



---

---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**

Diseño y construcción del prototipo de una máquina de termo-encogido  
para la industria cárnica.

TESIS

Para obtener el título de:  
Ingeniero Mecánico Eléctrico

PRESENTA:

Vázquez Aparicio Omar Ronaldo

ASESOR: Dr. Cruz Morales Raúl Dalí

COASESOR: M. en I. Sánchez García Diego

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2023.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
SECRETARÍA GENERAL  
DEPARTAMENTO TITULACIÓN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO  
Jefa del Departamento de Titulación  
de la FES Cuautitlán.  
DE TITULACIÓN

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el trabajo de: **Tesis**

**Diseño y construcción del prototipo de máquina de termo-encogido para la industria cárnica**

Que presenta el pasante: **Omar Rolando Vázquez Aparicio**

Con número de cuenta: **417023007** para obtener el Título de: **Ingeniero Mecánico Electricista**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 12 de abril de 2023.

**PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO**

	NOMBRE	FIRMA
<b>PRESIDENTE</b>	Ing. Eusebio Reyes Carranza	
<b>VOCAL</b>	M. en I. Andres Alfonso Andrade Vallejo	
<b>SECRETARIO</b>	Dr. Raúl Dalí Cruz Morales	
<b>1er. SUPLENTE</b>	Ing. César Augusto Morales Mendoza	
<b>2do. SUPLENTE</b>	Ing. Víctor Martínez Tovar	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

MCVB/ntm\*

## Agradecimientos

Primero que nada, quiero agradecer a Dios y a la vida por permitirme lograr un objetivo más, por darme la fuerza, la inteligencia, la paciencia y la perseverancia para llegar a este punto. Un trabajo que conlleva tanto tiempo y empeño es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales.

Así mismo, agradezco por la gran familia y las grandes personas de las que la vida me rodeó. Me gustaría agradecer principalmente a mis padres y hermana por haberme apoyado en cada decisión.

A mi madre, mi formadora, la que me puso carácter y firmeza para hoy ser la persona que soy. Gracias por todo el apoyo y amor que siempre me has dado. Sin ti nunca hubiera logrado nada, ¡Gracias!

A mi padre, que más que mi papá es mi mejor amigo, él que siempre me acompaña, me apoya y ayuda en momentos difíciles. Gracias por todo.

A mi hermana, que siempre ha creído en mí y me dado la fuerza para seguir en momentos difíciles.

Pero también me gustaría agradecer a todos los familiares que de alguna forma y en algún momento de mi vida me apoyaron, me ayudaron y me guiaron para poder seguir adelante, a los que aún están conmigo y sobre todo a los que no, porque esto es por y para ustedes.

También deseo expresar mi agradecimiento a dos profesores, mi asesor y mi coasesor de tesis, el Dr. Raúl Dalí y el M. en I. Diego Sánchez, por la dedicación y apoyo que han brindado a este trabajo, por el respeto a mis sugerencias e ideas. Y, sobre todo, gracias por la confianza ofrecida.

De igual forma, agradezco los profesores que me brindaron su apoyo durante el desarrollo de esta tesis, especialmente al Ing. Eusebio por su asistencia y orientación durante este proyecto y en cualquier momento que solicite su ayuda, y también al M. Gonzalo Edain, por su asistencia en sistemas electrónicos del proyecto.

Gracias a la Facultad, por brindarme los recursos académicos y deportivos que me formaron como persona, gracias a todos los profesores, a mis Couches de fútbol americano, a mis compañeros y amigos de la facultad que de manera directa o indirecta fueron partícipes de este proceso, gracias por ese pequeño o gran aporte otorgado durante mi paso en la universidad.

Por último, agradezco el apoyo parcial en la realización de este proyecto al PAPIME PE103023 y al PICI CI2254.

Este es un momento muy especial, que espero perdure en el tiempo, no solo en la mente de las personas a las que agradecí, sino también en las personas que invirtieron algo de su tiempo en mi proyecto de tesis.

A todos ustedes, y a los que me faltó nombrar (que vaya que son muchos). ¡Gracias!



# Contenido

Agradecimientos .....	3
1.Objetivo.....	6
1.1 Objetivos específicos .....	6
2.Introducción.....	7
3.Estado del arte.....	8
3.1 Irradiación.....	9
3.2 Altas presiones.....	10
3.3 Electro procesado.....	10
3.4 Pulsos de luz.....	12
3.5 Ultrasonidos.....	13
3.6 Aplicación de robots en la industria alimenticia.....	13
4.Desarrollo.....	15
4.1 Diseño de la tina.....	15
4.2 Diseño de la base.....	15
4.2.1 Cálculos para justificar el diseño de la base.....	16
4.3 Diseño de charola.....	27
4.3.1 Charola placa INOX 304.....	27
4.3.2 Charola barra INOX 304.....	38
4.4 Diseño del mecanismo de elevación de la charola.....	42
4.4.1 Sistema de elevación tipo polipasto.....	43
4.4.2 Sistema de elevación tipo tijera.....	49
4.5 Cálculos para el sistema de calentamiento.....	61
5. Construcción y Resultados.....	62
5.1 Construcción de los prototipos.....	62
5.1.1 Tina .....	62
5.1.2 Base.....	62
5.1.3 Charola .....	66
5.1.4 Sistema de elevación.....	68
5.1.5 Sistema de calentamiento.....	87
5.2 Resultados.....	90
6. Conclusiones.....	96
7. Trabajo futuro.....	97
Anexo 1.....	98
Anexo 2.....	99

Anexo 1 .....	98
Anexo 2 .....	99
Anexo 3 .....	100
Anexo 4 .....	101
Anexo 5 .....	102
Anexo 6 .....	103
Anexo 7 .....	104
Anexo 8 .....	105
Anexo 9 .....	106
Anexo 10 .....	107
Tabla de ilustraciones.....	108
Bibliografía .....	113

## 1. Objetivo.

Este proyecto tiene como propósito reducir la manipulación de los productos cárnicos (y contaminación cruzada) al ser empaquetados con films adheridos por termo-reducción y se pretende que el proceso de inoculación y empaquetado de la carne sean realizados en uno solo.

### 1.1 Objetivos específicos

1. Realizar el diseño CAD del prototipo de la máquina.
2. Hacer los cálculos y simulaciones necesarias para corroborar los diseños realizados.
3. Efectuar la construcción de la máquina.
4. Ejecutar las pruebas necesarias sobre la máquina para confirmar su buen funcionamiento.

## 1. Introducción.

En este proyecto se busca innovar en los procesos que se realizan actualmente en la industria cárnica, cómo son: la cocción, el empaquetado y la disminución de la carga microbiológica en los alimentos. A pesar de que se busca innovar en estos procesos, el proyecto se basa en un método tradicional para la cocción, el cuál es mediante el calentamiento de un fluido, que para este caso se utiliza agua, y para el empaquetado, se hace mediante empaque termo-encogible, que consiste en colocar una película adherible que al someterse a temperatura se contrae, adaptándose a la forma del producto. En cuanto a la disminución de la carga microbiológica se requiere elevar la temperatura interna final de la carne a 70-75 °C, existen distintos métodos para lograr esto, en este proyecto se planea hacer mediante transferencia de calor, elevando la temperatura del agua a 80 °C.

Por lo cual, se pretende reducir los tiempos de cocción, estabilización microbiológica y empaquetado, realizando estos procesos de forma unificada.

En este documento se muestra el proceso de diseño y construcción de dicha máquina. Comenzando con el CAD<sup>1</sup> de los elementos que la conforman, el cual se realiza en partes, empezando por la tina donde está contenido el fluido, después la base que soporta todas las cargas; principalmente el de la tina y el sistema de elevación, posteriormente se realiza el diseño de la charola donde se coloca el producto cárnico y finalmente se realiza el diseño del sistema de elevación.

Una vez presentados los diseños, se hacen los cálculos necesarios para corroborar que los diseños y materiales propuestos son los indicados para cumplir con los esfuerzos requeridos. Al mismo tiempo y con el mismo fin, se corren simulaciones de los esfuerzos en el Software de diseño mecánico *Inventor* de la familia *Autodesk*.

Después de ser revisados y autorizados dichos diseños, se empieza con la construcción del prototipo en el LIME II de la FESC. En la construcción se sigue el mismo orden que en el diseño, primero la tina, después la base, posteriormente la charola y finalmente el sistema de elevación.

Ya que se tiene el prototipo de la máquina, se comienza con el sistema de calentamiento. Primero, se realizan los cálculos necesarios para saber cuál es la energía requerida para elevar la temperatura del agua a 80 °C en el tiempo solicitado. Una vez que se cuenta con este dato, se procede a colocar el sistema de calentamiento en la tina que contiene el fluido.

Y finalmente se hace el ensamble físico de los elementos diseñados y se realizan dos pruebas fundamentales, la primera en el sistema de calentamiento; corroborando que se cumplan con los tiempos y el nivel de temperatura requeridos, y la segunda en el sistema de elevación, confirmando que la altura de elevación, el torque del motor y todo el movimiento del sistema no tenga ningún inconveniente.

<sup>1</sup>CAD por sus siglas en inglés *Computer Aided Design*, que es el diseño asistido por computadora.

## 2. Estado del arte.

Actualmente existen nuevas tecnologías para el tratamiento de los productos cárnicos para inocularlos, y mantenerlos comestibles por más tiempo, lo cual es una etapa fundamental en la producción y comercialización de estos; tomando en cuenta que en la mayoría de los procesos esta es la última etapa antes de su empaquetado, distribución y comercialización, es un proceso al que debe tenerse en cuenta. Dentro de estas tecnologías, el método tradicional más utilizado a lo largo del tiempo, es el tratamiento térmico mediante el calentamiento de un fluido (aire o agua), debido a que es una tecnología accesible, económica y efectiva. No obstante, este tratamiento produce pérdidas importantes en las características organolépticas<sup>2</sup> del producto. Esto se debe a varios factores, por ejemplo,

Entre más alto sea el contenido de humedad de una carne, mayor será el requerimiento de energía para aumentar su temperatura. Por lo tanto, para aumentar la temperatura de 1 Kg de carne de res en 1 °C, se requieren 0.68 Kcal. Este valor está dado para una carne magra, en un animal adulto, con un contenido aproximado de grasa del 20%. Mientras mayor sea el contenido de grasa de la carne, menor será el requerimiento de energía para aumentar su temperatura. (Restrepo Diego, 2001, pág. 130)

Es por eso, que es primordial diseñar un correcto tratamiento térmico, ya que esto permite controlar la pérdida de humedad y, por ende, el peso del producto. Lo cual, en última instancia facilitará el costo final del producto. Además, en esta etapa se define la mayor parte de las características organolépticas finales del producto.

Asimismo, año con año el consumidor es más exigente respecto a los productos que compra, buscando productos con la menor cantidad de aditivos y con mayor calidad nutritiva, además de buscar agilizar estos procesos, lo cual ha llevado a las industrias a dejar los métodos tradicionales y centrarse en otros innovadores, como son: la irradiación, las altas presiones, el electro procesado, los pulsos de luz, el ultrasonido, entre otras.

El sector alimenticio, sigue trabajando en nuevas tecnologías, buscando que estas sean menos agresivas, más eficaces en la conservación de las características organolépticas y valor nutricional del producto cárnico, pero también tratando de reducir tiempos y mermas. Por lo cual se mencionan los tratamientos más comunes que se utilizan actualmente, en donde se mencionan las principales ventajas y desventajas en cuanto al costo-beneficio de cada tratamiento.

<sup>2</sup>*Características organolépticas. Se trata de las características que se perciben a través de los sentidos (gusto, vista, olfato y tacto), las cuatro propiedades organolépticas principales en los alimentos son: olor, color, sabor y textura.*



### 3.1 Irradiación.

Este tratamiento implica exponer el producto a cantidades controladas de radiación para lograr ciertos objetivos,

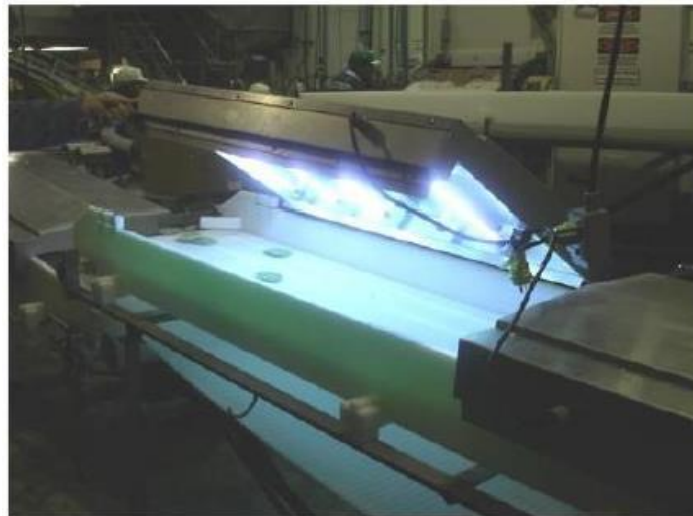
La irradiación de alimentos, a veces llamada pasteurización fría, ionización de alimentos o alimentos irradiados, es un tratamiento que puede darse a ciertos alimentos que, mediante radiación ionizante, generalmente electrones de alta energía u ondas electromagnéticas producidas por elementos radiactivos (rayos X o gamma). (Ángela, 2019, pág. 21)

La ventaja más interesante que presenta este proceso respecto a otros, es que este puede realizarse una vez que se ha finalizado todo el proceso al producto cárnico, es decir, que este proceso se puede hacer una vez que ya fue empacado, ya que, gracias a la energía de los rayos gamma, esta logra entrar en los alimentos, atravesando el empaque y según Ángela (2019) “consiguiendo una reducción de la carga microbiana con una eliminación casi completa de los patógenos habituales” (pág. 24).

No obstante, la desventaja principal de este proceso es que produce alteraciones en las características organolépticas del producto, especialmente en el color, el sabor y en el olor, ya que estas resultan extrañas para el consumidor. Lejos de no afectar su valor nutricional, estas características son primordiales para la decisión del consumidor a la hora de realizar su compra.

Los equipos más habituales para esta tecnología, son los equipos UVC para alimentos sólidos,

Este equipo consta de un tambor rotatorio o de una banda transportadora que mueve al alimento a través del equipo para asegurar la exposición correcta a la radiación UVC. El equipo puede tratar diversos productos frescos como frutas, carne y productos congelados. Se emplean 32 lámparas UVC, que operan a 70-80 W, las cuales pueden ser instaladas en diferentes configuraciones, lo que facilita su manejo. (Gutiérrez, 2012, citado por Ángela, 2019, pág. 25)



*Ilustración 1. Campana UVC sobre cinta transportadora.*

Nota. Adaptado de campana UVC sobre cinta transportadora [Fotografía], por Melchor Fernández Almagro, 2022, SlidePlayer (<https://slideplayer.es/slide/157158>).

### 3.2 Altas presiones.

Este tratamiento es una tecnología emergente en la industria alimenticia, el cuál inactiva microorganismos en el acabado de los productos sin dañar su valor nutricional y sus características organolépticas. Esta tecnología consiste en aplicar presiones entre 100 – 1000 MPa, las cuales se transmiten indirectamente a través de un fluido (normalmente agua).

Carballo, (2017) menciona que este tratamiento a conseguido una gran relevancia en los ultimos años como proceso de conservación, al aumentar su calidad sanitaria y modificando al mínimo sus características organolépticas.

Según Ángela (2019) “Existen en el mundo más de 300 instalaciones de altas presiones, 315 en 2015, repartidas por todos los continentes, especialmente en Norte América (54%), Europa (25%) y Asia (12%)” (pág. 26).

Finalmente, Hiperbaric, (2013) nos muestra las ventajas y desventajas de este tratamiento. La ventaja principal, al igual que en el de irradiación, es que este se realiza sobre el empaque final. Y sus principales inconvenientes son: su costo elevado y su alteración en la textura del producto.

Existen dos tipos de equipos de alta presión: el tipo discontinuo que es para productos sólidos o líquidos ya envasados y el semicontinuo que es para productos líquidos no envasados. Ambos están formados por una cámara de presurización, un generador de presión y un sistema de control de temperatura.



*Ilustración 2. Sistema de alta presión, discontinuo, para sólidos o líquidos envasados.*

Nota. Adaptado de procesador de envases de carne, tratada por altas presiones [Fotografía], por Instituto Químico de Sarriá, Bolufer, 2012 (<http://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/80511-Las-altas-presiones.html>)

### 3.3 Electro procesado.

El uso de electricidad es una buena alternativa para innovar en los tratamientos actuales, ya que los pulsos eléctricos pueden controlar la carga microbiológica de los alimentos sin afectar en gran medida sus características organolépticas.

Este proceso es explicado por Carrillo, (2010) y nos dice que este es un tratamiento no térmico, el cual se realiza colocando el producto entre dos electrodos dentro de una solución electrolítica con baja conductividad térmica, entre los cuales se hace pasar corriente eléctrica, controlando el tiempo, la intensidad y la frecuencia.

La ventaja principal de este proceso es que no altera las características organolépticas del producto, lo cual es de suma importancia, si se considera que esas características son las que deciden en última instancia si el consumidor adquiere o no el producto.

Lamentablemente hay dos desventajas muy importantes a considerar: la primera; es que este método no puede ser utilizado de forma única ya que no tiene un gran control de la carga microbiológica, por lo que se debe complementar con algún otro y la segunda; es la poca disponibilidad de equipos, ya que solo existen dos fabricantes de este tipo de equipos.

Finalmente, Carrillo, (2010) nos menciona dos tipos de sistemas utilizados, el primero es un sistema de tratamiento por lotes y el segundo un tratamiento de flujo continuo. En las siguientes ilustraciones se pueden ver ambos sistemas y sus componentes.

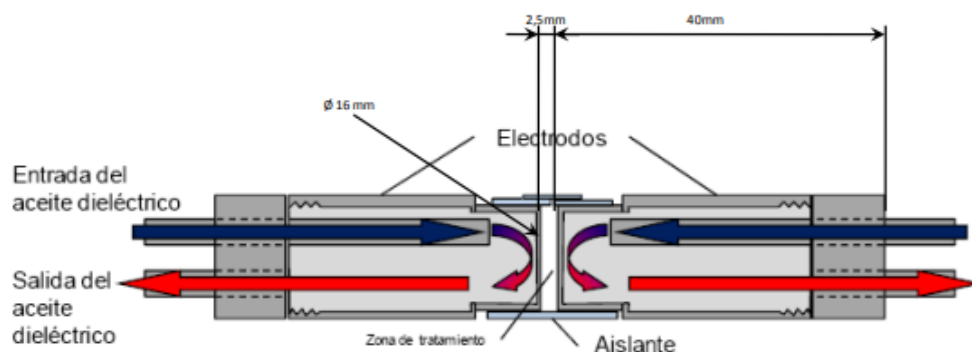


Ilustración 3. Cámara de tratamiento de sistema de pulsos eléctricos por lotes o estático.

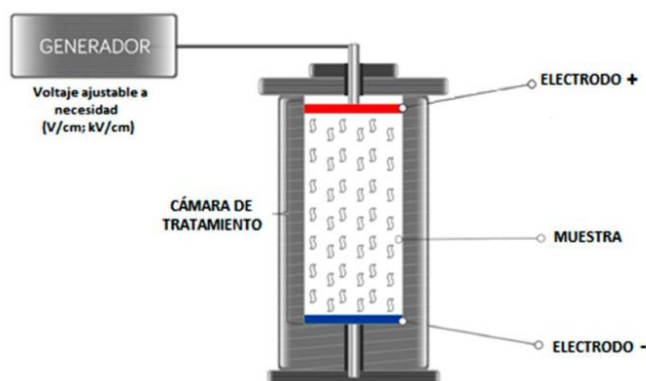


Ilustración 4. Configuración coaxial de cámara de tratamiento para sistemas continuos.

Nota. Adaptado Tecnología emergente: Campo de pulsos eléctricos (PEF) para el tratamiento de alimentos y su efecto en el contenido de antioxidantes, por J. Puyod, 2013-2014, Rev. chil. nutr. vol.48 no.4.

### 3.4 Pulsos de luz.

El tratamiento de pulsos de luz es un proceso no térmico, el cual consiste en aplicar pulsos de alta energía sobre el producto con el fin de disminuir su carga microbiana.

Para ello, Puértolas, (2014) describe que “se produce la descarga controlada de pulsos eléctricos de alta intensidad (1-5 kV) y corta duración (100-400 $\mu$ s) en una o varias lámparas de gas xenón instaladas en un reactor donde se sitúa el producto a tratar” (párr. 4). De igual forma, el autor comenta que la gran cantidad de luz ultravioleta, en específico la de corta longitud de onda, es la principal responsable de la eficacia en la disminución de carga microbiana en este tratamiento. Por último, Puértolas, (2014) señala que este tratamiento resulta más eficaz y eficiente que el de irradiación debido a una mayor potencia de disipación y penetración.

Una de las potenciales aplicaciones de esta tecnología en la industria alimentaria es la descontaminación superficial de alimentos sólidos, como vegetales, huevos o los productos cárnicos y pesqueros, aumentando por lo tanto su vida útil sin afectar negativamente sus propiedades organolépticas. Cuanto más liso y homogéneo sea el producto, mayor es el nivel de descontaminación (Lasagabaster, 2009, citado por Puértolas, 2014, párr. 10).

González, (s.f.) muestra las principales ventajas y desventajas de este sistema. Las ventajas son: el bajo costo operativo, un menor impacto en el medio ambiente, la alta calidad en las características organolépticas y en su valor nutricional, tiene un gran efecto sobre superficies y en alimentos envasados. Sus mayores desventajas son: que no es aplicable para todo tipo de alimentos; principalmente no es eficaz con alimentos ricos en grasas y proteínas, se debe combinar con otro tratamiento como el de altas presiones o el de pulsos eléctricos, se requiere que el producto tenga una superficie transparente y tenga una superficie regular, y los equipos tienen un costo elevado.

El sistema utiliza una lámpara de xenón que libera muy rápidamente la energía eléctrica en forma de luz a la superficie del producto que se encuentra en la cámara de tratamiento. Las cámaras de tratamiento se componen de una superficie reflejante y lámparas de xenón. (Bertus, 2009)



*Ilustración 5. Cámara de tratamiento de alimentos que utiliza pulsos de luz.*

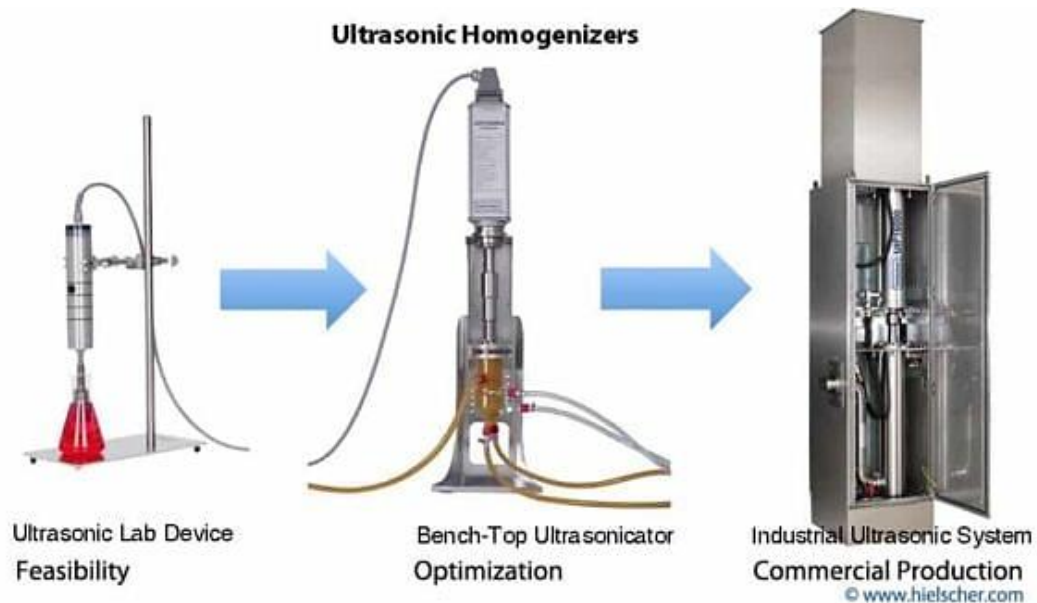
Nota. Adaptado de Pulsos de Luz. Nuevas tecnologías de conservación de alimentos, por Bertus, 2009, (<http://www.esebertus.com/blog/2009/02/05/pulsos-de-luz-nuevas-tecnologias-de-conservacion-de-alimentos/>)

### 3.5 Ultrasonidos.

Los ultrasonidos se definen como ondas de presión de una frecuencia igual o superior a 20 kHz. Normalmente los equipos de ultrasonidos trabajan en un rango entre 20 kHz y 10 MHz.

El uso de la tecnología de ultrasonidos en preservación de alimentos comenzó en los años 60, aunque se había desarrollado antes, durante la primera guerra mundial para la detección de submarinos. Tecnologías combinadas de alta eficacia, incluso en inactivación de esporas y que asocian ultrasonidos y tratamientos térmicos suaves se aplican desde los años 80. (Barrado, 2010, pág. 23)

Finalmente Delgado, (2011) menciona las ventajas y desventajas de este proceso. Las principales ventajas del proceso son: este proceso no destruye tejidos en el producto; por lo que no produce reacciones secundarias al ser humano, su preservación alta de valor nutricional, mejora la digestibilidad de proteínas y que este es un proceso óptimo para la inactivación de enzimas y el aumento en su vida útil. En cuanto a sus desventajas, la principal que se debe considerar es que este proceso no puede ser aplicado en grandes cantidades ya que resulta ineficiente y se tendría que combinar con algún tratamiento térmico.



*Ilustración 6. Ultrasonidos en la industria alimentaria.*

Nota. Adaptado de Ultrasonidos en la industria alimentaria, por Hielscher Ultrasonics, s.f., ([https://www.hielscher.com/es/food\\_01.htm](https://www.hielscher.com/es/food_01.htm))

### 3.6 Aplicación de robots en la industria alimenticia.

El potencial de la robótica en la industria ha ido incrementando conforme el paso del tiempo, esto debido a dos principales razones: la primera es la reducción en los precios de este tipo de máquinas, y la segunda es la efectividad y alta producción que se puede obtener. En el sector alimenticio actualmente se aplican para carga y descarga, empaquetado y corte de carne.



Actualmente las aplicaciones más comunes de los robots en la industria alimentaria se encuentran en el envasado de alimentos. Los robots se están empleando además para otros fines, entre los que se pueden destacar: el corte de carne, el eviscerado de carne, trabajos en el interior de congeladores, control de posición del tapón en botellas, correcta posición de etiquetas, etc. (Ángela, 2019, pág. 46)

Cabe mencionar que la tendencia a la automatización se mantiene en procesos cercanos al producto, como el envasado.



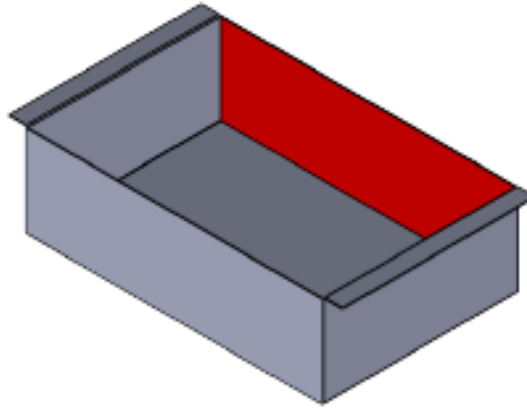
*Ilustración 7. Robots en la industria alimenticia.*

Nota. Adaptado de Automatización en industria cárnica, por infoPLC, 2015, (<https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/102535-automatizacion-medicion-industria-carnica>)  
<https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/102535-automatizacion-medicion-industria-carnica>)

### 3. Desarrollo.

#### 4.1 Diseño de la tina.

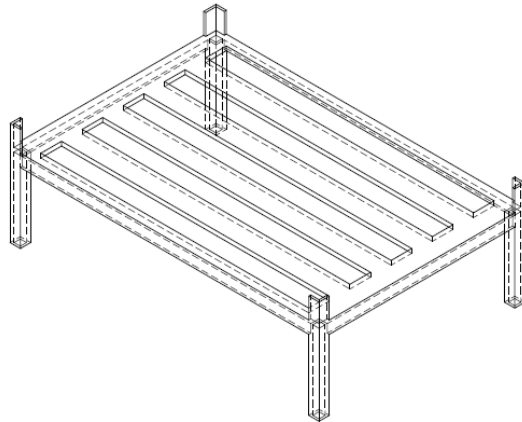
El diseño y construcción de la tina se realiza en una fase previa, el diseño CAD se muestra en la siguiente Ilustración, sus dimensiones son 700 mm x 400 mm x 200 mm (largo, ancho, alto). Para notar más especificaciones del diseño y material de la tina ver Anexo 10.



*Ilustración 8. Diseño CAD tina.*

#### 4.2 Diseño de la base.

Conociendo el diseño de la tina y sus dimensiones, se comienza con el diseño de una base con las siguientes dimensiones 750 mm x 500 mm x 300 mm (largo, ancho, alto). En la siguiente Ilustración puede observarse el diseño en CAD de una base metálica que forma parte del prototipo de la máquina a diseñar.



*Ilustración 9. Boceto de la base.*

#### 4.2.1 Cálculos para justificar el diseño de la base.

En la tabla 1 se muestran las cargas que actúan sobre la base, considerando que todos los elementos se encuentran en reposo.

Tabla 1. Cargas que actúan sobre la base, considerando los elementos en reposo.

	Peso (Kg)
Producto cárnico	24
Agua	20
Tina	10
Charola	10
Total	64

Por consideraciones técnicas se ajusta a 65 kg, por lo tanto, la fuerza total aplicada es,

$$F_t = 65 \text{ kg} \left( \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \right) = 637.65 \text{ N}.$$

Si se considera la base como una viga de longitud de 0.5 m, y una carga distribuida que actúa sobre ella se puede hacer un análisis de esfuerzos (Rodríguez, 2008). Esta carga actúa a partir de los 0.04 m y termina en 0.46 m debido a que los soportes de la parte superior de la base se diseñaron a esas distancias, por lo tanto, se distribuye en 0.42 m ejerciendo una fuerza sobre la base. Lo cual se puede apreciar en el Diagrama de Cuerpo Libre (D.C.L.) de la siguiente Ilustración.

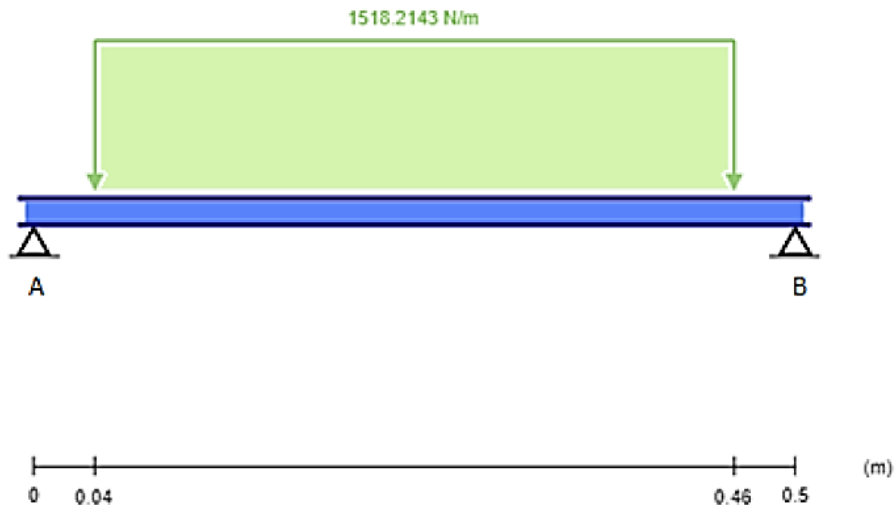


Ilustración 10. D.C.L. de esfuerzos sobre la base.

De la Ilustración 10 se puede observar que la carga distribuida se encuentra desde el punto 0.04 m hasta 0.46 m, por lo tanto, esta carga distribuida se toma como una carga puntual y se obtiene de la siguiente manera,

$$1518.2143 \frac{N}{m} (0.46 - 0.04)m = 637.65 N,$$

al realizar el análisis de esfuerzos para este diagrama, sumando las fuerzas en Y se obtiene la fuerza cortante V,

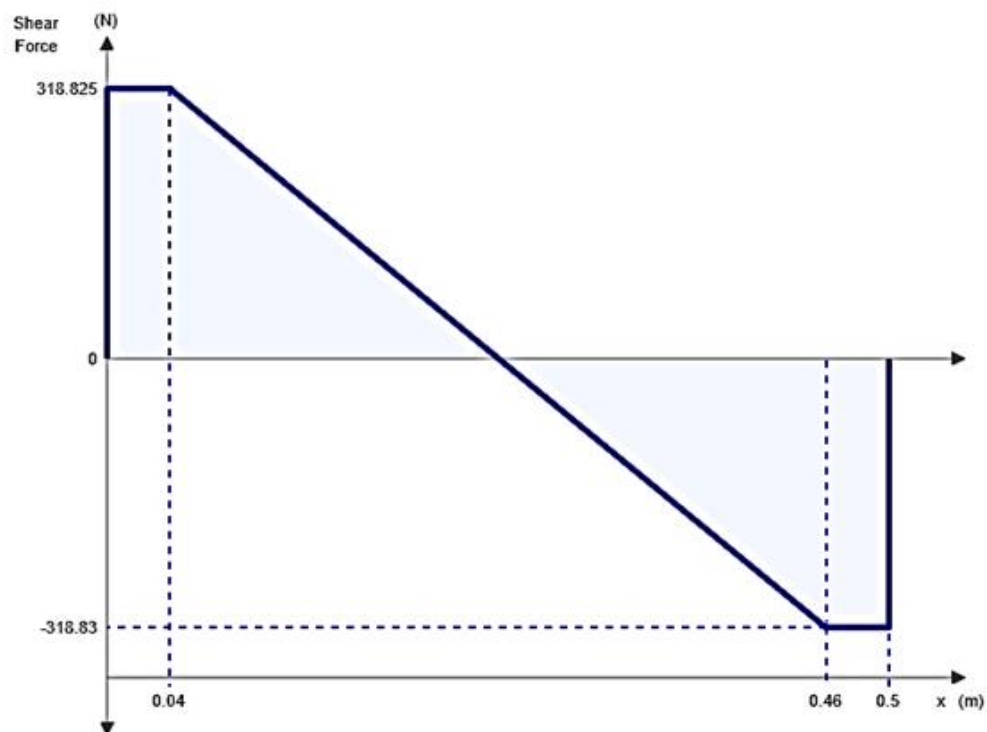
$$V = 318.825 N - 637.65 N \therefore V = -318.825 N,$$

y el momento M respecto al punto A, se obtiene por medio de los siguientes cálculos,

$$M = 318.825x N - 637.65 N (x - 0.25 m)$$

$$M = -318.825x N + 159.4125 N.$$

Con los esfuerzos y momentos encontrados en los cálculos anteriores es posible obtener el diagrama de esfuerzos y de momentos, los cuales se muestran en las siguientes Ilustraciones, en los que se puede observar el esfuerzo máximo al que está sometida la viga, el momento máximo de flexión y el punto donde éste último se encuentra.



*Ilustración 11. Diagrama de esfuerzos en la base, considerando los elementos en reposo.*

De la Ilustración 11, se sabe que el punto donde se encuentra el momento máximo de flexión es,

$$x = 0.25 m.$$

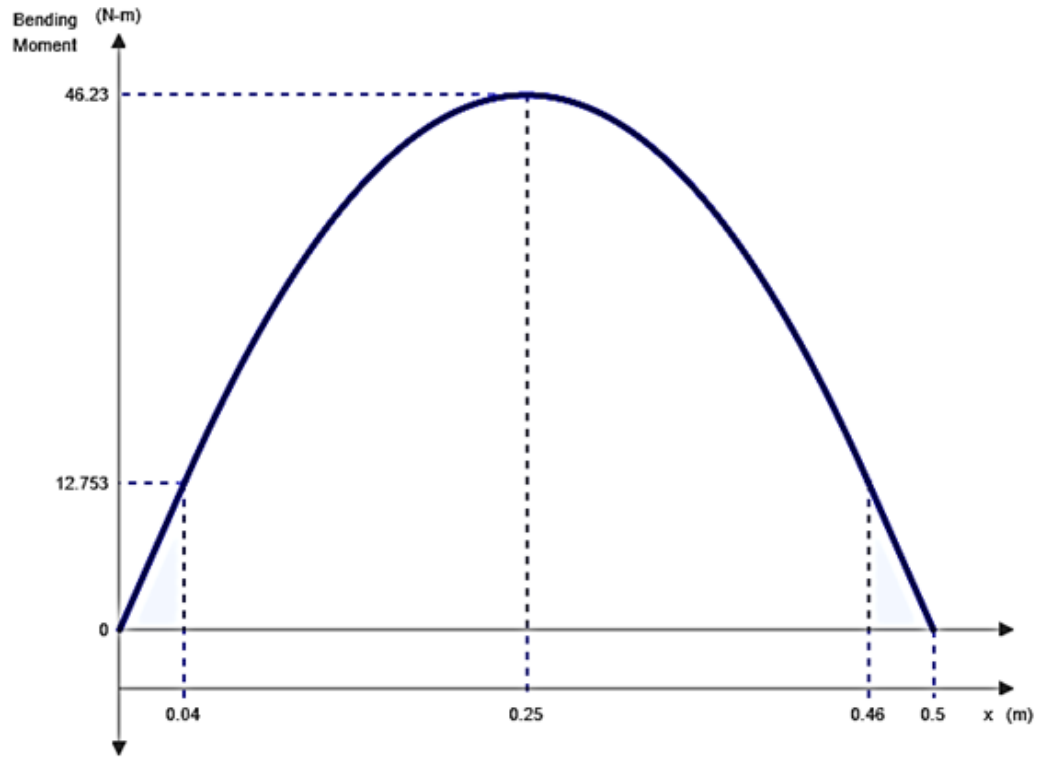


Ilustración 12. Diagrama de momentos en la base, considerando los elementos en reposo.

En el diagrama de momentos que se observa en la Ilustración 12, se puede notar que el momento de flexión máximo es igual a,

$$M_{\text{máx}} = 46.23 \text{ Nm} = 4.7125 \text{ kgm}.$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base, ahora se busca un material comercial que pueda soportar estas fuerzas. Por lo tanto, se propone utilizar PTR calibre 16. La geometría de este material se muestra en la siguiente Ilustración.

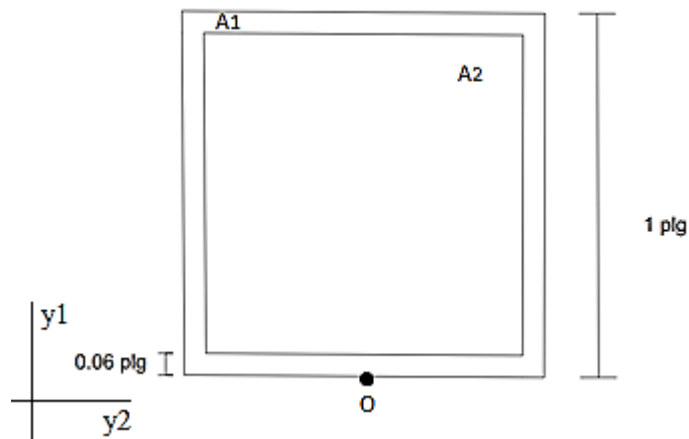


Ilustración 13. Geometría del PTR calibre 16.



Por consideraciones técnicas se necesitan las dimensiones geométricas del PTR calibre 16 en metros, por lo tanto, se realiza la conversión de unidades del Sistema Inglés al Sistema Internacional de Unidades,

$$1 \text{ plg} \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.0254 \text{ m}$$

$$0.06 \text{ plg} \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 1.524 * 10^{-3} \text{ m}.$$

Como la geometría del PTR calibre 16 es simétrica, se considera un sistema cartesiano de coordenadas imaginario, con origen (0,0) en el punto O de la Ilustración 13. Por lo cual es posible calcular el centroide  $\bar{Y}$  de la siguiente manera,

$$\bar{Y} = \frac{y_1 A_1 - y_2 A_2}{A_1 - A_2}$$

$$A_1 = (0.0254 \text{ m})^2 = 6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$y_1 = \frac{0.0254 \text{ m}}{2} = 0.0127 \text{ m}$$

$$A_2 = (0.0254 \text{ m} - 1.524 * 10^{-3} \text{ m})^2 = 5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$y_2 = \frac{0.0254 \text{ m}}{2} = 0.0127 \text{ m},$$

contando con los elementos para calcular  $\bar{Y}$ , se tiene,

$$\bar{Y} = \frac{(0.0127 \text{ m})(6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2) - (0.0127 \text{ m})(5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2)}{6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2 - 5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.0127 \text{ m}.$$

Una vez teniendo el cálculo del centroide, se procede a calcular el momento de inercia del material a utilizar, esto se realiza de la siguiente manera,

$$I_{x'-x'} = \sum (I + Ady^2)$$

$$I_1 = \frac{1}{12} (0.0254 \text{ m})(0.0254 \text{ m})^3 = 3.4686 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} (0.0223 \text{ m})(0.0223 \text{ m})^3 = 2.0608 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_{x'-x'} = I_1 - I_2 = (3.4686 * 10^{-8} \text{ m}^4) - (2.0608 * 10^{-8} \text{ m}^4),$$

obteniendo que el momento de inercia es,

$$I_{x'-x'} = 1.4078 * 10^{-8} \text{ m}^4.$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base y retomando los valores anteriormente calculados del centroide y momento de inercia, el esfuerzo de flexión se obtiene con la siguiente ecuación,

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}} * \bar{Y}}{I_{x'-x'}} \dots \dots \dots (1),$$

por lo tanto,

$$\sigma = \frac{(4.7125 \text{ kg} * \text{m})(0.0127 \text{ m})}{1.4078 * 10^{-8} \text{ m}^4} = 4251225.316 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma = 425.1225 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Como último paso para verificar si el material seleccionado es adecuado para este uso, con el esfuerzo de flexión calculado anteriormente, la resistencia a la fluencia y resistencia máxima del PTR calibre 16, obtenido en tablas de materiales (Castillo, 2008), se calcula el factor de seguridad con la siguiente ecuación,

$$F.S. = \frac{\text{resistencia a la fluencia/resistencia máxima}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{R_f \text{ ó } R_{\text{máx}}}{\sigma} \dots \dots \dots (2).$$

Resistencia a la fluencia según tablas,

$$R_f = 1420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Resistencia máxima según tablas,

$$R_{\text{máx}} = 2800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}.$$

Por lo tanto,

$$F.S.1 = \frac{1420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{425.1225 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 3.34$$

$$F.S.2 = \frac{2800 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{425.1225 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 6.5863.$$

Considerando que la máquina tendrá movimiento de elevación, cuando los productos cárnicos sean sacados de la tina, se considera un peso extra debido a esto, por lo tanto, el peso total se modifica. En la tabla 2 se pueden observar las cargas que actúan sobre la base, considerando que algunos elementos ahora se encuentran en movimiento de elevación.

Tabla 2. Cargas que actúan sobre la base, considerando los elementos en movimiento de elevación.

Cargas Estáticas		Cargas Dinámicas	
	Peso (Kg)		Peso (Kg)
Agua	20	Producto Cárnico	24
Tina	10	Charola	10
Total	30		34

Donde se consideran las cargas dinámicas en los extremos de la viga al realizarse el movimiento,

$$34kg \left( \frac{9.81 m}{s^2} \right) = 333.54 N.$$

Las cargas estáticas se encuentran distribuidas en 0.42 m ejerciendo una fuerza sobre la base, por lo tanto, para conocer el valor de la carga distribuida (Cd) se realiza lo siguiente,

$$Cd = \frac{294.3 N}{0.42 m} = 700.71 \frac{N}{m}.$$

Una vez más, considerando la base como una viga de longitud de 0.5 m, y una carga distribuida que actúa sobre ella se puede hacer un análisis de esfuerzos (Rodríguez, 2008). Lo cual se puede apreciar a continuación,

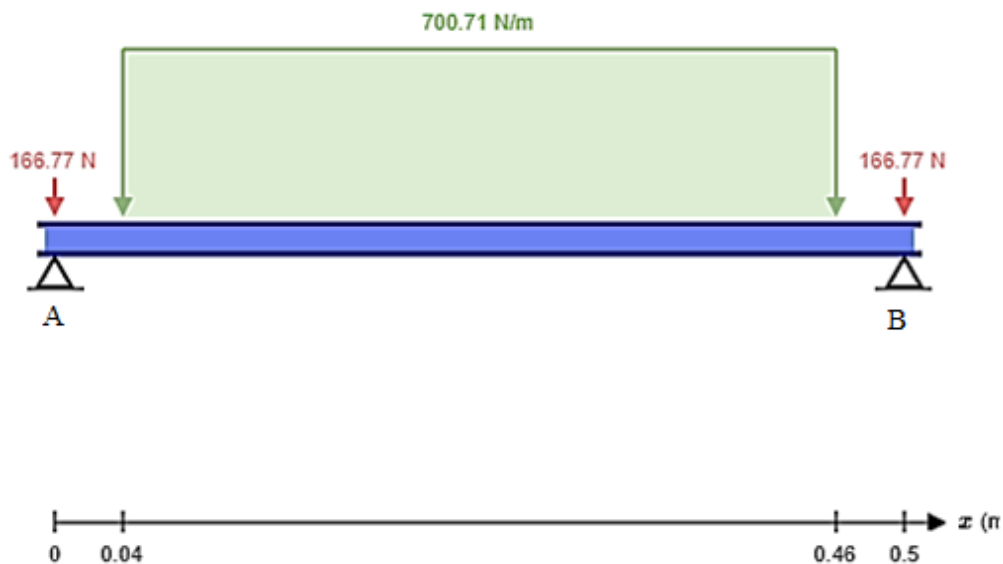


Ilustración 14. D.C.L. de esfuerzos (estáticos y dinámicos) sobre la base.

De la Ilustración 14 se puede observar que la carga distribuida se encuentra desde el punto 0.04 m hasta 0.46 m, por lo tanto, esta carga distribuida se toma como una carga puntual y se obtiene de la siguiente manera,

$$700.71 \frac{N}{m} (0.46 - 0.04)m = 294.29 N.$$

Realizando la sumatoria de fuerzas en Y, se obtiene la fuerza cortante V1,

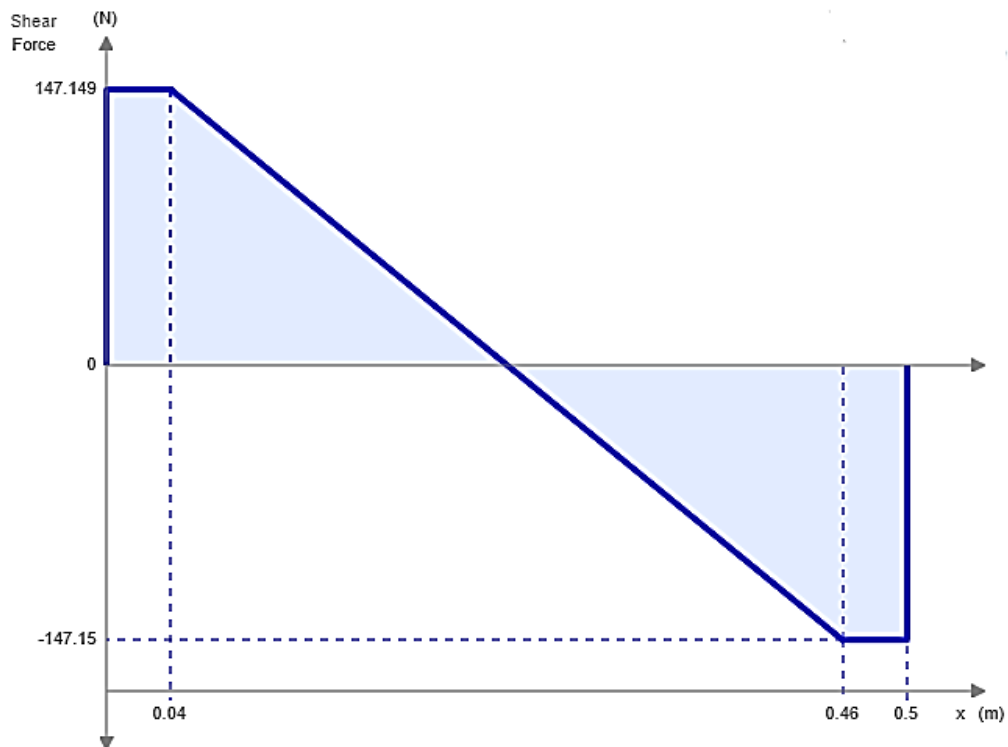
$$V1 = 147.1491 N - 294.29 \therefore V1 = -147.1491 N.$$

Y el momento M1 respecto al punto A, se obtiene por medio de los siguientes cálculos,

$$M1 = 147.1491x N - 294.29 N (x - 0.25 m)$$

$$M1 = -147.1491x + 73.57.$$

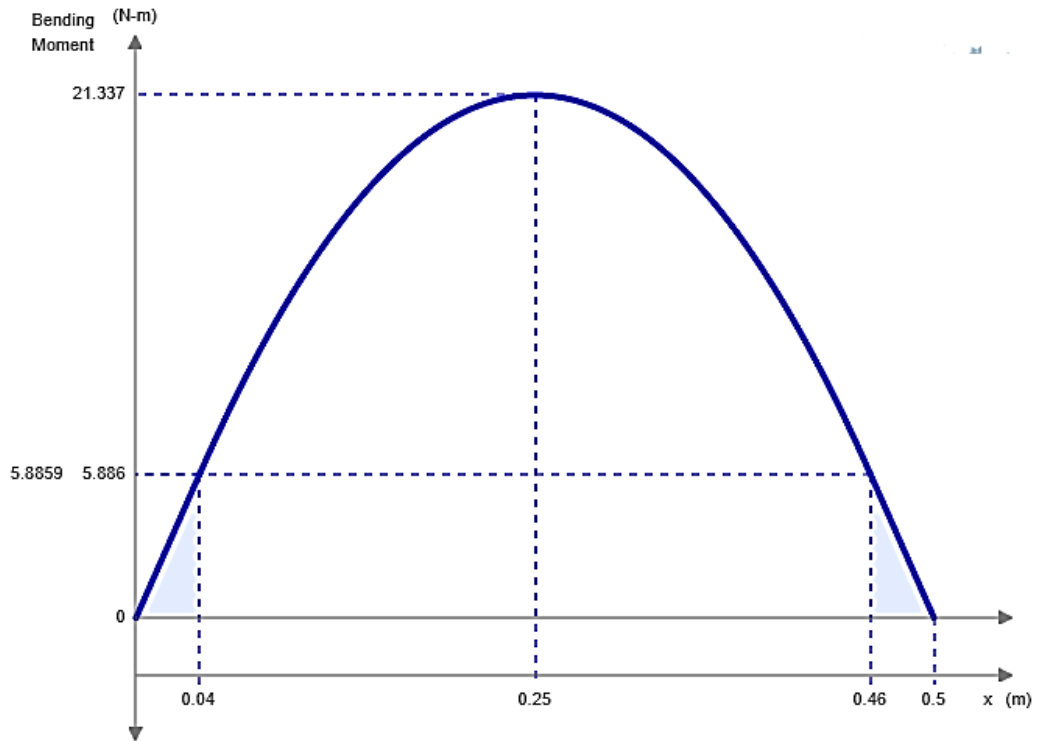
Con los esfuerzos y momentos encontrados en los cálculos anteriores es posible obtener el diagrama de esfuerzos y de momentos en las siguientes Ilustraciones, en las que se puede observar el esfuerzo máximo al que está sometida la viga, el momento máximo de flexión y el punto donde éste último se encuentra.



*Ilustración 15. Diagrama de esfuerzos en la base, considerando los elementos en movimiento de elevación.*

De la Ilustración 15, se sabe que el punto donde se encuentra el momento máximo de flexión es,

$$x = 0.25 m.$$



*Ilustración 16. Diagrama de momentos en la base, considerando los elementos en movimiento de elevación.*

En el diagrama de momentos que se observa en la Ilustración 16, se puede notar que el momento de flexión máximo es igual a,

$$M1_{m\acute{a}x} = 21.337 \text{ N} * m = 2.175 \text{ kg} * m.$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base y retomando los valores anteriormente calculados del centroide y momento de inercia, se obtiene a través de la ecuación 1 el esfuerzo de flexión.

Por lo tanto,

$$\sigma_1 = \frac{(2.175 \text{ kg} * m)(0.0127 \text{ m})}{1.4078 * 10^{-8} \text{ m}^4} = 1962103.992 \text{ kg/m}^2$$

$$\sigma_1 = 196.2103 \text{ kg/cm}^2.$$

Como último paso para verificar si el material seleccionado es adecuado para este uso, con el esfuerzo de flexión calculado anteriormente y la resistencia del PTR calibre 16; obtenido en tablas de materiales, se calcula el factor de seguridad con la ecuación 2. Por lo tanto, el factor de seguridad de acuerdo a la resistencia a la fluencia del material elegido es,

$$F.S. 1 = \frac{1420 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{196.2103 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 7.2.$$

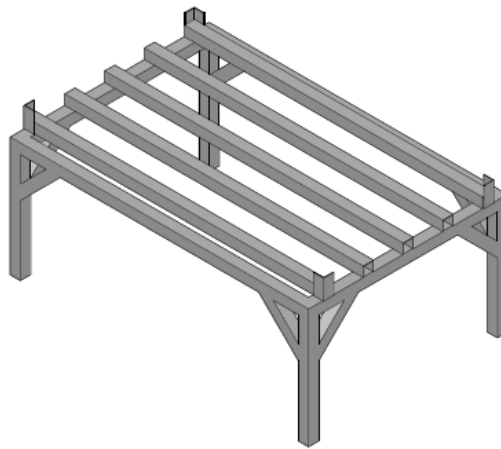


El factor de seguridad de acuerdo a la resistencia máxima del material elegido es,

$$F.S.2 = \frac{2800 \frac{kg}{cm^2}}{196.2103 \frac{kg}{cm^2}} = 14.27.$$

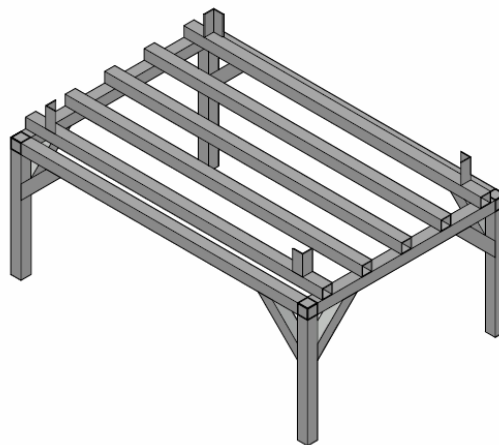
Se concluye que el PTR calibre 16 elegido es el correcto, ya que como se pueden observar, los factores de seguridad son muy buenos para ambos casos. Por lo tanto, se soportan todos los esfuerzos que actúan sobre la base de manera correcta.

Dados estos resultados se modifica el prototipo de la base considerando el calibre elegido, el diseño se muestra en la siguiente Ilustración.



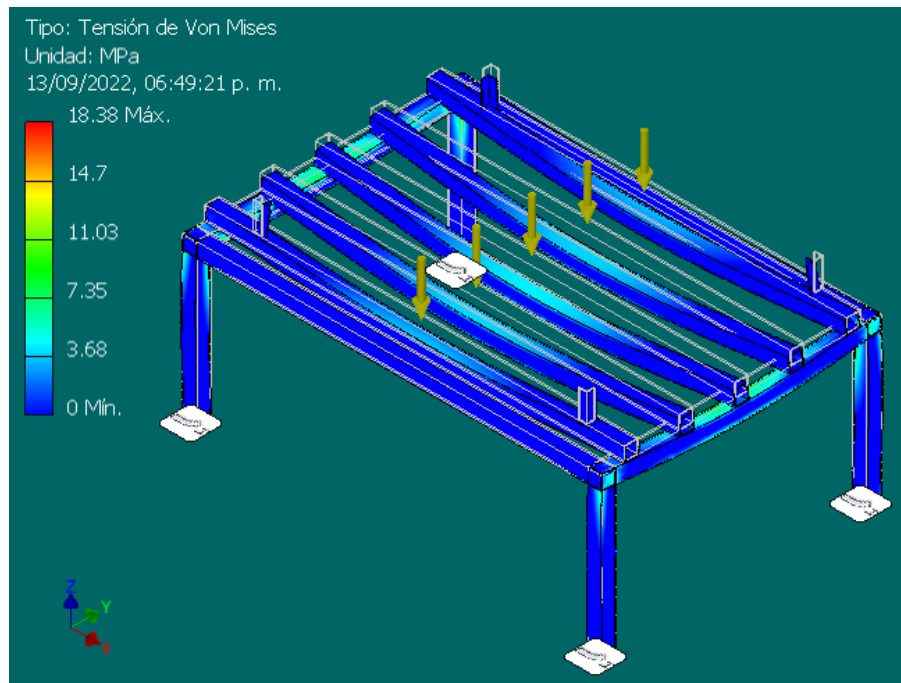
*Ilustración 17. Diseño en CAD del prototipo base 2.*

Por último, al realizar el ensamble de la base con el diseño de la tina mostrado en la Ilustración 8, se ajustan los soportes para que, como detalle de seguridad, la tina quede precisa a la distancia de los soportes, las modificaciones se muestran a continuación,

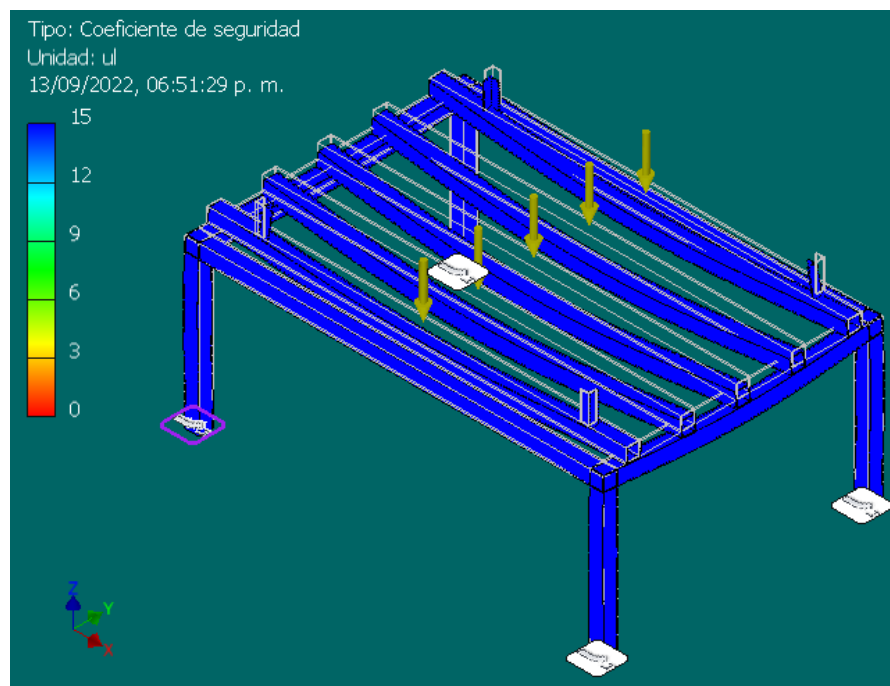


*Ilustración 18. Diseño en CAD del prototipo base final.*

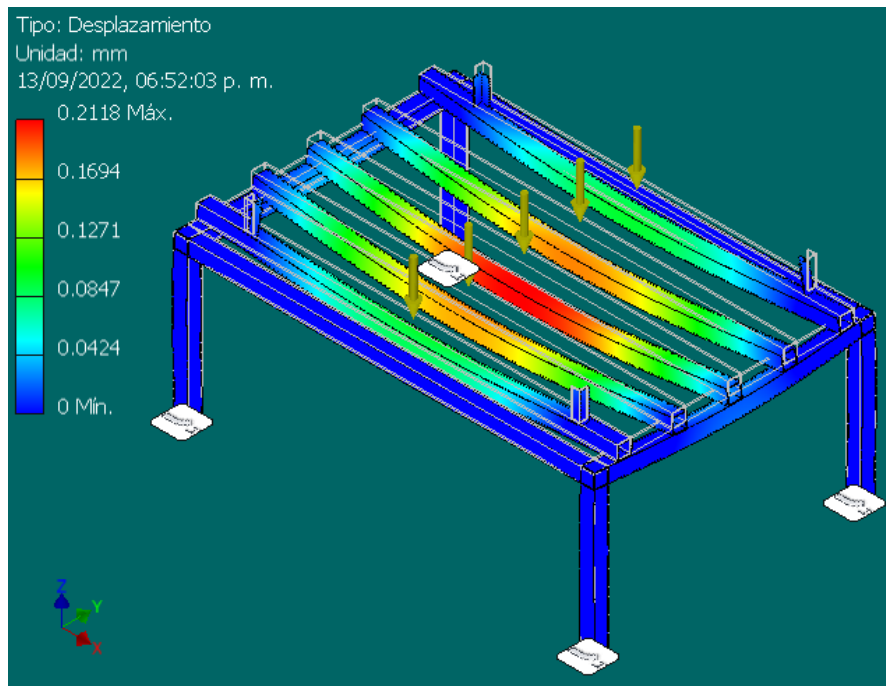
Este modelo se diseñó en el software de diseño mecánico CAD 3D *Inventor*, de la familia *Autodesk*. Para corroborar los cálculos realizados de manera analítica se corrieron simulaciones de esfuerzos por elemento finito. En las Ilustraciones 17, 18 y 19 se muestran los resultados obtenidos tales como la tensión de Von Mises, el coeficiente de seguridad y el desplazamiento.



*Ilustración 19. Tensión de Von Mises.*



*Ilustración 20. Coeficiente de seguridad.*

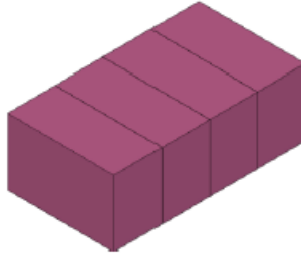


*Ilustración 21. Análisis de desplazamiento.*

Como se puede observar en la Ilustración 20, el coeficiente de seguridad en toda la estructura tiene un valor de 15, lo cual, concuerda con los cálculos realizados de forma analítica. Para consultar más detalles del diseño final y del material ver Anexo 1.

### 4.3 Diseño de charola.

Considerando que la charola contiene los trozos de carne, y cada trozo de jamón tiene dimensiones de 13 cm de ancho, 29 cm de largo y 18 cm de alto, se busca el mejor acomodo para aprovechar adecuadamente el espacio que se tiene dentro de la tina. Contemplando la masa de cada uno, la cual es de 6 kg, la masa que carga la charola es de 24 kg.

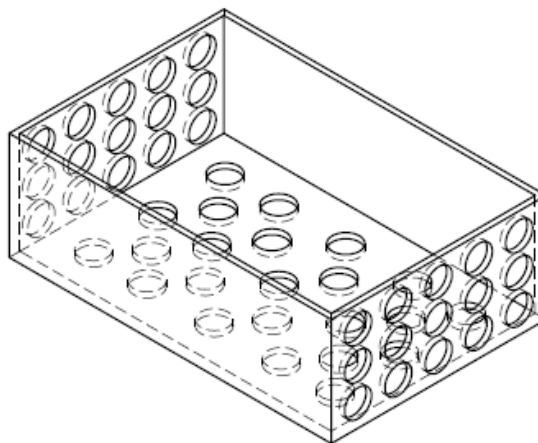


*Ilustración 22. Representación física del producto cárnico.*

Se realizaron dos prototipos de charola con materiales y diseños distintos, para ambos casos se consideraron materiales de grado alimenticio.

#### 4.3.1 Charola placa INOX 304.

El primer diseño se basó solamente en las medidas de la tina, buscando un material que cumpliera las normas alimenticias y que fuera inoxidable, el diseño se muestra en la siguiente Ilustración.



*Ilustración 23. Diseño CAD de la charola.*

Los cálculos realizados para este diseño toman en cuenta el caudal que se necesita desalojar, en el tiempo y distancia del recorrido que debe realizar la charola al ser elevada por el mecanismo de la máquina y lograr desechar el agua de una forma adecuada de la charola.

Con los datos de caudal y velocidad se puede obtener una idea del área que necesita la estructura para desechar el agua en el tiempo y la distancia recorrida,

$$A = \frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}} = \frac{2.97 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{seg}}{0.0678 \text{ m}/\text{seg}} = 0.0438 \text{ m}^2.$$

Si se considera hacer círculos con un radio de 25 mm, el área de este círculo en metros es de 0.0019m<sup>2</sup>. Por lo tanto, se obtiene que la cantidad mínima de cavidades necesarias para que la charola este vacía en el tiempo de recorrido de la misma. Teniendo en consideración esto, se realizan los cálculos del caudal real de acuerdo a las cavidades y su forma.

Para saber el caudal o flujo volumétrico real que tiene un solo orificio de los propuestos se utiliza la siguiente ecuación (Kurt Gieck, 2007),

$$Q_1 = \frac{2}{3} \epsilon b \sqrt{2g} \left( H_2^{\frac{3}{2}} - H_1^{\frac{3}{2}} \right) \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

$H_1$  – es la distancia de su punto más alto, al extremo de la base

$H_2$  – es la distancia de su punto más bajo, al extremo de la base

$b$  – es el ancho del orificio, que en este caso sería su diametro

$g$  – es la gravedad, con un valor de  $9.81 \frac{m}{s^2}$

$\epsilon$  – es el coeficiente de contracción,

que para bordes redondeados tiene un valor de 0.97

Se realizan los cálculos para una de sus caras, y como se aprecia en la siguiente Ilustración las cavidades 1, 2 y 3 están a diferente altura por lo que se tiene un flujo volumétrico real distinto en cada uno. Se comienza con la cavidad más alta (Cavidad 1) tomando las distancias  $H_1$  y  $H_2$ , y su ancho. Utilizando la ecuación 3 se hace el cálculo de flujo volumétrico real para las cavidades 2 y 3,

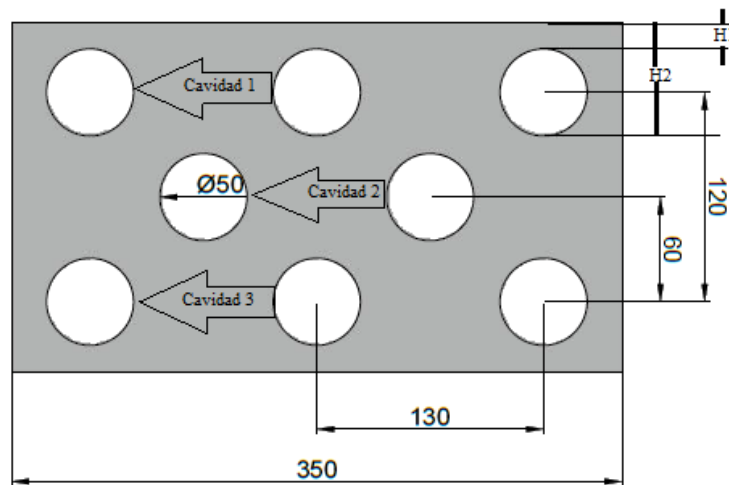


Ilustración 24. Cara lateral de la charola.

$$Q_1 = 2.11 \times 10^{-3} m^3/s$$

$$Q_2 = 3.38 \times 10^{-3} m^3/s$$

$$Q3 = 4.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

En la Ilustración 24 se puede ver la cantidad de cavidades que hay a la misma altura, por lo tanto, el flujo volumétrico total de las cavidades a la misma altura es,

$$Q1 \text{ total} = Q1 (3) = 2.11 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} (3) = 6.33 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q2 \text{ total} = Q2 (2) = 3.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} (2) = 6.76 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q3 \text{ total} = Q3 (3) = 4.29 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} (3) = 0.0128 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Ahora se calcula el caudal de las cavidades de la base usando la siguiente ecuación

$$Q4 = \phi \epsilon A \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

*A* – es el area del orificio

*H* – es la altura de la charola

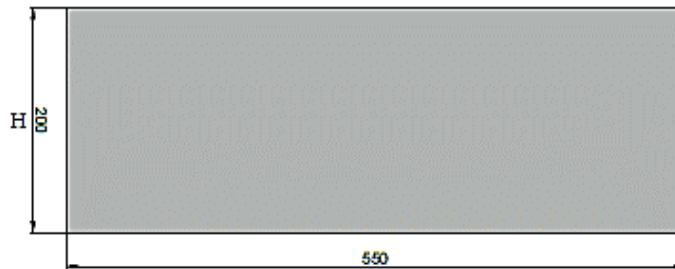
*g* – es la gravedad, con un valor de 9.81 m/s<sup>2</sup>

*φ* – es el coeficiente de fricción, que para el agua tiene un valor de 0.97

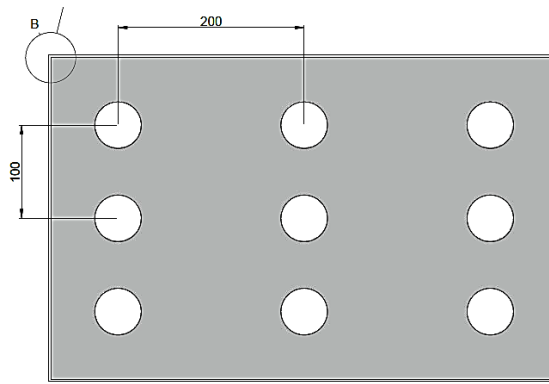
*ε* – es el coeficiente de contracción, con un valor de 0.97

(Kurt Gieck, 2007)

Este cálculo se realiza solo para uno de estos orificios y se multiplica por los nueve que se tienen, como se puede observar en la Ilustración 26.



*Ilustración 25. Cara frontal de la charola.*



*Ilustración 26. Cara inferior de la charola.*

$$Q4 = (0.97)(0.97)(0.025^2 * \pi)\sqrt{2(9.81)(0.2)}$$

$$Q4 = 3.65 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}.$$

Multiplicando este caudal por los 9 orificios que se tienen, el caudal total para la cara inferior es,

$$Q4 \text{ total} = Q4 (9) = 0.0329 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Por lo tanto, el caudal real de la estructura es la suma de los tres primeros caudales totales multiplicado por dos (esto debido a que se tienen dos caras iguales en la estructura), más el último caudal calculado,

$$Q \text{ real} = Q1 \text{ total}(2) + Q2 \text{ total}(2) + Q3 \text{ total}(2) + Q4 \text{ total} = 0.08468 \text{ m}^3/\text{s}.$$

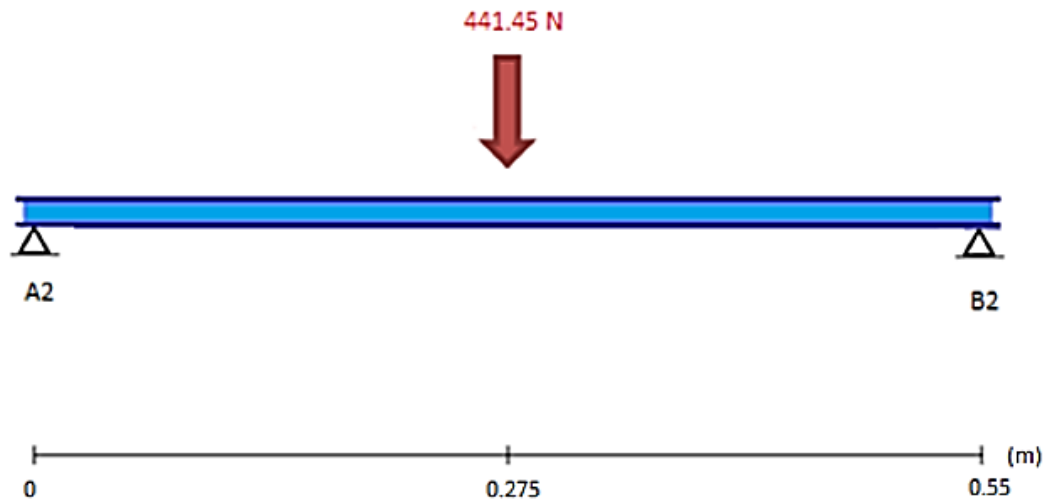
Dado los resultados obtenidos se puede concluir que el caudal real es eficiente para desalojar el agua de la charola en el tiempo debido.

El peso que soporta la estructura es el peso del agua más el peso de la carne. De los cálculos anteriores se sabe que el volumen de agua que puede contener la charola es de  $0.020856 \text{ m}^3$  por lo que el peso es de 20.856 kg, sumando a esto el peso de la carne (6 Kg), multiplicado por los 4 trozos de carne que entran en ella, da un peso total a soportar de 44.856 kg. Por consideraciones técnicas se ajusta a 45 kg, esta masa debido a la gravedad ( $g=9.81 \text{ m/s}^2$ ) ejerce una fuerza la cual es calculada,

$$F = (45 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2) = 441.45 \text{ N}.$$

Si se considera la placa inferior del diseño de la charola como una viga, y la fuerza antes calculada como una carga puntual en el centro de esta como se muestra en la Ilustración 27, se obtienen las fuerzas que actúan sobre ella y el esfuerzo de flexión.





*Ilustración 27. DCL de esfuerzos sobre la charola.*

De la Ilustración 27 se puede notar que hay una carga puntual en 0.275 m, entonces el valor de la fuerza cortante  $V_2$ , al hacer la sumatoria de fuerzas en Y, varía de acuerdo a,

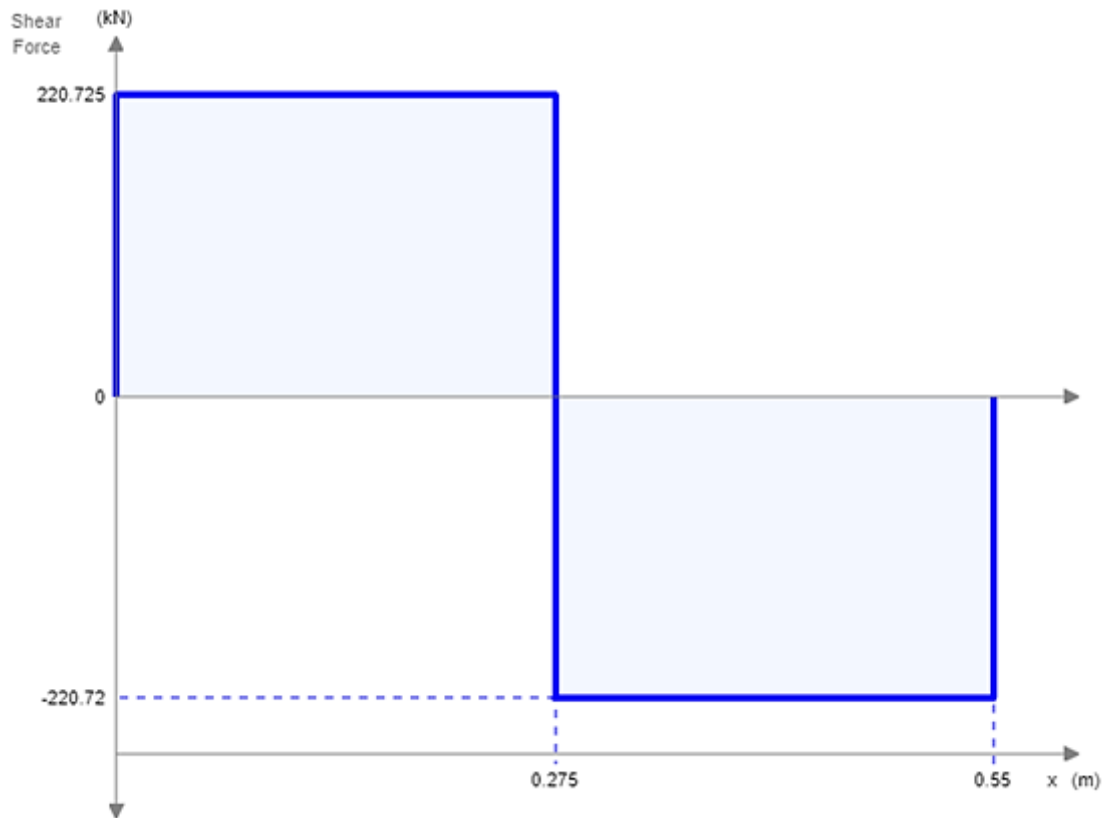
$$V_2 = 220.725 \text{ N} - 441.45 \text{ N} = 220.725 \text{ N} \downarrow.$$

De acuerdo a la sección, el momento  $M_2$  respecto al punto A2, se calcula de la siguiente manera,

$$M_2 = 220.725x - 440.45(x - 0.275) = 220.275x - 440.45x + 121.1237$$

$$M_2 = -220.725x + 121.1237.$$

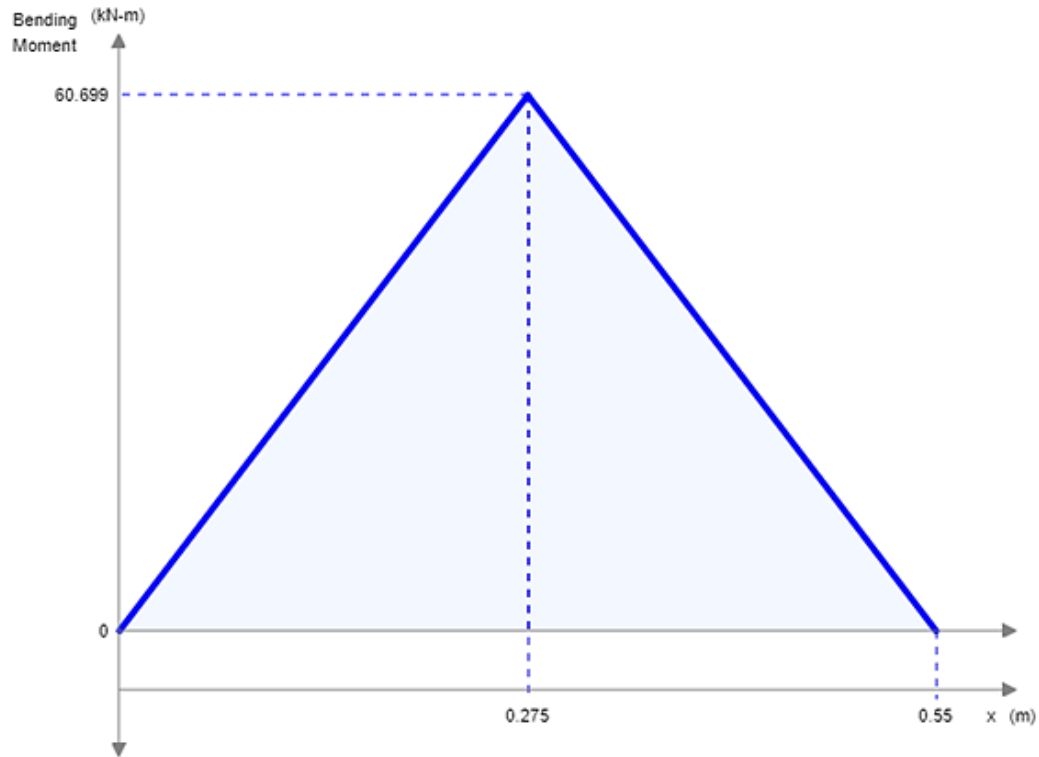
Con los esfuerzos y momentos encontrados en los cálculos anteriores es posible obtener el diagrama de esfuerzos y de momentos, los cuales se muestran en las siguientes Ilustraciones, en los que se puede observar el esfuerzo máximo al que esta sometida la viga, el momento máximo de flexión y el punto donde este último se encuentra.



*Ilustración 28. Diagrama de fuerzas sobre la charola de placa.*

De la Ilustración 28, se sabe que el punto donde se encuentra el momento máximo de flexión es,

$$x = 0.25 \text{ m.}$$



*Ilustración 29. Diagrama de momentos, charola placa.*

En el diagrama de momentos que se observa en la Ilustración 29, se puede notar que el momento de flexión máximo es igual a,

$$M_{max} = 60.699 \text{ Nm} = 6.1874 \text{ kgm.}$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base se obtiene a través de la ecuación 1 el esfuerzo de flexión, para lo cual antes se requiere hacer el cálculo del centroide y el momento de inercia. Se propone utilizar una placa de acero inoxidable 304 de calibre 14, la cual tiene un espesor de 1.9 mm. Con esto se sabe que el centroide de una placa de este espesor es de,

$$\bar{Y} = 0.095 \text{ cm}$$

Y el momento de inercia de acuerdo al ancho de la estructura que es de 350 mm, el espesor de la placa de 1.9 mm, es de,

$$I = \frac{1}{12} (35 \text{ cm})(0.19 \text{ cm})^3 = 0.0200 \text{ cm}^4,$$

por lo tanto, el esfuerzo de flexión es de,

$$\sigma = \frac{(618.74 \text{ kg} * \text{cm})(0.095 \text{ cm})}{0.02 \text{ cm}^4} = 2939.015 \text{ kg/cm}^2.$$

Y con esto, considerando los datos técnicos del acero respecto a su resistencia máxima y su resistencia a la fluencia, utilizando la ecuación 2 se tiene el siguiente factor de seguridad,

$$F.S.1 = \frac{2100 \text{ kg/cm}^2}{2939.015 \text{ kg/cm}^2} = 0.71,$$

respecto a su resistencia máxima su factor de seguridad es de,

$$F.S.2 = \frac{5200 \text{ kg/cm}^2}{2939.015 \text{ kg/cm}^2} = 1.76.$$

Como se puede observar los factores de seguridad no son ideales para los esfuerzos a los que será sometida la charola, por lo que se debe aumentar el calibre de la placa antes propuesta.

Para un calibre 12 se tiene un espesor de 2.66 mm. Por lo que el centroide igual a,

$$\bar{Y} = 0.133 \text{ cm},$$

y el momento de inercia,

$$I = \frac{1}{12} (35 \text{ cm})(0.266 \text{ cm})^3 = 0.0548 \text{ cm}^4.$$

Por lo tanto, utilizando la ecuación 1 el esfuerzo de flexión es de,

$$\sigma = \frac{(618.74 \text{ kg} * \text{cm})(0.133 \text{ cm})}{0.0548 \text{ cm}^4} = 1501.68 \text{ kg/cm}^2$$

Y con esto, utilizando la ecuación 2 y considerando los datos técnicos del acero respecto a su resistencia máxima y su resistencia a la fluencia se tiene el siguiente factor de seguridad,

$$FS = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{2100 \text{ kg/cm}^2}{1501.68 \text{ kg/cm}^2} = 1.39,$$

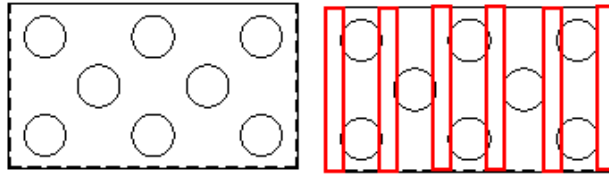
Respecto a su resistencia máxima su factor de seguridad es,

$$FS = \frac{\text{resistencia máxima}}{\text{esfuerzo de trabajo}} = \frac{5200 \text{ kg/cm}^2}{1501.68 \text{ kg/cm}^2} = 3.46.$$

Entonces, el calibre que cumple con las condiciones de seguridad y es el adecuado para los esfuerzos a los que será sometido es el calibre 12.

En esta sección se realizan los cálculos de tensión a las que están sometidas las paredes de la charola; una charola rectangular como esta consta de dos pares de paredes iguales, la pared más angosta es la que genera más interés en su análisis porque es la parte más débil de la estructura debido a dos puntos, el primero; que es la de menor área y el segundo; que es la pared en la que se encuentran las cavidades como se muestra en la siguiente Ilustración.

Si se observa la estructura, se pueden ver seis secciones entre las cavidades y a las orillas de las mismas, estas secciones tienen la misma área por lo que se realiza el cálculo de una sección y se divide el esfuerzo entre las seis secciones.



*Ilustración 30. Cara lateral de la charola y secciones de interés.*

El momento de mayor importancia a analizar en la charola, es cuando ésta va en ascenso, ya que la fuerza aplicada para elevar la carga y el peso de la carga van en sentido opuesto en ese momento como se puede observar en la siguiente Ilustración. Por lo tanto, se hace un análisis de tensión para dicha sección.



*Ilustración 31. Sección de la charola que está sometida a un esfuerzo de tensión.*

Para conocer el esfuerzo al que está sometida esta sección, es necesario conocer el área de la sección resaltada en color rojo en la Ilustración 30, la cual, de acuerdo a las medidas de la Ilustración 24, indica  $50 \text{ cm}^2$ , por lo tanto, el esfuerzo de tensión se calcula,

$$\sigma = \frac{45 \text{ kg}}{50 \text{ cm}^2} = 0.9 \text{ kg/cm}^2.$$

Se debe recordar que se tienen seis secciones iguales, por lo tanto, el esfuerzo calculado está dividido entre todas estas secciones, lo cual da un esfuerzo total en esta pared de,

$$\sigma = \frac{0.9 \text{ kg/cm}^2}{6} = 0.15 \text{ kg/cm}^2.$$

Por lo tanto, el porcentaje de elongación a la ruptura para el esfuerzo calculado es de,

$$\delta = \frac{0.15 \text{ kg/cm}^2}{1.96 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2} * 100 = 0.018\%.$$

Para conocer el esfuerzo en las paredes más amplias, se calcula el área de acuerdo a las medidas de la Ilustración 25, la cual resulta de  $1200 \text{ cm}^2$ , se calcula el esfuerzo de tensión para la misma carga de 45 Kg,

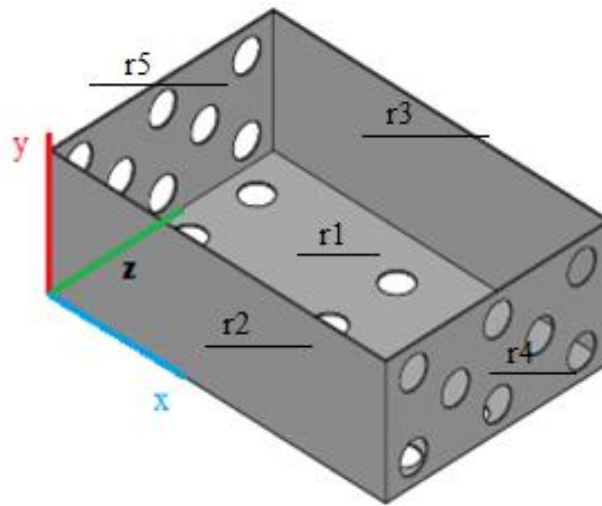
$$\sigma = \frac{45 \text{ kg}}{1200 \text{ cm}^2} = \frac{0.0375 \text{ kg}}{\text{cm}^2}.$$

Dado el esfuerzo de tensión calculado, se calcula su porcentaje de elongación a la ruptura, el cual es,

$$\delta = \frac{0.0375 \text{ kg/cm}^2}{1.96e^6 \text{ kg/cm}^2} * 100 = 0.0047\%.$$

Con los cálculos obtenidos se concluye que el porcentaje de elongación a la ruptura en ambos casos tiene un valor pequeño, por lo que la probabilidad de que la estructura se fracture es muy baja.

El siguiente paso para el diseño y análisis de esta charola es obtener su centro de masa, para esto se traza el marco de referencia en una de las esquinas inferiores como se muestra en la siguiente Ilustración, a partir de éste se realizan los cálculos necesarios,



*Ilustración 32. Referencia de ejes en la estructura.*

$$\vec{r}1 = \left( \frac{Lx}{2}, \frac{Lz}{2}, 0 \right) \text{ Parte inferior}$$

$$\vec{r}2 = \left( \frac{Lx}{2}, 0, \frac{Ly}{2} \right) \text{ Parte izquierda}$$

$$\vec{r}3 = \left( \frac{Lx}{2}, Lz, \frac{Ly}{2} \right) \text{ Parte derecha}$$

$$\vec{r}4 = \left( Lx, \frac{Lz}{2}, \frac{Ly}{2} \right) \text{ Parte delantera}$$

$$\vec{r}5 = \left( 0, \frac{Lz}{2}, \frac{Ly}{2} \right) \text{ Parte trasera.}$$

Esta charola carece de cara superior, así que no es necesario tomarla en cuenta para el análisis. Aplicando la definición de centro de masa, se utiliza la siguiente ecuación para su cálculo,

$$\vec{r}_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \dots \dots \dots (5)$$

$$\vec{r}_{cm} = \frac{m\vec{r}_1 + m\vec{r}_2 + m\vec{r}_3 + m\vec{r}_4 + m\vec{r}_5}{m + m + m + m + m}$$

$$\vec{r}_{cm} = \frac{m}{5m} (\vec{r}_1 + \vec{r}_2 + \vec{r}_3 + \vec{r}_4 + \vec{r}_5)$$

$$\vec{r}_{cm} = \frac{1}{5} \left( \frac{5Lx}{2}, \frac{5Lz}{2}, 2Ly \right)$$

$$\vec{r}_{cm} = \left( \frac{Lx}{2}, \frac{Lz}{2}, \frac{2Ly}{5} \right).$$

Por lo tanto, el centro de masa de acuerdo a la ecuación 5 y al sustituir los valores obtenidos, se puede observar en la siguiente Ilustración, y matemáticamente se obtiene de la forma,

$$\vec{r}_{cm} = \left( \frac{600}{2}, \frac{400}{2}, \frac{2(200)}{5} \right)$$

$$\vec{r}_{cm} = (300, 200, 80).$$

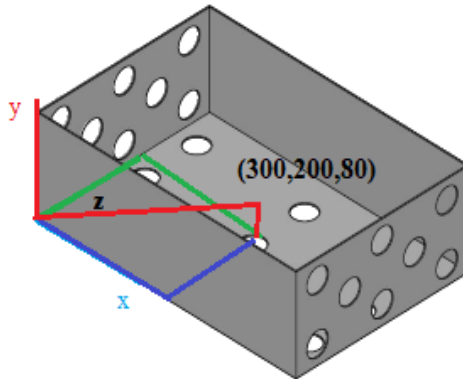
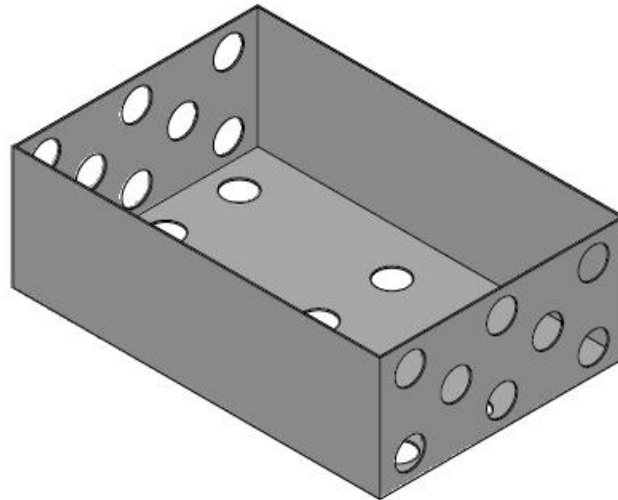


Ilustración 33. Centro de masa en la charola.

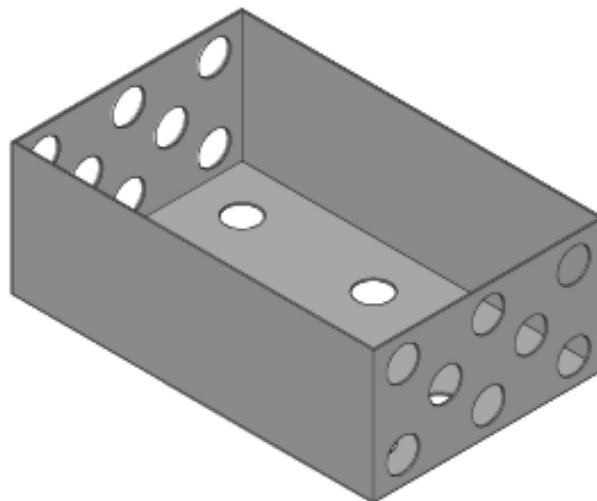
Una vez concluidos los cálculos, se procede a realizar el prototipo en CAD de la charola, la cual tiene medidas de 600 cm x 400 cm x 200 cm (largo, ancho, alto) con el calibre antes mencionado, también se colocan los orificios mínimos necesarios y una distancia adecuada entre ellos.

El prototipo realizado se muestra a continuación.



*Ilustración 34. Prototipo charola placa.*

La charola mostrada en la Ilustración 34, se diseña para ocupar completamente el espacio de la tina mostrada en la Ilustración 8, pero sin tener en consideración los elementos de medición y calentamiento del agua que va dentro de la tina, por este motivo se hizo una reducción en las dimensiones de la charola, quitando 50 mm en el largo y 50 mm en el ancho, quedando el nuevo prototipo de charola con las siguientes medidas 550 cm x 350 cm x 200 cm, como se muestra en la siguiente Ilustración.

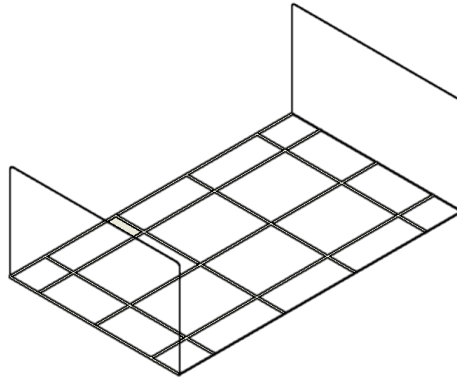


*Ilustración 35. Prototipo charola placa 2.*



#### 4.3.2 Charola barra INOX 304.

Para este diseño se considera utilizar varilla de acero inoxidable 304, de acuerdo a la propuesta del diseño mostrado en la siguiente Ilustración las barras de mayor longitud son las que están en contacto con el producto, y por la parte inferior se tienen varillas que servirán como soportes, debido a esto, al considerar cada varilla superior como una viga de longitud de 0.5 m, se hace un análisis de esfuerzos teniendo las consideraciones antes mencionadas.



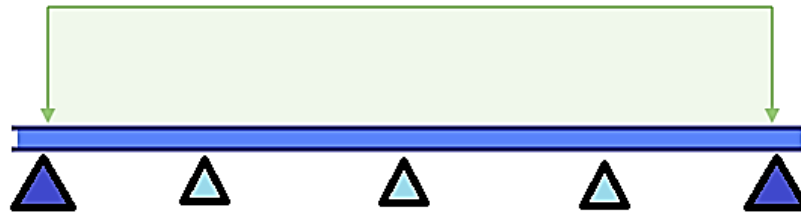
*Ilustración 36. Propuesta de diseño de charola*

Cada varilla soporta un peso de 6 Kg. Si se considera una fuerza de empuje en sentido contrario a los soportes, se puede ver que la carga que debe soportar esta varilla es igual a,

$$6 \text{ kg} \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 58,86 \text{ N}$$

Como se observa en la siguiente Ilustración la carga está distribuida de acuerdo a las dimensiones del producto cárnico. Por lo tanto,

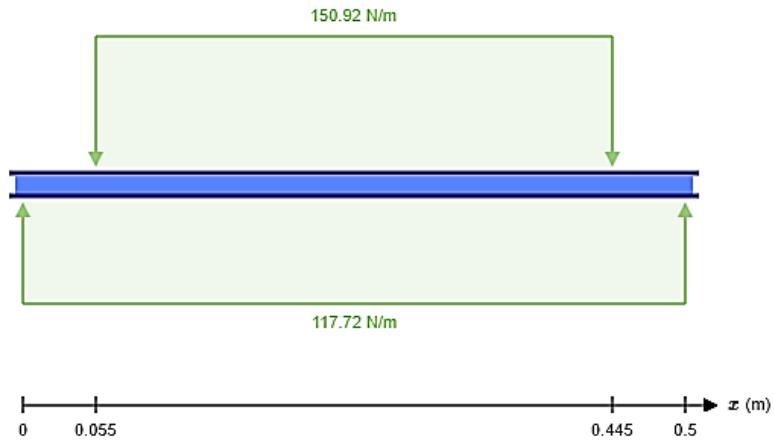
$$\frac{58,86 \text{ N}}{0.39 \text{ m}} = 150,92 \text{ N/m}$$



*Ilustración 37. D. C. L. de esfuerzos sobre una varilla de la charola.*

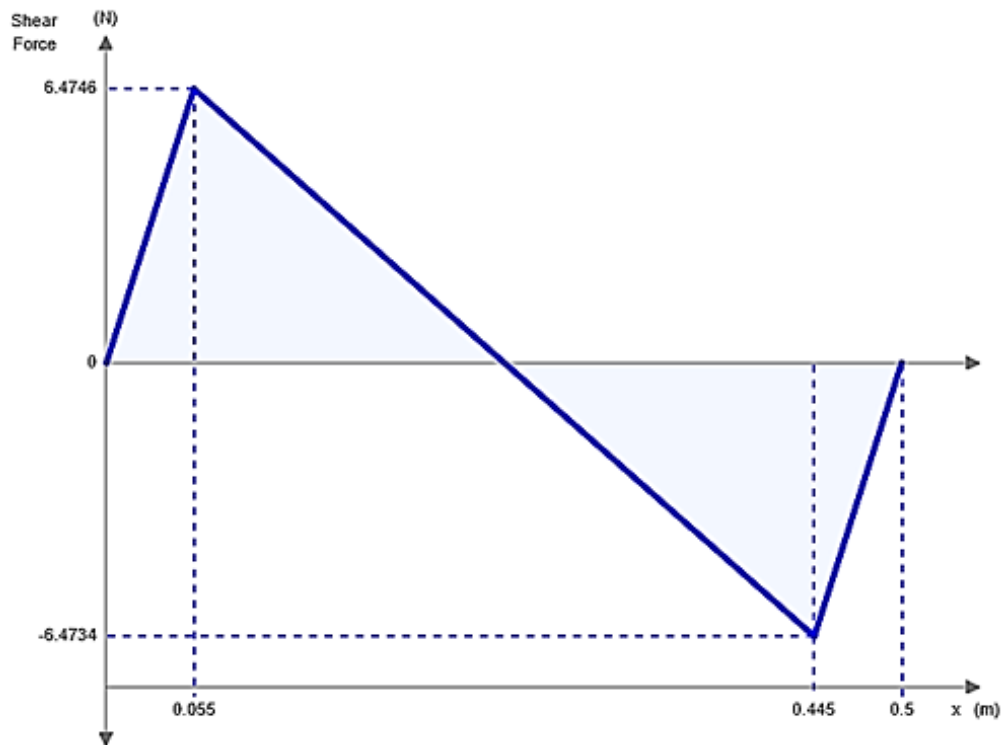
Y debido a que las varillas que actúan como soportes están parcialmente juntas, se puede considerar una carga de igual magnitud (58.86 N) distribuida a lo largo de la varilla (0.5 m) pero en dirección ascendente. Por lo tanto, el diagrama de cuerpo libre para el análisis de esta viga se puede observar en la Ilustración siguiente.

$$\frac{58,86 \text{ N}}{0.5 \text{ m}} = 117,72 \text{ N/m}$$



*Ilustración 38. D.C.L de cargas distribuidas sobre una varilla.*

Con los esfuerzos y momentos encontrados al realizar los cálculos debidos se obtiene el diagrama de esfuerzos y de momentos, los cuales se muestran en las siguientes Ilustraciones.



*Ilustración 39. Diagrama de esfuerzos sobre una varilla de la charola.*

En la Ilustración 39 se puede observar el esfuerzo máximo a la que está sometida esta viga y el punto donde se encuentra el momento máximo de flexión.

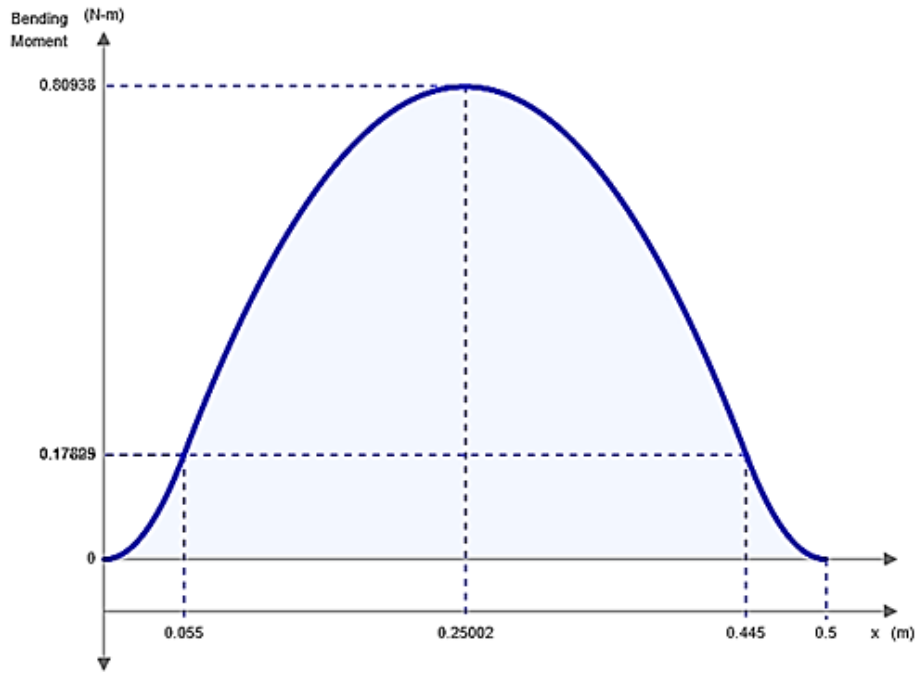


Ilustración 40. Diagrama de momentos sobre una varilla de la charola.

En el diagrama de momentos mostrado en la Ilustración 40, se observa que el momento de flexión máximo es igual a,

$$M_{max} = 0.80938 \text{ Nm.}$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base, se obtiene el esfuerzo de flexión utilizando la ecuación 1, para lo cual, primero se requiere hacer el cálculo del centroide y el momento de inercia. Se propone utilizar una barra de acero inoxidable de 1/4 de pulgada, donde,

$$\frac{1}{4} \text{ pulg} \left( \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ pulg}} \right) = 0.00635 \text{ m.}$$

Momento de inercia ( $I_Y$ ) de un cilindro,

$$I_Y = \frac{\pi d^4}{64}$$

$$I_Y = \frac{\pi(0.00635 \text{ m})^4}{64} =$$

$$I_Y = 79.8113 \times 10^{-12} \text{ m}^4.$$

Centroide ( $\bar{Y}$ ) de un cilindro,

$$\bar{Y} = \frac{L}{2} = \frac{0.00635 \text{ m}}{2}$$

$$\bar{Y} = 3.175 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

Por tanto, haciendo uso de la ecuación 1, tenemos que,

$$\sigma = \frac{(0.80938 \text{ Nm})(3.175 \times 10^{-3} \text{ m})}{79.8113 \times 10^{-12} \text{ m}^4} = 32.19 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}.$$

De acuerdo a la resistencia a la fluencia del material y utilizando la ecuación 2 se realiza el cálculo del factor de seguridad,

$$F.S. = \frac{205,9396 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{32,19 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 6.39.$$

Se puede apreciar que el factor de seguridad es demasiado alto, por lo que la barra de 1/4 de pulgada es excesiva de acuerdo a los esfuerzos a los que se somete, por lo que, se realizan los cálculos para una barra de 1/8 de pulgada, donde,

$$\frac{1}{8} \text{ pulg} \left( \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ pulg}} \right) = 0.003175 \text{ m}.$$

Momento de inercia ( $I_Y$ ),

$$I_Y = \frac{\pi \cdot (0.003175 \text{ m})^4}{64} = 4.9882 \times 10^{-12} \text{ m}^4.$$

Centroide ( $\bar{Y}$ ),

$$\bar{Y} = \frac{0.003175 \text{ m}}{2} = 1.5875 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

Por tanto,

$$\sigma = \frac{(0.80938 \text{ N} \cdot \text{m})(1.5875 \times 10^{-3} \text{ m})}{4.9882 \times 10^{-12} \text{ m}^4} = 94,69 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$F.S. = \frac{205,9396 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{94,69 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 2.17.$$

De acuerdo a este factor de seguridad, se puede concluir que la barra de acero inoxidable de 1/8 de pulgada es ideal para los esfuerzos requeridos.

Para los cálculos de tensión en las barras verticales de la charola, se considera que la carga se divide entre dos, la carga en cada una de las barras es de 6 kg.

$$\sum F_y = 0$$

$$P - 6 \text{ kg} = 0 \rightarrow P = 6 \text{ kg}$$



*Ilustración 41. Esfuerzo de tensión sobre barra vertical.*

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{6 \text{ Kg}}{0.0791 \text{ cm}^2}$$

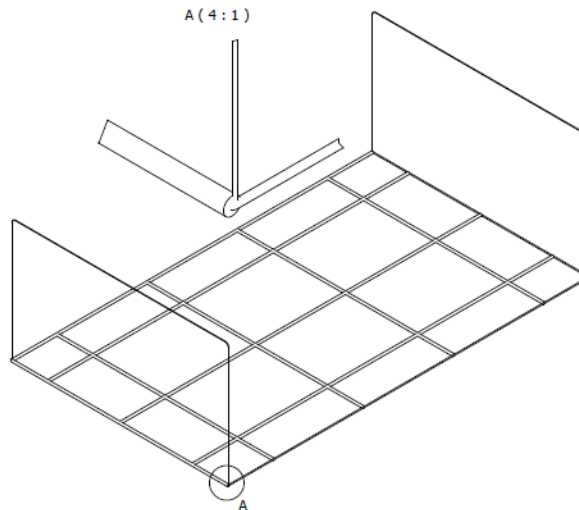
$$\sigma = 75.8533 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\delta = \frac{\sigma \cdot L}{E} = \frac{75.8533 \text{ Kg/cm}^2 (17 \text{ cm})}{1.96 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2}$$

$$\delta = 0.0006 \text{ cm.}$$

De acuerdo con lo anterior, la deformación de la barra de 17 cm es prácticamente cero, por lo que se concluye que soporta adecuadamente la carga.

Basado en los cálculos obtenidos se realiza el prototipo de la charola con medidas exactas 500 mm x 300 mm x 200 mm (largo, ancho, alto), y calibre correcto.



*Ilustración 42. Diseño CAD de Charola de barra de acero inoxidable.*

#### 4.4 Diseño del mecanismo de elevación de la charola.

En esta sección, se presentan los diseños propuestos para elevar la charola para los cuales se consideran las cargas situadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Cargas que debe soportar el sistema de elevación.

	Peso (Kg)
Producto cárnico	24
Charola	10
Total	34

Se tienen dos propuestas de diseño de charola, de acuerdo al material elegido y las dimensiones de cada charola, una pesa 10 kg y otra 4 kg, para los siguientes cálculos se toma en cuenta la más pesada.

##### 4.4.1 Sistema de elevación tipo polipasto.

Para este diseño se toma como referencia una máquina conocida como polipasto, la cual consiste en un juego de poleas que mediante un motor y un cable elevan la carga. Para dar soporte a este juego de poleas, se diseña la estructura presentada en la Ilustración 41, se propone utilizar el mismo material seleccionado para la base (PTR de 1" x 1" con un espesor de 0.06").

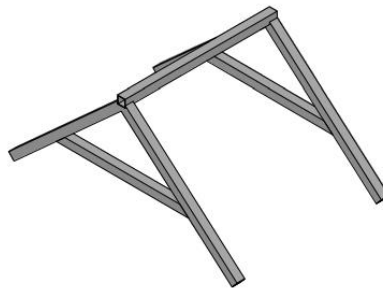


Ilustración 43. Diseño del soporte para el juego de poleas.

Primero, se analiza el esfuerzo de flexión cuando la charola está bajando, por lo que solo se consideran las cargas de la Tabla 3.

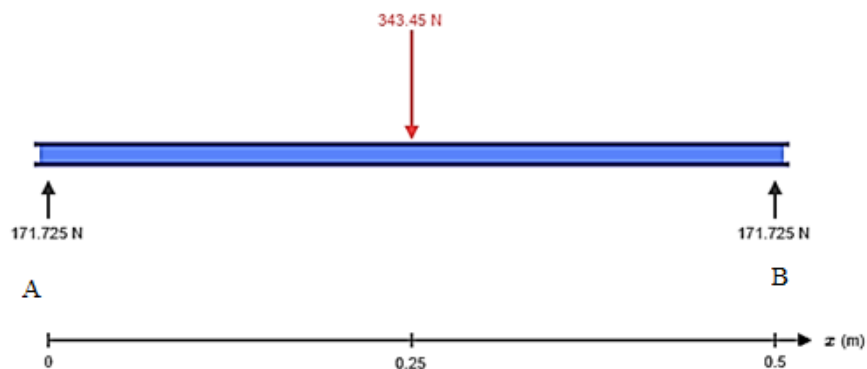


Ilustración 44. D.C.L. de esfuerzos sobre la viga superior de la estructura propuesta.

Al realizar el análisis de esfuerzos para este diagrama, sumando las fuerzas en Y, se obtiene la fuerza cortante V,

$$V = 171.725 \text{ N} - 343.45 \text{ N}$$

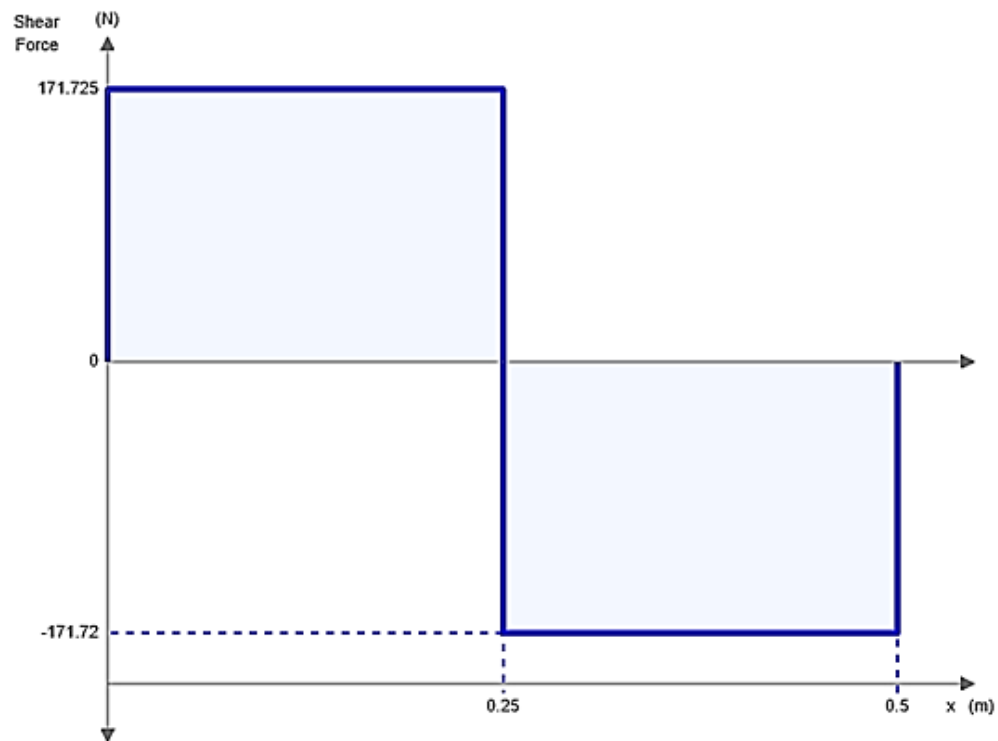
$$V = 171.725 \text{ N} \downarrow,$$

y el momento M, respecto al punto A, se obtiene por medio de los siguientes cálculos,

$$M = 171.725x \text{ N} - 343.45 \text{ N}(x - 0.25 \text{ m})$$

$$M = -171.725x \text{ N} + 85.86 \text{ Nm}.$$

Con los esfuerzos y momentos encontrados en los cálculos anteriores es posible obtener el diagrama de esfuerzos y de momentos, los cuales se pueden observar en las Ilustraciones siguientes.



*Ilustración 45. Diagrama de esfuerzos sobre la viga superior.*

De la Ilustración 45, se sabe que el punto donde se encuentra el momento máximo de flexión es,

$$x = 0.25 \text{ m}.$$

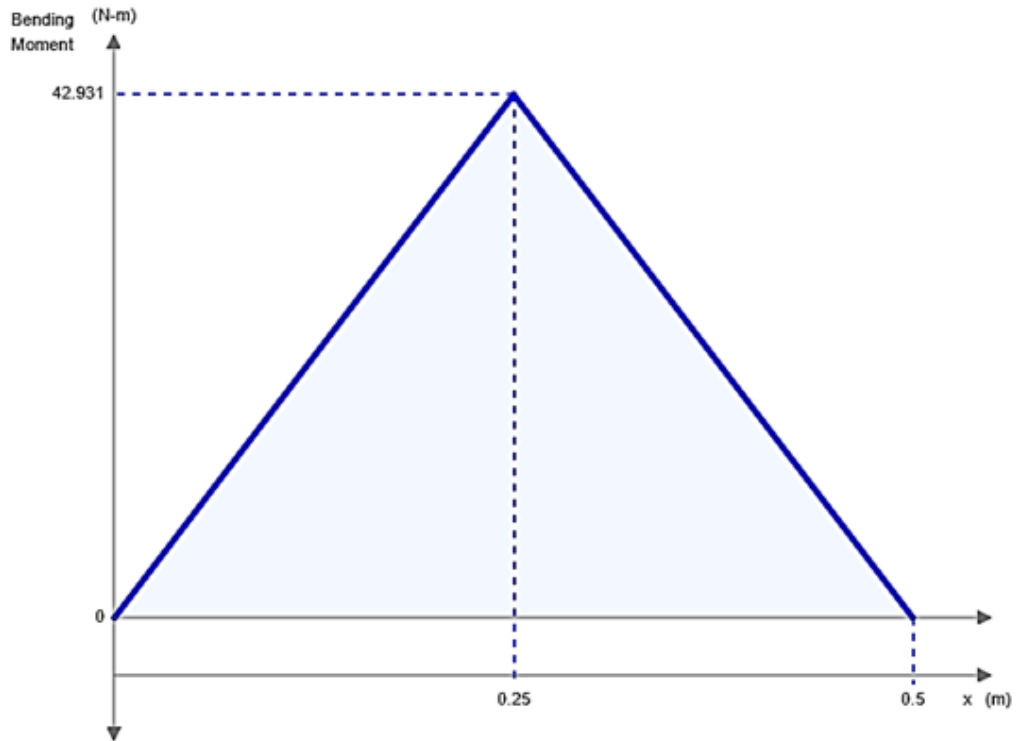


Ilustración 46. Diagrama de momentos sobre la viga superior.

En el diagrama de momentos que se observa en la Ilustración 46, se puede notar que el momento de flexión máximo es igual a,

$$M_{max} = 42.931 \text{ Nm} \text{ ó } 4.37 \text{ kgm.}$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base, se debe corroborar si el material propuesto es el indicado, por lo tanto, se necesita obtener el centroide y el momento de inercia, para lo cual se utiliza la forma y el espesor del material propuesto.

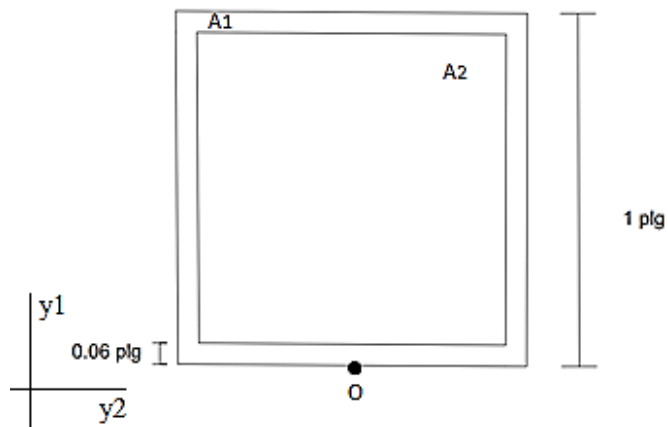


Ilustración 47. Geometría del material propuesto para la estructura del sistema de elevación.



Por consideraciones técnicas se necesitan las dimensiones geométricas del PTR calibre 16 en metros, por lo tanto, se realiza la conversión de unidades del Sistema Inglés al Sistema Internacional de Unidades,

$$1 \text{ plg} \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 0.0254 \text{ m}$$

$$0.06 \text{ plg} \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ plg}} \right) \left( \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right) = 1.524 * 10^{-3} \text{ m}.$$

Como la geometría del PTR calibre 16 es simétrica, se considera un sistema cartesiano de coordenadas imaginario, con origen (0,0) en el punto O de la Ilustración 47. Por lo cual es posible calcular el centroide  $\bar{Y}$  de la siguiente manera,

$$\bar{Y} = \frac{y_1 A_1 - y_2 A_2}{A_1 - A_2}$$

$$A_1 = (0.0254 \text{ m})^2 = 6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$y_1 = \frac{0.0254 \text{ m}}{2} = 0.0127 \text{ m}$$

$$A_2 = (0.0254 \text{ m} - 1.524 * 10^{-3} \text{ m})^2 = 5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$y_2 = \frac{0.0254 \text{ m}}{2} = 0.0127 \text{ m}$$

$$\therefore \bar{Y} = \frac{(0.0127 \text{ m})(6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2) - (0.0127 \text{ m})(5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2)}{6.4516 * 10^{-4} \text{ m}^2 - 5.7006 * 10^{-4} \text{ m}^2} = 0.0127 \text{ m}.$$

Una vez teniendo el cálculo del centroide, se procede a calcular el momento de inercia del material a utilizar, esto se realiza de la siguiente manera,

$$I_{x'-x'} = \sum (I + A d y^2)$$

$$I_1 = \frac{1}{12} (0.0254 \text{ m})(0.0254 \text{ m})^3 = 3.4686 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12} (0.0223 \text{ m})(0.0223 \text{ m})^3 = 2.0608 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

$$I_{x'-x'} = I_1 - I_2 = (3.4686 * 10^{-8} \text{ m}^4) - (2.0608 * 10^{-8} \text{ m}^4)$$

$$\therefore I_{x'-x'} = 1.4078 * 10^{-8} \text{ m}^4.$$

Conociendo los esfuerzos a los que está sometida la base y retomando los valores anteriormente calculados del centroide y momento de inercia, se obtiene a través de la ecuación 1 el esfuerzo de flexión.,

$$\sigma = \frac{4.37 \text{ kgm} \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right) (1.27 \text{ cm})}{1.4 \text{ cm}^4} = 402.16 \text{ kg/cm}^2.$$

El factor de seguridad se calcula de acuerdo a los datos técnicos del acero el cual indica una resistencia a la fluencia de 1420 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia máxima de 2800 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que su factor de seguridad para soportar este peso es,

$$F.S. = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{1420 \text{ kg/cm}^2}{402.16 \text{ kg/cm}^2} = 3.53$$

$$F.S. = \frac{\text{resistencia máxima}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{2800 \text{ kg/cm}^2}{402.16 \text{ kg/cm}^2} = 6.96.$$

El material propuesto es adecuado, pero hay que destacar que una de las propuestas de charola considera la fuerza que ejerce el agua al elevar o bajar el material. Por lo que se deben considerar los esfuerzos a los que se somete.

Para calcular la fuerza que ejerce el agua se necesita el caudal y la velocidad de acuerdo al diseño de esta, los cálculos del caudal real se pueden encontrar en la sección Diseño de charola, subsección Charola placa INOX 304, pero se debe calcular la velocidad de descarga del agua de acuerdo al diseño de la charola.

Para calcular la velocidad de descarga se hace uso de la siguiente ecuación,

$$v = \phi \sqrt{2gH} \dots \dots \dots (6)$$

Donde:

$\phi$  → es el coeficiente de fricción del líquido, que en el caso del agua es de 0.97

$g$  → es la gravedad, con un valor de 9.81 m/s<sup>2</sup>

$H$  → es la altura, que su valor depende de la cavidad a la que se haga referencia

Se tienen dos caras iguales, por lo que se calcula la velocidad de descarga para una de ellas, pero en estas caras hay tres cavidades a diferentes alturas y si tomamos en cuenta la cavidad inferior tendremos que calcular 4 velocidades de descarga distintas y multiplicarlas por la cantidad de cavidades en la misma posición,

$$v1 = 0.97 \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(0.04 \text{ m})} = 0.8593 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v2 = 0.97 \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(0.1 \text{ m})} = 1.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v3 = 0.97 \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(0.16 \text{ m})} = 1.71 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v4 = 0.97 \sqrt{2(9.81 \text{ m/s}^2)(0.2 \text{ m})} = 1.92 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Tomando en cuenta lo antes mencionado, y las velocidades ya calculadas se tiene una velocidad total igual a,

$$Velocidad\ total = (v_1 * 6) + (v_2 * 4) + (v_3 * 6) + (v_4 * 9)$$

$$Velocidad\ total = 38.09 \frac{m}{s}$$

Teniendo la densidad del líquido a utilizar (agua), el caudal y la velocidad total, la fuerza que se genera al momento de descargar el agua se calcula a través de la siguiente ecuación,

$$F_d = \rho \dot{V} v \dots \dots \dots (7)$$

Donde:

$F_d \rightarrow$  es la fuerza de descarga

$\rho \rightarrow$  es la densidad del líquido a utilizar, que en el caso del agua es  $1000\ kg/m^3$

$\dot{V} \rightarrow$  es el flujo volumétrico o gasto

$v \rightarrow$  es velocidad total de descarga

(Kurt Gieck, 2007)

Al sustituir los datos obtenidos, se obtiene,

$$F_d = 1000 \frac{kg}{m^3} \left( 0.08468 \frac{m^3}{s} \right) \left( 38.09 \frac{m}{s} \right)$$

$$F_d = 3225.46\ N$$

Para esta fuerza de descarga, el análisis de esfuerzos a ejecutar es semejante al que se realiza al principio de esta sección, solo varía la carga que ahora es de 3225.46 N, como se muestra en la siguiente Ilustración.

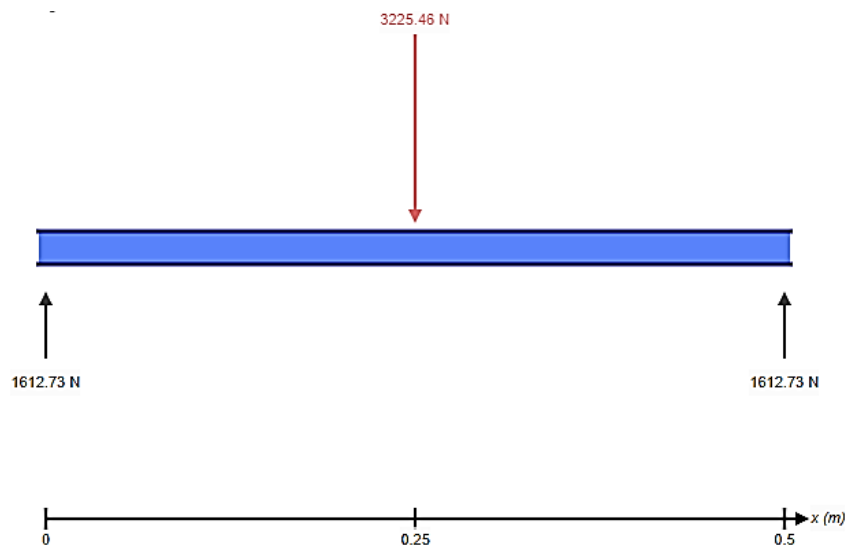


Ilustración 48. DCL para la fuerza de descarga del agua.

Al graficar los esfuerzos se encuentra el momento máximo, ubicado en 0.25 m, con un valor de,

$$M_{max} = 0.40 \text{ kNm},$$

y dado que ya se tiene el centroide y el momento de inercia, solo resta calcular el esfuerzo de flexión,

$$\sigma = \frac{0.40 \text{ kNm} \left( \frac{1000 \text{ N}}{1 \text{ kN}} \right) (0.0127 \text{ m})}{1.4 \times 10^{-8} \text{ m}^4} = 362857142.9 \text{ N/m}^2.$$

Teniendo este esfuerzo, se calcula el factor de seguridad de acuerdo a los datos técnicos del material,

$$F.S. = \frac{\text{resistencia a la fluencia}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{140 \text{ MPa}}{362857142.9 \text{ N/m}^2} = 0.38$$

$$F.S. = \frac{\text{resistencia máxima}}{\text{esfuerzo de trabajo o de flexión}} = \frac{175 \text{ MPa}}{362857142.9 \text{ N/m}^2} = 0.48.$$

Estos factores de seguridad indican que la fuerza que ejerce el agua no es soportada por la viga superior, por lo que se debe buscar una barra con dimensiones distintas, solo sí se opta por el prototipo de charola diseñado con placa, o en su defecto se debe elegir el otro modelo presentado.

#### 4.4.2 Sistema de elevación tipo tijera.

Este sistema propuesto se compone de dos guías laterales y un tornillo sin fin en el centro, el cual va unido a un sistema de elevación tipo tijera tal como se observa en la siguiente Ilustración.



Ilustración 49. Propuesta del sistema de elevación tipo tijera.

Se elige este sistema tipo tijera debido a que es más ágil y cómodo para los fines de este prototipo, por lo que se adquieren los siguientes materiales,

*Tabla 4. Material adquirido para el sistema de elevación.*

Cantidad	Material
1	Husillo de precisión
1	Tuerca para husillo
1	Soporte para husillo
1	Soporte de doble orificio para husillo
2	Guía lineal para cuerpo sobre media luna
2	Chumaceras de media luna



*Ilustración 50. Material adquirido para el sistema de elevación.*

Las características del Husillo se pueden observar en la Tabla 5.

*Tabla 5. Características del husillo.*

	mm
Paso	5
Diámetro	16

De acuerdo a las dimensiones mostradas en la Tabla 5, se calcula el torque requerido para levantar las cargas mostradas en la Tabla 6 y 7. Todo de acuerdo al diseño de charola que se elija.

*Tabla 6. Cargas sobre el sistema de elevación considerando la charola de barra INOX 304.*

	Peso (Kg)
Producto cárnico	24
Agua	20
Charola	10
Total	54

Estas cargas actuando como una fuerza contraria a la elevación del sistema, nos dan una fuerza de,

$$F = 54 \text{ kg} \left( 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) = 529.74 \text{ N}$$

De acuerdo a los cálculos obtenidos de la ecuación 7, la fuerza que genera el agua al momento de la descarga es,

$$F_d = 3225.46 \text{ N}$$

Por lo tanto, las cargas considerando la charola de placa INOX 304 son:

*Tabla 7. Cargas sobre el sistema de elevación considerando la charola de placa INOX 304*

	Cargas (N)
Producto cárnico, Agua, Charola	529.74
Fuerza de descarga	3225.46
Total	3755.2

Para calcular el torque necesario para elevar cualquiera de las cargas antes mencionadas, se utiliza la siguiente ecuación,

$$T = \frac{F(dm)}{2} \times \frac{(p + \pi)(\mu)(dm)}{(\pi)(dm) - (\mu)(p)} \dots \dots \dots (8)$$

Donde;

*F* → es la carga en Newtons

*dm* → es el diámetro medio del tornillo

*p* → es el paso

*μ* → es el coeficiente de rozamiento, con un valor de 0,15

(Kurt Gieck, 2007)

Por lo tanto, de acuerdo a las cargas de la Tabla 6 y a las características del husillo de la Tabla 5, el torque necesario es,

$$T = \frac{529.74 \text{ N}(16 \times 10^{-3} \text{ m})}{2} \times \frac{(5 + \pi)(0,15)(16 \text{ mm})}{(\pi)(16 \text{ mm}) - (0,15)(5)}$$

$$T = 1.07 \text{ Nm.}$$

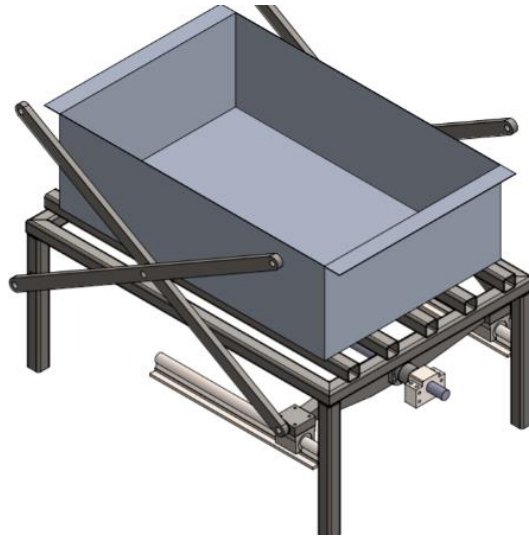
Y de acuerdo a las cargas mostradas en la Tabla 7 y a las mismas características del husillo, el torque requerido es:

$$T = \frac{3755.2 \text{ N}(16 \times 10^{-3} \text{ m})}{2} \times \frac{(5 + \pi)(0,15)(16 \text{ mm})}{(\pi)(16 \text{ mm}) - (0,15)(5)}$$

$$T = 11.85 \text{ Nm.}$$

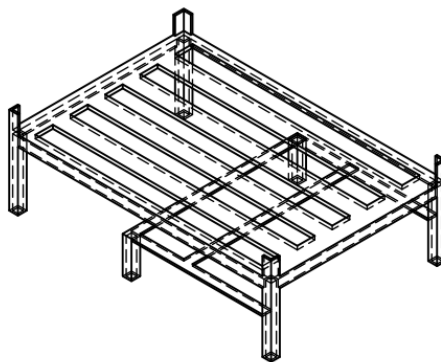
De acuerdo a los torques calculados y al diseño de charola elegido se elige algún motor que cumpla con los parámetros solicitados.

El sistema de elevación propuesto acoplado a la estructura de la base se aprecia en la siguiente Ilustración.



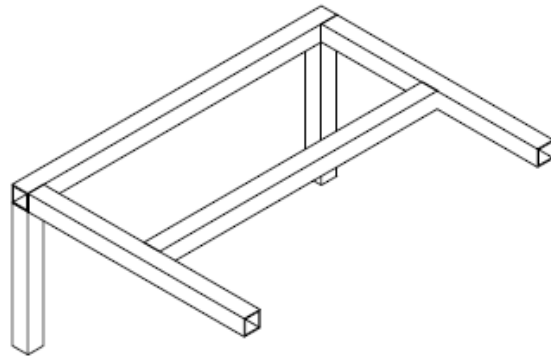
*Ilustración 51. Sistema de elevación acoplado a la base.*

Con base en el ensamble mostrado en la Ilustración 51 de la propuesta de elevación tipo tijera, se propone añadir a la base un soporte para las guías y el husillo, el cual se coloque en la parte inferior de la base, como se muestra a continuación,



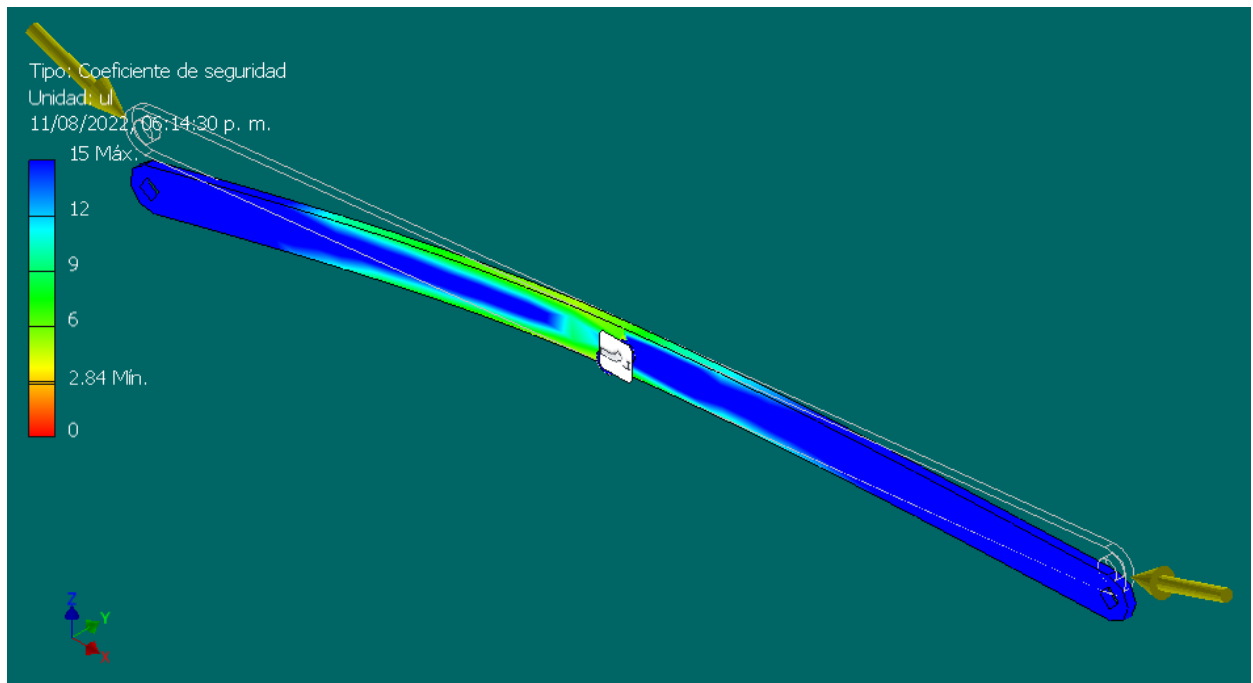
*Ilustración 52. Boceto de la base con una sección añadida para soportar el sistema de elevación.*

Aceptada la propuesta, se sugiere utilizar para su construcción el mismo material que se propuso para la base, el cual puede ser verificado en la sección Cálculos para justificar el diseño de la base. Por lo que se realiza el diseño en CAD con las dimensiones del material correctas.



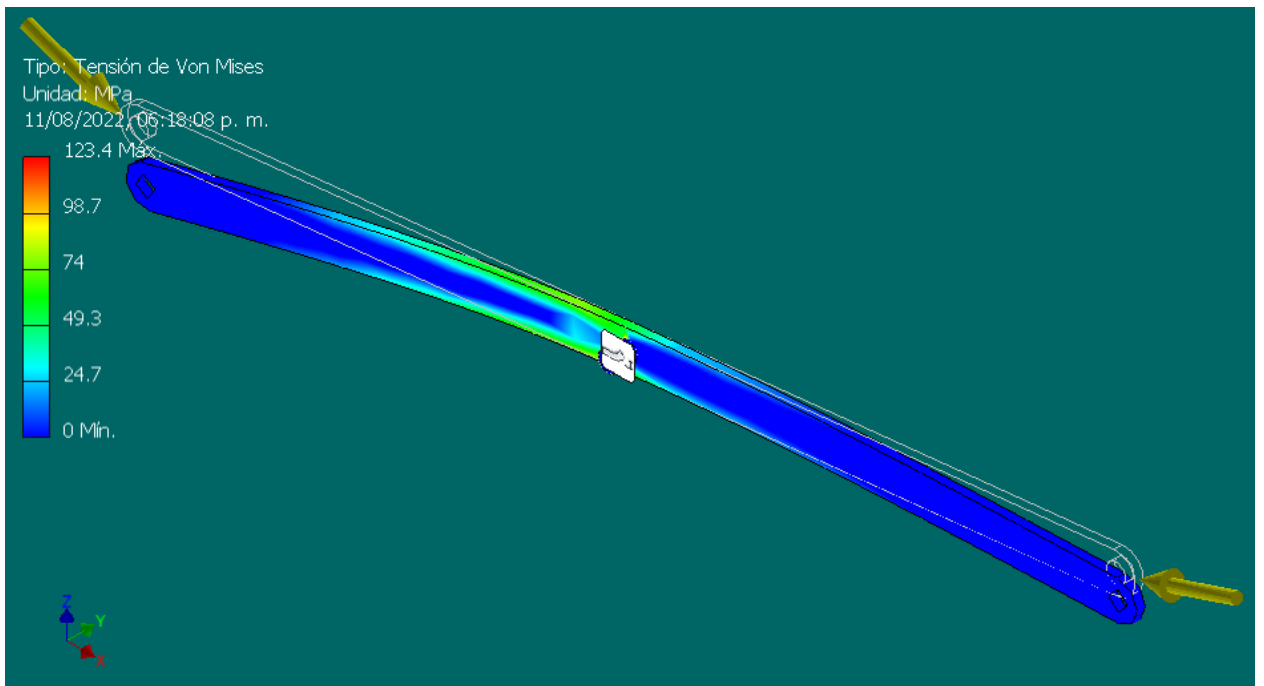
*Ilustración 53. Diseño en CAD de la base que soporta el sistema de elevación.*

Para seleccionar el calibre adecuado de la solera que compone la tijera se realizan simulaciones de deformación y tensión en el software de diseño, variando el grosor (calibre) de esta. Se comienzan las simulaciones con una solera de 1/2 pulgada, después una de 1/4 de pulgada y por último una de 1/8 de pulgada. Las simulaciones para la solera de 1/4 de pulgada se muestran a continuación.

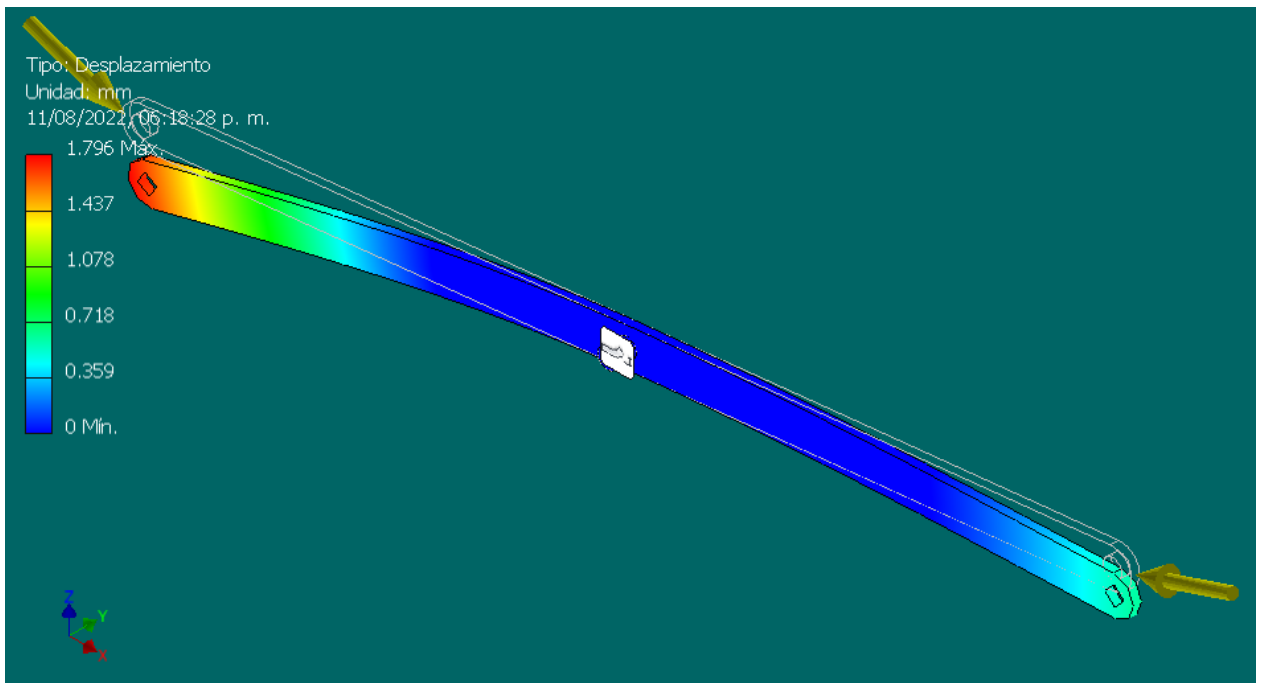


*Ilustración 54. Coeficiente de seguridad.*



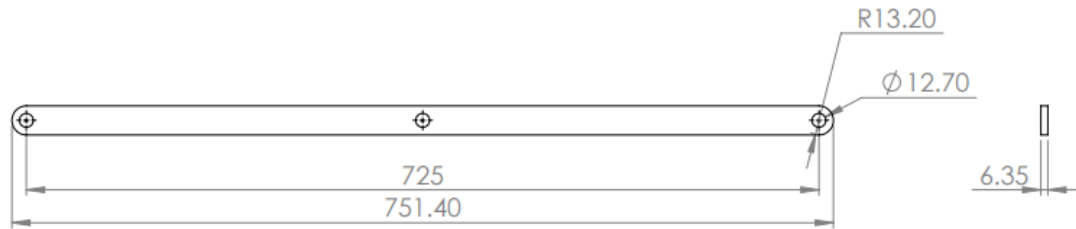


*Ilustración 55. Tensión de Von Mises.*



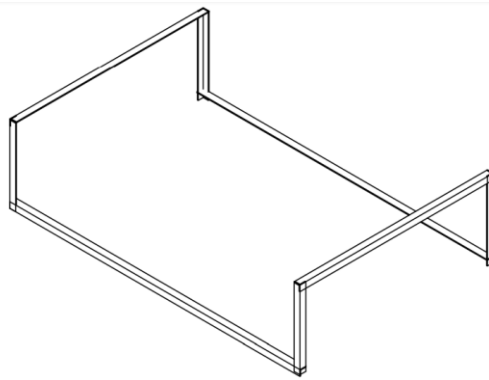
*Ilustración 56. Desplazamiento.*

Concluyendo que la solera adecuada para el sistema de elevación es la de 1/4 de pulgada de grosor (calibre). Las características de dicha solera se pueden apreciar a continuación,



*Ilustración 57. Diseño CAD de la solera de 1/4 de pulgada.*

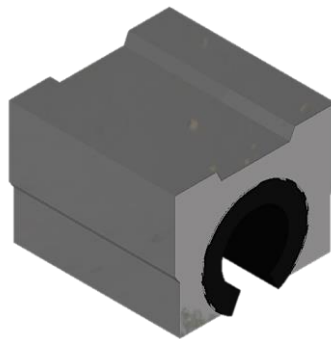
Se procede a realizar el diseño de la estructura que soporta la charola, el cual se puede observar en la siguiente Ilustración.



*Ilustración 58. Soporte para el sistema de elevación.*

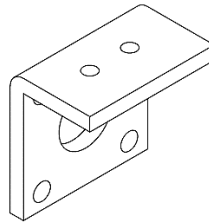
Se realiza el diseño CAD del material adquirido para el sistema de elevación mostrado en la Ilustración 50. Esto con el fin de realizar un ensamble completo en el software y así mismo hacer distintas pruebas de diseño, esfuerzos, etc. antes de efectuar su construcción.

Dentro de las piezas adquiridas para sistema de elevación, mostradas en la Ilustración 50, se realizan análisis individualmente a dos piezas, la primera es la chumacera de media luna, la cual se puede apreciar a continuación,

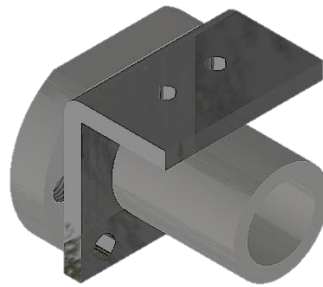


*Ilustración 59. Diseño CAD de chumacera de media luna.*

La segunda, es la tuerca que se acopla sobre el husillo, a la cual se le añade una extensión que se diseña para ensamblar todo el sistema, el diseño de esta extensión se puede apreciar en la siguiente Ilustración,

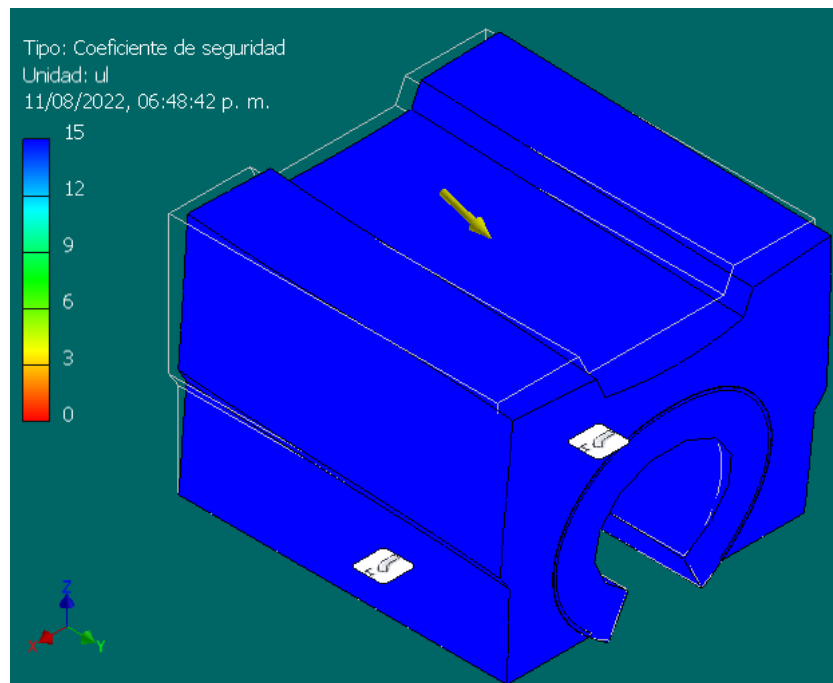


*Ilustración 60. Diseño CAD de extensión para tuerca.*

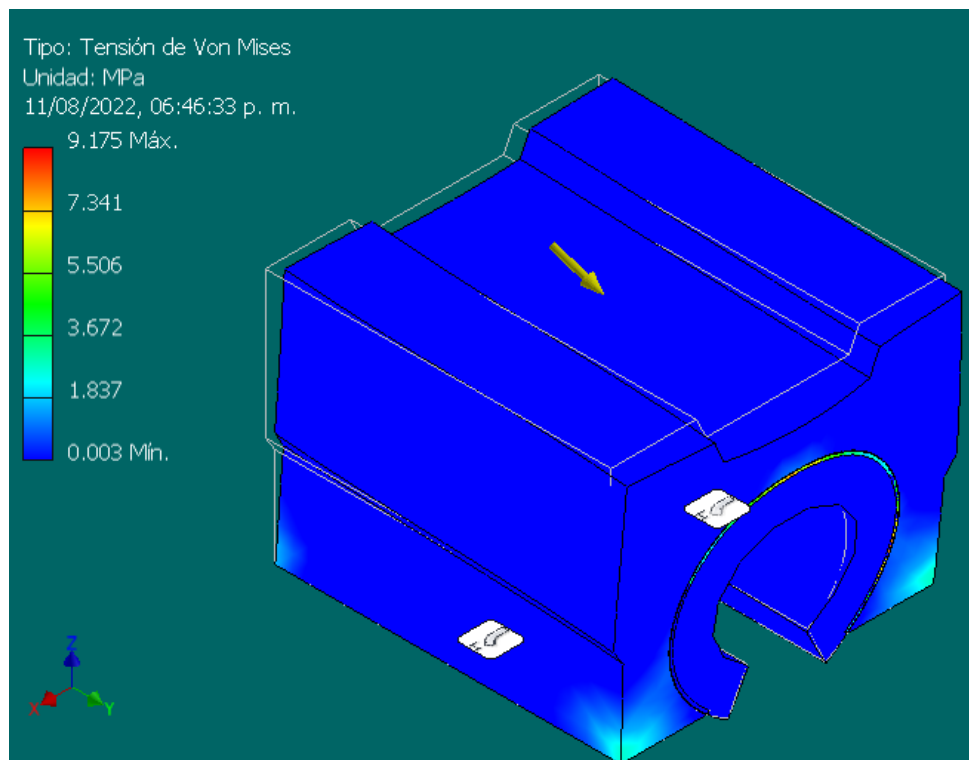


*Ilustración 61. Diseño CAD de tuerca y extensión.*

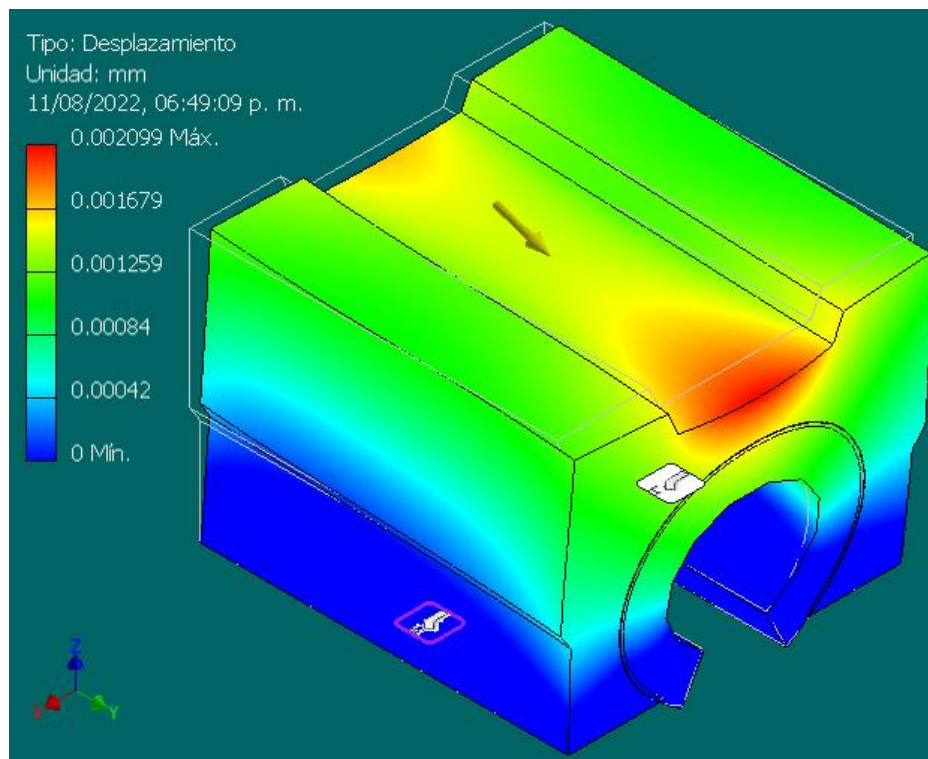
Se ejecutan análisis de tensión y deformación sobre estas piezas de forma individual, con el fin de corroborar que soportan el esfuerzo aplicado, los resultados obtenidos se muestran a continuación (Ilustraciones 62-67).



*Ilustración 62. Coeficiente de seguridad de la chumacera de media luna.*



*Ilustración 63. Tensión de Von Mises de la chumacera de media luna.*



*Ilustración 64. Desplazamiento de la chumacera de media luna.*

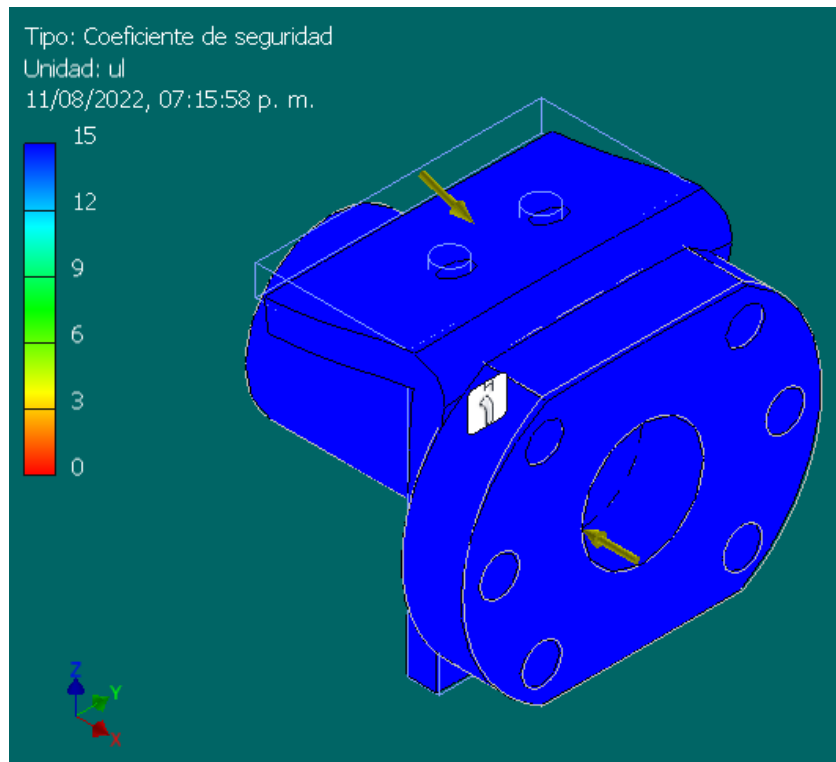


Ilustración 65. Coeficiente de seguridad de la tuerca y su extensión.

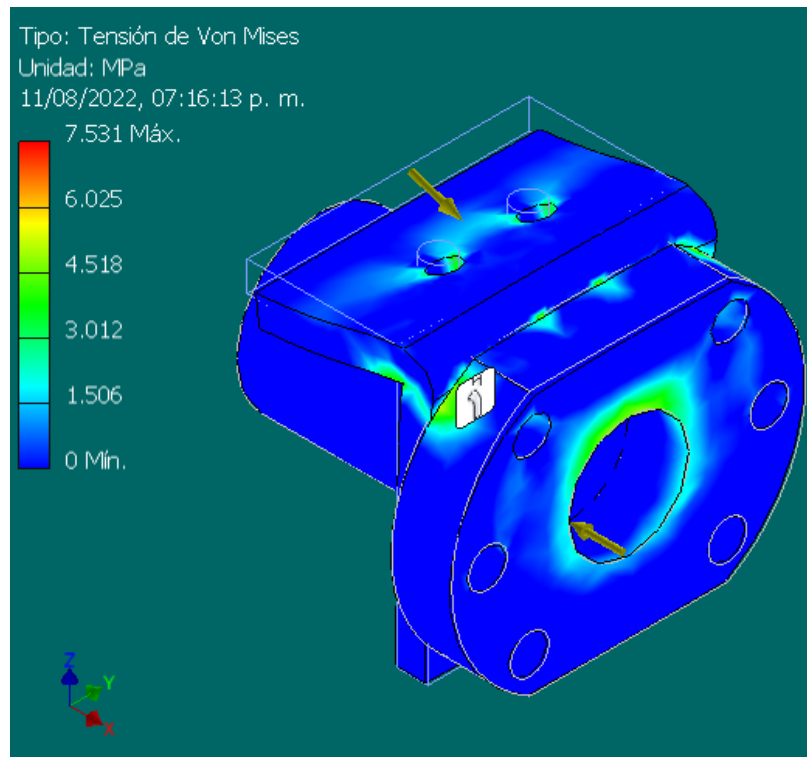
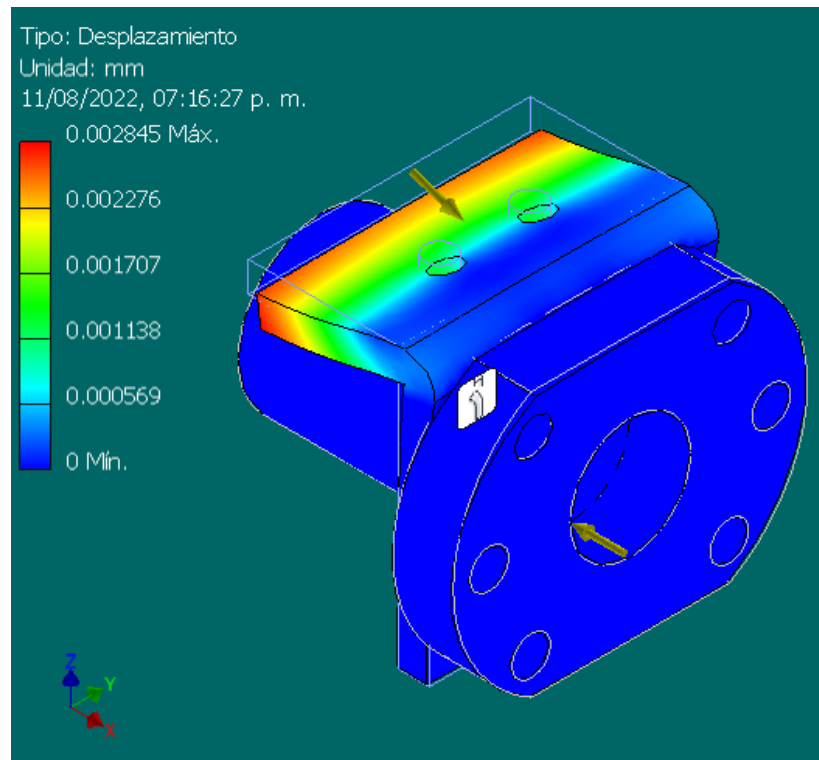
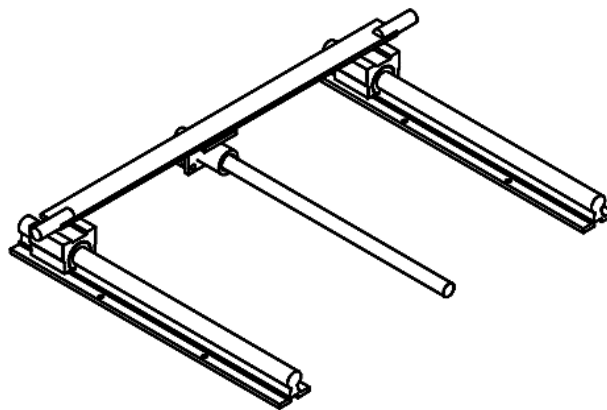


Ilustración 66. Tensión de Von Mises de la tuerca y su extensión.



*Ilustración 67'. Desplazamiento de la tuerca y su extensión.*

Se realiza el ensamble del diseño CAD de los componentes del sistema de elevación, como se observa en la siguiente Ilustración.



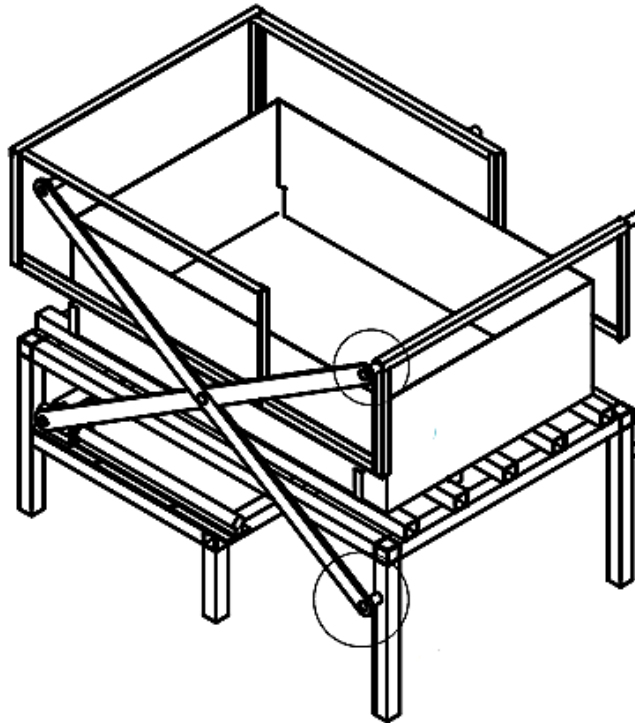
*Ilustración 68. Ensamble de las piezas del sistema de elevación.*

Para ensamblar las tijeras a la base, al sistema de elevación y al soporte de la charola, se diseña una pieza a partir de una barra circular de acero 1045 de 3/4" de grosor, la cual se muestra a continuación,



*Ilustración 69. Pieza de acero 1045.*

El ensamble completo de los diseños CAD del prototipo de la máquina se puede ver en la siguiente Ilustración,



*Ilustración 70. Ensamble completo de los diseños CAD.*

#### 4.5 Cálculos para el sistema de calentamiento.

Para el sistema de calentamiento se cuenta con 4 resistencias de 1000 W. Se realizan los siguientes cálculos para saber la cantidad de resistencias necesarias para elevar la temperatura del agua. De acuerdo a las dimensiones de la tina se obtiene el volumen de agua,

$$\text{Volumen} = 0.2 \text{ m} \times 0.4 \text{ m} \times 0.7 \text{ m} = 0.056 \text{ m}^3 = 56 \text{ litros.}$$

Para saber cuál es la energía necesaria para elevar la temperatura del agua de 20 °C a 100 °C se utiliza la siguiente ecuación,

$$Q = mCp\Delta T \dots \dots \dots \text{ecuación 9}$$

donde:

$m = \text{masa.}$

$Cp = \text{calor específico.}$

$\Delta T = \text{Diferencia de temperatura.}$

se sabe que,

$$m = \rho V \dots \dots \dots \text{ecuación 10}$$

donde:

$\rho = \text{densidad.}$

$V = \text{volumen.}$

Al sustituir la ecuación 10 en la ecuación 9 tenemos,

$$\therefore Q = \rho V Cp \Delta T.$$

Se sabe que el líquido a calentar es agua por lo tanto se usa la densidad del agua (1 kg/l), y la tina no se encuentra completamente llena, así que, se consideran 40 litros de agua. De igual forma, se hace uso del calor específico del agua (4,186 J/kg °C), por último, se realiza el cálculo considerando la temperatura ambiente del agua (20 °C) y el valor máximo de temperatura a la que puede llegar (100 °C),

$$\therefore Q = \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{L}}\right) (40 \text{ L}) \left(4,186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}}\right) (100 - 20) \text{ } ^\circ\text{C} = 13.376 \times 10^6 \text{ J.}$$

Esta es la energía requerida para elevar la temperatura del agua de 20 °C a 100 °C, por lo tanto, la potencia necesaria para elevar la temperatura del agua en una hora, es,

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{13.376 \times 10^6 \text{ J}}{3600 \text{ s}}$$

$$P = 3715.55 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 3715.55 \text{ W.}$$

De acuerdo a los cálculos obtenidos se concluye que es necesario utilizar las 4 resistencias si se pretende elevar la temperatura del agua en menos de una hora.



## 5. Construcción y Resultados.

### 5.1 Construcción de los prototipos.

#### 5.1.1 Tina

Como se menciona en la sección “Desarrollo” subsección “Diseño de la tina”, la construcción de la tina se desarrolla en una fase previa, dicha tina se muestra en la siguiente Ilustración.



*Ilustración 71. Tina.*

#### 5.1.2 Base

Para la construcción de la base, primero se cortan las piezas mostradas en la Tabla 8.

*Tabla 8. Lista de piezas para construcción de Base.*

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS DE PIEZA
1	4	PTR 1x1 plg, 300 mm
2	2	PTR 1x1 plg, 500 mm
3	7	PTR 1x1 plg, 750 mm
4	4	Ángulo 50 mm

Se procede a soldar las piezas cortadas. Toda la soldadura de la base se realiza con electrodo E-6013<sup>3</sup>, ya que, debido a las características del material que se eligió es el electrodo idóneo. Se comienza soldando el marco superior de esta base, el cual se puede ver en la Ilustración 71.

<sup>3</sup>La letra E significa que es un electrodo para la soldadura manual. Los dos primeros dígitos son la resistencia a la tensión, medida en libras por pulgada cuadrada por 1000. Un electrodo E6013 resiste una tensión de 60.000 PSI. El tercer y cuarto dígito indican las condiciones (posición, corriente, polaridad) en las que se puede soldar satisfactoriamente.

Posteriormente, se sueldan los soportes superiores como se muestra a continuación,



*Ilustración 72. Parte superior de la base.*

Continuando con los soportes verticales de la base,



*Ilustración 73. Soportes verticales.*

Consecutivamente se añadieron soportes diagonales para dar mayor soporte a la base, como se puede observar en el área resaltada en rojo de la Ilustración siguiente,



*Ilustración 74. Soportes diagonales.*

Por último, se añadieron los soportes de seguridad para la tina, como se muestra posteriormente,



*Ilustración 75. Soportes de seguridad.*

Se coloca la tina sobre la base para demostrar que las dimensiones de construcción son correctas,



*Ilustración 76. Base.*

### 5.1.3 Charola

Se comienza cortando las piezas mostradas en la Tabla 9. Y después se procede a soldar las mismas, cabe mencionar que para esta soldadura se utiliza electrodo 316-L<sup>4</sup>.

*Tabla 9. Lista de piezas para construcción de charola.*

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS DE PIEZA
1	1	Barra ½ plg, 1600 mm
2	2	Barra ¼ plg, 700 mm
3	3	Barra ¼ plg, 500 mm
4	4	Barra ¼ plg, 300 mm

La barra de media pulgada de longitud de 1600 mm se corta con el fin de solo realizar un punto de soldadura para formar la base. Pero debido al grosor de esta, doblarla es complicado, además, no se formaba el rectángulo de forma precisa. Por lo tanto, de esta misma barra se cortan dos barras de 800 mm para doblar las mismas en forma de L, y así, solo soldar dos puntos para formar la parte inferior de la charola. Tal como se observa en la siguiente Ilustración,



*Ilustración 77. Parte inferior de la charola.*

<sup>4</sup>El grado 316-L 0 1.4404 es un acero inoxidable austenítico del tipo AISI 316 que tiene muy buena resistencia a la corrosión debido a su alto contenido de cromo y molibdeno combinado con un bajo contenido de carbono.



Las dos barras de un cuarto de pulgada de longitud de 700 mm, se doblaron en forma de arco y se soldaron a los extremos de la parte inferior de la charola como se puede apreciar a continuación,



*Ilustración 78. Arcos añadidos a los extremos de la parte inferior de la charola.*

Finalmente se soldaron las barras restantes sobre el rectángulo inferior de nuestra charola, las barras de longitud de 500 mm a lo largo, y las de longitud de 300 mm a lo ancho, como se muestra posteriormente,



*Ilustración 79. Charola terminada.*

#### 5.1.4 Sistema de elevación

Se comienza con la estructura que soporta la charola, para esta se deben cortar las piezas mostradas en la siguiente Tabla.

*Tabla 10. Lista de piezas para construir la estructura que soportara la charola.*

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERÍSTICAS DE PIEZA
1	2	Ángulo 500 mm
2	4	Ángulo 200 mm
3	2	Ángulo 750 mm

Primero se soldaron los ángulos de 500 mm y 200 mm de longitud, un ángulo de 500 mm con dos de 200 mm para formar los arcos que van a los extremos de la estructura y posteriormente se soldaron estos arcos sobre los ángulos de 750 mm de longitud, el resultado final puede ser apreciado a continuación,



*Ilustración 80. Estructura que soporta la charola.*

Después, se añadieron a la charola 4 soportes, uno en cada esquina superior de la misma para que pudiera reposar sobre la estructura antes mencionada, esto se puede observar en la siguiente Ilustración,

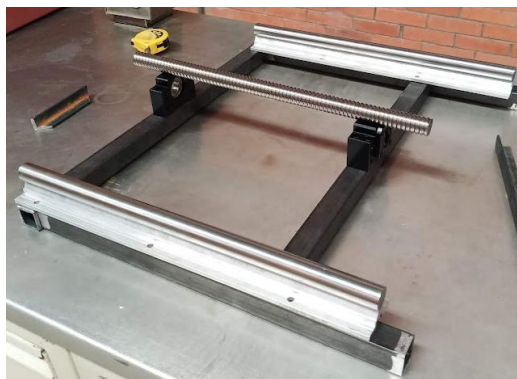


*Ilustración 81. Soportes para que la charola repose sobre la estructura de elevación.*

Se continua con la base para el sistema de elevación, para lo cual se cortaron las piezas mostradas en la Tabla 11. Se ubica el material adquirido, mostrado en la Tabla 4 sobre las piezas cortadas, solo para corroborar que las dimensiones eran adecuadas, como se muestra a continuación,

*Tabla 11. Lista de piezas para construir la base del sistema de elevación.*

ELEMENTO	CANTIDAD	CARACTERISTICAS DE PIEZA
1	2	PTR 1x1 plg, 200 mm
2	1	PTR 1x1 plg, 500 mm
3	2	PTR 1x1 plg, 400 mm
4	1	PTR 1x1 plg, 450 mm



*Ilustración 82. Prueba de dimensiones a las piezas cortadas para sistemas de elevación.*



A las piezas laterales del diseño mostrado en la Ilustración 53, se le añade un ángulo en cada lado, como se puede apreciar posteriormente,



*Ilustración 83. PTR y ángulos unidos.*

Después de soldar el PTR y el ángulo, se procede a soldar el recuadro superior de la base y sus patas, como se puede apreciar a continuación,



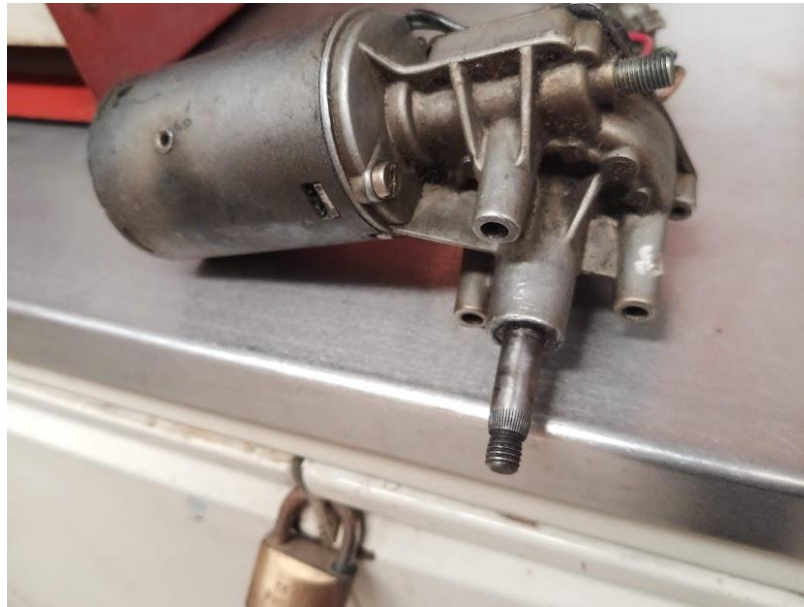
*Ilustración 84. Base del sistema de elevación.*

Por último, se suelda la base del sistema de elevación a la base de la máquina, como se muestra en la Ilustración posterior,



*Ilustración 85. Base del sistema de elevación unida a la base de la máquina.*

Posteriormente, se procede a maquinar el husillo. Se cuenta con un motor de corriente directa, el cuál trabaja a 12/24 V y tiene un torque de 6 Nm, dicho motor se muestra a continuación,



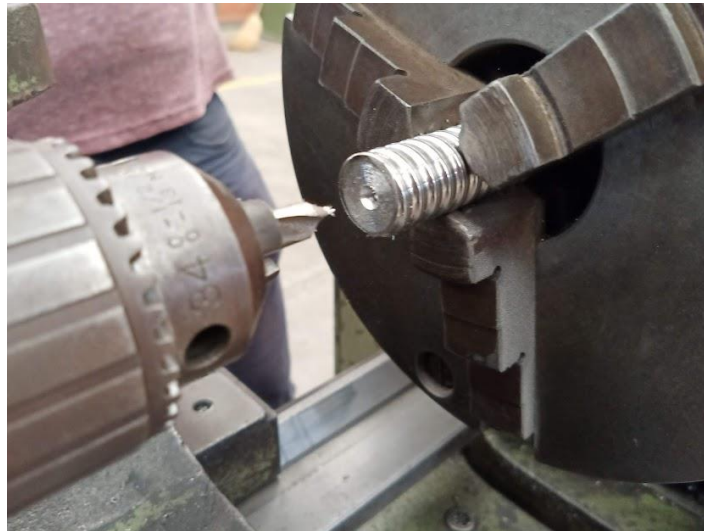
*Ilustración 86. Motor de CD para el sistema de elevación.*

Se pretende acoplar el husillo al eje del motor, debido a que el eje es de un diámetro inferior al del husillo, se hace una rosca interna dentro del mismo. Primero se realiza un careado al husillo, como se muestra en la siguiente Ilustración,



*Ilustración 87. Careado.*

Después, se realiza una guía para la broca, como se muestra en la siguiente Ilustración, cabe destacar que se realizan dos perforaciones de diferente diámetro, esto debido a que donde se encuentra el eje del motor hay dos diámetros distintos, como se puede observar en la Ilustración 81, el diámetro más pequeño es también el que cuenta con la menor longitud, pero cuenta con una cuerda, la cual se pretende acoplar el husillo. El diámetro más grande tiene mayor longitud, así que, se hace la perforación sobre el husillo con este diámetro con el fin de abarcar una longitud mayor y así mismo poder colocar un prisionero para dar mayor seguridad, sin dañar la cuerda.



*Ilustración 88. Perforación guía.*

Como ya se mencionó, se realizan dos perforaciones de diferentes diámetros, se comienza con la de diámetro mayor, como se muestra a continuación,



*Ilustración 89. Perforación de diámetro mayor.*

Después, se hace la perforación de diámetro menor, antes de realizar esto, se obtienen las medidas correspondientes para poder realizar la rosca interna y que esta se acople a la rosca del eje del motor, tal como se muestra en la Ilustración posterior,



*Ilustración 90. Perforación de diámetro menor.*

Posteriormente, haciendo uso de un machuelo, se realiza la rosca interna,



*Ilustración 91. Proceso de rosca interna.*

Por último, para certificar el maquinado realizado, se acopla el husillo al motor, como se puede observar posteriormente.



*Ilustración 92. Ensamble de husillo al eje del motor.*



Consecutivamente, se realizan dos maquinados en los extremos del husillo, esto con el fin de poder acoplarlo en los soportes mostrados en la Ilustración 50, primero se realiza un desbaste en el esmeril, ya que el husillo tiene un acabado superficial y el exterior tiene una alta dureza, y hacerlo en el torno, con el buril que se cuenta en el LIME II, es difícil, esto se muestra a continuación,



*Ilustración 93. Desbaste del husillo en esmeril.*

Una vez que se removió la dureza del acabado superficial del husillo, se procede a terminar el desbaste en el torno, utilizando un buril de 1/2", tal como se muestra en la Ilustración posterior,



*Ilustración 94. Desbaste del husillo en torno.*

Una vez que se terminó el desbaste en ambos lados del husillo, se acopla sobre los soportes para corroborar el maquinado,



*Ilustración 95. Husillo acoplado sobre los soportes.*

Para las tijeras de elevación se procede a cortar la solera con las medidas indicadas en la Ilustración 57, de igual forma se realizan las perforaciones sobre las mismas, como se muestra a continuación,



*Ilustración 96. Solera para el sistema de elevación.*

Se continua con la extensión para la tuerca de avance mostrado en la Ilustración 60, se diseña a partir de una placa de aluminio, a la que se le realiza una prueba de dureza, obteniendo 60.5 HRB, esto se aprecia en la Ilustración posterior,



*Ilustración 97. Prueba de dureza a placa de Aluminio.*

Se le realiza un tratamiento de solubilización y envejecimiento para poder maquinar la pieza, en el solubilizado se ingresa la pieza al horno, se eleva la temperatura hasta 550 °C, se deja por dos horas y se enfría rápidamente en agua, como se aprecia en la siguiente Ilustración,



*Ilustración 98. Solubilizado a 850°C.*

De igual forma, en el siguiente gráfico se puede apreciar el tratamiento térmico aplicado en la pieza,



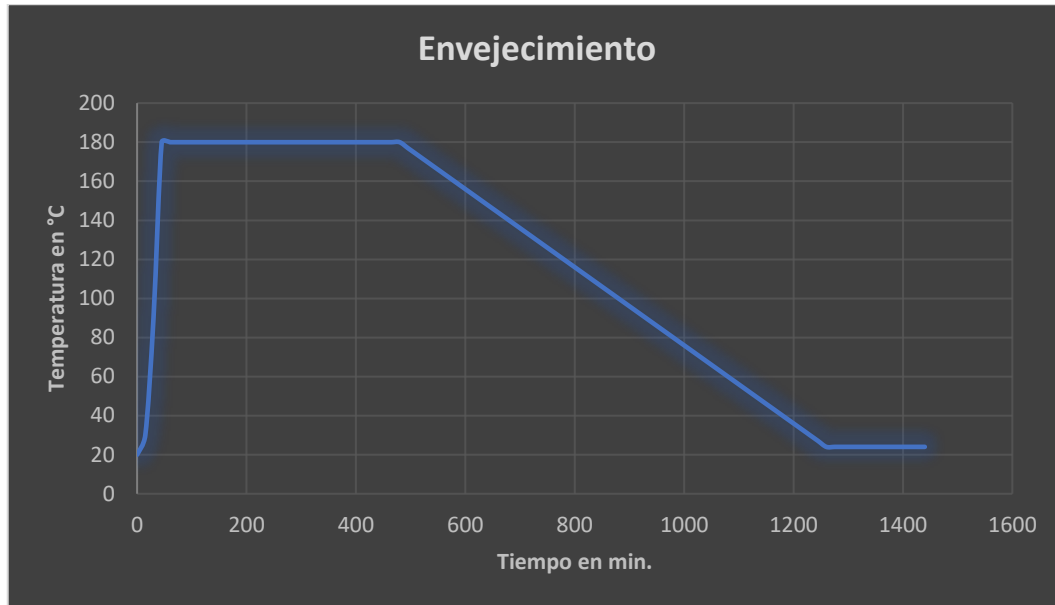
*Ilustración 99. Gráfico del tratamiento de solubilización.*

El fin de aplicar un tratamiento de solubilizado en la placa es ablandar la misma, para poder doblarla sin romperla, una vez doblada, ahora se hará un envejecimiento artificial, esto para que el material recupere su dureza, ya que será sometida a un esfuerzo considerable. Para el envejecimiento, se ingresa la pieza al horno, se eleva la temperatura a 180°C, se deja por 8 horas y se enfría al aire libre. Dicho proceso se puede apreciar a continuación,



*Ilustración 100. Envejecimiento artificial.*

También se puede apreciar el tratamiento térmico aplicado en el siguiente gráfico,



*Ilustración 101. Gráfico del tratamiento de envejecimiento.*

Para finalizar con esta pieza se realiza otra prueba de dureza, como se aprecia a continuación,



*Ilustración 102. Prueba de dureza aplicada después de los tratamientos térmicos.*

Obteniendo 59.5 HRB, por lo que se puede concluir que los tratamientos térmicos se aplicaron correctamente.

A esta pieza se le realizan cinco perforaciones en la cara de mayor área, cuatro de estas para acoplarla a la tuerca de avance como se puede ver en la Ilustración 59 y la perforación de mayor diámetro es para que pase el husillo, también se hacen dos perforaciones más en su otra cara para que se pueda acoplar a la solera, como se muestra en la Ilustración posterior,





*Ilustración 103. Extensión para tuerca de avance.*

En el diseño CAD mostrado en la Ilustración 66 se puede ver como esta solera une la tuerca de avance (por medio de la extensión realizada) y las dos chumaceras de media luna, así que, se procede a cortar la solera y a realizar las perforaciones necesarias, como se muestra enseguida,



*Ilustración 104. Unión de la tuerca de avance con las chumaceras de media luna.*

A los extremos de dicha solera se puede apreciar dos tornillos, los cuales servirán de soporte para las tijeras de elevación, como se muestra a continuación,



*Ilustración 105. Tijeras de elevación.*

Para poder acoplar las tijeras a la base y al soporte de elevación, se maquina la pieza mostrada en la Ilustración 69, el material seleccionado es una barra de 3/4 de pulgada, se caracteriza en condición de recibido, encontrándose una microestructura correspondiente a un acero 1045 en condición de normalizado, por lo tanto, se decide maquinar la pieza en este estado.

Se cortan cuatro piezas de la misma longitud, a estas se les realiza un careado, después un desbaste, reduciendo su diámetro a 1/2 pulgada, para finalmente realizar una cuerda interna, como se muestra en la siguiente Ilustración,



*Ilustración 106. Piezas para acoplamiento de tijeras.*

Posteriormente y con el fin de aumentar la resistencia mecánica de las piezas, se realiza un tratamiento térmico de temple y revenido, para el temple, se colocan las piezas dentro del horno, a 850 °C por una hora, y después se enfrían bruscamente en agua. E inmediatamente se realiza el revenido, ingresando las piezas nuevamente al horno, a 280 °C por una hora, con enfriamiento al aire calmado. El proceso antes mencionado se muestra a continuación (Ilustraciones 107-111),



*Ilustración 107. Temple a 850 °C.*



*Ilustración 108. Proceso de temple.*



*Ilustración 109. Enfriamiento brusco en agua.*

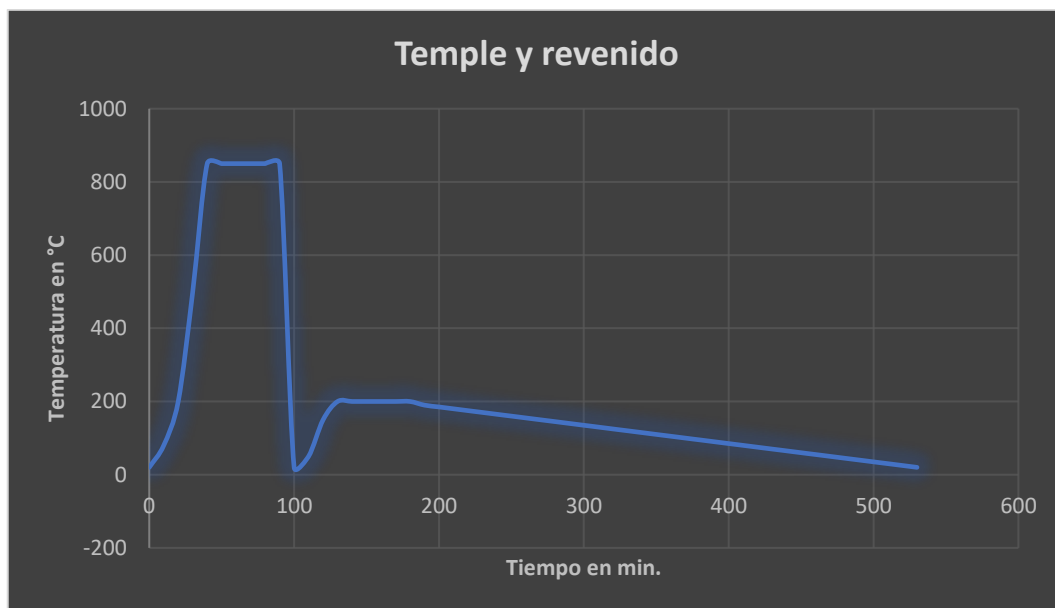


*Ilustración 110. Revenido a 280 °C.*



*Ilustración 111. Estado final de las piezas.*

El tratamiento térmico aplicado se puede observar en el siguiente gráfico.



*Ilustración 112. Gráfico del tratamiento de temple y revenido.*

Cabe mencionar que se cortaron dos muestras del material y a una de estas se le realiza el tratamiento térmico mencionado, como se puede apreciar enseguida,



*Ilustración 113. Piezas muestra de acero 1045.*

Esto con el fin de realizar distintas pruebas, como la caracterización mencionada anteriormente, para la cual, se hizo un encapsulamiento en caliente con resina fenólica para preparación metalográfica, como se muestra a continuación,



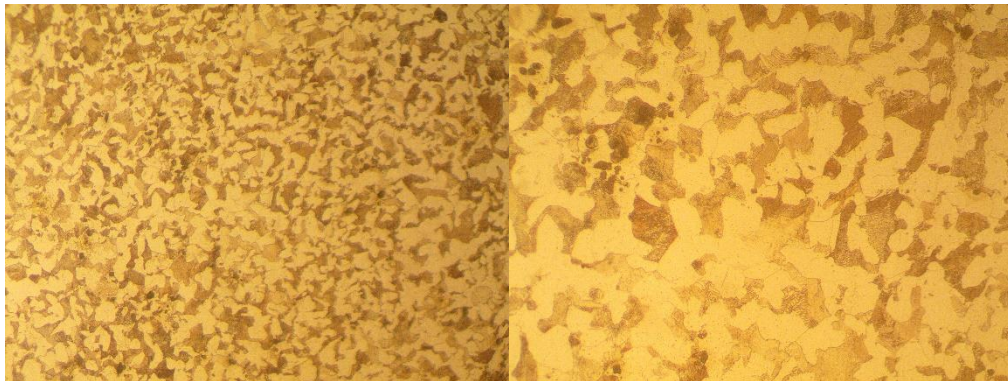
*Ilustración 114. Proceso de encapsulado.*



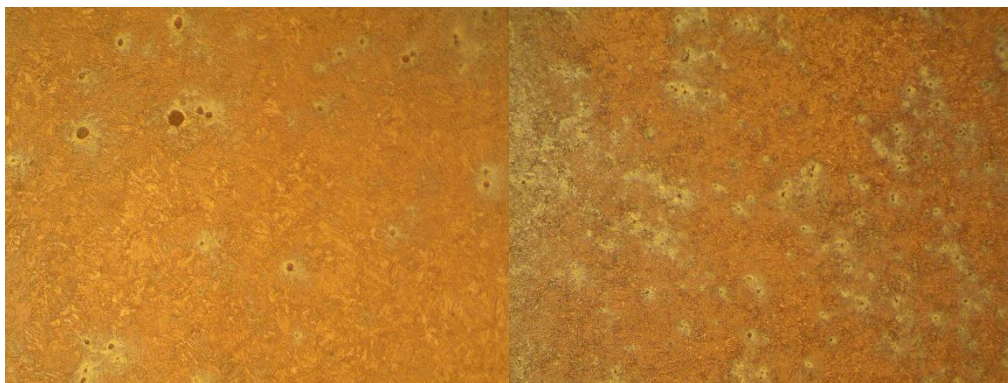


*Ilustración 115. Estado final de encapsulado y preparación metalográfica.*

En las próximas Ilustraciones podemos observar la microestructura antes y después del tratamiento térmico,



*Ilustración 116. Microestructura del acero 1045.*



*Ilustración 117. Microestructura del acero 1045 después del tratamiento térmico.*

Cabe destacar que antes del encapsulado, se realizan pruebas de dureza en ambas piezas, esto con el fin de corroborar que el tratamiento térmico aplicado realmente aumento la dureza del material, esto se puede observar a continuación,



*Ilustración 118. Prueba de dureza a muestra de acero 1045.*



*Ilustración 119. Prueba de dureza a muestra de acero 1045 tratada térmicamente.*

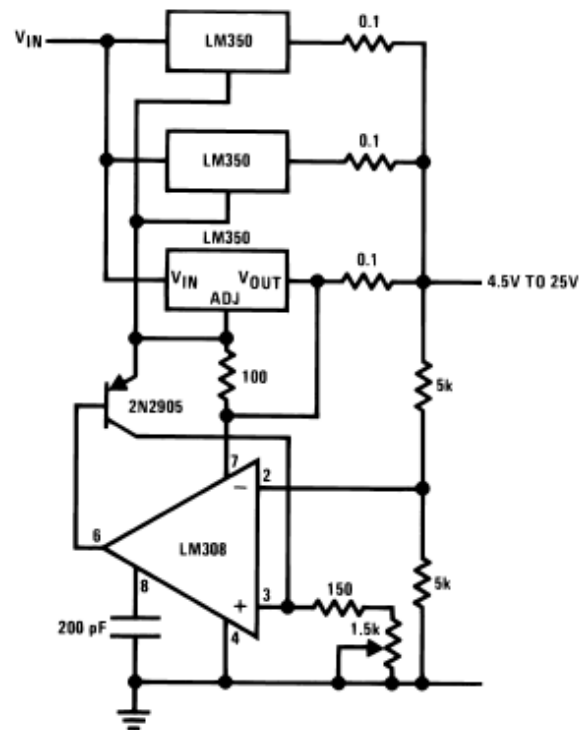
Como se puede apreciar en las Ilustraciones, la dureza en la pieza tratada térmicamente es mayor, dando en la primera una dureza de 46 HRB, y en la segunda 80 HRB, por lo que se puede concluir que el tratamiento térmico aplicado es ideal para lo que se busca obtener.

Al soporte del sistema de elevación mostrado en la Ilustración 56, se le añadieron ángulos en los extremos, esto con el fin de crear una guía para que por medio de un balero unido a las tijeras se eleve la estructura,



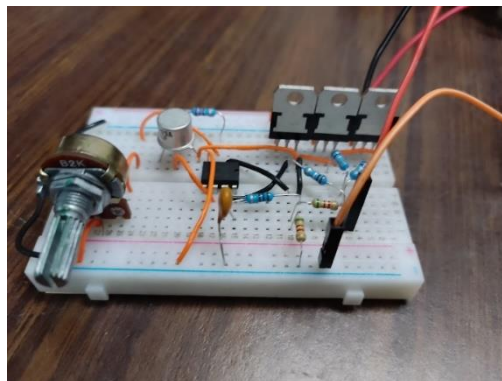
*Ilustración 120. Guías para elevación.*

Para el arranque, paro y giro del motor, se requiere una fuente de 12 V pero que soporte un amperaje de al menos 10 A, se cuenta con una fuente de 24 V, por lo tanto, se hará un regulador de voltaje que conserve el amperaje, por lo que se realiza el circuito mostrado a continuación, (Texas Instruments, 2013),



*Ilustración 121. Regulador de voltaje (10 A).*

Se realiza el circuito sobre una placa de pruebas antes de soldarlo a la placa PCB<sup>5</sup>, como se muestra en la siguiente Ilustración,



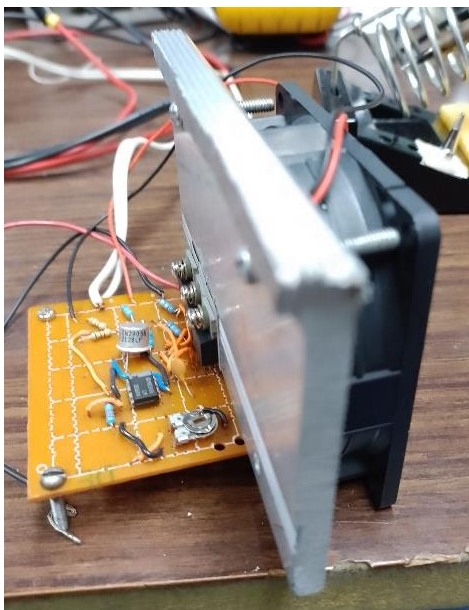
*Ilustración 122. Regulador sobre placa de pruebas.*

<sup>5</sup>PCB por sus siglas en ingles Printed Circuit Board, que significa placa de circuito impreso.

<sup>6</sup>LM-350 es un circuito integrado, un regulador de voltaje positivo de tres terminales.



Durante las pruebas, se percibe un calentamiento sobre los LM-350<sup>6</sup>, por lo que se hace una convección forzada sobre estas piezas, acoplando una placa de aluminio y un ventilador al circuito, después se sueldan las piezas sobre la PCB, como se muestra enseguida,



*Ilustración 123. Regulador de voltaje.*

### 5.1.5 Sistema de calentamiento

Se toman medidas de las resistencias para elegir la broca adecuada, después se perfora la tina en un taladro de banco, usando para todos los orificios una broca de media pulgada. Una vez que se corroboran las dimensiones de los orificios, se colocan las resistencias, todas con un empaque de caucho de alta temperatura para evitar fugas,



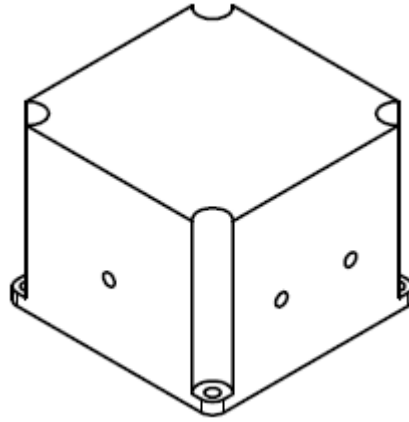
*Ilustración 124. Perforación y colocación de resistencia.*

Simultáneamente se corroboraron la altura de las resistencias, las dimensiones de la charola y de la estructura que soporta a esta, ya que dicha estructura no debe estar en contacto con las resistencias, esto se puede observar en la siguiente Ilustración,

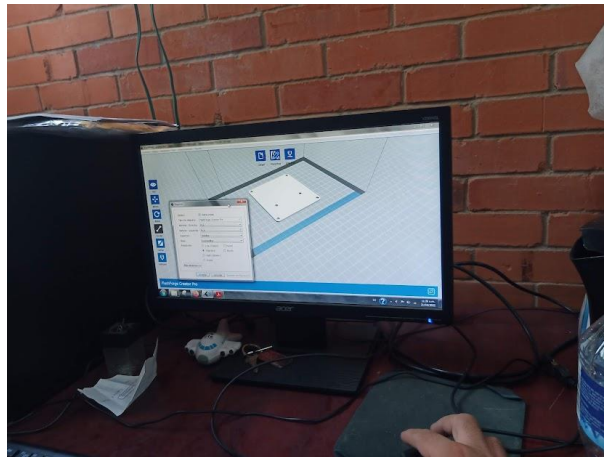


*Ilustración 125. Charola sobre tina.*

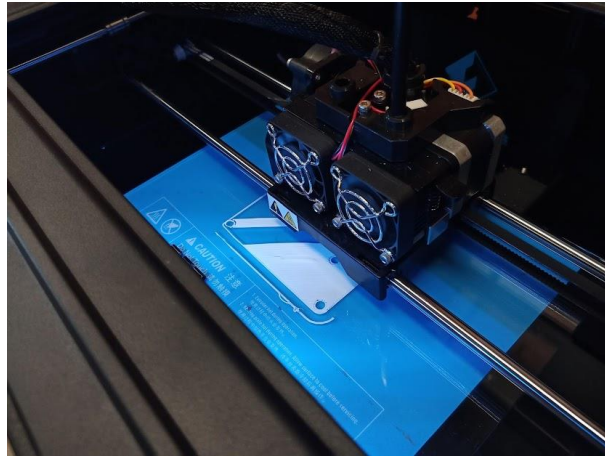
Para controlar el sistema de calentamiento, se utiliza un pirómetro, un termopar tipo K y un relevador, dado que se contaba con un relevador expuesto a la intemperie y con el fin de reducir gastos, se realiza el diseño y la impresión 3D de un caparazón para dicho relevador, este proceso puede ser apreciado a continuación (Ilustraciones 126-129).



*Ilustración 126. Diseño CAD de caparazón para relevador.*



*Ilustración 127. Software de impresión 3D.*



*Ilustración 128. Impresora 3D en proceso.*



*Ilustración 129. Caparazón para relevador.*

El pirómetro se debe ajustar indicando que se utiliza un termopar tipo K, de igual forma, se debe indicar la temperatura a la que se desea llegar, tal como se ve en la Ilustración posterior,

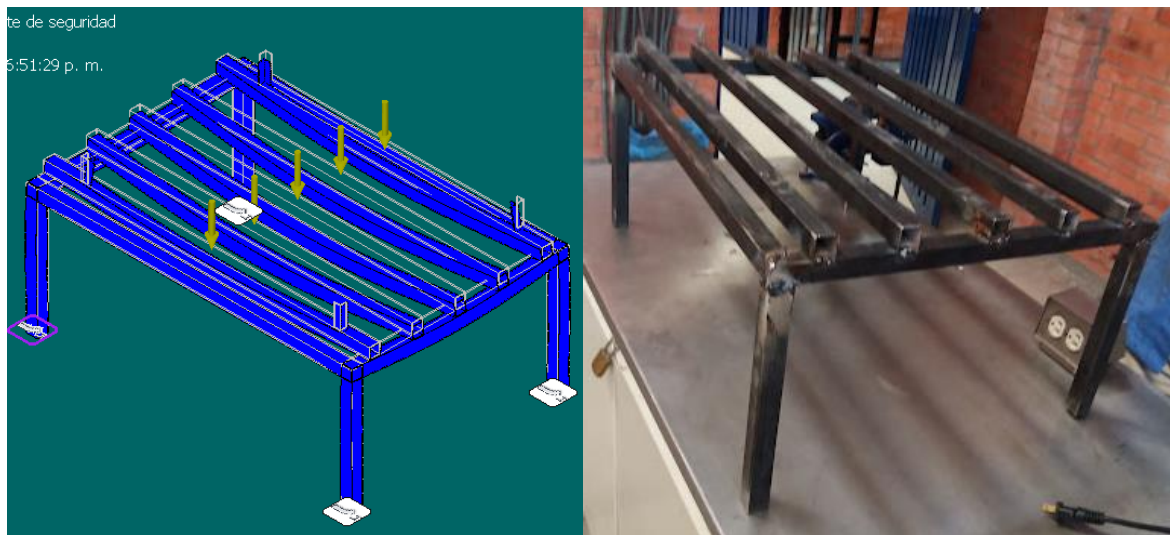


*Ilustración 130. Pirómetro.*

## 5.2 Resultados

El diseño y desarrollo del actual prototipo de cámara de termo encogido, fue fabricado en las instalaciones de la FES Cuautitlán, Campo 4, durante la elaboración del prototipo se fueron realizando pruebas a cada uno de sus componentes, aquí se explica cómo se efectuaron esas pruebas y también se muestran los productos obtenidos de cada diseño mostrado en la sección anterior, cabe destacar que las pruebas realizadas a cada parte del prototipo fueron satisfactorias.

Los cálculos analíticos concuerdan con los datos obtenidos de las simulaciones de esfuerzos, como primer elemento se toma a la base expuesta en la sección 4, subsección 4.2.1, donde se muestra que el factor de seguridad obtenido de la simulación y el calculado analíticamente concuerdan, por lo que una vez construida se hace una prueba de resistencia física, aplicando una carga superior a los 100 Kg, obteniendo resultados óptimos, lo que nos permite corroborar en condiciones reales, que los cálculos, el CAD y los procesos de manufactura se realizaron de forma satisfactoria.



*Ilustración 131. Comparación de CAD y construcción de la base.*

Como segundo elemento a construir se toma a la charola, se decide fabricar utilizando el diseño propuesto con barra INOX 304, por dos principales razones; la primera es que en el diseño propuesto utilizando la placa de acero inoxidable, el agua ejerce una gran fuerza al momento que la charola se eleva y esta comienza a descargarse por los orificios propuestos, lo que implica un mayor esfuerzo en el sistema de elevación, y la segunda es debido a que en una reunión con compañeros de ingeniería en alimentos que forman parte de este proyecto, se hizo la observación que la charola de tipo tubular, es mejor ya que se tiene una mayor superficie de contacto entre el líquido y el producto cárnico.



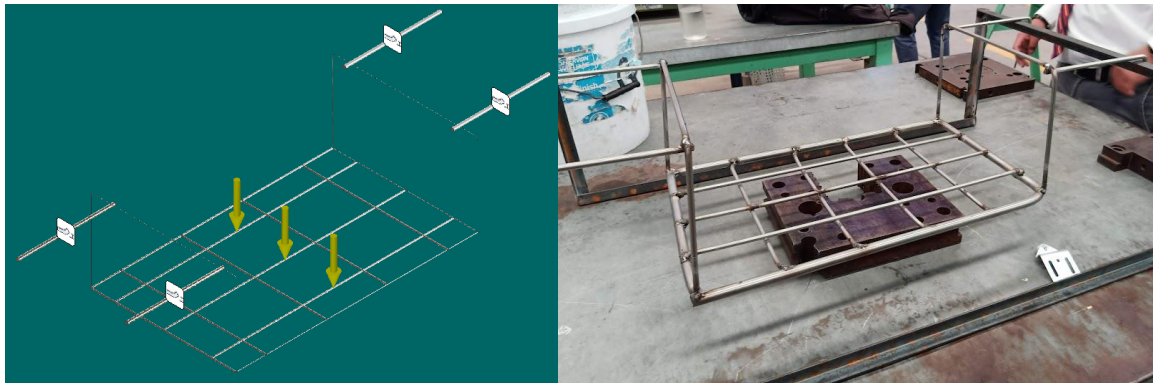


Ilustración 132. Comparación de CAD y construcción de la charola.

El diseño de este elemento, llamado charola, también se puede observar en la sección 4, subsección 4.3.2, donde se puede ver que el factor de seguridad obtenido analíticamente es adecuado, así mismo se realiza la simulación de esfuerzos en el software de diseño y se obtienen resultados muy cercanos a los calculados analíticamente, finalmente, una vez construida la charola, se realiza una prueba de resistencia física, y se aplica una carga de 40 Kg obteniendo resultados satisfactorios, corroborando nuevamente, que el CAD y los procesos de manufactura se realizaron correctamente.

Por último, para corroborar el sistema de elevación se realiza la simulación de esfuerzos de forma independiente a los elementos que conforman el mismo, primero sobre la base del sistema de elevación, aplicando una fuerza puntual sobre los soportes inferiores, los cuales soportarán el recorrido de las guías lineales para las chumaceras de media luna, que a su vez moverán el sistema de elevación, como se observa en la siguiente imagen,

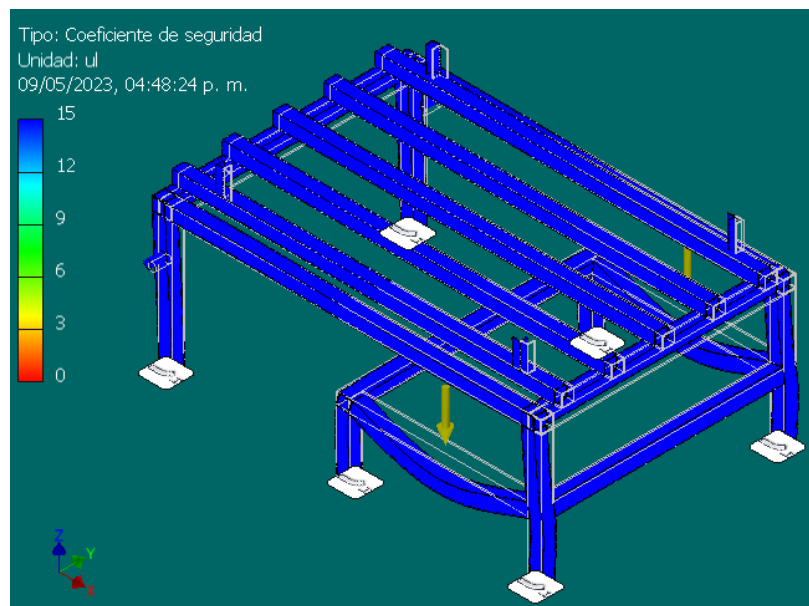


Ilustración 133. Simulación de esfuerzos sobre la base del sistema de elevación.

Después se realiza la simulación sobre la estructura que soporta la charola, donde se aplica una carga puntual en los extremos de la misma, ya que como se puede ver en la Ilustración 132, la charola se ubica en esos puntos,

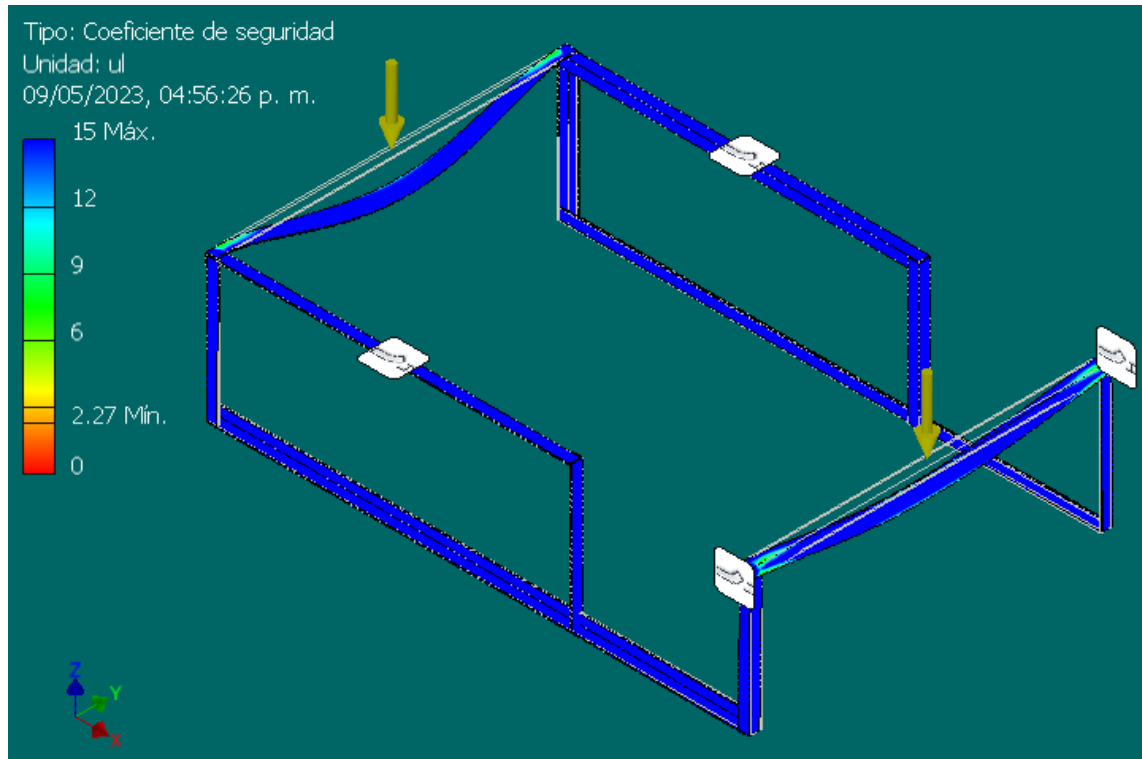
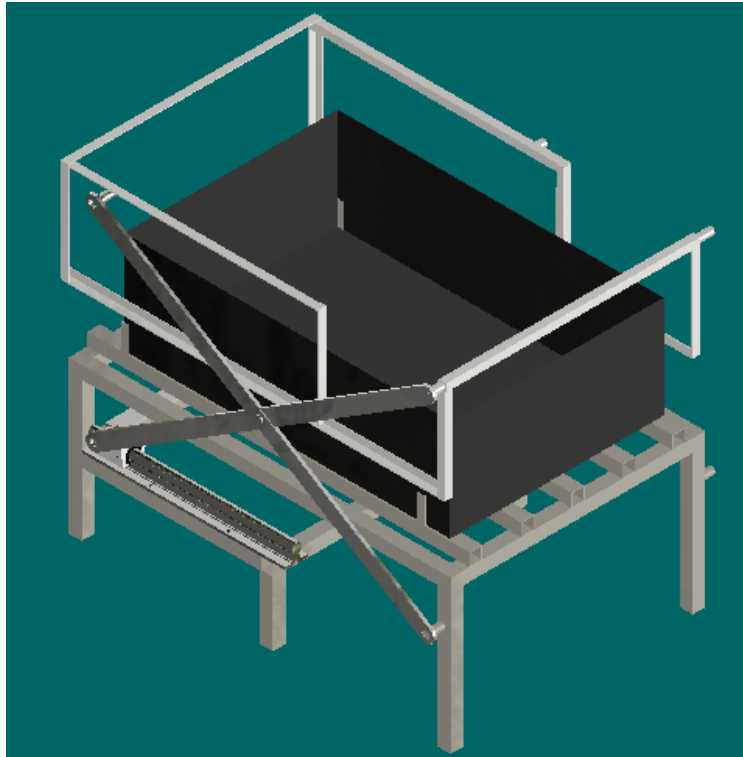


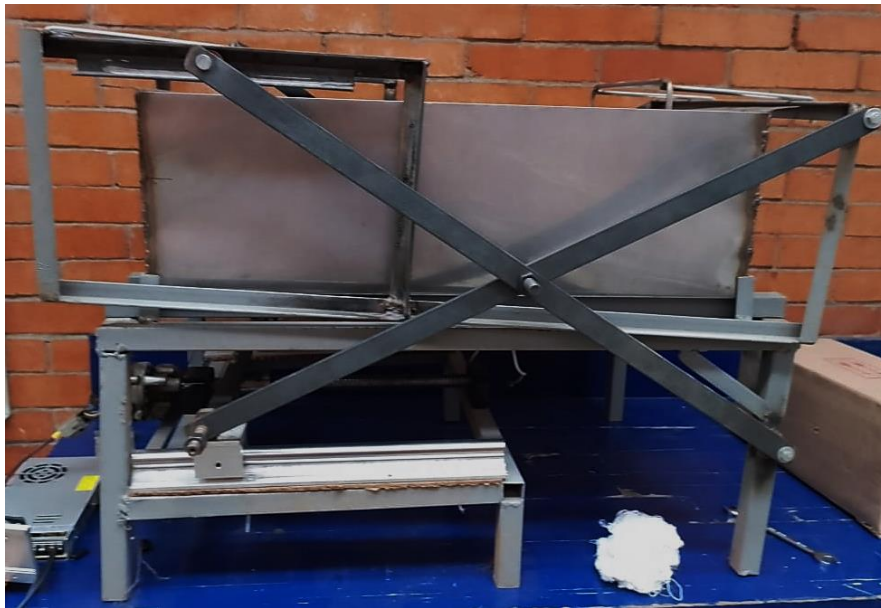
Ilustración 134. Simulación de esfuerzos sobre la estructura que soporta la charola.

Como se puede notar, ambas estructuras tienen un factor de seguridad óptimo, por lo que se concluye que son adecuadas para realizar el trabajo. Se tienen otros elementos importantes a considerar dentro del sistema de elevación, los cuales son: las soleras que componen las tijeras, la tuerca de avance y las dos chumaceras de media luna. La simulación de esfuerzos de estos componentes se muestra en la sección 4, subsección 4.4.2. donde se puede observar un factor de seguridad conveniente, concluyendo que el CAD de las partes que conforman el prototipo es adecuado y permite hacer un ensamble completo del mismo,



*Ilustración 135. Ensamble CAD completo del prototipo de la máquina para termo encogido.*

Una vez hecho el ensamble se comprueba un funcionamiento correcto del prototipo en el software de simulación, por lo que se puede continuar con la construcción y el ensamble físico, asegurando que el prototipo soportará y funcionará para los objetivos que fueron planteados inicialmente.



*Ilustración 136. Prototipo de máquina para termoencogido.*



De la misma manera se realizan pruebas sobre el sistema de calentamiento y elevación para comprobar su funcionamiento. En el sistema de calentamiento hay detalles importantes que destacar; primero que nada, se debe recordar que el sistema de calentamiento se realiza a través de resistencias tubulares de cobre, las cuales cuentan con una potencia de 1000 W cada una, y como se observa en los cálculos realizados en la sección 4, subsección 4.5, sería necesario colocar 4 resistencias de esta capacidad para llegar a la temperatura deseada en el tiempo requerido. Aun así, se decide hacer una prueba de calentamiento colocando solo dos resistencias.



*Ilustración 137. Prueba de calentamiento con dos resistencias.*

Resultando que no se llega a la temperatura adecuada en el tiempo solicitado, por lo que se colocan las dos resistencias restantes. También se debe mencionar que se conectaron dos controladores independientes para las cuatro resistencias, recordando que para controlar el sistema de calentamiento se conecta un relevador y un termopar a un pirómetro, por lo tanto, se conectarán dos resistencias a cada controlador, esto debido a la potencia que demandan las resistencias. Y, por último, pero muy importante es que la temperatura del agua no es uniforme en todos sus puntos, ya que se sitúa una gran cantidad de calor en los bordes de esta lo cual provoca una pérdida de calor considerable.



*Ilustración 138. Prueba del sistema de calentamiento.*

En el sistema de elevación se utiliza un motor con las siguientes características,

Tabla 12. Características del motor para el sistema de elevación.

Voltaje	24 V
Potencia nominal	19.3; 33.5 W
Corriente nominal	3.5; 6 A
Velocidad nominal	23; 40 rpm
Torque nominal	8 Nm

Como se puede observar en la tabla el motor cuenta con dos velocidades, pero debido a que genera un sobrecalentamiento en el circuito electrónico, solo se utiliza la velocidad baja, lo cual provoca que la elevación de la estructura sea considerablemente lenta.



Ilustración 139. Prueba de elevación.

A pesar de los detalles que se tienen en el sistema de calentamiento y elevación, estos cumplen su función, y son idóneos para realizar las pruebas y cumplir con los objetivos que se plantearon inicialmente sobre la máquina.

## 6. Conclusiones.

En la parte mecánica, después de realizar los dibujos CAD, los cálculos teóricos necesarios y haber comprobado con el uso de las tablas de características de cada material, se concluye que la construcción realizada para cada parte mecánica cumple con el objetivo de soportar las cargas a las que se somete el prototipo. Esto se concluye, después de haber realizado pruebas contundentes en las que soporta una carga mayor a la carga máxima para la que fue calculada, esta prueba se realizó con una carga estática, y también se realizaron pruebas de elevación en las cuales se nota que el movimiento planeado y que se requiere de la máquina es el adecuado y también soporta estas cargas dinámicas.

En la parte eléctrica, después de haber realizado los cálculos necesarios, las conexiones físicas entre las resistencias, contactores, pirómetros y el sistema eléctrico general, se concluye que los diseños propuestos por separado son adecuados al consumo máximo que se puede entregar en la mayoría de los talleres de la facultad. Además de haber comprobado durante las pruebas que la instalación eléctrica funciona correctamente, también la configuración planteada para las resistencias, cumple con el objetivo de elevar la temperatura del agua hasta el objetivo deseado en un tiempo adecuado para que el proceso sea correcto, según el producto cárnico planteado.

En conjunto, el prototipo funciona de acuerdo a lo planteado originalmente y cumple con los objetivos que se propusieron al inicio del proyecto. Se han realizado las pruebas necesarias físicamente tanto de elevación, calentamiento, resistencia y tiempos de operación, las cuales han sido satisfactorias para el proceso que está diseñado, por lo tanto, el prototipo cumple y es funcional para el trabajo para el que fue diseñado.

En general se cumplieron los objetivos deseados en cada uno de los aspectos desarrollados en el trabajo final y a pesar de las diferencias de opiniones o desacuerdos en algunas ocasiones entre el equipo de trabajo, se pudo salir adelante de cada una de las adversidades. También se debe mencionar que fue necesario ser flexibles y rápidos a la hora de considerar modificar nuestro plan de trabajo, al tener que cambiar de material o diseños que antes se habían contemplado, puesto que no eran óptimos.

Este proyecto nos aporta habilidades importantes en lo profesional, ya que demuestra la capacidad de desarrollar un proyecto desde cero, y comprueba la importancia de lo aprendido durante la carrera, ya que cada fase del proyecto es de suma importancia, desde los cálculos analíticos, el CAD en los softwares de diseño, la construcción física del mismo, hasta la redacción de este documento. De igual forma, se reforzaron y plasmaron estos conocimientos adquiridos, materias como ingeniería de materiales, diseño de elementos de máquinas, diseño asistido por computadora, transferencia de calor, electrónica, por mencionar algunas, y se obtuvo un enfoque más realista de lo mucho que aportan nuestras habilidades.

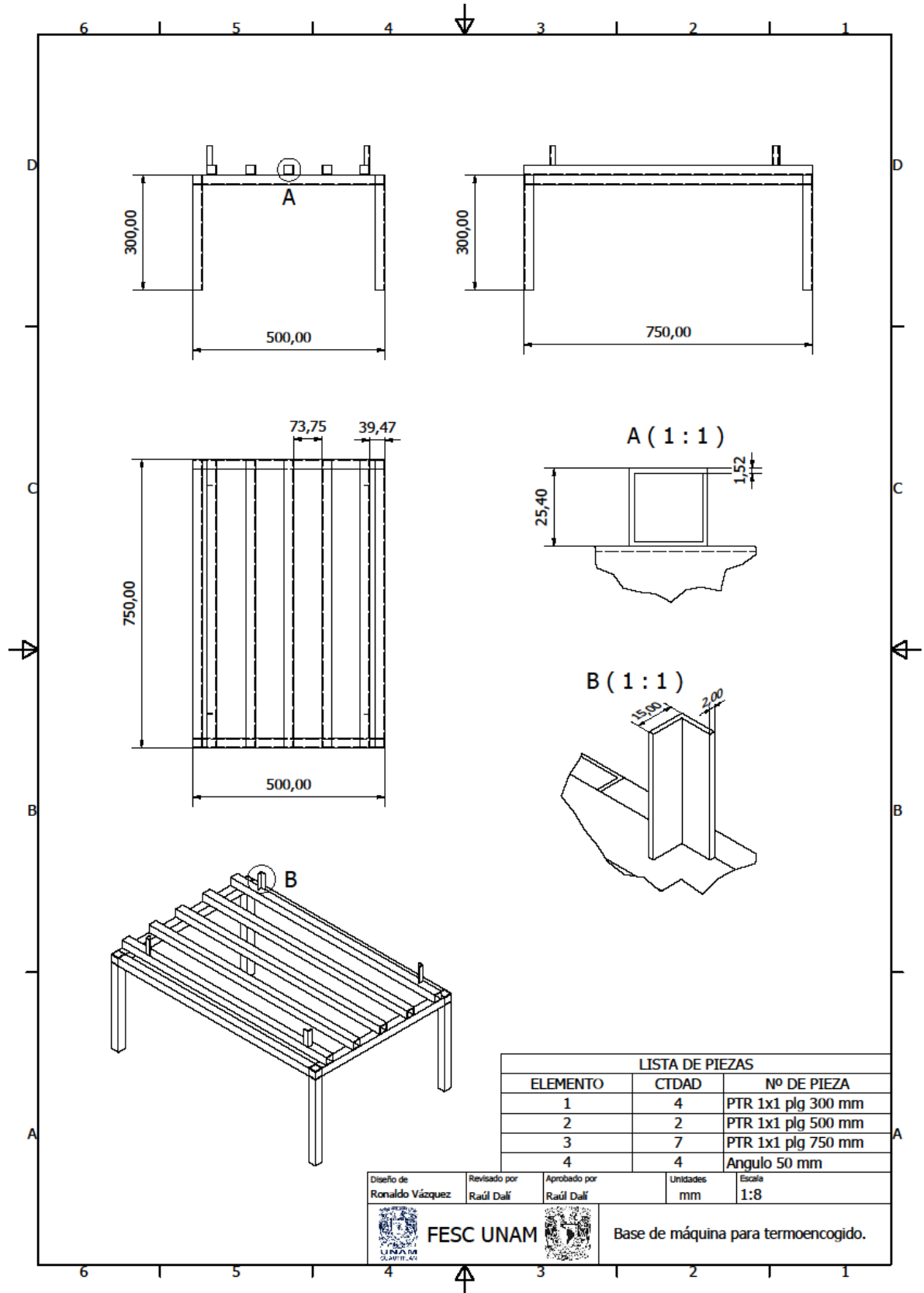
Finalmente se espera que con este prototipo se pueda aportar a la industria de forma significativa, optimizando los métodos relacionados, ya que el proyecto está enfocado en mejorar el proceso de eliminación de microorganismos y agilizar el empaquetado del producto cárnico o de alimentos de origen animal, de igual forma, el costo de venta de estos productos pueda disminuir considerablemente y ser más accesible.

## 7. Trabajo futuro.

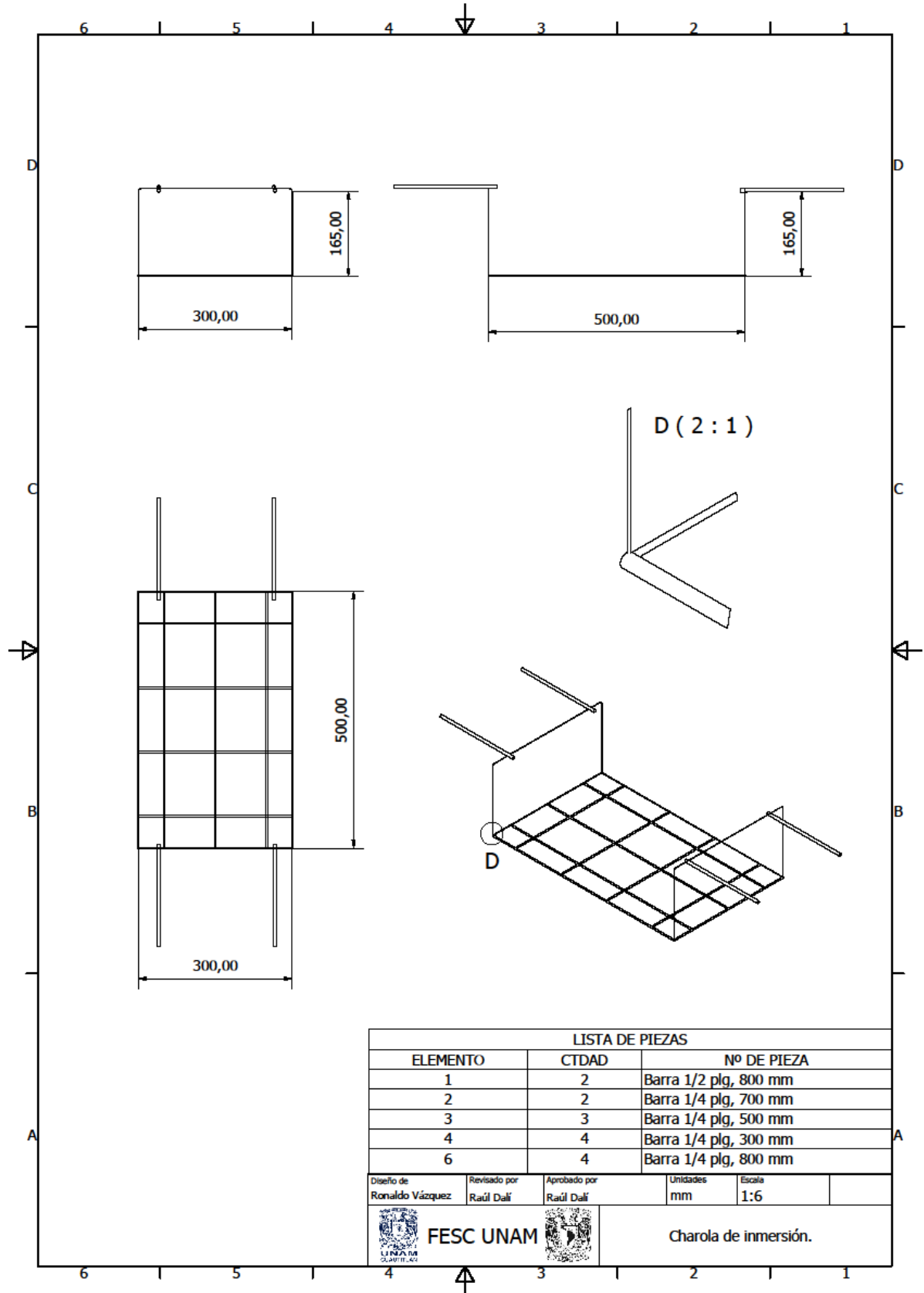
Se puede mejorar el prototipo dos puntos específicos; el primero sería en el sistema de elevación, se debe colocar un motor que se pueda conectar a una fuente de 24 V y que soporte al menos 10 A, esto nos daría una elevación más rápida, el segundo sería en el sistema de calentamiento, buscar aislar de alguna forma la tina para haya la menor pérdida de calor posible.

De igual forma, la automatización de la elevación del sistema de rejilla queda como trabajo futuro, actualmente se realiza a lazo abierto, siendo el usuario el que le indica a la máquina cuando avanzar y cuando detenerse. La automatización del sistema de elevación se puede implementar enlazándola con el sistema de calentamiento y de esta manera tener un control sincronizado con los requerimientos de calentamiento y del ascenso y descenso del sistema.

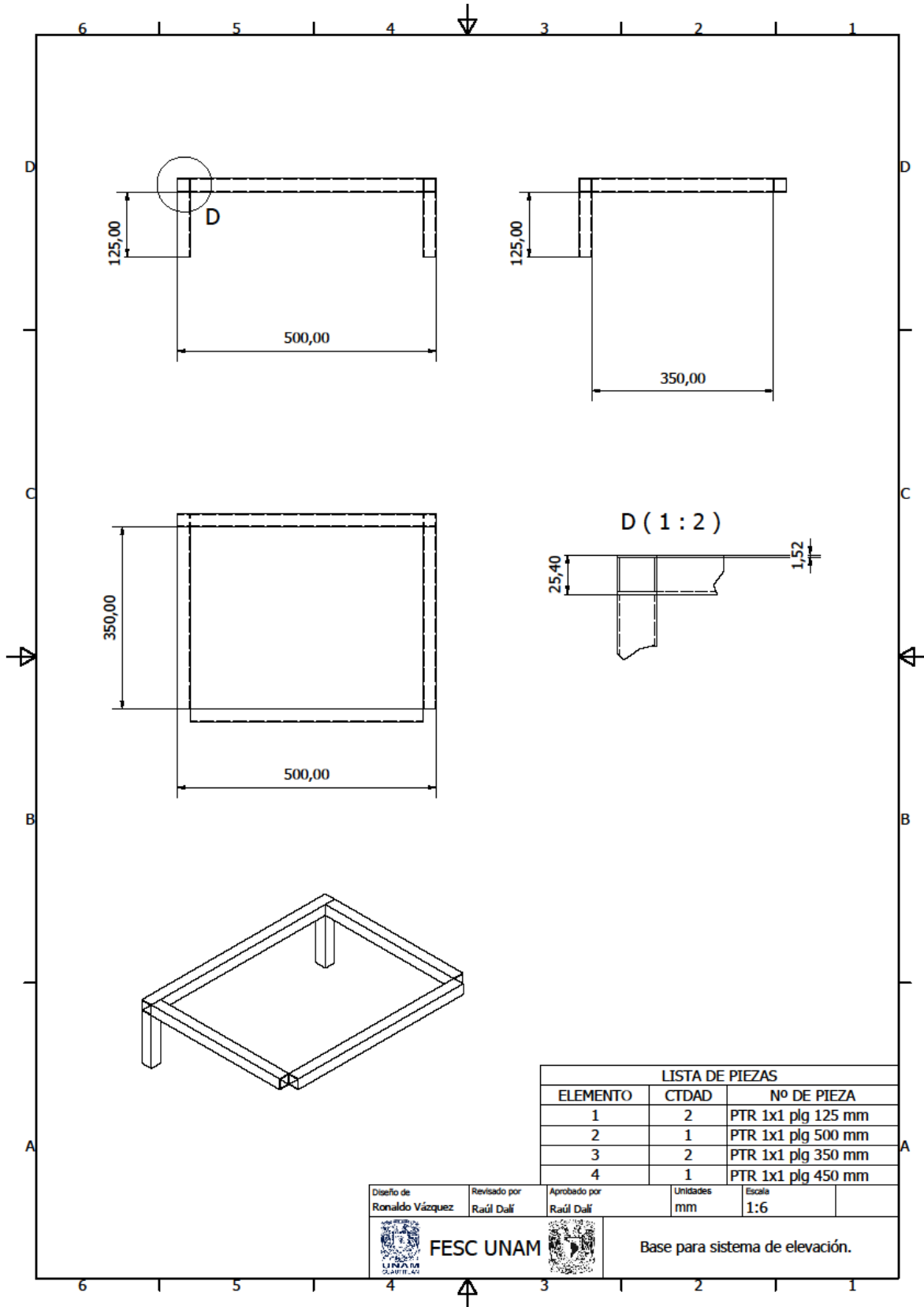
# Anexo 1



# Anexo 2



# Anexo 3



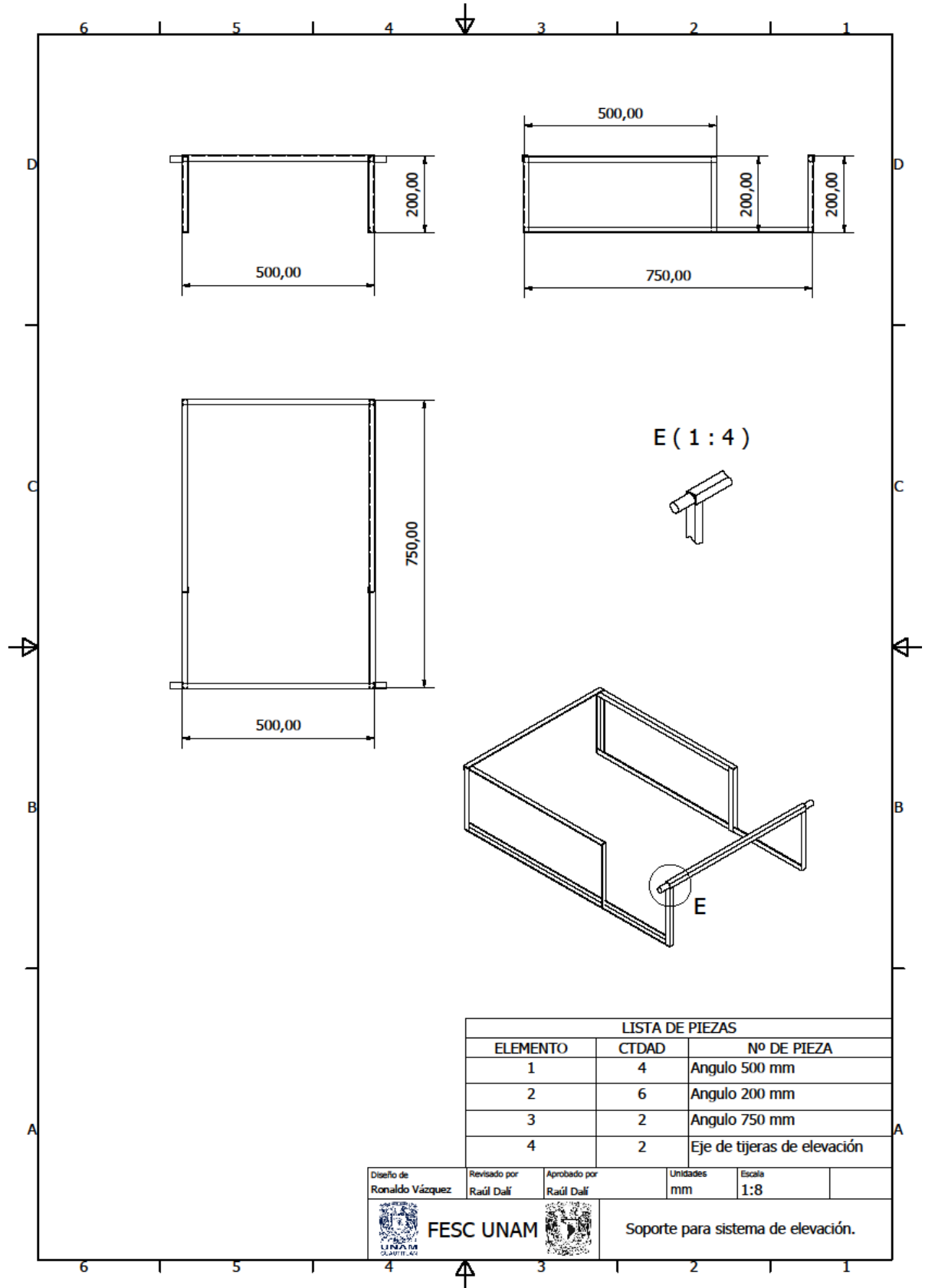
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	PTR 1x1 plg 125 mm
2	1	PTR 1x1 plg 500 mm
3	2	PTR 1x1 plg 350 mm
4	1	PTR 1x1 plg 450 mm

Diseño de Ronaldo Vázquez	Revisado por Raúl Dalí	Aprobado por Raúl Dalí	Unidades mm	Escala 1:6
------------------------------	---------------------------	---------------------------	----------------	---------------



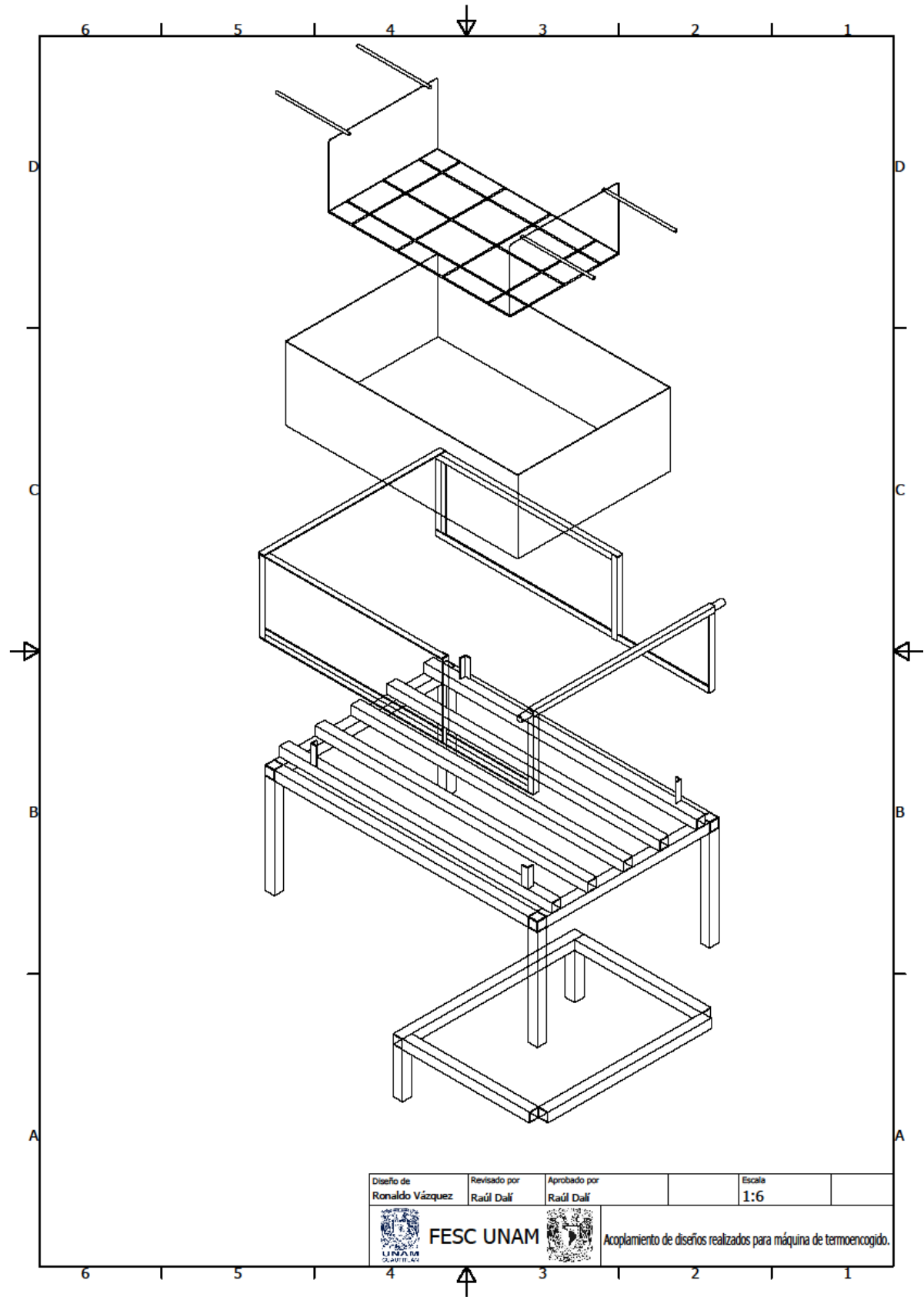
Base para sistema de elevación.

# Anexo 4

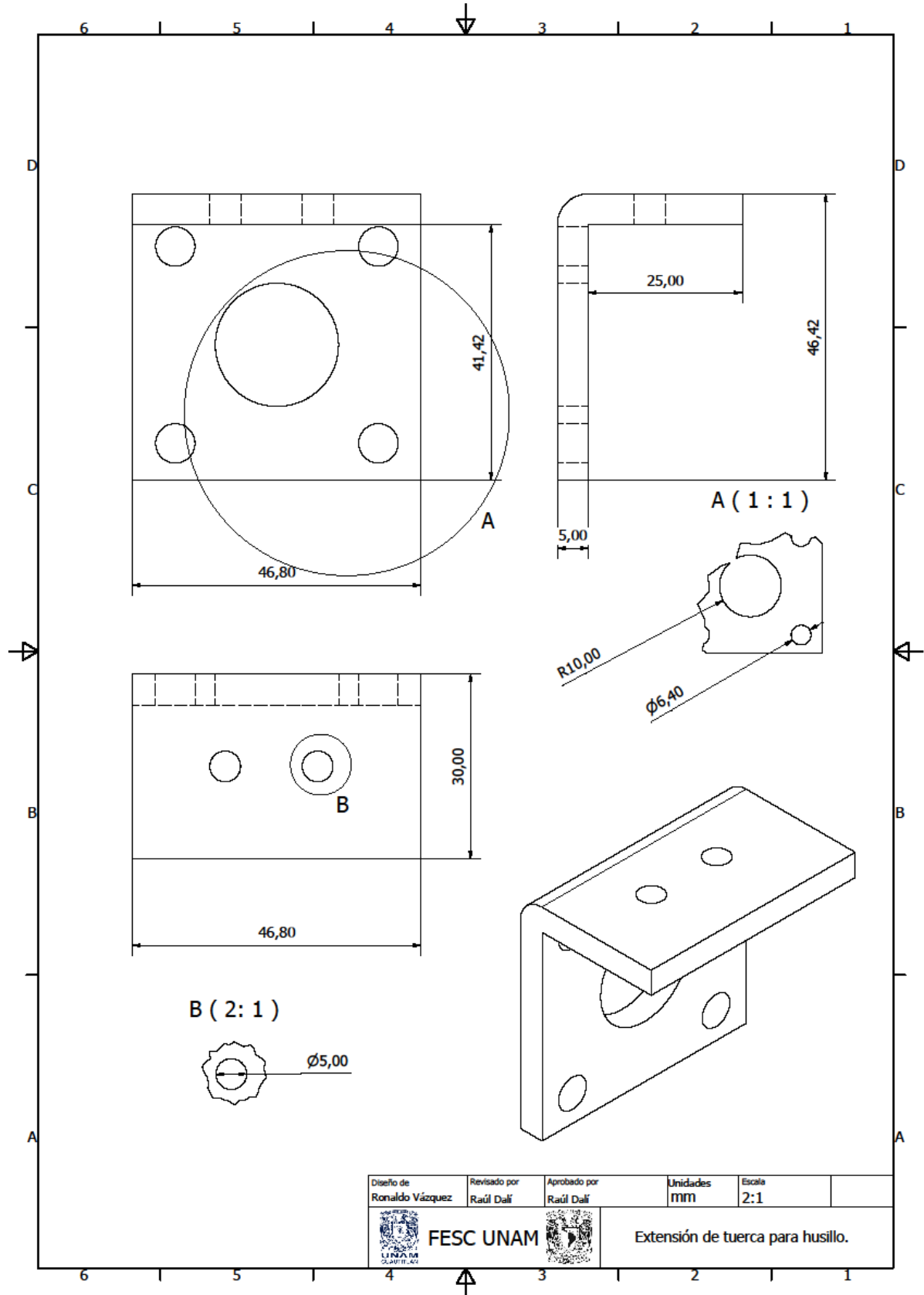




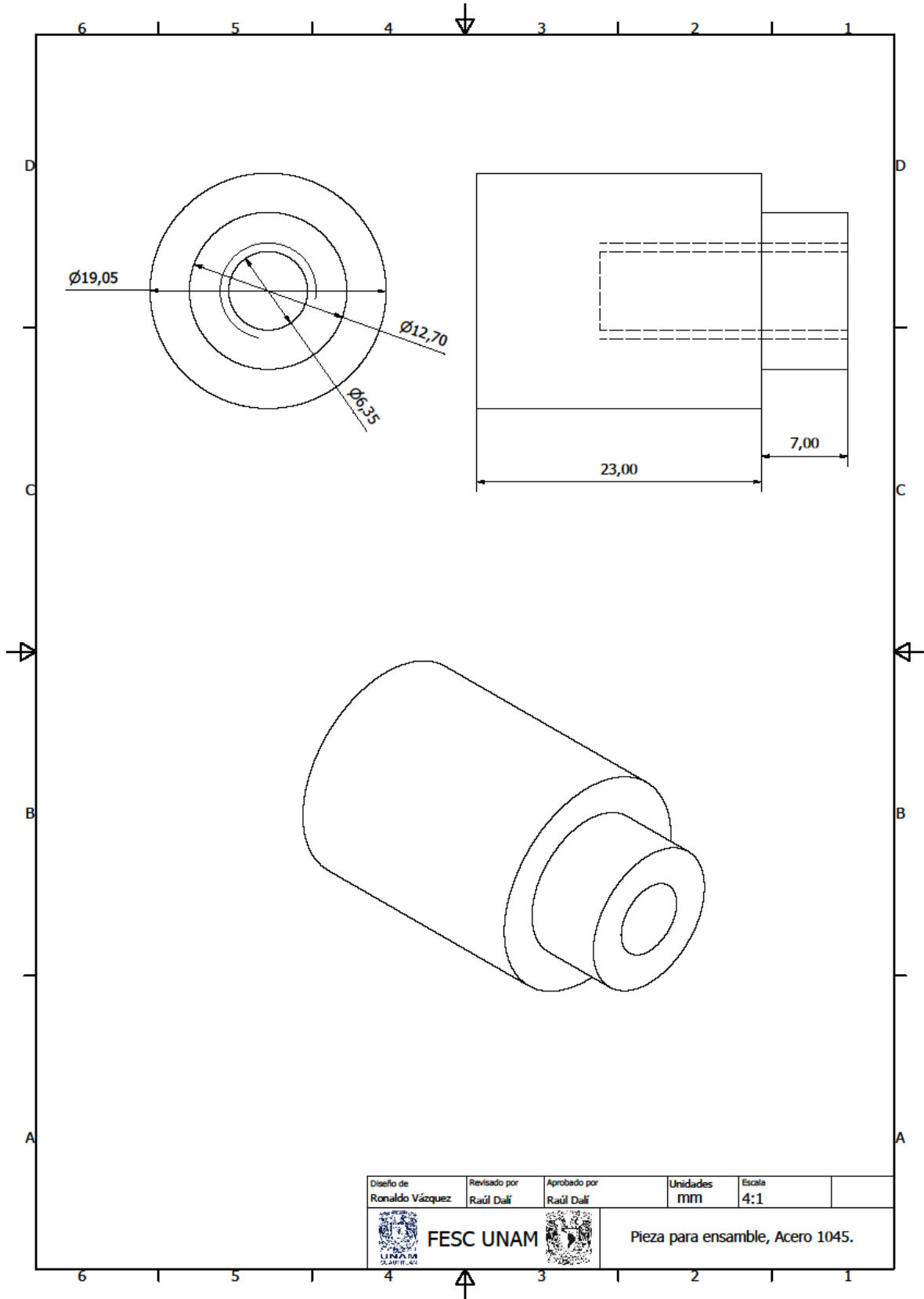
# Anexo 5



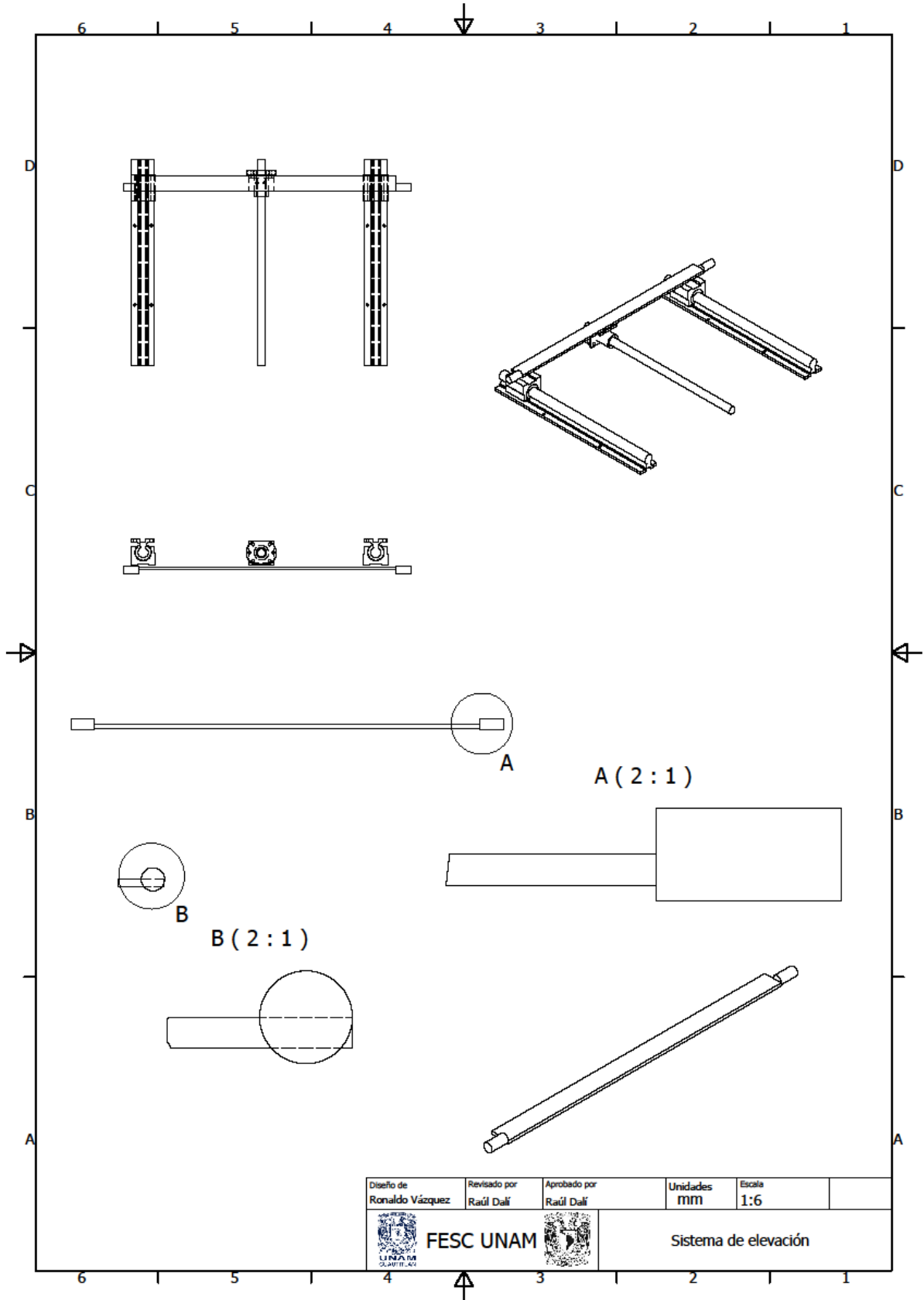
# Anexo 6



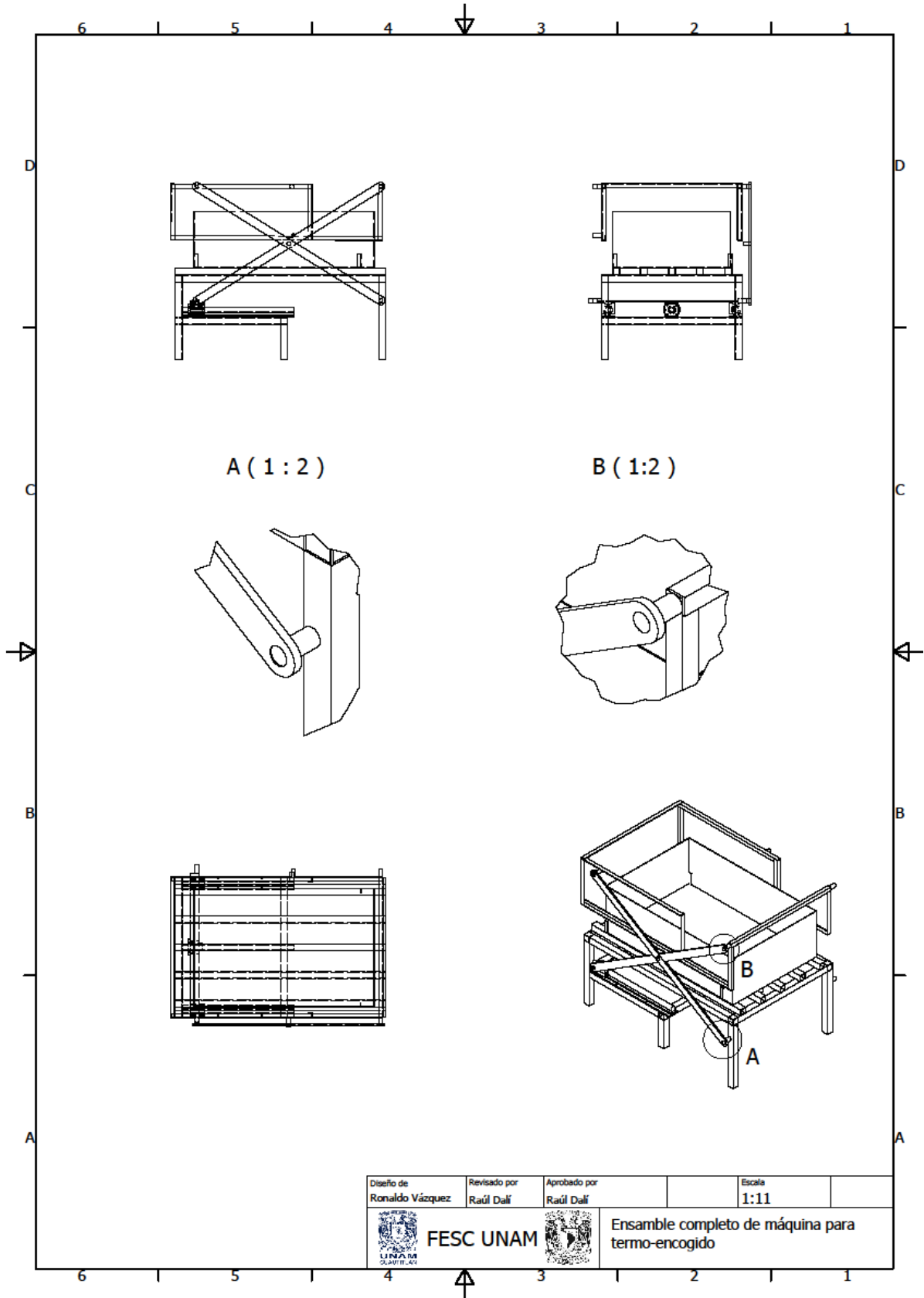
# Anexo 7





# Anexo 8

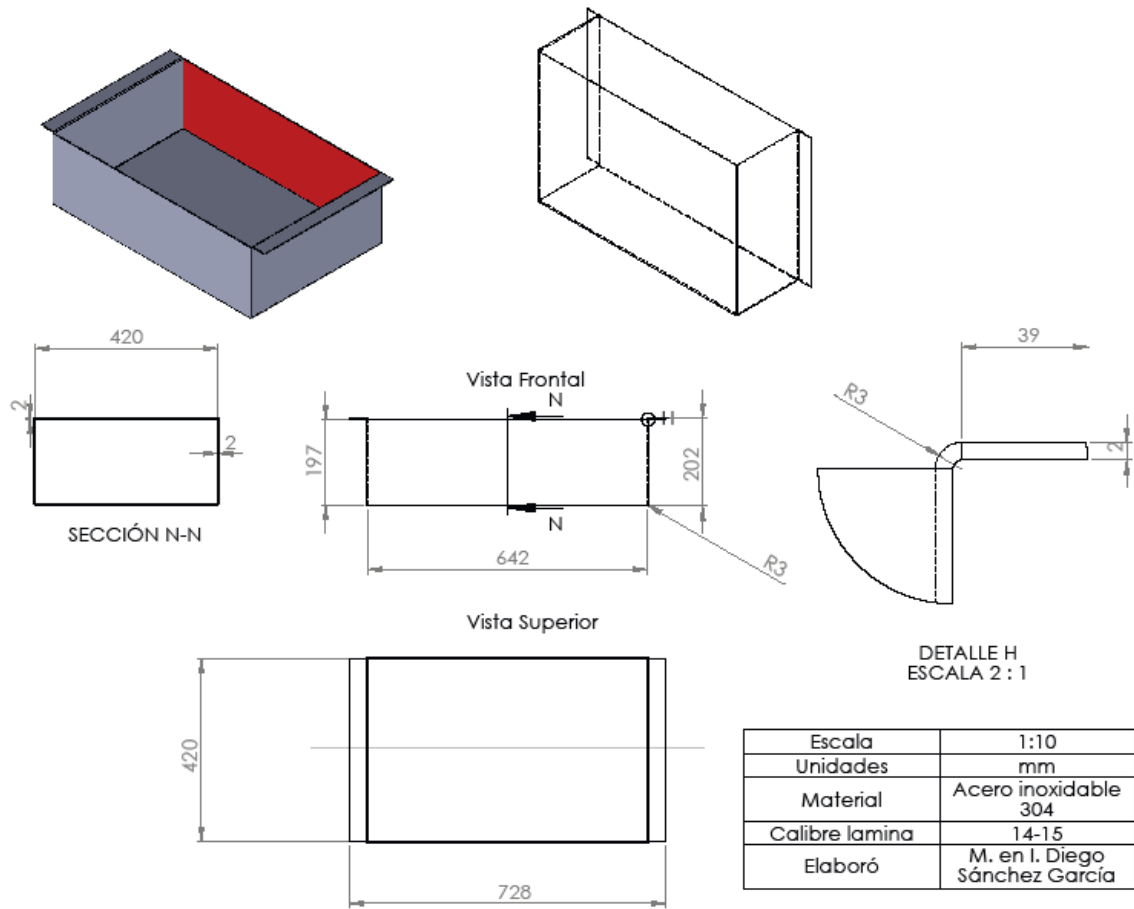


# Anexo 9



Diseño de Ronaldo Vázquez	Revisado por Raúl Dalí	Aprobado por Raúl Dalí	Escala 1:11
 <b>FESC UNAM</b>			Ensamble completo de máquina para termo-encogido

# Anexo 10



## Tabla de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Campana UVC sobre cinta transportadora.</i>	9
<i>Ilustración 2. Sistema de alta presión, discontinuo, para sólidos o líquidos envasados.</i>	10
<i>Ilustración 3. Cámara de tratamiento de sistema de pulsos eléctricos por lotes o estático.</i>	11
<i>Ilustración 4. Configuración coaxial de cámara de tratamiento para sistemas continuos.</i>	11
<i>Ilustración 5. Cámara de tratamiento de alimentos que utiliza pulsos de luz.</i>	12
<i>Ilustración 6. Ultrasonidos en la industria alimentaria.</i>	13
<i>Ilustración 7. Robots en la industria alimenticia.</i>	14
<i>Ilustración 8. Diseño CAD tina.</i>	15
<i>Ilustración 9. Boceto de la base.</i>	15
<i>Ilustración 10. D.C.L. de esfuerzos sobre la base.</i>	16
<i>Ilustración 11. Diagrama de esfuerzos en la base, considerando los elementos en reposo.</i>	17
<i>Ilustración 12. Diagrama de momentos en la base, considerando los elementos en reposo.</i>	18
<i>Ilustración 13. Geometría del PTR calibre 16.</i>	18
<i>Ilustración 14. D.C.L. de esfuerzos (estáticos y dinámicos) sobre la base.</i>	21
<i>Ilustración 15. Diagrama de esfuerzos en la base, considerando los elementos en movimiento de elevación.</i>	22
<i>Ilustración 16. Diagrama de momentos en la base, considerando los elementos en movimiento de elevación.</i>	23
<i>Ilustración 17. Diseño en CAD del prototipo base 2.</i>	24
<i>Ilustración 18. Diseño en CAD del prototipo base final.</i>	24
<i>Ilustración 19. Tensión de Von Mises.</i>	25
<i>Ilustración 20. Coeficiente de seguridad.</i>	25
<i>Ilustración 21. Análisis de desplazamiento.</i>	26
<i>Ilustración 22. Representación física del producto cárnico.</i>	27
<i>Ilustración 23. Diseño CAD de la charola.</i>	27
<i>Ilustración 24. Cara lateral de la charola.</i>	28
<i>Ilustración 25. Cara frontal de la charola.</i>	29
<i>Ilustración 26. Cara inferior de la charola.</i>	30
<i>Ilustración 27. DCL de esfuerzos sobre la charola.</i>	31
<i>Ilustración 28. Diagrama de fuerzas sobre la charola de placa.</i>	32
<i>Ilustración 29. Diagrama de momentos, charola placa.</i>	33
<i>Ilustración 30. Cara lateral de la charola y secciones de interés.</i>	35
<i>Ilustración 31. Sección de la charola que está sometida a un esfuerzo de tensión.</i>	35
<i>Ilustración 32. Referencia de ejes en la estructura.</i>	36
<i>Ilustración 33. Centro de masa en la charola.</i>	37
<i>Ilustración 34. Prototipo charola placa.</i>	38
<i>Ilustración 35. Prototipo charola placa 2.</i>	38
<i>Ilustración 36. Propuesta de diseño de charola.</i>	39
<i>Ilustración 37. D. C. L. de esfuerzos sobre una varilla de la charola.</i>	39
<i>Ilustración 38. D.C.L de cargas distribuidas sobre una varilla.</i>	40
<i>Ilustración 39. Diagrama de esfuerzos sobre una varilla de la charola.</i>	40
<i>Ilustración 40. Diagrama de momentos sobre una varilla de la charola.</i>	41



<i>Ilustración 41. Esfuerzo de tensión sobre barra vertical.</i>	43
<i>Ilustración 42. Diseño CAD de Charola de barra de acero inoxidable.</i>	43
<i>Ilustración 43. Diseño del soporte para el juego de poleas.</i>	44
<i>Ilustración 44. D.C.L. de esfuerzos sobre la viga superior de la estructura propuesta.</i>	44
<i>Ilustración 45. Diagrama de esfuerzos sobre la viga superior.</i>	45
<i>Ilustración 46. Diagrama de momentos sobre la viga superior.</i>	46
<i>Ilustración 47. Geometría del material propuesto para la estructura del sistema de elevación.</i>	46
<i>Ilustración 48. DCL para la fuerza de descarga del agua.</i>	49
<i>Ilustración 49. Propuesta del sistema de elevación tipo tijera.</i>	50
<i>Ilustración 50. Material adquirido para el sistema de elevación.</i>	51
<i>Ilustración 51. Sistema de elevación acoplado a la base.</i>	53
<i>Ilustración 52. Boceto de la base con una sección añadida para soportar el sistema de elevación.</i>	53
<i>Ilustración 53. Diseño en CAD de la base que soporta el sistema de elevación.</i>	54
<i>Ilustración 54. Coeficiente de seguridad.</i>	54
<i>Ilustración 55. Tensión de Von Mises.</i>	55
<i>Ilustración 56. Desplazamiento.</i>	55
<i>Ilustración 57. Diseño CAD de la solera de 1/4 de pulgada.</i>	56
<i>Ilustración 58. Soporte para el sistema de elevación.</i>	56
<i>Ilustración 59. Diseño CAD de chumacera de media luna.</i>	56
<i>Ilustración 60. Diseño CAD de extensión para tuerca.</i>	57
<i>Ilustración 61. Diseño CAD de tuerca y extensión.</i>	57
<i>Ilustración 62. Coeficiente de seguridad de la chumacera de media luna.</i>	57
<i>Ilustración 63. Tensión de Von Mises de la chumacera de media luna.</i>	58
<i>Ilustración 64. Desplazamiento de la chumacera de media luna.</i>	58
<i>Ilustración 65. Coeficiente de seguridad de la tuerca y su extensión.</i>	59
<i>Ilustración 66. Tensión de Von Mises de la tuerca y su extensión.</i>	59
<i>Ilustración 67'. Desplazamiento de la tuerca y su extensión.</i>	60
<i>Ilustración 68. Ensamble de las piezas del sistema de elevación.</i>	60
<i>Ilustración 69. Pieza de acero 1045.</i>	61
<i>Ilustración 70. Ensamble completo de los diseños CAD.</i>	61
<i>Ilustración 71. Tina.</i>	63
<i>Ilustración 72. Parte superior de la base.</i>	64
<i>Ilustración 73. Soportes verticales.</i>	64
<i>Ilustración 74. Soportes diagonales.</i>	65
<i>Ilustración 75. Soportes de seguridad.</i>	65
<i>Ilustración 76. Base.</i>	66
<i>Ilustración 77. Parte inferior de la charola.</i>	67
<i>Ilustración 78. Arcos añadidos a los extremos de la parte inferior de la charola.</i>	68
<i>Ilustración 79. Charola terminada.</i>	68
<i>Ilustración 80. Estructura que soporta la charola.</i>	69
<i>Ilustración 81. Soportes para que la charola repose sobre la estructura de elevación.</i>	70

<i>Ilustración 82. Prueba de dimensiones a las piezas cortadas para sistemas de elevación.....</i>	70
<i>Ilustración 83. PTR y ángulos unidos.....</i>	71
<i>Ilustración 84. Base del sistema de elevación.....</i>	71
<i>Ilustración 85. Base del sistema de elevación unida a la base de la máquina.....</i>	71
<i>Ilustración 86. Motor de CD para el sistema de elevación.....</i>	72
<i>Ilustración 87. Careado.....</i>	72
<i>Ilustración 88. Perforación guía.....</i>	73
<i>Ilustración 89. Perforación de diámetro mayor.....</i>	73
<i>Ilustración 90. Perforación de diámetro menor.....</i>	74
<i>Ilustración 91. Proceso de rosca interna.....</i>	74
<i>Ilustración 92. Ensamble de husillo al eje del motor.....</i>	74
<i>Ilustración 93. Desbaste del husillo en esmeril.....</i>	75
<i>Ilustración 94. Desbaste del husillo en torno.....</i>	75
<i>Ilustración 95. Husillo acoplado sobre los soportes.....</i>	75
<i>Ilustración 96. Solera para el sistema de elevación.....</i>	76
<i>Ilustración 97. Prueba de dureza a placa de Aluminio.....</i>	76
<i>Ilustración 98. Solubilizado a 850°C.....</i>	76
<i>Ilustración 99. Gráfico del tratamiento de solubilización.....</i>	77
<i>Ilustración 100. Envejecimiento artificial.....</i>	77
<i>Ilustración 101. Gráfico del tratamiento de envejecimiento.....</i>	78
<i>Ilustración 102. Prueba de dureza aplicada después de los tratamientos térmicos.....</i>	78
<i>Ilustración 103. Extensión para tuerca de avance.....</i>	79
<i>Ilustración 104. Unión de la tuerca de avance con las chumaceras de media luna.....</i>	79
<i>Ilustración 105. Tijeras de elevación.....</i>	79
<i>Ilustración 106. Piezas para acoplamiento de tijeras.....</i>	80
<i>Ilustración 107. Temple a 850 °C.....</i>	80
<i>Ilustración 108. Proceso de temple.....</i>	81
<i>Ilustración 109. Enfriamiento brusco en agua.....</i>	81
<i>Ilustración 110. Revenido a 280 °C.....</i>	81
<i>Ilustración 111. Estado final de las piezas.....</i>	82
<i>Ilustración 112. Gráfico del tratamiento de temple y revenido.....</i>	82
<i>Ilustración 113. Piezas muestra de acero 1045.....</i>	82
<i>Ilustración 114. Proceso de encapsulado.....</i>	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
<i>Ilustración 115. Estado final de encapsulado y preparación metalográfica.....</i>	84
<i>Ilustración 116. Microestructura del acero 1045.....</i>	84
<i>Ilustración 117. Microestructura del acero 1045 después del tratamiento térmico.....</i>	84
<i>Ilustración 118. Prueba de dureza a muestra de acero 1045.....</i>	85
<i>Ilustración 119. Prueba de dureza a muestra de acero 1045 tratada térmicamente.....</i>	85
<i>Ilustración 120. Guías para elevación.....</i>	85
<i>Ilustración 121. Regulador de voltaje (10 A).....</i>	86
<i>Ilustración 122. Regulador sobre placa de pruebas.....</i>	86
<i>Ilustración 123. Regulador de voltaje.....</i>	87
<i>Ilustración 124. Perforación y colocación de resistencia.....</i>	88

<i>Ilustración 125. Charola sobre tina.</i>	88
<i>Ilustración 126. Diseño CAD de caparazón para relevador.</i>	89
<i>Ilustración 127. Software de impresión 3D.</i>	89
<i>Ilustración 128. Impresora 3D en proceso.</i>	90
<i>Ilustración 129. Caparazón para relevador.</i>	90
<i>Ilustración 130. Pirómetro.</i>	90
<i>Ilustración 131. Comparación de CAD y construcción de la base.</i>	91
<i>Ilustración 132. Comparación de CAD y construcción de la charola.</i>	92
<i>Ilustración 133. Simulación de esfuerzos sobre la base del sistema de elevación.</i>	92
<i>Ilustración 134. Simulación de esfuerzos sobre la estructura que soporta la charola.</i>	93
<i>Ilustración 135. Ensamble CAD completo del prototipo de la máquina para termo encogido.</i>	94
<i>Ilustración 136. Prototipo de máquina para termoencogido.</i>	94
<i>Ilustración 137. Prueba de calentamiento con dos resistencias.</i>	95
<i>Ilustración 138. Prueba del sistema de calentamiento.</i>	95
<i>Ilustración 139. Prueba de elevación.</i>	96

## Bibliografía

- Alfonso Barbosa Moreno, C. E. (2021). *Manufactura. Patria Educación*.
- Almagro, M. F. (11 de 03 de 2022). *SlidePlayer*. Obtenido de <https://slideplayer.es/slide/157158>
- Ángela, C. M. (julio de 2019). Evaluación de las nuevas tecnologías en el desarrollo de productos cárnicos saludables. *Tesis*. Madrid, España.
- Barrado, A. M. (2010). *Nuevas tecnologías de consevación de alimentos*.
- Bertus. (05 de 02 de 2009). Obtenido de <http://www.esebertus.com/blog/2009/02/05/pulsos-de-luz-nuevas-tecnologias-de-conservacion-de-alimentos/>
- Bolufer, P. (28 de 05 de 2012). *Instituto Químico de Sarriá*. Obtenido de <http://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/80511-Las-altas-presiones.html>
- Carballo, J. (2017). Aplicación industrial de alta presión en la industria cárnica.
- Carrillo, C. (2010). Pulsos eléctricos: Fundamentos y aplicaciones en alimentos. En *Temas selectos de ingeniería de alimentos* (págs. 9-26). México.
- Castillo, M. e. (2008). *Tablas de propiedades de materiales*. Obtenido de [http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/fundamentos\\_de\\_mecanica\\_solidos.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/fundamentos_de_mecanica_solidos.pdf)
- Delgado, J. O. (2011). Aplicación de ultrasonido en la industria de los alimentos. Bogotá, Colombia.
- González, Y. (s.f.). *Academia*. Obtenido de [https://www.academia.edu/32056056/APLICACIONES\\_DE\\_LOS\\_PULSOS\\_DE\\_LUZ\\_EN\\_LA\\_INDUSTRIA\\_ALIMENTARIA](https://www.academia.edu/32056056/APLICACIONES_DE_LOS_PULSOS_DE_LUZ_EN_LA_INDUSTRIA_ALIMENTARIA)
- Gutiérrez, A. (2012). Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UVC. En *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* (págs. 149-159). México.
- Hielscher Ultrasonics. (s.f.). *Hielscher Ultrasound Technology*. Obtenido de [https://www.hielscher.com/es/food\\_01.htm](https://www.hielscher.com/es/food_01.htm)
- Hiperbaric. (20 de 05 de 2013). *Hiperbaric*. Obtenido de Aplicaciones y limitaciones de altas presiones en carne fresca: <https://www.hiperbaric.com/es/aplicaciones-y-limitaciones-de-las-altas-presiones-en-carne-fresca/>
- infoPLC. (15 de marzo de 2015). Obtenido de <https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/102535-automatizacion-medicion-industria-carnica>
- Jerez, D. J. (26 de 05 de 2010). *EROSKI CONSUMER*. Obtenido de <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/sociedad-y-consumo/2003/04/15/5980.php>

- Kurt Gieck, R. G. (2007). *Manual de formulas técnicas*. México : Alfaomega Grupo Editor.
- Lagares, J. (2017). *Proceso de fabricación de productos cárnicos cocidos de músculo entero*.  
Obtenido de <https://1library.co/document>
- Obtención y transformación de la carne*. (2 de 12 de 2012). Obtenido de  
<https://otcmaster2011.wordpress.com/2012/12/02/altas-presiones-como-metodo-de-conservacion-de-productos-carnicos/>
- Puértolas, E. (10 de 06 de 2014). *Alimentos y procesos*. Obtenido de  
<http://www.diariodeciencias.com.ar/los-pulsos-de-luz-en-alimentos-tecnologia-antimicrobiana/>
- Puyod, J. T. (2013-2014). Inactivación microbiana por pulsos electricos de alto voltaje.
- Restrepo Diego, A. C. (2001). *Industria de carnes. Tratamientos térmicos en productos cárnicos*. Obtenido de <https://www.academia.edu>
- Rodríguez, M. e. (2008). *Fundamentos de Mécanica de Sólidos* . Obtenido de  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m5/fundamentos\\_de\\_mecanica\\_solidos.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m5/fundamentos_de_mecanica_solidos.pdf)
- Texas Instruments*. (Marzo de 2013). Obtenido de <https://www.ti.com/>