

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Diseño y construcción de un sistema de termoformado para  
fabricación de Sockets prostéticos**

**Kevin Santiago Morales Frutos  
Juan Fernando Garrido Villegas  
André Stefhano Vallejo Guayasamín**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito para la obtención del título de  
Ingeniero Mecánico

Quito, 21 de diciembre de 2023

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

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

**Diseño y construcción de un sistema de termoformado para  
fabricación de Sockets protésicos**

**Kevin Santiago Morales Frutos  
Juan Fernando Garrido Villegas  
André Stefhano Vallejo Guayasamín**

Patricio Gabriel Chiriboga Arroyo, PhD.

Quito, 21 de diciembre de 2023

**© DERECHOS DE AUTOR**

Por medio de este 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 la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y Apellidos: Kevin Santiago Morales Frutos  
Juan Fernando Garrido Villegas  
André Stefhano Vallejo Guayasamín

Código: 00139489  
00206914  
00204500

Cedula de identidad: 1724243264  
1719813667  
1723616809

Lugar y fecha: Quito, 21 de diciembre de 2023

## **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## **UNPUBLISHED DOCUMENT**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>

## **AGRADECIMIENTOS**

Queremos comenzar por agradecer a Dios y a nuestros familiares, quienes nos han brindado apoyo incondicional, confianza, motivación y amor para poder culminar esta etapa de nuestra vida. A la Fundación Hermano Miguel y Marco Llangarí que, con su vasta experiencia, nos guiaron y aconsejaron en la parte técnica de este proyecto. De igual forma agradecemos a la Universidad San Francisco de Quito, en especial a nuestro tutor de académico, Patricio Chiriboga quien supo guiarnos de la mejor manera, aportando y brindando conocimientos para un alto desarrollo profesional como ingenieros.

## Resumen

La amputación es uno de los procesos quirúrgicos más antiguos utilizados en la historia con el fin de preservar la vida humana. Según el consejo nacional para la igualdad de las discapacidades (CONADIS) en Ecuador, en 2023 se registraron más de 471 mil personas con discapacidad de las cuales el 45,66% poseía alguna discapacidad física. Además, la fabricación de prótesis es un tema de gran interés para el profesorado del IME ya que complementa líneas de investigación y vinculación de los profesores de la carrera. Los laboratorios de la universidad no cuentan con una máquina termoformadora utilizada para la fabricación de encajes protésicos. En base a estas necesidades, el objetivo de este proyecto fue el diseño y construcción de un sistema de termoformado al vacío en las instalaciones de la USFQ. El sistema de termoformado al vacío constaba de 3 secciones principales: una estación móvil, un sistema de vacío y una fuente de calentamiento. El sistema estructural fue un diseño original de una estructura móvil que pudiera soportar las cargas aplicadas de manera estable, además de cumplir con los requisitos de precio y peso total. El sistema de vacío es generado por una bomba de vacío QVP-800 que debe cumplir con una potencia de 15-20 inHg, además cuenta con un sistema de tuberías que limita las pérdidas y mantiene la presión deseada. Finalmente, la fuente de calentamiento consistió en un horno Thermo Scientific de 220 voltios, el cual nos permitió colocar láminas de 40x40 cm de los diferentes materiales termoplásticos y permitir que alcanzaran su estado viscoelástico. Juntos estos componentes nos permiten crear encajes protésicos de diferentes tamaños y materiales.

**Palabras clave:** Termoformado, Vacío, Viscoelasticidad, Encaje, Estación, Termoplástico

## **Abstract**

Amputation is one of the oldest surgical processes used in history for the purpose of preserving human life. According to the national council for the equality of disabilities (CONADIS) in Ecuador, in 2023 more than 471 thousand disabled people were registered of which 45.66% possessed a physical disability. Additionally, prosthesis fabrication is a topic of great interest for the IME faculty since it complements lines of research and linkage of professors of the career. The university laboratories do not have a thermoforming machine used for the fabrication of prosthetic sockets. Based on these needs, the objective of this project was the design and construction of a vacuum thermoforming system in the facilities of the USFQ. The vacuum thermoforming system consisted of 3 main sections: a mobile station, vacuum system, and heating source. The structural system was an original design of a mobile structure which could support the applied loads in a stable manner, as well as meeting price and total weight requirements. The vacuum system is generated by a QVP-800 vacuum pump that must meet a power of 15-20 inHg, also has a piping system that limits losses and maintains the desired pressure. Finally, the heating source consisted of a 220-volt Thermo Scientific oven, which allowed us to place 40x40 cm sheets of the different thermos-plastic materials and allow them to reach their viscoelastic state. All these components together allow us to create prosthetic sockets of different sizes and materials.

**Keywords:** Thermoforming, Vacuum, Viscoelasticity, Socket, Station, Thermoplastic

## Índice General

1.	<i>Resumen Ejecutivo</i> .....	13
2.	<i>Introducción</i> .....	15
3.	<i>Requerimientos de diseño</i> .....	17
4.	<i>Estándares técnicos</i> .....	17
	4.1 <i>ISO 10328</i> .....	18
	4.2 <i>ISO 13485</i> .....	18
	4.3 <i>ASTM F2019</i> .....	18
	4.4 <i>American Orthotic &amp; Prosthetic Association (AOPA)</i> .....	18
	4.5 <i>ASTM D 790</i> .....	18
	4.6 <i>ISO 20795-1 - Prosthetics and orthotics - Transfemoral sockets - Part 1</i> .....	18
	4.7 <i>ISPO</i> .....	19
	4.8 <i>Technical Manual THERMOFORMING</i> .....	19
	4.9 <i>UNE-EN 1012-2:1996+A1:2010</i> .....	19
5.	<i>Análisis de Riesgos</i> .....	20
6.	<i>Alternativas de diseño y selección</i> .....	20
	6.1 <i>Diseño de mesa de trabajo</i> .....	20
	6.2 <i>Selección de Alternativas de Diseño</i> .....	22
7.	<i>Plan de manufactura</i> .....	32
	7.1 <i>Diagramas de flujo</i> .....	32
	7.2 <i>Hoja de procesos</i> .....	37
8.	<i>CÁLCULOS PARTE 1</i> .....	38
	8.1 <i>Cálculos estáticos de la mesa de estación para termoformado</i> .....	38
	8.1.1 <i>Sistema de Empuje</i> .....	39
	8.1.2 <i>Análisis de la barra horizontal</i> .....	41
	8.1.3 <i>Análisis de la barra horizontal</i> .....	43
	8.1.4 <i>Base de la Bomba</i> .....	46
	8.1.5 <i>Pata para mesa de estación</i> .....	48
	8.1.6 <i>Junta empernada</i> .....	51
9.	<i>CÁLCULOS PARTE 2</i> .....	60
	9.1 <i>Cálculos de transferencia de calor</i> .....	60
	9.2 <i>Cálculos de sistema de vacío</i> .....	70



9.3	<i>Eficiencia de la bomba de vacío</i> .....	73
9.4	<i>Análisis estático de viga en C para soporte tubo de vacío</i> .....	74
9.5	<i>Soldadura de la viga para el soporte del tubo de vacío</i> .....	77
9.6	<i>Cálculos estáticos en el eje de sujeción para el tubo de vacío</i> .....	80
9.7	<i>Soldadura del eje de sujeción para el tubo de vacío</i> .....	83
9.8	<i>Pruebas Realizadas del Prototipo</i> .....	85
10.	<i>Conclusiones</i> .....	106
11.	<i>Recomendaciones y trabajos futuros</i> .....	107

## Índice de figuras

<i>Figura 1 Mesa de estación de trabajo para el termoformado</i> .....	21
<i>Figura 2. Horno laboratorio ingeniería civil (DIRIMPEX, s.f.)</i> .....	22
<i>Figura 3. Bomba de vacío QVP-800</i> .....	24
<i>Nota. Elaboración propia</i> .....	24
<i>Figura 4. Válvula de regulación de vacío (Fernández, 2013)</i> .....	25
<i>Figura 5. Plato de formación de burbuja (OPE, 2016)</i> .....	26
<i>Figura 6. Armazón para polímero (Quezada 2017)</i> .....	27
<i>Figura 7. Soporte del armazón (Quezada 2017)</i> .....	29
<i>Figura 8. Mesa de estación</i> .....	31
<i>Figura 9. Mesa de estación de trabajo</i> .....	39
<i>Figura 10. Vista frontal sistema de empuje</i> .....	40
<i>Figura 11. Diagrama de cuerpo libre de la barra horizontal del sistema de empuje</i> ....	41
<i>Figura12. Diagrama de cuerpo libre de la barra inclinada del sistema de empuje</i> .....	44
<i>Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de la base de la bomba</i> .....	46
<i>Figura 14. Diagrama de Momento Flector de la Barra</i> .....	47
<i>Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de las patas</i> .....	49
<i>Figura 16. Nomenclatura de las medidas de un perno</i> .....	56
<i>Figura 17: Medidas de las paredes internas de un horno OGH-S100</i> .....	60
<i>Figura 18. Diseño y propiedades generales una plancha de polipropileno</i> .....	62
<i>Figura 19. Diseño de plancha de polipropileno con unión al armazón</i> .....	64
<i>Figura 20. Ecuaciones para cálculo del número Nusselt para superficies planas en dependencia de numero de Rayleigh (Bergman, 2013)</i> .....	65
<i>Figura 21. Dimensiones generales de un molde para fabricación de un socket protésico</i> .....	70
<i>Figura 22. Diagrama de cuerpo libre viga de apoyo para tubo de vacío</i> .....	74
<i>Figura 23. Diagrama de Momento Flector de la Viga en C</i> .....	75
<i>Figura 24. Diseño de unión de viga rectangular con respecta al perfil en L</i> .....	77
<i>Figura 25. Propiedad flexionante de soldadura de filete para el diseño de la viga con respecto al perfil en L tomada del libro de Shigley de Mechancal Engineering Design</i> .	78
<i>Figura 26. Carga aplicada sobre la viga soldada al perfil en L</i> .....	79
<i>Figura 27. Diagrama de Momento Flector del eje de sujeción del tubo de vacío</i> .....	82

*Figura 28. Propiedad flexionante de soldadura de filete para el diseño de la viga con respecto al perfil en L tomada del libro de Shigley de Mechanical Engineering Design . 84*

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Horno para el sistema de termoformado.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Sistema de vacío.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 3. Selección de sistema de regulación de vacío .....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4. Selección del material para el plato de formación de burbuja .....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5: Selección del material para el armazón .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 6. Selección del material para fabricación del soporte del armazón .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7. Selección de diseño de la Estación de Trabajo .....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8: Esfuerzo de fluencia para el acero 1006 (Shigley, 2015).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y paso fino.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 10. Modulo de elasticidad para el acero.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 11. Esfuerzo minimo de rendimiento .....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 12. Propiedades físicas del aire obtenida del libro de Bergman de Heat and Mass Transfer (2014) .....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 13. Propiedades termofísicas de los gases a presión atmosférica obtenida del libro de Bergman de Heat and Mass Transfer (2014).....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 17: Tabla de propiedades estructurales y geométricas de un perfil en C, obtenido del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (2015). .....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 18. Tiempos de vacío obtenidos experimentalmente .....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 19. Tiempos de diferentes materiales en el horno .....</i>	<i>86</i>

## 1. Resumen Ejecutivo

Según el consejo nacional para la igualdad de las discapacidades (CONADIS) en Ecuador, en 2023 se registraron más de 471 mil personas con discapacidad de las cuales un gran porcentaje poseía una discapacidad física, lo cual presenta una oportunidad de intervención y aporte a una situación que requiere de apoyo. Adicionalmente, la fabricación de prótesis es un tema de gran interés para la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad San Francisco de Quito ya que complementa líneas de investigación de la carrera. Los laboratorios de la universidad no cuentan con una máquina termoformadora utilizada para la fabricación de *sockets* o encajes protésicos. En base a estas necesidades, el objetivo de este proyecto fue el diseño y construcción de un sistema de termoformado al vacío en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito, para poder aportar a una comunidad en necesidad. El sistema de termoformado al vacío consta de 3 secciones principales: una estación móvil, un sistema de vacío y una fuente de calor. Donde los requerimientos necesarios que debe cumplir el sistema son principalmente los siguientes:

- Soportar cargas aplicadas sobre la estación
- Alcanzar y mantener la presión mínima requerida en el flujo de vacío
- Llevar al termoplástico a su estado viscoelástico
- Regular la cámara de vacío generada
- Estación móvil y sencilla de operar
- Sistema versátil
- Funcional dentro de las instalaciones de la USFQ
- El presupuesto del proyecto tiene que ser alrededor de los 400 dólares
- El sistema debe tener la capacidad de trabajar con materiales biocompatibles.
- El sistema debe garantizar una larga vida útil

- El sistema debe ser lo suficientemente cómodo para el operario.

De todos estos requerimientos planteados existe uno que se vio comprometido de cierta manera, “que el sistema sea funcional dentro de las instalaciones de la USFQ”. El sistema diseñado y fabricado si es funcional, cumpliendo con el resto de los requerimientos necesarios, sin embargo, el horno *Thermo Scientific* destinado para el proyecto, el cual se encuentra en las instalaciones de la universidad, presentó pérdidas de energía, lo que lleva al material a tener un tiempo de calentamiento exageradamente elevado. Es esta una de las principales razones por la que se plantea a la facultad de IME, realizar la compra de un horno que cumpla con las características deseadas para poder trabajar a futuro.

El sistema estructural es un diseño original planteado por el grupo de trabajo, consiste en una estructura móvil que permite soportar las cargas aplicadas de forma estable, obteniendo factores de seguridad en todo el sistema dentro de la zona segura de diseño, además de cumplir los requisitos de un precio menor a \$400 y mantener un peso total ligero que facilite su movilidad. El sistema de vacío está generado por una bomba de vacío QVP-800, que cuenta con una potencia de  $\frac{3}{4}$  Hp, esta bomba permite alcanzar la potencia requerida de 15-20 inHg necesarias para el desarrollo de sockets, además cuenta con un sistema de tuberías que limita las pérdidas y mantiene la presión deseada. Por último, la fuente de calor consistió en un horno Thermo Scientific de 220 voltios, que nos permitió colocar láminas de 40x40 cm de los diferentes materiales termoplásticos y dejar que alcanzaran su estado viscoelástico. Todos estos componentes juntos nos permiten crear encajes protésicos de diferentes tamaños y materiales.

El exitoso desarrollo de este proyecto permite grandes oportunidades, tanto como para la Universidad San Francisco de Quito, como para la Facultad de Ingeniería Mecánica, donde tomando medidas en cuanto a la corrección del horno, se puede utilizar

el sistema para Trabajar en conjunto con el colegio de medicina COCSA para el análisis y diseño de moldes, generando así proyectos de ayuda social tanto con fundaciones como con pacientes dentro del colegio de medicina.

## **2. Introducción**

La amputación es uno de los procesos quirúrgicos más antiguos utilizados en la historia con el propósito de preservar la vida del hombre. Existe evidencia de la realización de las amputaciones hace 45000 años A.C (Pazmiño, 2018). Según el consejo nacional para la igualdad de discapacidades (CONADIS) en Ecuador en el año 2023 se registró más de 471 mil discapacitados de los cuales 45.66% poseían una discapacidad física, adicionalmente el sexo masculino presentó mayor afectación con un porcentaje de 53.04% (Conadis,2023).

La investigación y el desarrollo de prótesis es muy limitada en el Ecuador, y pocas personas con amputaciones tienen acceso a una de ellas (Muenala, 2021). Adicionalmente la fabricación de prótesis es un tema de gran interés para la facultad de IME ya que complementa líneas de investigación y vinculación de profesores de la carrera. En los laboratorios de la universidad no se cuenta con una máquina de termo formado que se utiliza para la fabricación de sockets protésicos. La investigación y desarrollo de nueva tecnología prostética es vital para mejorar la calidad de la vida de una persona ya que la amputación de un miembro de una persona produce cambios físicos, sociales y psicológicos que afectan en gran medida su vida y su desempeño en actividades cotidianas.

En base a estas necesidades, se plantea el objetivo de este proyecto, que consta en el diseño y construcción de un sistema de termoformado al vacío en las instalaciones de la facultad de IME. El sistema tendrá la capacidad de trabajar con distintos materiales y tamaños de moldes, lo cual permitirá la fabricación eficiente de sockets protésicos, mejorando significativamente la calidad de vida de las personas. Se analizará y diseñará una estructura para realizar el proceso de vacío, por lo tanto, es necesario generar un montaje que conecte el molde con el sistema de succión de aire. Es de vital importancia que el sistema funcione adecuadamente, ya que generando vacío, se logrará acoplar el material calentado al molde. Para calentar el material hasta su punto térmico adecuado,

es importante contar con un horno eléctrico que cumpla con las capacidades necesarias de temperatura.

En la literatura médica y técnica, según Vitali (2017) se han publicado varios estudios y artículos relacionados con el diseño y la fabricación de sockets protésicos. Se han abordado temas como la personalización de los sockets, la evaluación de materiales termoplásticos, la biomecánica del ajuste protésico y la comodidad del usuario. Además, se han presentado investigaciones sobre las ventajas de los sistemas de ajuste al vacío y su impacto en la movilidad y la salud de los amputados.

Actualmente no se ha encontrado un método más práctico en cuanto a sencillez y bajo presupuesto del proceso como el termoformado al vacío, el cual es un proceso que permite manipular con facilidad láminas del material escogido, mientras que el proceso de vacío permite reproducir sockets en base a diferentes tamaños de moldes para así obtener un producto que se ajuste precisamente a distintos muñones con distintas características.

El diseño y construcción de un sistema de termoformado para la fabricación de sockets protésicos implica una serie de pasos organizados y cuidadosos. En primer lugar, se debe realizar una investigación y diseño preliminar para entender los requisitos técnicos y normativas, así como recopilar información sobre los equipos y materiales necesarios. A continuación, se adquieren los materiales y equipos necesarios y se construye la estructura base. Después, se instala la máquina de termoformado y se conecta el sistema de calentamiento y succión. Luego, se realizan pruebas y ajustes para asegurar resultados de calidad y, una vez validado y certificado, se capacita a los operadores y se pone en marcha el sistema. Por último, se establece un programa de monitoreo y mantenimiento regular. Es importante destacar que se requieren habilidades especializadas, por lo que se recomienda buscar asesoría profesional.



### **3. Requerimientos de diseño**

Para el diseño de una estación móvil para fabricar sockets protésicos por termoformado al vacío, es esencial considerar una serie de requerimientos que garanticen la eficiencia, la calidad del producto final y la seguridad del proceso. Estos requerimientos pueden abarcar aspectos como la portabilidad de la estación, la capacidad de generar vacío, la precisión en el termoformado, la ergonomía para el operador, así como el cumplimiento de normativas y estándares relacionados con dispositivos médicos y procesos de fabricación. El diseño de esta estación móvil debe integrar de manera óptima estos elementos para asegurar la producción efectiva y confiable de sockets protésicos.

- Soportar cargas aplicadas sobre la estación
- Alcanzar y mantener la presión mínima requerida en el flujo de vacío
- Llevar al termoplástico a su estado viscoelástico
- Regular la cámara de vacío generada
- Estación móvil y sencilla de operar
- Sistema versátil
- Funcional dentro de las instalaciones de la USFQ
- El presupuesto del proyecto tiene que ser alrededor de los 400 dólares
- El sistema debe tener la capacidad de trabajar con materiales biocompatibles.
- El sistema debe garantizar una larga vida útil
- El sistema debe ser lo suficientemente cómodo para el operario.

### **4. Estándares técnicos**

El sistema requiere el cumplimiento de ciertos estándares técnicos y normas para garantizar la calidad y seguridad del producto final. Entre los estándares técnicos que se deben considerar se encuentran las especificaciones de materiales, dimensiones y tolerancias, así como los requisitos de resistencia y durabilidad. Además, es importante seguir las normas de seguridad y salud ocupacional para proteger a los trabajadores y minimizar los riesgos de accidentes durante la operación del sistema. En este sentido, se deben seguir las regulaciones y normativas locales e internacionales aplicables, como las establecidas por la OSHA y la ISO.

#### **4.1 ISO 10328**

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.

#### **4.2 ISO 13485**

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.

#### **4.3 ASTM F2019**

Esta norma describe los requisitos y métodos de prueba para los sockets de prótesis de extremidades inferiores asistidos por vacío. Define los criterios de diseño, materiales, dimensiones y pruebas de rendimiento para asegurar la eficacia y seguridad de los VAS (Vacuum-assisted sockets).

#### **4.4 American Orthotic & Prosthetic Association (AOPA)**

Esta organización establece directrices clínicas y técnicas para el diseño y fabricación de prótesis y órtesis. AOPA proporciona recursos técnicos y educativos para los fabricantes de VAS y apoya la investigación y el desarrollo en este campo.

#### **4.5 ASTM D 790**

Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials: Este estándar describe los métodos de prueba para determinar la resistencia a la flexión y la rigidez de los materiales plásticos utilizados en los sockets termoformados. Define las condiciones de prueba y los procedimientos para medir la deformación bajo carga aplicada. De modo que con esta norma se podrá determinar la carga aplicada necesaria para fabricar el socket.

#### **4.6 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.

#### **4.7 ISPO**

Es una organización multidisciplinaria, no gubernamental y global enfocada en mejorar la vida de personas que necesitan prótesis, proporciona una plataforma eficaz para el intercambio y la comunicación sobre todos los aspectos de la ciencia, la práctica y la educación asociados con la prestación de atención ortoprotésica. Este es un estándar importante para nuestro proyecto, ya que presenta la calidad de sockets que deberá producir nuestro sistema de termoformado al vacío, con el fin de poder satisfacer las necesidades y requerimientos de una persona que necesita prótesis.

#### **4.8 Technical Manual THERMOFORMING**

Es un manual que establece los pasos necesarios para realizar termoformado en plástico, e indica el termoformado de diferentes tipos, de modo que, el termoformado en vacío es una de ellas. Este manual para el termoformado en vacío es muy relevante para seguir el proceso requerido y tener una guía al momento de realizar el sistema.

#### **4.9 UNE-EN 1012-2:1996+A1:2010**

La norma establece los requisitos técnicos y de fabricación para los sockets protésicos termoformados, también conocidos como sockets de vacío asistido. Estos dispositivos son utilizados en la fabricación de prótesis para proporcionar un ajuste óptimo y cómodo al usuario, permitiendo una mejor función y movilidad. La norma garantiza que los sockets cumplan con los estándares de seguridad y calidad necesarios para su correcto funcionamiento. 10. ISO 22391: Esta norma internacional proporciona orientación sobre los métodos para la validación y control del proceso de termoformado con vacío. Incluye aspectos relacionados con la selección y validación de los parámetros de proceso, así como la evaluación de los resultados y el control continuo del proceso. 11. El manual técnico de termoformado Plastiglas México, es un documento que nos permite considerar y analizar todos los aspectos relacionados al proceso de termoformado, en relación con rangos de temperatura para realizar el proceso, moldes utilizados para este tipo de proceso, maneras de enfriamiento de materiales, etc.

## **5. Análisis de Riesgos**

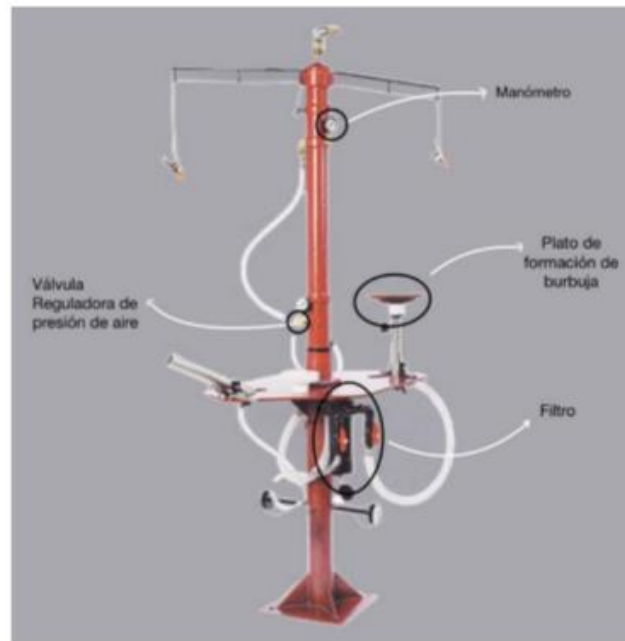
La tabla de análisis de riesgos para el sistema de fabricación de sockets termoformados al vacío es una herramienta crucial para evaluar y gestionar posibles amenazas en el proceso. Este análisis proporciona una visión detallada de los riesgos asociados, desde posibles fallos en la maquinaria hasta fluctuaciones en la calidad del material. La gestión proactiva de riesgos asegura la integridad del sistema y optimiza la producción de sockets termoformados al vacío. Para observar la tabla de análisis de riesgos, dirigirse a la sección de anexos.

## **6. Alternativas de diseño y selección**

Dentro de cualquier proyecto, la exploración y análisis de diversas alternativas de diseño se convierten en un pilar fundamental. Este proceso no solo amplía el espectro de posibilidades, sino que también enriquece la toma de decisiones al ofrecer una visión más completa y detallada de las opciones disponibles. La consideración de múltiples enfoques de diseño no solo fomenta la creatividad, sino que también permite identificar soluciones más eficientes, funcionales y adaptables a las necesidades específicas del proyecto. Es por esto que a continuación se presentan distintas alternativas de diseño a considerar para el desarrollo del proyecto.

### **6.1 Diseño de mesa de trabajo**

Esta es una herramienta para el proceso de fabricación de termoformado de polímeros, dependiendo de las necesidades, pueden variar distintas características, como su forma, estructura, su peso, etc. Para el desarrollo de sockets protésicos por medio de termoformado al vacío se busca tener una estación de trabajo estable, que permita colocar distintos moldes para la fabricación de sus respectivos sockets.



*Figura 1 Mesa de estación de trabajo para el termoformado*

Se puede observar la estación de trabajo para realizar el vacío luego de que se haya calentado el material en el horno. La estación cuenta con varios componentes entre los más importantes se tiene:

1. Plato de formación de burbuja
2. Válvulas reguladoras de presión
3. Medidores de presión
4. Mangueras
5. Mesa de trabajo

## 6.2 Selección de Alternativas de Diseño

Para esta sección, se realizó el proceso de selección de alternativas de diseño de los subsistemas críticos. Para ello, se evaluó del 1 al 5 cada criterio, representando cuantitativamente el 1 como el menos adecuado y 5 el más idóneo en la selección.

### A. Selección de horno:

A partir de las alternativas se consideraron procesos ingenieriles, y se concluyó que la opción de horno más viable es aquel que se encuentra en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil.



Figura 2. Horno laboratorio ingeniería civil (DIRIMPEX, s.f.)

Para este análisis se consideraron los siguientes criterios:

- Costo: Esto es fundamental debido a que no se tendrá gastos adicionales de compra ni fabricación. Entonces, esto se logra ajustar al presupuesto base de \$400 destinado al desarrollo del proyecto, al no ser necesario una inversión extra (compra / fabricación).
- Capacidad de la maquina: Es importante que las dimensiones internas del horno se cumplan en este caso de 50x70 cm. Esto nos permitirá que las piezas sean colocadas y procesadas adecuadamente.
- Control de temperatura: se necesita un sistema de control de temperatura

preciso que permita mantener una temperatura entre 180°C y 200°C en el interior del horno.

- Disponibilidad de uso: Para este criterio se evalúa aspectos como la reserva de horarios, esto se coordinará con el laboratorio de Ingeniería Civil para que el horno esté libre cuando sea necesario.
- Tiempo de Uso: El horno se utilizará eficientemente debido a su capacidad para mantenerse prendido durante el proceso termoformado con un rango de 10 a 20 min.

Tabla 1. Horno para el sistema de termoformado

Horno							
Criterios ingenieriles	%	horno de laboratorio de civil		fabricación de horno		compra de horno	
Costo	30	5	1,5	3	0,9	1	0,3
Capacidad - tamaño	20	4	0,8	5	1	5	1
control de temperatura	20	5	1	2	0,4	4	0,8
Disponibilidad de uso	15	3	0,45	5	0,75	5	0,75
Tiempo de uso	15	5	0,75	2	0,3	4	0,6
TOTAL	100	4,5		3,35		3,45	

#### B. Selección de sistema de vacío

El sistema de vacío es el encargado de acoplar el polímero al molde mediante la succión de aire para lo cual se propone 3 alternativas de bombas y un sistema de compresor en reversa. Las principales diferencias entre las 3 bombas planteadas radican en su precio, debido a que el comportamiento y las características de potencia y uso son muy parecidas, por otro lado, el compresor si implica una aplicación diferente, donde se debe plantear y construir un sistema con tanques de agua, donde se introduce el compresor y se lo hace trabajar de forma invertida, para así poder generar una succión de aire. Mediante las tablas presentadas a continuación se puede evidenciar cada opción evaluado a criterios específicos de interés para el proyecto.

Para el subsistema de vacío se escogió la bomba modelo QVP 800 que se muestra en la figura 3, debido a los siguientes criterios:



Figura 3. Bomba de vacío QVP-800

Nota. Elaboración propia

- Costo: La Universidad nos proporciona la bomba QVP 800, esto nos permite tener una decisión económicamente acertada, puesto que se elimina la necesidad de fabricar o comprar el sistema de vacío, lo que resulta un ahorro considerable.
- Capacidad – Potencia: La bomba QVP 800 cuenta con una capacidad de succión aproximadamente de  $\frac{3}{4}$  HP necesaria que logra generar un vacío. Esto es importante ya que en el proceso de termoformado se requiere que el plástico se acople al molde para tener un proceso efectivo.
- Disponibilidad de uso: Para este criterio se toma en cuenta que la bomba se encuentra en su mayor parte disponible, debido a que no tiene uso por otras personas.
- Armado: El proceso para adecuar la bomba al sistema es fácil y rápido para el ensamblaje al sistema lo que facilita la preparación de la mesa.
- Mantenimiento: Gracias a que la bomba tiene un diseño de manipulación sencillo y esta creada por materiales resistentes, no se tendrá que hacer mantenimientos constantes.



Tabla 2. Sistema de vacío

Sistema de vacío									
Criterios ingenieriles	%	bomba de agua invertida		bomba de vacío Model QVP-800		Bomba de vacío AVS01		Compresor invertido	
Costo	30	3	0,9	5	1,5	1	0,3	3	0,9
Capacidad - potencia	25	5	1,25	5	1,25	5	1,25	4	1
Disponibilidad de uso	15	5	0,75	4	0,6	5	0,75	5	0,75
Armado	20	2	0,4	5	1	5	1	3	0,6
Mantenimiento	10	5	0,5	3	0,3	2	0,2	3	0,3
TOTAL	100	3,8		4,65		3,5		3,55	

### C. Regulación de vacío

La regulación del vacío es importante puesto que es el encargado de mandar la presión requerida desde la bomba hacia el molde por lo que la mejor opción sería el subsistema de válvula que se observa en la figura 4, debido a los siguientes criterios:



Figura 4. Válvula de regulación de vacío (Fernández, 2013)

- Costo: El sistema de válvulas es el más adecuado, puesto que no requiere una inversión significativa comparada a las otras opciones tal es el caso de una pedalera.
- Instalación: Las válvulas son elementos que no requieren un montaje complicado, lo que permite optimizar el proceso de preparación de la estación para el termoformado.
- Efectividad: El sistema de válvulas es preciso para la regulación de paso de aire, ya que con esta se puede regular el vacío para el termoformado.

- Operación: En este sistema de válvulas se requiere de dos personas; una para acoplar el plástico en el molde y la otra persona regula la presión y crea un sistema simultáneo.
- Adquisición: El sistema de válvulas se venden libremente en el mercado lo que nos permite adquirirlo de manera rápida y fácil en comparación con las alternativas, puesto que se debe fabricar cada una de ellas.

Tabla 3. Selección de sistema de regulación de vacío

sistema de regulacion de vacio							
Criterios ingenieriles	%	valvula		pedalera		regulador de vacio	
Costo	25	5	1,25	3	0,75	1	0,25
instalación	25	5	1,25	2	0,5	2	0,5
efectividad	20	4	0,8	4	0,8	5	1
operación	15	3	0,45	5	0,75	5	0,75
Adquisicion	15	5	0,75	3	0,45	3	0,45
TOTAL	100	4,5		3,25		2,95	

#### D. Plato de deformación de burbuja

Mediante lo analizado, se determina que la mejor opción para el plato de formación de burbuja es la madera, ya que es uno de los materiales óptimos al cumplir lo siguiente:



Figura 5. Plato de formación de burbuja (OPE, 2016)

- Costo material: Para este caso, se debe tomar en cuenta que la madera es un material adecuado, puesto que no requiere de mucha inversión debido a que no presenta grandes dimensiones y el material es de fácil adquisición.
- Fabricación: La madera es un material de fácil mecanizado y por ende es adecuado para el plato base del sistema de vacío.
- Durabilidad: Este es un material resistente y apto para el proceso de formación del vacío en el molde. Además, gracias a la visita que se tuvo en la *Fundación Hermano Miguel*, quienes nos informaron que el plato rara vez requiere ser reemplazado, puesto que no se somete a cargas significativas.

Tabla 4. Selección del material para el plato de formación de burbuja

Plato de formación de burbuja							
Criterios ingenieriles	%	Madera		ABS		Poliestireno	
Costo material	40	4	1,6	2	0,8	5	2
Fabricación	35	4	1,4	4	1,4	2	0,7
Durabilidad	25	4	1	5	1,25	3	0,75
TOTAL	100	4		3,45		3,45	

#### E. Armazón para polímero

Para que el proceso se lleve a cabo se necesita colocar el armazón en su respectivo soporte. El armazón para polímero desempeña un papel importante puesto que está sujeta la lámina de polímero cuando se introduce en el horno, para el cual se determinó que el material adecuado es el aluminio como se muestra en la figura 6, al cubrir los siguientes criterios:



Figura 6. Armazón para polímero (Quezada 2017)

- Costo: A pesar de que el aluminio representa una inversión inicial elevada en comparación con las otras alternativas, no obstante, a largo plazo demuestra ser una inversión más rentable gracias a que presenta una mayor durabilidad.
- Peso: Para este criterio, el aluminio es el más adecuado, ya que al ser liviano este material permite al operario tener una mayor precisión durante el proceso de termoformado y reducir riesgos. Esto es de suma importancia, debido a que el armazón va a ser trasladado por una persona desde el horno hacia la estación de vacío.
- Durabilidad: El aluminio es el material más resistente en comparación de las demás alternativas debido a sus propiedades mecánicas y térmicas.
- Mecanizado: Para poder elaborar este subsistema es necesario realizar un proceso de corte y fresado. Por ende, el aluminio es la mejor opción debido a la fácil manipulación en comparación al acero o madera.
- Accesibilidad: El aluminio es un material fácil de encontrar dentro del mercado, lo que facilita el proceso de adquisición.
- Costo: El acero es un material económicamente rentable, ya que es conocido por ser asequible

Tabla 5: Selección del material para el armazón

Armazon para polimero							
Criterios ingenieriles	%	aluminio		madera MDF		acero inoxidable	
Costo	35	3	1,05	5	1,75	4	1,4
peso	20	5	1	3	0,6	1	0,2
durabilidad	20	5	1	2	0,4	4	0,8
Mecanizado	15	5	0,75	4	0,6	2	0,3
Accesibilidad	10	4	0,4	5	0,5	4	0,4
TOTAL	100	4,2		3,85		3,1	

## F. Soporte Armazón

El soporte no es un elemento muy crítico debido a que únicamente sirve para asentar el armazón el cual es liviano por esta razón se consideraron únicamente dos alternativas siendo el acero el más apto para este subsistema debido a los siguientes criterios ingenieriles:



Figura 7. Soporte del armazón (Quezada 2017)

- **Costo:** El acero es un material económicamente rentable, ya que es conocido por ser asequible. Por ello, contribuye a mantener bajo el costo total del proyecto y cumplir con el presupuesto base. Además, al no ser un elemento crítico ya que este no es movable y no debe cubrir propiedades como la resistencia a altas cargas.
- **Fabricación:** Al ser la estructura del soporte simple, no se necesita un mecanizado complejo. Por lo que, el acero es el material idóneo para ser acomodado en el proceso de termoformado en el horno.
- **Durabilidad:** Gracias a sus propiedades mecánicas el acero es un material dúctil que permite una durabilidad alta, esto asegura una vida útil prolongada del soporte lo que reduce la posibilidad de ser reemplazado.
- **Resistencia térmica:** De igual forma, una de las propiedades características del acero es su alta resistencia a temperaturas elevadas. Esto nos garantiza que el soporte mantenga su estructura durante el proceso.

Tabla 6. Selección del material para fabricación del soporte del armazón

soporte del armazon					
Criterios ingenieriles	%	acero		aluminio	
Costo	30	5	1,5	3	0,9
fabricación	20	4	0,8	3	0,6
Durabilidad	25	4	1	5	1,25
Resistencia termica	25	3	0,75	5	1,25
TOTAL	100	4,05		4	

#### A. Estación de trabajo

La estación de trabajo es la base principal del proyecto, es en está donde se realizará el proceso de vacío y consecuentemente se realizarán los distintos tipos de sockets, por lo tanto, se proponen 3 alternativas: Un trípode móvil, una estructura móvil de 4 ruedas (similar a un carrito) y una base cilíndrica. Las principales diferencias consisten en los soportes de la estación, la base cilíndrica consiste en una base empotrada al suelo, compuesta por un cilindro de unos 30 cm de diámetro, con una lámina perpendicular en el extremo superior del cilindro para poder poner el resto de los elementos necesarios.

Se consideró que la estación de trabajo debe ser móvil y la mejor opción es el carro, ya que esta facilita el traslado hacia los hornos de los laboratorios de trabajo.

Costo: Esta opción es la menos rentable, sin embargo, existen otros puntos que convierten esta desventaja en una fortaleza.



Figura 8. Mesa de estación

Peso: la opción del carro es una solución adecuada, ya que es la más ligera de las opciones, además, bajo el diseño de fabricación este minimiza la fatiga del operario al momento de trasladar la mesa ya que es la posee una mayor comodidad debido a su diseño.

Fabricación: Esta no es una estructura compleja de fabricación, lo que logrará simplificar los procesos de montaje.

Estabilidad: Se determina que el carro es la mejor opción ya que esta tiene ruedas y frenos que permiten garantizar la estabilidad del traslado de la mesa.

Capacidad de almacenamiento: Este tipo de carro permite tener organizado los elementos, materiales y herramientas al momento de ser trasladado hacia los hornos durante el proceso de termoformado.

Tabla 7. Selección de diseño de la Estación de Trabajo

Estación de Trabajo							
Criterios ingenieriles	%	Trípode Móvil		Base Cilíndrica Empotrada		Estructura móvil de 4 ruedas	
		Costo	30	4	1,2	5	1,5
Peso	15	4	0,6	1	0,2	5	0,8
Fabricación	25	4	1	4	1	3	0,8
Estabilidad	15	3	0,45	5	0,8	4	0,6
Capacidad de Almacenamiento	15	3	0,45	1	0,2	5	0,8
TOTAL	100	3,7		3,55		3,75	

## 7. Plan de manufactura

El plan de manufactura es un aspecto crucial en el diseño y construcción de un sistema de termoformado al vacío para la fabricación de sockets. Este plan debe considerar diversos factores, como la selección de materiales, la configuración de la máquina, la planificación de la producción y la optimización de los procesos, así como las normas y estándares de calidad y seguridad, y las regulaciones y normativas locales e internacionales aplicables. El plan de manufactura debe garantizar la precisión y la calidad del producto final, así como la seguridad y la salud ocupacional de los trabajadores.

### 7.1 Diagramas de flujo

Los diagramas de flujo son una herramienta esencial en la construcción de cualquier sistema, ya que ayudan a planificar, gestionar y ejecutar el proyecto de manera más eficiente y efectiva, estos facilitan la comunicación y documentación adecuadas. A continuación, se exhibirán distintos diagramas de flujo que resultan esenciales para esbozar los diversos procedimientos y procesos requeridos en la ejecución del proyecto. A continuación, se presentan los símbolos utilizados en los diagramas de flujos presentados a continuación.

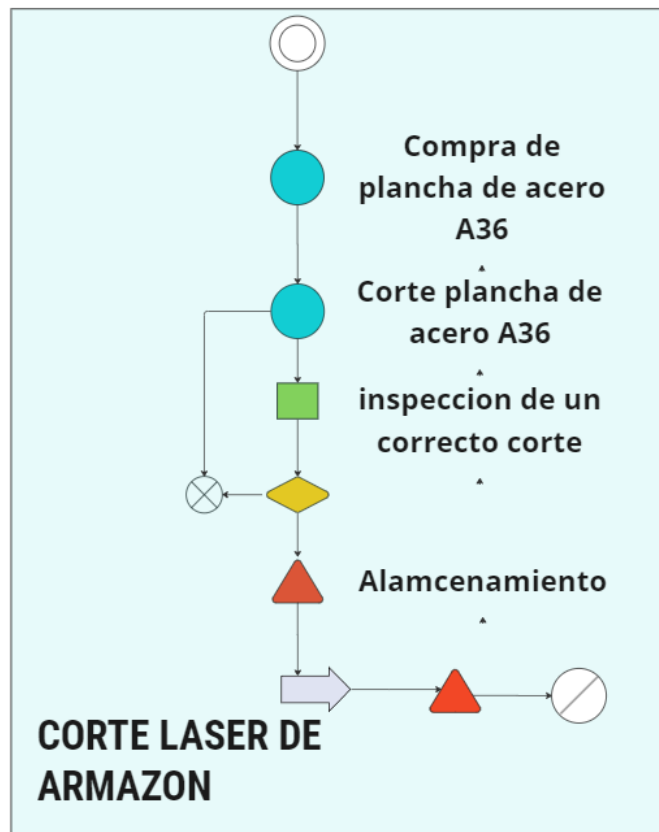




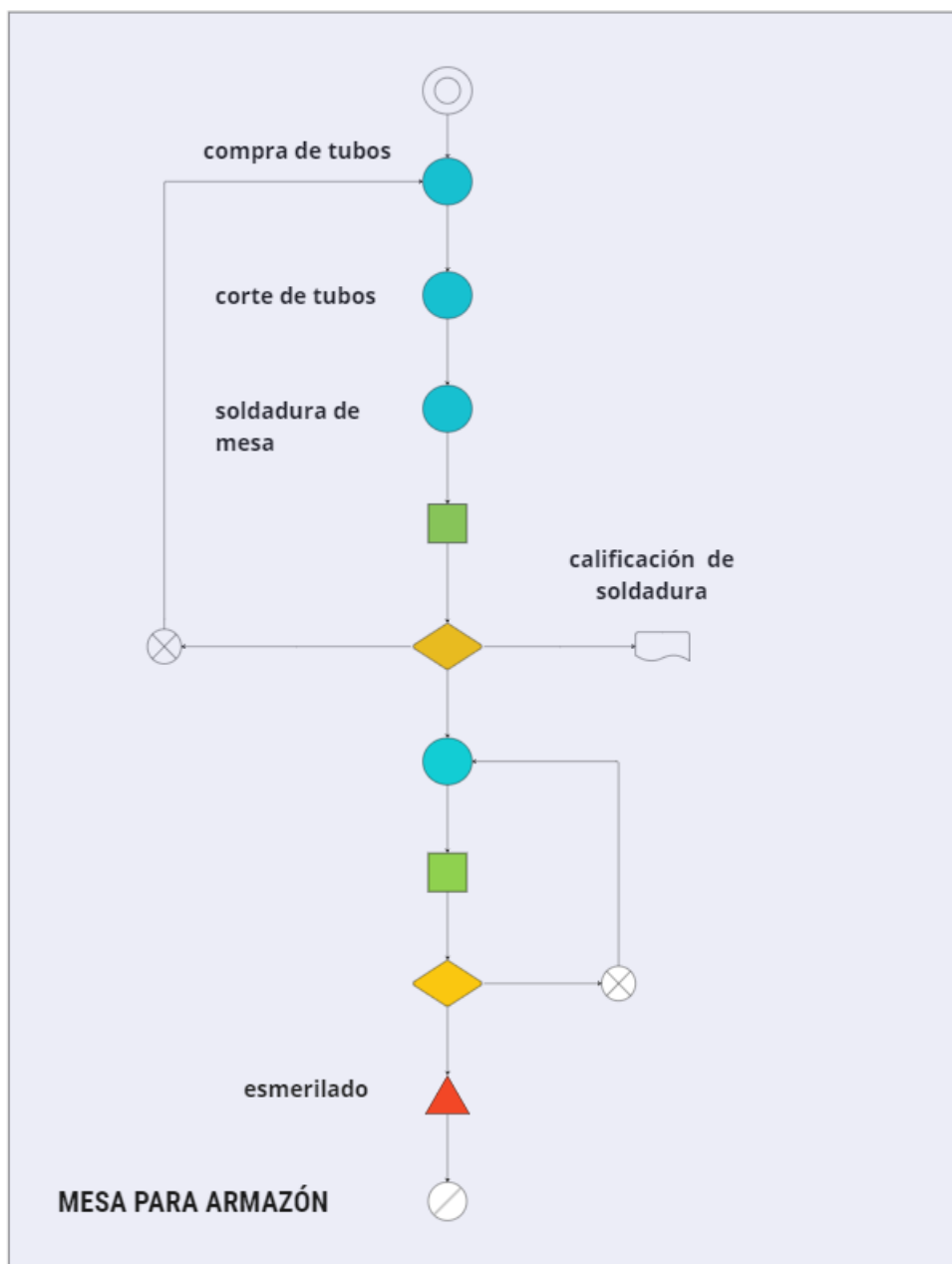
El primer diagrama de flujo abarca los procesos indispensables relacionados con la construcción y montaje de la estación de trabajo, tales como: corte, pulido, soldadura, pintura y ensamble. Este elemento es uno de los principales del proyecto, así como también el elemento que cuenta con la mayor cantidad de procesos de mecanizado y soldadura, por lo tanto, se comienza el proyecto por construir este elemento. Esta representación gráfica ofrece una valiosa percepción para considerar decisiones y estrategias al llevar a cabo la construcción de la estación.



En la imagen que sigue a continuación, se presenta el diagrama de flujo que detalla el proceso de diseño de armazones. Aunque este proceso puede parecer sencillo, su importancia radica en la inclusión de una etapa crucial: el corte láser de los diferentes tamaños de huecos necesarios, los cuales varían según el tamaño del socket que se pretende crear, el corte laser asegura un corte de gran calidad con las dimensiones deseadas.

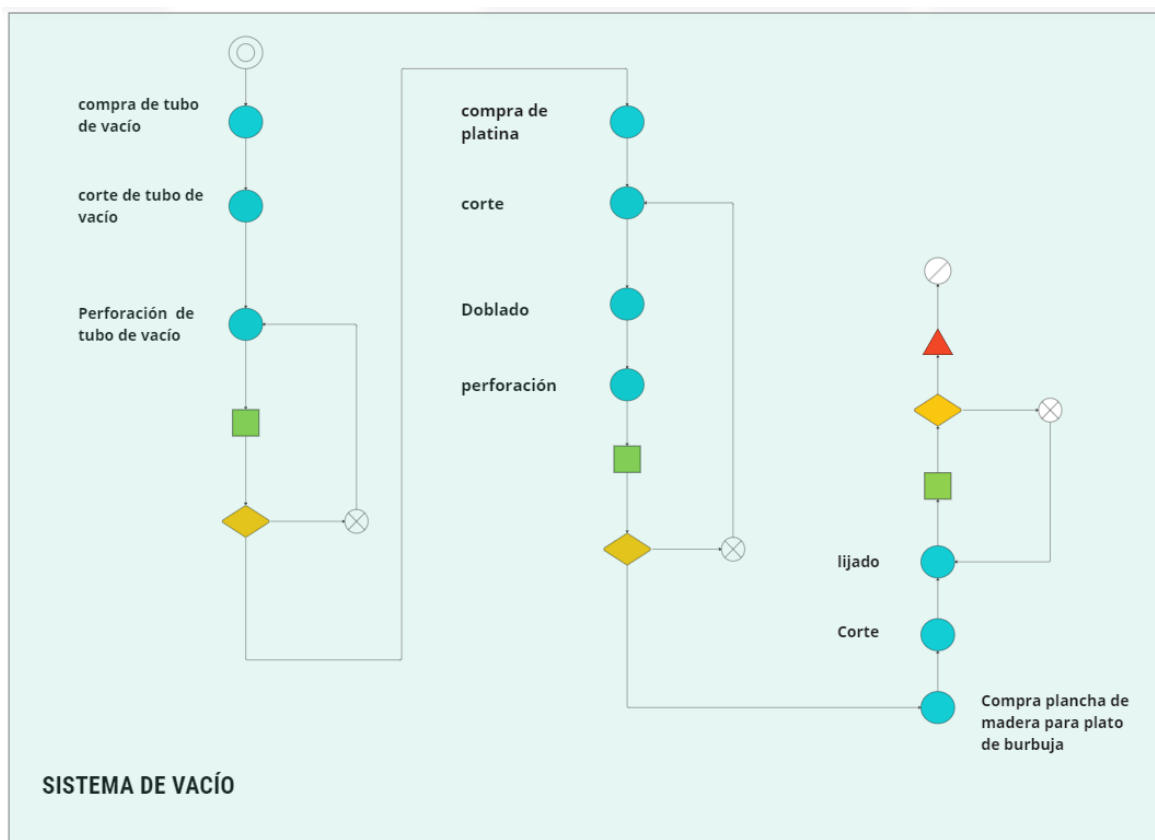


En la siguiente imagen, se presenta el diagrama de flujo para el proceso de diseño de la mesa para sostener los distintos armazones. Está es una estructura muy simple, por lo que su proceso de diseño también lo es, al evaluar esta estructura, lo crucial está en la selección de material, ya que este es una estructura que se va a encontrar dentro del horno todo el tiempo durante su uso.



En el siguiente apartado, se presenta el diagrama de flujo que detalla el proceso del diseño del sistema de vacío, en este sistema se encuentran el tubo de vacío, la platina en forma de L que funciona como sistema de sujeción del tubo a la estación y del plato de formación de burbuja. El Tubo de formación de vacío es uno de los elementos más críticos de toda la estación, esto se debe a que existe cierta dificultad en encontrar un tubo del material seleccionado, la necesidad de precisión en las dimensiones y la precaución requerida durante las etapas de soldadura, con el fin de evitar la creación de perforaciones que pudieran ocasionar fugas de presión. La platina en forma es un proceso simple que no presenta mayor dificultad. En cuanto a los platos de formación de burbuja, se diseñan en madera, presentan uno de los procesos más sencillos de todo el proyecto, sin embargo,

los mismos juegan un papel crucial a la hora de formación de vació, por lo tanto, se deben desarrollar con gran meticulosidad y precisión, para asegurar que, al momento de producir sockets, el material plástico se pueda sellar y formar la cámara de vació.



## 7.2 Hoja de procesos

Hojas de procesos Las hojas de procesos son herramientas fundamentales para el diseño de proyectos porque ofrecen claridad, facilitan la identificación de problemas potenciales y contribuyen a la eficiencia y la consistencia en la ejecución de procesos. Mediante las mismas se permite obtener toda la información necesaria para poder diseñar, fabricar o construir un proyecto, en el caso de este proyecto que se construye un sistema entero, las hojas de proceso se enfocan en los siguientes elementos: estación de trabajo, armazones y mesa de soporte del armazón.

Para poder observar las distintas hojas de procesos planteadas, dirigirse a Apéndices.

## **8. CÁLCULOS PARTE 1**

El sistema requiere un enfoque integral que abarque cálculos estructurales, de vacío y de transferencia de calor. Estos cálculos son fundamentales para garantizar la eficiencia y la precisión del proceso de termoformado, así como la calidad y la resistencia estructural de los sockets producidos. Además, el estudio de los mecanismos de transferencia de calor es esencial para alcanzar la temperatura óptima requerida en el proceso de moldeado. Por lo tanto, se deben aplicar conocimientos en ciencia de los materiales, diseño mecánico, termodinámica y transferencia de calor para el análisis y diseño adecuado de este sistema.

### **8.1 Cálculos estáticos de la mesa de estación para termoformado**

Los cálculos estáticos presentados a continuación demuestran un análisis detallado para determinar la capacidad de carga, la estabilidad y la resistencia estructural de la estación de trabajo. Estos cálculos son esenciales para garantizar que la estación pueda soportar de manera eficiente las cargas y fuerzas que se le aplicarán en su uso durante el proyecto. En la figura 1 que se va a presentar a continuación, se analizan 4 elementos distintos, los cuales son los elementos más críticos y que reciben algún tipo de carga o esfuerzo en el sistema; estas son: las dos barras utilizadas en el sistema de empuje, las patas de la estación y, por último, el análisis de la junta empernada entre las ruedas y el armazón.

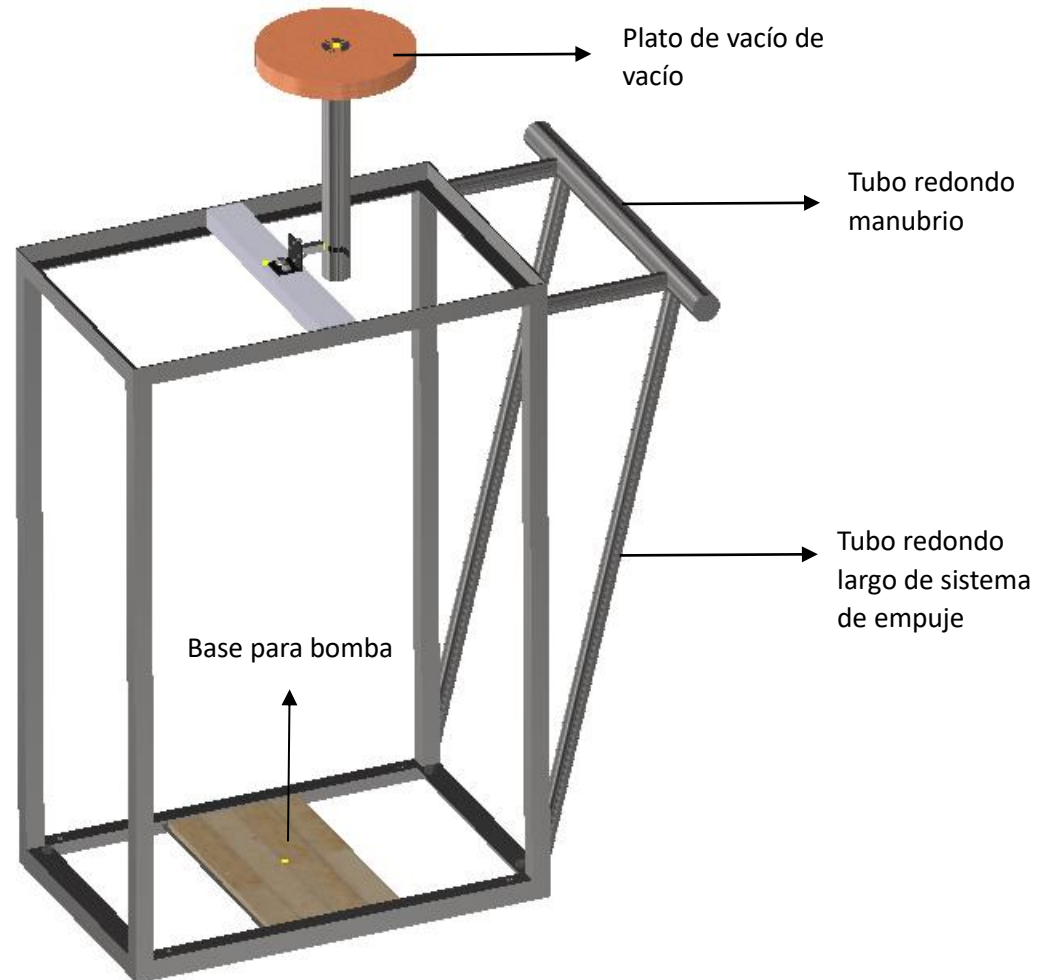


Figura 9. Mesa de estación de trabajo

### 8.1.1 Sistema de Empuje

Para el cálculo del sistema de empuje, se planteó un diseño de 5 barras, una se encuentra en horizontal y 4 están distribuidas entre 2 patas de la mesa para poder distribuir la carga aplicada al momento de empujar la estación de trabajo. Para el análisis de cálculos, solo se evalúan 2 barras en ángulo, tomando en cuenta que el sistema es simétrico solo es necesaria evaluar en 2 barras distintas, pero hay que dividir la carga para 4 ( $F/4$ ) (esto se debe a que al momento de aplicar la fuerza está se distribuye por 4 barras, 2 cortas y 2 largas). Se realiza un análisis estático del sistema, donde se plantea que la fuerza mínima para empujar la estación es igual al peso total de la misma, ya que al momento de aplicar una fuerza mayor ya se pasa a un análisis dinámico. Por lo tanto, se realizan las sumatorias de fuerza y momentos correspondientes, para poder obtener las

reacciones y esfuerzos principales, los cuales son necesarios para calcular el factor de seguridad.

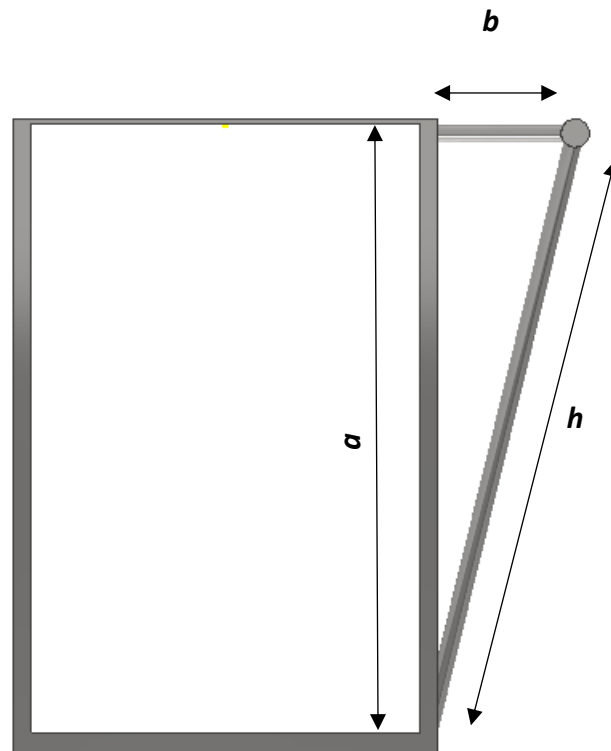


Figura 10. Vista frontal sistema de empuje

En un sistema móvil que pesa 50 N, se ha decidido aplicar una fuerza de empuje mayor a ese peso. Esta fuerza de empuje medida fue de aproximadamente 10 N con la ayuda de una balanza. Por lo tanto, la fuerza total  $F_x$  aplicada al sistema sería de 60 N. El propósito de aplicar una fuerza de empuje mayor al peso del sistema es poner a prueba la resistencia y la eficiencia del diseño del sistema de empuje en condiciones críticas. Al someter el sistema a una carga adicional, se puede evaluar si el diseño puede soportar de manera segura fuerzas superiores a las esperadas en situaciones reales. A través de esta prueba, se busca asegurar que el sistema de empuje tenga la capacidad suficiente para poder distribuir correctamente la fuerza aplicada al momento de trasladar sistema móvil, incluso en condiciones extremas. Si el sistema puede manejar correctamente una fuerza mayor a su peso sin comprometer su desempeño, esto indica que el diseño es robusto y cumple con los estándares de calidad y seguridad esperados. Además de verificar la



resistencia del diseño, esta prueba también proporciona información valiosa para realizar ajustes o mejoras si es necesario.

### 8.1.2 Análisis de la barra horizontal

Para el cálculo del sistema de empuje, se planteó un diseño de 5 barras, una se encuentra en horizontal y 4 están distribuidas entre 2 patas de la mesa para poder distribuir la carga aplicada al momento de empujar la estación de trabajo. Para el análisis de cálculos, solo se evalúan 2 barras en ángulo, tomando en cuenta que el sistema es simétrico solo es necesaria evaluar en 2 barras distintas, pero hay que dividir la carga para 4 ( $F/4$ ) (esto se debe a que al momento de aplicar la fuerza está se distribuye por 4 barras, 2 cortas y 2 largas). Se realiza un análisis estático del sistema, donde se plantea que la fuerza mínima para empujar la estación es igual al peso total de la misma, ya que al momento de aplicar una fuerza mayor ya se pasa a un análisis dinámico. Por lo tanto, se realizan las sumatorias de fuerza y momentos correspondientes, para poder obtener las reacciones y esfuerzos principales, los cuales son necesarios para calcular el factor de seguridad.

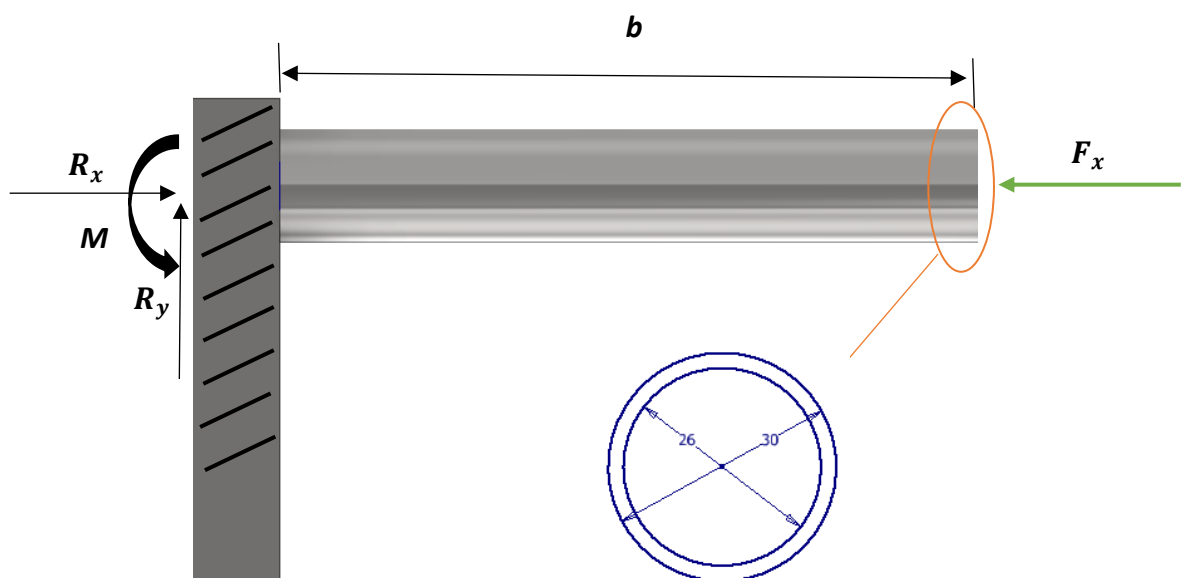


Figura 11. Diagrama de cuerpo libre de la barra horizontal del sistema de empuje

€A continuación, se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje horizontal con el fin de despejar la reacción en el eje horizontal  $R_x$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x - R_x = 0$$

$$F_x = R_x$$

Luego procedemos a realizar una sumatoria de fuerzas en el eje vertical

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y = 0$$

Se realiza una sumatoria de momentos

$$\sum M = 0$$

$$F_x * a - M = 0$$

$$M = F_x * a = 60 * 250 = 15000 \text{ Nmm}$$

Se realiza el cálculo del centro geométrico tomando en cuenta que el radio externo del tubo  $R_2$  es de es de 15 mm y el diámetro interno  $R_1$  es de 13 mm

$$c = R_2 - R_1 + \frac{t}{2} = 15 - 13 + \frac{2}{2} = 3 \text{ mm}$$

Se procede a calcular la inercia tomando en cuenta de que el diámetro externo del tubo es de 30 mm y el diámetro interno es de 26 mm

$$I = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi 30^4}{64} - \frac{\pi 26^4}{64} = 17329 \text{ mm}^4$$

Una vez calculado la inercia y el centroide, procedemos a calcular el esfuerzo principal en x

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{15000 * 3}{17329} = 26 \text{ MPa}$$

Finalmente, calculamos el factor de seguridad tomando en cuenta que esfuerzo de fluencia del acero más económico 1006 según la tabla A20 del libro de Shigley es de 280 MPa

Tabla 8: Esfuerzo de fluencia para el acero 1006 (Shigley, 2015)

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS No.	SAE and/or AISI No.	Processing	Tensile Strength, MPa (kpsi)	Yield Strength, MPa (kpsi)	Elongation in 2 in, %	Reduction in Area, %	Brinell Hardness
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{280}{26} = 10.7$$

Como se puede observar el factor de seguridad, el tubo se encuentra en zona segura por lo que nos garantiza que no va a fallar al momento de realizar la fuerza de empuje, esto se debe a que la fuerza aplicada por una persona no es grande.

### 8.1.3 Análisis de la barra horizontal

Está es una de las barras analizadas en los cálculos del sistema de empuje, es un tubo redondo largo de 925 mm, planteado de manera vertical con cierta inclinación hacia la base inferior de la estación de trabajo. Se utilizan 2 tubos largos en el sistema de empuje, cada uno al extremo izquierdo y derecho de la estación de trabajo.

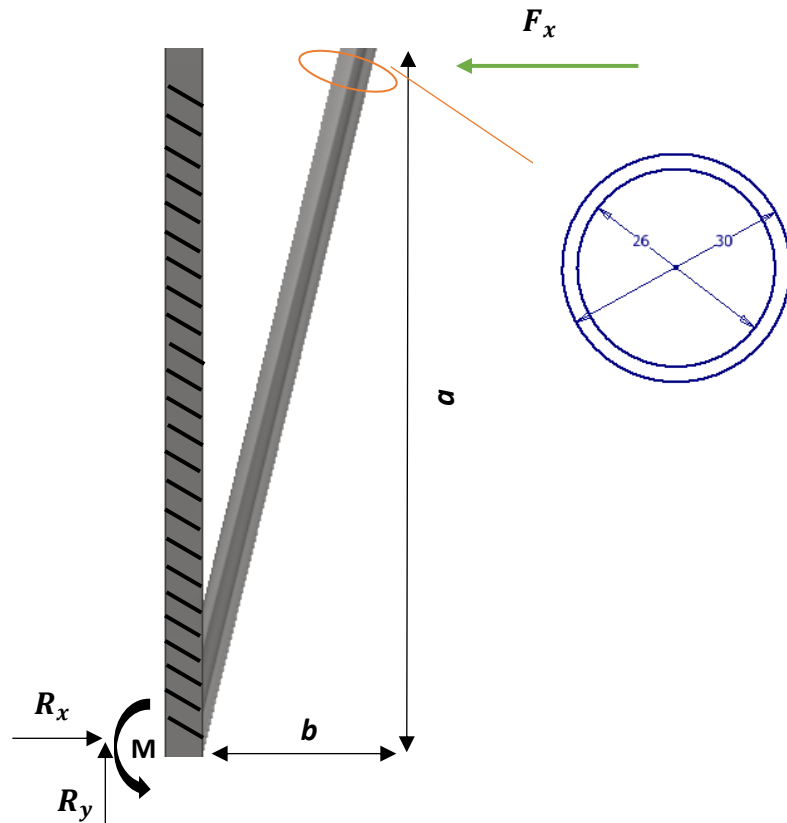


Figura12. Diagrama de cuerpo libre de la barra inclinada del sistema de empuje

De la misma forma, se realiza una sumatoria de fuerzas en el eje horizontal con el fin de despejar la reacción en el eje horizontal  $R_x$

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x - R_x = 0$$

$$F_x = R_x$$

Luego procedemos a realizar una sumatoria de fuerzas en el eje vertical

$$\sum F_y = 0$$

$$R_y = 0$$

A continuación, se procede a calcular el momento tomando en cuenta que la altura es de 1000 mm

$$\sum M = 0$$

$$F_x * a - M = 0$$

$$M = F_x * a$$

$$M = 60 * 1000 = 60000 \text{ Nmm}$$

Se realiza el cálculo del centro geométrico tomando en cuenta que el radio externo del tubo  $R_2$  es de 15 mm y el diámetro interno  $R_1$  es de 13 mm

$$c = R_2 - R_1 + \frac{t}{2} = 15 - 13 + \frac{2}{2} = 3 \text{ mm}$$

Se procede a calcular la inercia tomando en cuenta de que el diámetro externo del tubo es de 30 mm y el diámetro interno es de 26 mm

$$I = \frac{\pi D^4}{64} - \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi 30^4}{64} - \frac{\pi 26^4}{64} = 17329 \text{ mm}^4$$

Una vez calculado la inercia y el centroide, procedemos a calcular el esfuerzo principal en x

$$\sigma_x = \frac{Mc}{I} = \frac{60000 * 3}{17329} = 103 \text{ MPa}$$

De igual manera, calculamos el factor de seguridad tomando en cuenta que el esfuerzo de fluencia del acero más económico 1006 según la tabla A20 del libro de Shigley es de 280 MPa

$$n = \frac{S_y}{\sigma_x} = \frac{280}{103} = 2.7$$

Se obtuvo un factor de seguridad menor de 2.7, lo que nos indica que el tubo inclinado se encuentra en zona segura por lo que nos garantiza que no va a fallar al momento de realizar la fuerza de empuje provocada por una persona.

#### 8.1.4 Base de la Bomba

La base de la bomba es el lugar en el cual, va a reposar la bomba dentro de la estructura móvil, de modo que es importante calcular si el diseño de la base soporta el peso de la bomba, por lo tanto, para el análisis de la base de la bomba, se tomó como una barra en la cual se aplica el peso de la bomba como una carga puntual en el medio de la barra.



Figura 13. Diagrama de cuerpo libre de la base de la bomba

A continuación, se realizó sumatoria de fuerzas, y momento para poder encontrar las reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Bx} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - W_B = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By}(388[mm]) - W_B(194[mm]) = 0$$

$$R_{By} = \frac{30 * 194}{388}$$

$$R_{By} = 15 [N]$$

Reemplazamos en ecuación de la sumatoria de  $F_y$

$$R_{Ay} + R_{By} - W_B = 0$$

$$R_{Ay} = 30 - 15$$

$$R_{Ay} = 15 [N]$$

De las reacciones calculadas, se obtuvo el siguiente diagrama de momento, en el que se puede observar que el punto más crítico es en el medio.

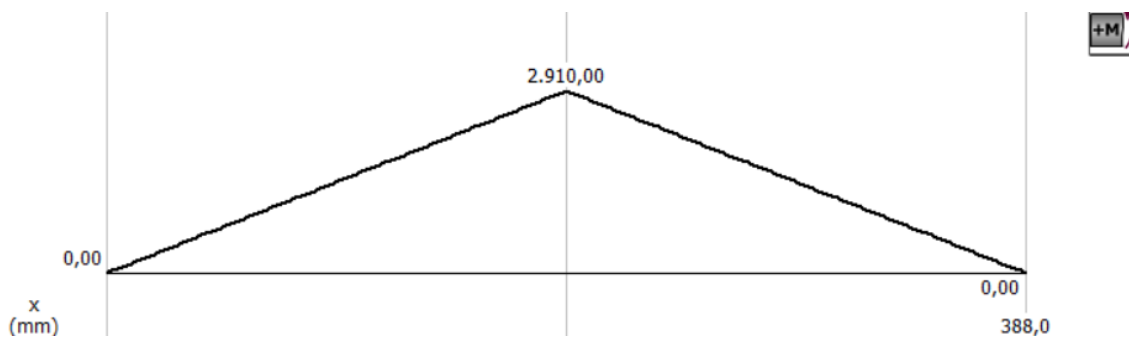


Figura 14. Diagrama de Momento Flector de la Barra

Con el momento obtenido del diagrama de la figura, se procede a calcular el esfuerzo en flexión generado por el peso de la bomba.

$$\vartheta_F = \frac{Mc}{I}$$

$$\vartheta_F = \frac{2910[N - mm](4[mm])}{\frac{1}{12}(8[mm])(8[mm])^3}$$

$$\vartheta_F = 34.10 [MPa]$$

Por medio del esfuerzo obtenido y el esfuerzo de fluencia del material, el cual es madera triplex, se obtiene el siguiente factor de seguridad estático.

$$\eta = \frac{S_{ut}}{\vartheta_y}$$

$$\eta = \frac{108[MPa]}{34.10[MPa]}$$

$$\eta = 3.17$$

El soporte de la bomba tiene el factor de seguridad estático de 3.17, por lo que puede soportar el peso de la bomba, asegurando su diseño, y la base de la bomba está dimensionada para soportar cargas y tensiones casi cinco veces mayores que las máximas esperadas. Esto es fundamental para garantizar la integridad estructural y la operación segura de la bomba, incluso en condiciones adversas o situaciones inesperadas.

#### 8.1.5 Pata para mesa de estación

La estación de trabajo cuenta con 4 patas cuadradas, estas están compuestas por tubería de acero inoxidable de 4X4 cm con un espesor de 2mm. El análisis estático de estas patas se realizará analizando solo una de las mismas, ya que el sistema está conformado por el mismo material, nivelado y también es simétrico, la carga aplicada se divide para 4, por lo tanto, planteando de P/4, todos los resultados de esfuerzos y factores de seguridad serán los mismos para cada una de las patas.

Se comienza por plantear un diagrama de fuerzas del sistema, para poder evaluar donde se aplican las cargas y las reacciones que se generan en consecuencia. Se debe tomar en cuenta que se planteó las patas con apoyos fijos, lo que no genera momento.

Fy es el peso de todo el sistema dividido para las cuatro patas el cual es 4kg de modo que el peso para cada pata sería de 1 kg, y Fx es la fuerza de empuje a la que está sometida el sistema. El diagrama de cuerpo libre es presentado a continuación:



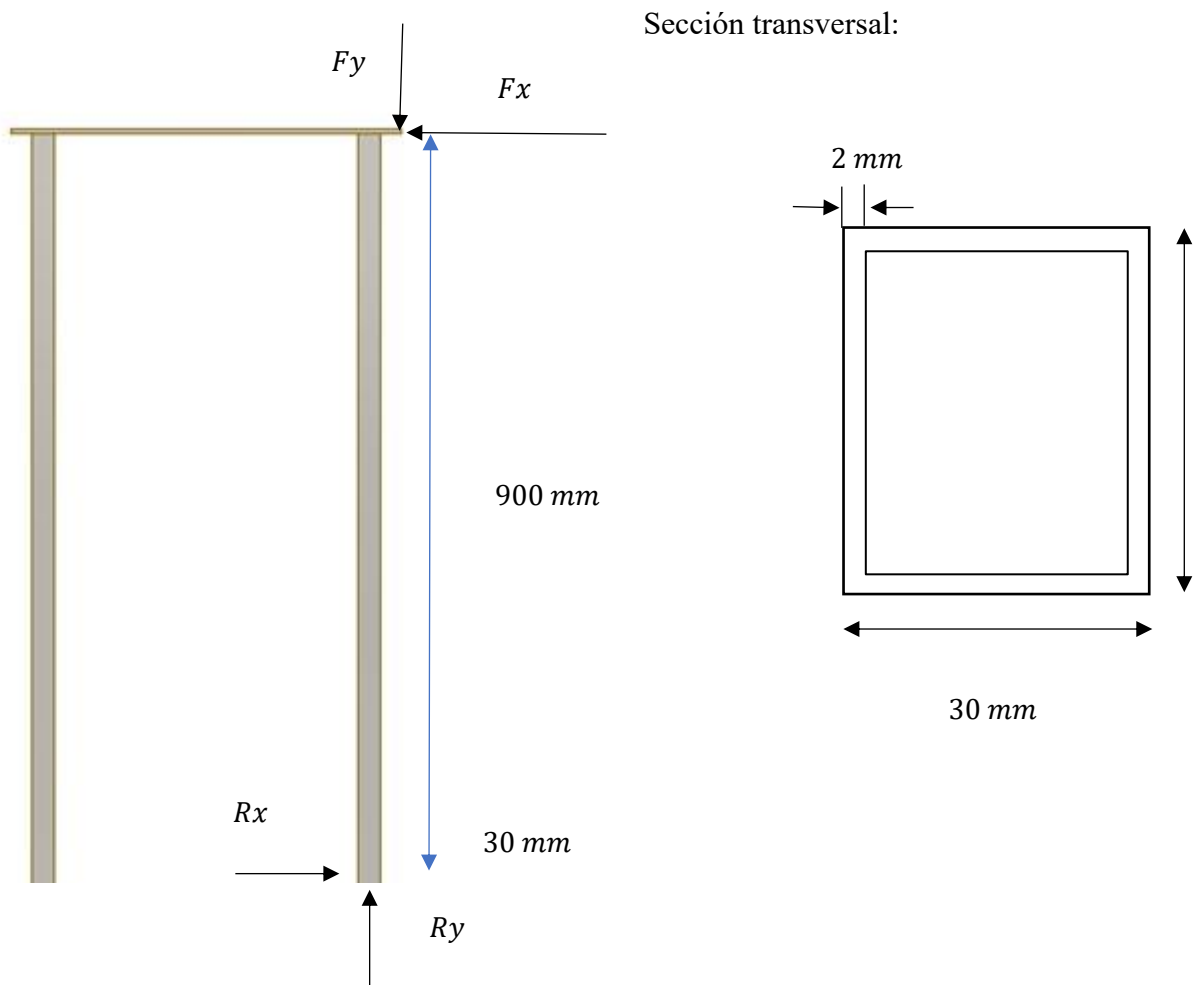


Figura 15. Diagrama de cuerpo libre de las patas

Teniendo planteado el diagrama con sus respectivas reacciones en X y Y, se procede a plantear un análisis de las fuerzas en los ejes, por lo tanto, la sumatoria de fuerzas en X sería:

$$\sum F_x = 0$$

$$F_x - R_x = 0$$

$$F_x = R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_y - R_y = 0$$

$$F_y = R_y$$

El elemento Infinitesimal planteado es el siguiente y se propone que la pata tiene su punto más crítico en el medio y en el punto de tensión.



El esfuerzo obtenido es el siguiente en el cual en el mismo eje el elemento sufre flexión y tensión.

$$F_y = 1[kg] * 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$F_y = 9.81 N$$

$$M = F_x * 500 mm$$

$$M = 60[N] * 500 mm$$

$$M = 30000 N - mm$$

$$\vartheta_y = -\frac{F_y}{A} + \frac{Mc}{I}$$

$$\vartheta_y = -\frac{9.81 N}{(4[mm])^2 - (3.8[mm])^2} + \frac{30000[N - mm] * 2[mm]}{\frac{1}{12}(4[mm])^4 - \frac{1}{12}(3.8[mm])^4}$$

$$\vartheta_y = -\frac{327}{52} + 151,6223$$

$$\vartheta_y = 151,55 MPa$$

El factor de seguridad estático de la pata es el presentado a continuación:

$$\eta = \frac{280}{151,55}$$

$$\eta = 1.847$$

De modo que se puede observar que las patas soportan las cargas aplicadas, tanto como el peso de los objetos, como la fuerza de empuje, por lo mismo se concluye que las patas tienen un diseño seguro.

### 8.1.6 Junta empernada

Para este cálculo, se analiza los pernos utilizados en una junta entre la pata y el armazón de la estación de trabajo, esta junta es la que se encarga de conectar las ruedas al sistema para poder movilizar la estación. El sistema cuenta con el acople de las patas que está compuesto de aluminio con un espesor de 3 mm y la base del armazón que está compuesto de acero inoxidable de 5 mm de espesor. Para realizar la junta se utiliza un perno ISO 4015 M8X20. Dentro de los cálculos que se realizan es evaluar el factor de la fuerza mínima necesaria de esta junta en base a los materiales y número de pernos planteados, siendo una junta de dos materiales distintos se debe calcular un  $K_m$  correspondiente a cada material, para después sacar un  $K_{m\text{total}}$ , se plantea un factor de seguridad base de 1.2 para poder despejar el valor de la fuerza y obtener la fuerza mínima necesaria para que el sistema no falle. Los cálculos se realizarán en base al libro “Mechanical Engineering Design” de Shigley’s, por lo tanto, las tablas y datos son pertenecientes al mismo.

Se comienza por calcular la rigidez del perno ( $k_b$ ), esta se calcula mediante la ecuación:

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

Se calcula el Área de la porción sin rosca del perno ( $A_d$ ) con la siguiente ecuación.

$$Ad = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$Ad = \frac{\pi 8^2}{4}$$

$$Ad = 50,26 \text{ mm}^2$$

Se precede a determinar el área de esfuerzo de tracción ( $A_t$ ), el cual se obtiene en la tabla 8-1 del libro de Shigley

Tabla 9. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y paso fino

Nominal Major Diameter $d$ mm	Coarse-Pitch Series			Fine-Pitch Series		
	Pitch $p$ mm	Tensile- Stress Area $A_t$ $\text{mm}^2$	Minor- Diameter Area $A_r$ $\text{mm}^2$	Pitch $p$ mm	Tensile- Stress Area $A_t$ $\text{mm}^2$	Minor- Diameter Area $A_r$ $\text{mm}^2$
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3

$$A_t = 36.6 \text{ mm}^2$$

Se determina el módulo de elasticidad (E) por medio de la tabla 8-8

Tabla 10. Modulo de elasticidad para el acero

Material Used	Poisson Ratio	Elastic GPa	Modulus Mpsi	A	B
Steel	0.291	207	30.0	0.787 15	0.628 73
Aluminum	0.334	71	10.3	0.796 70	0.638 16
Copper	0.326	119	17.3	0.795 68	0.635 53
Gray cast iron	0.211	100	14.5	0.778 71	0.616 16
General expression				0.789 52	0.629 14

$$E = 207 \text{ GPa}$$

Se procede a calcular la longitud del perno (L), está se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$L = (tm1 + tm2) + 2(Ws) + H + 2(p)$$

Donde:

- $tm1$ = (Thickness) espesor del material 1
- $tm2$ = (Thickness) espesor del material 2
- $Ws$ = (Washer size) tamaño de la arandela que se encuentra en la tabla A-31
- $H$ = Altura de la tuerca que se encuentra en la tabla A-31
- $p$ = (Pitch) Paso se encuentra en la tabla 8-1

Tomando esto en cuenta se tiene:

$$L = (tm1 + tm2) + 2(Ws) + H + 2(p)$$

$$L = (3 + 8) + 2(2,80) + 6,8 + 2(1,25)$$

$$L = 25,9mm$$

Donde se debe aproximar el valor de  $L$  al valor más cercano encontrado en la tabla A-17

$$L = 25,9 \text{ mm} \approx 28 \text{ mm}$$

Se procede a calcular la longitud roscada del perno ( $LT$ ), la cual se determina mediante la ecuación 8-14:

$$L_T = \begin{cases} 2d + 6 & L \leq 125 & d \leq 48 \\ 2d + 12 & 125 < L \leq 200 \\ 2d + 25 & L > 200 \end{cases}$$

En este caso se utilizaría la ecuación que estipula que:

$$LT = 2d + 6$$

Debido a que  $L \leq 125 \text{ mm}$  y  $d \leq 48 \text{ mm}$

Por lo tanto:

$$LT = 2(8) + 6$$

$$LT = 22 \text{ mm}$$

Para calcular la longitud de la parte sin roscar en el agarre ( $ld$ ) se plantea lo siguiente:

$$ld = L - LT$$

$$ld = 28 - 22$$

$$ld = 6 \text{ mm}$$

Para calcular la longitud de la parte roscada en el agarre ( $lt$ ) se plantea lo siguiente:

$$lt = l - ld$$

Donde  $l$  es igual al espesor de los materiales:

$$l = (tm1 + tm2) + 2(Ws)$$

$$l = (3 + 8) + 2(2,80)$$

$$l = 16,6mm$$

Por lo tanto:

$$lt = l - ld$$

$$lt = 16,6 - 6$$

$$lt = 10,6 mm$$

Se calcula la rigidez del perno ( $kb$ ):

$$kb = \frac{50,26 * 36,6 * 207 \times 10^{-3}}{50,26 * 10,6 + 36,6 * 6}$$

$$kb = 0,51 N/mm$$

Habiendo calculado todas las longitudes necesarias, se procede a calcular la rigidez de los materiales ( $km$ ), debido a que, en este ajuste empernado, se trabaja con dos materiales distintos, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$km = \frac{0,5774\pi Ed}{\ln \frac{(1,155t + D - d)(D + d)}{(1,155t + D + d)(D - d)}}$$

Donde D es igual a  $D_2=1,5d$  planteado en la figura 8-21

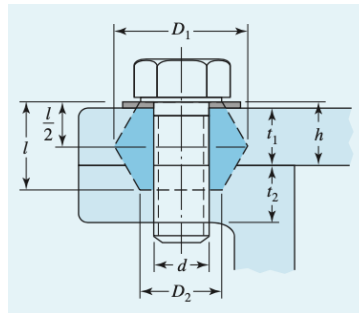


Figura 16. Nomenclatura de las medidas de un perno

$$D=1,5(8) = 12$$

Por lo tanto, para calcular la rigidez del material de la junta de la rueda compuesta por aluminio se plantea que:

El módulo de elasticidad del aluminio es  $E= 71\text{GPa}$  (Tabla 8-8)

$$km1 = \frac{0,5774\pi(71 \times 10^{-3})8}{\ln \frac{(1,155(3) + 12 - 8)(12 + 8)}{(1,155(3) + 12 + 8)(12 - 8)}}$$

$$km1 = 2,22 \text{ N/mm}$$

Para calcular la rigidez del armazón compuesto por acero inoxidable se plantea que:

El módulo de elasticidad del acero inoxidable es  $E= 207\text{GPa}$  (Tabla 8-8)



$$km2 = \frac{0,5774\pi(207 \times 10^3)8}{\ln \frac{(1,155(8) + 12 - 8)(12 + 8)}{(1,155(8) + 12 + 8)(12 - 8)}}$$

$$km2 = 3,68 \text{ N/mm}$$

Habiendo calculado por separado los valores de rigidez de cada material, se debe sacar una rigidez total, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$\frac{1}{kmtotal} = \frac{1}{km1} + \frac{1}{km2}$$

Por lo tanto:

$$kmtotal = \frac{km1 * km2}{km1 + km2}$$

$$kmtotal = \frac{2,22 * 3,68}{2,22 + 3,68}$$

$$kmtotal = 1,38 \text{ N/mm}$$

Se procede a calcular la fracción de carga externa P transportada por el perno (C), la cual se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{kb}{kb + km}$$

$$C = \frac{0,51}{0,51 + 1,38}$$

$$C = 0,27$$

Habiendo calculado la C, se procede a plantear la ecuación del factor de seguridad de carga, con el objetivo de despejar la carga P.


$$nL = \frac{SP * At - Fi}{C * \left(\frac{P}{N}\right)}$$

Donde:

- SP= (Minimum Proof Strength) Esfuerzo mínimo de rendimiento, que se encuentra en la Tabla 8-11
- Fi= Factor de carga
- P= Carga
- N= Número de pernos

Para calcular el SP se utiliza la Tabla 8-11

Tabla 11. Esfuerzo mínimo de rendimiento

Property Class	Size Range, Inclusive	Minimum Proof Strength,* MPa	Minimum Tensile Strength,* MPa	Minimum Yield Strength,* MPa	Material	Head Marking
4.6	M5-M36	225	400	240	Low or medium carbon	

$$SP = 225 \text{ MPa}$$

Para calcular el factor de carga (Fi), primero se plantea que está es una junta no permanente, por lo tanto, se tiene que:

$$Fi = 0,75Fp$$

Donde el Fp es la carga de prueba, la cual se obtiene de la siguiente manera:

$$Fp = Sp * At$$

$$Fp = 225 (Mpa) * 36,6(mm^2)$$

$$Fp = 8235 N/mm$$

Por lo tanto:

$$Fi = 0,75(8235)$$

$$Fi = 6176,25$$

Habiendo calculado todo lo necesario, se plantea una carga de 5 kN, que es una carga bastante considerable para analizar el comportamiento de la junta. Hay que tomar en cuenta que en esta junta se plantea 1 solo perno.

$$\eta L = \frac{225 * 36,6 - 6176,25}{0,27 * \left(\frac{5000}{1}\right)}$$

Obteniendo así un factor de seguridad de:

$$\eta L = 1,52$$

Este valor de  $n= 1,52$  nos demuestra que la junta no fallaría, todos los sistemas deberían contar con un factor de seguridad mayor a 1,2, por lo tanto, se evidencia que el sistema no fallaría a pesar de soportar una carga considerable, la cual es una mayor magnitud a la que está junta soportara en la realidad física. Por lo tanto, se demuestra que la elección del perno es adecuada, así como también la cantidad de pernos.

## 9. CÁLCULOS PARTE 2

### 9.1 Cálculos de transferencia de calor

En esta sección se presenta el análisis de transferencia de calor de un horno para un proceso de termoformado para encajes protésicos donde se utiliza dicho horno para el calentamiento del material a deformar. El sistema debe ser capaz de realizar el proceso de termoformado con distintos materiales y tamaños por lo que el horno debe ser capaz de calentar al aire interior a 200 °C.

Existen pérdidas de calor a través de las paredes del horno y el aire exterior. La generación de calor interna del horno debe ser capaz de cubrir la pérdida de calor en estado estacionario para mantener la temperatura del aire interior de 200 °C.

Para determinar la cantidad de aire a calentar se debe determinar el volumen interior del horno por lo que se considera las siguientes dimensiones generales, estas dimensiones son necesarias para introducir el armazón que sostiene el material a termoformar. Las consideraciones de transferencia de calor se las encontró del libro de Bergman de fundamentos de transferencia de calor y masa.

El horno que se va a utilizar tiene las dimensiones presentadas en la figura presentada a continuación.

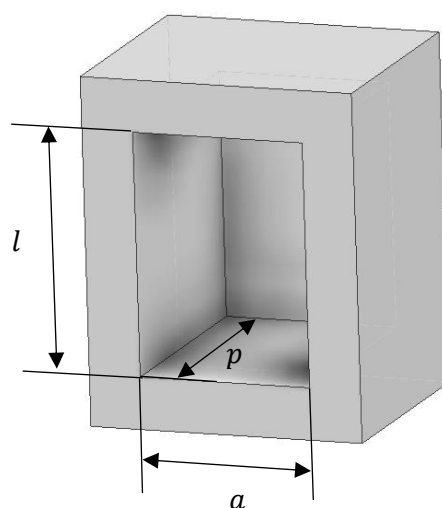


Figura 17: Medidas de las paredes internas de un horno OGH-S100

$$l = 0.82 \text{ m}$$

$$a = 0.70 \text{ m}$$

$$p = 0.63 \text{ m}$$

A continuación, se procede a calcular el volumen interno del horno

$$V_{int} = l * a * p = 0.82 * 0.70 * 0.63 = 0.36 \text{ m}^3$$

La masa del aire se puede obtener a partir de la densidad del aire a la temperatura ambiente de 20 °C

Procedemos a calcular la masa del aire en el horno  $M_a$  tomando en cuenta que la densidad del aire  $\rho_{aire}$  según la tabla 2.1 a una temperatura ambiente de 20°C es de  $1.204 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

Tabla 12. Propiedades físicas del aire obtenida del libro de Bergman de Heat and Mass Transfer (2014)

Temp. $T$ , °C	Densidad $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Calor específico $c_p$ , J/kg · K	Conductividad térmica $k$ , W/m · K	Difusividad térmica $\alpha$ , m <sup>2</sup> /s	Viscosidad dinámica $\mu$ , kg/m · s	Viscosidad cinemática $\nu$ , m <sup>2</sup> /s	Número de Prandtl Pr
0	1.292	1006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268

$$M_a = \rho_{aire} * V_{int,h}$$

$$M_a = 1.204 * 0.36 = 0.43 \text{ kg}$$

Cómo se puede apreciar en la tabla 1. el calor específico del aire  $C_p$  es de  $1007 \frac{J}{kg \cdot K}$ .

Adicionalmente debemos conocer temperatura inicial la cual hace referencia a la temperatura ambiente que es de 18°C y la temperatura deseada que es de 200°C. De

acuerdo a los datos ya mencionados podemos calcular la cantidad de calor necesario para calentar el material dentro del horno.

$$Q_a = M_a * C_p * \Delta T = (0.43)(1007)(200 - 18) = 78807 \text{ [J]}$$

Adicionalmente también es necesario calcular la cantidad de calor para calentar el polipropileno para ello es necesario conocer la masa a utilizar tomando en cuenta que la densidad del polipropileno es de  $902 \left[ \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

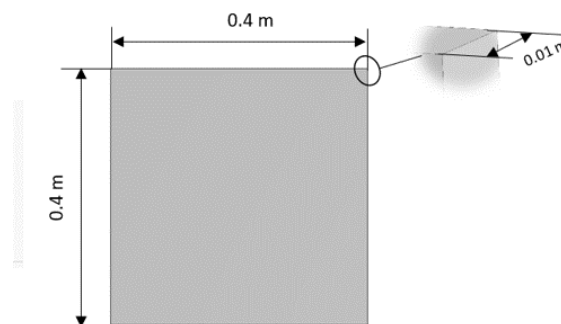


Figura 18. Diseño y propiedades generales una plancha de polipropileno

Con base en las dimensiones proporcionadas en la figura 2.2 de la plancha de polipropileno, procedemos a calcular el volumen interno del material.

$$V_{int,p} = 0.4 * 0.4 * 0.01 = 0.0016 \text{ m}^3$$

$$M_a = \rho_{polipropileno} * V_{int} = 902 * 0.0016 = 1.44 \text{ kg}$$

Como se puede observar se determinó que la masa del polipropileno  $M_p$  es de 1.44 [kg]. Según Callister (2014) el polipropileno tiene un calor específico  $C_p$  de  $1925 \left[ \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \right]$ . Adicionalmente tenemos una diferencia de temperaturas con respecto a la temperatura inicial o temperatura ambiente que es de 18 °C y una temperatura final deseada la cual es de 75°C necesaria para llegar al estado viscoelástico del polipropileno. Estos datos nos son útiles para determinar el calor  $Q_p$  del polipropileno.

$$Q_p = M_p * C_p * \Delta T = (1.44)(1925)(75 - 18) = 199584 \text{ [J]}$$

Para calcular el tiempo de calentamiento del material a una cierta temperatura, fue necesario realizar un análisis en estado transitorio por el Método de capacitancia concentrada tomado del libro de Bergman de transferencia de calor

$$t = \ln \frac{T_i - T_\infty}{T - T_\infty} * \frac{\rho V c}{h A_s}$$

El material debe llegar a su estado viscoelástico, para esto, es necesario que supere la temperatura de transición vítrea y que sea menor a su temperatura de fusión. La temperatura de fusión del material debe estar entre 150 y 175 [°C], y la temperatura de transición vítrea es de -25 a -15 [°C] (Muenala, 2021). Se realizó un promedio entre las dos temperaturas y así llegamos a un punto medio y que el material pueda generar la burbuja deseada de 75 [°C] – 348.15 [K]. La temperatura del fluido  $T_\infty$ , que en este caso es el aire dentro del horno es de 200 [°C] – 473.15 [K], y basándonos en una temperatura inicial  $T_i$  (temperatura ambiente) de 18 [°C] – 291.15 [K], la densidad usada para el material es  $\rho = 902 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  y un calor específico  $c = 1.925 \left[ \frac{kJ}{kg * K} \right]$ , obtenidas de la tabla de Materials Science and Engineering de Callister (2014).

Como se puede observar a continuación en la figura 2.3, se considera el área superficial del polipropileno  $A_s$  de la zona que está expuesta a la deformación, la cual tiene un radio  $r$  de 0.175 [m] y un espesor  $h$  de 0.0008 [m]

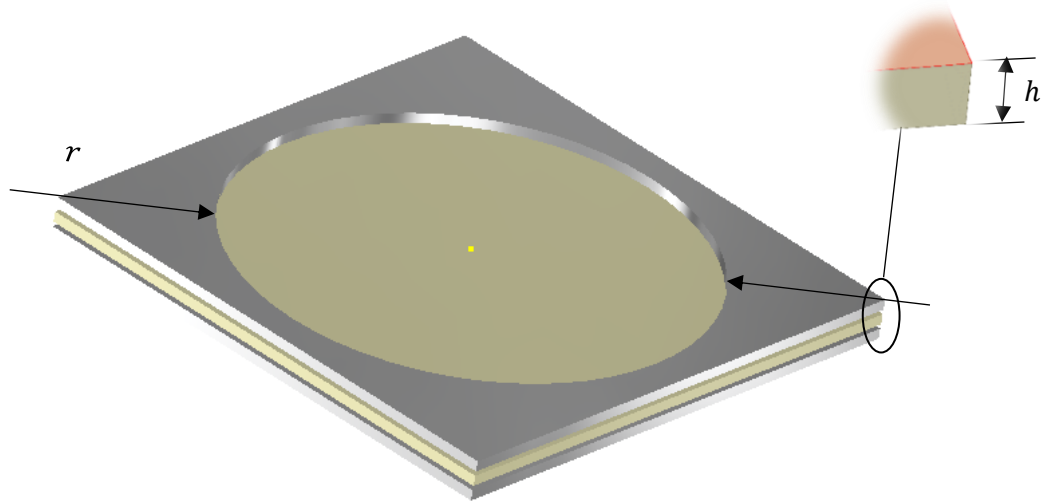


Figura 19. Diseño de plancha de polipropileno con unión al armazón.

Se calcula el área superficial de la cara superior e inferior debido a que están expuestas al calor.

$$A_S = 2\pi r^2$$

$$A_S = 2\pi(0.175)^2$$

$$A_S = 0.1924 \text{ m}^2$$

El volumen del cilindro expuesto al calor viene dado por

$$V = \pi * r^2 * h$$

$$V = \pi * 0.175^2 * 0.008 = 7.69 \times 10^{-4} [\text{m}^3]$$

El coeficiente de convección del horno se analiza mediante convección natural debido a que el fluido no se mueve por la acción de una fuente externa. Para el análisis se utiliza las fórmulas planteadas para un plato horizontal, al estar la lámina en el horno, se procede a calcular los dos coeficientes de convección; el primero, cuando recibe el calor un plato con la cara superior, y el segundo por la cara inferior. De modo que, se utiliza las dos siguientes fórmulas tomadas del libro de Bergman, 2013.



**Upper Surface of Hot Plate or Lower Surface of Cold Plate [19]:**

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7, Pr \geq 0.7)$$

$$\overline{Nu}_L = 0.15 Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}, \text{all } Pr)$$

**Lower Surface of Hot Plate or Upper Surface of Cold Plate [20]:**

$$\overline{Nu}_L = 0.52 Ra_L^{1/5} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^9, Pr \geq 0.7)$$

Figura 20. Ecuaciones para cálculo del número Nusselt para superficies planas en dependencia de número de Rayleigh (Bergman, 2013)

En el primer caso se seleccionó de acuerdo con el número de Prandlt, el cual fue calculado a continuación, el número de Rayleigh sirve para poder calcular el número de Nusselt, y con el mismo poder calcular los coeficientes de convección.

La fórmula para el cálculo del número de Rayleigh viene dada por

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

En donde la gravedad es la aceleración utilizada  $g = 9.81 \left[ \frac{m}{s^2} \right]$ . Para determinar el coeficiente de expansión térmica volumétrica  $\beta$ , fue necesario utilizar el software Equation System Solver (ESS) a partir de la temperatura del aire y la presión atmosférica nos da un valor de  $0.001383 \left[ \frac{1}{K} \right]$ . Adicionalmente, se tiene la temperatura superficial  $T_s$  del material la cual hace referencia a una temperatura ambiente de  $18 \text{ [}^\circ\text{C]} - 291.15 \text{ [K]}$ , y la temperatura del aire  $T_\infty$  dentro del horno la cual es de  $200 \text{ [}^\circ\text{C]} - 473.15 \text{ [K]}$ . A partir de la tabla A4 del libro de Bergman de Heat and Mass Transfer (2014), se obtuvo la viscosidad  $\nu = 32.39 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$  y una difusividad térmica  $\alpha$  de  $32.39 \times 10^{-6} \left[ \frac{m^2}{s} \right]$

Tabla 13. Propiedades termofísicas de los gases a presión atmosférica obtenida del libro de Bergman de Heat and Mass Transfer (2014)

$T$ (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
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683

A continuación, se procede a calcular la longitud relativa del plato, para lo cual se debe dividir el área superficial sobre el perímetro de la lámina expuesta.

$$L = \frac{A_s}{P}$$

$$P = 2\pi r = 2\pi(0.175) = 1.099 \text{ [m]}$$

$$L = \frac{0.1924}{1.099}$$

$$L = 0.1751 \text{ [m]}$$

Con los datos calculados y sustraídos de diferentes tablas, se calcula el número de Rayleigh

$$R_{aL} = \frac{(9.81)(0.001383)(200 - 18)(0.1751)^3}{(32.39 \times 10^{-6})(47.2 \times 10^{-6})}$$

$$R_{aL} = 8670977.656$$

Y de acuerdo con el número de Rayleigh se calcula el número de Nusselt para el primer caso planteado, el cual es para la superficie inferior de un plato frío.

$$\overline{Nu}_L = 0.54Ra_L^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.54(8670977.656)^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_L = 29.30$$

Una vez obtenido el número Nusselt se procedió a calcular el coeficiente de convección  $h$  para el primer caso.

$$h = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L}$$

$$h = \frac{29.30 * 37.3 \times 10^{-3}}{0.183}$$

$$h_u = 6.24 \frac{W}{m^2 * K}$$

Para el segundo caso, el cual es para la superficie superior de un plato frío, se calcula de igual forma con el número de Rayleigh calculado previamente.

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

$$\overline{Nu}_L = 0.52(8670977.656)^{1/5}$$

$$\overline{Nu}_L = 12.69$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de convección para el segundo caso.

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

$$h = \frac{\overline{Nu}_L * k}{L}$$

$$h = \frac{12.69 * 37.3 \times 10^{-3}}{0.1751}$$

$$h_L = 2.70 \frac{W}{m^2 * K}$$

Se obtiene un promedio de los coeficientes de convección de las dos caras del plato para obtener un solo  $h$ , y de esta forma calcular el tiempo.

$$h_{prom} = \frac{2.70 + 6.24}{2}$$

$$h_{prom} = 4.47 \frac{W}{m^2 * K}$$

Para finalizar se obtiene el cálculo del tiempo que se debe dejar el material en el horno.

$$t = \ln \frac{T_i - T_{\infty}}{T - T_{\infty}} * \frac{\rho V c}{h A_s}$$

$$t = \ln \frac{18 - 150}{120 - 150} * \frac{902 * 7.69x10^{-4} * 1925}{4.47 * 0.2012}$$

$$t = 2207.00 \text{ segundos} \approx 36.78 \text{ minutos}$$

Como se puede observar, se necesitan 8 minutos y 19 segundos dentro del horno a una temperatura de 200 °C para que el polipropileno llegue a su estado viscoelástico y por consiguiente pueda acoplarse el material al molde deseado. Se puede determinar que este es un valor acertado, debido a que al compararlo con los datos otorgados por parte de la Fundación hermano Miguel, se pueden observar valores de tiempo cercanos, donde en la fundación se tenía un  $t = 8,5$  min. Estas pequeñas variaciones pueden ocurrir por ciertos factores como el tamaño del horno, el tiempo que le toma al horno calentarse, pérdidas de energía, etc.

A continuación, se presenta un análisis de pruebas, donde se evalúan distintos materiales con distintas características referentes a tamaño y temperatura del horno, para así evaluar y observar los distintos comportamientos de cada material frente a estos escenarios.

La densidad del PETG es de  $1350 \left[ \frac{kg}{m^3} \right]$  y un calor específico de  $1170 \left[ \frac{J}{kg K} \right]$ .

Obtenidas de la tabla de Materials Science and Engineering de Callister (2014).

Para la siguiente tabla se medirá los tiempos para el área superficial del material que está en el armazón con un diámetro de 35 cm.

Tabla 14. Tiempos para dejar el material en el horno dependiendo del material y su espesor

Material	Espesor [mm]	Temperatura del Horno [°C]	Tiempo en el Horno [min]
Polipropileno	13	180	39,98
	8	150	36,78
PETG	13	180	36,37
	8	150	33,35

En la tabla presentada a continuación se calcularán los tiempos para el área superficial del material que está en el armazón con un diámetro de 25 cm. El área superficial es 0.0981 [m<sup>2</sup>].

Tabla 15. Tiempos para dejar el material en el horno dependiendo del material y su espesor

Material	Espesor [mm]	Temperatura del Horno [°C]	Tiempo en el Horno [min]
Polipropileno	13	180	36,25
	8	150	35,12
PETG	13	180	32,16
	8	150	30,24

Para los tiempos calculados en la siguiente tabla se usa el área superficial del material que se encuentra en un armazón con un diámetro de 15 cm. El área superficial es 0.0353 [m<sup>2</sup>].

Tabla 16. Tiempos para dejar el material en el horno dependiendo del material y su espesor

Material	Espesor [mm]	Temperatura del Horno [°C]	Tiempo en el Horno [min]
Polipropileno	13	180	32,51
	8	150	31,98
PETG	13	180	29,87
	8	150	28,65

Para concluir se puede observar que, de acuerdo a las propiedades del material, el área superficial expuesta, el espesor y la temperatura en la que se encuentra el horno son las características principales para determinar el tiempo que se debe dejar el material en el horno. Se obtienen tiempos muy similares entre los dos polímeros varía debido a que el uno es más denso que el otro.

## 9.2 Cálculos de sistema de vacío

Para calcular la presión en un sistema de vacío es necesario obtener la fuerza de vacío “F” y el área de la superficie afectada. Como se puede observar a continuación en la figura 2.1, se presenta el diseño y las propiedades generales de un molde para socket protésico basado en las medidas de una persona con una estatura de 1.85 [m] y un peso de 84 [kg], este molde se lo realizó mediante la utilización del software inventor.

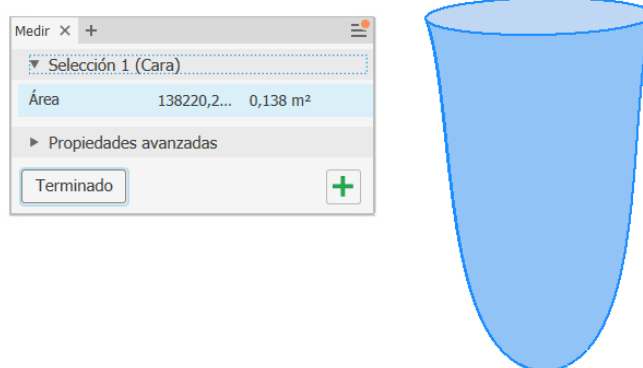


Figura 21. Dimensiones generales de un molde para fabricación de un socket protésico

Es necesario calcular la fuerza de vacío necesaria para el sistema, la cual debe ser suficiente para conseguir una succión del material y que se acople el polipropileno al

molde deseado. Obteniendo esta fuerza, se la compara con la fuerza de vacío que proporciona la bomba, para así determinar si la bomba seleccionada cumple con los requerimientos pertinentes al caso.

Como se puede observar en la figura 3.1, tenemos un área de 0.91 [m<sup>2</sup>] y el vacío requerido es de 0.03 [MPa], de acuerdo con el trabajo de titulación de Walter Cedillo (2023), ya que es una presión de vacío para una cámara de vacío realizada en la ciudad de Cuenca y en Quito se tienen presiones atmosféricas similares.

$$P = \frac{F_{vacio}}{A}$$

$$F_{vacio} = P * A$$

$$F_{vacio} = 30000 * 0.91$$

$$F_{vacio} = 27300 \text{ N} = 27.3 \text{ kN}$$

Esta es fuerza de vacío requerida para la presión y el área en la que se va a aplicar.

Se procede a calcular el volumen de la cámara de vacío generada, en la cual se toma en cuenta el diámetro del plato y las dimensiones del molde.

$$V_{vacio} = 0.006 \text{ m}^3$$

Los cálculos se realizarán en base al trabajo de titulación de Walter Cedillo (2023), que plantea un proyecto con ciertas similitudes a este.

Para los cálculos de la fuerza necesaria en el sistema, se comienza por calcular el tiempo de bombeo:

$$t = \frac{V * \ln \frac{P1}{P2}}{Q}$$

Donde se tiene que:

P1= 765 [mbar], la presión atmosférica, sustraído de los Gráficos diarios de Meteorología y Calidad del Aire del Instituto de Investigaciones Atmosféricas (IIA) de la USFQ.

$P_2 = 300$  [mbar], la presión deseada

$V = 0,006$  [ $m^3$ ], volumen de la cámara

$Q = 8$  CFM =  $0,00378$  [ $m^3/s$ ], dato del fabricante

$$t = \frac{0,006 * \ln \frac{765}{300}}{0,00378}$$

$$t = 2.15 \approx 2 \text{ s}$$

Es así como se obtiene un tiempo de 2 segundos, pero también debido al tipo de sistema, es necesario considerar las dimensiones de la tubería, que tiene un largo de 40 cm y un diámetro de cm. Por lo tanto, se aplica la misma ecuación para obtener el tiempo de evacuación considerando la tubería.

$$t = \frac{(V + V_{tuberia}) * \ln \frac{P_1}{P_2}}{Q}$$

Donde el volumen de la tubería se obtiene por el diseño realizado en el cual se plantea una tubería con  $0.02$  [m] de diámetro interior y un largo de  $0.4$ [m].

$$V_{tuberia} = \pi * r^2 * L$$

$$V_{tuberia} = \pi * (0.02)^2 * 0.4 = 5.0265 \times 10^{-4}$$

Teniendo en cuenta este nuevo volumen que considera las dimensiones de la tubería, se calcula un nuevo tiempo de evacuación.

$$t = \frac{(0.006 + 5.0265 \times 10^{-4}) * \ln \frac{776}{300}}{0,00378}$$



$$t = 2.33 \approx 2,5 \text{ s}$$

Como se puede observar, se necesitan aproximadamente 2,5 segundos para que el aire dentro de la cámara de vacío evacue por completo y el material se adhiera al molde. Se puede determinar que este es un valor acertado, debido a que al compararlo con los datos observados en un proceso previo por parte de la Fundación hermano Miguel, se pueden observar valores de tiempo cercanos, donde en la fundación se tenía un  $t = 3$  segundos. Estas pequeñas variaciones pueden ocurrir por ciertos factores como el tamaño del plato de formación de burbuja, el tamaño del molde, el sellado del material, etc.

### 9.3 Eficiencia de la bomba de vacío

La eficiencia de la bomba de vacío fue calculada con la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada. La potencia de entrada es la potencia otorgada por el fabricante la cual es  $W_{entrada} = 559.275 [W] = \frac{3}{4} HP$ , y la potencia de salida es la cantidad de aire que desplaza la bomba  $Q = 8.0 [CFM] = 0.00378 \left[\frac{m^3}{s}\right]$  multiplicada por la presión de vacío que se necesita para que el polipropileno se adhiera al molde  $P_{vacío} = 15 [inHg] = 0.0508 [MPa]$ , de modo que se obtienen las siguientes fórmulas:

$$\eta = \frac{W_{salida}}{W_{entrada}}$$

$$W_{salida} = Q * P_{vacío}$$

$$W_{salida} = 0.00378 * 50795.8$$

$$W_{salida} = 192.008 [W]$$

$$\eta = \frac{192.008}{559.275}$$

$$\eta = 0.3433$$

La eficiencia de energía es de 34.33 %, lo cual es un valor adecuado para las bombas de vacío debido a que no suelen ser eficientes en términos de energía. Cabe recalcar que por más que este no es un valor de eficiencia muy alto, debido a la aplicación de este proyecto, cumple con las necesidades del sistema, el proceso de vacío es un

proceso corto que no necesitaría una bomba con una eficiencia muy alta para poder llevarse a cabo.

#### 9.4 Análisis estático de viga en C para soporte tubo de vacío

La viga de soporte es la viga en la cual se apoya el tubo conectado al sistema de vacío y al plato de formación de burbuja, de modo que, se consideran las cargas del peso de estos objetos, para aplicar la fuerza en la mitad de la viga y provocar una flexión.

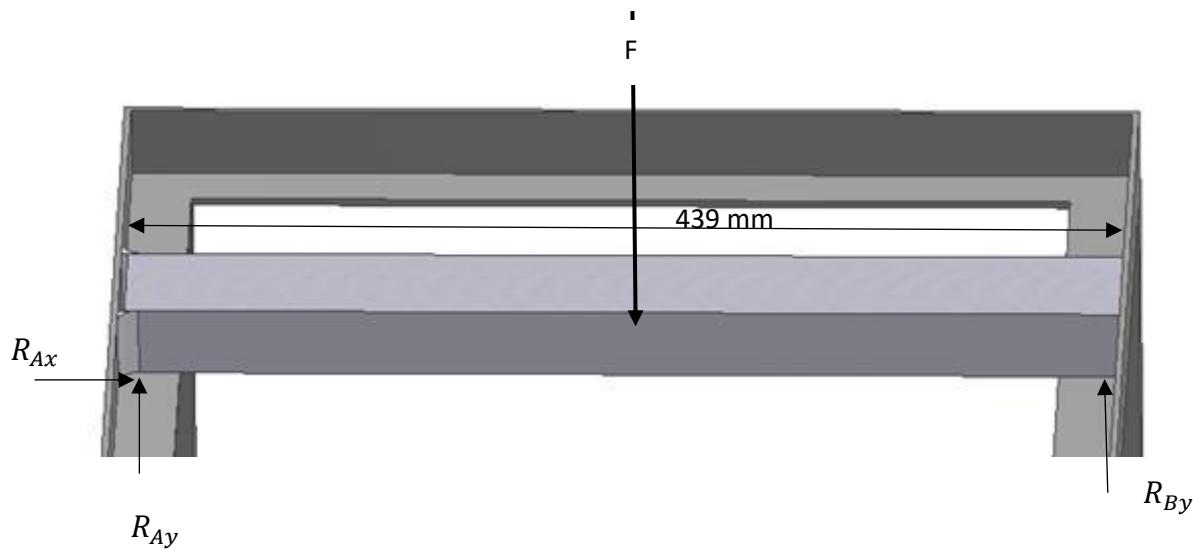


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre viga de apoyo para tubo de vacío

Del diagrama de cuerpo libre se obtienen las siguientes sumatorias de fuerzas y momentos con el fin de calcular las reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Bx} = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} - F = 0$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By}(439[\text{mm}]) - F(219.5[\text{mm}]) = 0$$

$$R_{By} = \frac{58 * 219.5}{439}$$

$$R_{By} = 29 [\text{N}]$$

Reemplazando así en la ecuación obtenida de sumatoria de  $F_y$

$$R_{Ay} + R_{By} - W_B = 0$$

$$R_{Ay} = 58 - 39$$

$$R_{Ay} = 39 [N]$$

De acuerdo con las reacciones calculadas, se realizó el diagrama de momento que se encuentra a continuación, donde se puede ver que el punto más crítico es en la mitad de la viga.

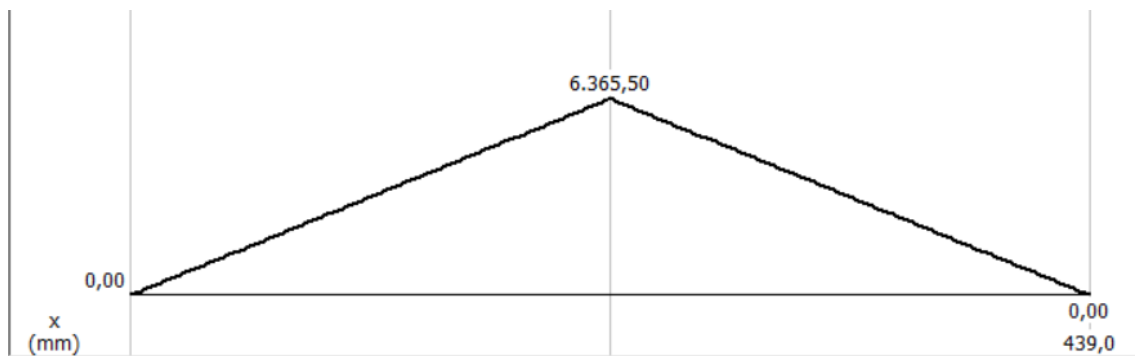


Figura 23. Diagrama de Momento Flector de la Viga en C

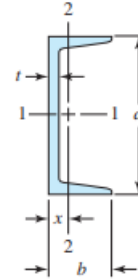
De acuerdo con el momento flector más crítico que se puede ver en la figura anterior, el cual es 6365.5 [N-mm], se usa un centro geométrico de 15 [mm], y una inercia obtenida del perfil en C de la siguiente tabla de Shigley

Tabla 17: Tabla de propiedades estructurales y geométricas de un perfil en C, obtenido del libro de Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley (2015).

**Table A-7**

Properties of Structural-Steel Channels\*

$a, b$  = size, in (mm)  
 $w$  = weight per foot, lbf/ft  
 $m$  = mass per meter, kg/m  
 $t$  = web thickness, in (mm)  
 $A$  = area, in<sup>2</sup> (cm<sup>2</sup>)  
 $I$  = second moment of area, in<sup>4</sup> (cm<sup>4</sup>)  
 $k$  = radius of gyration, in (cm)  
 $x$  = centroidal distance, in (cm)  
 $Z$  = section modulus, in<sup>3</sup> (cm<sup>3</sup>)



**Table A-7**

Properties of Structural-Steel Channels\* (Continued)

$a \times b$ , mm	$m$	$t$	$A$	$I_{1-1}$	$k_{1-1}$	$Z_{1-1}$	$I_{2-2}$	$k_{2-2}$	$Z_{2-2}$	$x$
76 × 38	6.70	5.1	8.53	74.14	2.95	19.46	10.66	1.12	4.07	1.19
102 × 51	10.42	6.1	13.28	207.7	3.95	40.89	29.10	1.48	8.16	1.51
127 × 64	14.90	6.4	18.98	482.5	5.04	75.99	67.23	1.88	15.25	1.94
152 × 76	17.88	6.4	22.77	851.5	6.12	111.8	113.8	2.24	21.05	2.21

Se usa una inercia de 10660 [mm<sup>4</sup>] debido que esa es la inercia de interés por la posición de la viga, y se procede a hacer el cálculo del esfuerzo en flexión generado por esa fuerza hacia la barra

$$\sigma_F = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_F = \frac{6365.5(15)}{10660}$$

$$\sigma_F = 89.57 \text{ MPa}$$

Después del cálculo del esfuerzo en flexión se procedió a calcular el factor de seguridad estático de la viga en “c”, usando un esfuerzo de fluencia de 440 [MPa] obtenido del acero comercial 1030, obteniendo el siguiente factor de seguridad.

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_y}$$

$$\eta = \frac{440}{89.57}$$

$$\eta = 4.91$$

Este valor de  $n= 4,91$  es un valor considerable en cuanto a factores de seguridad, tomando en cuenta que el valor mínimo para que un sistema funcione sin complicaciones es  $n= 1,2$ ; el valor obtenido en la viga en C nos demuestra que el sistema no falla. Esto evidencia que la carga que va a soportar la viga no es muy significativa, y debido a su material y dimensiones está puede soportar las cargas tranquilamente sin fallar.

### 9.5 Soldadura de la viga para el soporte del tubo de vacío

Para el diseño de la mesa de estación se consideró el diseño de una viga rectangular soldada al perfil en L la cual es la encargada de soportar el peso del tubo de vacío, el plato de termoformado y el molde. La unión permanente de la viga con respecto al perfil en L está sometidos a flexión

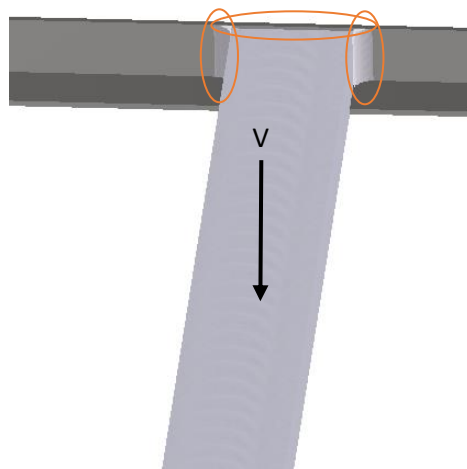


Figura 24. Diseño de unión de viga rectangular con respecto al perfil en L

En donde  $V$  es la fuerza proveniente del peso del tubo de vacío el cual tiene una masa de 5 [kg] y el plato de termoformado que tiene una masa de 0.91 [kg]. Como se puede observar a continuación la fuerza viene dada por la suma de los pesos por la gravedad  $9.81 [ms^2]$ :

$$V = (0.91 + 5)(9.81) = 58 N$$

Para este diseño se consideró solo dos cordones de soldadura, uno en cada lado de la viga. Como se muestra a continuación en la figura 5.2, se escoge la segunda opción de las propiedades flexionantes de las soldaduras de la Tabla 9-2 del libro de Shigley

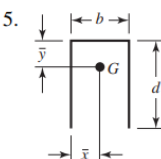
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de $G$	Segundo momento unitario del área
5. 	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$

Figura 25. Propiedad flexionante de soldadura de filete para el diseño de la viga con respecto al perfil en L tomada del libro de Shigley de Mechanical Engineering Design

En donde  $d$  es la altura del cordón de soldadura el cual tiene una distancia de 38 [mm] mientras que la distancia entre cordones de soldadura  $b$  en el plano horizontal es de 76 [mm]. Adicionalmente, se asume una garganta de soldadura  $h$  de 6 [mm]. Con las medidas ya mencionadas se procede a calcular el área de la garganta  $A$  tomando en cuenta la ecuación de la figura 5.2.

$$A = 0.707h(b + 2d) = (0.707)(6)(76 + 2(38)) = 645 \text{ mm}^2$$

Reemplazo el área de la garganta calculado para calcular el esfuerzo primario

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{58}{645} = 0.09 \text{ MPa}$$

Por otro lado, el centro geométrico  $G$  se ubica en

$$\bar{x} = \frac{b}{2} = \frac{76}{2} = 38 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = \frac{d}{b + 2d} = \frac{38}{76 + 2(38)} = 0.25 \text{ mm}$$

El segundo momento unitario del área viene dado por la ecuación de la figura 5.2

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

$$I_u = \frac{2(38)^3}{3} - 2(38)^2(0.25) + ((76) + 2(38))(0.25)^2 = 15215 \text{ mm}^3$$

El segundo momento del área  $I$ , con base en el área de la garganta de la soldadura, es

$$I = 0.707 h I_u$$

$$I = (0.707)(6)(15215) = 64542 \text{ mm}^4$$

Cómo se puede apreciar a continuación en la figura 5.3, el momento  $M$  genera un esfuerzo cortante secundario  $\tau''$  por lo que el momento viene dado mediante la fuerza  $V$  por la distancia a la mitad de la viga "a" la cual es de 219.5 [mm].

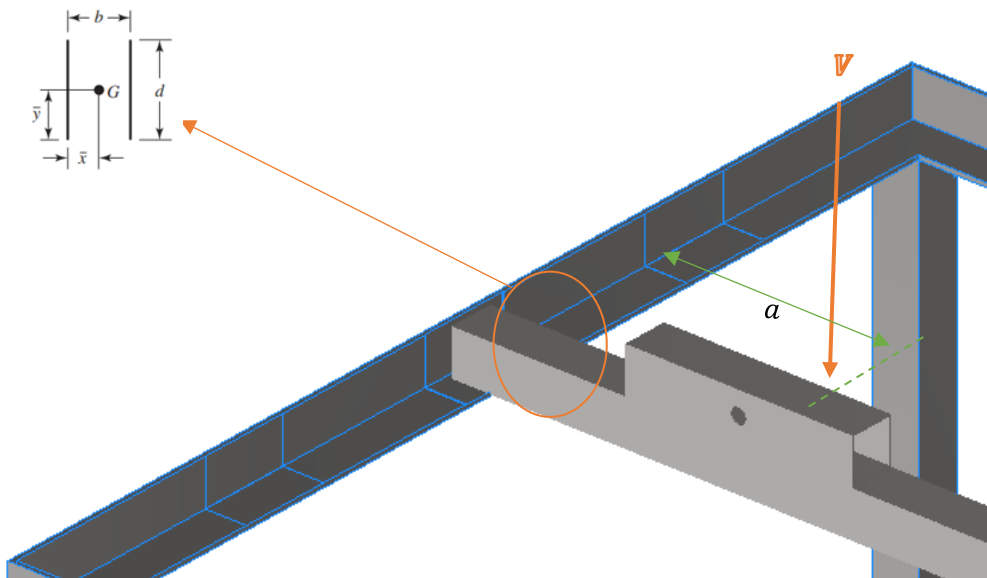


Figura 26. Carga aplicada sobre la viga soldada al perfil en L

$$M = V * a = (58)(219.5) = 12731 \text{ Nmm}$$

Adicionalmente, para el cálculo del esfuerzo cortante secundario es necesario saber la distancia del centro geométrico  $r$  de la cara de la viga hacia las fibras externas de la viga, esta distancia es de 15 [mm].

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{(12731)(15)}{64542} = 29.5 \text{ MPa}$$

La magnitud del cortante  $\tau$  se la calcula en base a Pitágoras

$$\tau = \sqrt{\tau''^2 + \tau'^2} = \sqrt{29.5^2 + 0.11^2} = 29.5 \text{ Mpa}$$

Con base en una resistencia mínima y el criterio de energía de distorsión, tomando en cuenta que para el diseño de la viga se escogió un acero 1030 el cual tiene una resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) de 370 [MPa], el factor de seguridad es

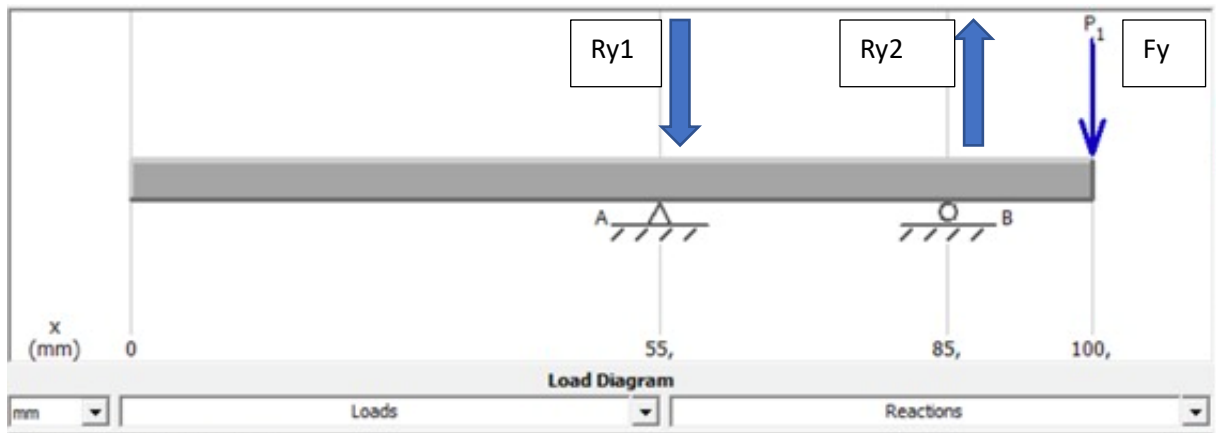
$$n = \frac{S_y}{\tau} = \frac{0.577(370)}{29.5} = 7.24$$

Como se pudo observar, se tiene un factor de seguridad de 7.24 para una suelda de tres lados, lo cual nos muestra que el sistema no falla, como se pudo ver de igual manera en el cálculo estático la viga en C que en este caso es la que cuenta con el proceso de soldadura, no soporta una carga muy considerable para sus características, por lo tanto, la suelda aplicada también es suficiente para soportar las cargas.

## 9.6 Cálculos estáticos en el eje de sujeción para el tubo de vacío

A continuación, se presenta el cálculo estático para obtener el factor de seguridad del eje de sujeción del tubo de vacío, este es un perno de Acero comercial 1030, de 10mm de diámetro y de 100mm de largo. A este se le aplica una carga vertical hacia abajo  $F_y = 150\text{N}$ , el cual es un valor resultante del peso del molde, plato de formación de burbuja, armazones y material al momento de realizar un socket protésico.





Del diagrama de cuerpo libre se obtienen las siguientes sumatorias de fuerzas y momentos con el fin de calcular las siguientes reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Bx} = 0$$

$$R_{y1} + R_{y2} = F_y$$

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{y2}(30[mm]) - F_y(45[mm]) = 0$$

$$R_{y2} = \frac{150 * 0.045}{0.030}$$

$$R_{y2} = 225 [N]$$

Reemplazando así en la ecuación obtenida de sumatoria de  $F_y$

$$R_{y1} + R_{y2} = F_y$$

$$R_{y1} = F_y - R_{y2}$$

$$R_{y1} = 150 - 225$$

$$R_{y1} = -75 [N]$$

De acuerdo con las reacciones calculadas, se realizó el diagrama de cortante y momento que se encuentran a continuación, donde se puede ver que el punto más crítico es en la mitad de la viga.

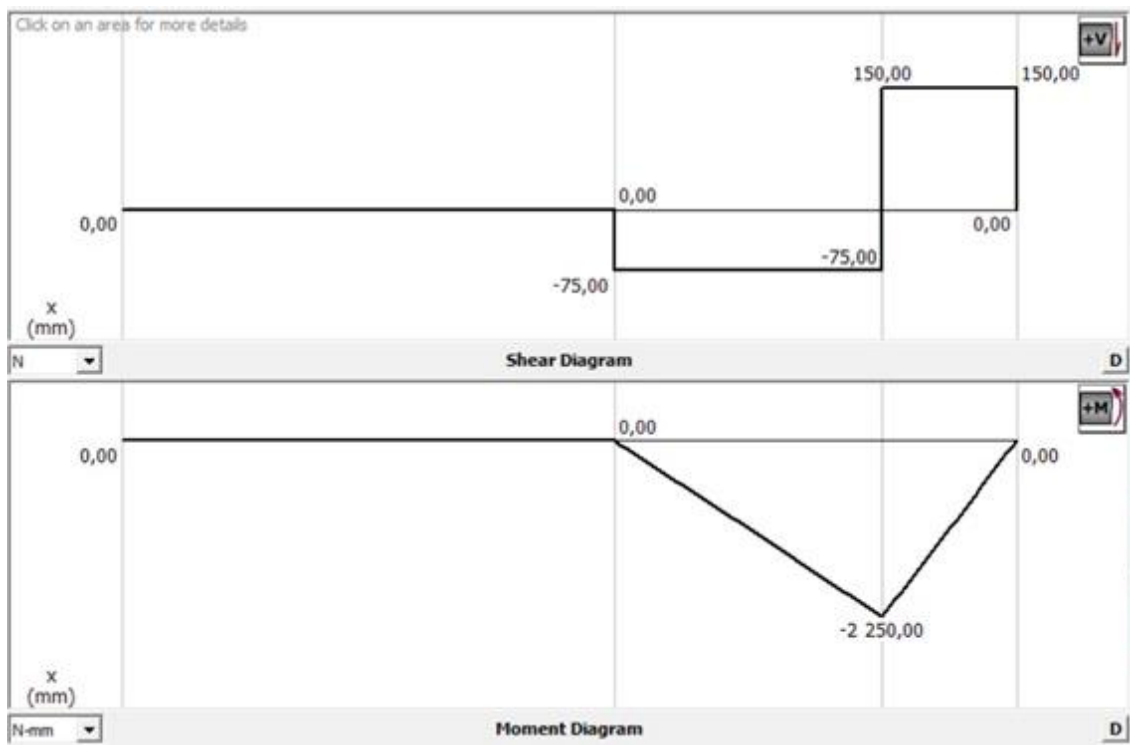


Figura 27. Diagrama de Momento Flector del eje de sujeción del tubo de vacío

Por medio de la figura anterior se puede observar el momento flector que es punto más crítico, el cual tiene un valor de 2250[N-mm], se usa un centro geométrico de 5 [mm], y una inercia obtenida del eje de la manera:

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi * (10)^4}{64}$$

$$I = 490,87$$

Mediante el cálculo de la inercia se puede calcular el esfuerzo, por medio de la siguiente ecuación:

$$\vartheta_F = \frac{Mc}{I}$$

$$\vartheta_F = \frac{2250(5)}{490.87}$$

$$\vartheta_F = 22.92 \text{ MPa}$$

Después del cálculo del esfuerzo en flexión se procedió a calcular el factor de seguridad estático del eje de sujeción, usando un esfuerzo de fluencia de 370 [MPa] obtenido del acero comercial 1030, obteniendo el siguiente factor de seguridad.

$$\eta = \frac{S_y}{\vartheta_y}$$

$$\eta = \frac{370}{22,92}$$

$$\eta = 16,14$$

Como se puede observar se obtiene un factor de seguridad de 16,14 lo cual es bastante elevado, y podría determinar que este eje está sobredimensionado, sin embargo, este valor alto nos permite estar dentro de la zona segura en el elemento más crítico de todo el proyecto, así como también no representa un gasto mayor, por lo que no justifica un cambio de eje o de material.

### 9.7 Soldadura del eje de sujeción para el tubo de vacío

$W$  es la fuerza proveniente del peso del plato de formación de burbuja que tiene una masa de 0.91 [kg] y del tubo de vacío el cual tiene una masa de 5 [kg]. Por lo que se procede a calcular el peso:

$$W = (0.91 + 5)(9.81) = 58 \text{ N}$$

Para este diseño se consideró solo un cordón de soldadura circular alrededor del eje. Como se muestra a continuación, se elige la sexta opción de las propiedades de las soldaduras de la Tabla 9-2 del libro de Shigley

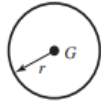
Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
6. 	$A = 1.414\pi hr$		$J_u = 2\pi r^3$

Figura 28. Propiedad flexionante de soldadura de filete para el diseño de la viga con respecto al perfil en L tomada del libro de Shigley de Mechanical Engineering Design

En donde  $h$  es la garganta del cordón de soldadura el cual se asume que tiene 3 [mm] mientras que el radio de la circunferencia del cordón de soldadura es de 5 [mm]. Adicionalmente, se asume una garganta de soldadura  $h$  de 3 [mm]. De acuerdo con las medidas mencionadas se procede a calcular el área de la garganta  $A$  tomando en cuenta la ecuación de la figura anterior.

$$A = 1.414\pi hr = (1.414)(\pi)(3)(5) = 67 \text{ mm}^2$$

Reemplazo el área de la garganta calculado para calcular el esfuerzo primario

$$\tau' = \frac{V}{A} = \frac{58}{67} = 0.865 \text{ MPa}$$

Por otro lado, el centro geométrico  $G$  se ubica en el radio de modo que  $G = 2.5 \text{ [cm]}$

El segundo momento unitario del área viene dado por la ecuación de la figura anterior.

$$J_u = 2\pi r^3$$

$$J_u = (2)(\pi)(5)^3 = 785 \text{ mm}^3$$

El segundo momento del área  $J$ , con base en el área de la garganta de la soldadura, es

$$I = 0.707 hJ_u$$

$$I = (0.707)(3)(785) = 1665 \text{ mm}^4$$

El momento  $M$  genera esfuerzo un esfuerzo cortante secundario  $\tau''$  de modo que, el momento viene dado mediante la fuerza  $W$  y las reacciones dadas por los soportes del tubo cuadrado, de modo que, se calcula a continuación:

$$M = W * d = (137)(100) = 13700 \text{ Nmm}$$

Además, es fundamental conocer la distancia desde el centro geométrico  $r$  hasta las fibras externas del eje, que es de 5 [mm], para calcular el esfuerzo cortante secundario.

$$\tau'' = \frac{Mr}{I} = \frac{(13700)(5)}{1665} = 41 \text{ MPa}$$

La magnitud del cortante  $\tau$  se la calcula en base a Pitágoras

$$\tau = \sqrt{\tau''^2 + \tau'^2} = \sqrt{41^2 + 0.87^2} = 41 \text{ Mpa}$$

Basándonos en una resistencia mínima y aplicando el criterio de energía de distorsión, considerando que hemos seleccionado acero 1030 con una resistencia a la fluencia ( $S_y$ ) de 370 [MPa] para el diseño de la viga, se determina el factor de seguridad.

$$n = \frac{S_y}{\tau} = \frac{0.577(370)}{41} = 5$$

El resultado del análisis revela un factor de seguridad de 5 para una soldadura circular alrededor de un eje, indicando que su capacidad de carga es cinco veces mayor que las cargas aplicadas. Este elevado margen de seguridad es crucial en aplicaciones críticas, como estructuras sometidas a cargas dinámicas o componentes de seguridad, asegurando una robusta resistencia estructural. A pesar de este alto factor de seguridad, se destaca la importancia de mantener altos estándares de calidad en la soldadura, realizar inspecciones adecuadas y cumplir con las especificaciones de diseño para garantizar una durabilidad y confiabilidad a largo plazo.

## 9.8 Pruebas Realizadas del Prototipo

Se llevaron a cabo diversas pruebas del sistema, de las cuales se obtuvieron datos variados sobre el tiempo de termoformado y el tiempo de vacío. Esto permite realizar una comparación entre los datos analíticos del vacío y los datos experimentales recabados durante las pruebas.

A continuación, se presenta los datos de tiempo de vacío experimentales y teóricos para tres diferentes volúmenes de cámara de vacío una pequeña, una mediana y una grande.

Tabla 18. Tiempos de vacío obtenidos experimentalmente

Cámara de Vacío [m <sup>3</sup> ]	Presión deseada [inHg]	Tiempo de Vacío [s]	Tiempo real [s]
0,0096211	15	2,77	3
0,0062725		1,81	2
0,0038357		1,11	1

Se puede observar una ligera variación en los tiempos, debido a que en la práctica no se mantiene una presión constante debido a que se abre una válvula mientras se realiza el proceso, y también suelen haber pérdidas de presión en las mangueras y conexiones.

Además, en la siguiente tabla se exponen los tiempos del material en el horno, los cuales fueron obtenidos tanto de manera experimental como analítica.

Tabla 19. Tiempos de diferentes materiales en el horno

Tiempos en el Horno					
Material	Espesor [mm]	Hueco de Armazón [mm]	Temperatura en el Horno [°C]	Resultados teóricos [min]	Resultados experimentales [min]
PETG	13	25	180	32,16	30,24
	13	35	180	39,98	36,54
Polipropileno	13	25	180	36,25	34,68
	6	15	150	31,98	26,54

Al realizar la comparación de ambos resultados, se puede observar ciertas variaciones en el tiempo debido a que, la temperatura en el horno no es constante siempre, y suele haber pérdidas de calor al momento de abrir y cerrar la puerta del horno para observar si el material ya está listo.



UNIVERSIDAD SAN  
FRANCISCO DE QUITO

# MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Estación de Termoformado al Vacío

2023-2024

ELABORADO POR  
André Vallejo  
Juan Fernando Garrido  
Santiago Morales



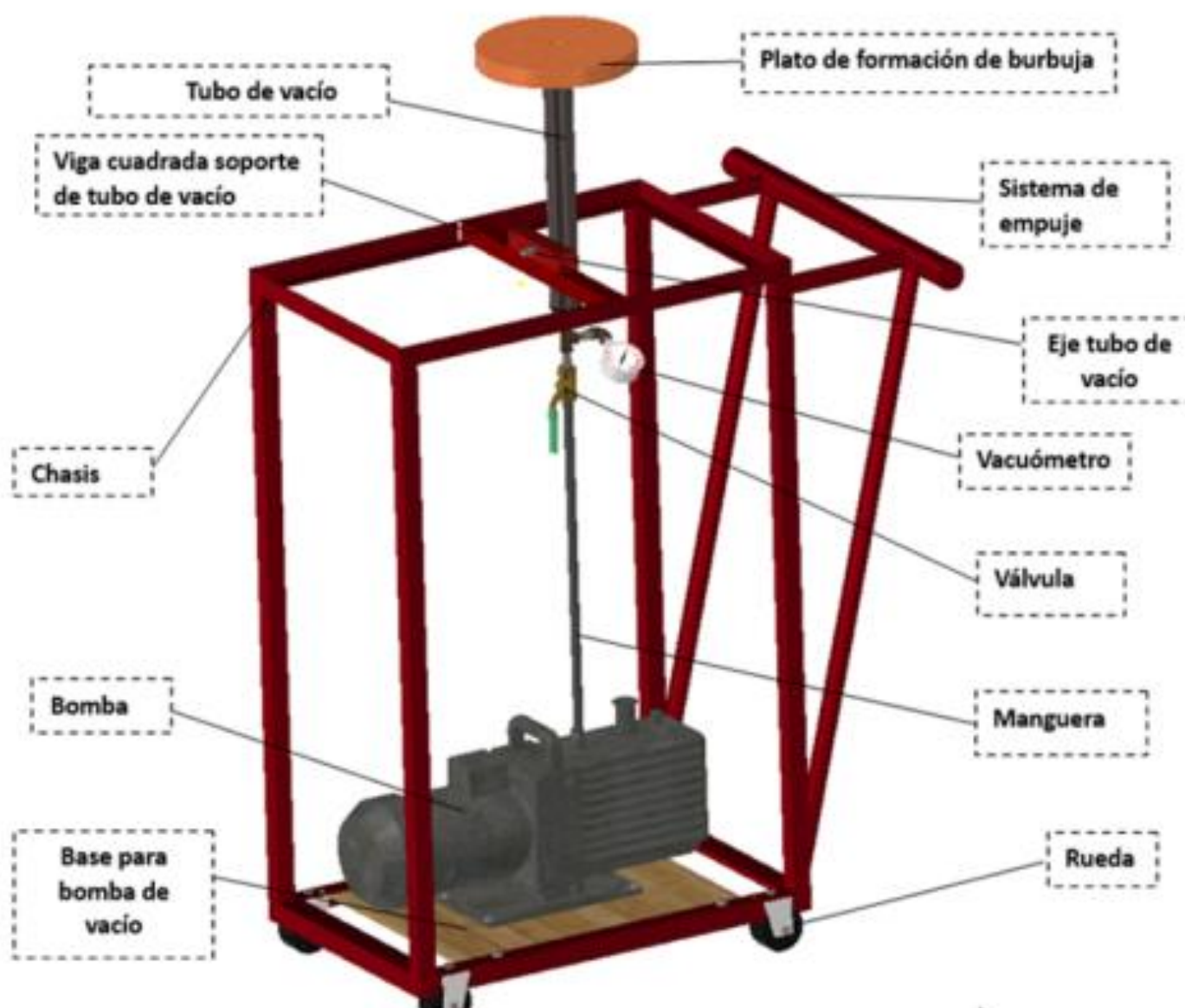
# ÍNDICE GENERAL

Diagrama de Partes.....	3
Manejo de Horno Thermo Scientific.....	4
Manejo de Bomba QVP-800 .....	5
Manejo de Estación de Vacío .....	6
Instrucciones (como hacer un socket).....	7
Normas de Seguridad.....	15
Manual de Mantenimiento.....	18



# DIAGRAMA DE PARTES

# ESTACIÓN DE VACÍO



## Manejo de Horno Thermo Scientific



Debido a que el horno Thermo Scientific se encuentra en las instalaciones de Ingeniería Civil de la USFQ, se necesita realizar un proceso de reserva previo al uso de este, para esto contactar a Francisco Játiva para plantear un horario disponible, así como también coordinar la temperatura a la que se pueda llevar el horno, esto depende de si el horno está siendo utilizado en otros proyectos. Tomando esto en cuenta, los pasos para el manejo del horno son los siguientes:

1. Retirar las rejillas de soporte que se encuentran dentro del horno.
2. Colar la mesa de soporte de armazón dentro del horno.
3. Colocar la temperatura del horno deseada, esta puede ir en un rango de 100-200 °C.
4. Cerrar las puertas del horno para evitar pérdidas de energía y que la temperatura se estabilice.



## Manejo de Bomba QVP-800

La bomba de vacío QVP-800 tiene un manejo simple, sin embargo, para asegurar su correcto funcionamiento se debe tomar los siguientes pasos para un manejo adecuado:

1. Asegurar la posición de la bomba sobre la base de madera de la estación, ajustando con una llave número 10 los pernos en la junta.
2. Verificar el nivel de aceite de la bomba, este debe estar encima de la línea marcada.
3. Verificar que nada extruya el filtro de aire, por donde salen los gases.
4. Conectar la manguera de la bomba con el neplo acoplado a la base inferior del tubo de vacío.
5. Cerrar la válvula de paso antes de encender la bomba de vacío.
6. Conectar la bomba a una fuente de energía de 110V.
7. Encender la bomba con el interruptor.
8. Abrir la válvula de paso para generar succión de aire.

## Manejo de Estación de Vacío



La estación de vacío es una estación móvil, donde se realizará el proceso de desarrollo de sockets, para su correcto manejo se deben seguir los pasos a continuación:

1. Colocar los frenos de las llantas, para evitar inestabilidad y que la estación se mueva al momento de hacer sockets.
2. Colocar un plato de formación de burbuja sobre el tubo de vacío.
3. Aflojar el perno en el sistema de sujeción del tubo de vacío.
4. Colocar el tubo de vacío en la posición deseada, (Horizontal ò Vertical)
5. Ajustar el perno en el sistema de sujeción del tubo de vacío, asegurar un buen ajuste para evitar inestabilidad.

# Instrucciones para Fabricar un Socket Protésico



1

Obtener el molde del muñón deseado.

Corregir fallas en el molde con un poco de yeso mezclado con agua, y luego que este seque pulir con una malla para tener una superficie lisa y sin grietas.

2

3

Colocar una media Nilon sobre el molde.



4

En base al tamaño del molde, escoger un plato de formación de burbuja con un tamaño acorde (Grande, Mediano, Pequeño).

Colocar el plato de formación de burbuja seleccionado sobre el tubo de vacío, asegurándose que el sello no se mueva para evitar fugas de presión.

5

6

Colocar una esponja sobre el plato de formación de burbuja, la cual ayudará al flujo de vacío.



7

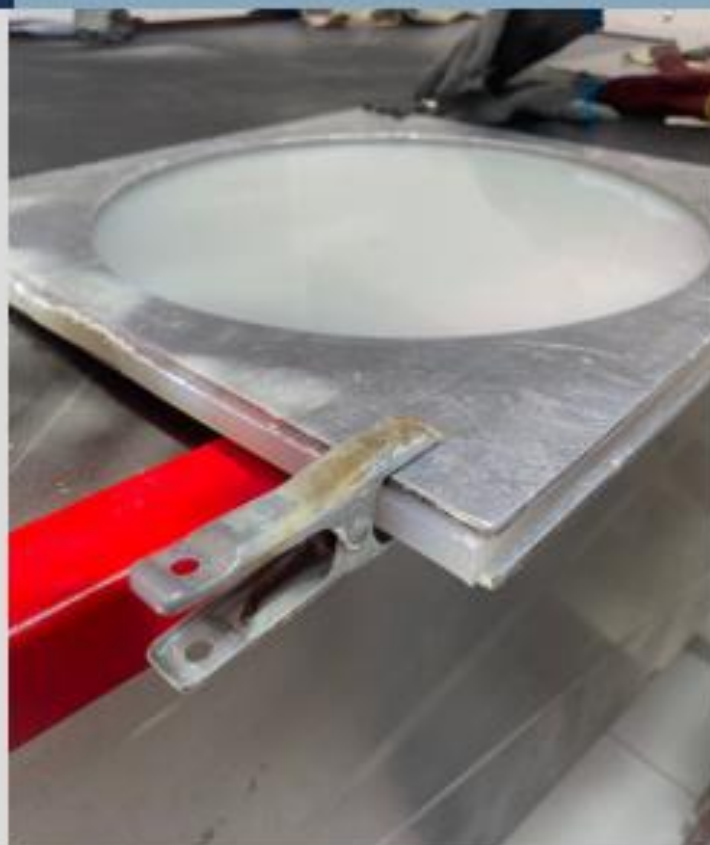
Colocar el molde sobre la esponja y el plato, y asegurar su posición ajustando el tubo del molde dentro del tubo de vacío.

Poner la temperatura deseada en el horno, esta temperatura va a determinar el tiempo en que el material llega a su estado viscoelástico, (100-200 °C)

8

9

Poner la plancha del material deseado entre los armazones, el tamaño de los armazones depende de igual manera del tamaño del molde (Grande, Mediano, Pequeño).





10

Asegurar la posición de la plancha de material sobre los armazones con unas pinzas.

Colocar el material con los armazones sobre la mesa de soporte en el horno

11

12

Al momento en que la burbuja llegue a su estado viscoelástico generando una burbuja, prender la bomba de vacío en la estación, sin embargo, mantener la válvula de paso cerrada.



13

Retirar el material del horno con guantes.

Trasladar el material rápidamente hasta la estación y sobre el molde colocar el material y bajarlo hasta que se cubra todo el molde y el material toque el borde del plato de formación de burbuja.

14

15

Abrir la válvula de paso para empezar la succión de aire y que el material se adhiera al molde.



16

Mantener la bomba de vacío prendida hasta que el material se enfríe y llegué a una temperatura ambiente para evitar deformaciones en el socket.

Cuando el material este frio y se pueda manipular, apagar la bomba de vacío.

17

18

Con un marcador trazar una guía de corte deseada para el socket



19

Con una maquina osciladora cortar el exceso de material no deseado.

Desmontar el molde de la estación para proceder a desprender el socket del molde.

20

21

Pulir los extremos del socket hasta llegar a un acabado deseado.



# NORMAS DE SEGURIDAD



1

2

3

- Utilice siempre el equipo de protección personal recomendado, que puede incluir gafas de seguridad, guantes resistentes al calor, y ropa de trabajo adecuada.
- Asegúrese de que el área de trabajo esté bien iluminada para una visibilidad óptima durante la carga de materiales y el monitoreo del proceso.
- Realice el termoformado en un área con buena ventilación para disipar cualquier humo o gases generados durante el proceso.

4

5

6

- Proporcione una formación completa al operador sobre el uso seguro de la máquina, los procedimientos de emergencia y el manejo adecuado de materiales termoplásticos.
- Asegúrese de que todas las conexiones eléctricas estén protegidas y que el equipo cumpla con las normativas de seguridad eléctrica aplicables.
- Capacite al operador sobre los procedimientos de parada de emergencia y asegúrese de que sepa cómo apagar rápidamente la máquina en caso de situaciones no planificadas.

7

8

9

- Manipule los moldes y las láminas con cuidado para evitar lesiones. Utilice guantes y herramientas adecuadas para la manipulación segura.
- Antes de cargar un molde en la máquina, inspéctelo para asegurarse de que esté en buenas condiciones y libre de defectos que puedan afectar la calidad del termoformado.
- Restrinja el acceso a la máquina a personal autorizado y capacitado. Evite la presencia de personas no autorizadas en el área de trabajo durante el proceso.

10

11

- Guarde los materiales termoplásticos de manera segura, evitando la exposición a fuentes de calor, humedad o condiciones ambientales adversas que puedan afectar sus propiedades.
- Mantenga extintores de incendios adecuados y con inspecciones regulares cerca del área de trabajo para responder rápidamente a cualquier emergencia.

# MANUAL DE MANTENIMIENTO





# PASOS A SEGUIR

Se recomienda realizar un proceso de limpieza básico después de finalizar cada proceso de desarrollo de sockets, para evitar corrosión y mantener un espacio de trabajo limpio. Así como también realizar un proceso de mantenimiento visual cada 4 meses. Donde los parámetros principales son:

1. Verificar el nivel de aceite de la bomba, este debe estar encima de la línea marcada.
2. Verificar el estado del cable de fuente de energía de la bomba para evitar cortocircuitos
3. Verificar el estado de las mangueras de la bomba y del tubo de vacío.
4. Verificar el estado de los neoplos y acoples de mangueras entre la bomba y el tubo vacío
5. Verificar el estado de los pernos y tuercas, observando si existe corrosión en el paso de las mismas, siendo este el caso reemplazarlos para evitar contaminar el aire y comprometer la bomba de vacío

## 10. Conclusiones

Se llevó a cabo un proyecto para diseñar y construir un sistema de termoformado al vacío para el desarrollo de sockets protésicos. El objetivo era poder trabajar con distintos tipos de materiales y con distintos tamaños y tipos de moldes todo por medio de un mismo sistema implementado en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito. Se llevaron a cabo distintos análisis de toma de decisiones con sus respectivos cálculos, para verificar, optimizar y elegir de la mejor manera los elementos que componen al sistema de termoformado al vacío.

De los resultados modelizados y experimentales se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- El tiempo necesario en el horno para las planchas de termoplástico es proporcional a su espesor, densidad y tamaño, siendo la temperatura un factor crítico adicional. Sin embargo, bajo una temperatura constante, el tiempo para que el material alcance su estado viscoelástico y forme la burbuja necesaria depende de las características individuales de cada tipo de material.
- A pesar de que la bomba de vacío exhibe una eficiencia relativamente baja en relación con su potencia y caudal, la potencia de  $\frac{1}{4}$  de caballo de fuerza proporcionada por la bomba QVP-800 es suficiente para trabajar con la mayoría de termoplásticos destinados para el desarrollo sockets protésicos.
- Se realizó una optimización del sistema de tuberías para el flujo de vacío, priorizando los acoplamientos, juntas y diámetros de las tuberías. Esto fue necesario para lograr transmitir la presión deseada de 15-20 inHg, al mismo tiempo que se buscaba minimizar las pérdidas de presión que podrían comprometer el funcionamiento general del sistema.
- Los sockets obtenidos a través del sistema diseñado exhibieron una alta calidad y acabados satisfactorios, lo que respalda la viabilidad de implementar el proyecto en las instalaciones de la Universidad San Francisco de Quito.

## 11.Recomendaciones y trabajos futuros

El diseño y construcción de un sistema de termoformado al vacío para la fabricación de sockets presenta diversas oportunidades para recomendaciones y trabajo futuro. Estas pueden incluir la exploración de métodos de fabricación más eficientes y precisos, la implementación de tecnologías innovadoras para el control de la temperatura y el vacío, y el estudio de materiales avanzados que mejoren la durabilidad y comodidad de los sockets. El trabajo futuro también podría abordar la estandarización de los procedimientos de fabricación y la evaluación continua de la calidad del producto final, a fin de garantizar un rendimiento óptimo y la satisfacción del usuario, lo cual se considera lo siguiente:

- Se recomienda fomentar el trabajo en conjunto con el colegio de medicina COCSA, enfocando su apoyo principalmente en el análisis y diseño de moldes. Los estudiantes de la facultad de Ingeniería Mecánica no cuentan con el conocimiento o entrenamiento necesario para poder trabajar con pacientes de manera adecuada. Es por esto por lo que el colegio de medicina se encargaría de tratar con los pacientes y obtener los moldes correspondientes, los cuales posteriormente serían entregados a la facultad IME, para el desarrollo de cada uno de los sockets en la estación de trabajo diseñada en este proyecto integrador.
- En base a la experiencia por medio del desarrollo de distintos sockets en este proyecto, se recomienda contactar un proveedor al por mayor de termoplásticos. Se pudo observar que al comprar las láminas necesarias por unidad genera un mayor gasto a largo plazo, por otro lado, comprando al por mayor laminas 1,40X 2,70 del material, permitiendo así su almacenamiento y corte de medidas específico con forme sea necesario, el uso de esta lamina va a variar en base a la demanda de sockets necesarios, sin embargo, se estima que una plancha de estas proporciones pueda tener una vida útil de 2 años.
- En Ecuador actualmente no se cuenta con un proceso de reciclaje de los termo plastos después de pasar por un proceso de termoformado, por lo tanto, son tratados como desechos, generando contaminación. En otros países se tratan estos residuos de material para fabricar nuevos sockets, sin embargo, el material después del primer tratamiento térmico ya pierde sus propiedades, por lo tanto, estos sockets reciclados no cumplen con la misma calidad, comprometiendo al paciente que los utilice. Es así como se plantea realizar un proceso de reciclaje de estos termo pasticos, donde se les pueda dar un nuevo

uso, pero está debe constar con alguna aplicación que no represente un daño o estafa hacia los pacientes.

- Finalizando este proyecto integrador, se puede evidenciar el gran impacto positivo que se puede generar con este tipo de estación, ayudando a una gran cantidad de personas con distintos tipos de discapacidades físicas. Por lo tanto, se recomienda trabajar con fundaciones tales como la Fundación Hermano Miguel, donde se puede ayudar a disminuir la carga en su demanda, y realizar una cierta cantidad de sockets, apoyando así a una mayor cantidad de pacientes en un menor tiempo.

- Para este proyecto inicialmente se planteó trabajar con el horno que se encuentra dentro de las instalaciones de Ingeniería Civil, este horno cumplía con las dimensiones necesarias y con el rango de temperatura necesario para realizar el proceso de termoformado. Sin embargo, a la hora de utilizarlo se encontraron pérdidas de energía, así como también ciertos elementos en mal estado, comprometiendo así el proyecto. Es por esto por lo que se recomienda comprar un horno para la facultad de IME, para futuros trabajos, esto también ayuda a evitar depender en equipos y herramientas de otras facultades, para así mantener dentro de la misma facultad IME la obtención de permisos, disponibilidad, mantenimiento, procesos, etc.

- Por último, se recomienda a la facultad de Ingeniería Mecánica, adquirir herramientas de corte y pulido especializadas para el manejo de termo plásticos. Para poder realizar un proceso de corte sin dañar el material, se necesita una maquina osciladora. Por otro lado, para pulir el socket y darle un buen acabado que cumpla con las necesidades y comodidades del paciente, se necesitan ciertos tipos de lijas y una herramienta de acabado superficial de plástico. Todo esto es necesario para obtener sockets de buena calidad que no lastimen al paciente y cumplan con los requerimientos de este.

## Referencias

- Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2013). Fundamentals of heat and mass transfer, seventh edition Wiley E-text reg card. John Wiley & Sons.
- Callister, W. D., Jr. (2014). Materials Science and Engineering (9a ed.). Wiley.
- Cedillo, W., & Llivichuzca, J. (2023). *Diseño De Una Cámara De Vacío Para La Conservación De Libros Elaborados A Partir Del Cuero* [Universidad Politécnica Salesiana].  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/24943/1/UPS-CT010555.pdf>
- CONADIS, Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades, (2023). Recuperado de: <https://www.consejodiscapacidades.gob.ec/estadisticas-dediscapacidad/>
- Díaz, S. Duque, G. (2012). Diseño, Fabricación y Pruebas Estáticas de Socket Ajustable para Amputación Transtibial. Ibero. Ciudad de Mexico. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/331609092\\_Disenio\\_fabricacion\\_y\\_pruebas\\_estaticas\\_de\\_socket\\_ajustable\\_para\\_amputacion\\_transtibial\\_Design\\_manufacture\\_and\\_static\\_tests\\_of\\_adjustable\\_prosthetic\\_socket\\_for\\_transtibial\\_amputation](https://www.researchgate.net/publication/331609092_Disenio_fabricacion_y_pruebas_estaticas_de_socket_ajustable_para_amputacion_transtibial_Design_manufacture_and_static_tests_of_adjustable_prosthetic_socket_for_transtibial_amputation)
- Fernández, J. M. (2013). Neumática básica. Recuperado el, 3. Orfit Industries. (s. f). Orfit Industries - leader in thermoplastic innovations.  
<https://www.orfit.com/physical-rehabilitation/products/>

Hernández, F. (2008). Diseño y construcción de prototipo neumático de prótesis de pierna humana. Universidad de las Américas Puebla. México. Recuperado de: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lep/hernandez\\_s\\_f/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/hernandez_s_f/)

Instituto de Investigaciones Atmosféricas (2023). Gráficos diarios de Meteorología y Calidad del Aire. Universidad San Francisco de Quito.

Ojeda, D. (2021). DISEÑO DE UN SOCKET AJUSTABLE. [Tesis de grado].  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

OPE. (2016). Introduces a new line of manufacturing machines made specifically for the Orthotic and Prosthetic profesión. Recuperado el 17 de septiembre de 2023

Pazmiño, M. T. (2018). PRINCIPALES CAUSAS DE AMPUTACIÓN DE MIEMBROS INFERIORES PRESENTE EN PACIENTES PROTÉSICOS, ATENDIDOS EN EL PERIODO ENERO 2012–MAYO 2018 EN EL CENTRO ESPECIALIZADO EN REHABILITACIÓN INTEGRAL (thesis). QUITO.

Quezada, ST (2017). "Rediseño de un encaje protésico transtibial de volumen ajustable". La Universidad de Texas en El Paso

Shigley. (2015). Mechanical Engineering Design (10 ed.). McGraw-Hill.

Vargas, J. (2018). Aportaciones Metodológicas para el Diseño y Fabricación de Dispositivos Protésicos: Aplicación en Protésis de Miembro Inferior. Universidad del Norte. Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10584/8187>

Vitali, Andrea & Regazzoni, Daniele & Rizzi, Caterina & Colombo, Giorgio. (2017).  
Design and Additive Manufacturing of Lower Limb Prosthetic Socket.  
V011T15A021. 10.1115/IMECE2017-71494.

## Apéndices

### Apéndice A. Código en EES para obtener el coeficiente de expansión térmica volumétrica del aire

**Equations Window**

```
T=450 [K]
P=1 [atm]

beta=VolExpCoef(Air_ha,T=T;P=P)
```

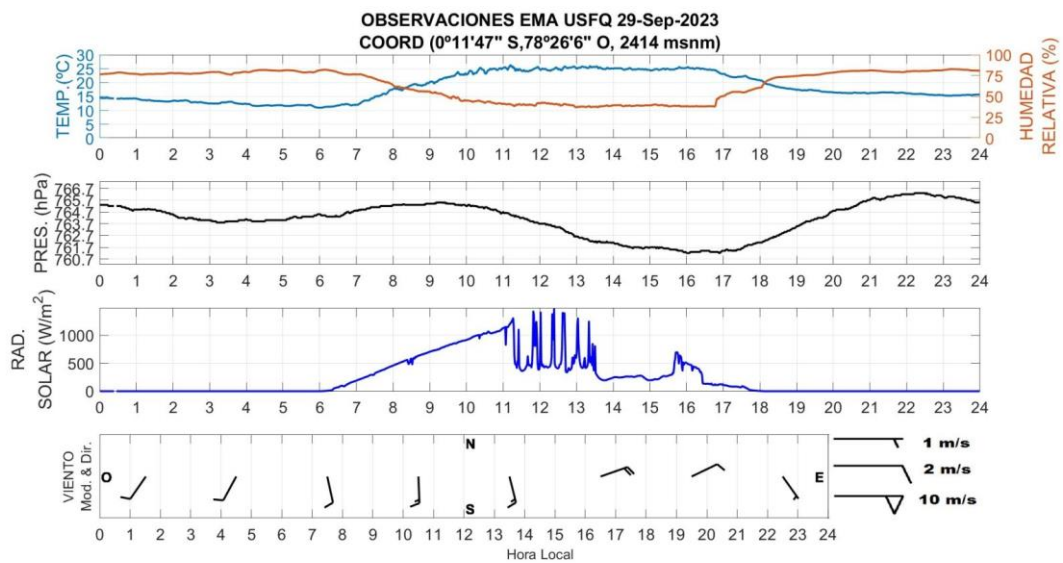
**Solution**

**Main**

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

$\beta = 0,001383$                       P = 1 [atm]                      T = 450 [K]

### Apéndice B. Observaciones EMA USFQ del 29 de septiembre de 2023 del Instituto de Investigaciones Atmosféricas (IIA)



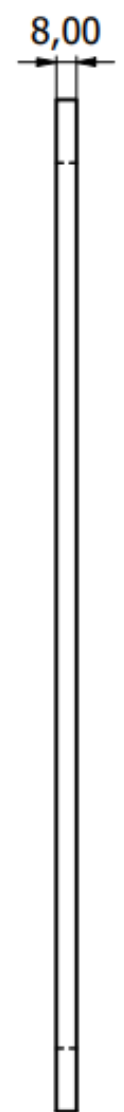
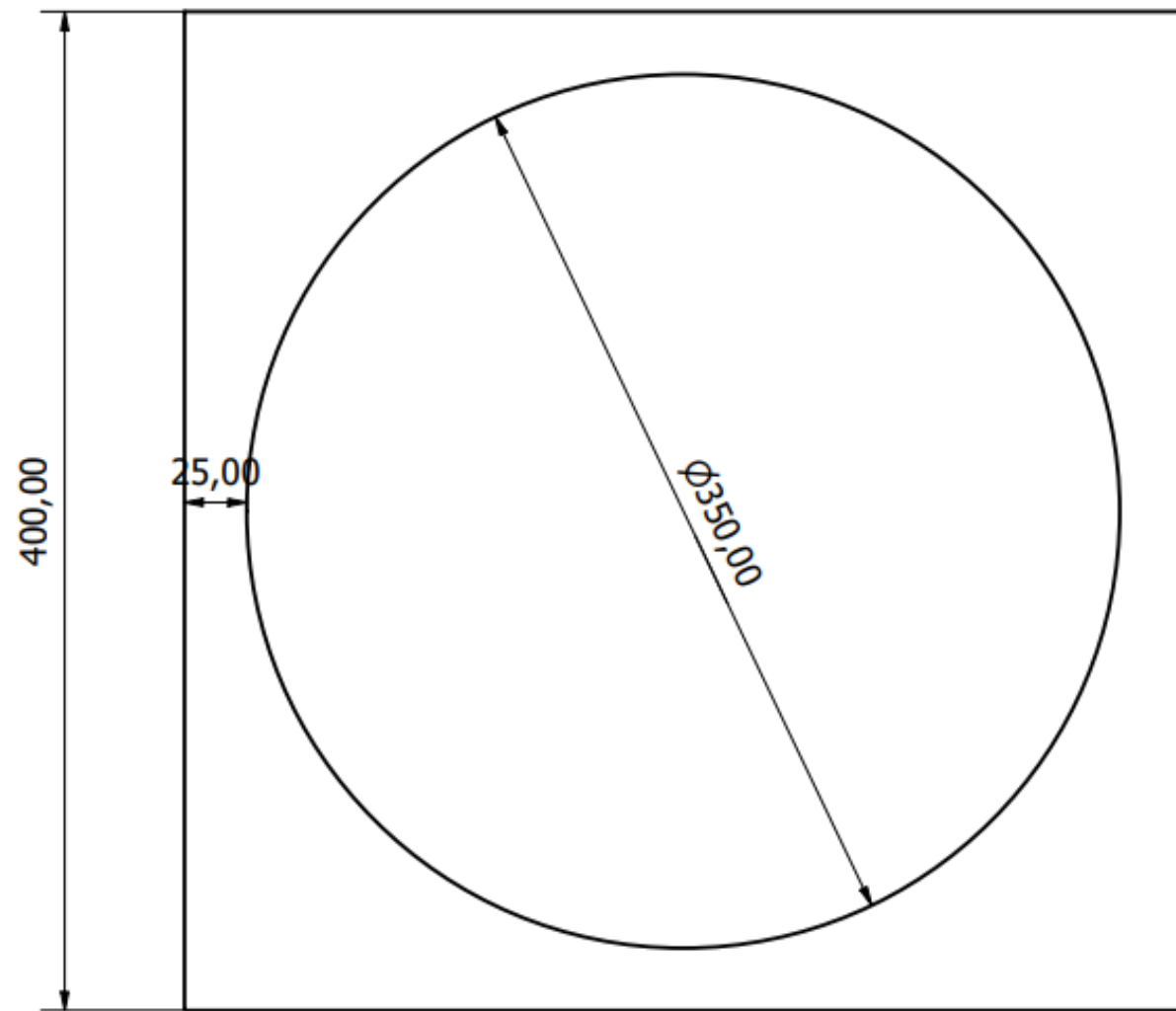





## Analisis de riesgos

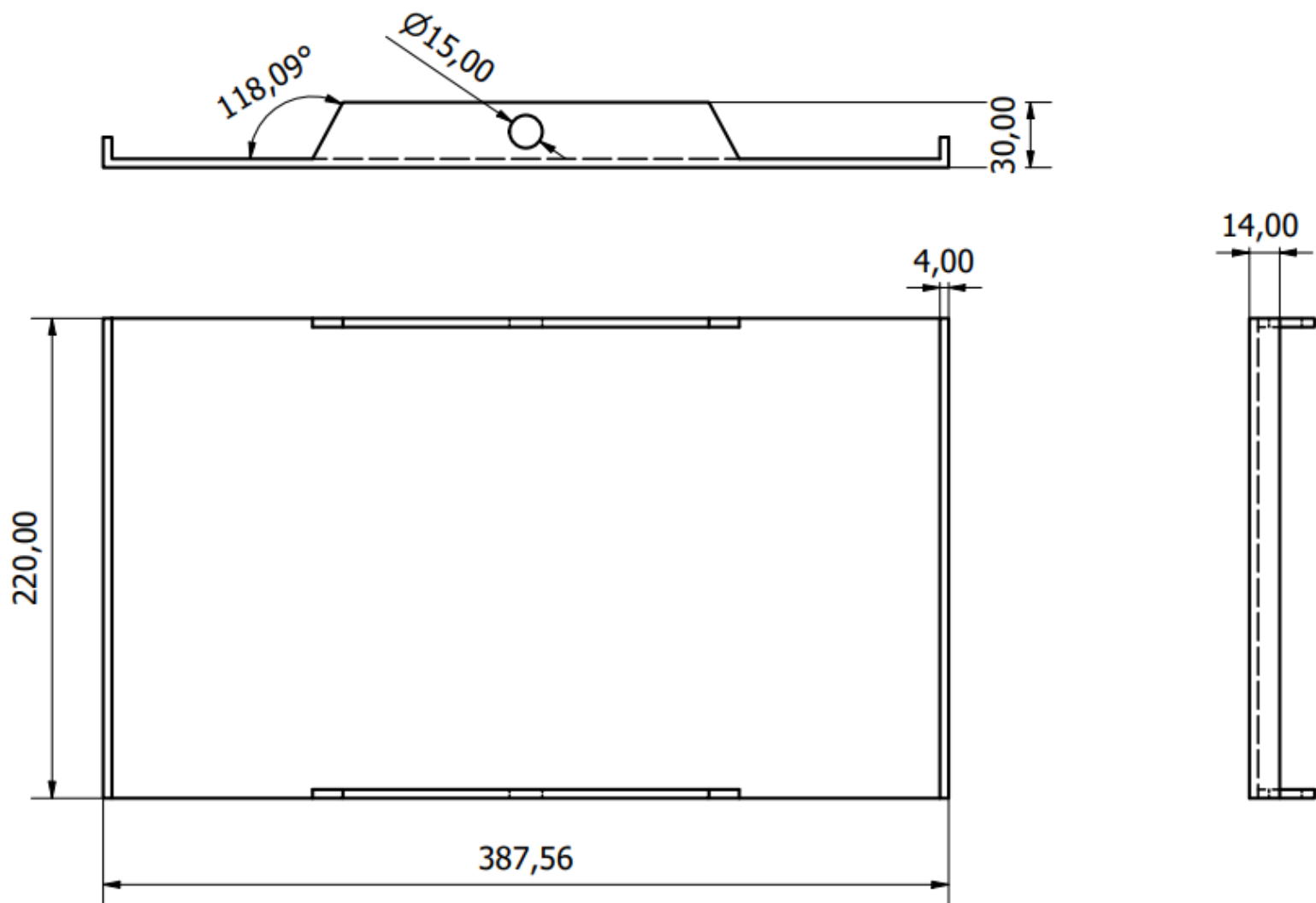
Código	Descripción	Prioridad =Impacto X Probabilidad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones
001	La utilización del horno en actividades no vinculadas al proyecto integrador, lo que impide su disponibilidad para el proceso de termoformado y resulta en retrasos en la producción.	5X4=20	André Vallejo	Hablar con los encargados necesarios con anticipación para poder reservar las horas de uso del horno	Vigente	Plantear un horario flexible para evitar inconvenientes.
002	Exceso de residuos de material plástico al finalizar el proceso, generando un impacto ambiental.	4X4=16	Santiago Morales	Recolectar y destinar los desechos para reutilizarlos de alguna manera	Vigente	En quito no existe un proceso de reciclaje con este tipo de material plástico.
003	La dificultad para obtener la cantidad requerida de láminas de material con las dimensiones y espesores adecuados puede ocasionar retrasos en el proceso de fabricación	5X3= 15	Juan Fernando Garrido	Contar con varios proveedores y hablar con los mismos con anticipación para reservar material en caso de ser necesario	Vigente	Controlar la calidad y dimensiones de los materiales comprados
008	La bomba no logra generar la fuerza de vacío necesaria para producir los sockets deseados en el sistema.	5X2=10	Santiago Morales	Realizar pruebas con la bomba, midiendo la fuerza de succión de esta para comprobar que si cumple con las necesidades del proyecto.	Vigente	Asegurarse que la bomba se encuentra en buen estado y está funcionando correctamente, para evitar problemas a futuro
007	El plato de formación de burbuja no cumple con su función de sellar la cámara de vacío, lo que pone en riesgo la producción de sockets.	3X3=9	André Vallejo	Asegurar que el diseño del plato logra generar el sellado de la cámara de vacío con el material	Vigente	Realizar pruebas de sellado con los platos antes de comenzar la producción


011	Se encuentran fugas en los conductos de aire del sistema, lo que conlleva a una pérdida de presión de la bomba, comprometiendo el proceso de vacío	4X2= 8	André Vallejo	Asegurarse que las mangueras estén bien acopladas a las válvulas, al tubo de vacío y a la bomba	Vigente	Verificar que las mangueras se encuentren en óptimas condiciones
004	Elementos a altas temperaturas que pueden ocasionar quemaduras a los operadores	4X2= 8	Juan Fernando Garrido	Requerir equipo de protección personal	Vigente	Indicar equipo de protección personal y el riesgo presentado en el manual de operaciones
009	Al momento de realizar el proceso de vacío el sistema de acople entre la estación de trabajo y el tubo de vacío no genera estabilidad, comprometiendo el proceso de producción.	3X2=6	Juan Fernando Garrido	Comprobar que la junta empernada se coloca adecuadamente y que esté lo suficientemente ajustada para evitar movimientos no deseados.	Vigente	Utilizar los pernos necesarios en la junta.
005	Las fuentes de energía eléctrica pueden generar cortocircuito dañando el horno y/o la bomba de vacío	5X1= 5	Santiago Morales	Realizar un análisis prioritario a la instalación del sistema para evaluar el estado de las fuentes de energía.	Vigente	Si es necesario cambiar tomacorrientes o añadir extensiones.
006	Incremento en los gastos de polipropileno porque se tienen que realizar varias pruebas hasta que se obtenga un socket que cumpla con los requerimientos y condiciones planteadas.	5X1= 5	André Vallejo	Evitar cometer errores y comprobar el funcionamiento de toda la maquinaria al momento de realizar las pruebas	Vigente	Usar el material más barato para realizar las pruebas
012	El sistema de bloqueo de las ruedas falla, generando inestabilidad a toda la estación de trabajo, comprometiendo la fabricación de sockets.	2X2=4	Juan Fernando Garrido	Al adquirir el sistema de bloqueo hay que verificar que este se encuentre en óptimas condiciones y funcione adecuadamente	Vigente	Buscar proveedores con productos confiables, que aseguren la calidad de sus productos
010	El tiempo de termoformado del material en el horno se prolonga más de lo necesario, lo que resulta en la superación de su punto de fusión y la consecuente necesidad de descartarlo en el proceso de fabricación de sockets.	2X2=4	Santiago Morales	El operario debe contar con un temporizador o cronometro para poder llevar un seguimiento del tiempo que el material se encuentra en el horno, y así evitar desperdiciar material.	Vigente	Estipular claramente dentro del manual de operación los tiempos que necesita estar cada material en el horno.



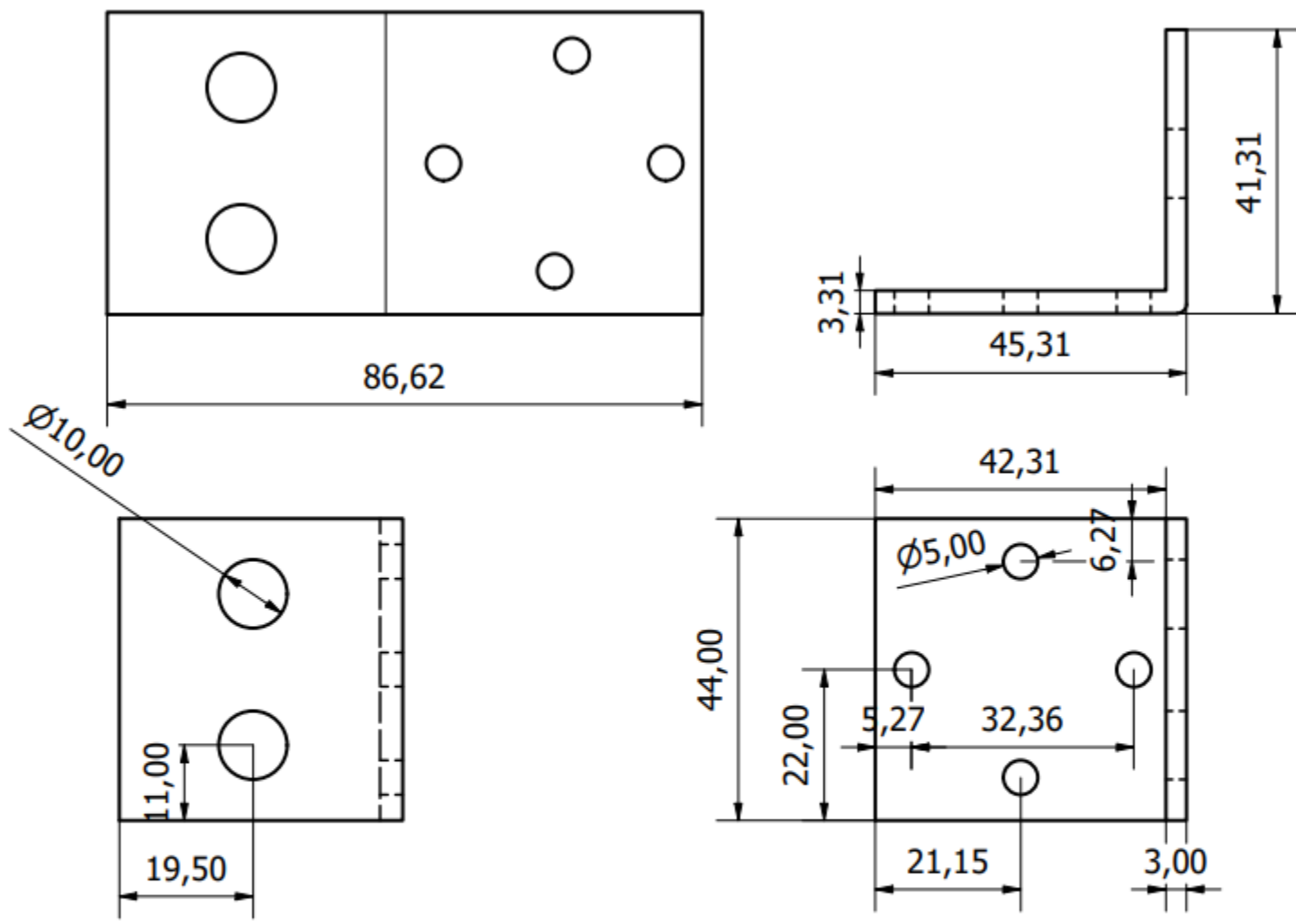
Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:3</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
	Unidades:	<b>mm</b>									
	Proceso:	Corte a láser	Dimensiones generales:	<b>400 x 400 mm</b>	Material:	<b>Aluminio</b>	Pano N°:	10	<b>A4</b>		


**Armazón**

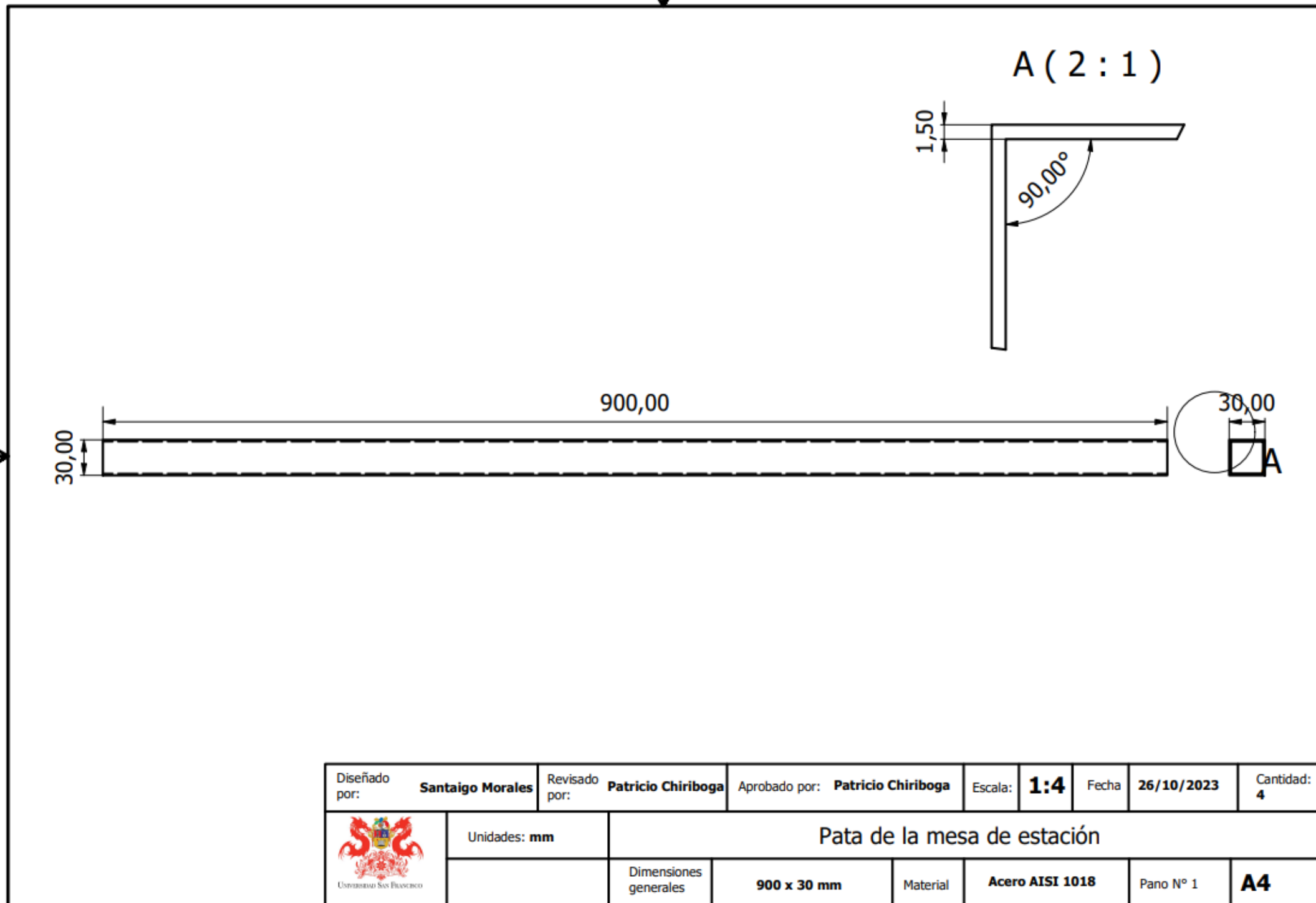



Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:3</b>	Fecha:	<b>30/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
	Unidades:	<b>mm</b>									
	Proceso:	Corte a láser	Dimensiones generales:	<b>400 x 25 mm</b>	Material:	<b>Acero comercial A36</b>	Pano N°:	13	<b>A4</b>		

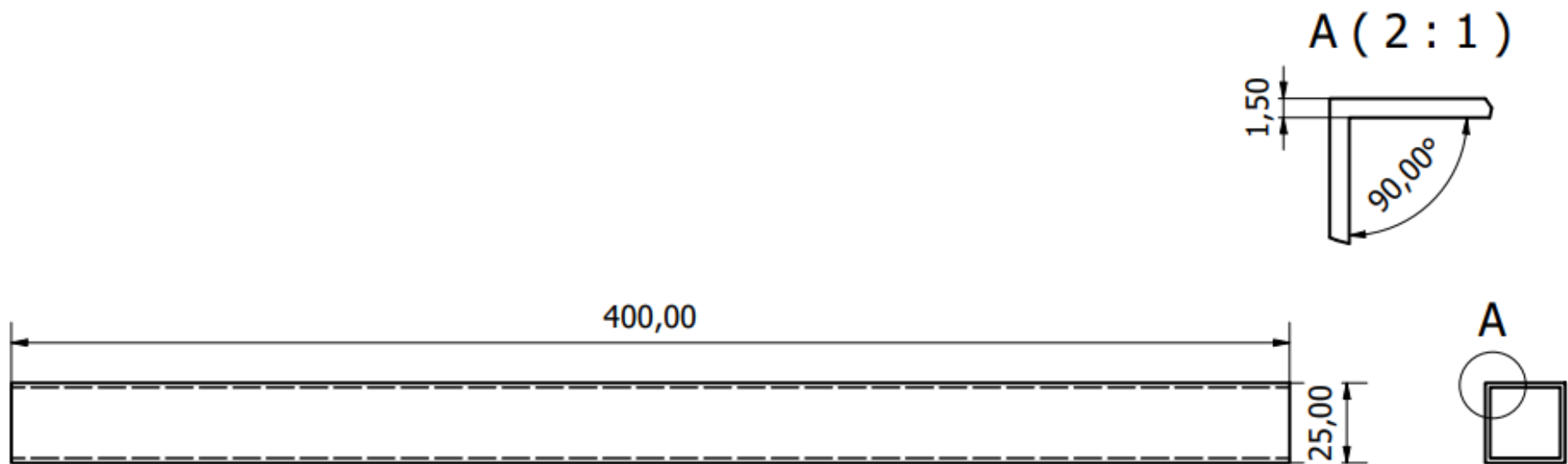
Base para la bomba




Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:1</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
	Unidades: mm	Junta en L para sujeción de tubo de vacío									
	Proceso: Doblado en frío	Dimensiones generales	<b>44 x 86.62 mm</b>	Material	<b>Acero comercial A36</b>	Pano N° 8	<b>A4</b>				

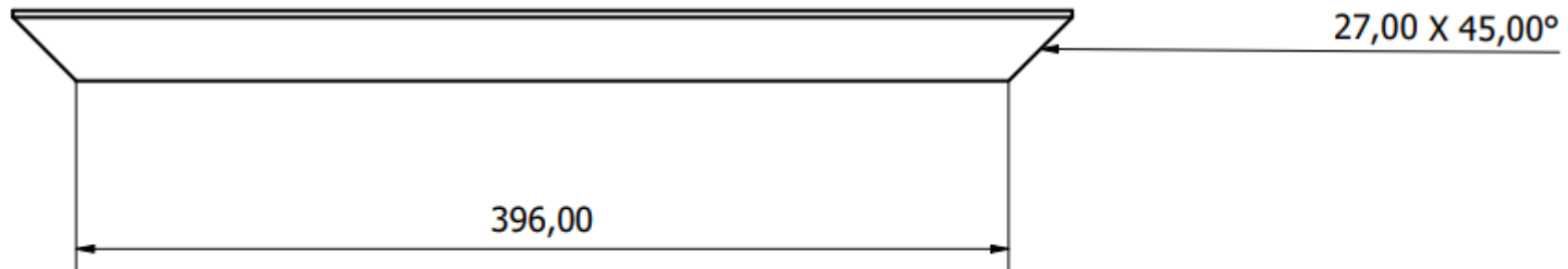
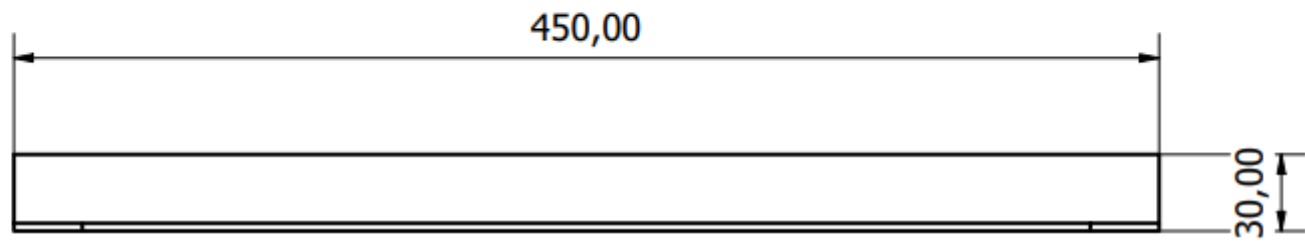



Diseñado por:	<b>Santaigo Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:4</b>	Fecha:	<b>26/10/2023</b>	Cantidad:	<b>4</b>
	Unidades: <b>mm</b>	<b>Pata de la mesa de estación</b>									
		Dimensiones generales	<b>900 x 30 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1018</b>	Pano N° 1	<b>A4</b>				

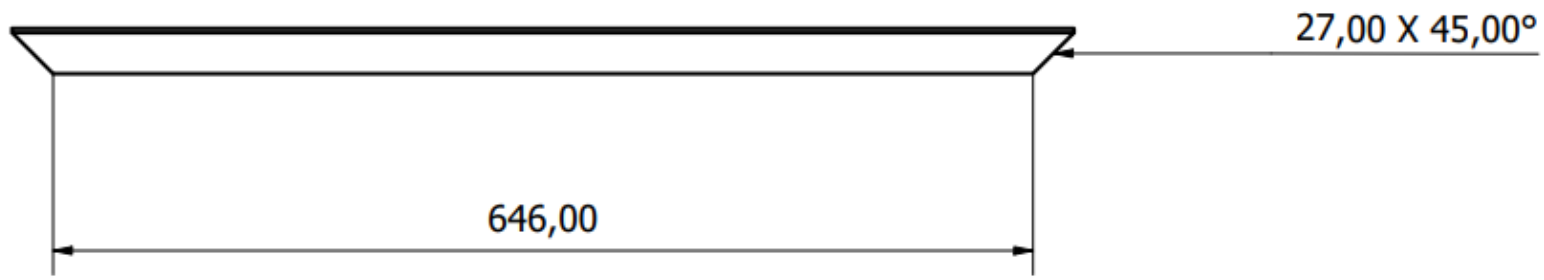
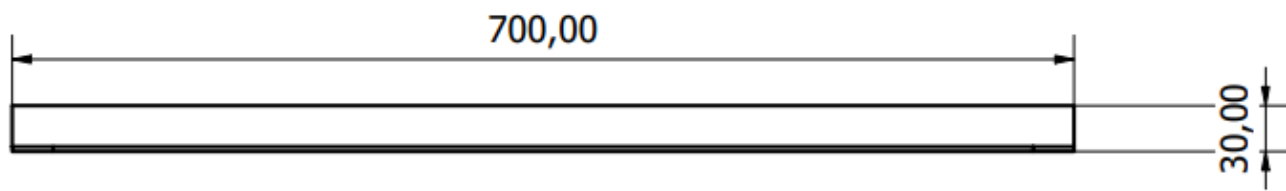



Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:1</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>4</b>
	Unidades: <b>mm</b>		Patas de mesa para armazón								
		Dimensiones generales	<b>400 x 25 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1006</b>	Pano N°	<b>10</b>	<b>A4</b>			

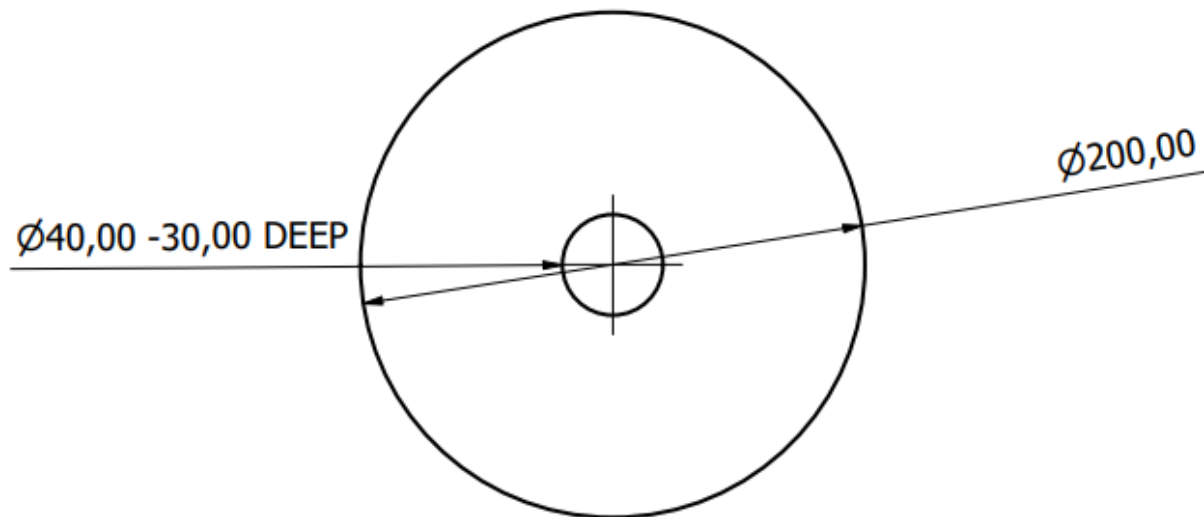




Diseñado por: <b>Santiago Morales</b>	Revisado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Escala: <b>1:3</b>	Fecha: <b>29/10/2023</b>	Cantidad: <b>4</b>	
	Unidades: <b>mm</b>	Perfil en L corto para la base de la mesa de estación				
		Dimensiones generales	<b>450 x 30 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1018</b>	Plano N° 9

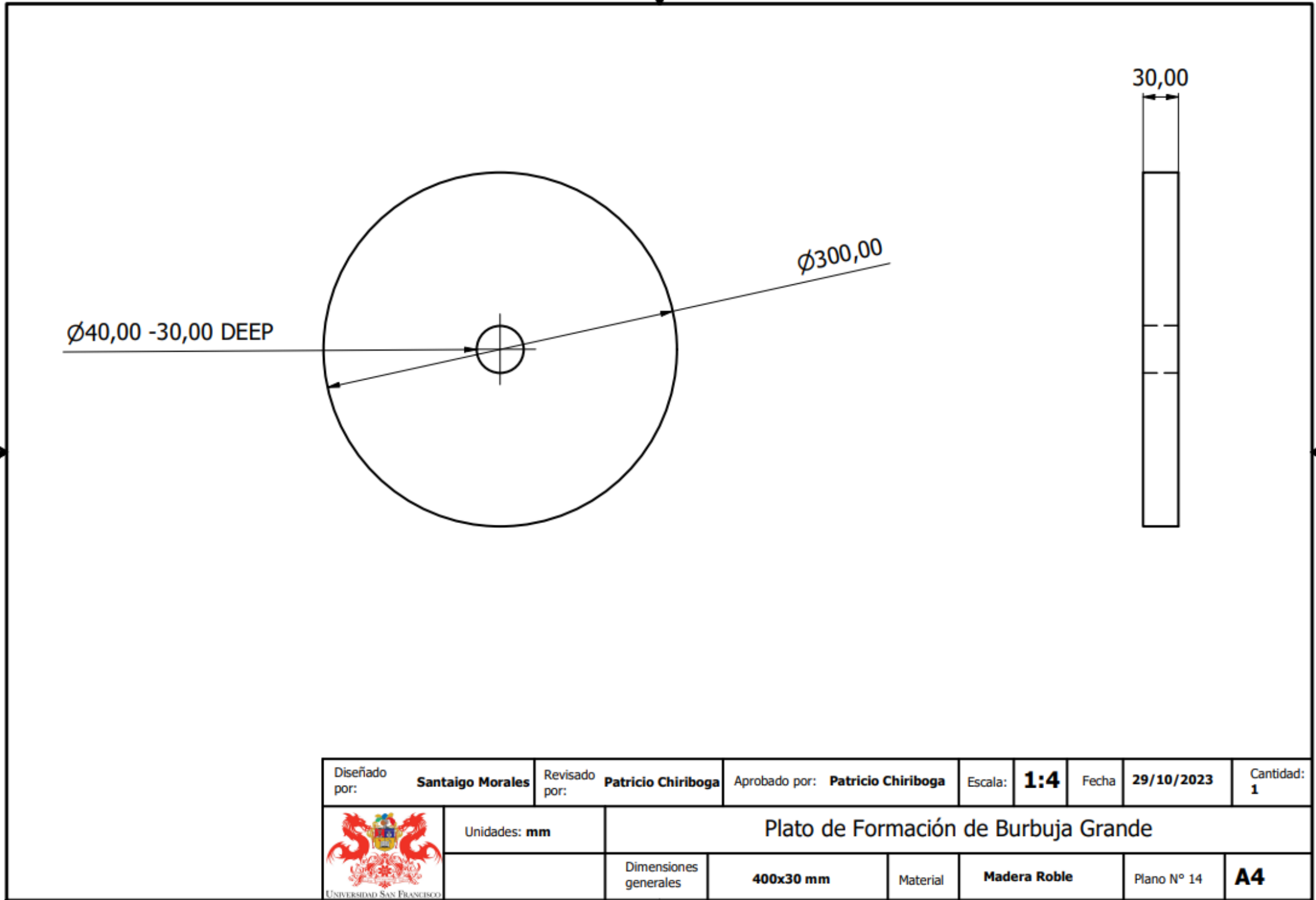


Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:5</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>4</b>
	Unidades: mm		Perfil en L largo para base de la mesa de estación								
		Dimensiones generales	<b>700 x 30 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1018</b>	Pano N° 8	<b>A4</b>				

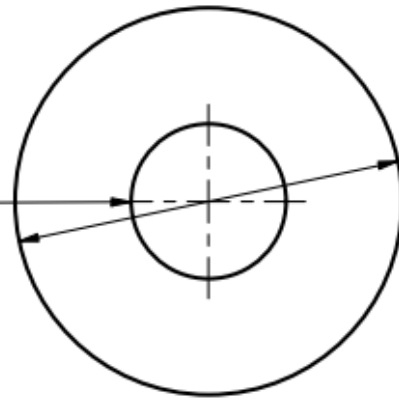


Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:3</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
	Unidades:	<b>mm</b>									
			Dimensiones generales	<b>400x30 mm</b>	Material	<b>Madera Roble</b>	Plano N° 15	<b>A4</b>			

Plato de Formación de Burbuja Mediano




Ø40,00 -30,00 DEEP

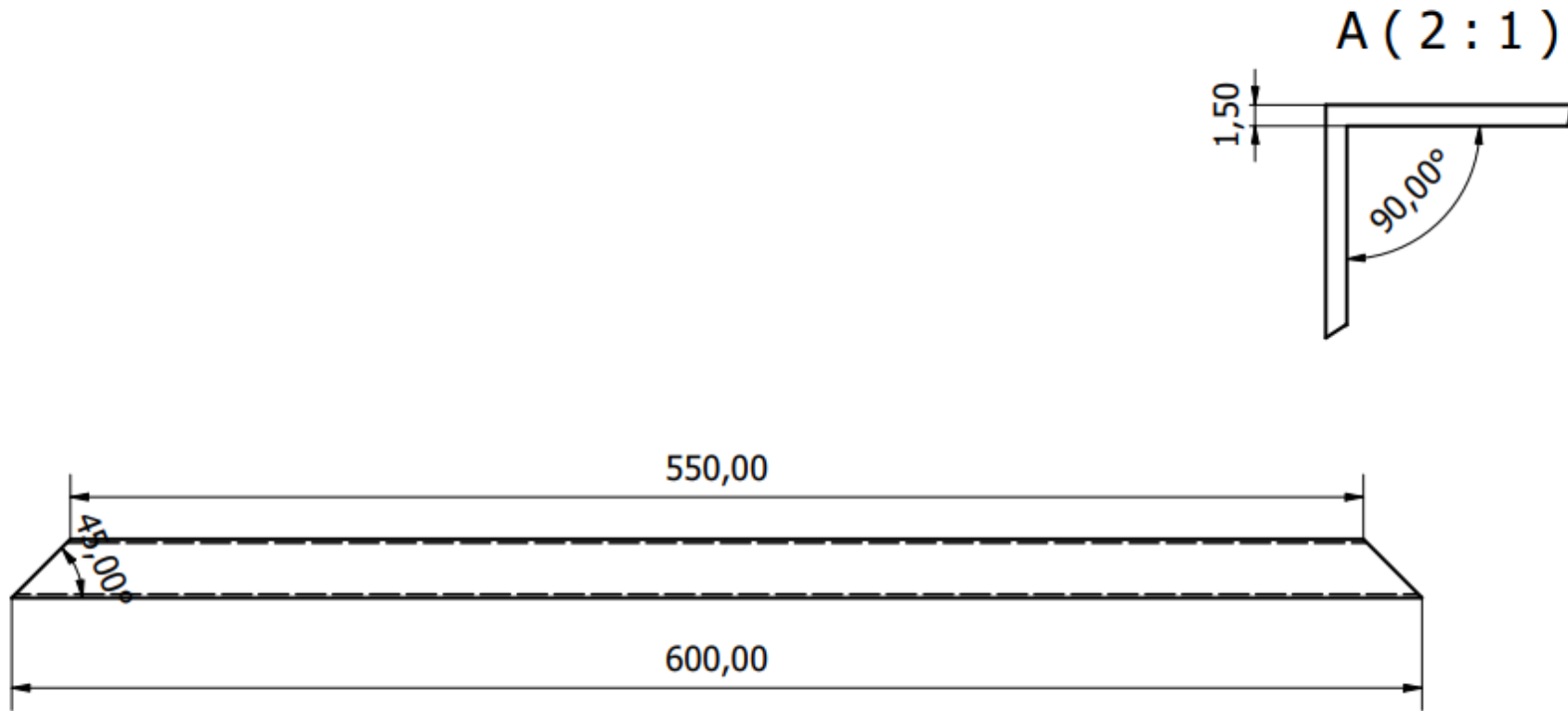



Ø100,00

30,00



Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:2</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
	Unidades: <b>mm</b>	Plato de Formación de Burbuja Pequeño									
		Dimensiones generales	<b>400x30 mm</b>	Material	<b>Madera Roble</b>	Plano N°	<b>16</b>	<b>A4</b>			

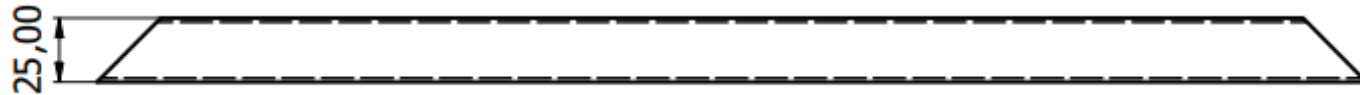
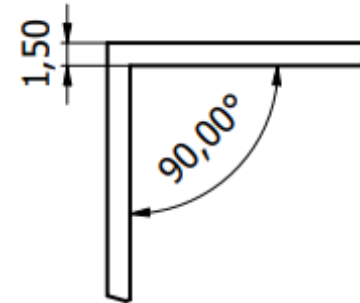



Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:3</b>	Fecha:	<b>30/10/2023</b>	Cantidad:	<b>2</b>
 UNIVERIDAD SAN FRANCISCO	Unidades:	<b>mm</b>									
	Dimensiones generales	<b>25 x 25 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1018</b>	Pano N°	<b>12</b>	<b>A4</b>				

tubo cuadrado largo para mesa para armazón

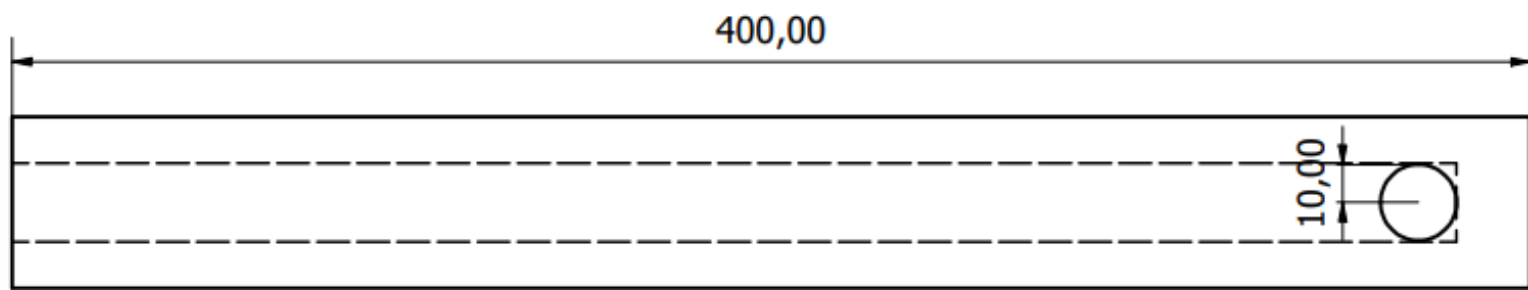



A ( 2 : 1 )



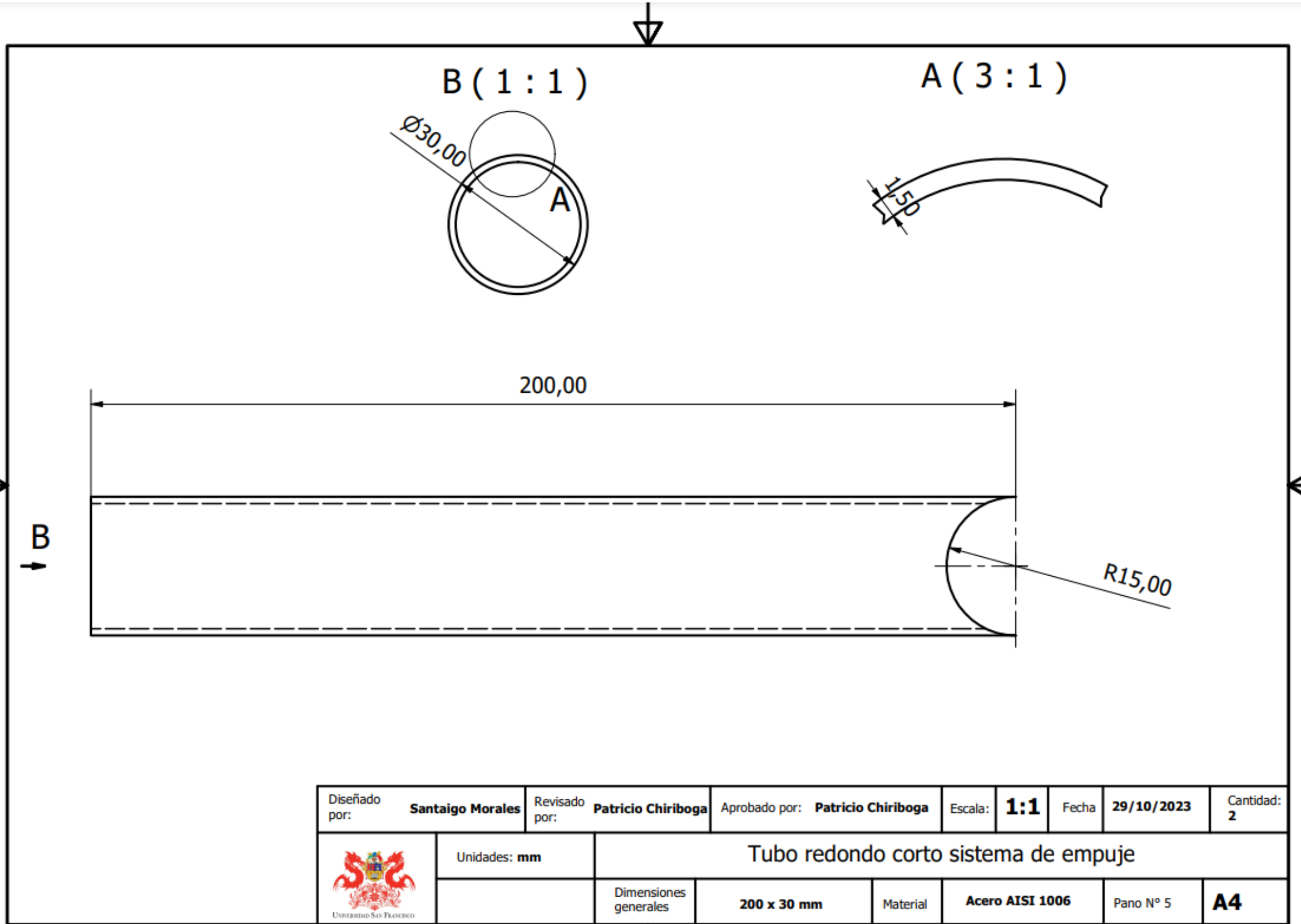
Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:1</b>	Fecha	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>2</b>
	Unidades: <b>mm</b>		tubo cuadrado corto para base de mesa de armazón								
		Dimensiones generales	<b>500 x 25 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1006</b>	Pano N° 10	<b>A4</b>				

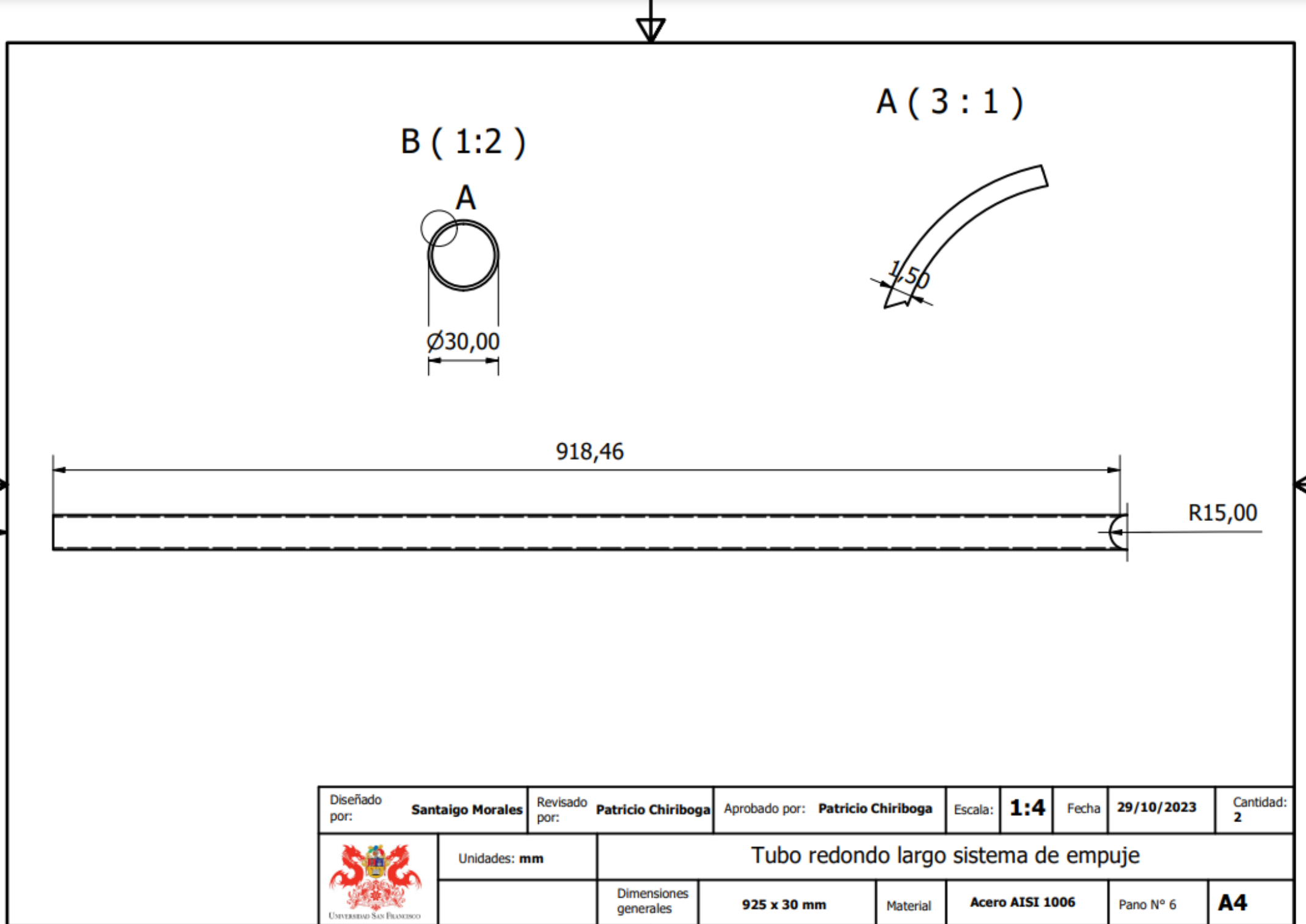





Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:3</b>	Fecha	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	Unidades: <b>mm</b>	<b>Tubo de vacío</b>									
		Dimensiones generales	<b>400x45 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1030</b>	Plano N° 17	<b>A4</b>				





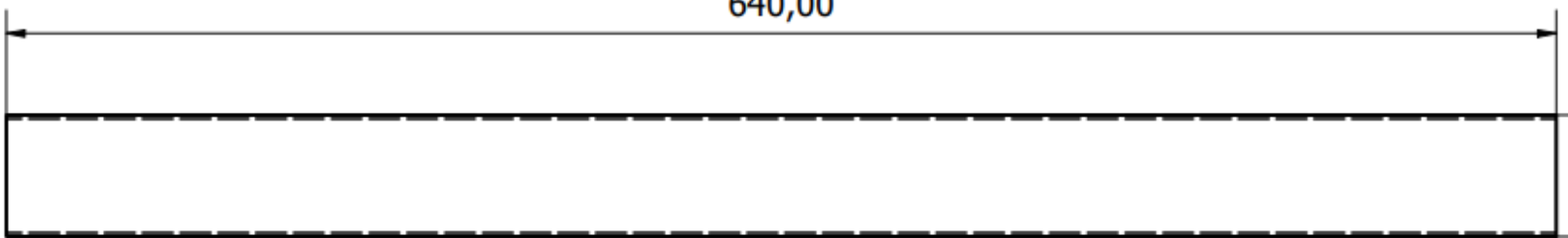


Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:4</b>	Fecha:	<b>29/10/2023</b>	Cantidad:	<b>2</b>
 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	Unidades: <b>mm</b>	<b>Tubo redondo largo sistema de empuje</b>									
		Dimensiones generales	<b>925 x 30 mm</b>	Material	<b>Acero AISI 1006</b>	Pano N° 6	<b>A4</b>				

A ( 2 : 1 )




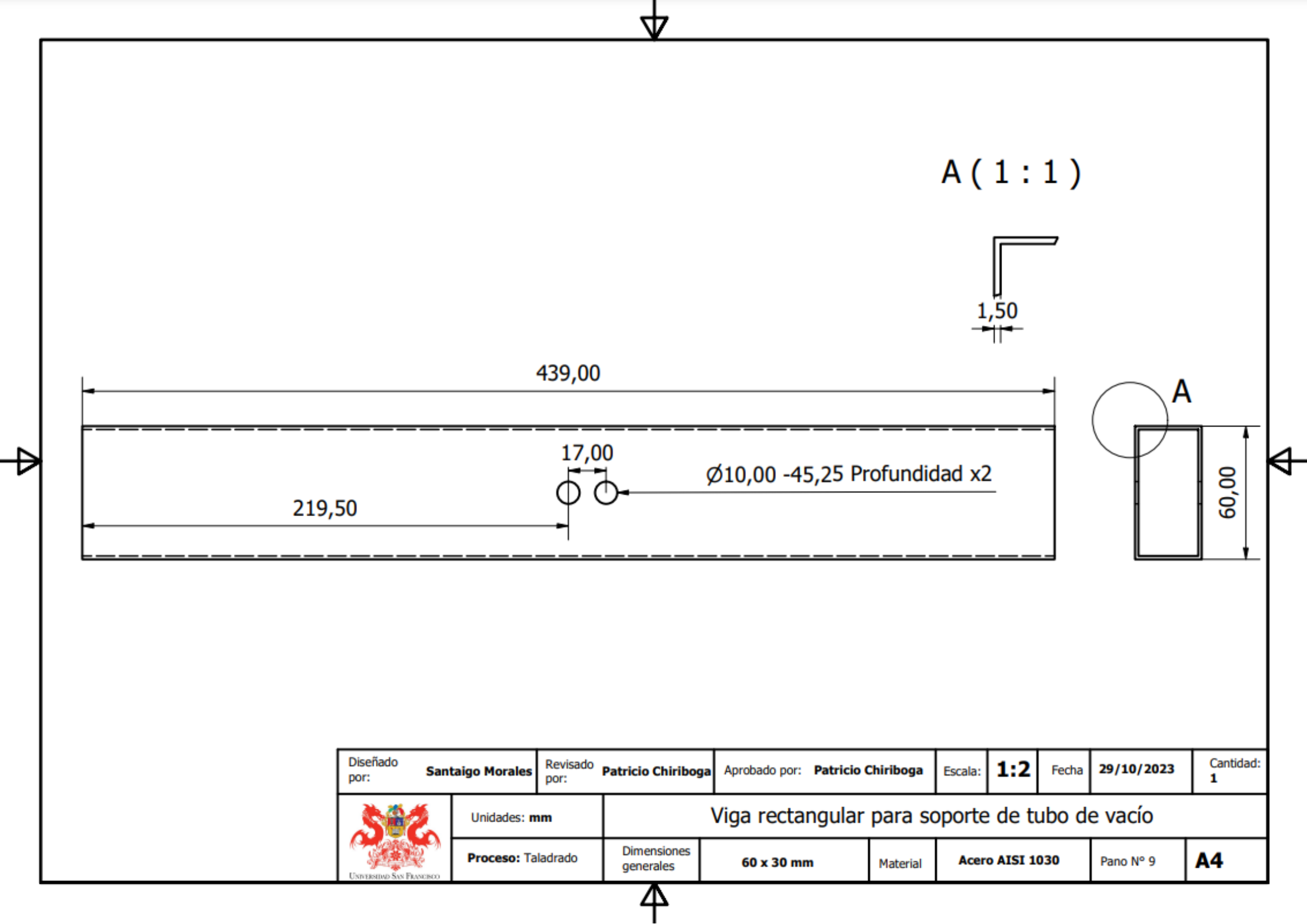
640,00



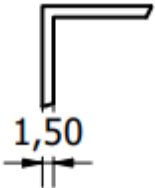
Ø50,00



Diseñado por: <b>Santiago Morales</b>	Revisado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Escala: <b>1:3</b>	Fecha: <b>29/10/2023</b>	Cantidad: <b>1</b>
	Unidades: <b>mm</b>	tubo redondo, agarradera de sistema de empuje			
		Dimensiones generales: <b>640 x 50 mm</b>	Material: <b>Acero AISI 1006</b>	Pano N° <b>7</b>	<b>A4</b>



A ( 1 : 1 )

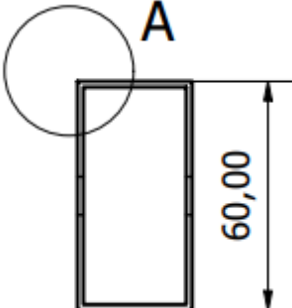


439,00


219,50

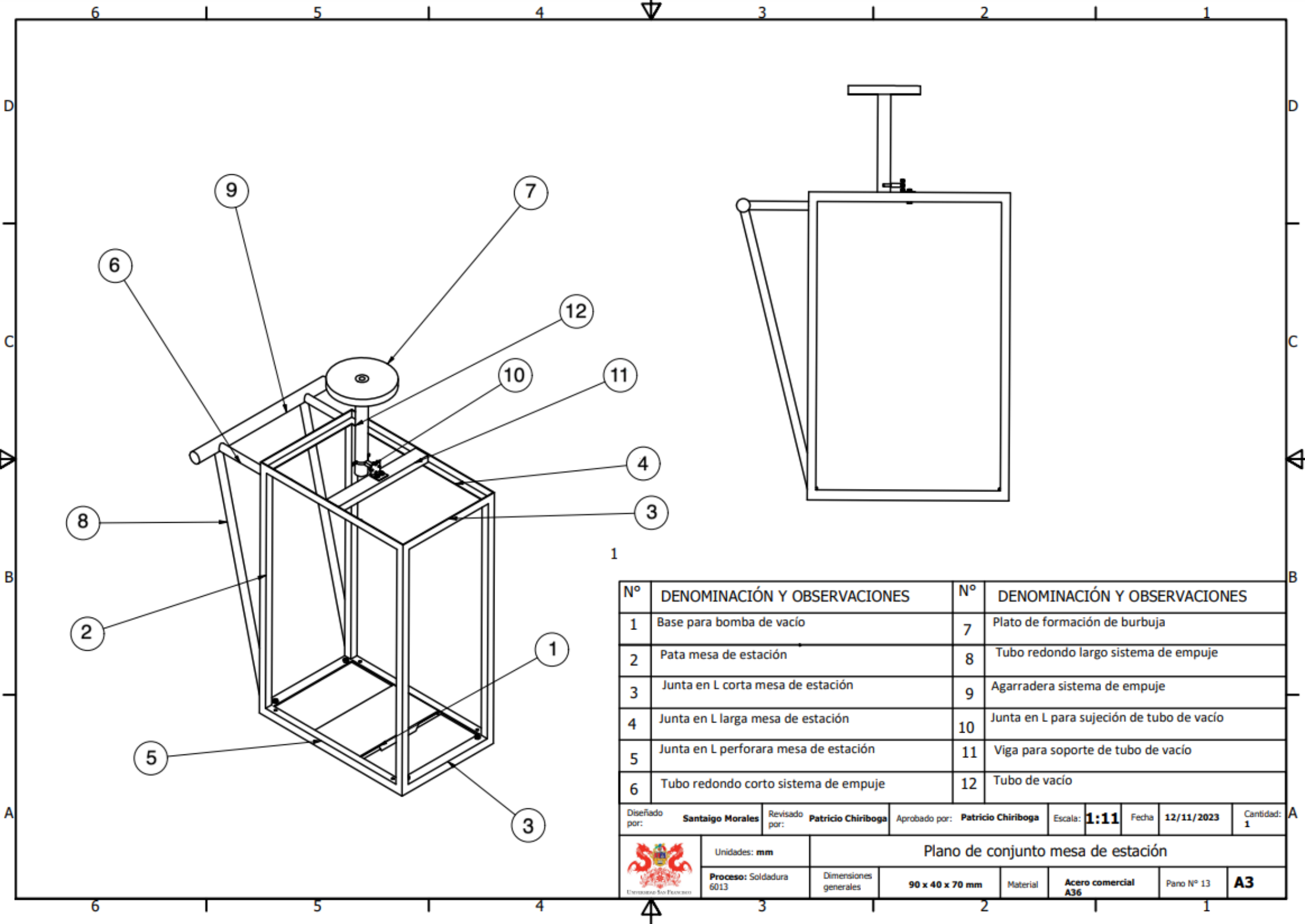
17,00

Ø10,00 -45,25 Profundidad x2




60,00


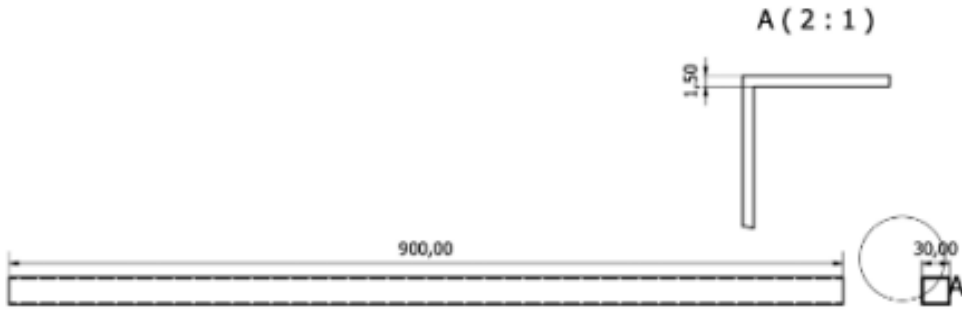




Diseñado por: <b>Santaigo Morales</b>	Revisado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por: <b>Patricio Chiriboga</b>	Escala: <b>1:2</b>	Fecha: <b>29/10/2023</b>	Cantidad: <b>1</b>
	Unidades: <b>mm</b>	<b>Viga rectangular para soporte de tubo de vacío</b>			
	<b>Proceso:</b> Taladrado	Dimensiones generales: <b>60 x 30 mm</b>	Material: <b>Acero AISI 1030</b>	Pano N° <b>9</b>	<b>A4</b>



Nº	DENOMINACIÓN Y OBSERVACIONES	Nº	DENOMINACIÓN Y OBSERVACIONES
1	Base para bomba de vacío	7	Plato de formación de burbuja
2	Pata mesa de estación	8	Tubo redondo largo sistema de empuje
3	Junta en L corta mesa de estación	9	Agarradera sistema de empuje
4	Junta en L larga mesa de estación	10	Junta en L para sujeción de tubo de vacío
5	Junta en L perforada mesa de estación	11	Viga para soporte de tubo de vacío
6	Tubo redondo corto sistema de empuje	12	Tubo de vacío

Diseñado por:	<b>Santiago Morales</b>	Revisado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Aprobado por:	<b>Patricio Chiriboga</b>	Escala:	<b>1:11</b>	Fecha:	<b>12/11/2023</b>	Cantidad:	<b>1</b>
		Unidades:	<b>mm</b>	<b>Plano de conjunto mesa de estación</b>							
<b>Proceso:</b> Soldadura 6013		Dimensiones generales:	<b>90 x 40 x 70 mm</b>	Material:	<b>Acero comercial A36</b>	Pano N°:	<b>13</b>	<b>A3</b>			

## Hojas de procesos

		<b>Pata de la mesa de estación</b>				Proyecto Integrador		Estructura Metálica		Número: 1	
Escala: 1:6	Material: Acero AISI 1018	Dimensiones en bruto: 900x30 mm				Cantidad: 4					
<div style="text-align: center;">  </div>											
N° de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]		
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección		Amoladora con disco de corte	90	32	7000	359	1,5	10		
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en la pieza		Amoladora con disco de desbaste	45	17	7000	0,0515	1,5	5		
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las patas a las bases de la estructura en una posición Plana en un ángulo de 45 grados		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	30		
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15		



## Perfil en L largo para base de la estación

Proyecto Integrador

Estructura Metálica

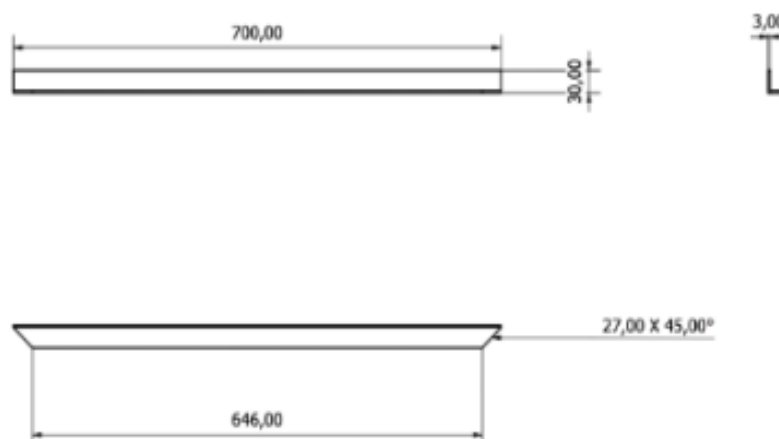
Número: 2




Escala:  
1:5


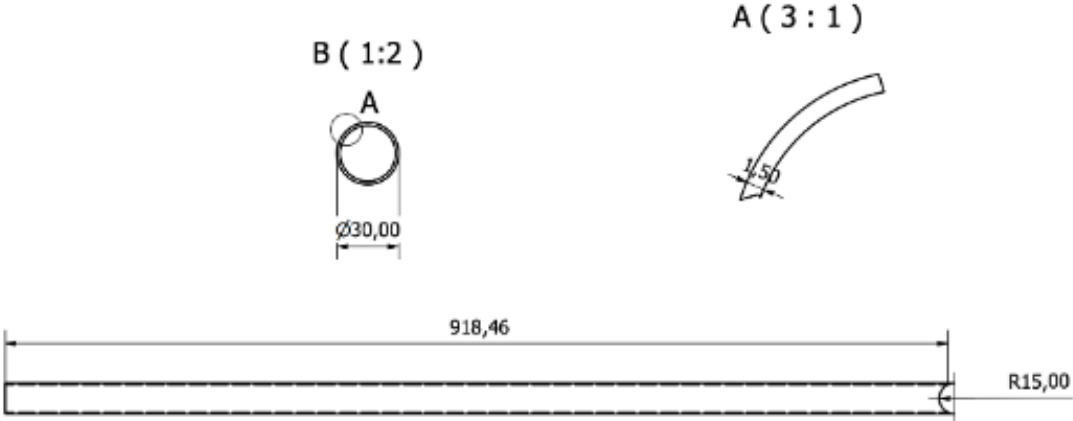




Material: Acero AISI 1018

Dimensiones en bruto: 700x30 mm

Cantidad: 4



Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección, en los extremos hacer un corte de 45 grados		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	6
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en la pieza		Amoladora con disco de desbaste	45	18	7000	0,0515	3	3
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre si en posición vertical descendente		SMAW y electrodo 6011	45		200		3	20
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15

		<b>Tubo Redondo Largo Sistema de Empuje</b>			Proyecto Integrador					
					Estructura Metálica		Número: 3			
<b>Escala:</b> 1:4	<b>Material:</b> Acero AISI 1006	<b>Dimensiones en bruto:</b> 925x30 mm			<b>Cantidad:</b> 2					
<div style="text-align: center;">  </div>										
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]	
1	Tomar medidas de la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección en los extremos hacer un corte de 45 grados		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	3	6	
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebabas de los extremos cortados en la pieza. Realizar la boca de pez en un extremo del tubo		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	3	3	
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre si en posición vertical descendente		SMAW y electrodo 6011	45		200		3	20	
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15	





## Tubo redondo corto para sistema de empuje

Proyecto Integrador

Estructura Metálica

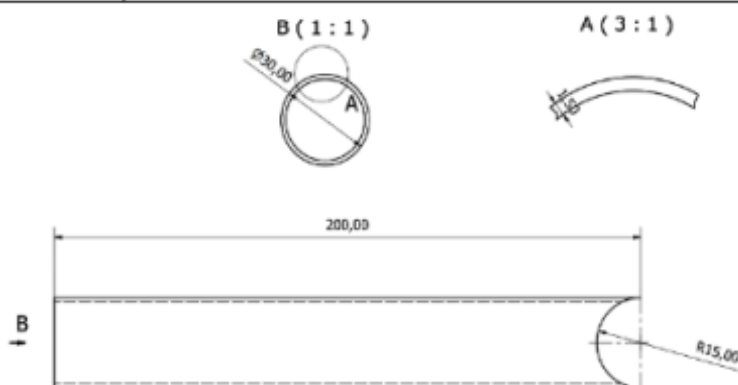
Número: 4





Escala:  
1:1






Material: Acero AISI 1006


Dimensiones en bruto: 200x30 mm

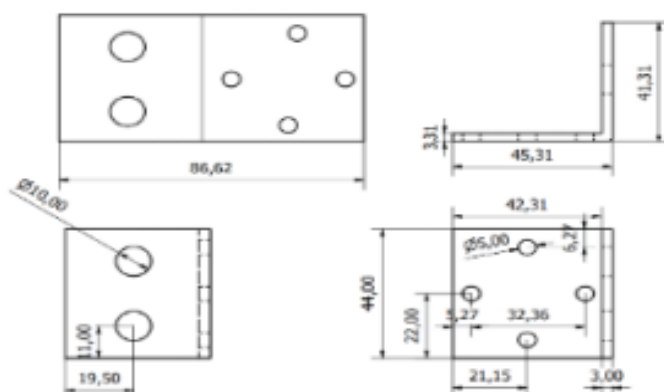
Cantidad: 2





Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección del tubo redondo.		Amoladora con disco de corte	90	31	7000	359	1,5	10
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en el tubo. Realizar la boca de pez en un extremo del tubo		Amoladora con disco de desbaste	45	16	7000	0,0515	1,5	5
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre si en posición aérea		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	30
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15

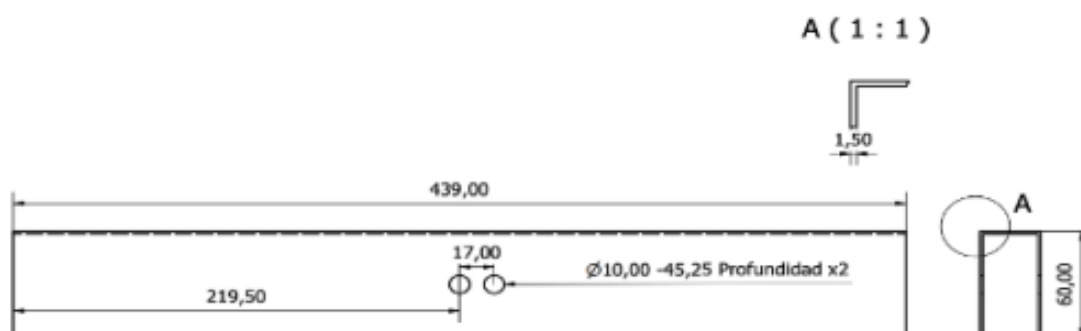
		<b>Tubo redondo para agarradera de sistema de empuje</b>					Proyecto Integrador			
							Estructura Metálica			
Escala: 1:3		Material: Acero AISI 1006		Dimensiones en bruto: 640x50 mm		Número: 5				
						Cantidad: 1				
<p><b>A ( 2 : 1 )</b></p> 										
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]	
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección del tubo redondo		Amoladora con disco de corte	90	31	7000	359	1,5	10	
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en el tubo		Amoladora con disco de desbaste	45	16	7000	0,0515	1,5	5	
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre sí en posición aérea		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	30	
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15	


 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO	<b>Junta en L para Sujeción de Tubo de Vacío</b>		Proyecto Integrador
			Estructura Metálica
			Número: 6
Escala: 1:4	Material: Acero A36	Dimensiones en bruto: 45,31 x 45,31 x 3,31 mm	Cantidad: 1


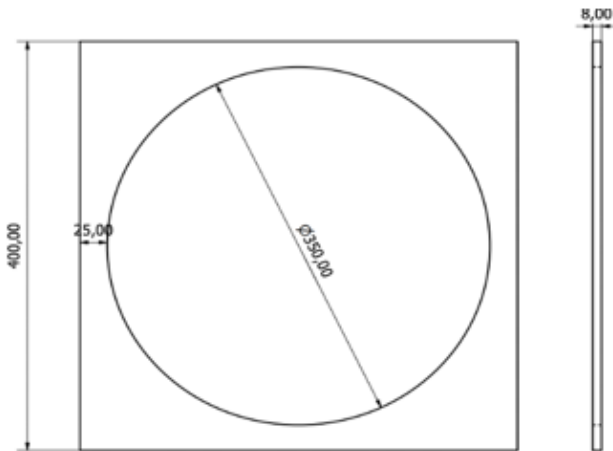
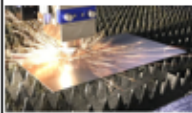



Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Tomar medidas de la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	3	6
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en la pieza		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	3	3
3	Realizar doblado de la platina para obtener la forma de L y conseguir el ángulo deseado		Plegadora	90	15	2200			5
4	Perforar la platina con la ayuda de un taladro y obtener los agujeros para colocar los pernos		Taladro eléctrico con broca de acero						10

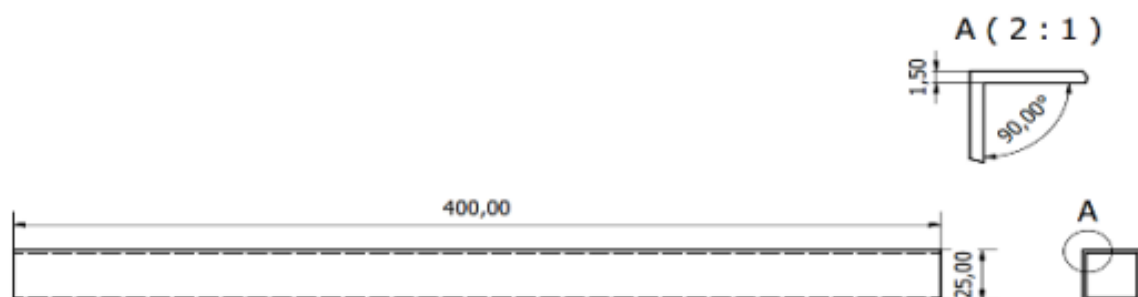
	<b>Viga rectangular para soporte del tubo de vacío</b>		Proyecto Integrador
			Estructura Metálica
			Número: 7
Escala: 1:2	Material: Acero AISI 1030	Dimensiones en bruto: 60x30 mm	Cantidad: 1





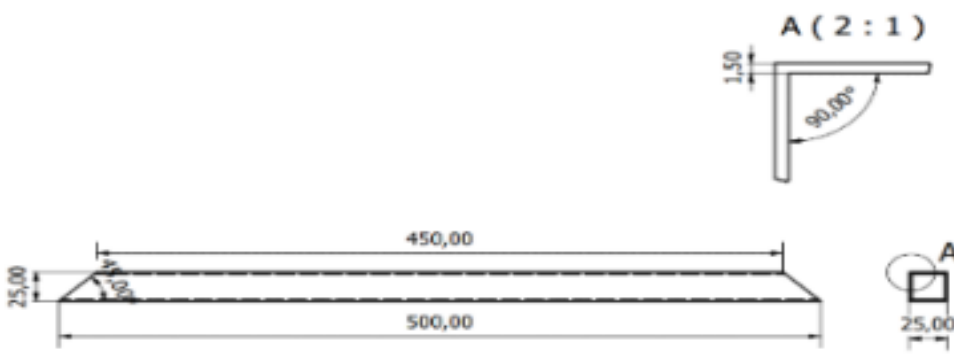



N° de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo (°)	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección del tubo redondo		Amoladora con disco de corte	90	33	7000	359	1,5	5
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en el tubo		Amoladora con disco de desbaste	45	18	7000	0,0515	1,5	3
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre sí en posición aérea		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	10
4	Marcar con puntos los huecos que se deben perforar para poder realizar la junta empernada con el perfil en L, se procede a perforar		Taladro eléctrico con broca de acero	90	15	2300			7

		<b>Armazón</b>						Proyecto Integrador	
								Estructura Metálica	
								Número: 8	
Escala: 1:3	Material: Aluminio	Dimensiones en bruto: 400x400 mm						Cantidad: 2	
									
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [Kw]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir y marcar las coordenadas de la lámina en la máquina de corte, marcar los diámetros requeridos. Con la cortadora de láser realizar los cortes precisos determinados para cada armazón		Cortadora a láser	90	10	2		8	5

	<b>Patas de mesa para armazón</b>		Proyecto Integrador
			Estructura Metálica
			Número: 9
<b>Escala:</b> 1:1	Material: Acero AISI 1006	Dimensiones en bruto: 400x25 mm	Cantidad: 4



N° de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección de la pieza		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	1,5	5
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados de las patas		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	1,5	3
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las patas con la base en una posición plana		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	10

		<b>Tubo Cuadrado Pequeno para base de Mesa del Armazón</b>				Proyecto Integrador				
						Estructura Metálica				
						Número: 10				
Escala: 1:1	Material: Acero AISI 1006	Dimensiones en bruto: 500x25 mm			Cantidad: 2					
										
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]	
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección de la		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	1,5	5	
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados de las patas		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	1,5	3	
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las patas con la base en una posición plana		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	10	



## Tubo Cuadrado Largo para base de Mesa del Armazón

Proyecto Integrador  
Estructura Metálica

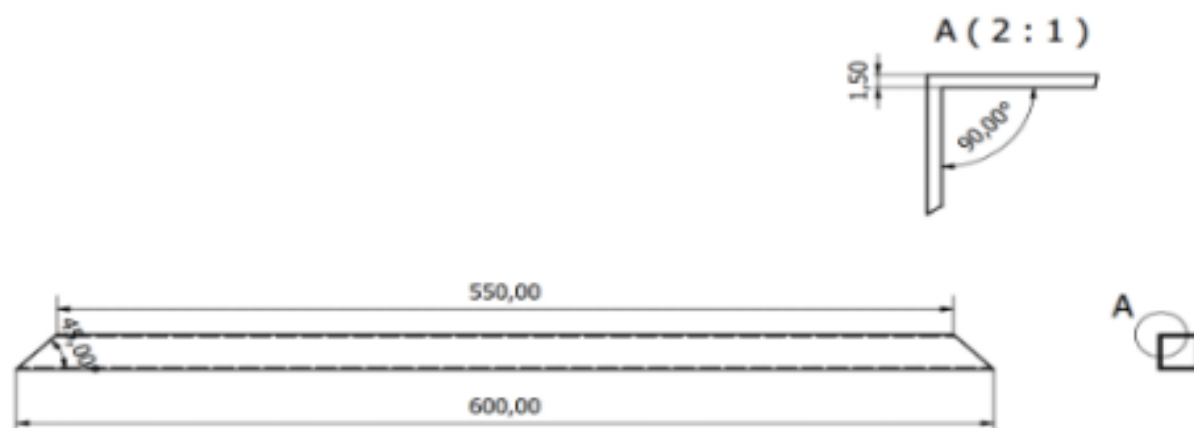
Número: 11

Escala 1:3

Material: Acero AISI 1006


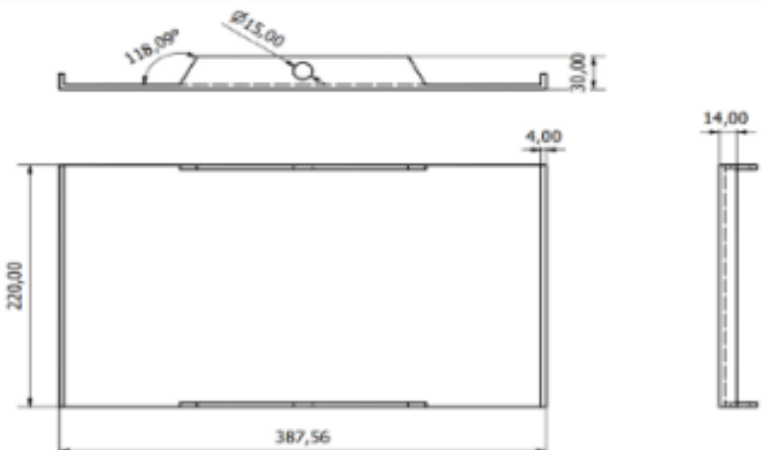




Dimensiones en bruto: 600x25 mm

Cantidad: 2


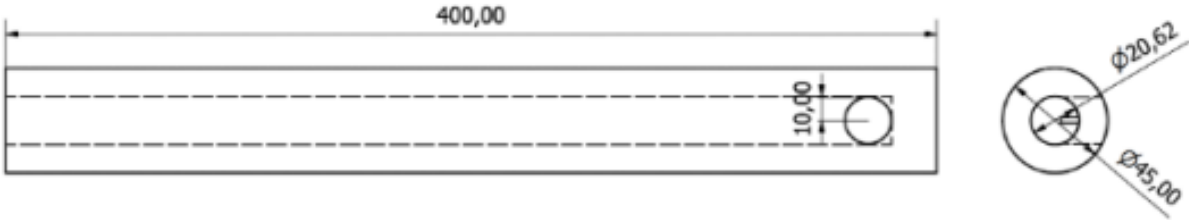






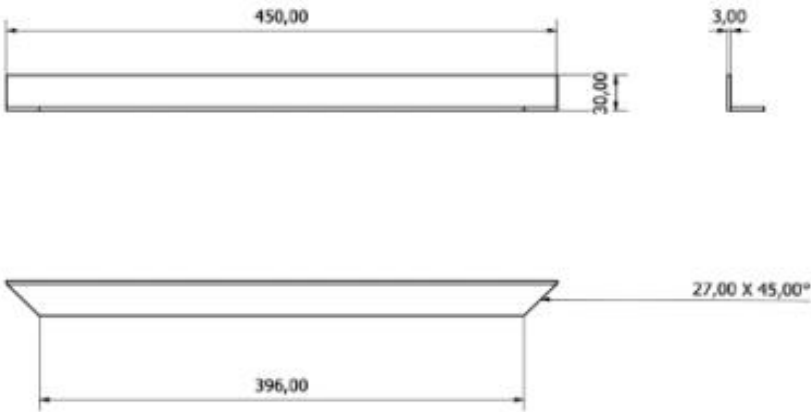




Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección de la pieza		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	1,5	5
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados de las patas		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	1,5	3
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las patas con la base en una posición plana		SMAW y electrodo 6011	45		200		1,5	10



 UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO		<b>Base para soporte de bomba de vacío</b>				Proyecto Integrador Estructura Metálica			
						Número: 12			
Escala: 1:4	Material: Acero A36	Dimensiones en bruto: 387,56x 220 x 30 mm			Cantidad: 1				
									
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Tomar medidas de la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección		Amoladora con disco de corte	90	30	7000	359	3	6
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en la pieza		Amoladora con disco de desbaste	45	15	7000	0,0515	3	3
3	Realizar doblado de la platina para obtener la forma de L y conseguir el ángulo deseado		Plegadora	90	15	2200			5
4	Perforar el material con la ayuda de un taladro y obtener los agujeros para colocar		Taladro eléctrico con broca de acero						10

		Plato de formación de burbuja					Proyecto Integrador			
							Estructura Metálica			
							Número: 13			
Escala 1:4	Material: Madera de Roble	Dimensiones en bruto: 400x30 mm			Cantidad: 3					
										
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]	
1	Medir el diametro requerido en la plancha de madera, Con la sierra caladora cortar los discos		Cierra caladora	90	27	6800	330	30	5	
2	Lijar los bordes del plato con una lija para madera, para eliminar astillas y redondear bordes		Lija para madera A275					30	10	
3	Lacar el plato para obtener una superficie lisa y dejar secar		Laca para madera					30	30	

		<b>Tubo de vacío</b>						Proyecto Integrador	
								Estructura Metálica	
								Número: 14	
<b>Escala:</b> 1:4	<b>Material:</b> Acero AISI 1030	<b>Dimensiones en bruto:</b> 400x45 mm				<b>Cantidad:</b> 1			
									
Nº de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de la pieza		Amoladora con disco de corte	90	33	7000	359	12,19	5
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba del extremo cortado en el tubo		Amoladora con disco de desbaste	45	18	7000	0,0515	1,5	3
3	Marcar con un punto el hueco que se deben perforar para poder realizar el acople del codo con el sistema de mangueras, se procede a perforar.		Taladro eléctrico con broca de acero	90	15	2300			7

		<b>Perfil en L corto para base de la estación</b>					Proyecto Integrador			
							Estructura Metálica			
							Número: 15			
Escala: 1:5	Material: Acero AISI 1018	Dimensiones en bruto: 700x30 mm					Cantidad: 4			
										
N° de Proceso	Designación	Esquema de Proceso	Herramienta	Ángulo [°]	Vc. [m/min]	n [rpm] ó [amp]	S [mm/rev]	t [mm]	Tm [min]	
1	Medir la pieza y marcar las distancias requeridas. Con la amoladora proceder a realizar el corte de cada sección, en los extremos hacer un corte de 45 grados		Amoladora con disco de corte	90	36	7000	359	3	6	
2	Cambiar en la amoladora a la hoja de desbaste, y eliminar aristas vivas y rebaba de los extremos cortados en la pieza		Amoladora con disco de desbaste	45	18	7000	0,0515	3	3	
3	Poner todas las piezas cortadas y pulidas en su lugar, y soldar las piezas entre sí en posición vertical descendente		SMAW y electrodo 6011	45		200		3	20	
4	Al finalizar el ensamble de la estación, se procede a pintar con pintura en spray		Pintura en spray para Metales						15	