIEWED	XX/10/2024
	X.X ± 0.1MM		APPROVED	XX/10/2024
	X.XX ± 0.05MM		TITLE	
ANGULAR:		DWG. NO		
X ± 1°		SOPORTE ARMAZON		OV003-02
X.X ± 0.5°		MATERIAL	SCALE	SIZE
0.5° IF IN DOUBT ASK		ACERO AISI 430	1:3	A3
			REV	SHEET
			-	1/1

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°

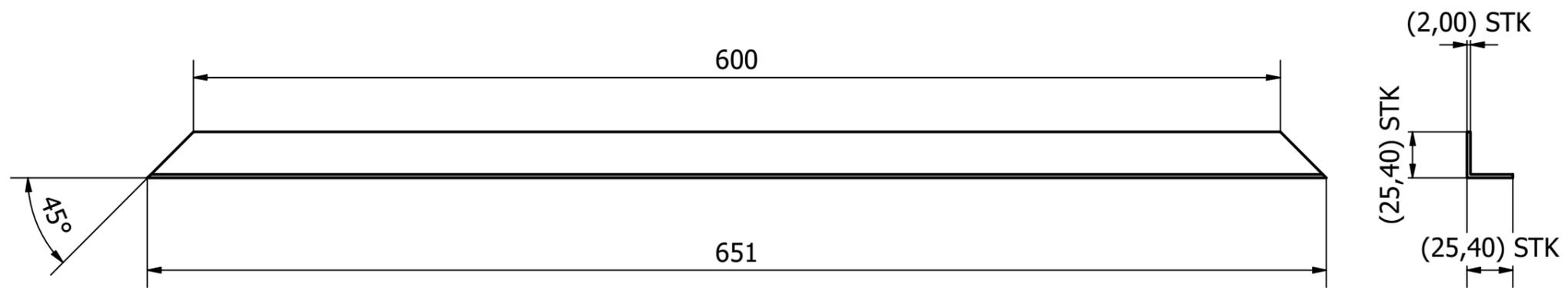
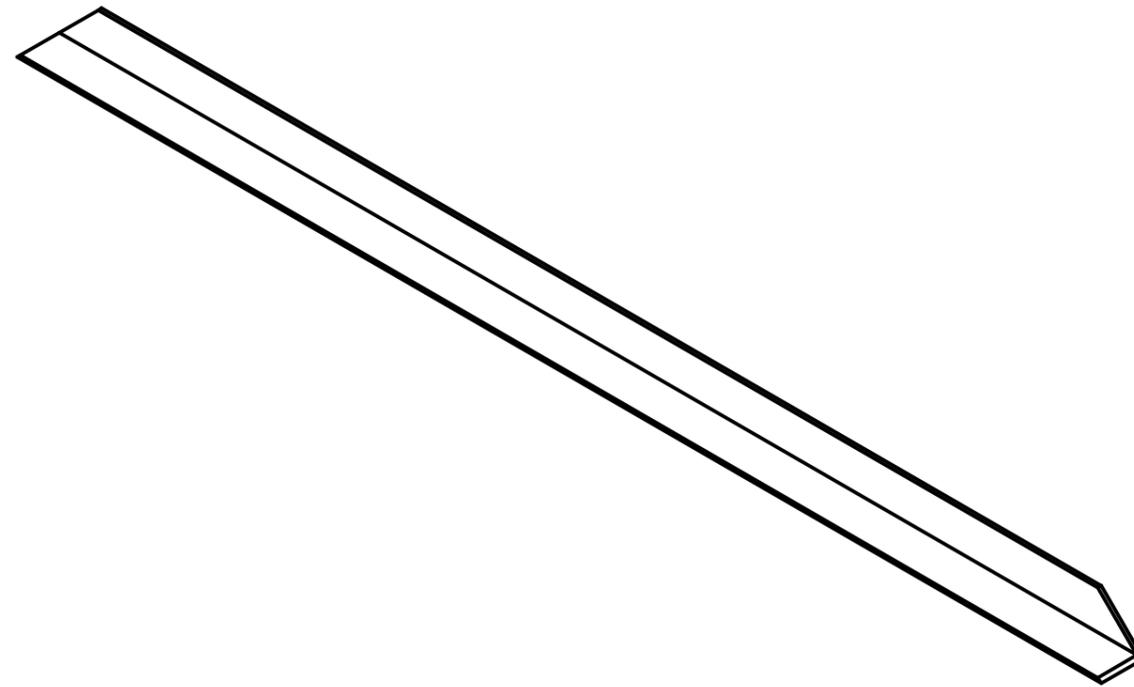


UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

		NAME	DATE
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024
REVIEWED			XX/10/2024
APPROVED			XX/10/2024
TITLE TAPA LATERAL CAJA INTERNA		DWG. NO OV003-03	
MATERIAL ACERO AISI 430	SCALE 1:6	SIZE A3	REV -
			SHEET 1/1

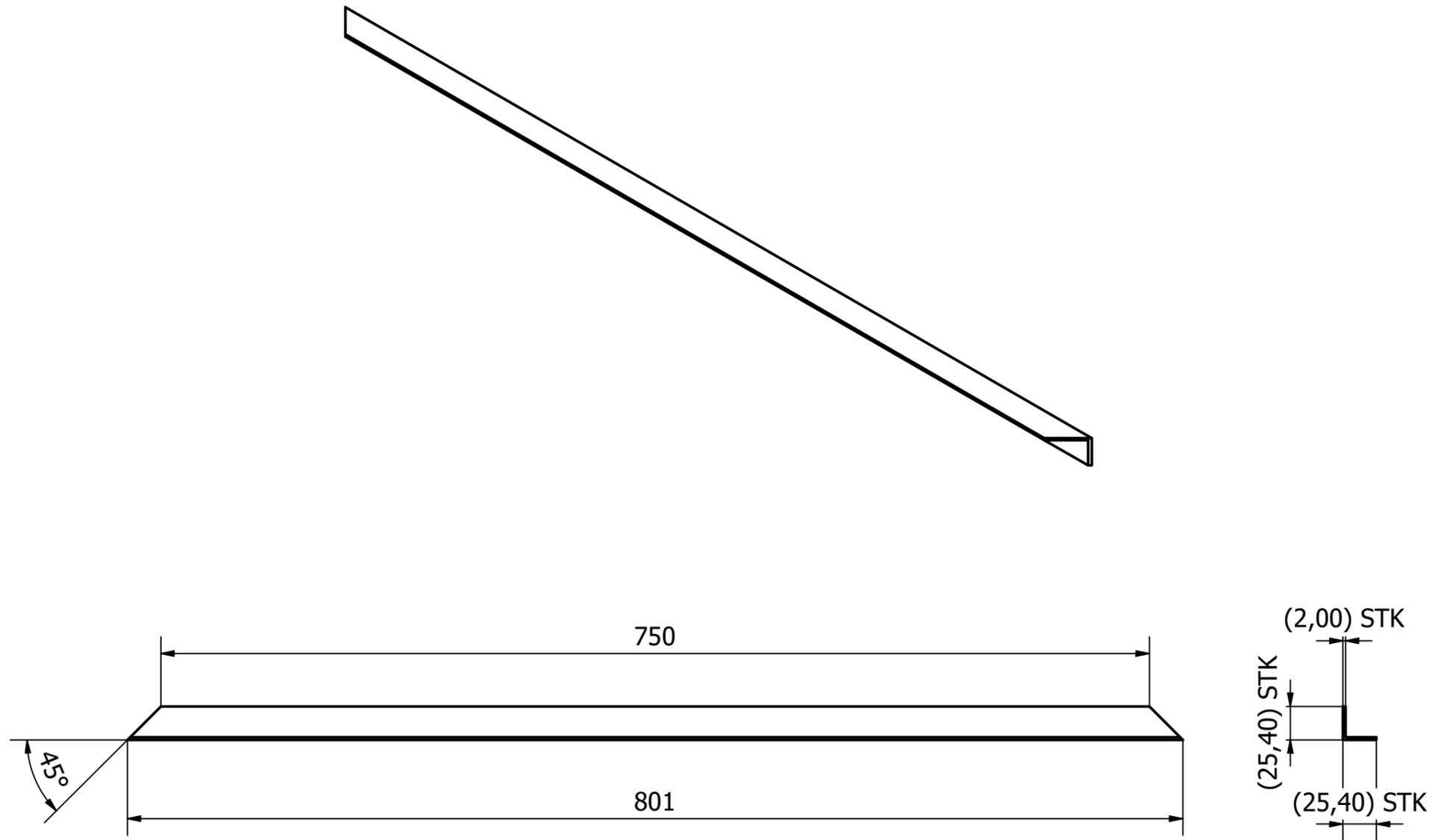


 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
		PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
		REVIEWED		XX/10/2024	
		APPROVED		XX/10/2024	
		TITLE	DWG. NO		
		BASE PATA	OV004-01		
	MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET
	ACERO AISI 430	2:1	A3	-	1/1



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 IF IN DOUBT ASK

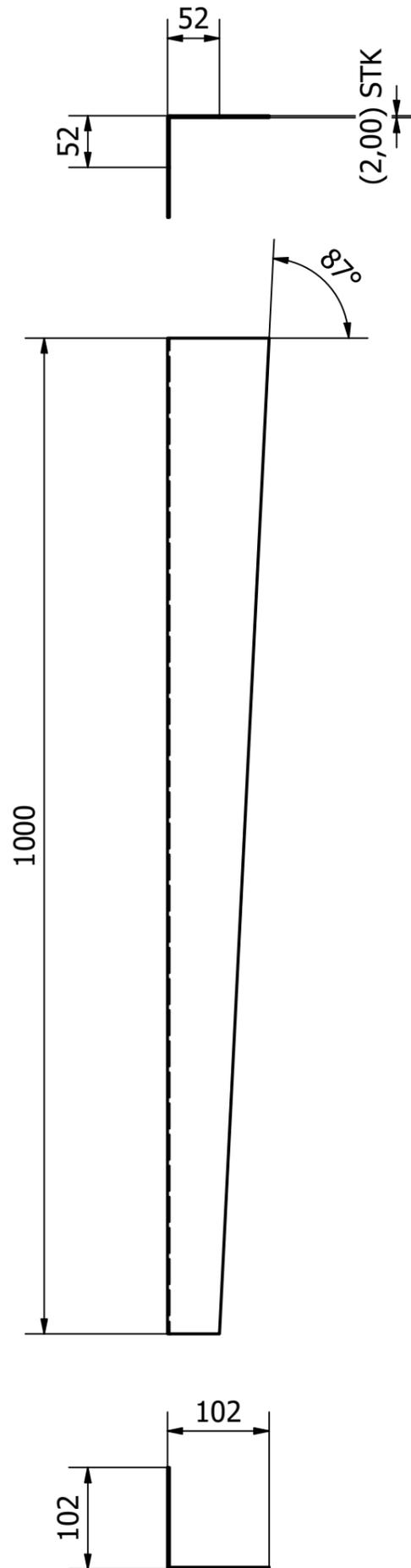
		NAME	DATE
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024
REVIEWED			XX/10/2024
APPROVED			XX/10/2024
TITLE		DWG. NO	
MARCO PATAS 1		OV004-02	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ACERO AISI 304	1:3	A3	-
			SHEET
			1/1



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  
 ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 0.5° IF IN DOUBT ASK

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE
DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
REVIEWED		XX/10/2024	
APPROVED		XX/10/2024	
TITLE		DWG. NO	
MARCO PATAS 2		OV004-02	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ACERO AISI 304	1:4	A3	-
			SHEET
			1/1



NOTES:

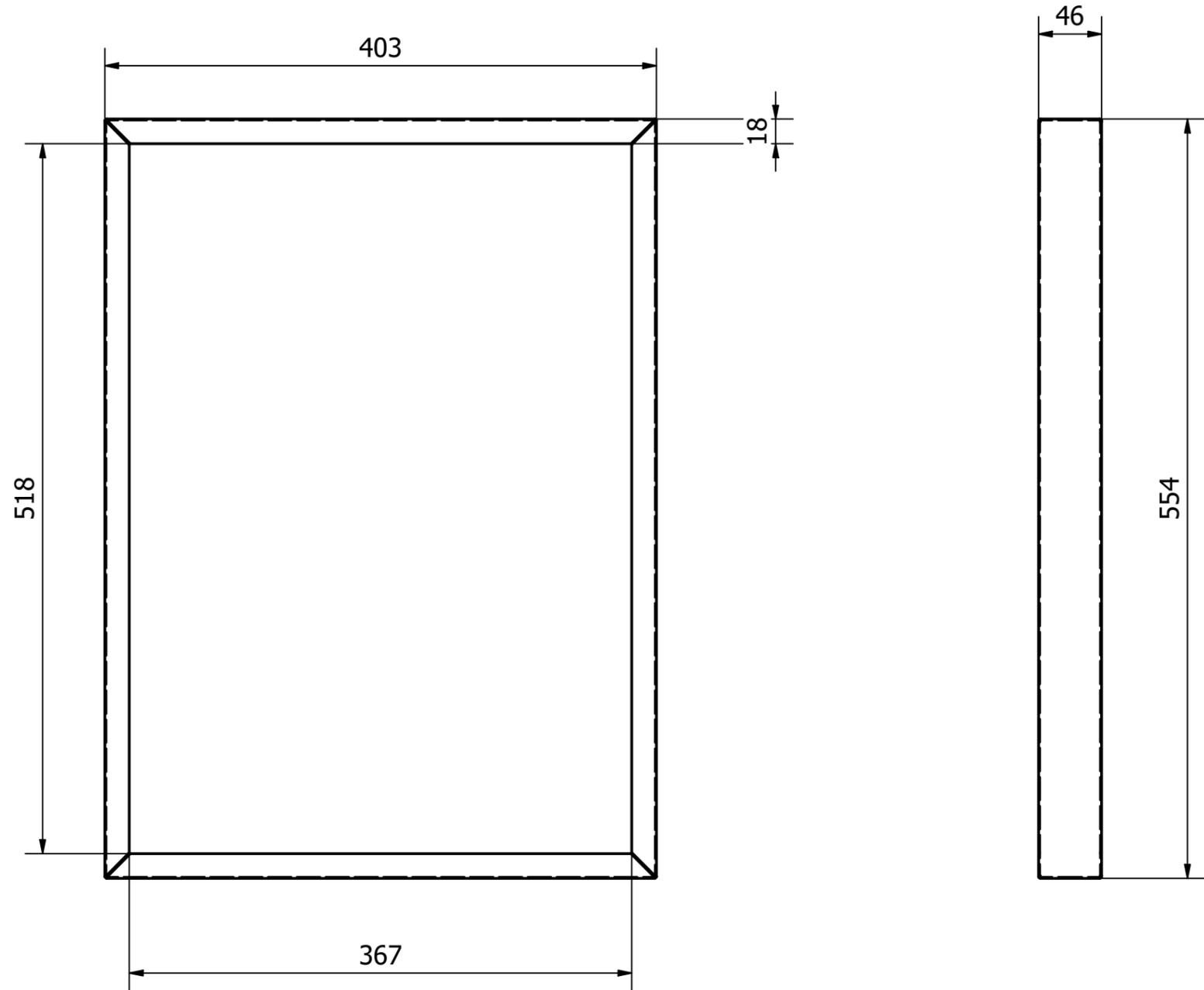
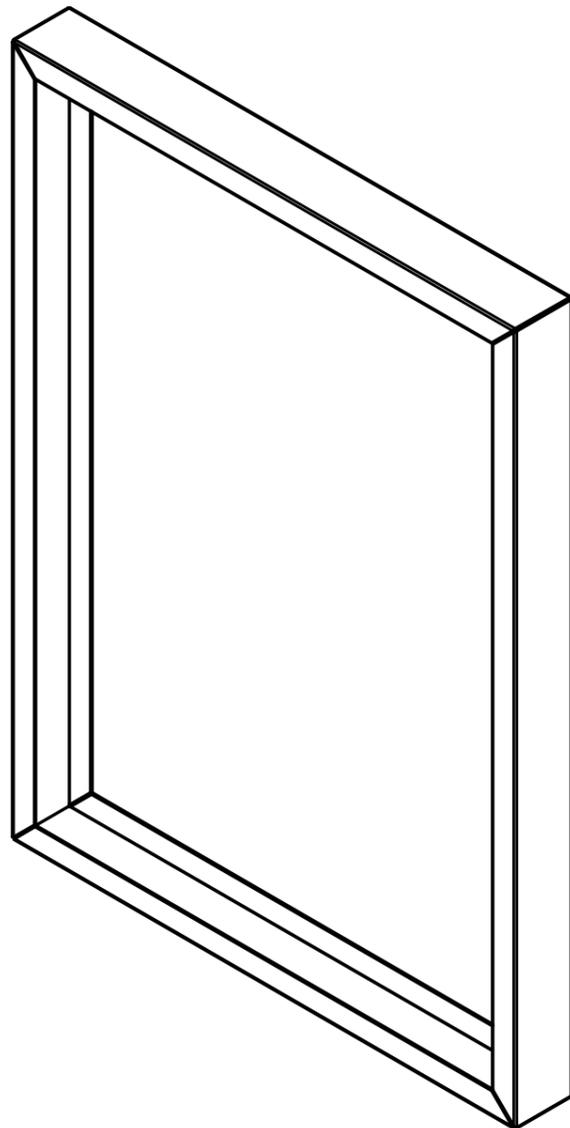
1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

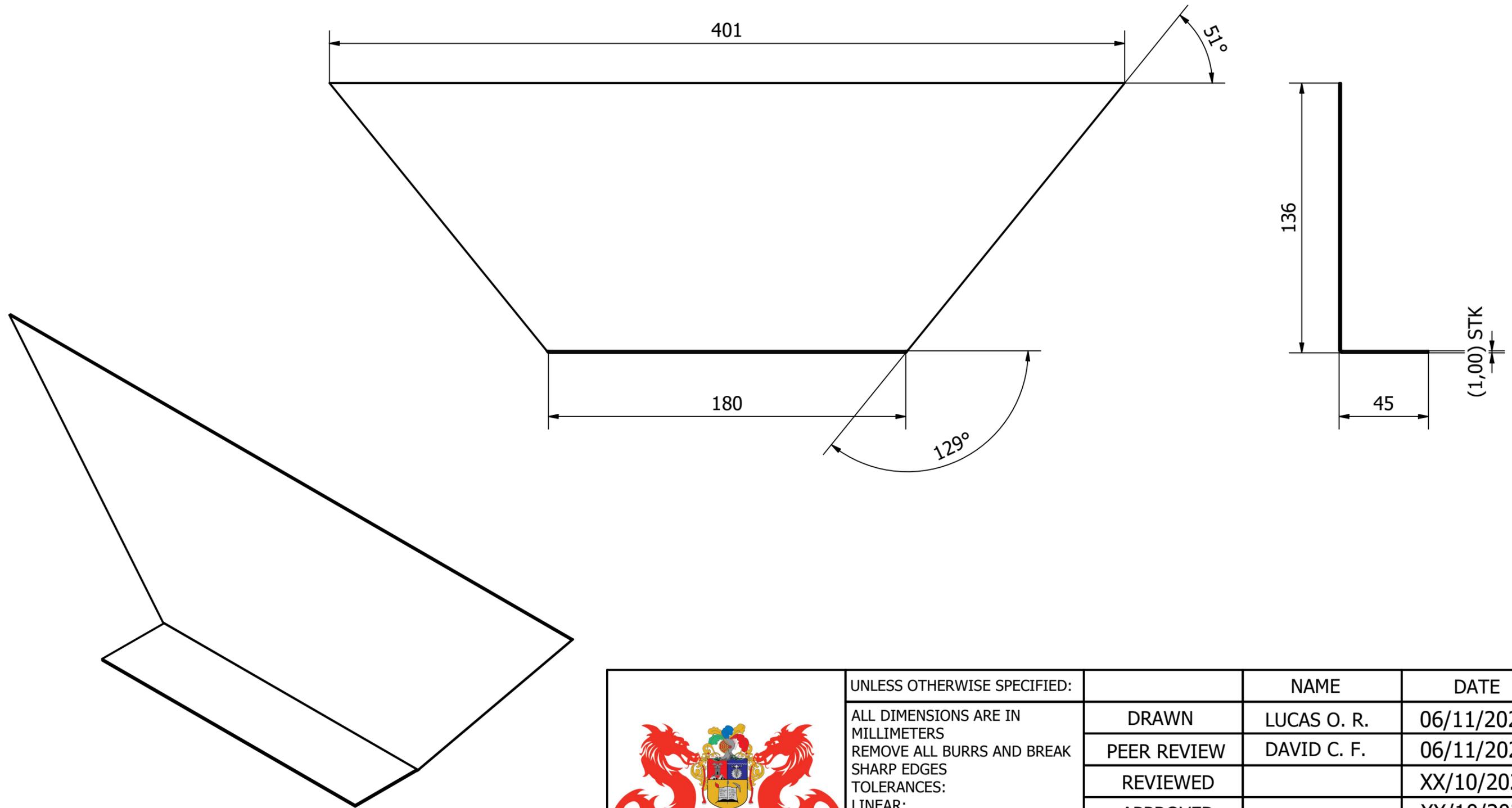
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK	NAME		DATE		
	DRAWN		LUCAS O. R. 06/11/2024		
	PEER REVIEW		DAVID C. F. 06/11/2024		
	REVIEWED		XX/10/2024		
	APPROVED		XX/10/2024		
TITLE			DWG. NO		
PATA			OV004-04		
MATERIAL		SCALE	SIZE	REV	SHEET
ACERO AISI 430		1:6	A3	-	1/1

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN  
 PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND  
 BEND ANGLE 90°



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME		DATE	
ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK		DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024	
		PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024	
		REVIEWED		XX/10/2024	
		APPROVED		XX/10/2024	
		TITLE		DWG. NO	
		MARCO PUERTA		OV005-01	
MATERIAL		SCALE	SIZE	REV	SHEET
ACERO AISI 430		1:4	A3	-	1/1

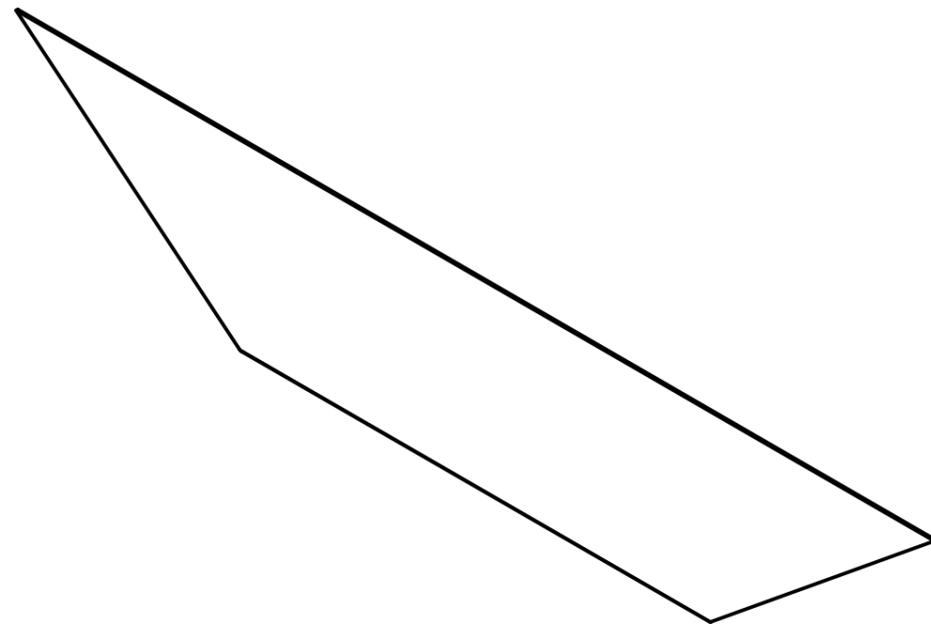
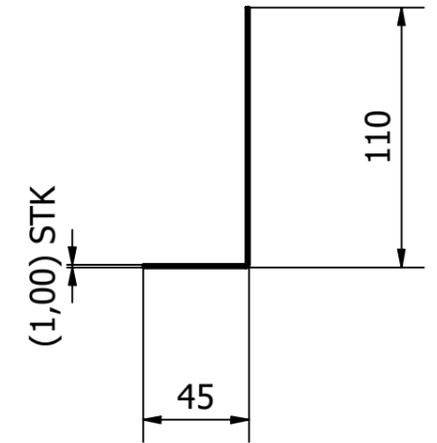
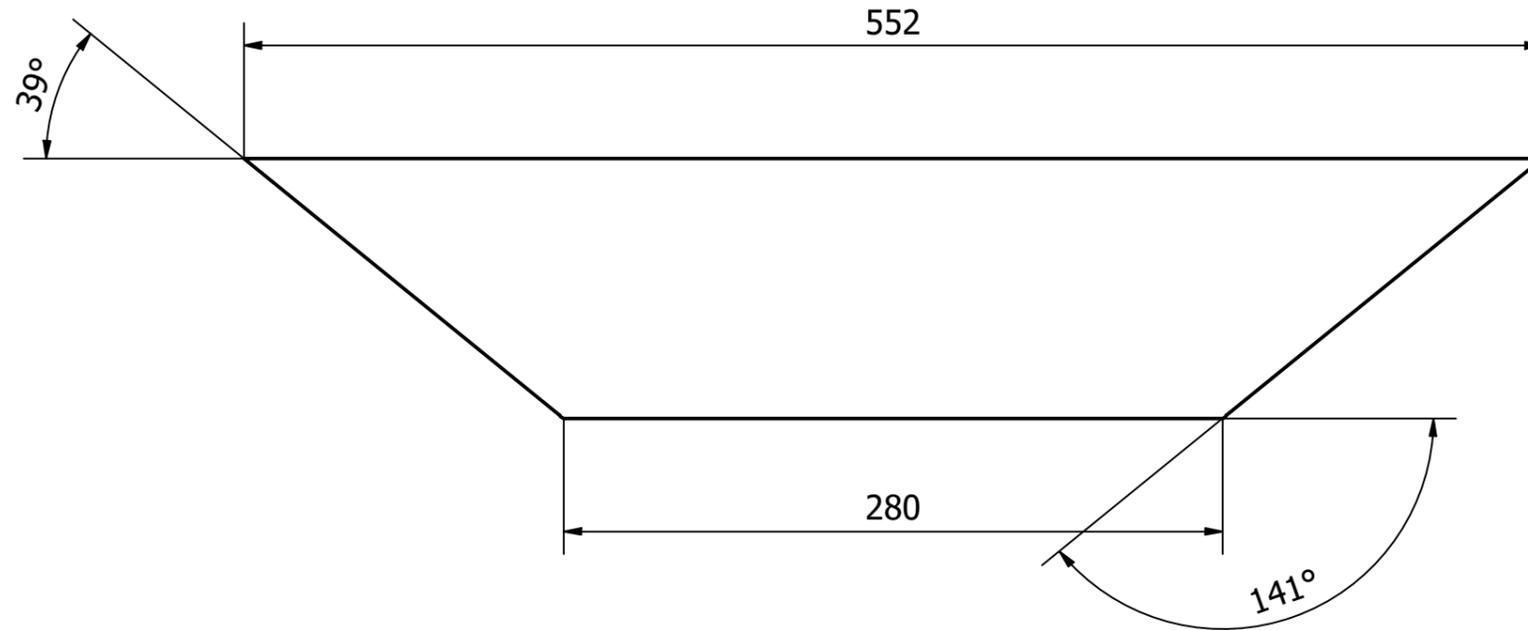
NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

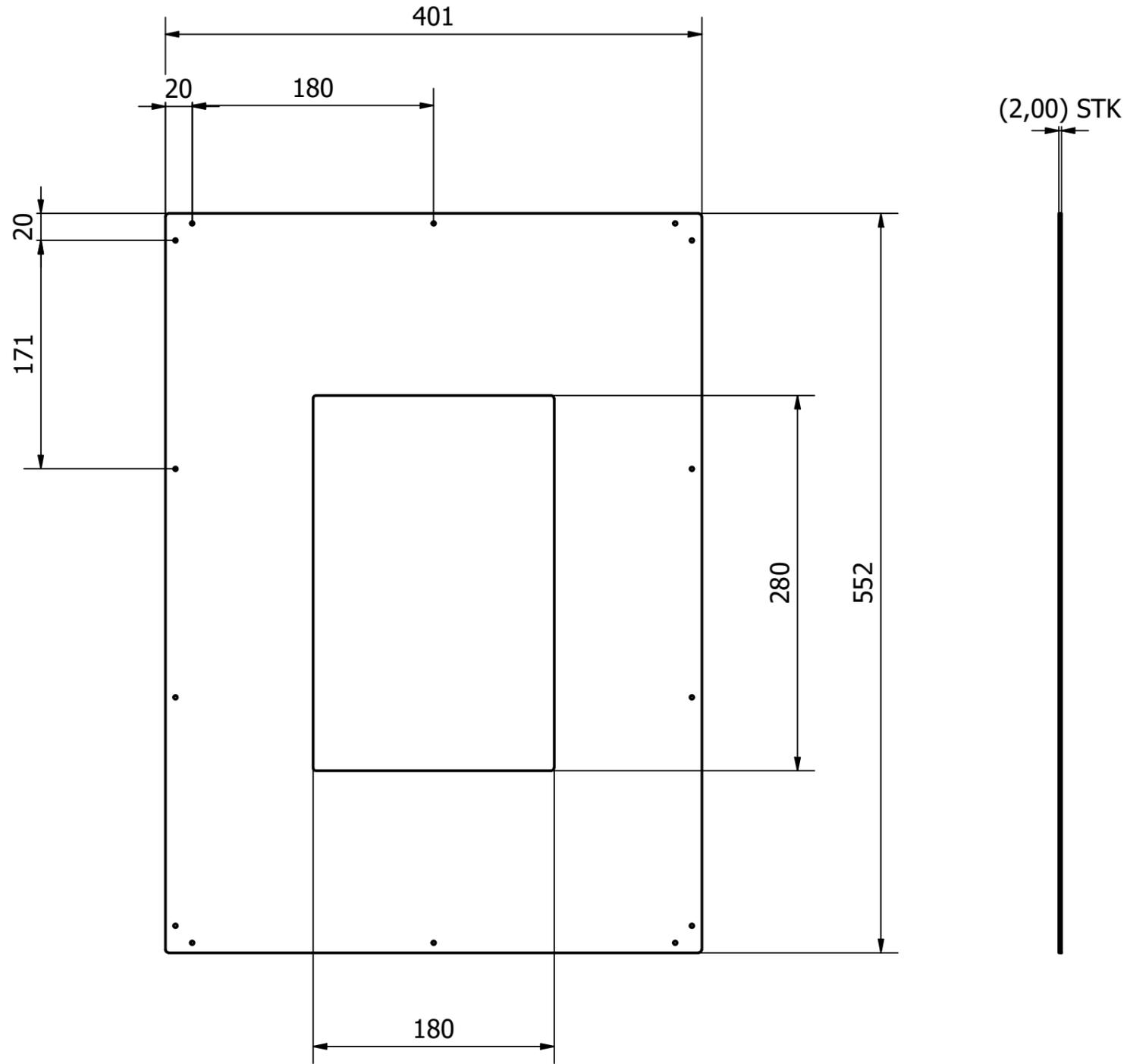
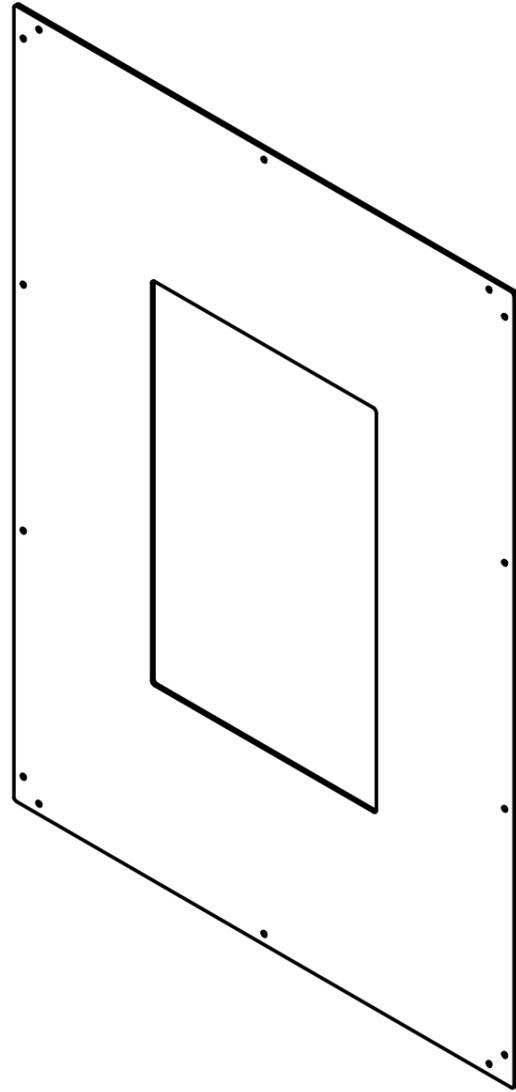
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° IF IN DOUBT ASK		NAME	DATE
	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024
	PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024
	REVIEWED		XX/10/2024
	APPROVED		XX/10/2024
	TITLE TAPA CARA POSTERIOR CORTA	DWG. NO OV004-02	
	MATERIAL ACERO AISI 430	SCALE 1:2	SIZE A3
		REV -	SHEET 1/1

NOTES:  
 1. FLAT PATTERN AND BEND DIMENSION IN PROCESS SHEET, BEND RADIUS 0.25MM AND BEND ANGLE 90°



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:  ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM  ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5°  IF IN DOUBT ASK		NAME	DATE
	DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024
	PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024
	REVIEWED		XX/10/2024
	APPROVED		XX/10/2024
	TITLE TAPA CARA POSTERIOR LARGA	DWG. NO OV004-03	
	MATERIAL ACERO AISI 430	SCALE 1:3	SIZE A3
		REV -	SHEET 1/1



(2,00) STK

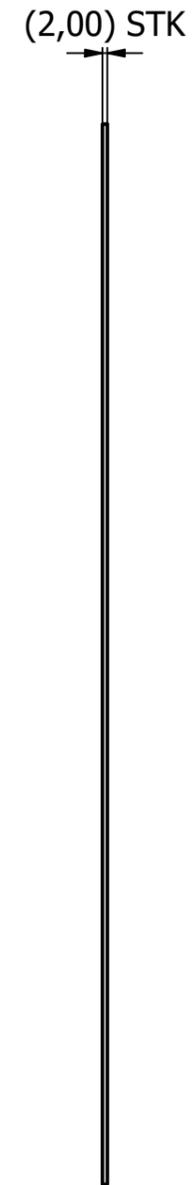
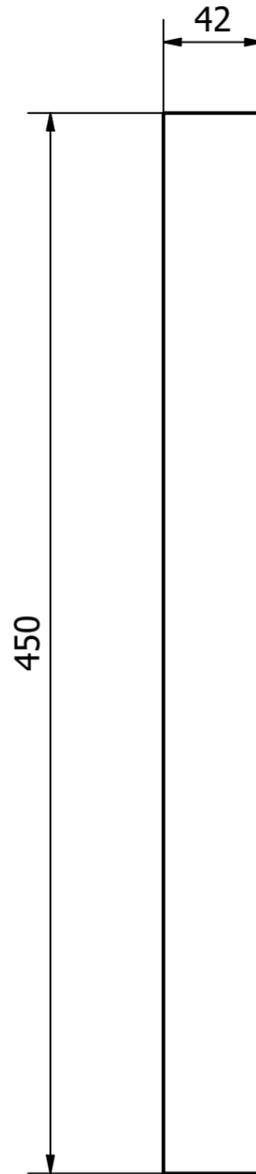


UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:

ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS  
 REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES  
 TOLERANCES:  
 LINEAR:  
 X ± 0.5MM  
 X.X ± 0.1MM  
 X.XX ± 0.05MM  
 ANGULAR:  
 X ± 1°  
 X.X ± 0.5°  
 0.5° IF IN DOUBT ASK

		NAME	DATE
DRAWN		LUCAS O. R.	06/11/2024
PEER REVIEW		DAVID C. F.	06/11/2024
REVIEWED			XX/10/2024
APPROVED			XX/10/2024
TITLE		DWG. NO	
TAPA PUERTA		OV005-04	
MATERIAL	SCALE	SIZE	REV
ACERO AISI 430	1:4	A3	-
			SHEET
			1/1



 <b>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO</b>	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:		NAME	DATE	
	ALL DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS REMOVE ALL BURRS AND BREAK SHARP EDGES TOLERANCES: LINEAR: X ± 0.5MM X.X ± 0.1MM X.XX ± 0.05MM ANGULAR: X ± 1° X.X ± 0.5° 0.5° IF IN DOUBT ASK		DRAWN	LUCAS O. R.	06/11/2024
			PEER REVIEW	DAVID C. F.	06/11/2024
			REVIEWED		XX/10/2024
			APPROVED		XX/10/2024
		TITLE	DWG. NO		
	TOPE PUERTA	OV005-05			
	MATERIAL	SCALE	SIZE	REV	SHEET
	ACERO AISI 430	1:3	A3	-	1/1



### Base para la caja interna

**Proyecto Integrado IME**

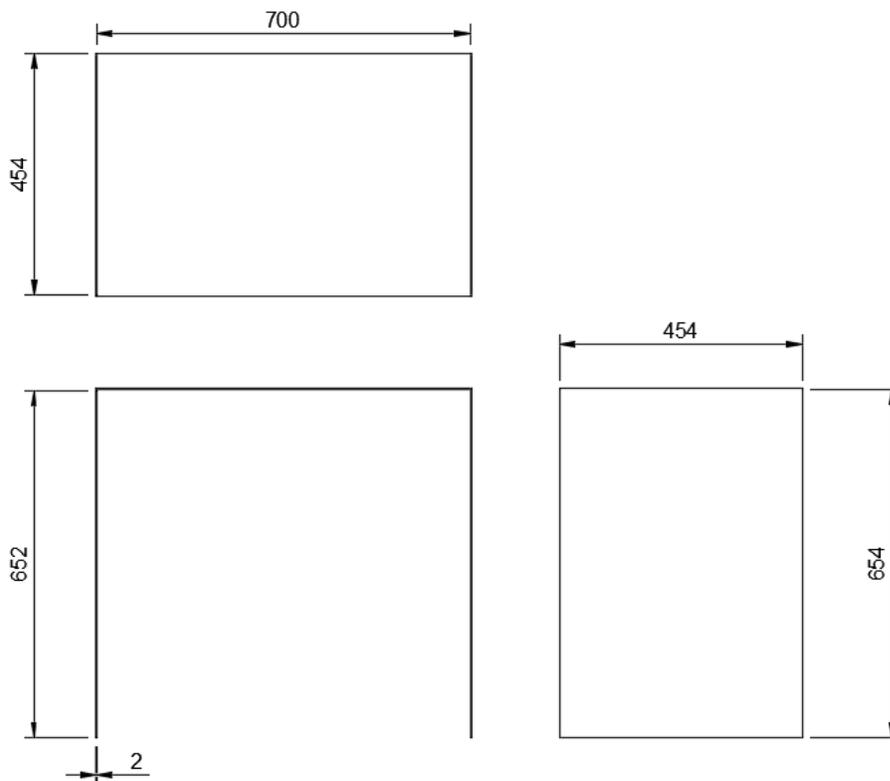
**Caja Interna**

**Item 1**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**  
Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
1



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [Kw]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	247

	<p>acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.</p>								
2	<p>Realizar el doblado del pedazo de plancha para obtener una forma de U presentada.</p>		Plegadora	90	1.2	150000	N/A	2	66
3	<p>Colocar las piezas cortadas y dobladas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 1 con el ítem 2. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.</p>		TIC con electro 308L	45	N/A	0.835	N/A	2	800



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

### Tapa superior e inferior para la caja interna

**Proyecto Integrado IME**

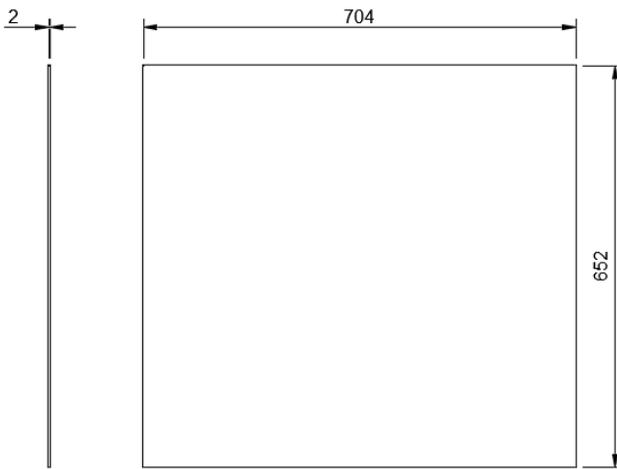
**Caja Interna**

**Ítem 2**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**  
Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	297
2	Colocar las piezas cortadas y dobladas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este		TIC con electro 308L	45	N/A	N/A	0.835	2	800

	caso requerimos soldar el ítem 2 con el ítem 1. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.								
--	---	--	--	--	--	--	--	--	--



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Base para la caja externa**

**Proyecto Integrado IME**

**Caja Externa**

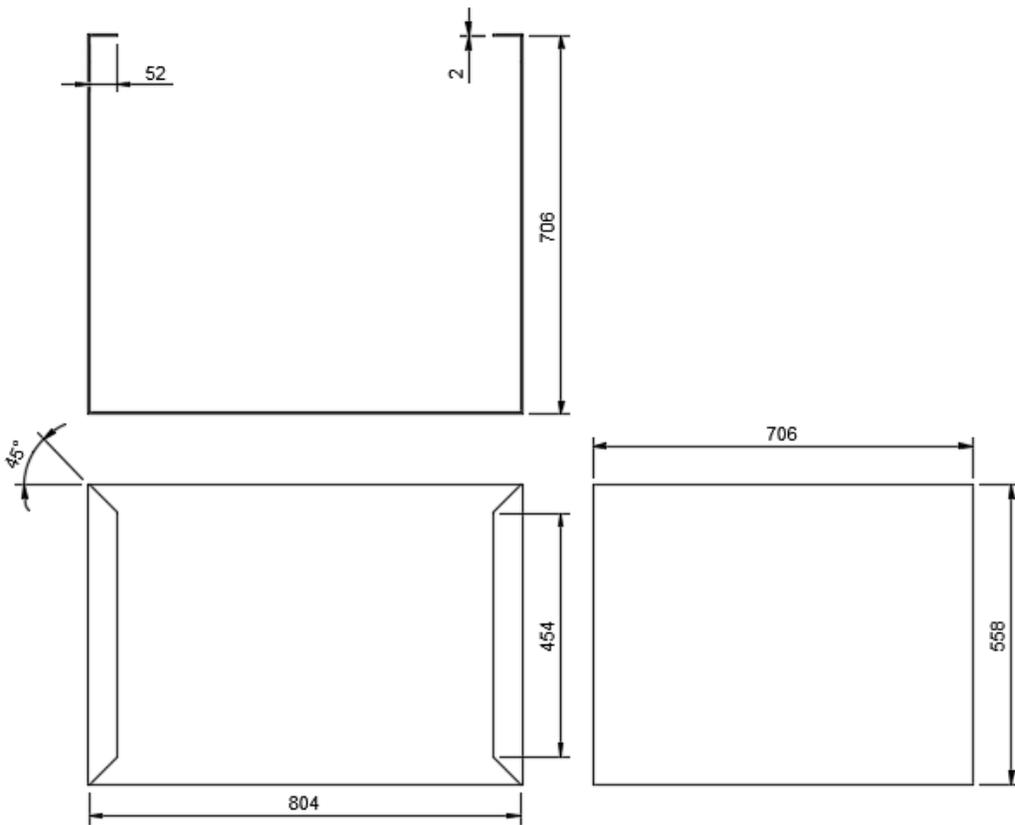
**Ítem 3**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**

Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
1



N° de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	416

	<p>plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.</p>								
2	<p>Realizar el doblado del pedazo de plancha para obtener una forma de U presentada.</p>		Plegadora	90	1.2	150000	N/A	2	81
3	<p>Colocar las piezas cortadas y dobladas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 3 con el ítem 4. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.</p>		TIC con electro 308L	45	N/A	0.835	N/A	2	1080



**Tapa superior e inferior para la caja externa**

**Proyecto Integrado IME**

**Caja Externa**

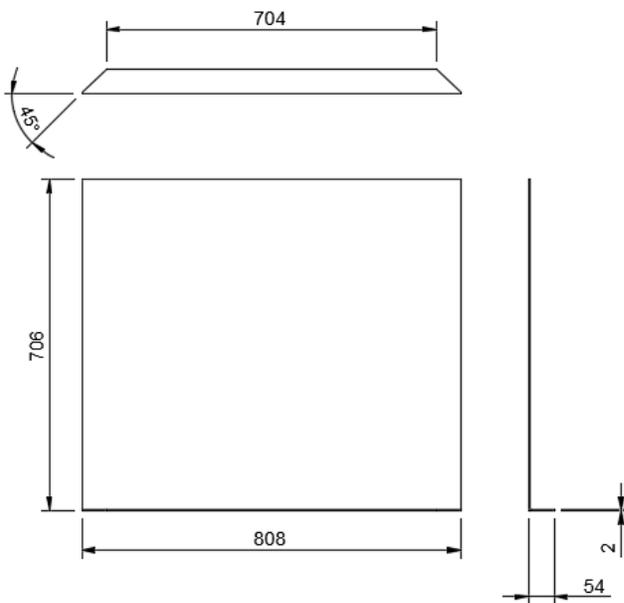
**Ítem 4**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**

Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	416

2	Realizar el doblado del pedazo de plancha para obtener una forma de U presentada.		Plegadora	90	1.2	150000	N/A	2	117
3	Colocar las piezas cortadas y dobladas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 4 con el ítem 3. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 308L	45	N/A	0.835	N/A	2	1080



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 1 estructura caja interna**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Interna**

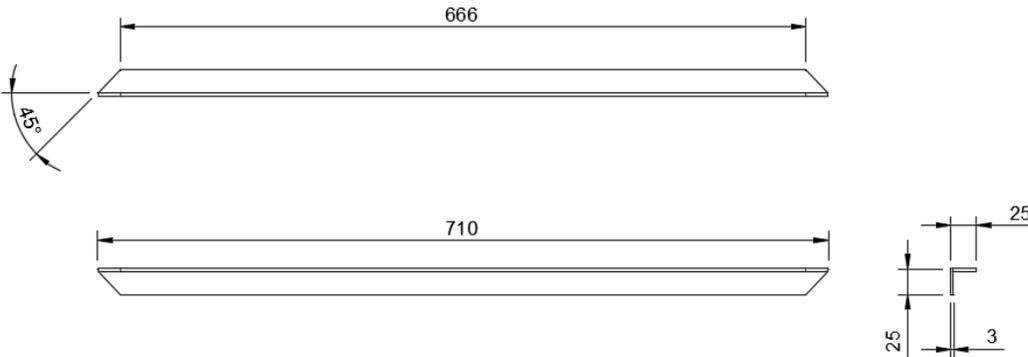
**Ítem 5**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	los cuales se realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 5 con el ítem 6 y 7. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 2 estructura caja interna**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Interna**

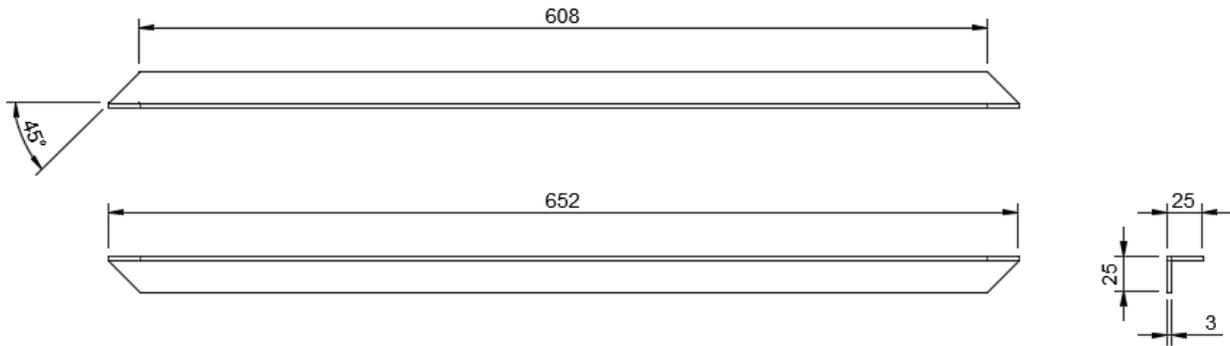
**Ítem 6**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 6 con el ítem 5, 7, 8 y 9. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 3 estructura caja interna**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Interna**

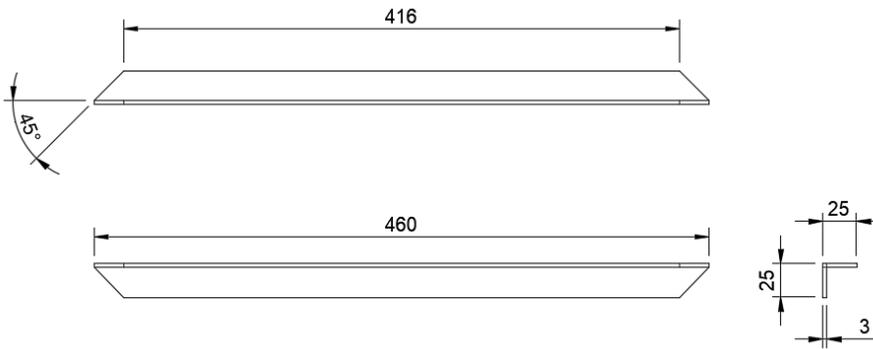
**Ítem 7**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
2



N° de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 6 con el ítem 5 y 7. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 4 estructura caja interna**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Interna**

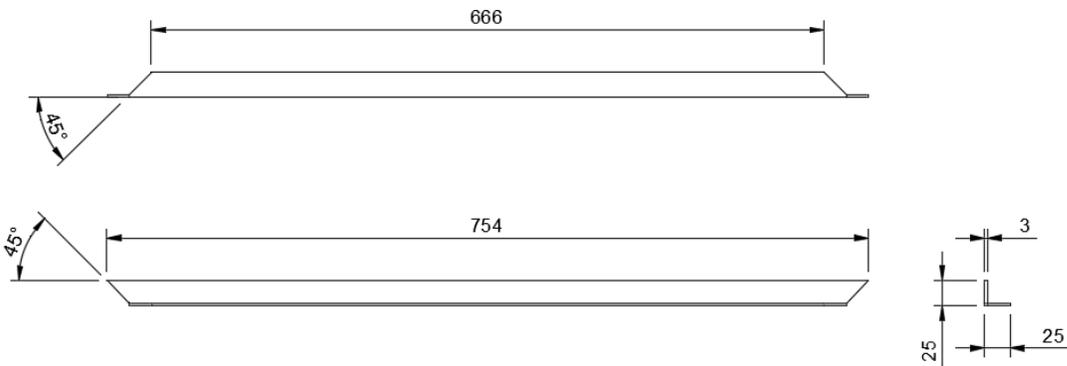
**Ítem 8**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 8 con el ítem 6 y 9. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 5 estructura caja interna**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Interna**

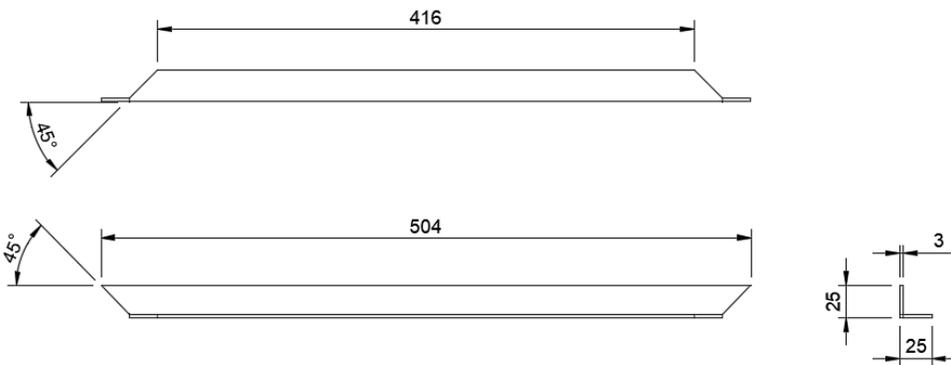
**Ítem 9**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
2



N° de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	los cuales se realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 9 con el ítem 6 y 8. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 1 estructura caja externa**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Externa**

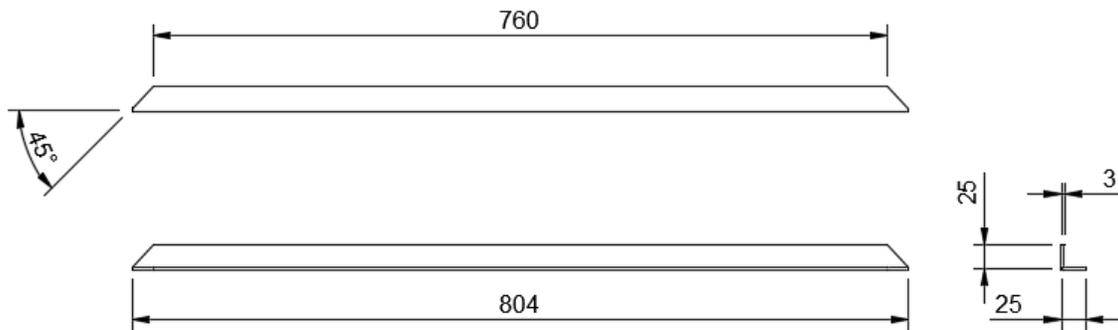
**Ítem 10**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 10 con el ítem 11 y 12. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 2 estructura caja externa**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Externa**

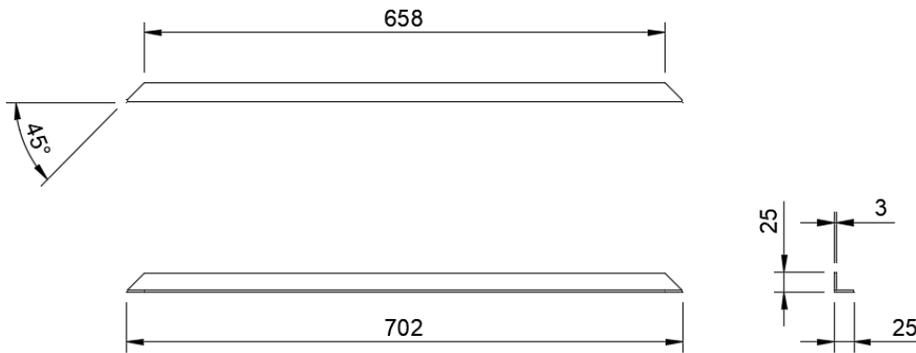
**Ítem 11**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se realizaron las cortes		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

3	<p>Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí.</p> <p>Para este caso requerimos soldar el ítem 11 con el ítem 10 y 12. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.</p>		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200
---	---	---	----------------------	----	-----	-------	-----	---	------



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Pieza 3 estructura caja externa**

**Proyecto Integrado IME**

**Estructura Caja Externa**

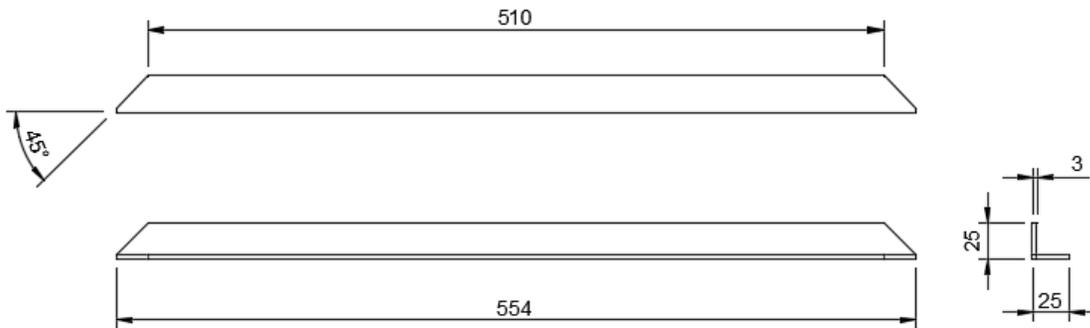
**Ítem 12**

**Material:** Acero AISI 304

**Dimensiones brutas materia prima:**

Angulo en L 25 X 25 X 3 mm

**Cantidad:**  
4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Medir y marcar las dimensiones requeridas. Con la amoladora y disco de corte, realizar los cortes necesarios para obtener las dimensiones marcadas previamente.		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	277
2	Cambiar el disco de corte con el disco de lija y remover las aristas vivas y rebabas sobre los extremos en los cuales se		Amoladora con disco de lija	45	36	7000	0.0515	3	139

	realizaron las cortes								
3	Colocar las piezas cortadas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 12 con el ítem 10 y 11. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 304L	45	N/A	0.835	N/A	3	1200



**Patas**

**Proyecto Integrado IME**

**Patas**

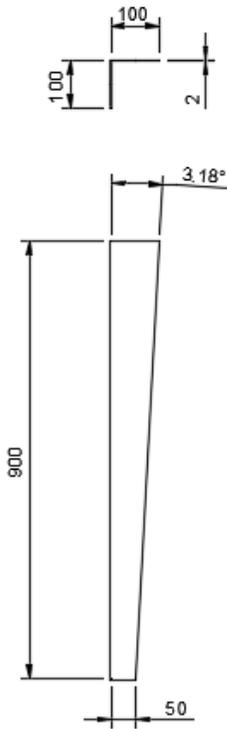
**Ítem 13**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**

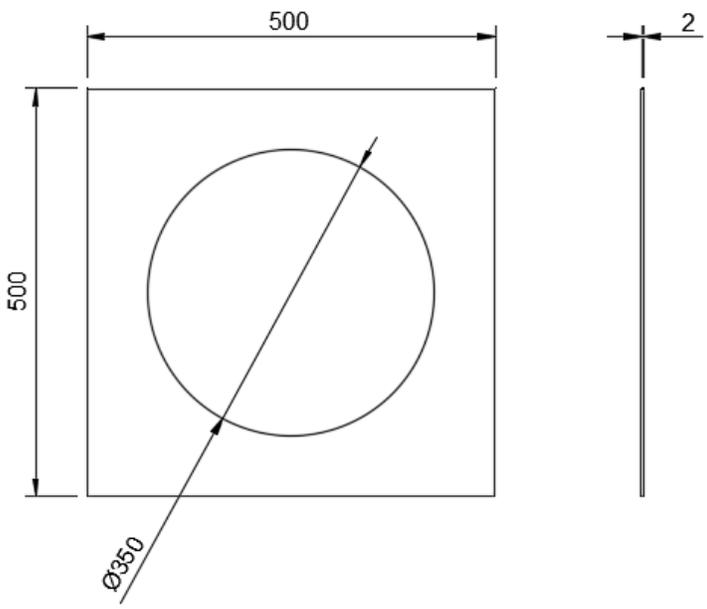
Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	606

2	Realizar el doblado del pedazo de plancha para obtener una forma de U presentada.		Plegadora	90	1.2	150000	N/A	2	260
3	Colocar las piezas cortadas y dobladas en sus posiciones finales, y soldarlas entre sí. Para este caso requerimos soldar el ítem 1 con el ítem 2. WPS del cordón de soldadura adjunto a las hojas de proceso.		TIC con electro 308L	45	N/A	0.660	N/A	2	480

		<b>Armazón grande</b>							<b>Proyecto Integrado IME</b>	
									<b>Armazón</b>	
									<b>Ítem 14</b>	
<b>Material:</b> Acero AISI 430					<b>Dimensiones brutas materia prima:</b> Plancha 1200 X 2440 X 2 mm			<b>Cantidad:</b> 2		
										
Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]	
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	447	



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Armazón mediano**

**Proyecto Integrado IME**

**Armazón**

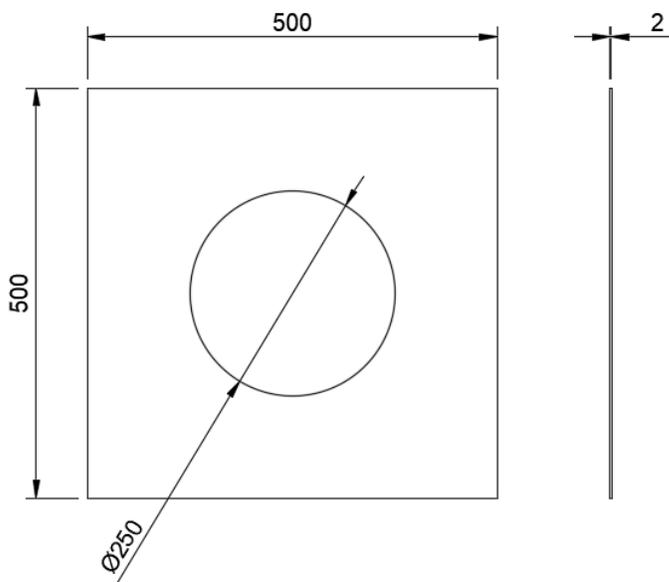
**Ítem 14**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**

Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	402



UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO

**Armazón mediano**

**Proyecto Integrado IME**

**Armazón**

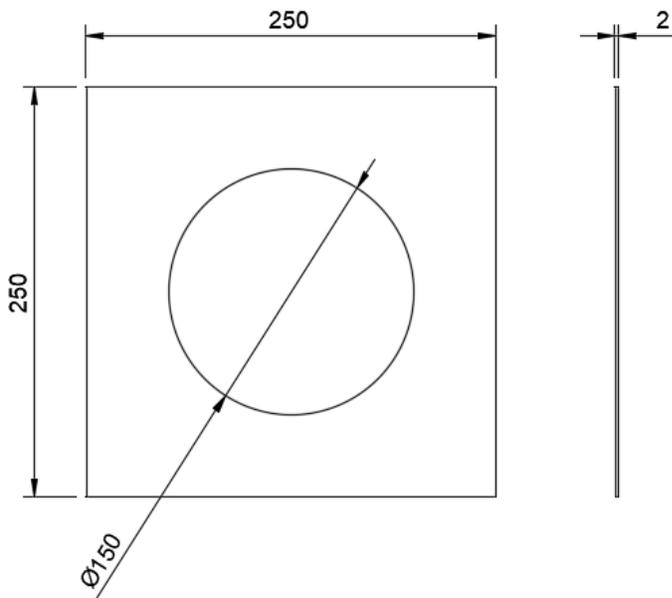
**Ítem 14**

**Material:** Acero AISI 430

**Dimensiones brutas materia prima:**

Plancha 1200 X 2440 X 2 mm

**Cantidad:**  
2



Nº de Proceso	Designación	Esquema de proceso	Herramienta	Angulo [°]	Velocidad de corte [m/min]	n [rpm] o [N] o [KW]	S [mm/rev]	th [mm]	Tm [seg]
1	Con el corte laser se busca realizar corte precisos y limpios sobre la plancha de acero. Ingresar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte.		Cortadora laser	90	1.2	2	N/A	2	212