

**Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey**



**Tecnológico  
de Monterrey**

Análisis de materiales y manufactura (Gpo 405 MTY 2411)

**Reporte Final**

**Reto Carrier**

**Profesores**

César Alberto Núñez López

Alan Mauricio Guajardo Treviño

**Equipo 1**

Valeria Sofía Dávila de Ochoa | A00836048

Gustavo Angel Hidalgo Romero | A00835599

Luis Alberto Lopez Bravo | A01741074

Daphne Elisa Juarez Cortes | A00837197

José Aguilar Dávila | A01369827

Sofía Cavazos Chavoya | A00837980

**Monterrey, Nuevo León**

**2 de mayo, 2024**

# Índice

<b>Índice.....</b>	<b>2</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>4</b>
<b>Antecedentes del reto.....</b>	<b>4</b>
Funcionamiento.....	5
<b>Definición del problema.....</b>	<b>5</b>
<b>Objetivos de rediseño y restricciones.....</b>	<b>6</b>
Objetivo del proyecto.....	6
Restricciones.....	6
<b>Metodología de solución.....</b>	<b>7</b>
Selección de material.....	7
Proceso de manufactura.....	10
<b>Resultados de investigación.....</b>	<b>10</b>
Procesos de manufactura utilizados.....	11
Torneado de acero inoxidable 1/4 de pulgada:.....	11
Soldadura de acero inoxidable:.....	12
Doblado de acero inoxidable de 3/16 pulgadas:.....	13
Sobrecocido de acero inoxidable austenítico:.....	14
<b>Ideaciones.....</b>	<b>15</b>
Propuesta 1.....	15
Propuesta 2.....	15
Propuesta 3.....	15
Propuesta 4.....	15
Propuesta 5.....	15
Propuesta 6.....	15
<b>Propuesta de solución.....</b>	<b>16</b>
- Boceto.....	16
- Dibujo.....	16
- <b>Prototipo con acero inoxidable austenítico.....</b>	<b>17</b>
- <b>Experimentación.....</b>	<b>18</b>
Simulación.....	18
Prueba del prototipo.....	20
<b>Análisis de costos para la manufactura de 400 piezas (con costos reales).....</b>	<b>21</b>
<b>Discusiones.....</b>	<b>23</b>
Diseño.....	23
Pros.....	23
Contras.....	23
Proceso de manufactura.....	23
Pros:.....	23
Contras.....	23

<b>Material.....</b>	<b>24</b>
Pros:.....	24
Contras.....	24
<b>Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>25</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>26</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>27</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>27</b>

## Índice de figuras

Imagen 1: Maquina soldadura.....	5
Tabla 1. Gráficas realizadas en Granta EduPack.....	8
Imagen 2: Gráfica de fatiga y esfuerzo obtenida de Edupack [1].....	8
Imagen 3: Gráfica de cedencia y temperatura de trabajo obtenida de Edupack [1].....	8
Imagen 4: Gráfica de fatiga y dureza obtenida de Edupack [1].....	8
Imagen 5: Gráfica de soldabilidad y precio obtenida de Edupack [1].....	8
Tabla 2. Curvas S-N de las propuesta de material.....	9
Imagen 6: Gráfica de fatiga del acero mencionado obtenida de Edupack [1].....	9
Imagen 7: Gráfica de fatiga del acero mencionado de Edupack [1].....	9
Imagen 8: Gráfica de fatiga del acero mencionado de Edupack [1].....	9
Imagen 9: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 10: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 11: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 12: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 13: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 14: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360.....	15
Imagen 15: Diseño del holder final a mano.....	16
Imagen 16: Dibujo de propuesta final del holder realizado en Fusion 360.....	16
Imagen 17: Diseño de propuesta del holder final realizado en Fusion 360.....	16
Imagen 18: Fotografía del prototipo.....	17
Imagen 19: Fotografía del prototipo.....	17
Imagen 20: Fotografía del prototipo.....	17
Imagen 21: Fotografía del prototipo.....	17
Imagen 22: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons.....	18
Imagen 23: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons.....	19
Imagen 24: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons.....	19
Imagen 25: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons.....	19
Imagen 27: Simulación de Prueba de la esfera central con 20 newtons.....	20
Imagen 28: Simulación de Prueba toda la estructura fija menos los ganchos.....	20
Imagen 29: Fotografía del prototipo funcionando.....	20
Imágenes (30-36):Anexos procesos.....	28

## **Introducción**

En este reporte se analizará cuál es el mejor material que cumple con las especificaciones y restricciones que son presentadas para la manufactura de un holder que será utilizado para colgar la antorcha que es usada para el proceso de “brazing” en la empresa Carrier. Dicho holder tiene como objetivo ser más seguro que el actual y que mantenga la ergonomía que hoy en día se tiene.

Serán presentadas todas las ideas que surgieron durante esta Unidad de Formación al igual que la propuesta de solución. Mediante programas como Granta EduPack al igual que la investigación realizada se logrará mostrar la razón por la que se seleccionó el material del holder, además de la utilización de Fusion 360 para tener una mejor visualización y análisis de la simulación al momento de aplicarle fuerza al holder final. Así mismo, se mostrará el prototipo que se logró manufacturar al igual que las recomendaciones que se deben de seguir para usar mejores procesos de manufactura y tener como resultado final un mejor holder.

## **Antecedentes del reto**

### *Situación actual*

Durante el proceso de soldadura de uno de los productos de la empresa Carrier, ocurrió un accidente en el que una operadora no colocó adecuadamente la antorcha en el holder de la máquina de soldar, lo que provocó la caída de la antorcha estando encendida, lastimando a la operadora y generando una quemadura de 1er grado en el pie izquierdo.

Al analizar el video del funcionamiento de la máquina, observamos la falta de seguridad y ergonomía que hay en el holder. Este dispositivo consta de un alambre unido a la antorcha que se tiene que insertar en un gancho unido a la máquina. Cuando este gancho se baja, detiene el flujo de gases que enciende la antorcha. Esto lo podemos ver más claramente en la siguiente imagen:



Imagen 1: Maquina soldadura

### Funcionamiento

El sistema de welding funciona con un switch de seguridad, el cual está unido al *holder*. Cuando se coloca la antorcha en el *holder*, su peso activa el switch de seguridad, lo que a su vez desactiva el flujo de gases en las mangueras de la antorcha, apagando la flama que produce. Sin embargo, después de colocar la antorcha en el holder y activar el switch, queda un remanente de gases en las mangueras. Este remanente causa que la antorcha siga activa durante aproximadamente 2 segundos adicionales.

### Definición del problema

El problema que buscamos resolver se enfoca en el bajo nivel de seguridad del diseño actual del *holder* utilizado para sostener la antorcha empleada durante el proceso de brazing. Debido al diseño existente, es fácil que se caiga la antorcha si no se tiene el cuidado necesario al depositarla en el *holder* después de usarse, generando posibles accidentes que pongan en riesgo la integridad de quien utiliza el dispositivo.

## Objetivos de rediseño y restricciones

### *Objetivo del proyecto*

El objetivo del proyecto es rediseñar el holder del proceso de brazing para aumentar la seguridad conforme al diseño anterior, respetando la ergonomía original; ya que esto es esencial para el bienestar, comodidad y protección de los trabajadores. Para ello utilizaremos softwares de CAD, EduPack y los materiales a nuestra disposición, para desarrollar el nuevo holder en un periodo de tiempo de 5 semanas.

### *Restricciones*

Las restricciones que debemos tomar en cuenta para el diseño van de acuerdo al peso y las dimensiones del holder, así como las temperaturas relacionadas al ambiente y la antorcha.

- Peso

El sistema (holder y antorcha) debe pesar máximo 1 lb. Tomando en cuenta que la antorcha pesa aproximadamente 0.82 lb, el peso del *holder* debe ser máximo de 0.18 lb.

- Temperatura

La zona donde trabajan los operarios alcanza los 700°C, sin embargo el mango de la antorcha alcanza entre 400°C y 500°C. El área de donde el operario sujeta la antorcha llega máximo a 100°C.

- Dimensiones

Debido a que el gancho está al ras del conveyor, es recomendable que el diseño propuesto tenga dimensiones similares a las del *holder* original. El largo total del holder es de 12.9 cm, la distancia del switch a la curvatura donde se cuelga la antorcha es de 8.3 cm, y el diámetro del holder es de 6.09 cm.

- Ergonomía

Se busca que el diseño sea ergonómico, que los operarios no hagan más esfuerzo del que realizaban al utilizar el diseño anterior, si es posible incluso disminuirlo. De esta forma los tiempos de operación tampoco serían afectados por el diseño.

## Metodología de solución

### *Selección de material*

Para la selección de materiales utilizamos el software Granta EduPack, para escoger el material que más se ajusta a las necesidades de nuestro prototipo. El primer filtro que se realizó fue por el tipo de material, definimos que queríamos enfocarnos en el apartado de aleaciones inoxidables, ya que algunos materiales inoxidables soportan altas temperaturas sin perder sus propiedades mecánicas y tienen alta resistencia a la corrosión, lo que prolonga su vida útil.

Posteriormente, aplicamos filtros más específicos, enfocados en el problema a resolver y las restricciones establecidas. Para la temperatura de trabajo establecimos un mínimo de 400°C, una soldabilidad de buena a excelente, una resistencia a la fatiga a  $10^7$  ciclos de mínimo 150 MPa y finalmente, un esfuerzo de cedencia mínimo de 0.6 MPa, el cual surge de los cálculos que se muestran a continuación.

Utilizando la fórmula de esfuerzo, con los valores de nuestro diseño y sus restricciones, realizamos el cálculo para encontrar el esfuerzo mínimo de cedencia que debe soportar el material a elegir.

$$\sigma_y = \frac{F}{A} \rightarrow \sigma_y = \frac{mg}{\pi r^2}$$

Donde  $m$  es la masa de la antorcha (kg),  $g$  es el valor de la gravedad ( $m/s^2$ ) y  $r$  es el radio en el punto más estresado del holder (m), el cual es el punto donde se une uno de los ganchos con la soldadura de los demás.

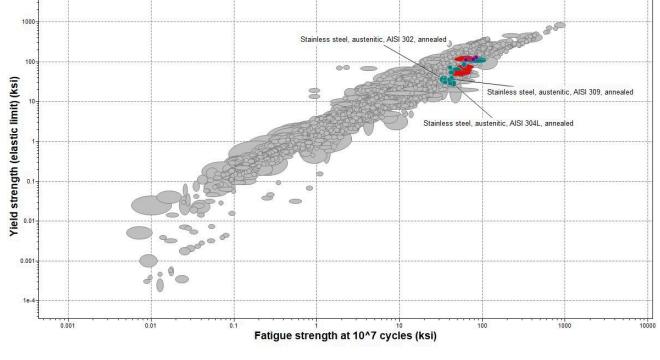
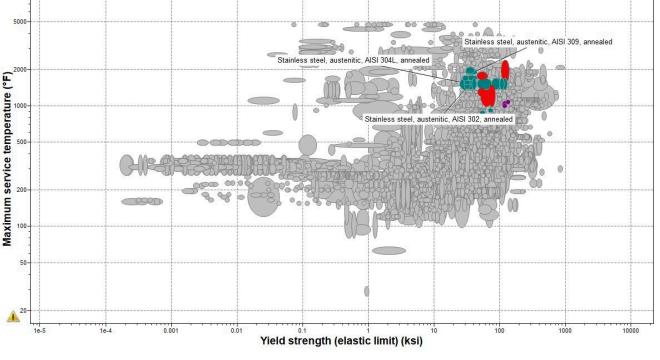
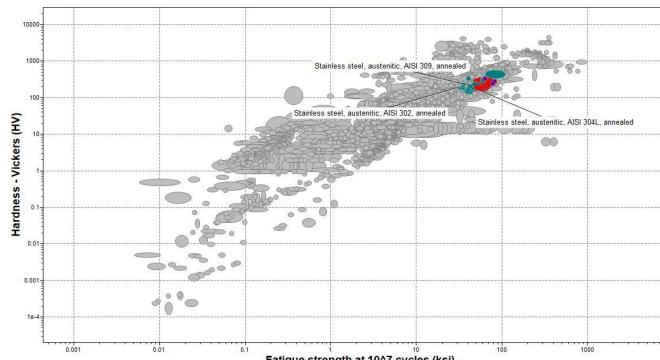
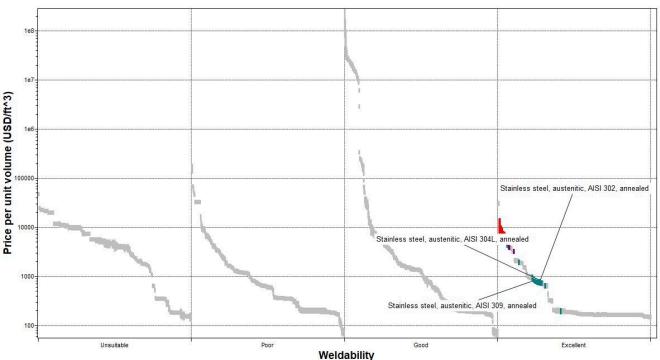
$$\sigma_y = \frac{(0.4 \text{ kg})(9.81 \text{ m/s}^2)}{\pi (2.35 \text{ mm})^2}$$

$$\sigma_y = 0.53 \text{ MPa}$$

Partiendo del valor que se obtuvo, aumentamos el esfuerzo mínimo de cedencia a 0.6 MPa por factor de seguridad.

Tomando en cuenta las restricciones mencionadas con los filtros aplicados, se realizaron gráficas que podrían ser útiles para la selección del material.

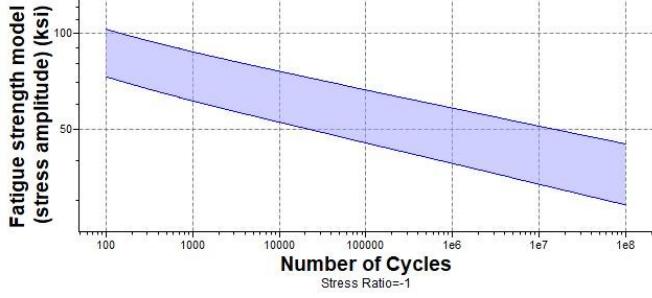
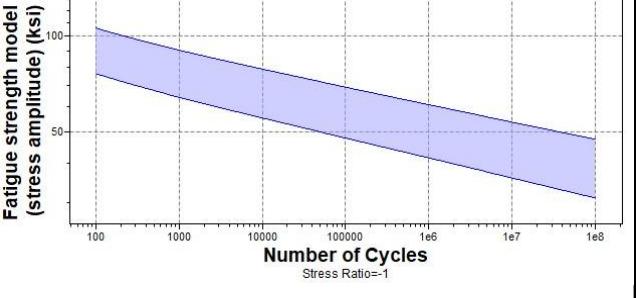
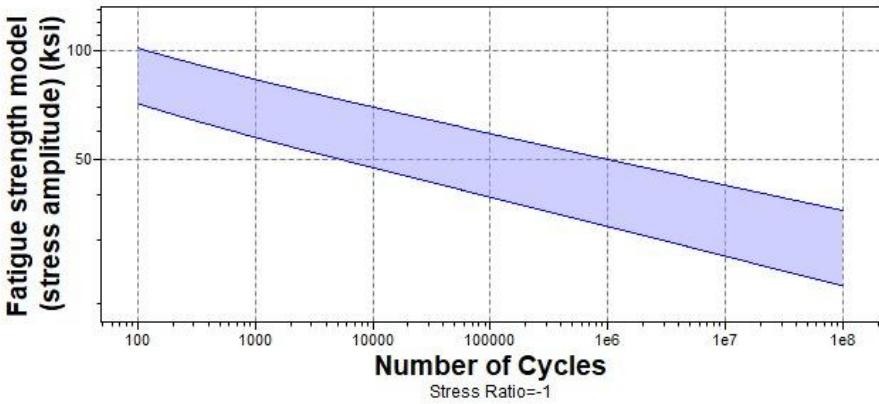
**Tabla 1. Gráficas realizadas en Granta EduPack**

Resistencia a la fatiga y Esfuerzo de cedencia	Esfuerzo de cedencia y Máxima temperatura de trabajo
 <p>Imagen 2: Gráfica de fatiga y esfuerzo obtenida de Edupack [1]</p>	 <p>Imagen 3: Gráfica de cedencia y temperatura de trabajo obtenida de Edupack [1]</p>
Resistencia a la fatiga y Dureza	Soldabilidad y Precio
 <p>Imagen 4: Gráfica de fatiga y dureza obtenida de Edupack [1]</p>	 <p>Imagen 5: Gráfica de soldabilidad y precio obtenida de Edupack [1]</p>

Dentro de los materiales que cumplían con los requisitos establecidos en los filtros, se encontraron variaciones de acero inoxidable austenítico recocido, decidimos tomar tres tipos de este acero para las propuestas de material, para posteriormente compararlos y elegir el más viable para la aplicación. Tomamos aceros inoxidables austeníticos debido al proceso de manufactura que

teníamos en mente, ya que un acero martensítico sería difícil de doblar y tendería a romperse si no se somete a un tratamiento térmico antes, pues es menos maleable que el austenítico. Por otro lado, se eligió que fuera recocido ya que este tratamiento hace que el material recupere algunas de sus propiedades mecánicas, como la dureza, resistencia y ductilidad.

**Tabla 2. Curvas S-N de las propuesta de material**

Acero inoxidable austenítico recocido 309	Acero inoxidable austenítico recocido 304L
 <i>Imagen 6: Gráfica de fatiga del acero mencionado obtenida de Edupack [1]</i>	 <i>Imagen 7: Gráfica de fatiga del acero mencionado de Edupack [1]</i>
Acero inoxidable austenítico recocido 302	
 <i>Imagen 8: Gráfica de fatiga del acero mencionado de Edupack [1]</i>	

En las curvas S-N de las propuestas de material se observa que las tres opciones tienen comportamientos similares, por lo que la resistencia a la fatiga de todas las propuestas entra dentro del mismo rango.

Tomando en cuenta la información que se puede encontrar en las gráficas anteriores, decidimos que el material más viable para la aplicación es el el acero inoxidable austenítico recocido 302, debido a que cumple con todas las especificaciones y es el material con mayor soldabilidad y menor precio de las tres propuestas presentadas.

Al estar recocido se consigue una mejor ductilidad y maleabilidad que otros aceros inoxidables, lo cual es importante al momento de considerar el proceso de manufactura al que va a ser expuesto.

### *Proceso de manufactura*

Es necesario tener dos barras acero inoxidable austenítico recocido 302, esta se va a trabajar a temperatura ambiente. Una de las barras debe tener un diámetro de 3/16 in y la otra de ¼ in.

La barra de ¼ será puesta en la máquina de torneado hasta obtener las siguientes medidas: los primeros 5 cm de la barra van sin tornear y 11 cm que se van a tornear a un diámetro de 11 cm, esto nos permite obtener el diámetro que deseamos para que también encaje en el switch de seguridad.

La barra de 3/ 16 va a ser sometida a un proceso de doblado por medio de una dobladora hidráulica la medida de las barras dobladas es de 4.37 cm y estiradas es de 6.5 cm. Ya que se tiene el doblado es posible realizar los cortes, se deben de realizar 5 cortes por cada uno de los brazos que se tiene.

Se realiza un proceso de soldadura para unir cada uno de los ganchos con la barra torneada, esto se realiza con el método de microalambre con gas, el material que se usó fue alambre de 7019, el cual es el recomendado para hacer soldaduras con acero inoxidable.

Como manera opcional se puede realizar un recocido para aumentar la dureza de la pieza y liberarla de esfuerzo.

## **Resultados de investigación**

Al momento de visitar la planta de Carrier, pudimos observar el ambiente en dónde el operador trabaja con la máquina de brazing. En este ambiente, se pudo observar que el operador debe de observar cuidadosamente dónde poner la antorcha debido a que el holder solo tiene un gancho en

donde colgarla que provoca un pequeño movimiento antinatural de la mano y/o el brazo. Donde también solo se tiene una oportunidad de colocarla bien.

Los pequeños movimientos antinaturales de la mano y el brazo, que a menudo pasan desapercibidos, pueden tener consecuencias graves para la salud a largo plazo, especialmente en el entorno laboral. Estos movimientos repetitivos, realizados durante horas o incluso días, pueden provocar lesiones por esfuerzo repetitivo (LER), como el síndrome del túnel carpiano, tendinitis y bursitis [2].

¿Cómo causan daño estos movimientos?

- Tensión muscular excesiva: Los músculos y tendones se sobrecargan y fatigan al realizar los mismos movimientos una y otra vez, especialmente en posiciones incómodas o con fuerza excesiva [2].
- Compresión de nervios y vasos sanguíneos: Los movimientos repetitivos pueden comprimir los nervios y vasos sanguíneos en las articulaciones de la muñeca, el brazo y la mano, lo que causa dolor, hormigueo, entumecimiento e incluso debilidad muscular [3].
- Inflamación: La fricción y el desgaste causados por los movimientos repetitivos pueden provocar inflamación en los tendones, las articulaciones y los revestimientos de las articulaciones [4].

Por todo lo anterior mencionado es importante que sea ergonómico y más cómodo para los trabajadores, esto agilizaría el trabajo y se podrían eliminar cierta cantidad de segundos en el proceso de colocación y retiro.

### *Procesos de manufactura utilizados*

#### Torneado de acero inoxidable 1/4 de pulgada:

El torneado de acero inoxidable 1/4 de pulgada requiere un torno CNC para mayor precisión y control del proceso. Se necesitan insertos de carburo de tungsteno con geometría adecuada para el acero inoxidable y un refrigerante soluble en agua para disipar el calor y lubricar la herramienta de corte.

El proceso comienza con la sujeción firme de la pieza en el mandril del torno. Luego, se desbasta la pieza con una herramienta de corte de desbaste para eliminar el material excedente. Se utiliza una

herramienta de corte de acabado para obtener la superficie deseada y, finalmente, se mide la pieza con un micrómetro o un calibrador para asegurar la precisión dimensional.

*Consideraciones para el torneado de acero inoxidable:*

- **Velocidad de corte:** La velocidad de corte adecuada depende del tipo de acero inoxidable, la herramienta de corte y el refrigerante. Se recomienda consultar manuales técnicos o fuentes especializadas para determinar la velocidad óptima en cada caso.
- **Profundidad de corte:** La profundidad de corte debe ser lo suficientemente pequeña para evitar vibraciones y deformaciones, ya que el acero inoxidable es un material sensible a estas condiciones.
- **Avance:** El avance debe ser lo suficientemente rápido para obtener una buena productividad, pero no tan rápido como para causar vibraciones que afecten la calidad del acabado.

Soldadura de acero inoxidable:

La elección del tipo de soldadura para acero inoxidable depende del proyecto y las necesidades específicas. La soldadura TIG ofrece alta calidad y soldaduras limpias y resistentes, mientras que la soldadura MIG/MAG es más rápida y eficiente. La soldadura por arco con electrodo revestido es económica y versátil, pero puede producir soldaduras con más poros y salpicaduras.

*Preparación para la soldadura de acero inoxidable:*

- **Limpieza:** Es fundamental limpiar las superficies a soldar para eliminar cualquier contaminante que pueda afectar la calidad de la soldadura.
- **Bordeado:** Si es necesario, se biselan los bordes de la pieza para obtener una mejor penetración de la soldadura.

*Proceso de soldadura de acero inoxidable:*

1. Seleccionar el tipo de soldadura adecuado.
2. Ajustar los parámetros de soldadura de acuerdo al tipo de soldadura, el espesor del material y la pieza a soldar.
3. Aplicar un cordón de soldadura uniforme y consistente.
4. Dejar enfriar la soldadura lentamente para evitar tensiones internas y asegurar la resistencia de la unión.

5. Limpiar la soldadura para eliminar cualquier residuo o escoria.

*Consideraciones para la soldadura de acero inoxidable:*

- **Tipo de acero inoxidable:** La composición del acero inoxidable influye en la elección del método de soldadura y los parámetros de soldadura.
- **Espesor del material:** El espesor del material afecta la preparación, el proceso de soldadura y la selección de los parámetros de soldadura.
- **Posición de soldadura:** La posición de la pieza durante la soldadura influye en la técnica de soldadura y el control del cordón de soldadura.

Doblado de acero inoxidable de 3/16 pulgadas:

La elección del tipo de dobladora para acero inoxidable de 3/16 pulgadas depende del volumen de producción, la complejidad de las formas y la precisión requerida. Las dobladoras hidráulicas son versátiles y se pueden utilizar para doblar una amplia variedad de formas, mientras que las dobladoras CNC ofrecen mayor precisión para doblar formas complejas.

*Proceso de doblado de acero inoxidable:*

1. Seleccionar la dobladora adecuada para el proyecto.
2. Ajustar los parámetros de doblado, como el ángulo de doblado, la presión y la velocidad de doblado.
3. Colocar la pieza de acero inoxidable en la dobladora de manera precisa y segura.
4. Realizar el doblado de la pieza de manera controlada y uniforme.
5. Verificar la precisión del doblado y realizar ajustes si es necesario.

*Consideraciones para el doblado de acero inoxidable:*

- **Tipo de acero inoxidable:** La composición del acero inoxidable influye en la ductilidad y la capacidad de doblado del material. Se recomienda consultar las especificaciones del acero inoxidable para determinar los parámetros de doblado adecuados.
- **Espesor del material:** El espesor del material afecta la fuerza de doblado requerida y la posibilidad de roturas o deformaciones durante el proceso.
- **Radio de doblado:** El radio de doblado debe ser lo suficientemente grande para evitar roturas y deformaciones en el material. Se recomienda consultar las especificaciones del acero inoxidable para determinar el radio de doblado mínimo permitido.

### Sobrecocido de acero inoxidable austenítico:

El sobrecocido de acero inoxidable austenítico es un proceso de tratamiento térmico que se realiza para aliviar las tensiones internas, mejorar la ductilidad y la tenacidad del material, y aumentar la resistencia a la corrosión.

### *Proceso de sobrecocido de acero inoxidable austenítico:*

1. Calentar el acero inoxidable a una temperatura entre 1000 °C y 1200 °C, de acuerdo con las especificaciones del material.
2. Mantener la temperatura durante un tiempo determinado, que depende del espesor del material y la composición del acero inoxidable.
3. Enfriar el acero inoxidable lentamente, generalmente en un horno de enfriamiento controlado, para evitar la formación de nuevas tensiones internas.

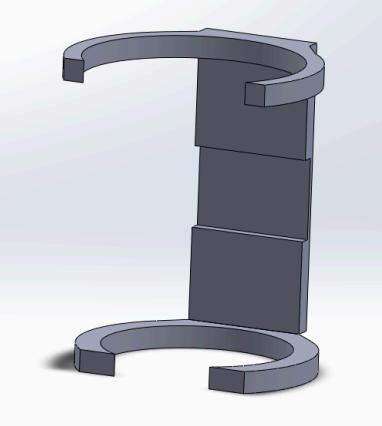
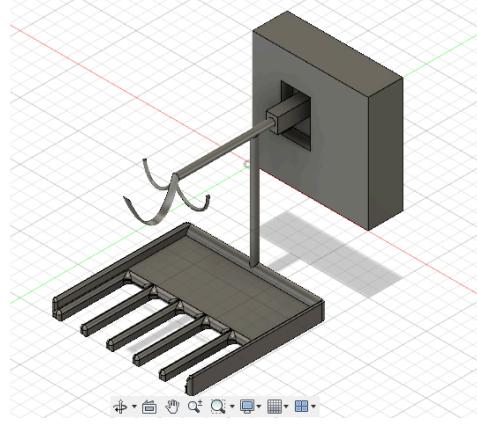
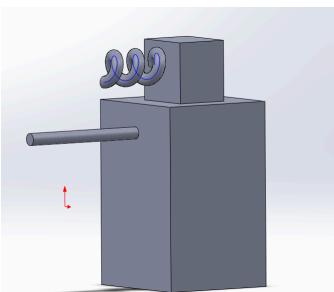
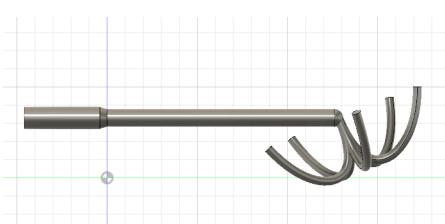
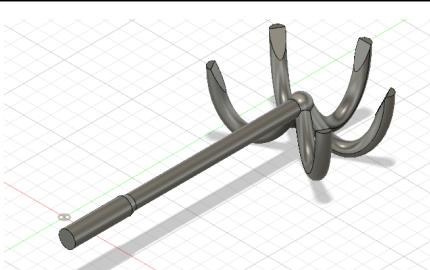
### *Efectos del sobrecocido de acero inoxidable austenítico:*

- **Alivia las tensiones internas:** Las tensiones internas se generan durante el proceso de fabricación o como resultado de cargas mecánicas. El sobrecocido ayuda a eliminar estas tensiones y mejorar la ductilidad del material.
- **Mejora la ductilidad y la tenacidad:** La ductilidad es la capacidad del material para deformarse sin romperse, mientras que la tenacidad es la capacidad del material para absorber energía antes de romperse. El sobrecocido aumenta ambas propiedades, lo que hace que el acero inoxidable sea más resistente a la deformación y la rotura.
- **Aumenta la resistencia a la corrosión:** El sobrecocido puede mejorar la resistencia a la corrosión del acero inoxidable, especialmente en ambientes agresivos.

### *Consideraciones para el sobrecocido de acero inoxidable austenítico:*

- **Tipo de acero inoxidable:** La composición del acero inoxidable influye en la temperatura y el tiempo de sobrecocido. Se recomienda consultar las especificaciones del material para determinar los parámetros de sobrecocido adecuados.
- **Espesor del material:** El espesor del material afecta el tiempo de sobrecocido necesario para alcanzar la temperatura deseada en todo el material.
- **Atmósfera de sobrecocido:** El sobrecocido se debe realizar en una atmósfera controlada para evitar la oxidación del material.

## Ideaciones

Propuesta 1	Propuesta 2
	
<i>Imagen 9: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>	<i>Imagen 10: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>
	
<i>Imagen 11: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>	<i>Imagen 12: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>
	
<i>Imagen 13: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>	<i>Imagen 14: Diseño de propuesta del holder realizada en Fusion 360</i>

## Propuesta de solución

- *Boceto*

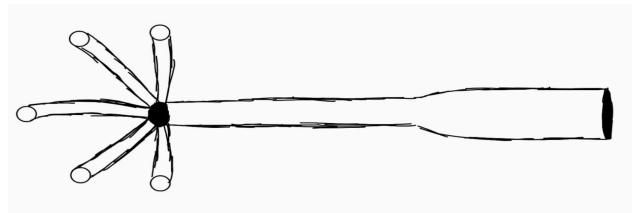


Imagen 15: Diseño del holder final a mano

- *Dibujo*

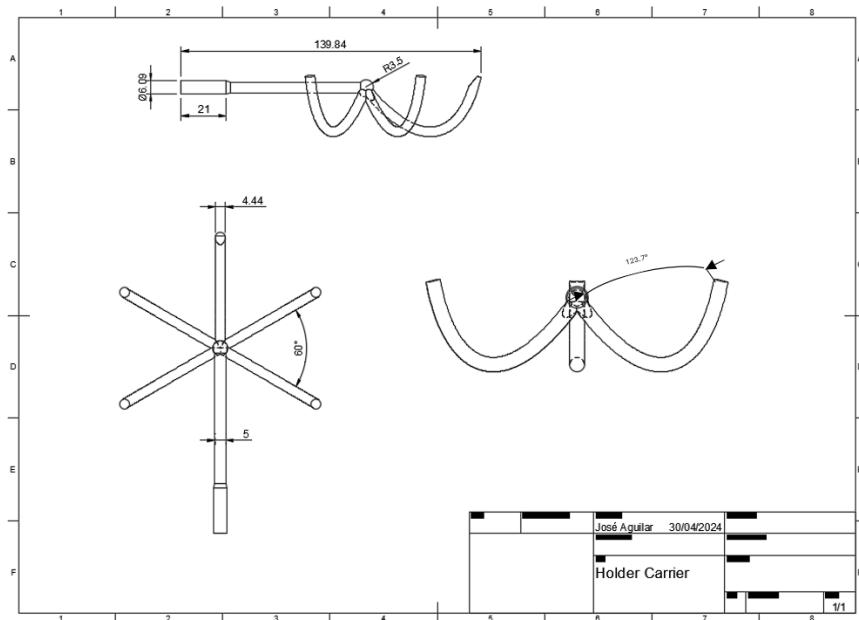


Imagen 16: Dibujo de propuesta final del holder realizado en Fusion 360

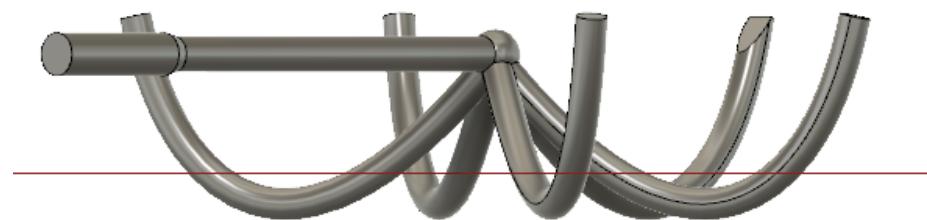


Imagen 17: Diseño de propuesta del holder final realizado en Fusion 360

Nuestra propuesta final es la imagen de arriba. Se decidió por esta opción debido a que ocupamos que el holder fuera de un peso máximo de 0.18 libras; así mismo, como equipo decidimos hacer algo simple pero que fuera seguro y consideramos que de todas las opciones que teníamos esta es la que cumple con eso. Este holder cuenta con 5 “brazos” en donde el operador puede decidir entre varias opciones donde colocar la antorcha. El hecho de que el holder cuente con varios “brazos” brinda mayor seguridad pues no depende solamente de una opción para colocar la antorcha.

- *Prototipo con acero inoxidable austenítico*



*Imagen 18: Fotografía del prototipo*



*Imagen 19: Fotografía del prototipo*



*Imagen 20: Fotografía del prototipo*



*Imagen 21: Fotografía del prototipo*

## - *Experimentación*

Se hicieron algunas pruebas del prototipo manufacturado con la antorcha real.

Link del video:

[https://drive.google.com/file/d/1EGrKIYI\\_2TU9Ef10kDgrm2lpdfRcTkJb/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1EGrKIYI_2TU9Ef10kDgrm2lpdfRcTkJb/view?usp=sharing)

## *Simulación*

Se realizaron las simulaciones pertinentes en Fusion 360 para validar mediante métodos numéricos si la pieza resistirá la carga sometida por el peso de la antorcha.

En estas simulaciones, se fijó la parte del holder que va sostenida y se analizó el estrés en los distintos puntos del holder cuando se le sometió una carga de 20 newtons a cada uno de los ganchos. Es importante destacar que se optó por utilizar una carga de 20 newtons (*Imágenes 23-27*) para asegurar un amplio margen de seguridad considerando que aunque esta carga no representa exactamente el peso de la antorcha que se va a sostener, se eligió para garantizar que la pieza pueda soportar cualquier otra eventualidad en la que se le aplique una fuerza mayor. Se puede notar que en cada una de las simulaciones el máximo estrés está localizado en la parte donde está sujetada el holder. No obstante podemos ver que el material no sufre deformaciones y mantiene su integridad.

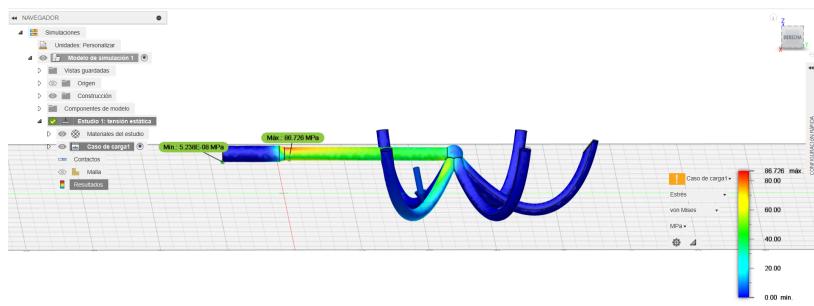


Imagen 22: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons

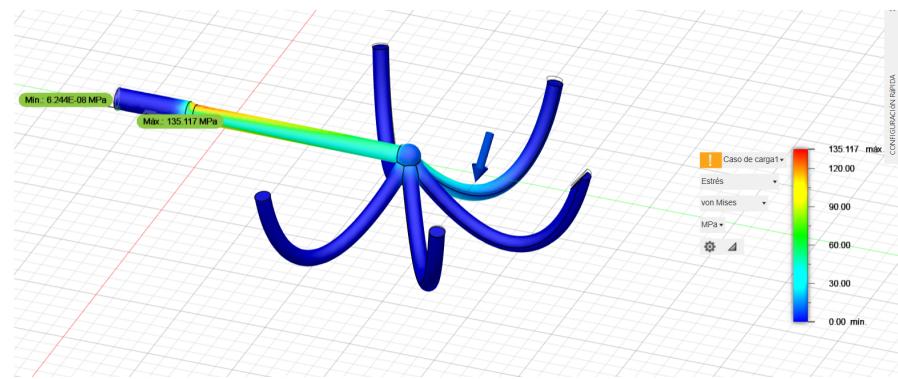


Imagen 23: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons

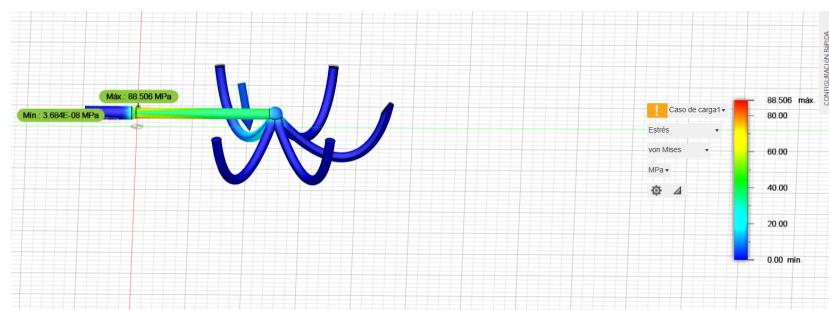


Imagen 24: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons

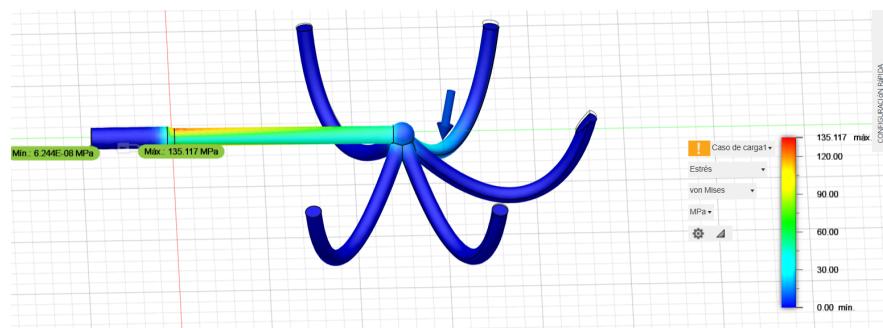


Imagen 25: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons

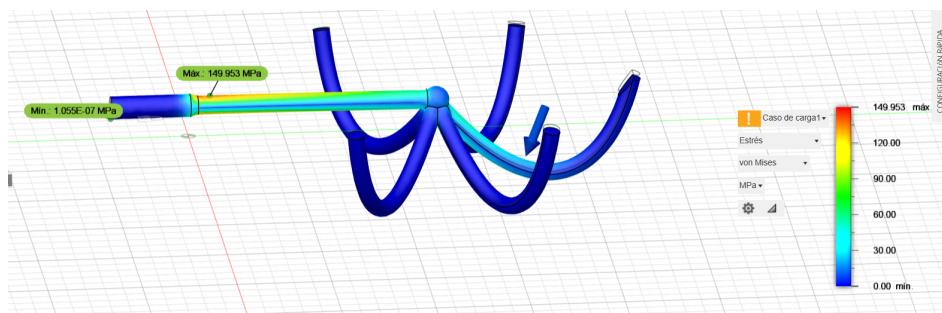
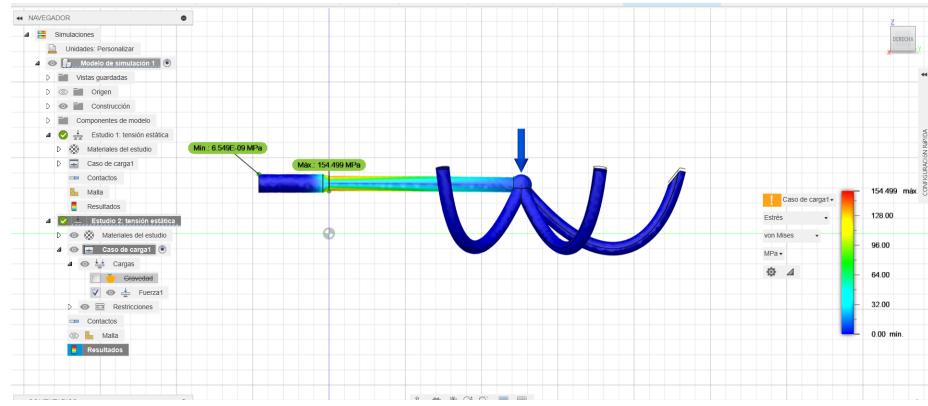
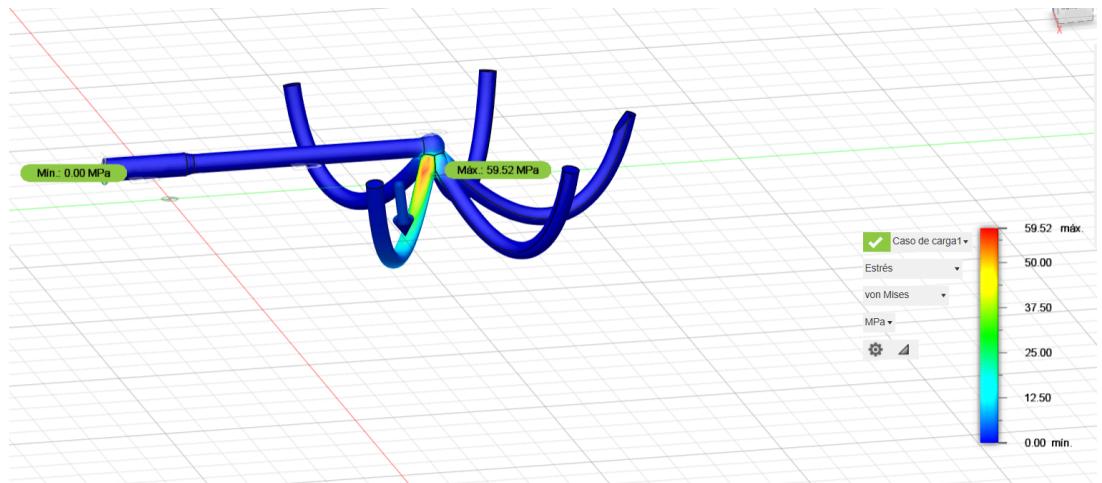


Imagen 26: Simulación de Prueba de 1 gancho con 20 newtons



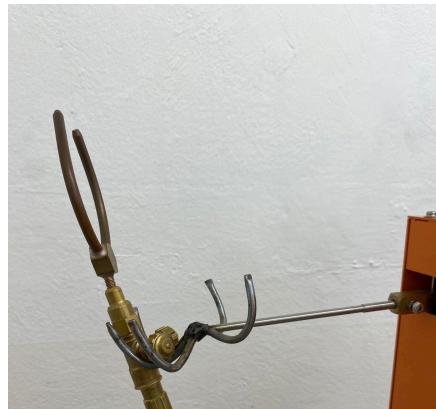
*Imagen 27: Simulación de Prueba de la esfera central con 20 newtons*

En la siguiente simulación (*Imagen 28*) se fijó toda la estructura excepto los ganchos para determinar el esfuerzo máximo que hay en la unión entre los ganchos con la barra recta. A diferencia de las anteriores podemos notar que el estrés está concentrado en la parte del holder donde va la soldadura de unión de los ganchos.



*Imagen 28: Simulación de Prueba toda la estructura fija menos los ganchos*

## *Prueba del prototipo*



*Imagen 29: Fotografía del prototipo funcionando*

Se colocó el holder prototipado en la máquina y se apretó con el tornillo que se encontraba en la máquina.

Realizamos varias pruebas colocando el holder en todos los ganchos, en unas lo aventamos no de gran altura pero si se llega a sostener perfectamente.

Incluso si llegara a pasar que no se atora de la y que tiene en el mango si se puede atorar por unos momentos de los tubos que liberan el gas para la soldadura y el diseño y la elección del acero están escogidos para que soporten las temperaturas a las que llega el holder.

## **Análisis de costos para la manufactura de 400 piezas (con costos reales)**

### **Materiales:**

- **Barras de acero inoxidable austenítico recocido 302:**
  - Diámetro 3/16 pulgadas: 2 barras
    - Precio por barra: \$40  
(<https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>)
    - Costo total: 2 barras \* \$40/barra = \$80
  - Diámetro ¼ pulgada: 2 barras
    - Precio por barra: \$60  
(<https://ferrosplanes.com/inox-304-vs-inox-316-diferencias/>)
    - Costo total: 2 barras \* \$60/barra = \$120
- **Alambre de soldadura 7019:**

- Precio por kilo: \$25  
(<https://www.amazon.com/-/es/WeldingCity-E71T-GS-soldadura-fundente-pulgadas/dp/B00QUBWUKQ>)
- Cantidad necesaria: 0.5 kg (considerando 1 metro de soldadura por pieza y 0.125 kg/m de alambre)
- Costo total:  $0.5 \text{ kg} * \$25/\text{kg} = \$12.5$

#### **Mano de obra:**

- **Costo por hora de mano de obra:** \$15 (costo promedio en México)
- **Costo total de mano de obra:**
  - Operario de torno:  $100 \text{ horas} * \$15/\text{hora} = \$1500$
  - Operario de dobladora hidráulica:  $33 \text{ horas} * \$15/\text{hora} = \$495$
  - Soldador:  $67 \text{ horas} * \$15/\text{hora} = \$1005$

#### **Costos totales:**

- **Costo total de materiales:**  $\$80 + \$120 + \$12.5 = \$212.5$
- **Costo total de mano de obra:**  $\$1500 + \$495 + \$1005 = \$3000$
- **Costo total por pieza:**  $(\$212.5 + \$3000) / 400 \text{ piezas} = \$7.8125$
- **Costo total para 400 piezas:**  $\$212.5 + \$3000 = \$3212.5$

#### **Consideraciones adicionales:**

- **Costos fijos:** Alquiler del taller, maquinaria, herramientas, etc. (estimar en base a los costos reales del taller)
- **Gastos generales:** Electricidad, agua, etc. (estimar en base a los costos reales del taller)
- **Beneficio:** Margen de ganancia deseado para la venta del producto.

#### **Análisis de costos:**

Con los costos reales, el costo total por pieza es de \$7.8125 y el costo total para la producción de 400 piezas es de \$3212.5. Es importante considerar los costos fijos y variables adicionales para obtener el costo total del proyecto.

## **Recomendaciones:**

- **Optimizar el proceso de producción:** Buscar formas de reducir el tiempo de trabajo de los operarios, minimizar el desperdicio de material y optimizar el uso de la maquinaria.
- **Negociar precios con proveedores:** Obtener mejores precios para las materias primas y los servicios de terceros.
- **Considerar la producción a gran escala:** Los costos por pieza suelen disminuir a medida que aumenta el volumen de producción.

Es importante mencionar que este análisis es una estimación y los costos reales pueden variar dependiendo de diversos factores, como la ubicación, el proveedor, la experiencia del personal y la eficiencia del proceso.

## **Discusiones**

### *Diseño*

#### Pros

- El diseño es ergonómico, esto al hacer más sencillo los movimientos que realiza el operario para colgar el holder y al facilitar el colgado de la antorcha. Además, el material no transmite tanto calor, lo que hace que se disminuya la temperatura en el holder.
- Al ser un diseño con una facilidad de colgado la probabilidad de accidentes se disminuye, brindándole una mayor seguridad al usuario al momento de hacer uso de la antorcha.
- El diseño es más ligero que el anterior, esto se debe a utilizar un diámetro menor. Al suceder esto la cantidad de material que se requiere para manufacturar disminuye.

#### Contras

- Como se mencionó anteriormente, el diseño disminuye la posibilidad de un accidente, sin embargo este aún podría suceder si llegara a haber un mal manejo del mismo. No te salva de un mal uso o accidente.
- Puede ser complejo la soldadura a realizar para unir los ganchos del holder con el mango.

## *Proceso de manufactura*

### Pros:

- La máquina de torneado y la dobladora hidráulica permiten lograr que haya una alta precisión en las medidas de las piezas, lo que garantiza un ajuste adecuado para el uso previsto.
- La soldadura con el método de microalambre con gas proporciona una unión fuerte y duradera entre los ganchos y la barra torneada.

### Contras

- Los procesos de torneado, doblado, corte y soldadura pueden requerir de un tiempo significativo, lo que puede afectar la eficiencia de la producción y el tiempo de entrega.
- Se requiere personal capacitado y con experiencia en el manejo de los equipos y en las técnicas de soldadura para garantizar la calidad y la seguridad del producto final.

## *Material*

### Pros:

- **Buena resistencia a la corrosión:** El acero austenítico 302 tiene una excelente resistencia a la corrosión en una amplia variedad de entornos, incluyendo ambientes corrosivos como en industrias más enfocadas a químicos y alimentos.
- **Buena resistencia a altas temperaturas:** Este tipo de acero inoxidable conserva su resistencia mecánica incluso a temperaturas elevadas, lo que lo hace adecuado para aplicaciones donde se requiere resistencia a la corrosión y a la temperatura.
- **Buenas propiedades de soldabilidad:** Es fácilmente soldable mediante técnicas comunes de soldadura como la soldadura por arco eléctrico y microalambre, lo que facilita su uso en la fabricación de estructuras y componentes soldados.
- **Baja conductividad térmica y eléctrica:** En comparación con otros materiales como el cobre, el acero austenítico 302 tiene una conductividad térmica y eléctrica relativamente baja lo cual lo hace perfecto para esta aplicación.

## Contras

- **Baja resistencia a la abrasión:** Aunque tiene una buena resistencia a la corrosión, el acero austenítico 302 puede ser susceptible a la abrasión en aplicaciones donde se produce fricción o desgaste mecánico intenso.
- **Sensibilidad a la corrosión bajo tensiones:** En ciertos ambientes corrosivos, como los que contienen cloruros, el acero austenítico 302 puede ser susceptible a la corrosión bajo tensiones, lo que puede provocar fallas prematuras en componentes sujetos a cargas mecánicas.
- **Precio:** A pesar de que su precio es de los más accesibles existen materiales con precios más bajos pero no ofrecen necesariamente las mismas propiedades.

## **Conclusiones y recomendaciones**

### **Problema:**

Un accidente crítico durante la soldadura evidenció deficiencias en el diseño del holder, poniendo en riesgo la seguridad del operador. La falta de un sistema robusto para sostener la antorcha durante el proceso de brazing generó la necesidad urgente de una solución efectiva.

### **Solución:**

Se rediseñó el holder priorizando la seguridad y la ergonomía, utilizando acero inoxidable austenítico recocido 302 por sus propiedades mecánicas, resistencia a altas temperaturas y soldabilidad. El nuevo diseño presenta múltiples brazos para colgar la antorcha, mejorando la sujeción y la facilidad de uso. Las pruebas de prototipo y simulaciones numéricas validaron el rendimiento y la resistencia del holder rediseñado.

### **Cumplimiento de objetivos:**

#### **Seguridad:**

- El nuevo diseño elimina los riesgos de accidentes asociados al diseño anterior.
- La selección del material (acero inoxidable austenítico recocido 302) garantiza la resistencia y durabilidad del holder en entornos exigentes.
- Los múltiples brazos para colgar la antorcha ofrecen opciones alternativas de sujeción, reduciendo la posibilidad de errores y movimientos bruscos.

## **Ergonomía:**

- El diseño mejorado facilita la colocación y retiro de la antorcha, minimizando la fatiga y los movimientos incómodos y no naturales del operador.
- La ubicación estratégica de los brazos optimiza el acceso a la antorcha desde diferentes posiciones, mejorando la postura y comodidad del trabajador.

## **Reducción de tiempo de operación:**

- El nuevo diseño permite un manejo más eficiente de la antorcha, agilizando el proceso de brazing.
- La facilidad de uso reduce la necesidad de ajustes y correcciones, optimizando el tiempo de trabajo.

## **Selección de material:**

La elección del acero inoxidable austenítico recocido 302 se basó en un análisis sistemático utilizando herramientas como Granta EduPack, considerando:

- **Propiedades mecánicas:** El material posee la resistencia necesaria para soportar las cargas durante el proceso de brazing.
- **Resistencia a altas temperaturas:** Soporta sin deformarse las temperaturas alcanzadas durante la soldadura.
- **Soldabilidad:** Facilita la unión del material con otras piezas del holder.

El proceso de manufactura se diseñó con la intención de garantizar la calidad y la precisión del producto final. Desde el torneado y el doblado de las barras de acero hasta la soldadura de los ganchos con la barra principal, cada paso se planificó con el objetivo de optimizar la resistencia y la durabilidad del holder.

El diseño final del holder refleja un equilibrio entre simplicidad y funcionalidad. La inclusión de múltiples brazos para colgar la antorcha no solo mejora la seguridad al ofrecer opciones alternativas de sujeción, sino que también responde a consideraciones ergonómicas al hacer que el proceso de colocación y retiro de la antorcha sea más intuitivo, menos propenso a errores, con movimientos más naturales de la mano, sin pequeñas torceduras para la colocación, aparte con estimada reducción de tiempos al trabajar.

Las pruebas de prototipo y las simulaciones numéricas proporcionaron una validación adicional del rendimiento y la resistencia del holder rediseñado. Se demostró su capacidad para soportar cargas significativas y su adaptabilidad a las condiciones operativas del entorno de trabajo.

Los diseños de propuestas descartadas, no cumplían con algunos requerimientos, o no pasaban las simulaciones.

Al final se optan por barras y no por tubos ya que se estima menor transferencia de calor de la antorcha hacia la máquina con una barra que con un tubo.

Se vuelve a recalcar que tener un mal manejo puede aumentar la posibilidad de accidentes.

## Referencias

[<sup>1</sup>] Granta Design. (2024). CES EduPack. Retrieved from <https://www.grantadesign.com/products/edupack/>

[<sup>2</sup>] Gerr, D. J., Haig, A. M., & Kaufman, M. S. (2007). The effects of hand and arm posture on musculoskeletal discomfort and performance. **American Journal of Industrial Medicine**, 50(12), 1027-1033.

[<sup>3</sup>] Buckle, P., Buckle, J., & Gowans, I. (2016). Work-related musculoskeletal disorders (WMSDs): a review of the evidence. **Scandinavian Journal of Work, Environment & Health**, 42(2), 140-158.

[<sup>4</sup>] Van der Hulst, M., Bongers, P., & Dul, J. (2016). The role of ergonomics in preventing work-related musculoskeletal disorders. **Occupational Medicine**, 56(7), 442-447.

[<sup>5</sup>] Instituto Español del Metal. (s.f.). **Manual de torneado de acero inoxidable.** <https://institutoespanol.com/>

[<sup>6</sup>] Asociación Española de Soldadura y Ensayos. (s.f.). **Manual de soldadura de acero inoxidable.** <https://www.cesol.es/>

[<sup>7</sup>] Asociación Española de Fabricantes de Estructuras Metálicas. (s.f.). **Manual de doblado de chapa metálica.** <https://www.ascem.org/>

[8] Sociedad Española de Soldadura y Ensayos. (s.f.). **Manual de tratamiento térmico de acero inoxidable.**<https://www.cesol.es/>

## Bibliografia

Chilexpo. (n.d.). AISI 302. CHILEXPO. Retrieved Abril 27, 2024, from <https://www.chilexpo.com/calidad/302-2/>

La paloma. (n.d.). Acero Inoxidable (AISI 303, 304, 310, 316, 416, 430). La Paloma Metales. Retrieved Abril 29, 2024, from [https://lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/aceroinoxidable.html](https://lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/aceroinoxidable.html)

NKS de Mexico. (n.d.). Acero inoxidable 302. NKS. Retrieved Abril 29, 2024, from <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-302/>

Revista Ingeniería Mecánica. (s.f.). Aspectos técnicos del torneado de acero inoxidable.<https://www.scielo.org.mx/>

Revista Metal Actual. (s.f.). Técnicas de doblado de acero inoxidable.<https://www.yumpu.com/es/metalactual.com>

Revista Ingeniería de Materiales. (s.f.). Efectos del sobrecocido en las propiedades mecánicas del acero inoxidable austenítico. <https://www.scielo.org.mx/>

## Anexos

En el siguiente apartado son fotografías evidencias del proceso y un video con distintas pruebas del holder extra



Link de solución de problema equipo uno y actividades designadas:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/10zuCtobDGH89XvrmjxOCYKPIJAxnS1uL/edit?usp=sharing&ouid=115025789666897089867&rtpof=true&sd=true>

Link de video de manufactura:

<https://drive.google.com/file/d/18-FBR7NIp8eDCShU8tk3sGE0wqS7Ic5C/view?usp=sharing>

Link de video del proceso:

[https://drive.google.com/file/d/10\\_3GM3pTHGD4bmBdFeF-Vbr\\_TYLt28Ld/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/10_3GM3pTHGD4bmBdFeF-Vbr_TYLt28Ld/view?usp=sharing)

## Imágenes (30-36): Anexos procesos

diametro holder = 6.09 mm  
distancia holder = 12.9 cm

