

## Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo:

CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA  
FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Autor

Cristina López Calvo

Director

Paula Canalís Martínez

Codirector

José Manuel Franco Gimeno

Titulación del autor

Grado en Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza

Diciembre 2020

## ÍNDICE GENERAL

<b>RESUMEN DEL PROYECTO</b>	<b>3</b>
<b>MEMORIA</b>	<b>4</b>
1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVO	6
3. CÁLCULO Y DISEÑO	7
3.1. Especificaciones	7
3.2. Cálculo de cargas	11
3.3. Diseño y selección del accionamiento	12
3.4. Dimensionamiento barras	14
4. UNIONES SOLDADAS	15
4.1. Soldadura 1.1	15
4.2. Soldadura 1.2	16
5. SIMULACIÓN 3D	17
5.1. Modelado	17
5.2. Simulación	18
6. OPTIMIZACIÓN	29
7. PROCESOS DE FABRICACIÓN	34
7.1. Resumen tiempos de fabricación.	36
7.2. Resumen procesos de fabricación.	38
7.3. Presupuesto final.	40
8. CONCLUSIÓN	41
9. BIBLIOGRAFÍA	42
<b>ANEXOS</b>	<b>43</b>
A.1. Catálogo de cilindro hidráulico	43
A.2. Tipo de fijación de cilindro hidráulico	47
A.3. Propiedades mecánicas de acero	48
A.4. Tabla de perfil circular macizo.	49
A.5. Cálculo de cargas.	50
A.6. Dimensionado de barras.	54
i. Dimensionamiento barra 1	54
ii. Dimensionamiento barra 2	58
iii. Dimensionamiento barra 3	64
iv. Dimensionamiento barra 4	66

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

v.	Dimensionamiento barra 5	72
A.7.	Descripción soldadura 1.1.	76
A.8.	Modelado en 3D.	80
A.9.	Especificaciones de maquinaria.	85
i.	Cizalla guillotina hidráulica para corte de chapa QC12Y	85
ii.	Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC	85
iii.	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	87
iv.	Sierra de cinta FEMI 785XL	91
v.	Soldadora MIG/MAG Mastermig 220/2	91
vi.	Máquina de corte por láser G3015HF	91
A.10.	Desarrollo de procesos de fabricación.	92
i.	Base del chasis.	92
ii.	Elemento rigidizador.	96
iii.	Cuerpo del chasis.	100
iv.	Tapa del chasis.	104

## RESUMEN DEL PROYECTO

El alcance de este trabajo es el cálculo y diseño de los componentes mecánicos de una traspaleta manual aplicando criterios de resistencia y rigidez. Una vez dimensionados dichos componentes se definirán los procesos de fabricación y se realizará una planificación secuencial y esquemática de los mismos.

Se abordarán el análisis de solicitaciones sobre los diversos componentes de manera que puedan ser dimensionados y/o seleccionados, se indicarán los procesos que se deberán llevar a cabo para su fabricación.

Una vez realizado el dimensionamiento de los componentes principales se realizará el modelado del conjunto principal de la máquina.

Una vez ensamblado el conjunto, se definen los materiales de cada componente, así como las conexiones entre todos los componentes, los apoyos y las cargas. De esta manera ya se pueden ejecutar los diferentes estudios correspondientes a las diferentes hipótesis de carga, a través de los que se realizará la simulación por elementos finitos del mismo, utilizando SolidWorks para comprobar su correcto funcionamiento.

Una vez comprobado su correcto funcionamiento y que se cumplen las condiciones de trabajo, se busca una optimización del modelo simulado con las hipótesis de carga más desfavorable. De esta manera, se intenta conseguir disminuir el peso del chasis de la traspaleta manteniendo su rigidez y resistencia.

Finalmente, tras haber modelado, simulado y optimizado el conjunto principal de la máquina, se presentará la planificación de su fabricación junto con cada uno de los parámetros principales en cada proceso de manera que quede totalmente descrita la máquina.

## MEMORIA

### 1. INTRODUCCIÓN

Existen dos tipos de traspaletas: la traspaleta manual y la eléctrica.

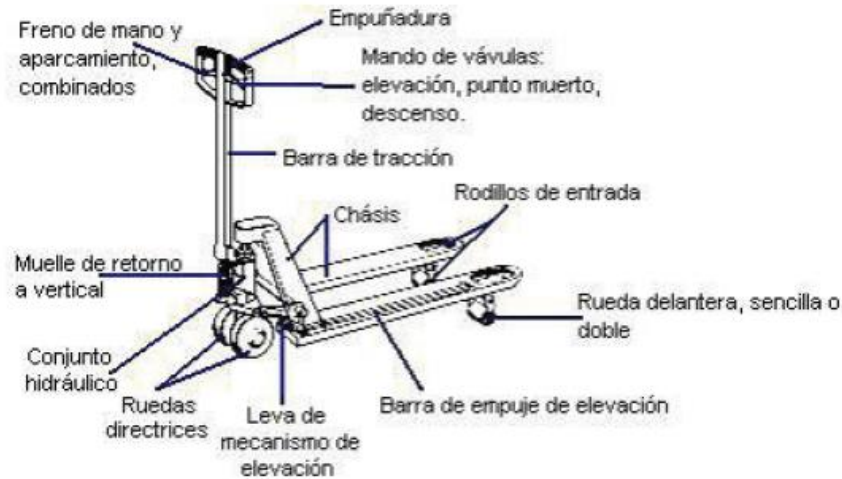
La **traspaleta manual** es un tipo de carretilla manual que forma parte del equipo básico de trabajo en el caso de acarrear bultos pesados, y que por su simpleza y eficacia tiene para sí el uso generalizado de la manutención y traslado horizontal de cargas unitarias sobre paletas o pallets y su operación desde los sitios de almacenamientos a los de operación, particularmente con máquinas, y viceversa.

Está equipada con una horquilla formada por dos brazos paralelos y horizontales unidos sólidamente a un cabezal vertical provisto de ruedas en tres puntos de apoyo sobre el suelo y que puede levantar y transportar paletas o recipientes especialmente concebidos para este uso.

La traspaleta está constituida por un chasis metálico doblado en frío, soldado y mecanizado.

Consta de un freno de mano y estacionamiento combinados en su empuñadura, allí mismo, el mando de válvulas, elevación, punto muerto, y descenso, al tope de lo que se llama barra de tracción, su base está sustentada sobre un conjunto hidráulico de ruedas, dos traseras separadas y adosadas cada una a barras de elevación diferentes pero sincronizadas, y dos delanteras que son directrices. El cabezal con su barra de articulación permite accionar la bomba de elevación y dirigirla. El chasis de la horquilla se eleva sobre el suelo por medio de una pequeña bomba hidráulica accionada a mano. En la parte anterior de la máquina se ubican la bomba de elevación, la articulación de la barra de tracción, el freno, el eje transversal con el anclaje de los tirantes de los rodillos y la dirección. En la parte posterior está la horquilla con los rodillos de carga (Figura 1).

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

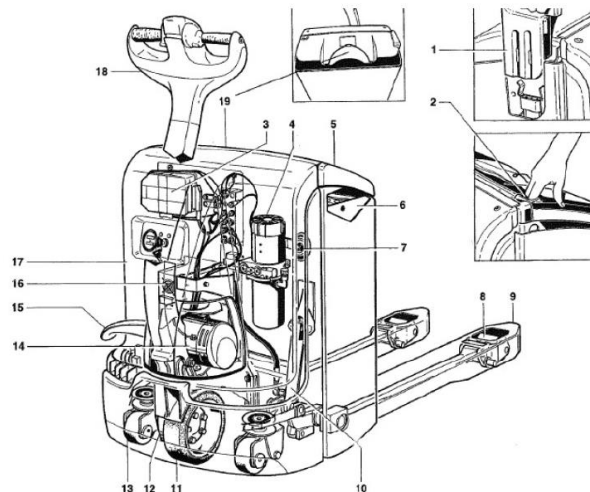


*Figura 1. Partes de una traspaleta manual*

La **traspaleta eléctrica** es una evolución de la traspaleta manual, incorpora un motor eléctrico que le permite desplazar las cargas con mayor facilidad. Se utilizan cuando las cargas, las distancias o la frecuencia de los movimientos de la carga sobrepasan los límites del manipulado manual.

Se considera recomendable limitar la utilización de las traspaleta manuales al transporte de cargas que no superen los 1500 kg y sólo realizarlas operarios con buenas condiciones físicas. Para pesos superiores se deberían utilizar traspaleta dotadas de un motor eléctrico u otros dispositivos de manutención mecánica.

Este tipo de traspaleta están formadas por las siguientes partes fundamentales (Figura 2):



*Figura 2. Partes de una traspaleta eléctrica*

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es dimensionar los componentes de una traspaleta manual mediante el cálculo y diseño de éstos, así como realizar una planificación de fabricación secuencial y esquemática de los mismos.

Esto se consigue partiendo una serie de especificaciones de un modelo de traspaleta manual concreta, a partir del cual se calculan todas las reacciones que se ejercen en el modelo al soportar una carga máxima detallada en las especificaciones.

Una vez calculadas todas las cargas, se diseña el accionamiento del modelo seleccionando el cilindro hidráulico adecuado para la fuerza que debe ejercer, calculada anteriormente.

A continuación, se dimensiona cada una de las barras que forman el mecanismo, a través de sus diagramas de esfuerzos y comprobando el cumplimiento del coeficiente de seguridad mínimo predefinido.

Una vez realizado el dimensionamiento de los componentes principales se realiza el modelado del conjunto principal de la máquina para posteriormente realizar la simulación por elementos finitos del mismo, utilizando SolidWorks con el fin de comprobar su correcto funcionamiento.

También, cuando ya se ha comprobado su correcto funcionamiento se intenta optimizar el modelo, de manera que se pueda disminuir el peso manteniendo su rigidez y resistencia.

Para finalizar, se presenta la planificación de la fabricación de los componentes que forman el chasis de la traspaleta, así como el montaje final del conjunto chasis. En este apartado, se definen los parámetros principales en cada proceso.

### 3. CÁLCULO Y DISEÑO

#### 3.1. Especificaciones

Este modelo se trata de una máquina ya existente para cuya fabricación de todos sus componentes y uniones se ha empleado el material **S275JR** (Ver Anexo: A.3. *Propiedades mecánicas de acero*) de diferentes tipos de sección dependiendo del componente del que se trate. Este material se utiliza para piezas de resistencia media, buena tenacidad y un fácil conformado. Además, es soldable y su límite elástico es de 275 MPa.

Las uniones entre los diferentes componentes son mediante soldadura o pasadores, cuyas dimensiones se calculan en los siguientes apartados.

Las **condiciones de diseño** son:

- La barra de tracción, en su extremo superior, debe adoptar una forma adecuada para permitir su sujeción mediante la mano del operario.
- El diseño de la empuñadura ha de ser cerrado para impedir que se escape de las manos del operario y a su vez proteger de posibles golpes el mando de las válvulas y el freno.
- La empuñadura debe estar recubierta de material plástico antideslizante para facilitar su sujeción y evitar que se escape de las manos del operario en la fase de traslado.
- Otro accesorio necesario sería el de la inclusión de sistemas de medición de la carga a transportar o válvulas limitadoras de carga para evitar los sobreesfuerzos.
- Las ruedas directrices deberían protegerse mediante algún tipo de carenado que impida el atrapamiento accidental de los pies del propio operario u otro que se encuentre en las proximidades.

Las características dimensionales del modelo que se desarrolla a lo largo del proyecto, según la norma **UNE 58-427-78**, son las siguientes (Figura 3):

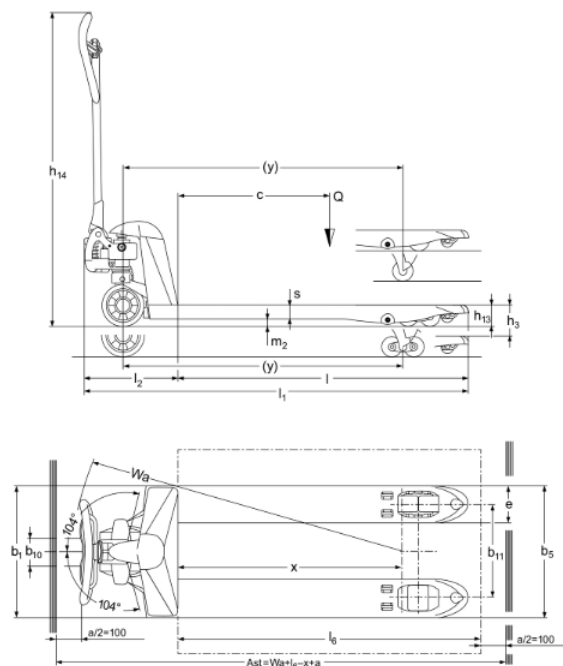


Figura 3. Dimensiones de traspaleta manual



## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

- Capacidad de carga,  $Q = 2.200 \text{ Kg}$ .
- Distancia al centro de gravedad de la carga,  $c = 534 \text{ mm}$ .
- Peso propio =  $56 \text{ Kg}$ .
- Tamaño de ruedas delanteras =  $\varnothing 170\text{mm} \times 50\text{mm}$ .
- Tamaño de ruedas traseras =  $\varnothing 82\text{mm} \times 96\text{mm}$ .
- Ancho de vía delante,  $b_{10} = 109 \text{ mm}$ .
- Ancho de vía detrás,  $b_{11} = 370 \text{ mm}$ .
- Elevación,  $h_3 = 122 \text{ mm}$ .
- Altura de la barra timón en posición de marcha mín./máx.,  $h_{14} = 1.234 \text{ mm}$ .
- Altura de la plataforma elevada,  $h_{12} = 205 \text{ mm}$ .
- Altura bajada,  $h_{13} = 83 \text{ mm}$ .
- Longitud total,  $l_1 = 1.424 \text{ mm}$ .
- Longitud hasta dorsal de horquillas,  $l_1 = 1.424 \text{ mm}$ .
- Valores mínimos de las diferentes alturas de los brazos de la horquilla,  $l_2 = 373 \text{ mm}$ .
- Ancho total,  $b_1/b_2 = 520 \text{ mm}$ .
- Medidas de las horquillas,  $s/e/l = 53 \text{ mm}/150 \text{ mm}/1.054 \text{ mm}$ .
- Ancho exterior sobre horquillas,  $b_5 = 520 \text{ mm}$ .
- Margen con el suelo, centro distancia entre ejes,  $m_2 = 30 \text{ mm}$ .
- Radio de giro,  $W_a = 1.178 \text{ mm}$ .
- Velocidad de descenso con/sin carga =  $0,09 / 0,02 \text{ m/s}$ .

Los componentes que forman la máquina a dimensionar son los siguientes:

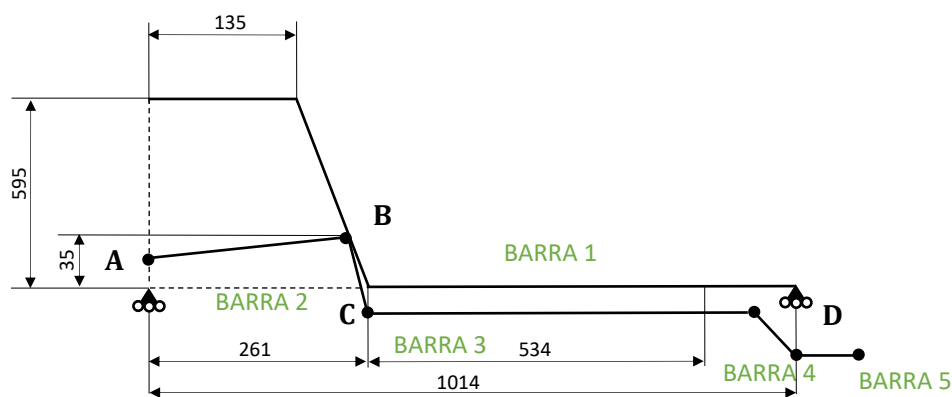


Figura 4. Conjunto general

Se divide el cuerpo de la traspaleta manual en 5 barras, para proceder más adelante al dimensionamiento de cada una de ellas:

BARRA 1 se corresponde con la base del chasis.

BARRA 2 se corresponde con el balancín que conecta el accionamiento con el chasis.

BARRA 3 se corresponde con la barra de elevación.

BARRA 4 se corresponde con el balancín que conecta el chasis con las ruedas traseras.

BARRA 5 se corresponde con la pletina que conecta ambas ruedas traseras.

Para los cálculos de dimensionamiento se ha empleado la siguiente teoría de fallo:

Según la **teoría de la tensión cortante máxima** la falla de un material ocurre siempre que en cualquier elemento la tensión de cortadura máxima sea igual a la tensión cortante máxima en una probeta a tracción.

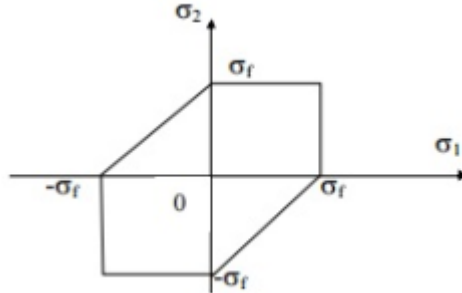


Figura 5. Teoría de la tensión cortante máxima.

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$$

$$C_s = \frac{\sigma_F}{2 \cdot \tau_{m\acute{a}x}}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_s}$$

Por último, junto con esta teoría de fallo se exige un **coeficiente de seguridad mínimo de 2**, estableciendo así que la capacidad máxima de cada elemento debe ser al menos 2 veces mayor que la capacidad real a la que está sometido.

Para los cálculos analíticos se siguen los siguientes pasos:

## 1. Resolución del sistema de ecuaciones global:

Antes de empezar a calcular cada elemento es necesario calcular los valores de todas las reacciones que intervienen en el mecanismo en su situación más desfavorable.

Para ello, a través de los Diagramas de Sólido Libre de cada elemento y del sistema en conjunto, se ha planteado el sistema de ecuaciones de equilibrio del sistema.

Para su resolución se ha empleado el programa EES (Engineering Equation Solver).

## 2. Diseño y selección del accionamiento:

Una vez ya calculado el valor de la fuerza que se ejerce en el cilindro, se procede a su dimensionamiento.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

A partir de este apartado, se dimensiona elemento a elemento a través del siguiente método:

**3. Diagramas de esfuerzos:**

Para hallar la sección más desfavorable y su correspondiente punto más solicitado es necesario calcular sus esfuerzos normal, cortante y flector en toda la longitud del elemento.

**4. Dimensionamiento en su punto más solicitado.**

A través del punto más solicitado se calculan sus dimensiones según el requisito del coeficiente mínimo del 2.

**5. En el caso de las uniones a través de pasadores (balancín 1 y 2):**

Una vez calculado el diámetro mínimo necesario para el pasador de cada una de las uniones de cada balancín, se comprueba que el resto de las medidas impuestas (según medidas tomadas en uniones de traspaleta) cumplen el requisito del coeficiente mínimo.

**6. Cálculo de las uniones realizadas mediante soldadura:**

Por último, la base del chasis y el cuerpo del chasis están unidos a través de una soldadura a flexión, de la que se calculan todos sus esfuerzos en ambas gargantas y se comprueba que la garganta más solicitada cumple el requisito del coeficiente de seguridad mínimo.

### 3.2. Cálculo de cargas

En este apartado se calcula el valor de todas las reacciones que actúan sobre el mecanismo de la traspaleta manual considerando la situación más desfavorable.

Ante este mecanismo nos podemos encontrar con 3 posibles situaciones:

**1. Posición inicial:**

Posición más baja:  $h = 680 \text{ mm} - 85 \text{ mm} = 595 \text{ mm}$ .

Sin carga:  $P = P_p = 56 \text{ Kg}$ .

**2. Posición inicial con carga:**

Posición más baja:  $h = 595 \text{ mm}$ .

Sin carga:  $P = P_p + Q = 2200 \text{ Kg} + 56 \text{ Kg} = 2256 \text{ Kg}$ .

**3. Posición final con carga:**

Posición más alta:  $h = 595 \text{ mm}$ .

Sin carga:  $P = P_p + Q = 2200 \text{ Kg} + 56 \text{ Kg} = 2256 \text{ Kg}$ .

Como el caso 2 y 3 son idénticos ya que la altura relativa del chasis es la mismo con la carga elevada que con la carga sin elevar, la situación más desfavorable será con carga. Por tanto, se calculan las reacciones para  $P = 2256 \text{ Kg}$ .

El esquema del funcionamiento del mecanismo principal de la traspaleta manual es el siguiente:

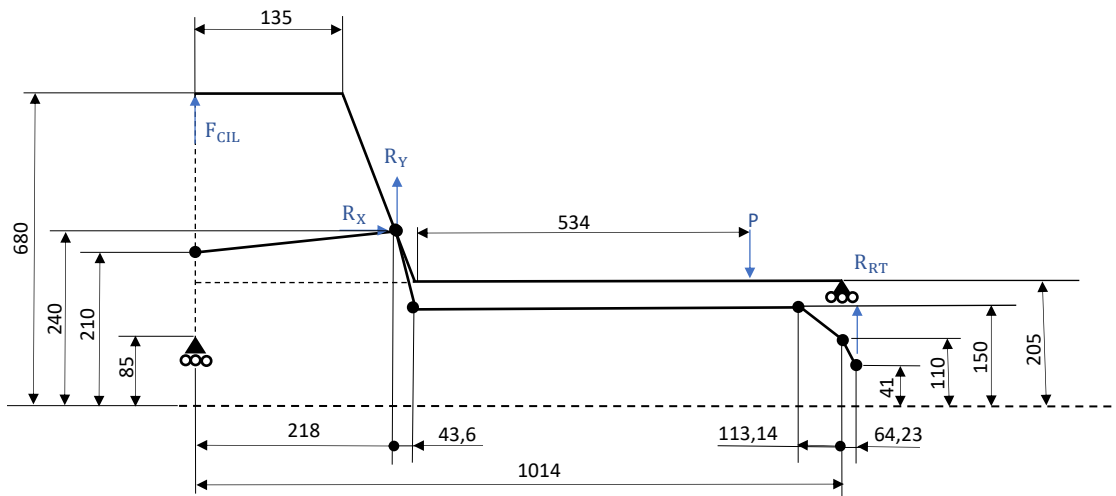


Figura 6. Mecanismo principal de traspaleta manual

Hay varias medidas que no aparecen en las especificaciones del modelo escogido para el cálculo y diseño de la traspaleta manual (*Apartado 4.1*) y que se han aproximado según las medidas tomadas de la traspaleta manual de la que se dispone en una nave de la Universidad de Zaragoza.

Para poder resolver el conjunto mecánico se aplican las ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momentos en cada uno de sus componentes a través de sus diagramas de sólido libre según como se adjunta en el *Anexo A.5. Cálculo de cargas*.

## 3.3. Diseño y selección del accionamiento

A partir de los cálculos recogidos en el anexo A.5. *Cálculo de cargas*, se ha obtenido que el valor de la fuerza cilindro en la situación más desfavorable es el siguiente:

$$F_{CIL} = 14.242 \text{ N.}$$

Una vez calculada la fuerza del cilindro ya se puede calcular el resto de los parámetros del accionamiento manual formado por un cilindro hidráulico:

Según catálogo la  $P_{MÁX} = 10 \text{ bar} = 1 \text{ MPa}$ .

$$A_{PISTÓN} = \frac{F_{CIL}}{P_{MÁX}} = \frac{14.242 \text{ N}}{1 \text{ MPa}} = 14.242 \text{ mm}^2$$

Observando el catálogo, se escoge el siguiente cilindro a través del área calculada (*Ver Anexo: A.1. Catálogo de cilindro hidráulico*):

**Modelo:** ISO 2000 165-125 M.

**$D_{PISTÓN}$**  = 160 mm.

**$A_{PISTÓN}$**  = 18.800 mm<sup>2</sup>.

**$D_{VÁSTAGO}$**  = 40 mm.

Recalculando la presión a la que está sometido el cilindro, el valor final es:

$$P = \frac{F_{CIL}}{A_{PISTÓN}} = \frac{14.242 \text{ N}}{18.800 \text{ mm}^2} = 0,76 \text{ MPa} = \mathbf{7,6 \text{ bar}}.$$

Se comprueba que el vástago del modelo escogido cumple con las condiciones de diseño:

La unión consiste en una unión con vástago rígida y guiado:  $\beta = 1$ .

(*Ver Anexo: A.2. Tipo de fijación de cilindro hidráulico*)

Carrera = 125 mm.

(*Ver Apartado 4.1. Especificaciones ( $h_3$ )*)

$$\Rightarrow \text{Longitud de pandeo} = \text{carrera} \cdot \beta = 125 \text{ mm} \cdot 1 = 125 \text{ mm.}$$

$F_{CIL} = 14,24 \text{ kN}$ .

Para hallar el diámetro del vástago se utiliza la siguiente gráfica tomando como datos de entrada la fuerza del cilindro y la longitud de pandeo calculada:

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

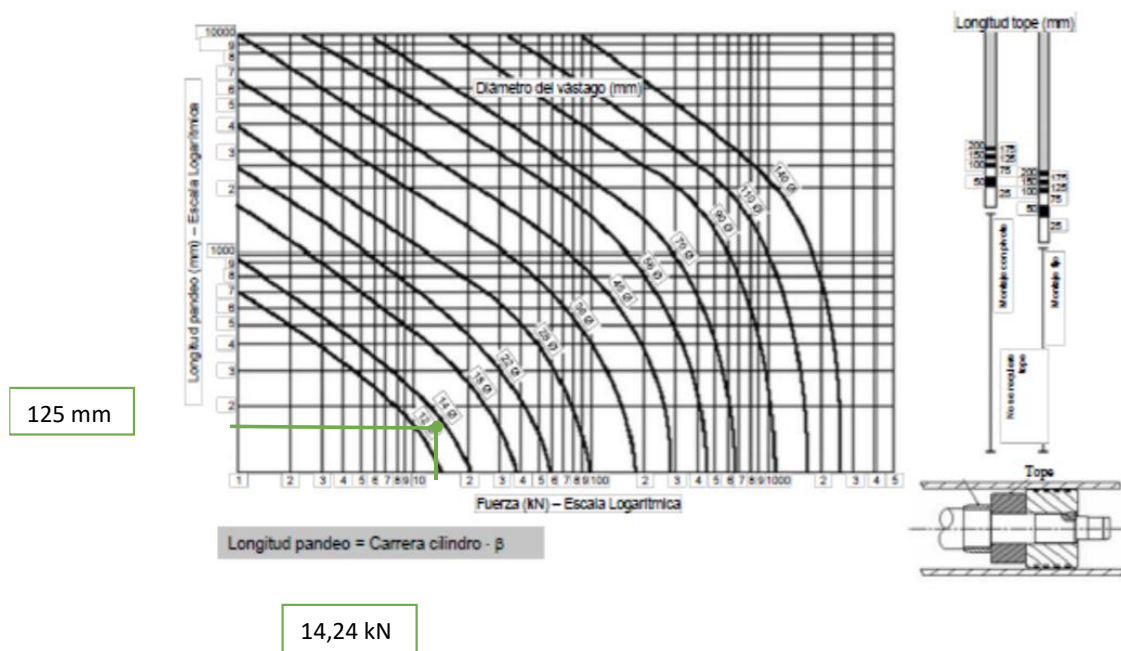


Figura 12. Gráfica del diámetro del vástago.

El diámetro mínimo del vástago debería ser de 14 mm. Por tanto, el vástago que indica el catálogo ( $d_v = 25$  mm) cumpliría las condiciones.

Como última comprobación, se debe verificar que el cilindro cabe en el chasis de la traspaleta manual a través de las medidas que proporciona el catálogo del cilindro (Ver Anexo: A.1. Catálogo de cilindro hidráulico):

$$L_{\text{TOTAL CILINDRO}} = Y + (M + \text{Recorrido}) + E = 3 + (260 + 2 + 125) + 72 = 462 \text{ mm}$$

$$H > L_{\text{TOTAL CILINDRO}} + R_{\text{Rueda delantera}} = 462 + 85 = 547 \text{ mm} \rightarrow H > 547 \text{ mm} \quad \checkmark$$

### 3.4. Dimensionamiento barras

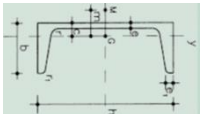
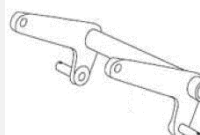


En este apartado se realizan los diagramas de esfuerzos de cada una de las barras que componen el mecanismo y su correspondiente dimensionamiento según como se adjunta en el *Anexo A.6. Dimensionamiento barras.*

En las barras 2, 4 y 5 se calculan los diámetros y espesores mínimos necesarios de los pasadores que alojan éstas, a través del fallo por cortadura y el fallo por aplastamiento.

Además, la barra 1 consiste en una barra con perfil en U y la barra 2 es una barra comercial maciza circular seleccionada a partir de un catálogo con el diámetro mínimo calculado.

A continuación, se puede ver una tabla resumen con los esfuerzos en la sección más desfavorable y los principales parámetros del dimensionamiento efectuado de cada una de las barras:

*Tabla 1. Esfuerzos en la sección más desfavorable y dimensiones de cada una de las barras.*

	$N_x$	$V_y$	$M_z$	parámetros dimensiones
<b>BARRA 1</b>	9.409,5 N	9.721,5 N	2.123.175,6 N·mm	<b>BARRA CON PERFIL EN U</b> $h = 150$ mm $b = 53$ mm $e = 10$ mm 
<b>BARRA 2</b>	2.844,13 N	9.077,74 N	907.774 N·mm	<b>BALANCÍN CON UNIONES POR PASADORES</b> $d = 15$ mm $e = 10$ mm $h = 100$ mm 
<b>BARRA 4</b>	8.405,29 N	4.454,84 N	534.585,9 N·mm	<b>BALANCÍN CON UNIONES POR PASADORES</b> $d = 16$ mm $e = 10$ mm $h = 80$ mm 
<b>BARRA 5</b>	-	4.161,5 N	208.075 N·mm	<b>PLETINA CON UNIONES POR PASADORES</b> $d = 9$ mm $e = 7$ mm $h = 60$ mm 

## 4. UNIONES SOLDADAS

El sistema mecánico presenta soldadura en dos puntos de la base del chasis:

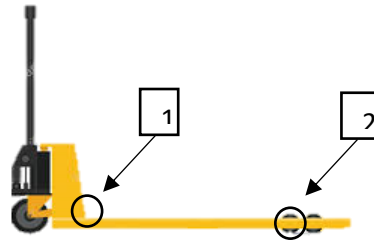


Figura 51. Posicionamiento de soldaduras en base de chasis

A continuación, se describen ambas soldaduras señaladas en la traspaleta manual:

### 4.1. Soldadura 1.1

La función principal de esta soldadura sometida a flexión es la unión de la barra de empuje de elevación con el chasis:

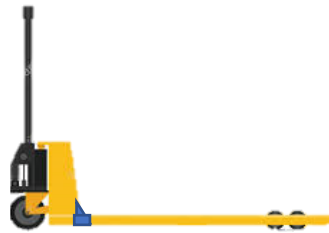


Figura 52. Posicionamiento de soldadura 1 en base de chasis

En este apartado se calculan las tensiones en la sección abatida y su correspondiente coeficiente de seguridad según se adjunta en el anexo A.7. Descripción soldadura 1.1.

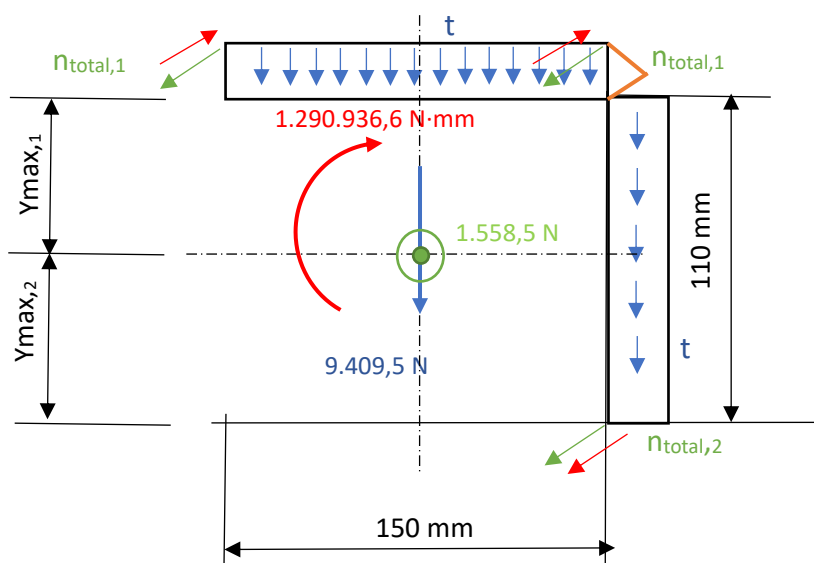


Figura 53. Sección de garganta



## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

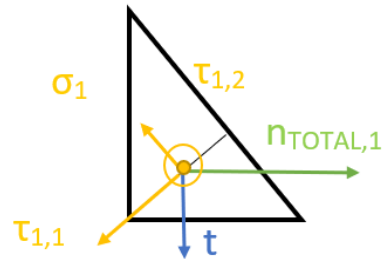
Siendo el resultado final de las tensiones en la sección abatida los siguientes:

$$t = 7,24 \text{ MPa.}$$

$$n_{\text{TOTAL},1} = -4,15 \text{ MPa.}$$

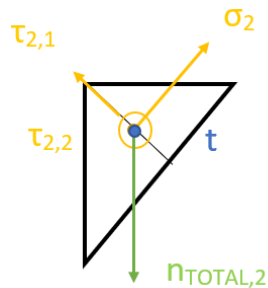
$$n_{\text{TOTAL},2} = 22,77 \text{ MPa.}$$

Y el resultado final de las tensiones de la garganta:



$$\begin{aligned}\sigma_1 &= 8,05 \text{ MPa.} \\ \tau_{1,1} &= 2,18 \text{ MPa.} \\ \tau_{1,2} &= 0 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

Figura 54. Sección de garganta superior.



$$\begin{aligned}\sigma_2 &= 16,1 \text{ MPa.} \\ \tau_{2,1} &= 16,1 \text{ MPa.} \\ \tau_{2,2} &= -7,24 \text{ MPa.}\end{aligned}$$

Figura 55. Sección de garganta inferior.

Quedando finalmente el coeficiente de seguridad que tiene el cordón de soldadura más solicitado:  $C_s = 7,96$ .

### 4.2. Soldadura 1.2

La función principal de esta soldadura es la unión de la base del chasis con el segundo balancín de la estructura, que sería el encargado de sujetar las ruedas traseras, mediante una orejeta que va soldada a la base del chasis:



Figura 56. Posicionamiento de soldadura 2 en base de chasis

Este tipo de soldadura consiste en una soldadura a puntos, por tanto, no se calcula en detalle.

## 5. SIMULACIÓN 3D

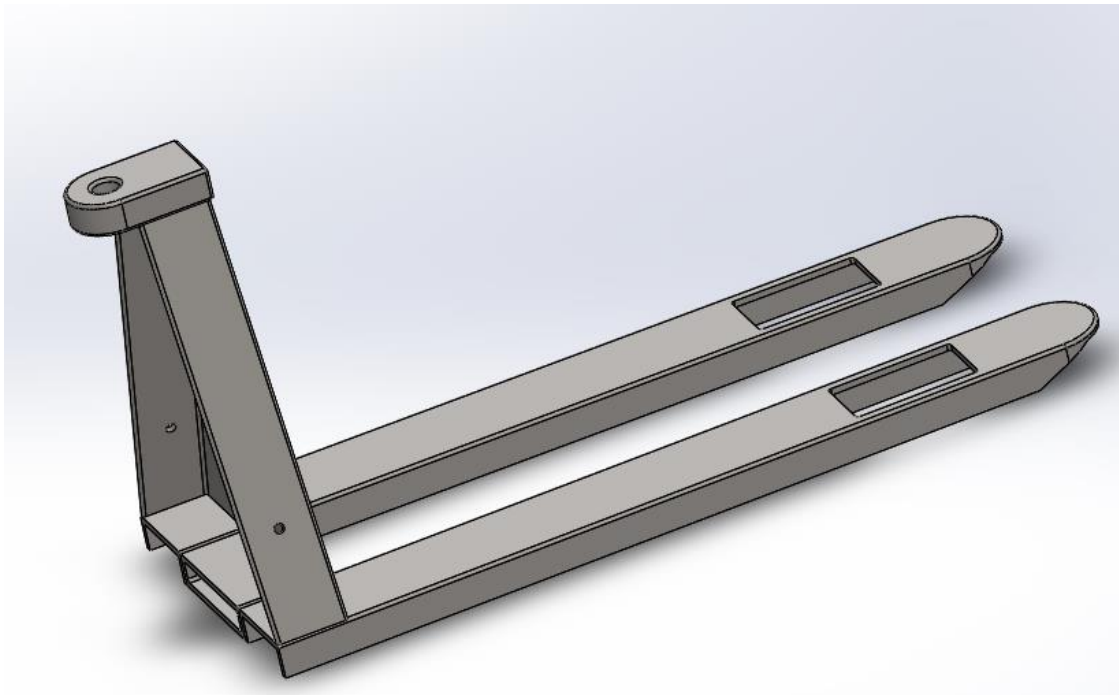
### 5.1. Modelado

Para el modelado en 3D se ha empleado el programa SolidWorks en la versión del 2019. (ver anexo A.8. *Modelado en 3D*).

A continuación, se detalla la forma en la que se han modelado en 3D las piezas del chasis de la traspaleta manual según se adjunta en el anexo A.8. *Modelado en 3D*.

Una vez modelados todos los componentes del chasis, se realiza el ensamblaje final del chasis de la traspaleta manual a través de cuatro partes:

- Base del chasis. (x2)
- Cuerpo del chasis.
- Tapa del chasis.
- Elemento rigidizador de a base.



*Figura 65. Ensamblaje de chasis en 3D.*

## 5.2. Simulación

Mediante SolidWorks Simulation se realiza la simulación del diseño a través de la aplicación del Método de los Elementos Finitos, MEF.

### 1. Se aplica el material.

Es necesario definir el material de todos los componentes del ensamblaje que se va a analizar. En este caso, el material elegido para todos los componentes es un acero S275JR:

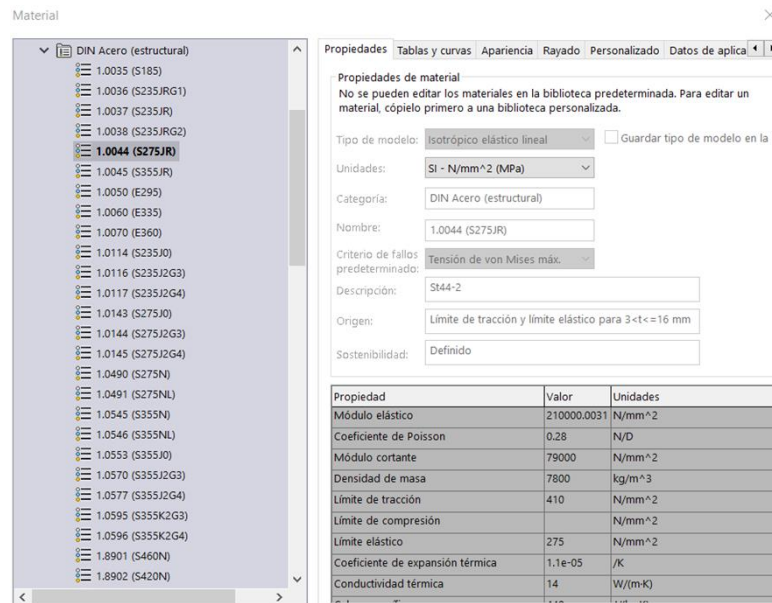


Figura 66. Aplicación de material.

### 2. Se definen las conexiones.

Es necesario indicar las uniones entre los diferentes elementos del ensamblaje. En este caso, al ser uniones soldadas, corresponden a una unión rígida en el contacto global.

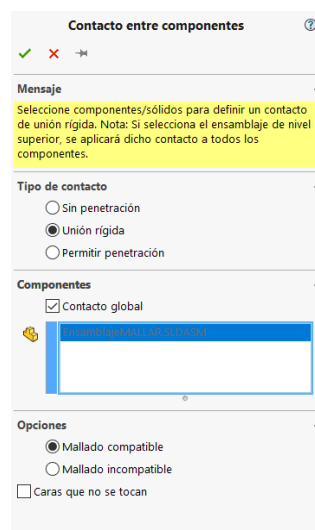
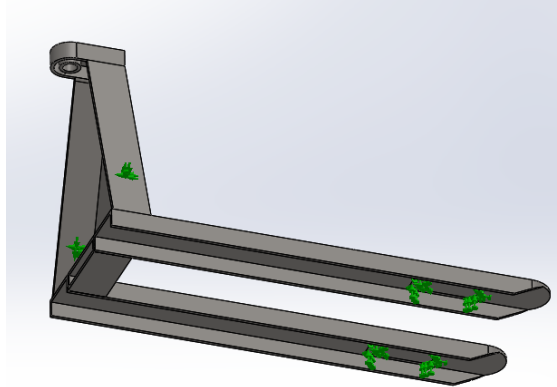


Figura 67. Conexiones entre componentes.

### 3. Se definen las sujeciones.

Es necesario indicar los distintos apoyos de la máquina. En este caso, corresponden a las ruedas traseras, así como al apoyo del cuerpo del chasis con el balancín 1:



*Figura 68. Definición de apoyos.*

En este caso, el apoyo de las ruedas traseras es un apoyo deslizante que sólo permite el movimiento en la dirección x. Sin embargo, el apoyo del cuerpo del chasis se define a través de la opción “sujeciones avanzadas” empleando una geometría de referencia que impide el movimiento en ambos agujeros en cualquier dirección.

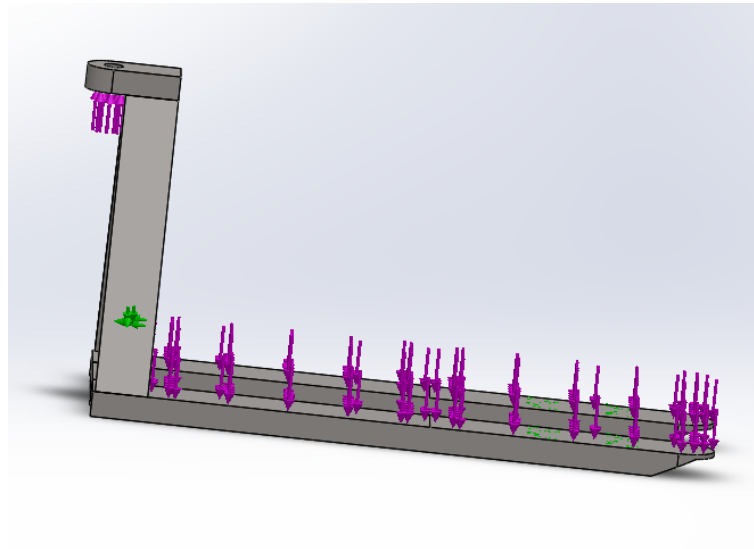
Para poder definir los apoyos correspondientes a las ruedas traseras ha sido necesario realizar una línea de partición usando el croquis del agujero que aloja las ruedas traseras.

### 4. Se definen las cargas.

Es necesario indicar las cargas que actúan en los diferentes puntos de la máquina. En este caso, corresponden al peso máximo de la carga que transportará la traspaleta en su centro de gravedad ( $P = 22.560 \text{ N}$ ). Además, también se añade la fuerza del cilindro sobre la tapa del chasis, calculada en los apartados anteriores ( $F_{\text{CIL}} = 14.242 \text{ N}$ ).

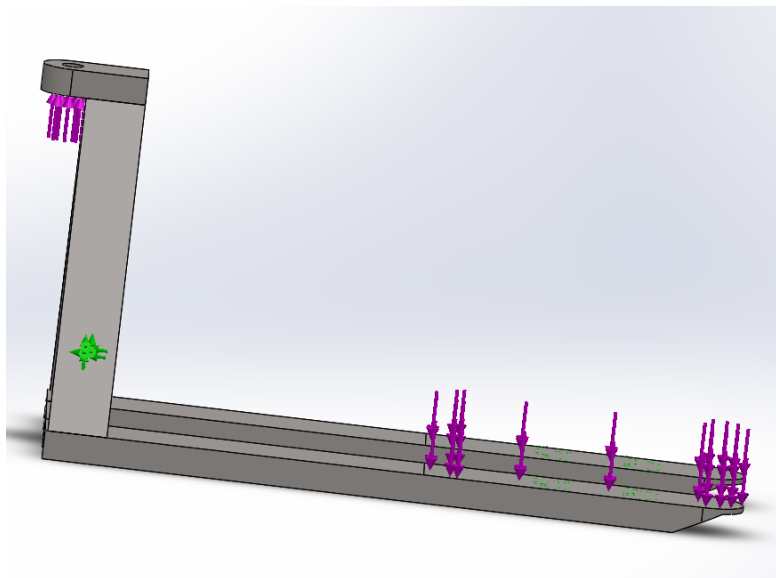
Se realizan 3 estudios diferentes diferenciando la zona de aplicación de la carga:

- a. **Estudio 1.** Carga uniformemente distribuida a lo largo de toda la base del chasis.



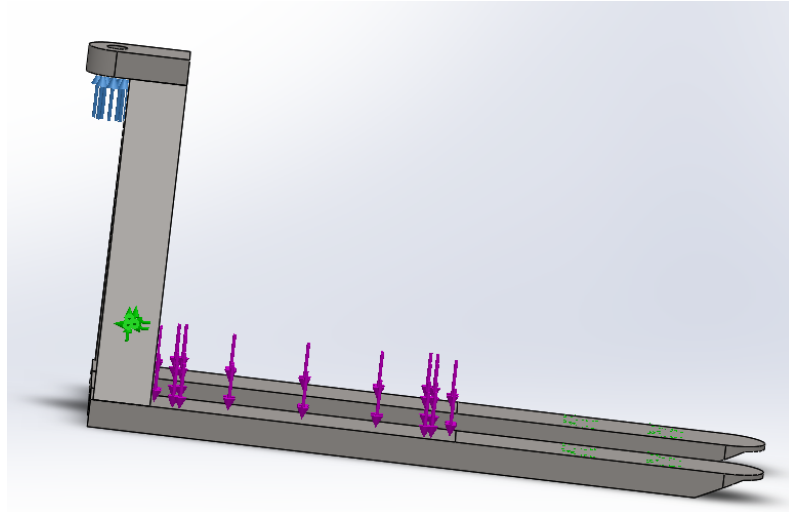
*Figura 69. Definición de cargas – Estudio 1.*

- b. **Estudio 2.** Carga uniformemente distribuida en el extremo externo de la base del chasis.



*Figura 70. Definición de cargas – Estudio 2.*

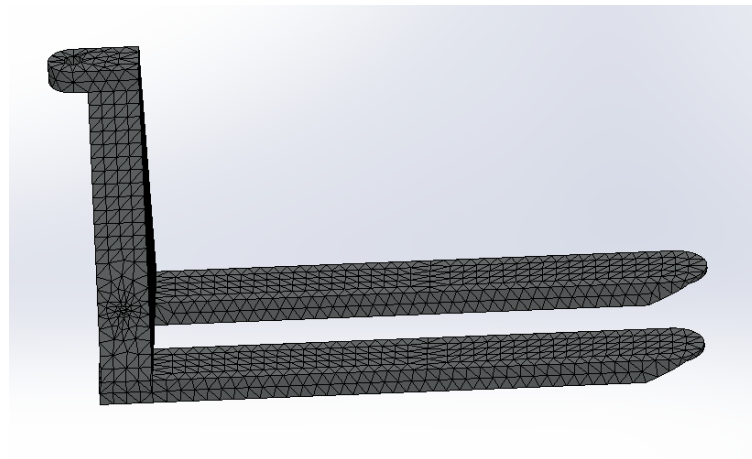
- c. **Estudio 3.** Carga uniformemente distribuida en el extremo interno de la base del chasis.



*Figura 71. Definición de cargas – Estudio 3.*

**5. Se realiza el proceso de mallado.**

Ahora ya se puede proceder a mallar la máquina. El mallado no se hace de una forma uniforme ya que hay zonas que presentan pequeñas curvaturas debido al redondeo que se ha aplicado a todos los elementos. En estas zonas se aplicará un mallado en curvatura:



*Figura 72. Ensamblaje mallado.*

**6. Se ejecuta.**

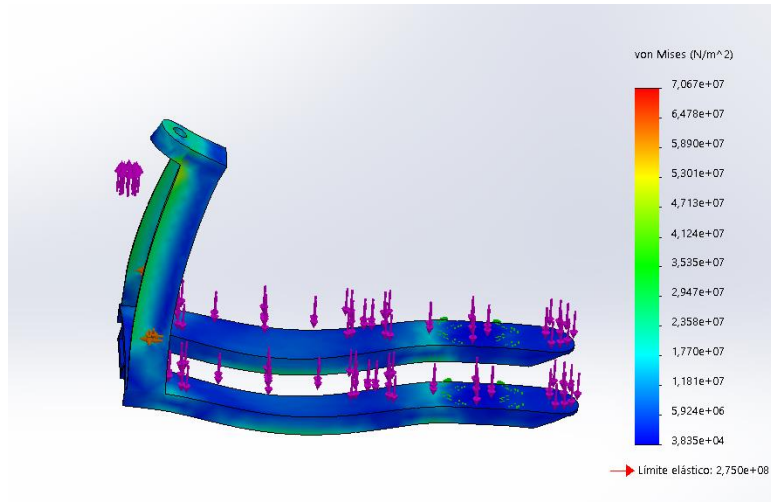
Finalmente se ejecuta para poder comprobar los resultados de las tensiones, desplazamientos y deformaciones en todo el conjunto que se ha ido definiendo poco a poco.

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos de los tres casos analizados:

## CASO 1. Carga uniformemente distribuida.

Una vez realizados los cálculos analíticos y la simulación en SolidWorks se pueden comprobar ambos resultados.

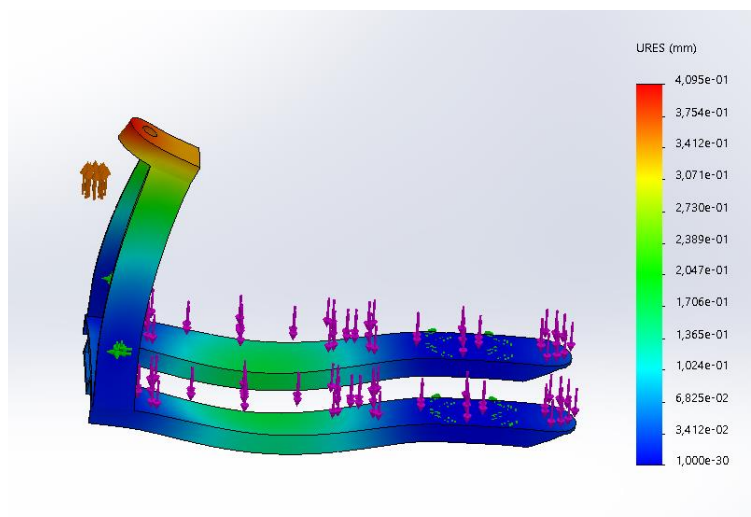
En la siguiente imagen (*Figura 73*) se observan las tensiones a las que está sometida la estructura del chasis en el caso de soportar una tensión distribuida uniformemente a lo largo de la base:



*Figura 73. Tensiones – Caso 1.*

Como se puede observar en la anterior imagen, la máxima tensión aparece representada en color verde tanto en el agujero situado en la tapa del chasis como en los extremos de los laterales del cuerpo de chasis, siendo este el punto más desfavorable con una tensión de  $3,5 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  aproximadamente, que corresponde a 35 MPa. Aplicándose en esa zona la fuerza del cilindro,  $F_{\text{CIL}} = 14,24 \text{ kN}$ .

Además, también se pueden observar los desplazamientos a través de la simulación (*Figura 74*):

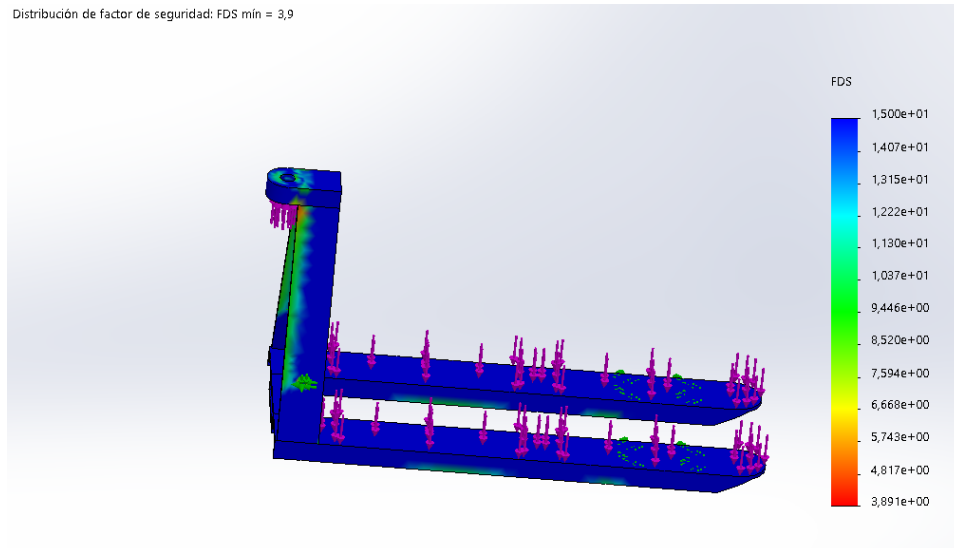


*Figura 74. Desplazamientos – Caso 1.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Los máximos desplazamientos se dan en la tapa del chasis observando el máximo valor aproximado de 0,4 mm.

Por último, para comprobar el coeficiente de seguridad, se ha elegido una escala del 0 al 15, reflejándose en la imagen (*Figura 75*) en color azul las zonas con mayor coeficiente de seguridad:



*Figura 75. Coeficiente de seguridad – Caso 1.*

Hay dos zonas que destacan con coeficientes de seguridad bajos que corresponden a la zona del cuerpo del chasis nombrada en el apartado de tensiones y la zona de la tapa del chasis donde se aplica la fuerza del cilindro, que aparece en un color verde indicando que tiene un coeficiente de seguridad aproximado de 3,9. Estos valores mínimos se deben a las máximas tensiones observadas en la *Figura 73*.

Cabe señalar que las zonas en las que aparece un menor coeficiente de seguridad no han sido analizadas analíticamente. Aun así, el valor obtenido es suficientemente alto como para considerar que la pieza soporta correctamente los esfuerzos a los que está sometida.

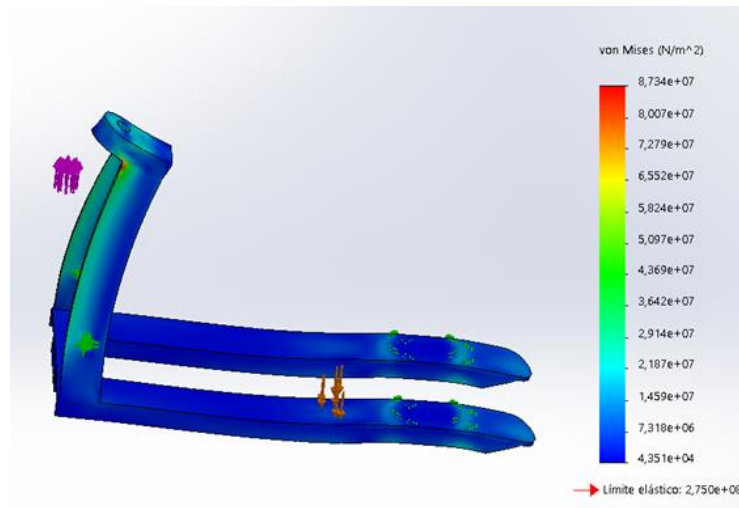


## CASO 2. Carga uniformemente distribuida en el extremo externo.

Adicionalmente, se ha realizado la simulación con dos posiciones de carga más.

Una de ellas corresponde a colocar la carga distribuida uniformemente en el extremo externo de la base del chasis.

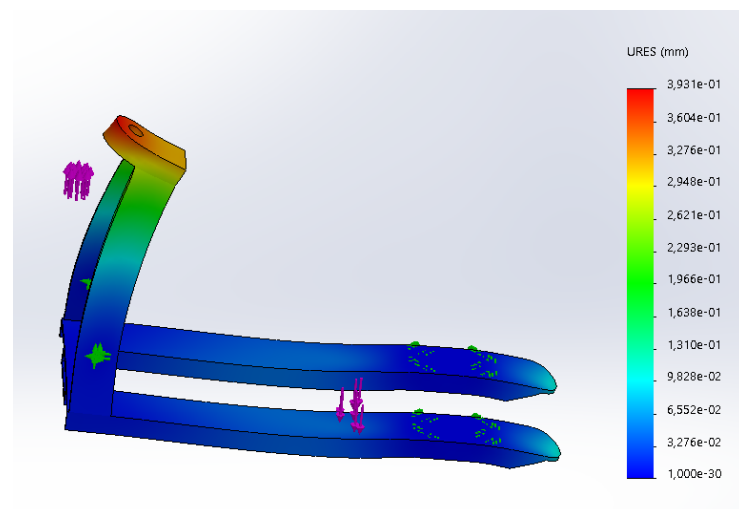
En la siguiente imagen (*Figura 76*) se observa las tensiones a las que está sometida la estructura del chasis en el caso de soportar una tensión distribuida uniformemente en el extremo externo de la base:



*Figura 76. Tensiones – Caso 2.*

Como se puede observar en la anterior imagen, la máxima tensión aparece en la unión de la tapa con el cuerpo del chasis, siendo este el punto más desfavorable debido a un concentrador de tensiones con una tensión de  $8,5 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup> aproximadamente, que corresponde a 85 MPa.

Además, también se pueden observar los desplazamientos a través de la simulación (*Figura 77*):

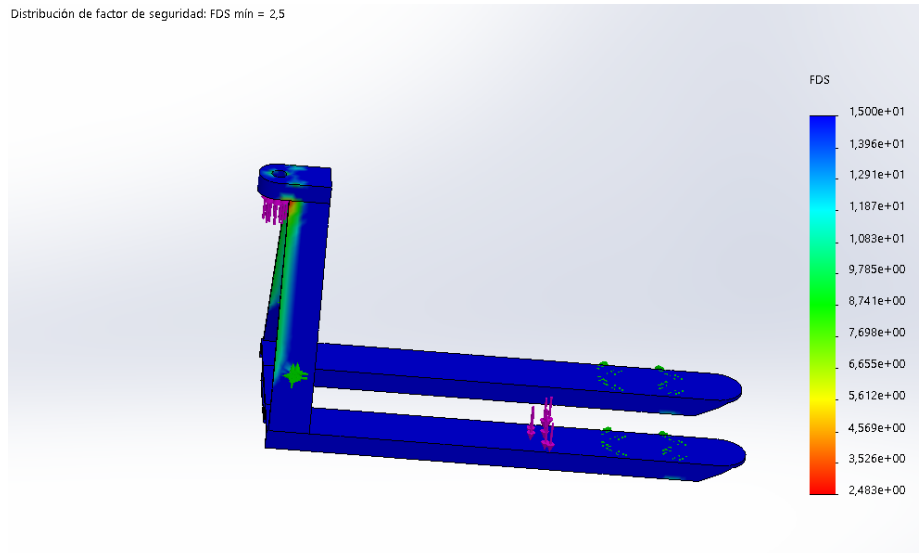


*Figura 77. Desplazamientos – Caso 2.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Los máximos desplazamientos se dan en la tapa del chasis observando el máximo valor aproximado de 0,4 mm.

Por último, para comprobar el coeficiente de seguridad, se ha elegido una escala del 0 al 15, reflejándose en la imagen (*Figura 78*) en color azul las zonas con mayor coeficiente de seguridad:



*Figura 78. Coeficiente de seguridad – Caso 2.*

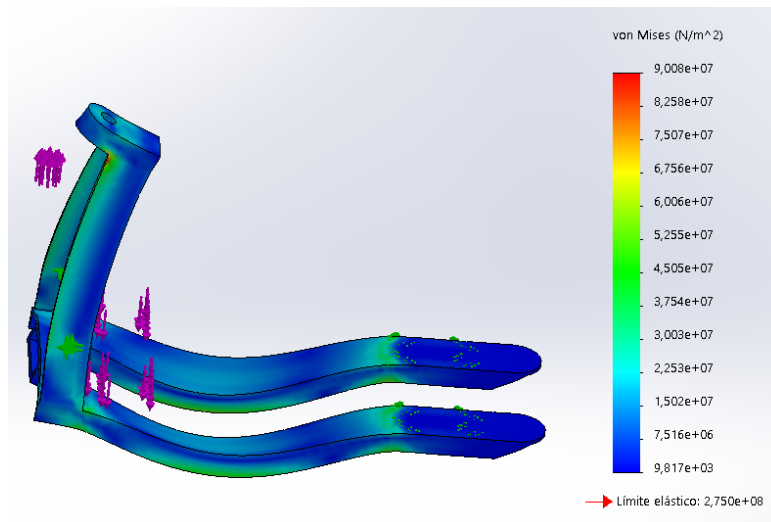
Presentando en color rojo en la zona de la unión entre la tapa con el cuerpo del chasis, correspondiéndose al menor coeficiente de seguridad con un valor aproximado de 2,5, debiéndose este valor a las máximas tensiones observadas en la *Figura 76*.

Por tanto, la pieza trabaja correctamente de nuevo.

## CASO 3. Carga uniformemente distribuida en el extremo interno.

Otra posición de carga simulada corresponde a colocar la carga distribuida uniformemente en el extremo interno de la base del chasis.

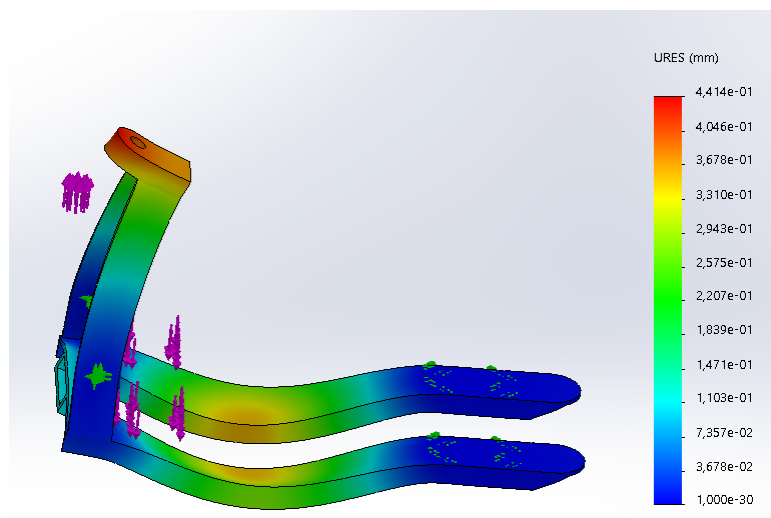
En la siguiente imagen (*Figura 79*) se observa las tensiones a las que está sometida la estructura del chasis en el caso de soportar una tensión distribuida uniformemente en el extremo interno de la base:



*Figura 79. Tensiones – Caso 3.*

Como se puede observar en la anterior imagen, la máxima tensión aparece en la zona de la unión de la tapa con el cuerpo del chasis, siendo este el punto más desfavorable debiéndose a un concentrador de tensiones con una tensión de  $9 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$  aproximadamente, que corresponde a 90 MPa.

Además, también se pueden observar los desplazamiento a través de la simulación (*Figura 80*):



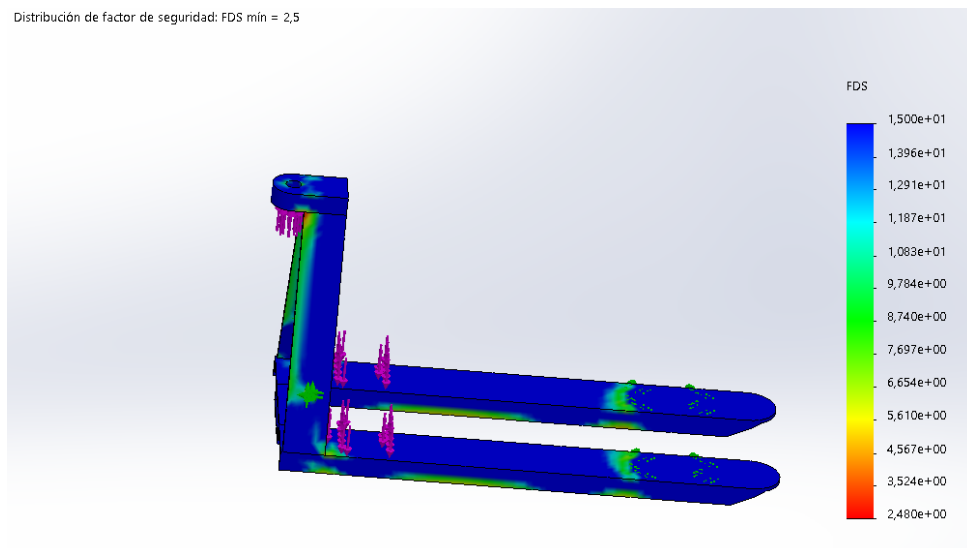
*Figura 80. Desplazamientos – Caso 3.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Los máximos desplazamientos se dan en la tapa del chasis observando el máximo valor aproximado de 0,4 mm.

A diferencia de los anteriores casos, en este caso se observa también mayores desplazamientos en la zona de aplicación de la carga en la base del chasis, alcanzo valores de hasta 0,35 mm.

Por último, para comprobar el coeficiente de seguridad, se ha elegido una escala del 0 al 15, reflejándose en la imagen (*Figura 81*) en color azul las zonas con mayor coeficiente de seguridad:



*Figura 81. Coeficiente de seguridad – Caso 3.*

Presentando en color rojo en la zona de la unión entre la tapa con el cuerpo del chasis, correspondiéndose al menor coeficiente de seguridad con un valor aproximado de 2,5, debiéndose este valor a las máximas tensiones observadas en la *Figura 79*.

Además, también presenta coeficientes bajos en la unión del cuerpo con la base del chasis y en los agujeros con unos valores aproximados de 8.

Aunque esta hipótesis de carga resulta ser la más problemática, tanto las tensiones como los desplazamientos se encuentran en valores suficientemente bajos.

## Conclusiones

Comparando la simulación de los tres casos se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 2. Resultados simulación.*

	Tensión máx.	Desplazamiento máx.	Coefficiente de seguridad mín.
CASO 1	35 MPa	0.4 mm	3.9
CASO 2	85 MPa	0.4 mm	2.5
CASO 3	90 MPa	0.4 mm	2.5

Como se puede observar en la tabla comparativa, el caso 1 difiere de los otros dos casos obteniendo tensiones máximas más bajas y coeficientes de seguridad mínimos más altos.

Además, en los casos 2 y 3 se acerca al resultado obtenido analíticamente. Esto se debe a que el coeficiente de seguridad mínimo propuesto para el dimensionamiento de los componentes del chasis es de 2, acercándose al valor de 2,5 obtenido en la simulación. Sin embargo, en el caso 1 se encuentra sobredimensionado obteniendo coeficientes de seguridad mayores que el mínimo definido.

En cuanto a los desplazamientos, se observa que se producen desplazamientos muy pequeños obteniendo así un modelo correcto. Siendo los máximos desplazamientos en todos los casos en la zona dónde se aplica la fuerza del cilindro.

Cabe destacar también que se puede observar una notable diferencia en el diagrama que refleja los desplazamientos del caso 3. Esto sucede al colocar la carga en la zona de unión entre la base y el cuerpo del chasis.

Finalmente, los resultados obtenidos en la simulación son ligeramente diferentes de los analíticos ya que durante el cálculo no se han tenido en cuenta los concentradores de tensiones, así como la distribución de la carga a lo largo de la base del chasis, la cuál no coincide con ninguna de las tres hipótesis de cargas supuestas para la simulación. Al mismo tiempo, se verifica que no hay zonas sobrecargadas en la pieza previamente dimensionada y nos ha permitido además comprobar que aquellas partes que no se han dimensionado previamente tampoco presentan problemas.

## 6. OPTIMIZACIÓN

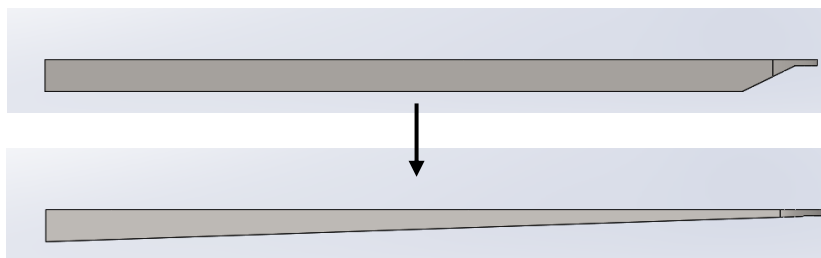
Dados los resultados obtenidos en la simulación de las tres hipótesis de carga, se puede comprobar que el modelo trabaja correctamente cumpliendo las condiciones de trabajo. Por tanto, el siguiente paso es optimizar el modelo de manera que se consiga reducir su peso manteniendo su rigidez y resistencia. De esta manera, se parte de un peso inicial de 79,20 Kg.

Esta optimización se realiza con la hipótesis de carga más desfavorable estudiada previamente, por lo que se supone una carga uniformemente distribuida en el extremo interior interno de la base del chasis (CASO 3).

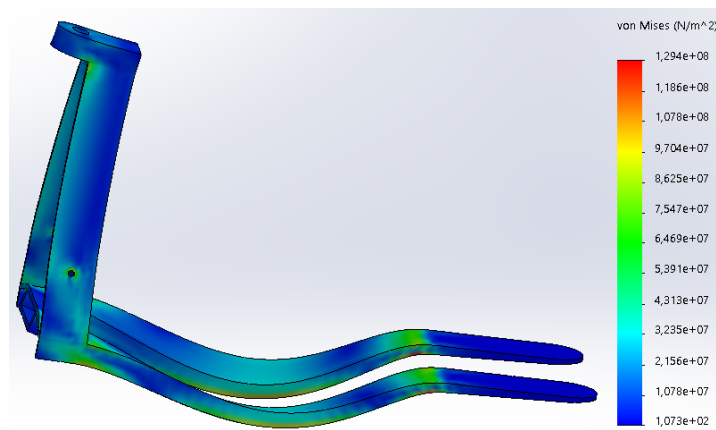
A continuación, se proponen tres posibles casos de optimización:

### CASO 1. Aligeramiento inclinado lateral de la base del chasis.

En este caso se ha alargado la inclinación lateral de la base del chasis, que previamente estaba únicamente en el extremo de la base, de manera que queda finalmente la forma de una aleta. Por tanto, una opción es reducir peso eliminando material de la parte lateral de las bases del chasis (*ver Figura 82*), obteniendo así los siguientes resultados de tensiones, desplazamientos y coeficientes de seguridad:



*Figura 82. Aligeramiento inclinado – Caso 1.*



*Figura 83. Tensiones – Caso 1.*

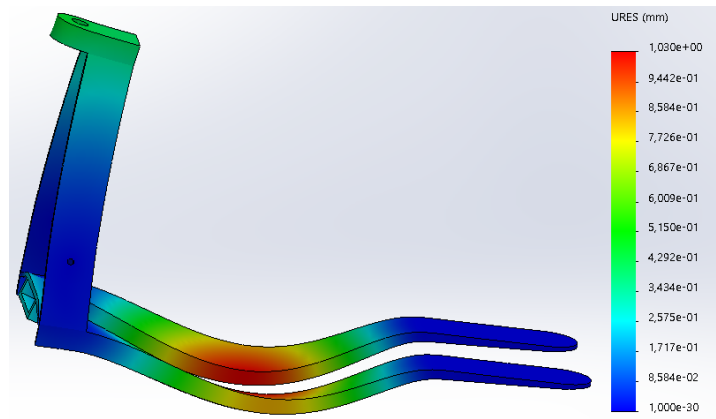


Figura 84. Desplazamientos – Caso 1.

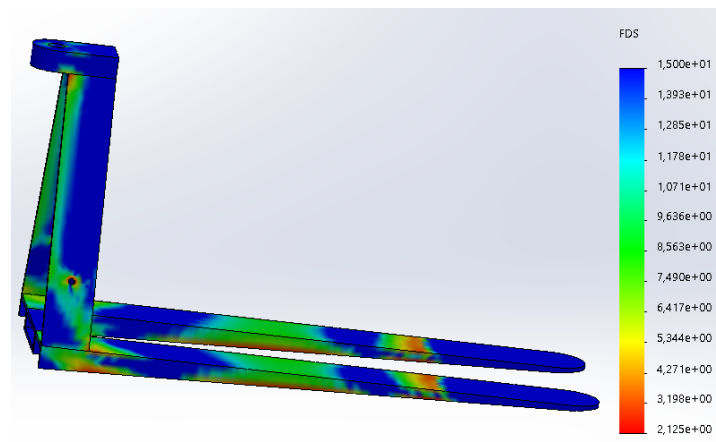


Figura 85. Coeficientes de seguridad – Caso 1.

## CASO 2. Aligeramiento recto lateral de la base del chasis.

En este caso se ha reducido simplemente la altura de la base del chasis en 10 mm quedando finalmente en 43 mm. A su vez, también se ha reducido la altura del elemento rigidizador a 43 mm, igualándola así con la de la base del chasis. De esta manera, se puede reducir peso eliminando material tanto de las bases del chasis como del elemento rigidizador (ver Figura 86), obteniendo así los siguientes resultados de tensiones, desplazamientos y coeficientes de seguridad:

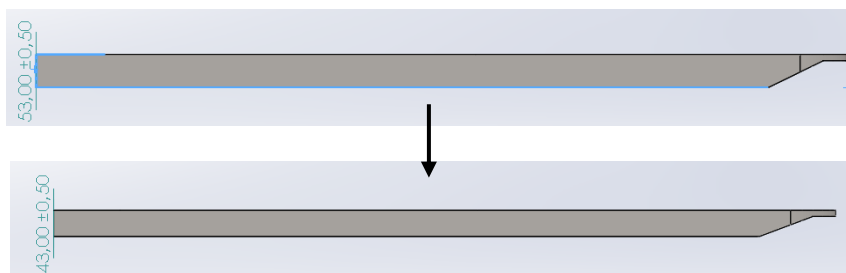


Figura 86. Aligeramiento recto – Caso 2.

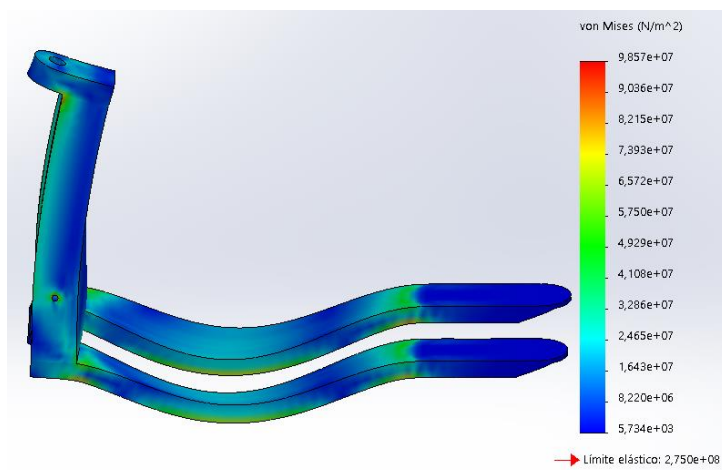


Figura 87. Tensiones – Caso 2.

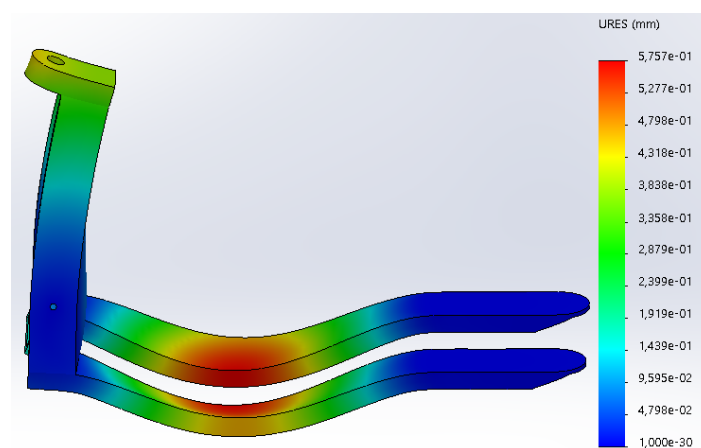


Figura 88. Desplazamientos – Caso 2.

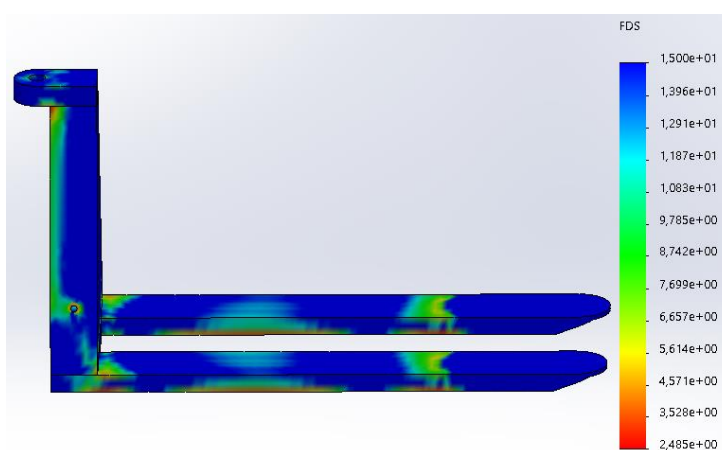


Figura 89. Coeficientes de seguridad – Caso 2.



### CASO 3. Ahuecamiento elemento rigidizador

En este caso se ha mantenido la misma versión de la base del chasis que en el caso anterior y se ha querido aligerar el ensamblaje eliminando la parte inferior y trasera del rigidizador dejando a éste en forma de U. De esta manera, se puede reducir peso eliminando más material del elemento rigidizador (ver Figura 90), obteniendo así los siguientes resultados de tensiones, desplazamientos y coeficientes de seguridad:

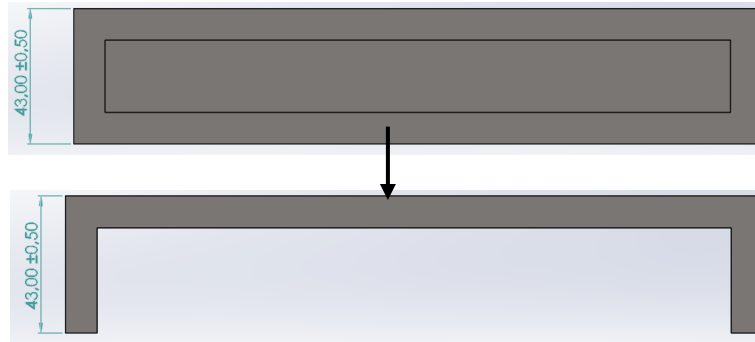


Figura 90. Ahuecamiento elemento rigidizador – Caso 3.

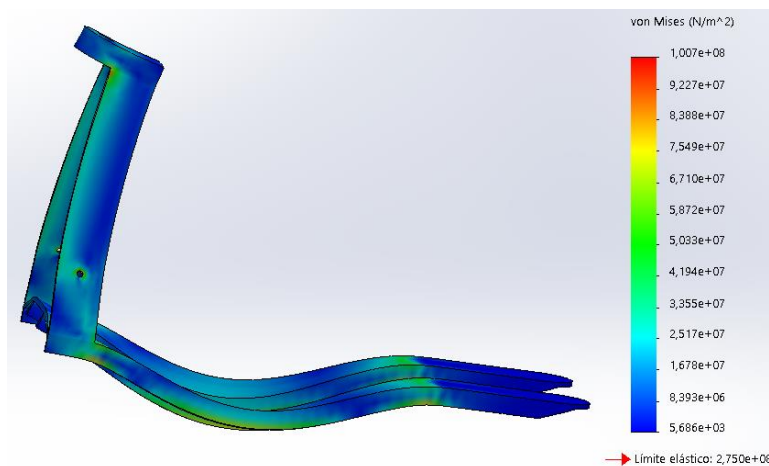


Figura 91. Tensiones – Caso 3.

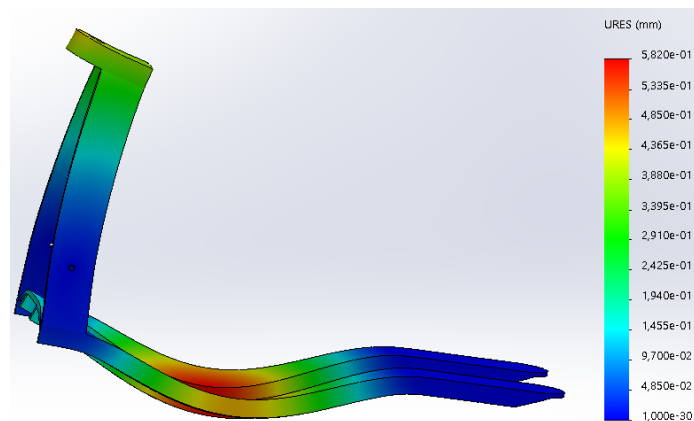


Figura 92. Desplazamientos – Caso 3.

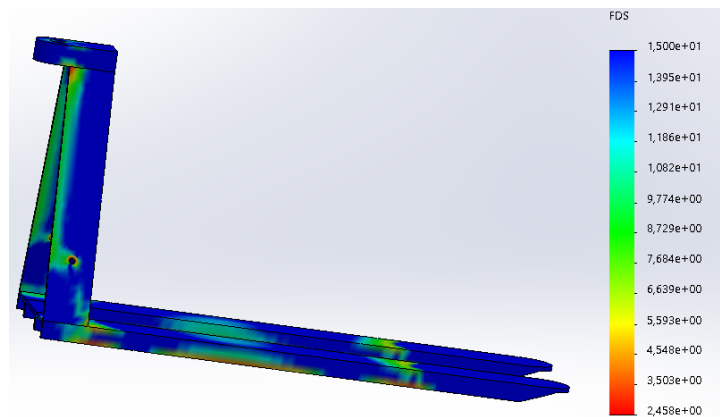


Figura 93. Coeficientes de seguridad – Caso 3.

## Conclusiones

Comparando la simulación de los tres casos obtenemos los siguientes resultados:

Tabla 3. Resultados optimización.

	Tensión máx.	Desplazamiento máx.	Coeficiente de seguridad mín.	Peso
CASO 1	129,4 MPa	1,03 mm	2,1	71,59 Kg
CASO 2	98,5 MPa	0,57 mm	2,5	75,07 Kg
CASO 3	100,7 MPa	0,58 mm	2,5	69,02 Kg

Como se puede observar en la tabla comparativa, ninguna de las 3 propuestas de mejora, consigue optimizar el modelo ya que no consiguen mantener ni la rigidez ni la resistencia, puesto que aumentan las tensiones y desplazamientos máximos.

Por consiguiente, aunque se consigue una disminución de peso que, sobre todo en el último caso puede considerarse significativa, el aumento en las tensiones, así como la mayor dificultad que podría suponer durante la fabricación, ha hecho que se desestimen estas opciones.

## 7. PROCESOS DE FABRICACIÓN

La fase de fabricación consiste en la realización de un único prototipo de traspaleta manual, cuyo mecanismo está compuesto por varias piezas, que han sido diseñadas en los apartados anteriores, y su posterior montaje.

En este caso, la pieza a fabricar es el chasis de la traspaleta manual que se ha diseñado en los apartados anteriores. Se trata de un chasis fabricado con material de acero (S275), el cuál corresponde a un acero estándar en la construcción de estructuras metálicas.

Las características mecánicas se indican en el anexo A.3. *Propiedades mecánicas de acero.*

El conjunto por fabricar está compuesto por 4 componentes:

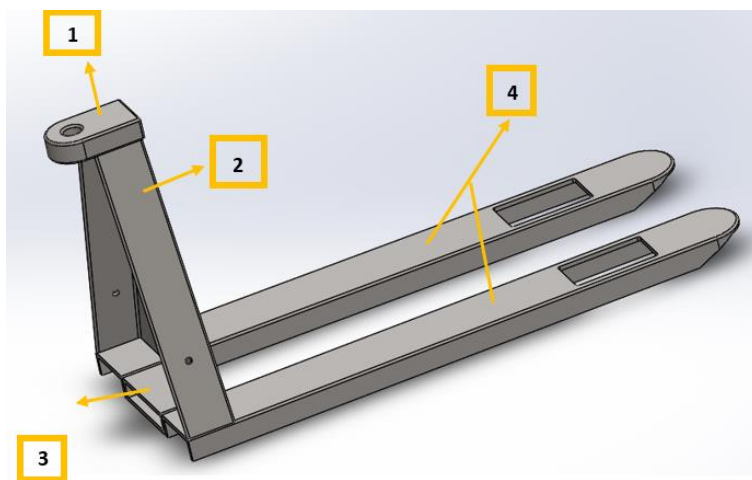
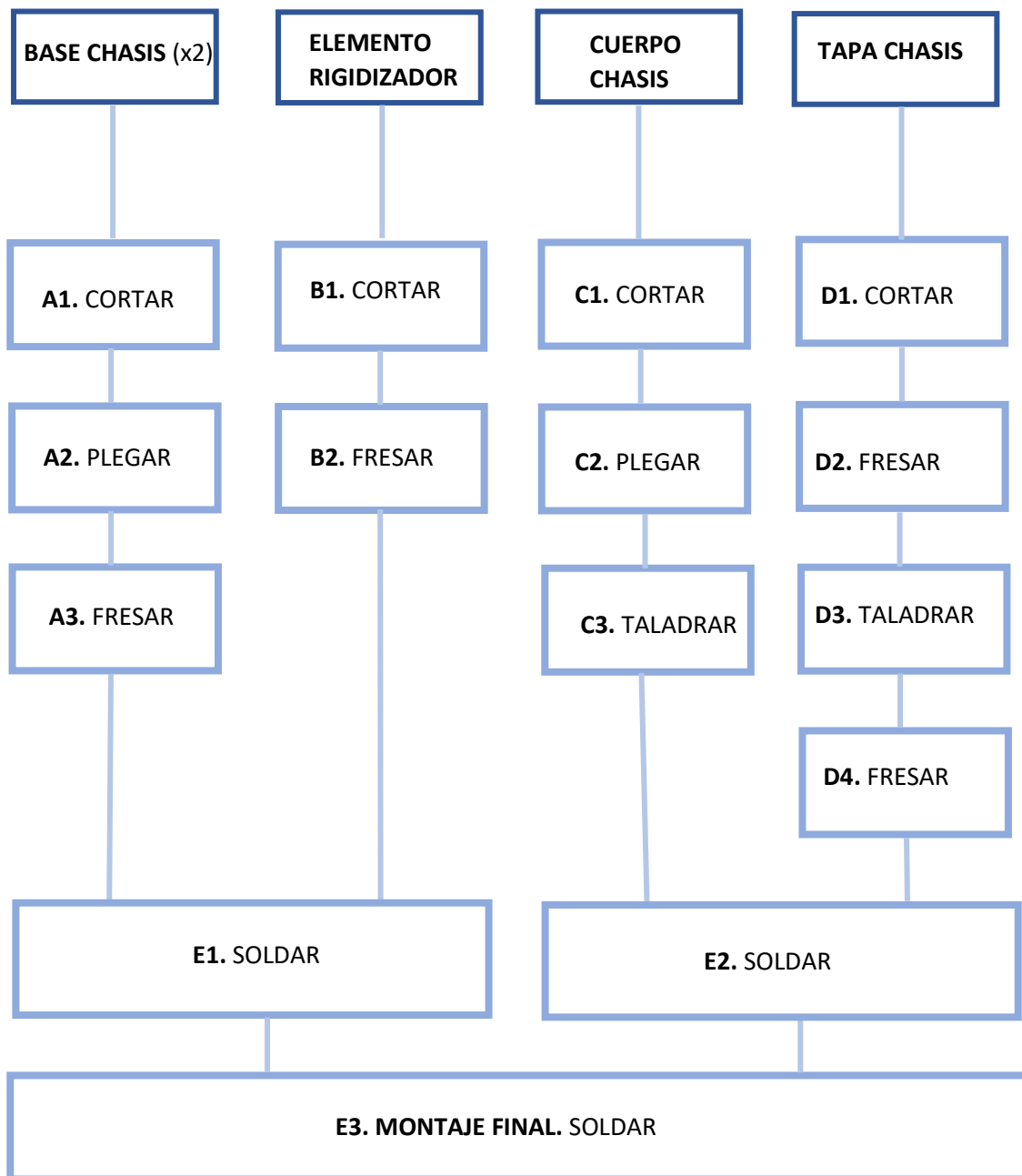


Figura 94. Conjunto de chasis.

1. Tapa.
2. Cuerpo.
3. Elemento rigidizador.
4. Base (x2).

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

En primer lugar, se traza el diagrama de flujo que se lleva a cabo durante el proceso de fabricación.



*Figura 95. Diagrama de flujo del proceso de fabricación.*

A continuación, se detallan los procesos indicados en el diagrama de flujo de cada una de las piezas que forman el conjunto indicando su preforma, estado inicial, estado final, algunos parámetros de la maquinaria empleada, alimentación/extracción, pre posicionamiento y tiempo necesario, como se adjunta en el *Anexo A.10. Desarrollo de procesos de fabricación.*

### 7.1. Resumen tiempos de fabricación.

Una vez realizado el montaje final se refleja en la siguiente tabla resumen los tiempos obtenidos en cada uno de los procesos de fabricación de la traspaleta manual:

Tabla 4. Esquema de tiempos del proceso de fabricación A.

BASE DEL CHASIS (x2)				
Proceso A1	Proceso A2	Proceso A3		
CORTAR (x2)	PLEGAR (x2)	FRESAR (x2)	FRESAR (x2)	FRESAR (x2)
2 min POSICIONAMIENTO 0,5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	3 min POSICIONAMIENTO 2 min PROCESO 2 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 8 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 6 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	2 min POSICIONAMIENTO 5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN
<b>TIEMPO TOTAL Base del chasis = 36,5 min/base → 73 min</b>				

Tabla 5. Esquema de tiempos del proceso de fabricación B.

ELEMENTO RIGIDIZADOR		
Proceso B1	Proceso B2	Proceso B3
CORTAR	FRESAR	FRESAR
1 min POSICIONAMIENTO 0,5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	2 min POSICIONAMIENTO 27,87 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 5,87 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN
<b>TIEMPO TOTAL Elemento rigidizador = 41,24 min</b>		

Tabla 6. Esquema de tiempos del proceso de fabricación C.

CUERPO DEL CHASIS		
Proceso C1	Proceso C2	Proceso C3
CORTAR	PLEGAR	FRESAR
1 min POSICIONAMIENTO 4 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	3 min POSICIONAMIENTO 2 min PROCESO 2 min EXTRACCIÓN	2 min POSICIONAMIENTO 0,8 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN
<b>TIEMPO TOTAL Cuerpo del chasis = 16,8 min</b>		

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Tabla 7. Esquema de tiempos del proceso de fabricación D.

TAPA DEL CHASIS			
Proceso D1	Proceso D2	Proceso D3	Proceso D4
<b>CORTAR</b>	<b>FRESAR</b>	<b>TALADRAR</b>	<b>FRESAR</b>
1 min POSICIONAMIENTO 0,5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 20,4 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 7,5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN	1 min POSICIONAMIENTO 6,5 min PROCESO 1 min EXTRACCIÓN
<b>TIEMPO TOTAL Tapa del chasis = 42,9 min</b>			

Tabla 8. Esquema de tiempos del proceso de fabricación D.

MONTAJE FINAL		
Proceso E1	Proceso E2	Proceso E3
<b>SOLDAR</b>	<b>SOLDAR</b>	<b>SOLDAR</b>
2 min POSICIONAMIENTO 0,4 min PROCESO 2 min EXTRACCIÓN	3 min POSICIONAMIENTO 1,3 min PROCESO 2 min EXTRACCIÓN	2 min POSICIONAMIENTO 1,2 min PROCESO 2 min EXTRACCIÓN
<b>TIEMPO TOTAL Montaje final = 15,9 min</b>		

Tabla 9. Esquema global de tiempos del proceso de fabricación.

RESUMEN TIEMPOS				
Proceso A	Proceso B	Proceso C	Proceso D	Proceso E
73 min	41,24 min	16,8 min	42,9 min	15,9 min
<b>TIEMPO TOTAL Proceso de fabricación = 189,84 min</b>				

Por tanto, el tiempo total que se requiere para fabricar un prototipo de la traspaleta manual prediseñada en apartados anteriores es aproximadamente de 189,84 min.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

### 7.2. Resumen procesos de fabricación.

Para tener una visión global de cada uno de los procesos de fabricación necesarios para la obtención del prototipo de la traspaleta manual, que ha sido diseñada previamente, se ha realizado una tabla con todos los parámetros principales de cada uno de esos procesos:

Tabla 10. Esquema global de parámetros principales de los procesos de fabricación.

Proceso	Preforma	Alimentación	Preposicionamiento	Máquina	Hta /Uillaje /Consumibles	Parámetros de proceso	Extracción	Pieza
<b>A1. Corte de chapa (x2)</b>	Chapa de acero S275 2.500x1.000x10	Manual por operario	A tope	Cizalla guillotina QC12Y	-	P=7,5 kW	Manual por operario	Chapa de acero S275 1.300x256x10
<b>A2. Plegado con matrices (x2)</b>	Chapa de acero S275 1.300x256x10	Manual por operario	Marcado	Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC	Matriz plegadora M75.85.63 Punzón PK95.85.R3	P=9,5 kW	Manual por operario	Plano <i>Figura 97</i>
<b>A3.1. Fresado de extremo (x2)</b>	Plano <i>Figura 97</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z1MPCR d = 20 mm Uillaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 102</i>
<b>A3.2. Fresado de agujero (x2)</b>	Plano <i>Figura 97</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z1MPCR d = 20 mm Uillaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 102</i>
<b>A3.3. Fresado de lateral (x2)</b>	Plano <i>Figura 102</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z1MPCR d = 20 mm Uillaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 103</i>
<b>B1. Corte de barra</b>	Barra de acero S275 1.000x120x120	Manual por operario	Marcado	Sierra de cinta FEMI 785XL	Uillaje = Mordaza	v=60mm/min	Manual por operario	Barra de acero S275 220x120x120
<b>B2.1. Fresado del contorno</b>	Barra de acero S275 220x120x120	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z5MCR d = 25 mm Uillaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Barra de acero S275 220x110x53
<b>B2.2. Fresado de agujero</b>	Barra de acero S275 220x110x53	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z5MCR d = 25 mm Uillaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 106</i>

# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Proceso	Preforma	Alimentación	Preposicionamiento	Máquina	Hta /Utlaje /Consumibles	Parámetros de proceso	Extracción	Pieza
<b>C1. Corte de chapa</b>	Barra de acero S275 1.200x1.000x10	Manual por operario	A tope	Corte por láser G3015HF	Utlaje = Mordaza	P=20 kW	Manual por operario	Plano <i>Figura 111</i>
<b>C2. Plegado con matrices</b>	Plano <i>Figura 111</i>	Manual por operario	Marcado	Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC	Matriz plegadora M75.85.63 Punzón PK95.85.R3	P=9,5 kW	Manual por operario	Plano <i>Figura 112</i>
<b>C3. Taladrado de agujeros</b>	Plano <i>Figura 112</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Broca taladrado d = 15 mm Utlaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 114</i>
<b>D1. Corte de barra</b>	Barra de acero S275 1.000x120x120	Manual por operario	Marcado	Sierra de cinta FEMI 785XL	Utlaje = Mordaza	v=60mm/min	Manual por operario	Barra de acero S275 195x120x120
<b>D2.1. Fresado del contorno</b>	Barra de acero S275 195x120x120	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z1MPCR d = 20 mm Utlaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Barra de acero S275 195x120x50
<b>D2.2. Fresado del contorno</b>	Barra de acero S275 195x120x50	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z1MPCR d = 20 mm Utlaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 117</i>
<b>D2.3. Taladrado de agujero</b>	Plano <i>Figura 117</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Brocas taladrado d = 10 mm d = 20 mm d = 30 mm d = 40 mm d = 50 mm Utlaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 118</i>
<b>D2.4. Fresado de agujero</b>	Plano <i>Figura 117</i>	Manual por operario	Marcado	Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC	Fresa Z5MCR d = 25 mm Utlaje = Mordaza	P=9,5 kW v=150mm/min	Manual por operario	Plano <i>Figura 118</i>
<b>E1. Soldeo base prototipo</b>	Plano <i>Figura 103</i> Plano <i>Figura 106</i>	Manual por operario	En ángulo	Soldadora MIG/MAG Mastermrig 220/2	Tasa deposición 3Kg/h Consumible hilo acero d = 1 mm Utlaje = Mordaza	I = 220 A	Manual por operario	Plano <i>Figura 109</i>
<b>E2. Soldeo cuerpo prototipo</b>	Plano <i>Figura 114</i> Plano <i>Figura 118</i>	Manual por operario	En ángulo	Soldadora MIG/MAG Mastermrig 220/2	Tasa deposición 3Kg/h Consumible hilo acero d = 1 mm Utlaje = Mordaza	I = 220 A	Manual por operario	Plano <i>Figura 121</i>
<b>E3. Soldeo pieza final prototipo</b>	Plano <i>Figura 109</i> Plano <i>Figura 121</i>	Manual por operario	En ángulo	Soldadora MIG/MAG Mastermrig 220/2	Tasa deposición 3Kg/h Consumible hilo acero d = 1 mm Utlaje = Mordaza	I = 220 A	Manual por operario	Plano <i>Figura 124</i>



### 7.3. Presupuesto final.

Teniendo en cuenta el material empleado y la maquinaria necesaria para poder realizar los procesos descritos en los apartados anteriores, se ha realizado un presupuesto orientativo del proceso de fabricación de un prototipo del mecanismo de la traspaleta manual prediseñada previamente:

PRESUPUESTO TOTAL	
MATERIALES	
Chapa de acero S275 (x2)	200 € x 2 = 400 €
Barra de acero S275 (x2)	150 € x 2 = 300 €
Rollo 15 Kg de hilo de soldar acero	114 €
<b>TOTAL COSTE MATERIALES</b>	<b>814 €</b>
PROCESOS DE FABRICACIÓN	
Proceso A1. Cizalla guillotina hidráulica	15 €/min · 7 min = 105 €
Proceso A2. Plegadora hidráulica	25 €/min · 14 min = 350 €
Proceso A3. Fresadora CNC	30 €/min · 52 min = 1.560 €
<b>COSTE TOTAL PROCESO A</b>	<b>2.015 €</b>
Proceso B1. Sierra de cinta	15 €/min · 2,5 min = 37,5 €
Proceso B2. Fresadora CNC	30 €/min · 38,74 min = 1.162,2 €
<b>COSTE TOTAL PROCESO B</b>	<b>1.199,7 €</b>
Proceso C1. Máquina corte por láser G3015HF	30 €/min · 6 min = 180 €
Proceso C2. Plegadora hidráulica	25 €/min · 7 min = 175 €
Proceso C3. Fresadora CNC	30 €/min · 3,8 min = 114 €
<b>COSTE TOTAL PROCESO C</b>	<b>469 €</b>
Proceso D1. Sierra de cinta	15 €/min · 2,5 min = 37,5 €
Proceso D2. Fresadora CNC	30 €/min · 40,4 min = 1.212 €
<b>COSTE TOTAL PROCESO D</b>	<b>1.249,5 €</b>
Proceso E1. Soldadora MIG/MAG	15 €/min · 4,4 min = 66 €
Proceso E2. Soldadora MIG/MAG	15 €/min · 6,3 min = 94,5 €
Proceso E3. Soldadora MIG/MAG	15 €/min · 5,2 min = 78 €
<b>COSTE TOTAL PROCESO E</b>	<b>238,5 €</b>
<b>TOTAL COSTE PROCESOS</b>	<b>5.171,7 €</b>
<b>COSTE TOTAL PROCESO DE FABRICACIÓN</b>	<b>5.985,7 €</b>

## 8. CONCLUSIÓN

El objeto de este trabajo de fin de grado ha sido el modelado, análisis, así como la descripción de los procesos de fabricación de cada uno de los elementos que compone el mecanismo principal de una traspaleta manual.

Partiendo de un modelo de traspaleta manual concreto, se han predimensionado las partes principales de la traspaleta, el sistema de accionamiento y las uniones entre los distintos componentes (pasadores y soldaduras).

En segundo lugar, se ha seleccionado la parte principal de la máquina y se ha hecho el modelo en *SolidWorks*. Sobre este modelo se ha hecho la simulación comprobándose que el conjunto estaba bien dimensionado y que aquellas partes que no se habían dimensionado trabajaban también correctamente.

Una vez ya comprobado su correcto dimensionamiento en las tres posiciones de carga posibles, se han propuesto tres posibles optimizaciones en la posición de carga más desfavorable y se ha deducido que la mejora lograda con respecto al peso no justifica una posible complicación en los procesos de fabricación ni un cambio en la resistencia y rigidez del modelo inicial.

Finalmente, se definen los procesos de fabricación necesarios para poder fabricar un prototipo del mecanismo principal de la traspaleta previamente dimensionada, describiendo la maquinaria empleada, los parámetros principales del proceso y los tiempos necesarios para llevar a cabo cada uno de ellos.

Una vez definido el tiempo que ha supuesto cada uno de los procesos, se realiza un presupuesto orientativo para la fabricación de un prototipo del mecanismo previamente diseñado. A través de este presupuesto, se observa que los tiempos críticos suceden durante el proceso de fresado de varias de las piezas a fabricar y, por tanto, provocan un aumento considerable del presupuesto del proceso de fabricación. Se podría plantear una alternativa para reducir los tiempos de fresado y, por tanto, el presupuesto del prototipo, mediante la partida de preformas comerciales más complejas en los procesos B y D (elemento rigidizador y tapa del chasis), reduciendo de esta manera pasos durante el fresado.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

Asignatura criterios de diseño de máquinas.

Asignatura tecnologías de fabricación I.

Preformas:

- <https://tallersggb.net/chapa-lisa-acero/>
- <https://www.hierrosetxebarria.com/wp-content/uploads/2020/03/CAT%C3%81LOGO.pdf>
- [http://www.bonnet.es/catalogo/ficha\\_tecnica/HILO%20SOLDAR%20HIERRO%20ER70S6.pdf](http://www.bonnet.es/catalogo/ficha_tecnica/HILO%20SOLDAR%20HIERRO%20ER70S6.pdf)

Maquinaria:

- <https://es.bambeocnc.com/cnc-hydraulic-shearing-machine-price-sale.html>
- <https://www.nargesa.com/es/maquinaria-industrial/plegadora-hidraulica-mp3003-cnc-2016>
- <https://www.maquinariacolas.com/maquinaria/nicolas-correa-cf-22-25-plus-atc/>
- <https://pdf.aeroexpo.online/es/pdf-en/sgs-france/2016-global-product-catalog-metric-tools/170551-4633.html#open>
- <https://eshop.wuerth-industrie.com/Categorias-de-productos/Broca-puntear-NC-90-metal-duro-completo-TIALN/15437501031305.cyd/1543.cgid/es/ES/EUR/>
- <https://www.primeraocasion.com/es/sierra-de-cinta-femi-785xl>
- <https://www.agrieuro.es/soldadora-hilo-continuo-telwin-mastermig-2202-mig-magcobresoldadura-400v-kit-ruedas-p-13642.html>
- <https://www.directindustry.es/prod/han-s-laser/product-194486-2310779.html>

## ANEXOS

### A.1. Catálogo de cilindro hidráulico

#### ISO 2000

#### Cilindro de doble efecto según normas ISO-VDMA

Diámetros 32-40-50-63-80-  
100-125-160-200

#### DATOS TECNICOS

**Fluido** : Aire comprimido  
**Presión máx. de ejercicio** : 10 Bar  
**Temperaturas de ejercicio** : de -20°C a + 70°C



#### CARACTERISTICAS TECNICAS Y DE CONSTRUCCION

**Unificación:** Las dimensiones de construcción de los cilindros y de las sujeciones están conformes con las normativas ISO 6431 y VDMA 24562.

**Construcción:** el vástago presenta una rosca exterior y un alojamiento para llave. Los cilindros tienen cabezas cuadradas, preparadas para conterner los tornillos especiales que se utilizan para el apriete con la camisa y para las uniones de las sujeciones. La camisa obtenida del extruido de aluminio, da al cilindro una línea sencilla, elegante, limpia. Todas las sujeciones, incluida la charnela intermedia con pernos pueden montarse sucesivamente sin intervenir en el cilindro.

**Amortiguación:** El efecto de amortiguación se obtiene disminuyendo la sección de paso del aire hacia la salida, cuando el cono entra en la guarnición de estanqueidad, el ajuste se realiza por medio de un tornillo apropiado colocado en la cabeza.

**Orificios de alimentación:** Los orificios de alimentación varían de G 1/8" a G 3/4" y están realizados con rosca cilíndrica, según normas ISO 1179.

**Recorridos:** Además de los recorridos standard, están disponibles también otros recorridos según petición del cliente.

**Lubricación:** Los cilindros se lubrican en fase de montaje con una grasa especial que asegura un perfecto deslizamiento y protección de las superficies de deslizamiento, incluso tras paradas prolongadas y en condiciones de cargas muy fuertes; además, no necesitan una posterior lubricación en fase de ejercicio.

#### Particularidades en la construcción y tratamientos

Camisa	Aluminio extruido y anodizado de 32 a 125 ø y acero ST35 (diam. 160-200)
Vástago	Acero C 40 cromado, duro y pulido
Pistón	Acero con guarnición de caucho NBR vulcanizada
Cabezas	Aluminio inyectado
Estanqueidad vástago/rascador	Caucho nitrílico NBR
Casquillo guía vástago	Acero aleado con revestimiento de teflón
Anillos de amortiguación	Termoplástico autolubrificante
Guarnición de amortiguación	Caucho nitrílico NBR

**Sujeciones:** Los cilindros se suministran tipo standard con tuerca en el vástago.

Sujeciones para el cilindro a petición:

- Brida delantera o trasera
- Patas angulares
- Charnela intermedia
- Charnela hembra trasera
- Charnela macho trasera
- Charnela hembra con charnela macho
- Charnela hembra con articulación en escuadra

# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Sujeciones para vástago a petición:

- Horquilla
- Articulación de rótula
- Acoplamiento articulado

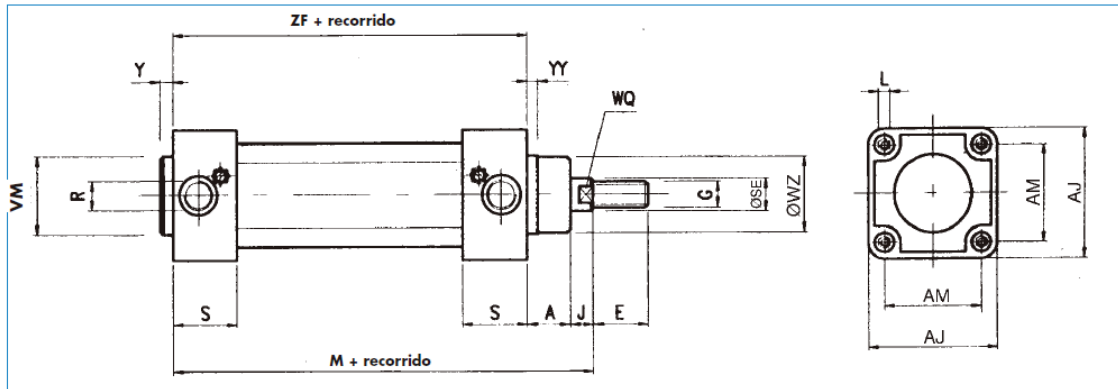
**TABLA TECNICA CILINDROS TIPO ISO 2000**

Diámetro pistón	Diámetro vástago	Recorrido	Referencia	Area pistón		Fuerza desarrollada Pres. 6,3 Bar	
				empuje cm <sup>2</sup>	tracción cm <sup>2</sup>	empuje N+	tracción N-
32	12	25	ISO 2000 32-025	8,04	6,91	510	440
		50	ISO 2000 32-050				
		80	ISO 2000 32-080				
		100	ISO 2000 32-100				
		125	ISO 2000 32-125				
		160	ISO 2000 32-160				
		200	ISO 2000 32-200				
		250	ISO 2000 32-250				
		320	ISO 2000 32-320				
40	16	25	ISO 2000 40-025	12,6	10,6	790	670
		50	ISO 2000 40-050				
		80	ISO 2000 40-080				
		100	ISO 2000 40-100				
		125	ISO 2000 40-125				
		160	ISO 2000 40-160				
		200	ISO 2000 40-200				
		250	ISO 2000 40-250				
		320	ISO 2000 40-320				
50	20	25	ISO 2000 50-025	19,6	16,5	1230	1040
		50	ISO 2000 50-050				
		80	ISO 2000 50-080				
		100	ISO 2000 50-100				
		125	ISO 2000 50-125				
		160	ISO 2000 50-160				
		200	ISO 2000 50-200				
		250	ISO 2000 50-250				
		320	ISO 2000 50-320				
63	20	400	ISO 2000 50-400	31,0	28,0	1950	1760
		500	ISO 2000 50-500				
		25	ISO 2000 63-025				
		50	ISO 2000 63-050				
		80	ISO 2000 63-080				
		100	ISO 2000 63-100				
		125	ISO 2000 63-125				
		160	ISO 2000 63-160				
		200	ISO 2000 63-200				
80	25	250	ISO 2000 63-250	50,0	45,3	3150	2850
		320	ISO 2000 63-320				
		400	ISO 2000 63-400				
		500	ISO 2000 63-500				
		25	ISO 2000 80-025				
		50	ISO 2000 80-050				
		80	ISO 2000 80-080				
		100	ISO 2000 80-100				
		125	ISO 2000 80-125				
		160	ISO 2000 80-160				
		200	ISO 2000 80-200				
		250	ISO 2000 80-250				
		500	ISO 2000 80-500				

# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

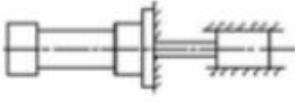
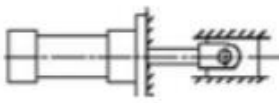
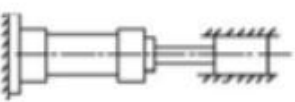
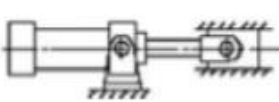
Diámetro pistón  mm	Diámetro vástago  mm	Recorrido  mm	Referencia	Área pistón		Fuerza desarrollada Pres. 6,3 Bar	
				empuje cm <sup>2</sup>	tracción cm <sup>2</sup>	empuje N+	tracción N-
100	25	25	ISO 2000 100-025	78,5	71,4	4950	4500
		50	ISO 2000 100-050				
		80	ISO 2000 100-080				
		100	ISO 2000 100-100				
		125	ISO 2000 100-125				
		160	ISO 2000 100-160				
		200	ISO 2000 100-200				
		250	ISO 2000 100-250				
		320	ISO 2000 100-320				
		400	ISO 2000 100-400				
		500	ISO 2000 100-500				
125	30	80	ISO 2000 125-080	123	116	7750	7310
		100	ISO 2000 125-100				
		125	ISO 2000 125-125				
		160	ISO 2000 125-160				
		200	ISO 2000 125-200				
		250	ISO 2000 125-250				
		320	ISO 2000 125-320				
		400	ISO 2000 125-400				
		500	ISO 2000 125-500				
160	40	80	ISO 2000 160-080	201	188	12660	11400
		100	ISO 2000 160-100				
		125	ISO 2000 160-125				
		160	ISO 2000 160-160				
		200	ISO 2000 160-200				
		250	ISO 2000 160-250				
		320	ISO 2000 160-320				
		400	ISO 2000 160-400				
		500	ISO 2000 160-500				
200	40	80	ISO 2000 200-080	314	301	19780	18520
		100	ISO 2000 200-100				
		125	ISO 2000 200-125				
		160	ISO 2000 200-160				
		200	ISO 2000 200-200				
		250	ISO 2000 200-250				
		320	ISO 2000 200-320				
		400	ISO 2000 200-400				
		500	ISO 2000 200-500				

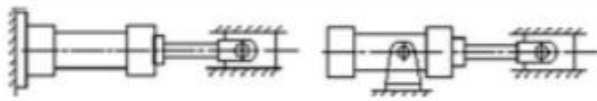
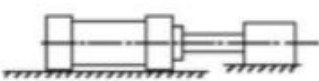
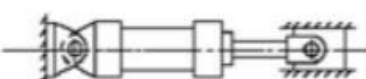
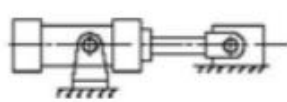
## EJECUCION BASE



Ø	A	E	G	J	L	M	R	S	Y	AJ	AM	SE	VM	WQ	WZ	YY	ZF
32	16	22	M10X1,25	10	M6	120±1,5	G1/8"	32	5	47	32,5	12	30	10	30	5	94
40	20	24	M12X1,25	10	M6	135±1,5	G1/4"	35	5	53	38	16	35	14	35	5	105
50	25	32	M16X1,5	12	M8	143±1,8	G1/4"	35,5	4,5	65	46,5	20	40	18	40	6	106
63	25	32	M16X1,5	12	M8	158±1,8	G3/8"	40	4,5	75	56,5	20	45	18	45	6	121
80	32,5	40	M20X1,5	13,5	M10	174±1,8	G3/8"	42	8	95	72	25	45	23	45	16	128
100	35	40	M20X1,5	16	M10	189±1,8	G1/2"	46	8	115	89	25	55	28	55	16	138
125	43	54	M27X2	35	M12	225±2,0	G1/2"	52	3	140	110	30	55	28	60	-	160
160	35	72	M36X2	45	M16	260±2,0	G3/4"	60	3	180	140	40	65	38	65	-	180
200	35	72	M36X2	60	M16	275±2,0	G3/4"	60	-	220	175	40	65	38	75	-	180

## A.2. Tipo de fijación de cilindro hidráulico

Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo ( $\beta$ )
Unión con vástago rígida y guiado Cilindro fijado rigidamente en parte anterior		0.5
Unión con vástago articulada y guiado Cilindro fijado rigidamente en parte anterior		0.7
Unión con vástago rígida y guiado Cilindro fijado rigidamente en parte posterior		1.0
Unión con vástago articulada y guiado Cilindro fijado mediante articulación en parte anterior		1.0

Tipo de fijación cilindro	Esquema de montaje	Factor de pandeo ( $\beta$ )
Unión con vástago articulada y guiado Cilindro fijado mediante articulación en parte intermedia ó rigidamente en parte posterior		1.5
Unión con vástago rígida, pero no guiado (simplemente apoyado en superficie) Cilindro fijado rigidamente		2.0
Unión con vástago articulada y guiado Cilindro fijado mediante articulación en parte posterior		2.0
Unión con vástago articulada pero no guiado (simplemente apoyado en superficie) Cilindro fijado mediante articulación en parte intermedia		3.0



### A.3. Propiedades mecánicas de acero

Módulo de Elasticidad	Módulo de Rigidez	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de dilatación térmica	Densidad
E (N/mm <sup>2</sup> )	G (N/mm <sup>2</sup> )	$\nu$	$\alpha$ (°C) <sup>-1</sup>	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )
210.000	81.000	0,3	1,2·10 <sup>-5</sup>	7.850

CTE DB SE-A (aceros en chapas y perfiles)	espesor nominal t (mm)			
	Tensión de límite elástico $f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )			Tensión de rotura $f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
	$t \leq 16$	$16 < t \leq 40$	$40 < t \leq 63$	$3 \leq t \leq 100$
S235	235	225	215	360
S275	275	265	255	410
S355	355	345	335	470
S450	450	430	410	550

EAE (Aceros laminados en caliente)	espesor $t \leq 40$ mm		40 mm < espesor $t \leq 80$ mm	
	Límite elástico	Tensión de rotura	Límite elástico	Tensión de rotura
	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$f_u$ (N/mm <sup>2</sup> )
S 235	235	360< $f_u$ <510	215	360< $f_u$ <510
S 275	275	430< $f_u$ <580	255	410< $f_u$ <560
S 355	355	490< $f_u$ <680	335	470< $f_u$ <630

Según Documento Básico SE-A Acero e Instrucción de acero estructural EAE

#### Denominación de los aceros

Designación	Grado			
	JR	J0	J2	K2
S235	S 235 JR	S 235 J0	S 235 J2	-
S275	S 275 JR	S 275 J0	S 275 J2	-
S355	S 355 JR	S 355 J0	S 355 J2	S 355 K2
S450	-	S 450 J2	-	-

#### NOTA:

Los aceros se designan con una S (steel, acero en inglés) seguida de un número que indica el valor mínimo especificado del límite elástico en MPa (1 MPa= 1 N/mm<sup>2</sup>), para el menor intervalo de espesor. El uso de los distintos grados del acero es el siguiente:

**Grado JR:** aplicación en construcción ordinaria

**Grado J0:** aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad

**Grado J2:** aplicación en construcción con especiales exigencias de resistencia, resiliencia y soldabilidad

## A.4. Tabla de perfil circular macizo.

REDONDOS MACIZOS								
DIAMETRO			PESO			DIAMETRO		
mm	pulgadas	Kg./m	mm	pulgadas	Kg./m	mm	pulgadas	Kg./m
3,17	1/8"	0,06	92,07	3.5/8"	52,26	190,00	----	222,57
4,76	3/16"	0,14	95,24	3.3/4"	55,93	190,50	7.1/2"	223,75
6,35	1/4"	0,25	98,42	3.7/8"	59,72	196,85	7.3/4"	238,91
7,93	5/16"	0,39	100,00	----	61,66	200,00	----	246,62
9,52	3/8"	0,56	101,60	4"	63,64	203,20	8"	254,57
11,11	7/16"	0,76						
12,70	1/2"	0,99	104,77	4.1/8"	67,68	209,53	8.1/4"	270,68
			105,00	----	67,97	210,00	----	271,90
14,28	9/16"	1,26	107,95	4.1/4"	71,85	215,90	8.1/2"	287,39
15,87	5/8"	1,55	110,00	----	74,60	220,00	----	298,41
17,46	11/16"	1,88	111,12	4.3/8"	76,13	222,25	8.3/4"	304,55
19,05	3/4"	2,24	114,30	4.1/2"	80,55	228,60	9"	322,20
20,63	13/16"	2,62						
22,22	7/8"	3,04	115,00	----	81,54	230,00	----	326,15
23,81	15/16"	3,50	117,47	4.5/8"	85,08	234,95	9.1/4"	340,34
25,40	1"	3,98	120,00	----	88,78	240,00	----	355,13
			120,65	4.3/4"	89,75	241,30	9.1/2"	358,99
26,98	1.1/16"	4,49	123,82	4.7/8"	94,53	247,65	9.3/4"	378,13
28,57	1.1/8"	5,03	127,00	5"	99,44	250,00	----	385,34
31,75	1.1/4"	6,21				254,00	10"	397,77
34,92	1.3/8"	7,52	130,00	----	104,20			
38,10	1.1/2"	8,95	130,17	5.1/8"	104,47	260,00	----	416,79
41,27	1.5/8"	10,50	133,35	5.1/4"	109,64	260,35	10.1/4"	417,91
44,44	1.3/4"	12,18	136,52	5.3/8"	114,91	266,70	10.1/2"	438,55
47,62	1.7/8"	13,98	139,70	5.1/2"	120,33	270,00	----	449,46
50,80	2"	15,91				273,05	10.3/4"	459,68
			140,00	----	120,84	279,39	11"	481,27
53,97	2.1/8"	17,96	142,87	5.5/8"	125,85			
57,15	2.1/4"	20,13	146,05	5.3/4"	131,51	280,00	----	483,38
60,32	2.3/8"	22,43	149,22	5.7/8"	137,28	285,74	11.1/4"	503,40
63,50	2.1/2"	24,86	150,00	----	138,72	290,00	----	518,52
			152,40	6"	143,20	292,09	11.1/2"	526,02
66,67	2.5/8"	27,40				298,44	11.3/4"	549,13
69,84	2.3/4"	30,07	158,75	6.1/4"	155,38	300,00	----	554,90
73,02	2.7/8"	32,87	160,00	----	157,84	304,79	12"	572,76
76,20	3"	35,80	165,10	6.1/2"	168,06	330,19	13"	672,20
			170,00	----	178,18	355,59	14"	779,59
79,37	3.1/8"	38,84	171,45	6.3/4"	181,24	380,99	15"	894,94
82,54	3.1/4"	42,00	177,80	7"	194,91	406,39	16"	1018,25
85,72	3.3/8"	45,30				431,80	17"	1149,57
88,90	3.1/2"	48,73	180,00	----	199,76			
			184,15	7.1/4"	209,08			



## A.5. Cálculo de cargas.

Primero, se resuelve el conjunto del accionamiento mediante un cilindro, obteniendo **3 incógnitas y 1 ecuación**:

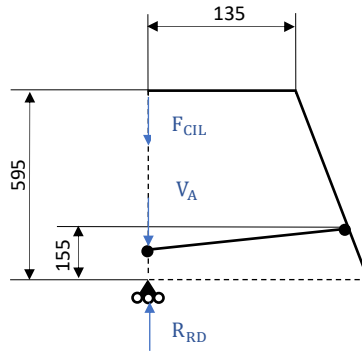


Figura 7. Conjunto accionamiento

$$\sum F_{EXT,Y} = 0: R_{RD} - V_A = F_{CIL}$$

Además, se resuelve el balancín 1 correspondiente al conjunto de la leva del mecanismo de elevación, obteniendo **4 incógnitas y 3 ecuaciones**:

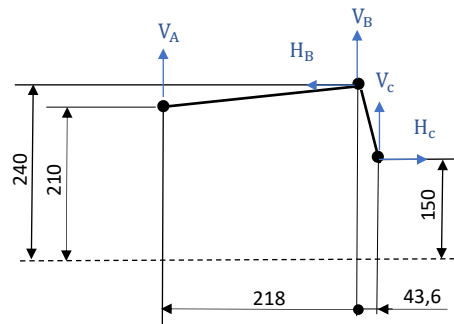


Figura 8. Balancín 1

$$\sum F_Y = 0: V_A + V_B + V_C = 0.$$

$$\sum F_X = 0: H_B = H_C$$

$$\sum M_Z|_B = 0: V_A \cdot 218 \text{ mm} - V_C \cdot 43,6 \text{ mm} - H_C \cdot 90 \text{ mm} = 0$$

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Adicionalmente, también se resuelve el balancín 2, que corresponde al conjunto de elevación de las rueda traseras, obteniendo **3 incógnitas y 3 ecuaciones**:

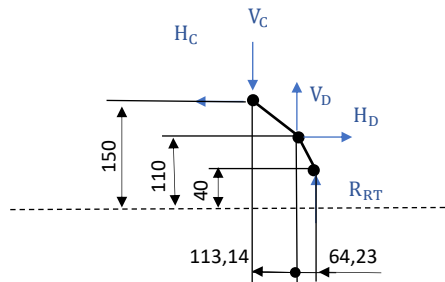


Figura 9. Balancín 2

$$\sum F_Y = 0: -V_C + V_D + R_{RT} = 0.$$

$$\sum F_X = 0: H_C = H_D$$

$$\sum M_Z|_D = 0:$$

$$V_C \cdot 113,14 \text{ mm} + H_C \cdot 40 \text{ mm} + R_{RT} \cdot 64,23 \text{ mm} = 0$$

Finalmente se resuelve el conjunto de la estructura general para así poder calcular todas mis incógnitas, obteniendo **0 incógnitas y 3 ecuaciones**:

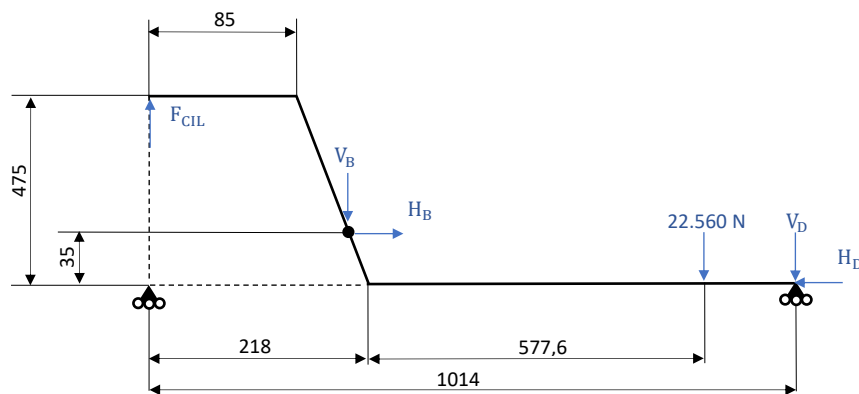


Figura 10. Conjunto de estructura general

$$\sum F_Y = 0: F_{CIL} - V_B - 22.560 \text{ N} - V_D = 0.$$

$$\sum F_X = 0: H_B = H_D$$

$$\sum M_Z|_B = 0:$$

$$F_{CIL} \cdot 218 \text{ mm} - 22.560 \cdot 577,6 \text{ mm} + V_D \cdot (1014 - 218) \text{ mm} + H_D \cdot 35 \text{ mm} = 0$$

$$F_{CIL} \cdot 218 \text{ mm} + 22.560 \cdot 577,6 \text{ mm} + V_D \cdot 796 \text{ mm} + H_D \cdot 35 \text{ mm} = 0$$

Por último, el sistema de ecuaciones de equilibrio suma 10 ecuaciones y 10 incógnitas. Sin embargo, todas las fuerzas horizontales son las mismas ( $H_B = H_C = H_D = H$ ), entonces el número final sería 7 ecuaciones y 8 incógnitas. Por tanto, se requiere otra ecuación para poder resolver el sistema de ecuaciones.

Esta ecuación se plantea mediante el sumatorio de fuerzas exteriores en el conjunto, obteniendo **0 incógnitas y 1 ecuación**:

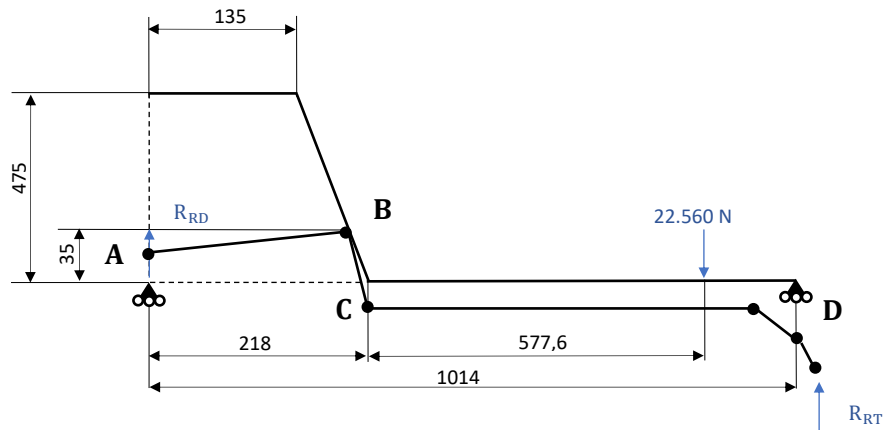


Figura 11. Conjunto general

$$\sum M_{EXT,Z}|_{RD} = 0: R_{RT} \cdot (1014 + 64,23) \text{ mm} = 22.560 \text{ N} \cdot (218 + 218) \text{ mm}.$$

$$R_{RT} \cdot 1078,23 \text{ mm} = 22.560 \text{ N} \cdot 795,6 \text{ mm}.$$

Para concluir, se obtiene un total de **8 ecuaciones y 8 incógnitas**:

$$R_{RT} \cdot 1078,23 \text{ mm} = 22.560 \text{ N} \cdot 795,6 \text{ mm}.$$

$$R_{RD} - V_A = F_{CIL}$$

$$V_A + V_B + V_C = 0$$

$$V_A \cdot 218 \text{ mm} - V_C \cdot 43,6 \text{ mm} - H \cdot 90 \text{ mm} = 0$$

$$-V_C + V_D + R_{RT} = 0$$

$$V_C \cdot 113,14 \text{ mm} + H \cdot 40 \text{ mm} + R_{RT} \cdot 64,23 \text{ mm} = 0$$

$$F_{CIL} - V_B - 22.560 \text{ N} - V_D = 0.$$

$$F_{CIL} \cdot 218 \text{ mm} + 22.560 \cdot 577,6 \text{ mm} + V_D \cdot 796 \text{ mm} + H \cdot 35 \text{ mm} = 0$$

Resolviendo el sistema a través del programa EES (Engineering Equation Solver), las soluciones para las 10 incógnitas son las siguientes:

$$R_{RT} = 16.646 \text{ N}$$

$$R_{RD} = 5.914 \text{ N}$$

$$H_B = H_C = H_D = -18.819 \text{ N}$$

$$V_A = -8.329 \text{ N}$$

$$V_B = 11.126 \text{ N}$$

$$V_C = -2.797 \text{ N}$$

$$V_D = -19.443 \text{ N}$$

$$F_{CIL} = 14.242 \text{ N}$$

## A.6. Dimensionado de barras.

### i. Dimensionamiento barra 1

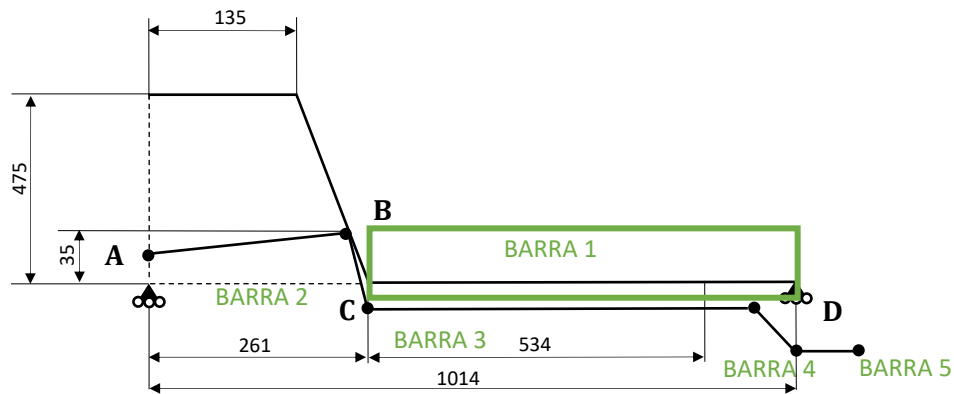


Figura 13. Conjunto general – Barra 1

La barra 1 corresponde a la base del chasis de la traspaleta y para su dimensionamiento se han seguido los siguientes pasos:

#### Diagramas de esfuerzos

La barra 1 soporta el peso máximo indicado anteriormente:  $P=22.560 \text{ N}$ .

Para equilibrar la barra actúan dos reacciones verticales y dos reacciones horizontales sobre los apoyos B y D.

Como la barra 1 está formada a su vez de dos barras, será necesario dividir todas sus fuerzas entre 2 para poder dimensionar correctamente ambos perfiles.

Sus diagramas de esfuerzos son los siguientes:

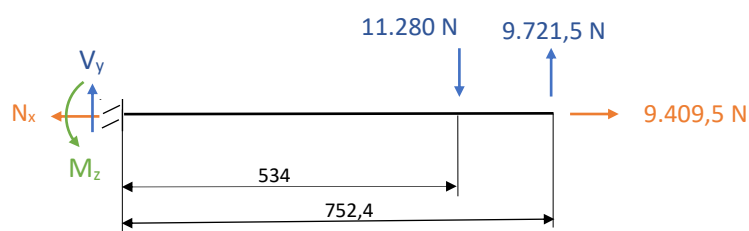


Figura 14. Barra 1 – DSL.

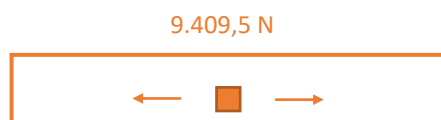


Figura 15. Barra 1 – Esfuerzo normal.

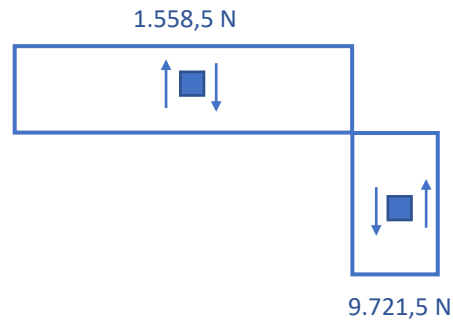


Figura 16. Barra 1 – Esfuerzo cortante.

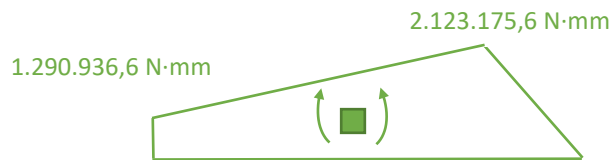


Figura 17. Barra 1 – Esfuerzo flector.

$$M_z = 9.721,5 \text{ N} \cdot (752,4 - 534) \text{ mm} = 2.123.175,6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$M_z = 9.721,5 \text{ N} \cdot 752,4 \text{ mm} - 11.280 \text{ N} \cdot 534 \text{ mm} = 1.290.936,6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

### Dimensionamiento

Una vez ya conocemos los esfuerzos ejercidos sobre la barra 1 ya se puede dimensionar el perfil de las dos barras que forman la base del chasis.

Después de buscar varios tipos de perfiles, el más adecuado para su estructura es una barra de acero S275 JR con sección en forma de U. Por tanto, la resistencia a fluencia que se debe emplear para los cálculos es  $\sigma_F = 275 \text{ MPa}$ . (Ver Anexo A.3 Propiedades mecánicas de acero).

En primer lugar, la sección más desfavorable de la barra 1 (la base del chasis) se encuentra en la zona del centro de gravedad de la carga a colocar obteniendo en esta sección el máximo valor del esfuerzo flector:

$$M_z = 2.123.175,6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$V_y = 9.721,5 \text{ N}$$

$$N_x = 9.409,5 \text{ N}$$



## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Por consiguiente, el punto más solicitado de la sección está expuesto a una flexión compuesta:

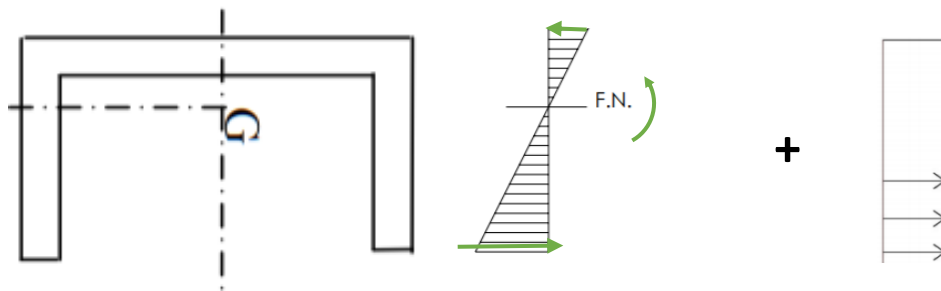


Figura 18. Barra 1 – Punto más solicitado

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} = \frac{2.123.175,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{9.409,5 \text{ N}}{A}$$

Se calcula también la tensión admisible con las propiedades del material de la barra, en este caso acero S275JR:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x \text{ adm}} = 2 \cdot \tau_{\max} = 2 \cdot \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_S} = 2 \cdot \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_S} = \frac{275 \text{ MPa}}{C_S}$$

Como no se va a emplear una preforma, ya que el perfil se fabricará mediante un método de extrusión, será necesario calcular el coeficiente de seguridad mínimo que deberá de tener:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{2.123.175,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{9.409,5 \text{ N}}{A}$$

Para ello, primero hay que calcular el momento de inercia y el área a partir de las siguientes medidas que quiere conseguir para cumplir con el catálogo:

$h=150\text{mm}$ .

$b=53\text{mm}$ .

$e=10\text{mm}$ .

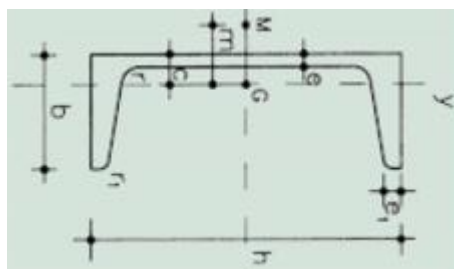


Figura 19. Dimensiones perfil en U

$$A = (b - e) \cdot e \cdot 2 + h \cdot e = (53 - 10) \cdot 10 \cdot 2 \text{ mm}^2 + 150 \cdot 10 \text{ mm}^2 = \mathbf{2.360 \text{ mm}^2}.$$

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}}$$

Para poder calcular la distancia máxima, es necesario conocer el centro de gravedad:

$$y_G = \frac{\sum y_G \cdot A}{\sum A} = \frac{\frac{53-10}{2} \cdot (53-10) \cdot 10 \cdot 2 \text{ mm}^3 + \left(53 + \frac{10}{2}\right) \cdot (150 \cdot 10) \text{ mm}^3}{2 \cdot (53-10) \cdot 10 \text{ mm}^2 + (150 \cdot 10) \text{ mm}^2}$$

$$= 44,7 \text{ mm.}$$

$$I_{z1} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2 = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 10^3 + (150 \cdot 10) \cdot \left(53 - \frac{10}{2} - 44,7\right)^2$$

$$= 28.835 \text{ mm}^4$$

$$I_{z2} = I_{z3} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2 = \frac{1}{12} \cdot 10 \cdot (53-10)^3 + (10 \cdot (53-10)) \cdot (44,7)^2$$

$$= 925.434,53 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,TOTAL} = \sum I_{z,i} = 2 \cdot 925.434,53 \text{ mm}^4 + 28.835 \text{ mm}^4 = 1.879.704,06 \text{ mm}^4$$

$$W_z = \frac{I_{z,TOTAL}}{y_{\max}} = \frac{1.879.704,06 \text{ mm}^4}{44,7 \text{ mm}} = \mathbf{42.051,55 \text{ mm}^3}.$$

Ahora ya podemos calcular la tensión máxima:

$$\sigma_{x,\max} = \frac{2.123.175,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{42.051,55 \text{ mm}^3} + \frac{9.409,5 \text{ N}}{2.360 \text{ mm}^2} = \mathbf{54,48 \text{ MPa.}}$$

Igualamos ambas tensiones para poder calcular finalmente el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{x,\max} = \sigma_{x,\max \text{ adm}}$$

$$54,48 \text{ MPa} = \frac{275 \text{ MPa}}{C_S}$$

$$C_{S,F} = 5 > 2 \quad \checkmark$$

ii. Dimensionamiento barra 2

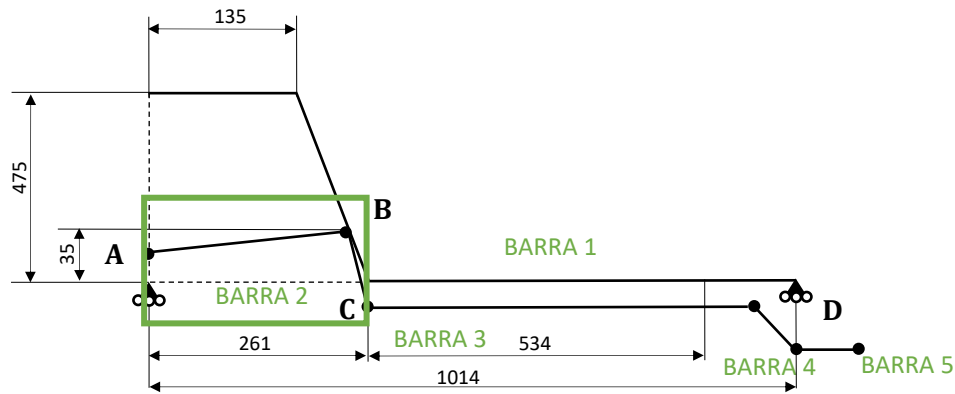


Figura 20. Conjunto general – Barra 2

La barra 2 corresponde al balancín 1, que es el conjunto leva del mecanismo de elevación. Para su dimensionamiento se han seguido los siguientes pasos:

*Diagramas de esfuerzos*

Para equilibrar la barra 2 actúan dos reacciones verticales y dos reacciones horizontales sobre los apoyos B y C, y una reacción vertical en el apoyo A.

En este caso, también será necesario dividir los valores de las reacciones en los apoyos A, B y C por la mitad, ya que el conjunto leva está formado a su vez por dos levas, una a cada lado del chasis.

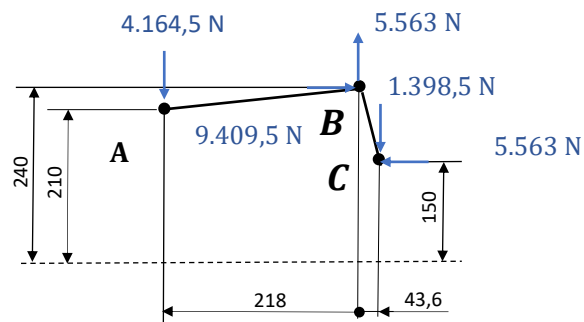


Figura 21. Conjunto leva de mecanismo de elevación

Entonces, se pasan las fuerzas y momentos a las coordenadas locales del tramo A-B del balancín para poder calcular el axil, cortante y flector:

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

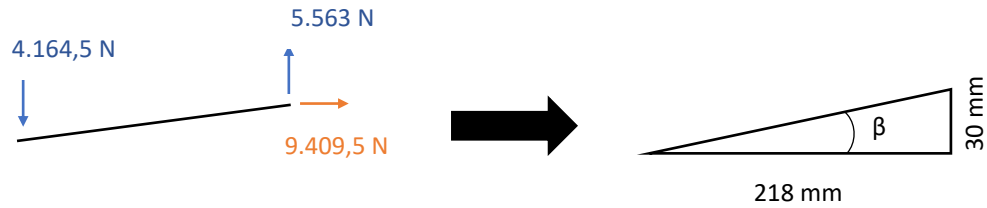


Figura 22. Tramo A-B del balancín 1.

Primero se calcula el ángulo que forma la barra con el suelo, así como la longitud de dicha barra:

$$\beta = \tan^{-1} \frac{30 \text{ mm}}{218 \text{ mm}} = 7,84^\circ$$

$$L_{\text{barra 2-AB}} = \sqrt{30^2 + 218^2} = 220 \text{ mm}$$

Ahora ya se pueden pasar las fuerzas a las coordenadas locales de la barra para proceder con los diagramas de esfuerzos:

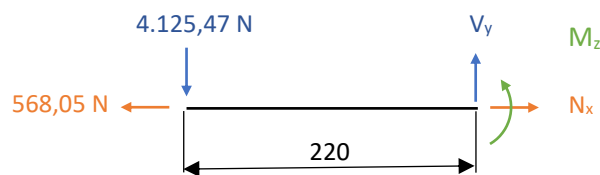


Figura 23. Tramo A-B del balancín 1 – DSL.

Entonces, se pasan también las fuerzas y momentos a las coordenadas locales del tramo B-C:

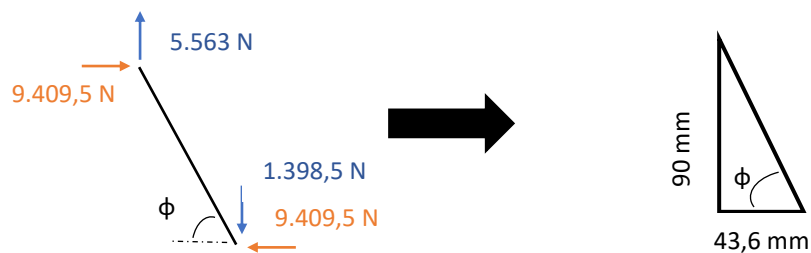


Figura 24. Tramo B-C del balancín 1.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Igual que en el tramo anterior, primero se calcula el ángulo que forma la barra con el suelo, así como la longitud de dicha barra:

$$\phi = \sin^{-1} \frac{90 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 64,15^\circ$$

$$L_{\text{barra 2-BC}} = \sqrt{90^2 + 43,6^2} = 100 \text{ mm}$$

Ahora ya se pueden pasar las fuerzas a las coordenadas locales de la barra para proceder con los diagramas de esfuerzos:

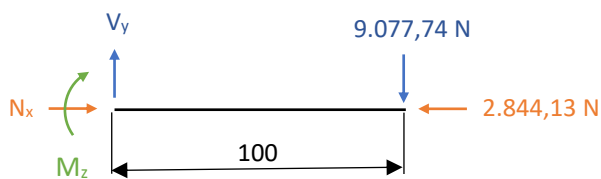


Figura 25. Tramo B-C del balancín 1 – DSL.

Ahora ya se puede proceder a los diagramas de esfuerzos correspondientes a la barra 2:

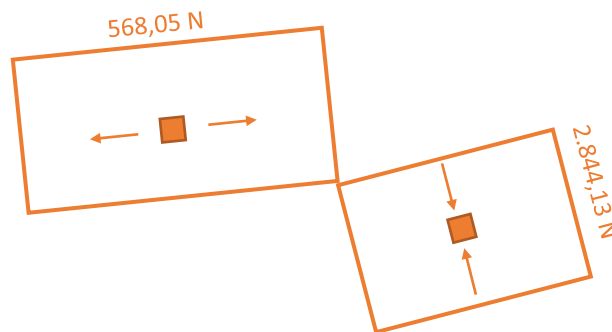


Figura 26. Barra 2 – Esfuerzo normal.

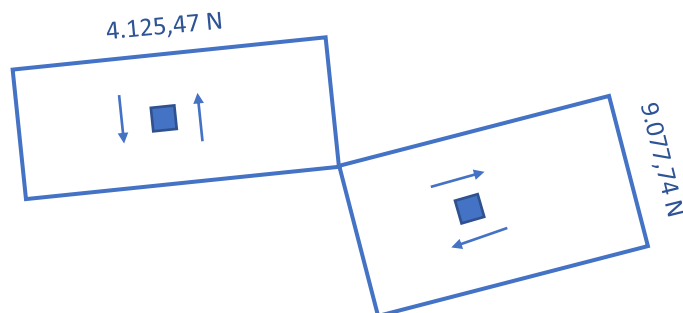


Figura 27. Barra 2 – Esfuerzo cortante.

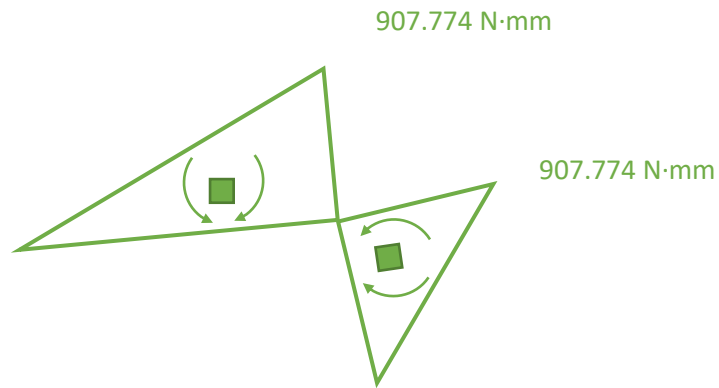


Figura 28. Barra 2 – Esfuerzo flector.

$$M_z = 4.125,47 \text{ N} \cdot 220 \text{ mm} = \mathbf{907.774 \text{ N}\cdot\text{mm}}$$

$$M_z = 9.077,74 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = \mathbf{907.774 \text{ N}\cdot\text{mm}}$$

#### Dimensionamiento

Una vez ya se conocen los esfuerzos ejercidos sobre la barra 2 ya se puede dimensionar el perfil de los dos balancines encargados de elevar el mecanismo.

El balancín 1 está formado por 3 apoyos en los cuáles hay uniones mediante pasadores simples.

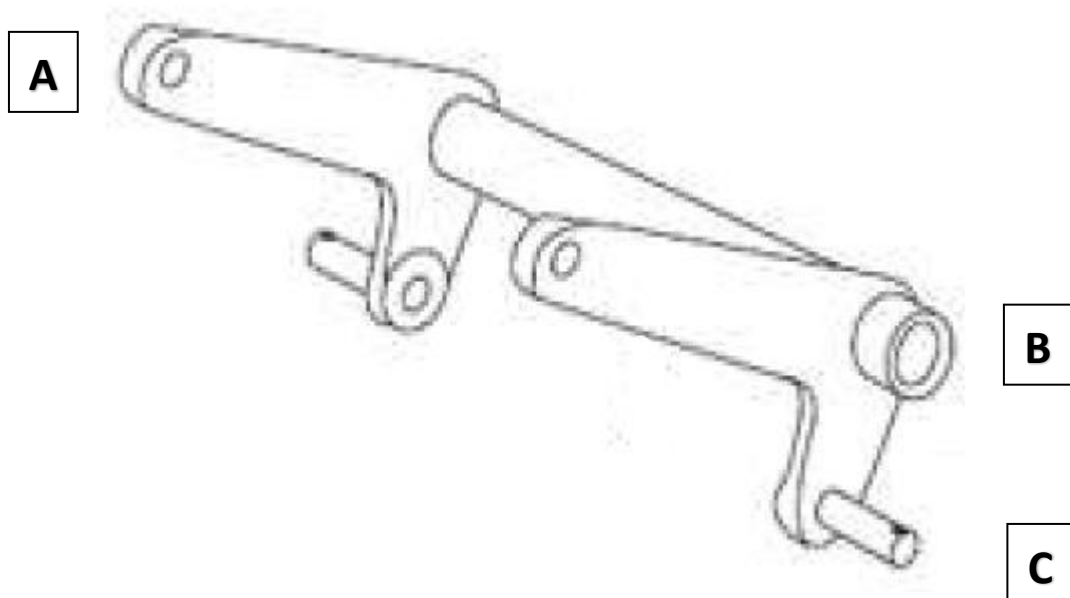


Figura 29. Estructura balancín 1.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

En primer lugar, la sección más desfavorable de la barra 2 (balancín 1) se encuentra en el apoyo B obteniendo en esta sección el máximo valor del esfuerzo flector:

$$M_z = 907.774 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$V_y = 9.077,74 \text{ N}$$

$$N_x = 2.844,13 \text{ N}$$

Por consiguiente, el punto más solicitado de la sección está expuesto a una flexión compuesta:

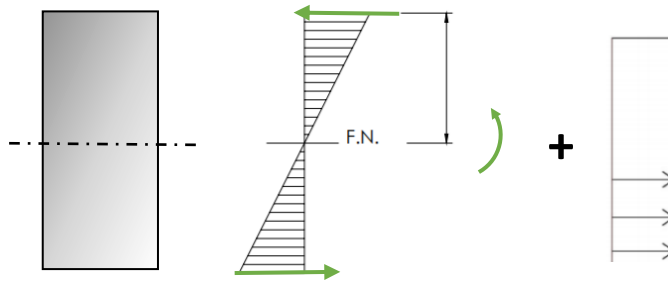


Figura 30. Barra 2 – Punto más solicitado

Para conocer el diámetro mínimo que debe tener, es necesario calcular el fallo por cortadura:

$$\tau = \frac{F_{R,B}}{A_c} = \frac{10.930,95 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_B^2}{4}}$$

\*\* El apoyo B soporta la fuerza resultante en ese punto calculada previamente:

$$F_{R,B} = \sqrt{V_B^2 + H_B^2} = \sqrt{(5.563 \text{ N})^2 + (9.409,5 \text{ N})^2} = 10.930,95 \text{ N}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR y que se requiere un coeficiente de seguridad mínimo de 2:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot 2} = 68,75 \text{ MPa}.$$

Igualando ambas tensiones se obtiene el diámetro mínimo:

$$\tau_{max,adm} = \tau$$

$$\frac{10.930,95 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_B^2}{4}} = 68,75 \text{ MPa}.$$

$$d_B = 14,23 \text{ mm} \rightarrow d_B = 15 \text{ mm}$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone un **espesor de 10 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del fallo por aplastamiento:

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

$$\sigma = \frac{F_{R,B}}{A_a} = \frac{10.930,95 \text{ N}}{d_B \cdot e} = \frac{10.930,95 \text{ N}}{15 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} = 72,87 \text{ MPa}.$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}}$$

Igualando ambas tensiones obtenemos el coeficiente de seguridad:

$$2 \cdot \tau_{max,adm} = \sigma$$

$$2 \cdot \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}} = 72,87 \text{ MPa}.$$

$$C_{S,F} = 3,77 > 2 \quad \checkmark$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone una **altura de 100 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del cálculo del flector en el punto más solicitado:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} = \frac{2.123.175,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{9.409,5 \text{ N}}{A}$$

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{907.774 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{2.844,13 \text{ N}}{A}$$

$$A = h \cdot e = (10 \cdot 100) \text{ mm}^2 = 1.000 \text{ mm}^2.$$

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot e \cdot h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6} \cdot e \cdot h^2 = \left( \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 100^2 \right) \text{ mm}^3 = 16.666,67 \text{ mm}^3.$$

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{907.774 \text{ N} \cdot \text{mm}}{16.666,67 \text{ mm}^3} + \frac{2.844,13 \text{ N}}{1.000 \text{ mm}^2} = 57,31 \text{ MPa}.$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}}$$

Igualamos ambas tensiones para poder calcular finalmente el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x \text{ adm}} = \sigma_{x,m\acute{a}x}$$

$$\frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}} = 57,31 \text{ MPa}.$$

$$C_{S,F} = 2,40 > 2 \quad \checkmark$$



iii. Dimensionamiento barra 3

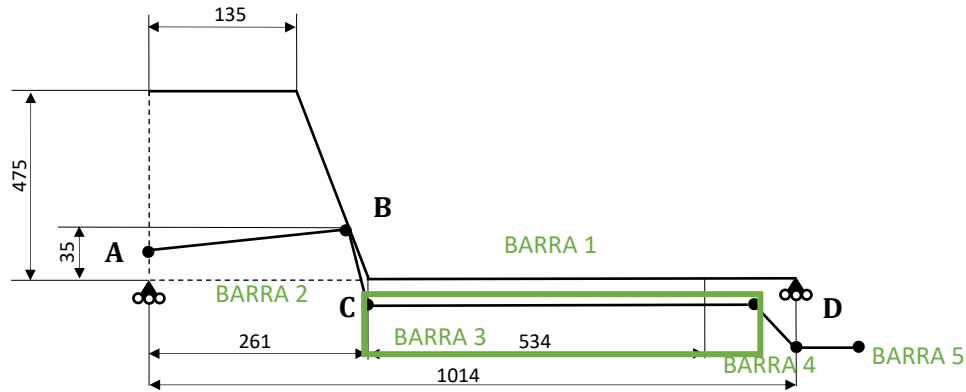


Figura 31. Conjunto general – Barra 3

La barra 3 corresponde a la barra de elevación de la traspaleta y no se considera necesario su dimensionamiento ya que la única función de esta barra es la transmisión de la carga axial de la barra 2 a la barra 4.

Diagramas de esfuerzos

Para equilibrar la barra actúan dos reacciones verticales y dos reacciones horizontales sobre los apoyos C y C'.

Como la barra 2 está formada a su vez de dos barras, será necesario dividir todas sus fuerzas entre 2 para poder dimensionar correctamente ambos perfiles.

Sus diagramas de esfuerzos son los siguientes:

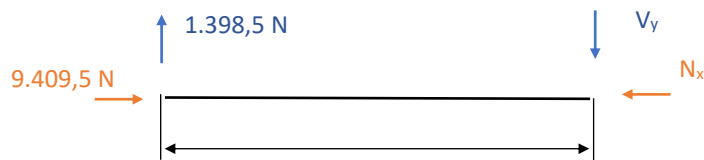


Figura 32. Barra 3 – DSL.

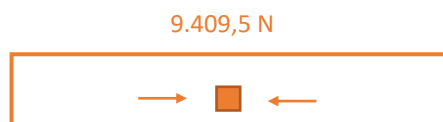
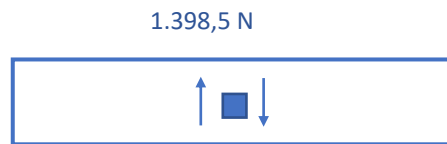


Figura 33. Barra 3 – Esfuerzo normal.



*Figura 34. Barra 3 – Esfuerzo cortante.*

#### iv. Dimensionamiento barra 4

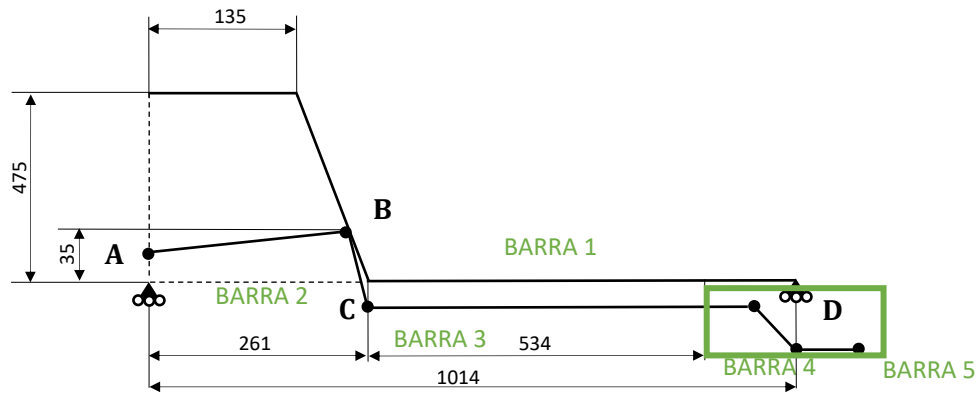


Figura 35. Conjunto general – Barra 4

La barra 4 corresponde al balancín 2, que es el conjunto leva del conjunto de las ruedas traseras. Para su dimensionamiento se han seguido los siguientes pasos:

#### Diagramas de esfuerzos

Para equilibrar la barra 4 actúan dos reacciones verticales y dos reacciones horizontales sobre los apoyos C y D, y una reacción vertical en el apoyo de las ruedas traseras  $R_T$ .

En este caso, también será necesario dividir los valores de las reacciones en los apoyos C, D y  $R_T$  por la mitad, ya que el conjunto leva está formado a su vez por dos levas, una a cada lado del chasis.

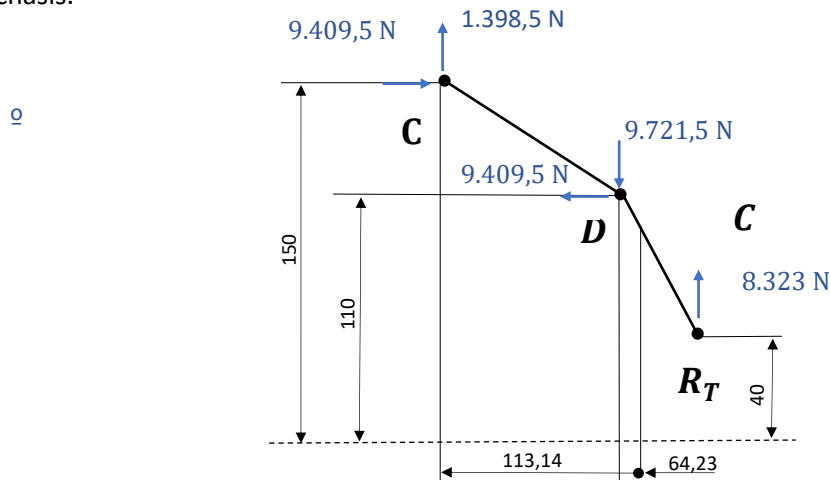


Figura 36. Conjunto leva de ruedas traseras

Entonces, se pasan las fuerzas y momentos a las coordenadas locales del tramo A-B del balancín para poder calcular el axil, cortante y flector:

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

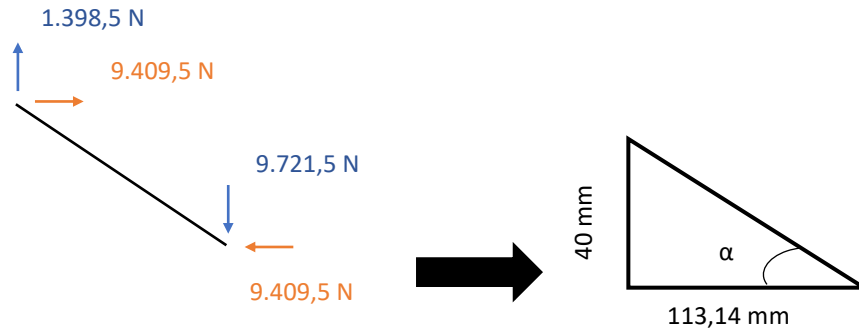


Figura 37. Tramo A-B del balancín 2.

Primero se calcula el ángulo que forma la barra con el suelo, así como la longitud de dicha barra:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{40 \text{ mm}}{113,14 \text{ mm}} = 19,47^\circ$$

$$L_{\text{barra 4-AB}} = \sqrt{40^2 + 113,14^2} = 120 \text{ mm}$$

Ahora ya se pueden pasar las fuerzas a las coordenadas locales de la barra para proceder con los diagramas de esfuerzos:

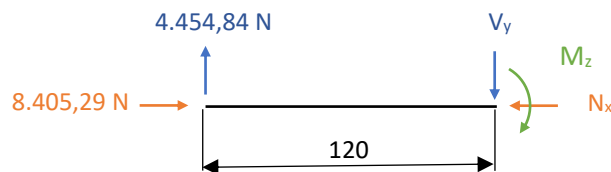


Figura 38. Tramo A-B del balancín 2 – DSL.

Entonces, se pasan también las fuerzas y momentos a las coordenadas locales del tramo B-C:

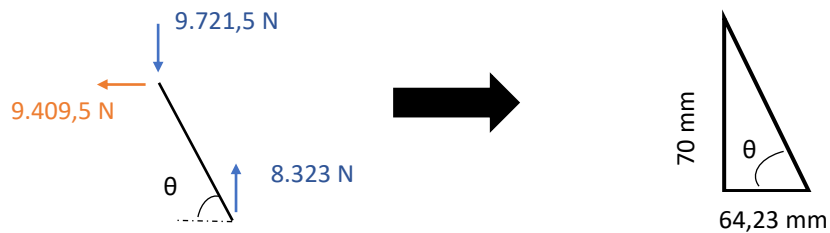


Figura 39. Tramo B-C del balancín 2.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Igual que en el tramo anterior, primero se calcula el ángulo que forma la barra con el suelo, así como la longitud de dicha barra:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{70 \text{ mm}}{64,23 \text{ mm}} = 47,46^\circ$$

$$L_{\text{barra } 5-2} = \sqrt{70^2 + 64,23^2} = 95 \text{ mm}$$

Ahora ya se pueden pasar las fuerzas a las coordenadas locales de la barra para proceder con los diagramas de esfuerzos:

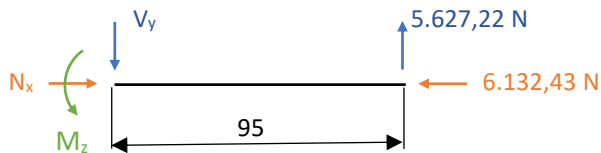


Figura 40. Tramo B-C del balancín 2 – DSL.

Ahora ya se puede proceder a los diagramas de esfuerzos correspondientes a la barra 2:

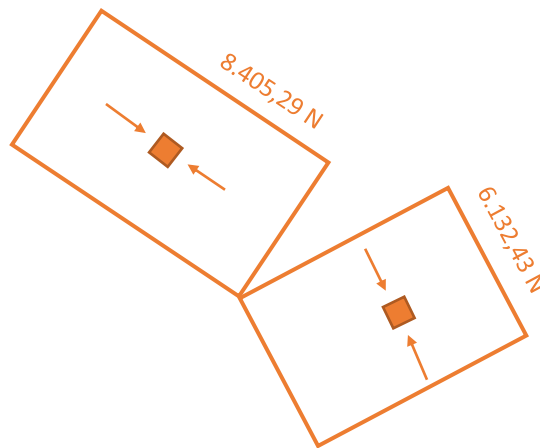


Figura 41. Barra 4 – Esfuerzo normal.

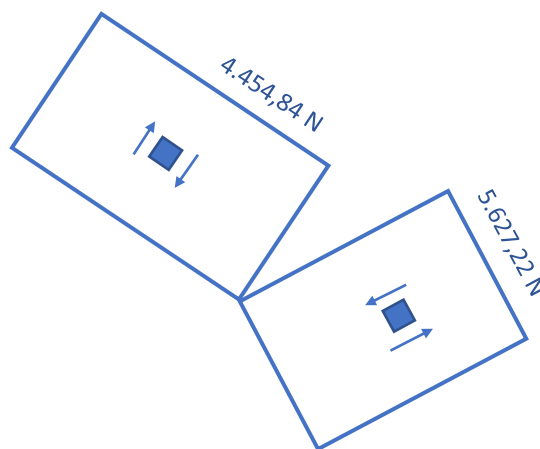


Figura 42. Barra 4 – Esfuerzo normal.

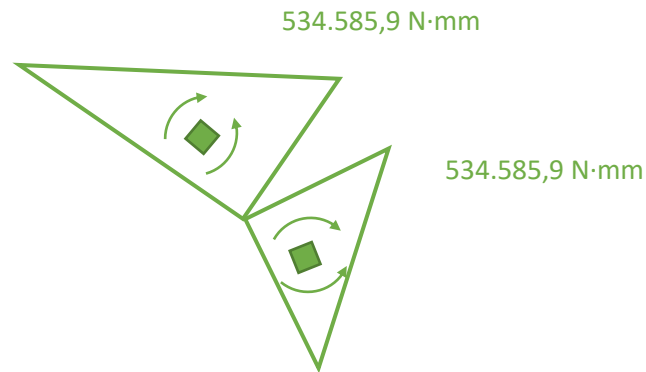


Figura 43. Barra 4 – Esfuerzo flector.

$$M_z = 5.627,22 \text{ N} \cdot 95 \text{ mm} = \mathbf{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

$$M_z = 4.454,84 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm} = \mathbf{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

#### Dimensionamiento

Una vez ya se conocen los esfuerzos ejercidos sobre la barra 4 ya se puede dimensionar el perfil de los dos balancines encargados de elevar las ruedas traseras el mecanismo.

El balancín 2 está formado por 3 apoyos en los cuáles hay uniones mediante pasadores simples.

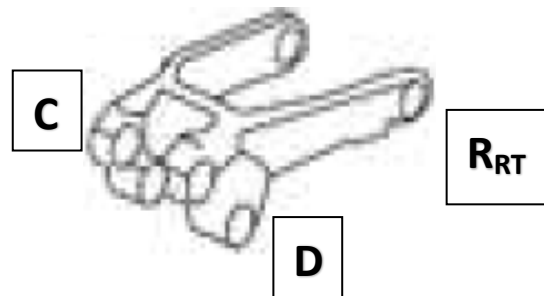


Figura 44. Estructura balancín 2.

En primer lugar, la sección más desfavorable de la barra 4 (balancín 2) se encuentra en el apoyo D obteniendo en esta sección el máximo valor del esfuerzo flector:

$$M_z = \mathbf{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

$$V_y = \mathbf{4.454,84 \text{ N}}$$

$$N_x = \mathbf{8.405,29 \text{ N}}$$

Por consiguiente, el punto más solicitado de la sección está expuesto a una flexión compuesta:

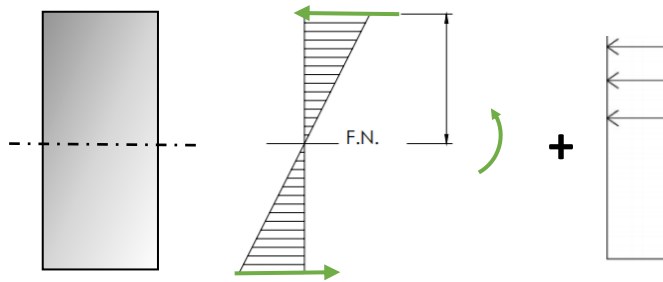


Figura 45. Barra 4 – Punto más solicitado

Para conocer el diámetro mínimo que debe tener, es necesario calcular el fallo por cortadura:

$$\tau = \frac{F_{R,B}}{A_c} = \frac{13.529,46 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_D^2}{4}}$$

\*\* El apoyo D soporta la fuerza resultante en ese punto calculada previamente:

$$F_{R,B} = \sqrt{V_D^2 + H_D^2} = \sqrt{(9.721,5 \text{ N})^2 + (9.409,5 \text{ N})^2} = \mathbf{13.529,46 \text{ N}}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR y que se requiere un coeficiente de seguridad mínimo de 2:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot 2} = 68,75 \text{ MPa.}$$

Igualando ambas tensiones se obtiene el diámetro mínimo:

$$\tau_{max,adm} = \tau$$

$$\frac{13.529,46 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_D^2}{4}} = 68,75 \text{ MPa.}$$

$$d_B = 15,83 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{d_D = 16 \text{ mm}}$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone un **espesor de 10 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del fallo por aplastamiento:

$$\sigma = \frac{F_{R,B}}{A_a} = \frac{10.930,95 \text{ N}}{d_D \cdot e} = \frac{13.529,46 \text{ N}}{16 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm}} = 84,56 \text{ MPa.}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}}$$

Igualando ambas tensiones obtenemos el coeficiente de seguridad:

$$2 \cdot \tau_{max,adm} = \sigma$$

$$2 \cdot \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}} = 84,56 \text{ MPa.}$$

$$C_{S,F} = 3,25 > 2 \quad \checkmark$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone una **altura de 80 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del cálculo del flector en el punto más solicitado:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{M_z}{W_z} + \frac{N_x}{A} = \frac{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{8.405,29 \text{ N}}{A}$$

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z} + \frac{8.405,29 \text{ N}}{A}$$

$$A = h \cdot e = (80 \cdot 10) \text{ mm}^2 = 800 \text{ mm}^2.$$

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot e \cdot h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6} \cdot e \cdot h^2 = \left( \frac{1}{6} \cdot 10 \cdot 80^2 \right) \text{ mm}^3 = 10.666,67 \text{ mm}^3.$$

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{534.585,9 \text{ N} \cdot \text{mm}}{10.666,67 \text{ mm}^3} + \frac{8.405,29 \text{ N}}{800 \text{ mm}^2} = 60,62 \text{ MPa.}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}}$$

Igualamos ambas tensiones para poder calcular finalmente el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x adm} = \sigma_{x,m\acute{a}x}$$

$$\frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}} = 60,62 \text{ MPa.}$$

$$C_{S,F} = 2,27 > 2 \quad \checkmark$$



#### v. Dimensionamiento barra 5

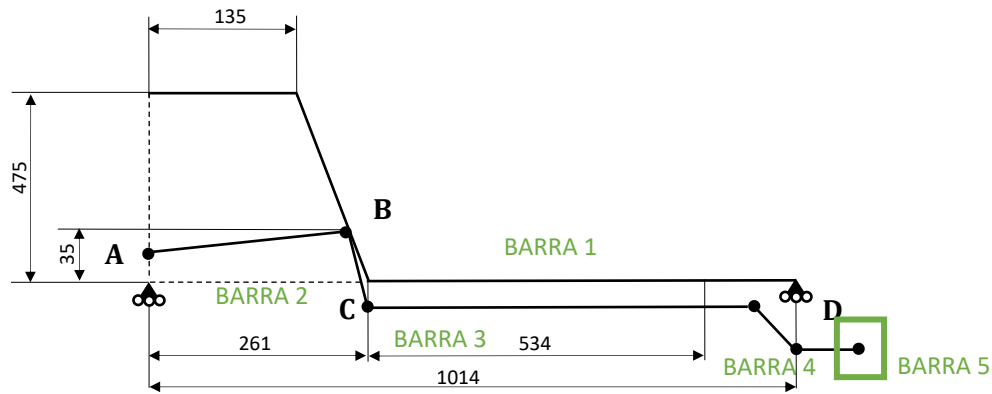


Figura 46. Conjunto general – Barra 5

La barra 5 corresponde a la pletina que conecta las dos ruedas traseras que van alojadas en cada uña que forma la base del chasis de la traspaleta. Para su dimensionamiento se han seguido los siguientes pasos:

#### Diagramas de esfuerzos

El porta-ruedas irá unido al balancín 2 a través del punto  $R_T$ , a través del cuál transmitirá la mitad de su esfuerzo a ambas ruedas obteniendo el siguiente diagrama de esfuerzos.

Para equilibrar la barra actúan dos reacciones verticales, una a cada lado y equidistantes del apoyo  $R_T$ .

Como la barra 5 está formada a su vez de dos barras, será necesario dividir todas sus fuerzas entre 2 para poder dimensionar correctamente ambos perfiles.

Sus diagramas de esfuerzos son los siguientes:

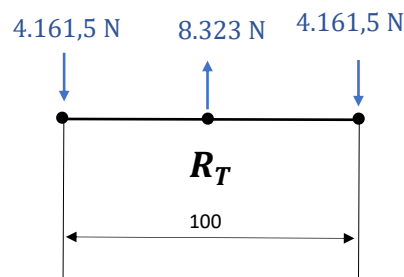


Figura 47. Barra 5 - DSL

Ahora ya se puede proceder a los diagramas de esfuerzos correspondientes a la barra 5:

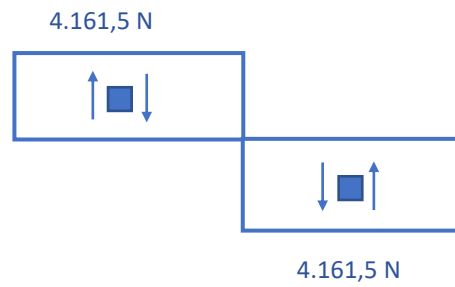


Figura 48. Barra 5 – Esfuerzo normal.

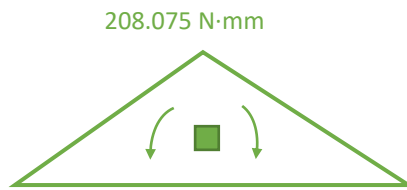


Figura 49. Barra 5 – Esfuerzo flector.

$$M_z = 4.161,5 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = \mathbf{208.075 \text{ N} \cdot \text{mm}}$$

#### Dimensionamiento

Una vez ya se conocen los esfuerzos ejercidos sobre la barra 5 ya se puede dimensionar el perfil de las dos pletinas encargadas de unir las ruedas traseras de cada barra de elevación.

La pletina está formada por 3 apoyos en los cuáles hay uniones mediante pasadores simples.

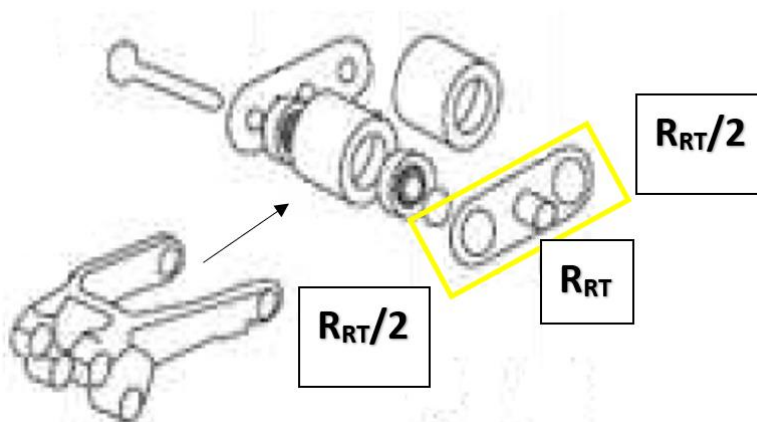


Figura 50. Estructura barra 5.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

En primer lugar, la sección más desfavorable de la barra 5 se encuentra en el apoyo  $R_T$  obteniendo en esta sección el máximo valor del esfuerzo flector:

$$M_z = 208.075 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$V_y = 4.161,5 \text{ N}$$

Por consiguiente, el punto más solicitado de la sección está expuesto a una flexión compuesta:

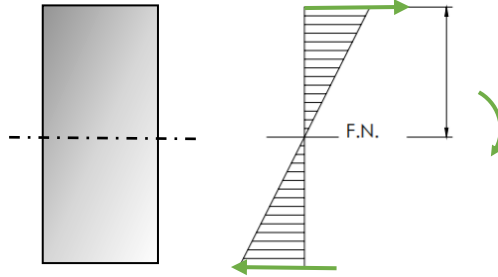


Figura 51. Barra 5 – Punto más solicitado

Para conocer el diámetro mínimo que debe tener, es necesario calcular el fallo por cortadura:

$$\tau = \frac{F_{R,B}}{A_c} = \frac{4.161,5 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_{R_T}^2}{4}}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR y que se requiere un coeficiente de seguridad mínimo de 2:

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot 2} = 68,75 \text{ MPa.}$$

Igualando ambas tensiones se obtiene el diámetro mínimo:

$$\tau_{max,adm} = \tau$$

$$\frac{4.161,5 \text{ N}}{\pi \cdot \frac{d_{R_T}^2}{4}} = 68,75 \text{ MPa.}$$

$$d_{R_T} = 8,78 \text{ mm} \rightarrow \mathbf{d_{R_T} = 9 \text{ mm}}$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone un **espesor de 7 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del fallo por aplastamiento:

$$\sigma = \frac{F_{R,B}}{A_a} = \frac{10.930,95 \text{ N}}{d_{R_T} \cdot e} = \frac{4.161,5 \text{ N}}{9 \text{ mm} \cdot 7 \text{ mm}} = 66,06 \text{ MPa.}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

$$\tau_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{2 \cdot C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}}$$

Igualando ambas tensiones obtenemos el coeficiente de seguridad:

$$2 \cdot \tau_{max,adm} = \sigma$$

$$2 \cdot \frac{275 \text{ MPa}}{2 \cdot C_{S,F}} = 66,06 \text{ MPa.}$$

$$C_{S,F} = 4,16 > 2 \quad \checkmark$$

Teniendo en cuenta medidas reales del modelo escogido, se supone una **altura de 60 mm**. Para comprobar que el espesor supuesto cumple los requisitos establecidos, se calcula el coeficiente de seguridad a través del cálculo del flector en el punto más solicitado:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{208.075 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_z}$$

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\max}} = \frac{\frac{1}{12} \cdot e \cdot h^3}{\frac{h}{2}} = \frac{1}{6} \cdot e \cdot h^2 = \left( \frac{1}{6} \cdot 7 \cdot 60^2 \right) \text{ mm}^3 = 4.200 \text{ mm}^3.$$

$$\sigma_{x,m\acute{a}x} = \frac{208.075 \text{ N} \cdot \text{mm}}{4.200 \text{ mm}^3} = 49,54 \text{ MPa.}$$

Teniendo en cuenta que el material de la barra, como ya se ha comentado previamente, es el acero S275JR:

$$\sigma_{max,adm} = \frac{\sigma_F}{C_{S,F}} = \frac{275 \text{ MPa}}{C_{S,F}}$$

Igualamos ambas tensiones para poder calcular finalmente el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{x,m\acute{a}x \text{ adm}} = \sigma_{x,m\acute{a}x}$$

$$\frac{275 \text{ MPa}}{C_{S,F}} = 49,54 \text{ MPa.}$$

$$C_{S,F} = 5,55 > 2 \quad \checkmark$$

## A.7. Descripción soldadura 1.1.



Figura 52. Posicionamiento de soldadura 1 en base de chasis

En este apartado se van a calcular las tensiones en la sección abatida y su correspondiente coeficiente de seguridad según se adjunta en el anexo A.7. *Descripción soldadura*.

Para comenzar con el cálculo, los esfuerzos que intervienen en la sección abatida son:

$$M_z = 1.290.936,6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$V_y = 9.409,5 \text{ N}$$

$$N_x = 1.558,5 \text{ N}$$

Ahora, ya se puede calcular las tensión en la sección abatida:

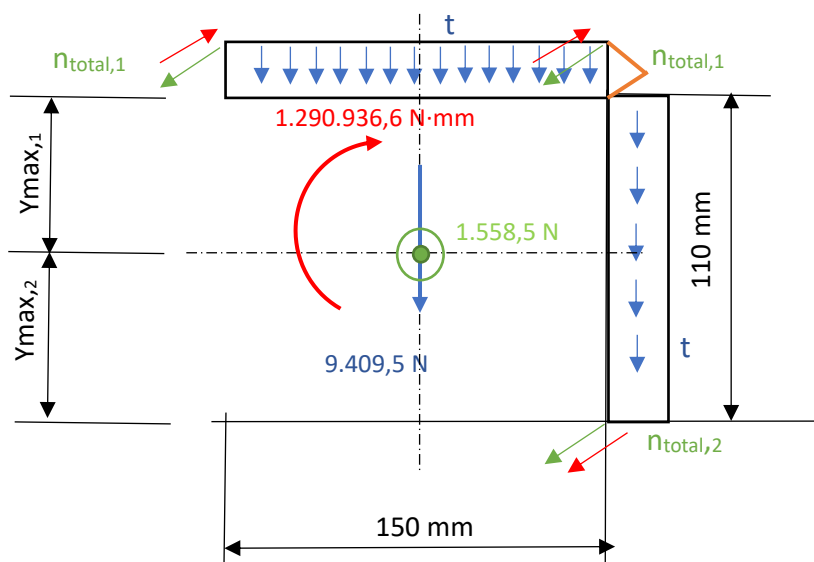


Figura 53. Sección de garganta

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Suponiendo que el espesor de la soldadura es 5 mm ya que es la medida recomendada para espesores entre 6 y 13 mm:

$e_{\text{soldadura}} \sim 5 \text{ mm}$ .

$$t = \frac{V_Y}{A_{\text{TOTAL}}} = \frac{9.409,5 \text{ N}}{(110 \cdot 5)\text{mm}^2 + (150 \cdot 5)\text{mm}^2} = \frac{9.409,5 \text{ N}}{1.300 \text{ mm}^2} = \mathbf{7,24 \text{ MPa}}.$$

$$n_1 = \frac{M_z}{W_{z1}} = \frac{1.290.936,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_{z1}}$$

$$n_2 = \frac{M_z}{W_{z2}} = \frac{1.290.936,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{W_{z2}}$$

Para poder calcular el esfuerzo normal sobre la sección de la garganta, debido al flector, primero es necesario calcular la distancia máxima tanto de la garganta horizontal como las gargantas verticales:

$$W_z = \frac{I_z}{y_{\text{max}}}$$

Para poder calcular la distancia máxima, se requiere conocer el centro de gravedad:

$$y_G = \frac{\sum y_G \cdot A}{\sum A} = \frac{\frac{110}{2} \cdot (110 \cdot 5)\text{mm}^3 + \left(110 + \frac{5}{2}\right) \cdot (150 \cdot 5)\text{mm}^3}{(110 \cdot 5)\text{mm}^2 + (150 \cdot 5)\text{mm}^2} = 88,17 \text{ mm}.$$

$$I_{z1} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2 = \frac{1}{12} \cdot 150 \cdot 5^3 + (150 \cdot 5) \cdot \left(110 + \frac{5}{2} - 88,17\right)^2$$

$$= 445.524,18 \text{ mm}^4$$

$$I_{z2} = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 + A \cdot d^2 = \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 110^3 + (5 \cdot 110) \cdot (88,17)^2 = 4.830.255,23 \text{ mm}^4$$

$$I_{z,\text{TOTAL}} = \sum I_{z,i} = 445.524,18 \text{ mm}^4 + 4.830.255,23 \text{ mm}^4 = 5.275.779,41 \text{ mm}^4$$

$$W_{z1} = \frac{I_{z,\text{TOTAL}}}{y_{\text{max},1}} = \frac{5.275.779,41 \text{ mm}^4}{(110 - 88,17) \text{ mm}} = \mathbf{241.675,65 \text{ mm}^3}$$

$$W_{z2} = \frac{I_{z,\text{TOTAL}}}{y_{\text{max},2}} = \frac{5.275.779,41 \text{ mm}^4}{88,17 \text{ mm}} = \mathbf{59.836,46 \text{ mm}^3}$$

Ahora ya puedo calcular los esfuerzos normales ejercidos sobre la sección de la garganta:

$$n_1 = \frac{M_z}{W_{z1}} = \frac{1.290.936,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{241.675,65 \text{ mm}^3} = \mathbf{5,35 \text{ MPa.}}$$

$$n_2 = \frac{M_z}{W_{z2}} = \frac{1.290.936,6 \text{ N} \cdot \text{mm}}{59.836,56 \text{ mm}^3} = \mathbf{21,57 \text{ MPa.}}$$

$$n = \frac{N_x}{A_{\text{TOTAL}}} = \frac{1.558,5 \text{ N}}{(110 \cdot 5) \text{ mm}^2 + (150 \cdot 5) \text{ mm}^2} = \frac{1.558,5 \text{ N}}{1.300 \text{ mm}^2} = \mathbf{1,20 \text{ MPa.}}$$

$$n_{\text{TOTAL},1} = n - n_1 = 1,20 \text{ MPa} - 5,35 \text{ MPa} = \mathbf{-4,15 \text{ MPa.}}$$

$$n_{\text{TOTAL},2} = n + n_2 = 1,20 \text{ MPa} - 21,57 \text{ MPa} = \mathbf{22,77 \text{ MPa.}}$$

Conocidas las tensiones en la sección abatida, se calculan las de la garganta ([Ver en Figura 53](#)):

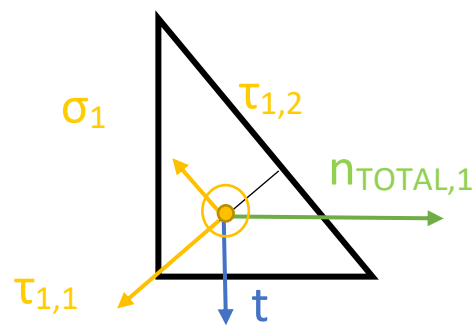


Figura 54. Sección de garganta superior.

$$\sigma_1 = \frac{t + n_{\text{TOTAL},1}}{\sqrt{2}} = \frac{(7,24 + 4,15) \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{8,05 \text{ MPa.}}$$

$$\tau_{1,1} = \frac{t - n_{\text{TOTAL},1}}{\sqrt{2}} = \frac{(7,24 - 4,15) \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{2,18 \text{ MPa.}}$$

$$\tau_{1,2} = \mathbf{0 \text{ MPa.}}$$

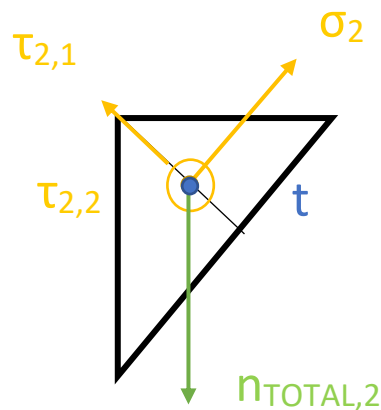


Figura 55. Sección de garganta inferior.

$$\sigma_2 = \frac{n_{TOTAL,2}}{\sqrt{2}} = \frac{(22,77) \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{16,1 \text{ MPa.}}$$

$$\tau_{2,1} = \frac{n_{TOTAL,2}}{\sqrt{2}} = \frac{(22,77) \text{ MPa}}{\sqrt{2}} = \mathbf{16,1 \text{ MPa.}}$$

$$\tau_{2,2} = -t_2 = \mathbf{-7,24 \text{ MPa.}}$$

Finalmente, se calcula el coeficiente de seguridad que tiene el cordón de soldadura más solicitado:

$$C_s = \frac{\sigma_F}{\sigma_{EQ}}$$

$$\text{Siendo } \sigma_{EQ} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot (\tau_1^2 + \tau_2^2)} = \sqrt{16,1^2 + 3 \cdot (16,1^2 + (-7,24)^2)} = 34,56 \text{ MPa.}$$

$$\rightarrow C_s = \frac{275 \text{ MPa}}{34,56 \text{ MPa}} = \mathbf{7,96.}$$



## A.8. Modelado en 3D.

**SolidWorks** es un software de diseño CAD 3D (*Computer Aided Design*) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

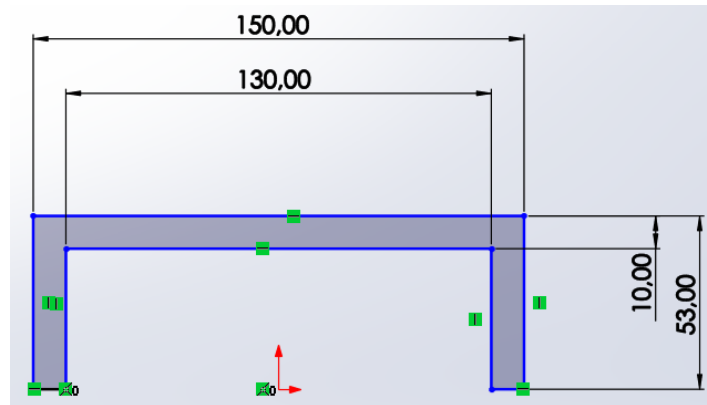
Este programa ofrece soluciones intuitivas para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño. La sencillez, que es parte de su propuesta de valor, es decisiva para lograr el éxito de muchos clientes.

Incluye cinco líneas de productos diferentes:

1. Herramientas de diseño para crear modelos y ensamblajes.
2. Herramientas de diseño para la fabricación mecánica, que automatiza documentos de inspección y genera documentación sin planos 2D.
3. Herramientas de simulación para evaluar el diseño y garantizar que es el mejor posible.
4. Herramientas que evalúan el impacto medioambiental del diseño durante su ciclo de vida.
5. Herramientas que reutilizan los datos de CAD en 3D para simplificar el modo en que las empresas crean, conservan y utilizan contenidos para la comunicación técnica.
6. Finalmente, todas estas herramientas están respaldadas por SolidWorks PDM para gestionar y controlar de forma segura los datos mediante una única fuente de datos reales de sus diseños y SolidWorks Manage, una herramienta que gestiona los procesos y proyectos implicados en todo el desarrollo del producto y está conectado al proceso de diseño.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

En primer lugar, se ha elaborado el croquis de la base del chasis, el cuál tiene forma de U:



*Figura 57. Croquis de base del chasis en 3D.*

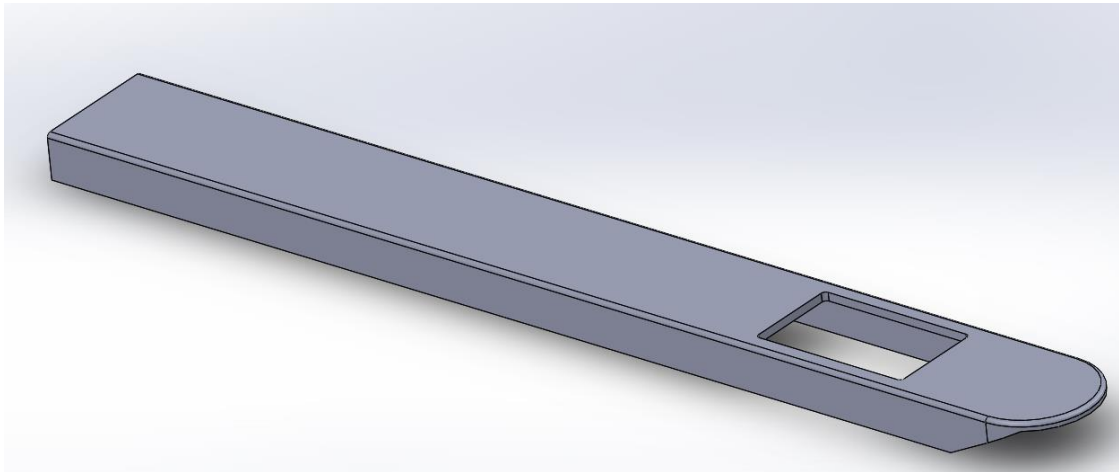
Una vez realizado el croquis, se ha realizado una extrusión con una longitud de  $L = 1.300$  mm.

Posteriormente, se ha redondeado todas las aristas con un radio interior de 10 mm, así como en la cara superior con un radio de 75 mm.

También se ha realizado el agujero de la cara frontal con unas medidas de 180 x 100 mm y un redondeo en sus aristas de 10 mm.

Finalmente, se ha realizado un corte en ambas caras laterales para terminar de definir el perfil de la base del chasis.

El resultado final es el siguiente:



*Figura 58. Diseño de base del chasis en 3D.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

A continuación, se ha elaborado el croquis de la base del chasis, el cuál tiene la siguiente forma:

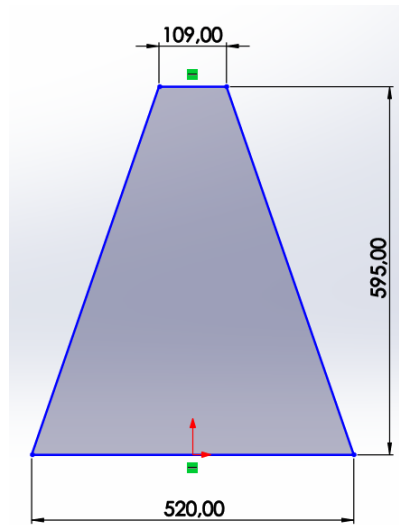


Figura 59. Croquis de cuerpo del chasis en 3D.

Una vez realizado el croquis, se ha realizado una extrusión con una longitud de  $L = 110$  mm.

Posteriormente, se ha realizado un vaciado dejando bordes de una longitud de 10 mm a cada lado. Además, para eliminar de la parte superior e inferior se ha realizado un corte tras definir el área de corte a través de un croquis.

Finalmente, se ha realizado los agujeros laterales a una altura de 155 mm y con un diámetro de 15 mm. Además, se ha redondeado todas las aristas con un radio interior de 10 mm.

El resultado final es el siguiente:

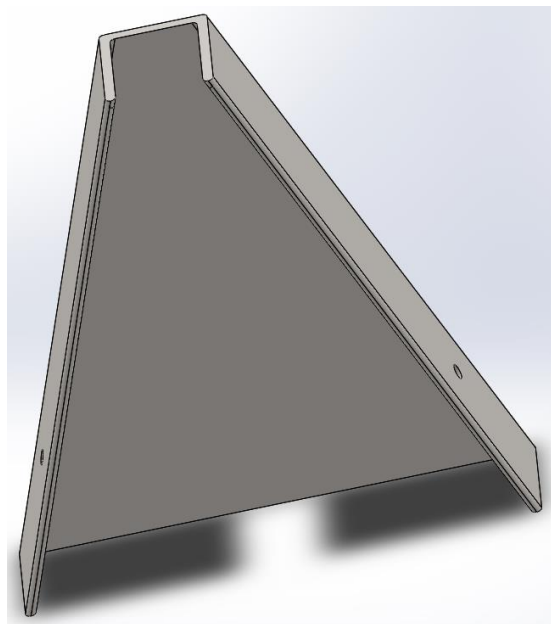
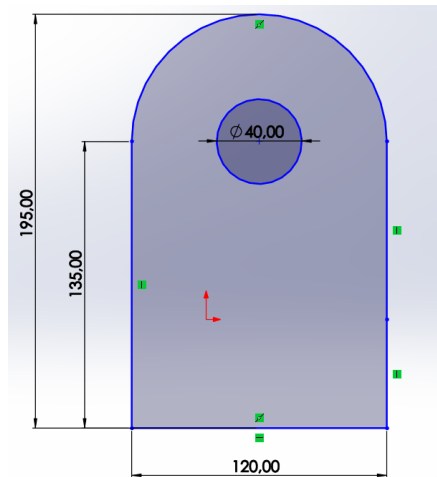


Figura 60. Diseño de cuerpo del chasis en 3D.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

A continuación, se ha elaborado el croquis de la tapa del chasis, el cuál tiene la siguiente forma:



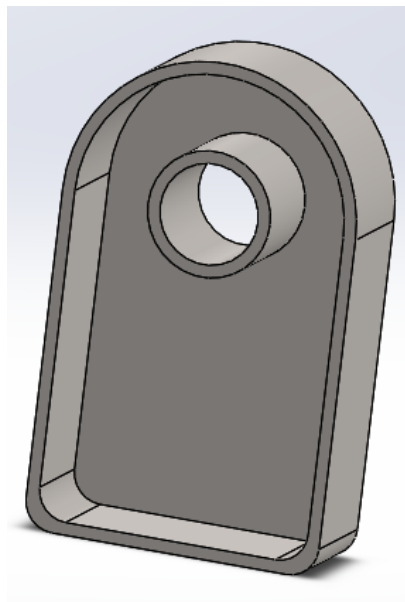
*Figura 61. Croquis de tapa del chasis en 3D.*

Una vez realizado el croquis, se ha realizado una extrusión con una longitud de  $L = 50$  mm.

Posteriormente, se ha realizado un vaciado dejando bordes de una longitud de 5 mm a cada lado.

Finalmente, se ha redondeado todas las aristas con un radio interior de 10 mm.

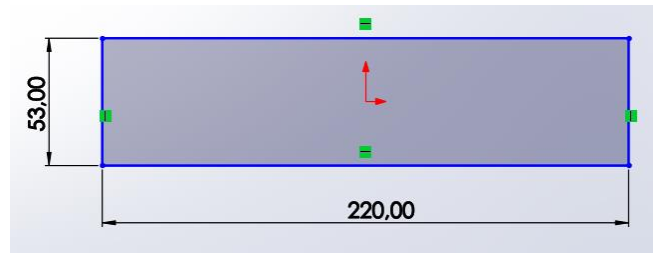
El resultado final es el siguiente:



*Figura 62. Diseño de tapa del chasis en 3D.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

A continuación, se ha elaborado el croquis del elemento rigidizador, el cuál tiene la siguiente forma:



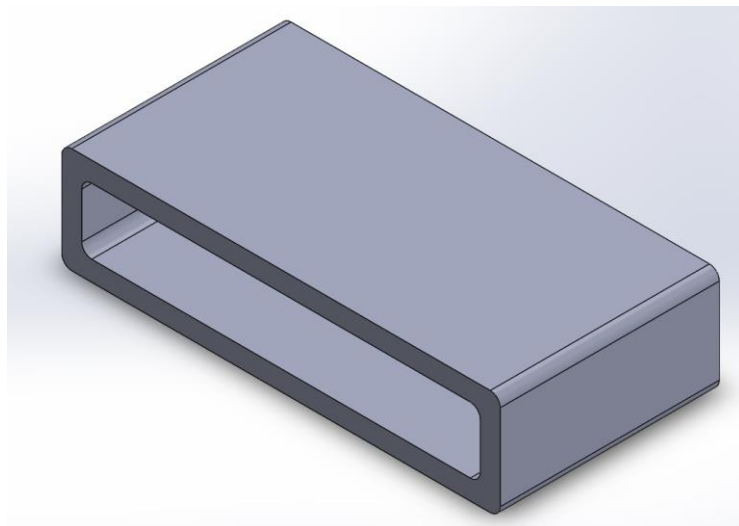
*Figura 63. Croquis de tapa del elemento rigidizador en 3D.*

Una vez realizado el croquis, se ha realizado una extrusión con una longitud de  $L = 110$  mm.

Posteriormente, se ha realizado un vaciado dejando bordes de una longitud de 10 mm a cada lado.

Finalmente, se ha redondeado todas las aristas con un radio interior de 12,5 mm.

El resultado final es el siguiente:



*Figura 64. Diseño de tapa del elemento rigidizador en 3D.*

## A.9. Especificaciones de maquinaria.

### i. Cizalla guillotina hidráulica para corte de chapa QC12Y



<b>Dimensiones (L * W * H)</b>	3.880 x 2.150 x 2.000 mm
<b>Modo de corte</b>	Corte en frío
<b>Grosor de corte</b>	0 - 70 mm
<b>Potencia</b>	7.500 W
<b>Utillaje</b>	Brazo cuadrado y brazos de soporte delanteros
<b>Peso</b>	3.300 Kg
<b>Número de filos</b>	Cuchilla superior con 2 filos de corte Cuchilla inferior con 4 filos de corte
<b>Velocidad de corte</b>	10 – 30 m/min
<b>Precio</b>	42.000 €

### ii. Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC



<b>Longitud total de pliegue</b>	3125 mm
<b>Velocidad de trabajo del punzón</b>	6,7 mm/s
<b>Velocidad de retroceso del punzón</b>	43,4 mm/s
<b>Velocidad de bajada del punzón</b>	26,8 mm/s
<b>Recorrido máximo del punzón</b>	160 mm
<b>Longitud de plegado total</b>	3.125 mm
<b>Recorrido tope trasero</b>	600 mm
<b>Escote</b>	320 mm
<b>Potencia</b>	9,5 KW
<b>Dimensiones</b>	3.720 mm x 1630 mm x 2800 mm
<b>Peso</b>	9.100 Kg
<b>Precio</b>	10.000 €

CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

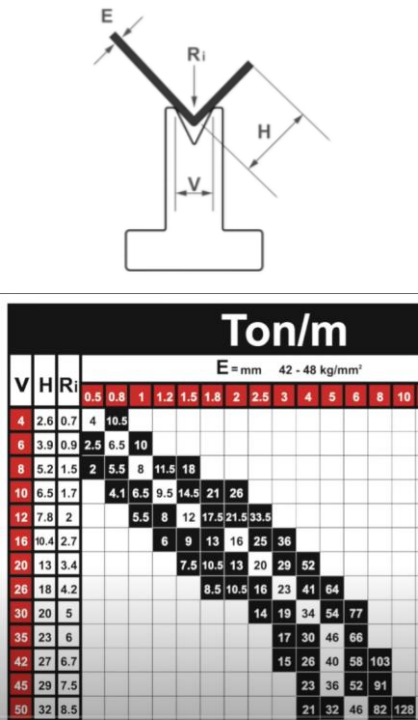


Figura 99. Parámetros para determinar la abertura de matriz del proceso A2.

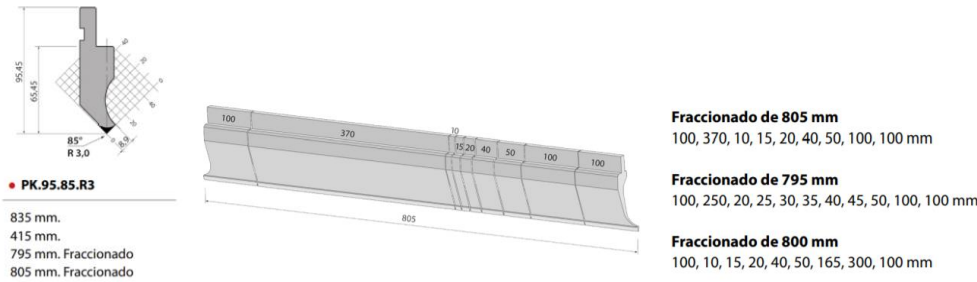


Figura 100. Punzón seleccionado en el proceso A2.

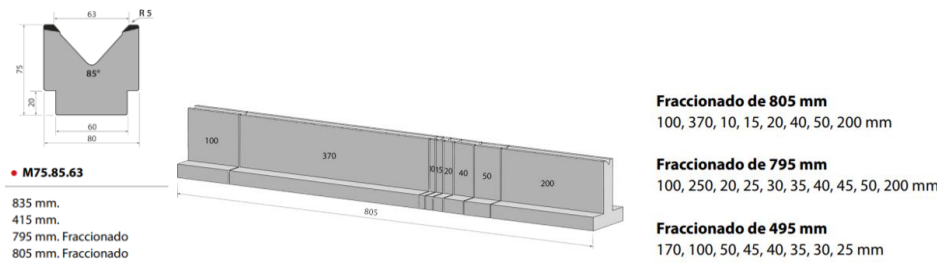


Figura 101. Matriz seleccionada en el proceso A2.

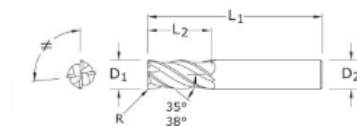
## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

### iii. Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC



<b>Nº ranuras</b>	5
<b>Medida ranuras</b>	22 mm
<b>Curso longitudinal (Eje Z)</b>	2.500 mm
<b>Curso transversal (Eje Y)</b>	800 mm
<b>Curso vertical (Eje Z)</b>	800 mm
<b>Avances (X /Y/Z)</b>	3.125 mm
<b>Avance rápido ejes</b>	5– 5000 rpm
<b>Gama de revoluciones</b>	20 – 4000 rpm
<b>Potencia</b>	22 KW
<b>Dimensiones</b>	6.605 mm x 3.315 mm x 2.730 mm
<b>Superficie de la mesa</b>	2.500 mm x 700 mm
<b>Peso</b>	9.500 Kg
<b>Precio</b>	60.000 €

### Fresa Z1MPCR



### Z1MPCR METRIC SERIES

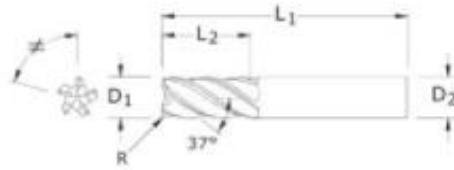
CUTTING DIA. D <sub>1</sub>	LENGTH OF CUT L <sub>2</sub>	OVERALL LENGTH L <sub>1</sub>	SHANK DIA. D <sub>2</sub>	CORNER RADIUS R	EDP NO.			
					TI-NAMITE-X	TI-NAMITE-X W/FLAT	JetStream*	
						STOCK	STOCK	STOCK
12,0	26,0	83,0	12,0	0,5	46860	●	46909	●
12,0	26,0	83,0	12,0	0,75	46861	●	46910	●
12,0	26,0	83,0	12,0	1,0	46893	●	46911	●
12,0	26,0	83,0	12,0	1,5	46894	●	46912	●
12,0	26,0	83,0	12,0	2,0	46895	●	46913	●
12,0	26,0	83,0	12,0	2,5	46896	●	46914	●
12,0	26,0	83,0	12,0	3,0	42718	●	46915	●
14,0	26,0	83,0	14,0	1,0	46862	●	46916	●
16,0	32,0	92,0	16,0	1,0	46863	●	46917	●
16,0	32,0	92,0	16,0	1,5	46898	●	46918	●
16,0	32,0	92,0	16,0	2,0	46899	●	46919	●
16,0	32,0	92,0	16,0	2,5	46900	●	46920	●
16,0	32,0	92,0	16,0	3,0	46864	●	46921	●
16,0	32,0	92,0	16,0	4,0	46867	■	46944	■
20,0	38,0	104,0	20,0	1,0	46865	●	46922	●
20,0	38,0	104,0	20,0	1,5	46903	●	46923	●
20,0	38,0	104,0	20,0	2,0	46904	●	46924	●
20,0	38,0	104,0	20,0	2,5	46905	●	46925	●
20,0	38,0	104,0	20,0	3,0	42722	●	46926	●
20,0	38,0	104,0	20,0	4,0	46868	■	46945	■
20,0	38,0	104,0	20,0	5,0	46869	■	46946	■
25,0	38,0	104,0	25,0	1,0	46866	●	46927	●

U.S. Patents 7,306,408 and 7,789,597  
\*JetStream Patented Coolant Technology



# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

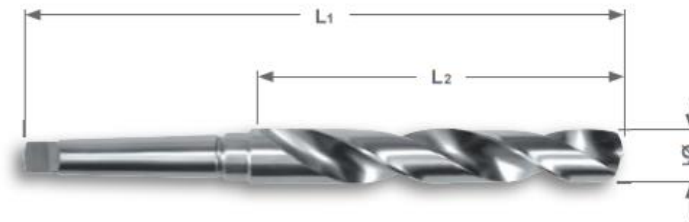
Fresa Z5MCR



DIM.						EDP NO.						STOCK
CUTTING DIA. D1	LENGTH OF CUT L1	OVERALL LENGTH L2	SHANK DIA. D2	CORNER RADIUS R		TI-NAMITE-A (TA)	TI-NAMITE-A (TA) W/PLAT	TI-NAMITE-A (TA) EDP NO. W/INTERNAL COOLANT	TI-NAMITE-M (TM) EDP NO.	TI-NAMITE-M (TM) EDP NO. W/PLAT	TI-NAMITE-M (TM) EDP NO. W/INTERNAL COOLANT	
6,0	9,0	54,0	6,0	0,5		—	—	—	47000	—	—	●
6,0	13,0	57,0	6,0	0,3		—	—	—	47001	—	—	●
6,0	13,0	57,0	6,0	0,5	47120	—	—	—	47002	—	—	●
6,0	13,0	57,0	6,0	1,0	—	—	—	—	47003	—	—	●
6,0	13,0	57,0	6,0	1,5	—	—	—	—	47004	—	—	●
8,0	11,0	58,0	8,0	0,5	—	—	—	—	47005	—	—	●
8,0	18,0	63,0	8,0	0,5	47121	—	—	—	47006	—	—	●
8,0	18,0	63,0	8,0	1,0	47122	—	—	—	47007	—	—	●
8,0	18,0	63,0	8,0	1,5	—	—	—	—	47008	—	—	●
8,0	18,0	63,0	8,0	2,0	—	—	—	—	47009	—	—	●
10,0	13,0	66,0	10,0	1,0	—	—	—	—	47010	—	—	●
10,0	22,0	72,0	10,0	0,5	47123	—	—	—	47011	—	—	●
10,0	22,0	72,0	10,0	1,0	47124	—	—	—	47012	—	—	●
10,0	22,0	72,0	10,0	1,5	—	—	—	—	47013	—	—	●
10,0	22,0	72,0	10,0	2,0	—	—	—	—	47014	—	—	●
10,0	22,0	72,0	10,0	2,5	—	—	—	—	47015	—	—	●
12,0	15,0	73,0	12,0	1,0	—	—	—	—	47016	47024	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	0,5	47125	47128	—	—	47017	47025	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	0,76	47126	47129	—	—	47018	47026	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	1,0	47127	47130	—	—	47019	47027	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	1,5	48012	—	—	—	47020	47028	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	2,0	—	—	—	—	47021	47029	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	2,5	—	—	—	—	47022	47030	—	●
12,0	26,0	83,0	12,0	3,0	—	—	—	—	47023	47031	—	●
16,0	19,0	82,0	16,0	1,0	—	—	—	—	47032	47039	47046	●
16,0	19,0	82,0	16,0	1,5	48070	—	—	—	—	—	—	●
16,0	35,0	92,0	16,0	1,0	47131	—	47134	—	47033	47040	47047	●
16,0	35,0	92,0	16,0	1,5	—	—	—	—	47034	47041	47048	●
16,0	35,0	92,0	16,0	2,0	47132	—	47135	—	47035	47042	47049	●
16,0	35,0	92,0	16,0	2,5	—	—	—	—	47036	47043	47050	●
16,0	35,0	92,0	16,0	3,0	47133	—	47136	—	47037	47044	47051	●
16,0	35,0	92,0	16,0	4,0	—	—	—	—	47038	47045	47052	●
20,0	23,0	92,0	20,0	1,0	48020	—	—	—	47053	47061	47069	●
20,0	43,0	104,0	20,0	1,0	47137	—	47140	—	47054	47062	47070	●
20,0	43,0	104,0	20,0	1,5	—	—	—	—	47055	47063	47071	●
20,0	43,0	104,0	20,0	2,0	47138	—	47141	—	47056	47064	47072	●
20,0	43,0	104,0	20,0	2,5	—	—	—	—	47057	47065	47073	●
20,0	43,0	104,0	20,0	3,0	47139	—	47142	—	47058	47066	47074	●
20,0	43,0	104,0	20,0	4,0	—	—	—	—	47059	47067	47075	●
20,0	43,0	104,0	20,0	5,0	—	—	—	—	47060	47068	47076	●
25,0	28,0	100,0	25,0	1,0	—	—	—	—	47077	47084	47091	●
25,0	53,0	121,0	25,0	1,0	47143	—	47146	—	47078	47085	47092	●
25,0	53,0	121,0	25,0	2,0	47144	—	47147	—	47079	47086	47093	●
25,0	53,0	121,0	25,0	2,5	—	—	—	—	47080	47087	47094	●
25,0	53,0	121,0	25,0	3,0	47145	—	47148	—	47081	47088	47095	●
25,0	53,0	121,0	25,0	4,0	—	—	—	—	47082	47089	47096	●
25,0	53,0	121,0	25,0	5,0	—	—	—	—	47083	47090	47097	●

# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

## Broca taladrado



Ø mm	L1 mm	L2 mm	Cono morse nº	Nº de artículo HSS	Cont. Unid.	Nº de artículo HSSE-Co 5	Cont. Unid.	Nº de artículo HSSE-Co 5 TiN	Cont. Unid.
10,00	168,0	87,0	1	204 100	1	204 100 E	1	204 100 T	1
10,50	168,0	87,0	1	204 105	1	204 105 E	1	204 105 T	1
11,00	175,0	94,0	1	204 110	1	204 110 E	1	204 110 T	1
11,50	175,0	94,0	1	204 115	1	204 115 E	1	204 115 T	1
12,00	182,0	101,0	1	204 120	1	204 120 E	1	204 120 T	1
12,50	182,0	101,0	1	204 125	1	204 125 E	1	204 125 T	1
13,00	182,0	101,0	1	204 130	1	204 130 E	1	204 130 T	1
13,50	189,0	108,0	1	204 135	1	204 135 E	1	204 135 T	1
14,00	189,0	108,0	1	204 140	1	204 140 E	1	204 140 T	1
14,50	212,0	114,0	2	204 145	1	204 145 F	1	204 145 T	1
15,00	212,0	114,0	2	204 150	1	204 150 E	1	204 150 T	1
15,50	218,0	120,0	2	204 155	1	204 155 E	1	204 155 T	1
16,00	218,0	120,0	2	204 160	1	204 160 E	1	204 160 T	1
16,50	223,0	125,0	2	204 165	1	204 165 E	1	204 165 T	1
17,00	223,0	125,0	2	204 170	1	204 170 E	1	204 170 T	1
17,50	228,0	130,0	2	204 175	1	204 175 E	1	204 175 T	1
18,00	228,0	130,0	2	204 180	1	204 180 E	1	204 180 T	1
18,50	233,0	135,0	2	204 185	1	204 185 E	1	204 185 T	1
19,00	233,0	135,0	2	204 190	1	204 190 E	1	204 190 T	1
19,50	238,0	140,0	2	204 195	1	204 195 F	1	204 195 T	1
20,00	238,0	140,0	2	204 200	1	204 200 E	1	204 200 T	1

# CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Ø mm	L1 mm	L2 mm	Cono morse nº	Nº de artículo HSS	Cont. Unid.	Nº de artículo HSSE-Co 5	Cont. Unid.	Nº de artículo HSSE-Co 5 TiN	Cont. Unid.
20,50	243,0	145,0	2	204 205	1	204 205 E	1	204 205 T	1
21,00	243,0	145,0	2	204 210	1	204 210 E	1	204 210 T	1
21,50	248,0	150,0	2	204 215	1	204 215 E	1	204 215 T	1
22,00	248,0	150,0	2	204 220	1	204 220 E	1	204 220 T	1
22,50	253,0	155,0	2	204 225	1	204 225 E	1	204 225 T	1
23,00	253,0	155,0	2	204 230	1	204 230 E	1	204 230 T	1
23,50	276,0	155,0	3	204 235	1	204 235 E	1	204 235 T	1
24,00	281,0	160,0	3	204 240	1	204 240 E	1	204 240 T	1
24,50	281,0	160,0	3	204 245	1	204 245 E	1	204 245 T	1
25,00	281,0	160,0	3	204 250	1	204 250 E	1	204 250 T	1
25,50	286,0	165,0	3	204 255	1	204 255 E	1	204 255 T	1
26,00	286,0	165,0	3	204 260	1	204 260 E	1	204 260 T	1
26,50	286,0	165,0	3	204 265	1	204 265 E	1	204 265 T	1
27,00	291,0	170,0	3	204 270	1	204 270 E	1	204 270 T	1
27,50	291,0	170,0	3	204 275	1	204 275 E	1	204 275 T	1
28,00	291,0	170,0	3	204 280	1	204 280 E	1	204 280 T	1
28,50	296,0	175,0	3	204 285	1	204 285 E	1	204 285 T	1
29,00	296,0	175,0	3	204 290	1	204 290 E	1	204 290 T	1
29,50	296,0	175,0	3	204 295	1	204 295 E	1	204 295 T	1
30,00	296,0	175,0	3	204 300	1	204 300 E	1	204 300 T	1
30,50	301,0	180,0	3	204 305	1	—	—	—	—
31,00	301,0	180,0	3	204 310	1	—	—	—	—
31,50	301,0	180,0	3	204 315	1	—	—	—	—
32,00	334,0	185,0	4	204 320	1	—	—	—	—
32,50	334,0	185,0	4	204 325	1	—	—	—	—
33,00	334,0	185,0	4	204 330	1	—	—	—	—
33,50	334,0	185,0	4	204 335	1	—	—	—	—
34,00	339,0	190,0	4	204 340	1	—	—	—	—
34,50	339,0	190,0	4	204 345	1	—	—	—	—
35,00	339,0	190,0	4	204 350	1	—	—	—	—
35,50	339,0	190,0	4	204 355	1	—	—	—	—
36,00	344,0	195,0	4	204 360	1	—	—	—	—
36,50	344,0	195,0	4	204 365	1	—	—	—	—
37,00	344,0	195,0	4	204 370	1	—	—	—	—
37,50	344,0	195,0	4	204 375	1	—	—	—	—
38,00	349,0	200,0	4	204 380	1	—	—	—	—
38,50	349,0	200,0	4	204 385	1	—	—	—	—
39,00	349,0	200,0	4	204 390	1	—	—	—	—
39,50	349,0	200,0	4	204 395	1	—	—	—	—
40,00	349,0	200,0	4	204 400	1	—	—	—	—
40,50	354,0	205,0	4	204 405	1	—	—	—	—
41,00	354,0	205,0	4	204 410	1	—	—	—	—
41,50	354,0	205,0	4	204 415	1	—	—	—	—
42,00	354,0	205,0	4	204 420	1	—	—	—	—
42,50	354,0	205,0	4	204 425	1	—	—	—	—
43,00	359,0	210,0	4	204 430	1	—	—	—	—
43,50	359,0	210,0	4	204 435	1	—	—	—	—
44,00	359,0	210,0	4	204 440	1	—	—	—	—
44,50	359,0	210,0	4	204 445	1	—	—	—	—
45,00	359,0	210,0	4	204 450	1	—	—	—	—
45,50	364,0	215,0	4	204 455	1	—	—	—	—
46,00	364,0	215,0	4	204 460	1	—	—	—	—
46,50	364,0	215,0	4	204 465	1	—	—	—	—
47,00	364,0	215,0	4	204 470	1	—	—	—	—
47,50	364,0	215,0	4	204 475	1	—	—	—	—
48,00	369,0	220,0	4	204 480	1	—	—	—	—
48,50	369,0	220,0	4	204 485	1	—	—	—	—
49,00	369,0	220,0	4	204 490	1	—	—	—	—
49,50	369,0	220,0	4	204 495	1	—	—	—	—
50,00	369,0	220,0	4	204 500	1	—	—	—	—
51,00	412,0	225,0	5	204 510	1	—	—	—	—
52,00	412,0	225,0	5	204 520	1	—	—	—	—
53,00	412,0	225,0	5	204 530	1	—	—	—	—
54,00	417,0	230,0	5	204 540	1	—	—	—	—
55,00	417,0	230,0	5	204 550	1	—	—	—	—

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

### iv. Sierra de cinta FEMI 785XL



<b>Capacidad de corte sección rectangular</b>	205 mm x 150 mm
<b>Dentado</b>	14 mm de diámetro
<b>Velocidad</b>	60 – 80 m./min
<b>Potencia</b>	1,6 KW
<b>Dimensiones</b>	75 mm x 80 mm x 105 mm
<b>Medida cinta</b>	1.735 mm x 13 mm x 0,9 mm
<b>Peso</b>	38 Kg
<b>Precio</b>	800 €

### v. Soldadora MIG/MAG Mastermig 220/2



<b>Tensión de entrada</b>	230 v /400 v (trifásico)
<b>Intensidad máx.</b>	220 A
<b>Tensión soldadura</b>	36 v
<b>Diámetro de hilos</b>	0,6 mm – 1 mm
<b>Potencia</b>	9,7 KW
<b>Dimensiones</b>	87 mm x 46 mm x 80 mm
<b>Peso</b>	56 Kg
<b>Precio</b>	1.150,10 €

### vi. Máquina de corte por láser G3015HF



<b>Capacidad de corte sección rectangular</b>	3.000 mm x 1.500 mm
<b>Sistema</b>	CNC
<b>Velocidad de corte</b>	200 m./min
<b>Potencia</b>	20 KW
<b>Dimensiones (L x W x H)</b>	9.615 mm x 3.040 mm x 2.330 mm
<b>Peso</b>	10.000 Kg
<b>Precio</b>	50.000 €

## A.10. Desarrollo de procesos de fabricación.

### i. Base del chasis.

La fabricación de las dos piezas, las cuales son idénticas, que forman la base del chasis están formadas por 3 procesos de fabricación.

**Proceso A1. Cortar:** Este proceso se realiza con la Cizalla guillotina para corte de chapa QC12Y (ver Anexo A.9.i. *Cizalla guillotina hidráulica para corte de chapa QC12Y*). Dos operarios inicialmente deben pre posicionarla en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con el amarre que proporciona la propia máquina, de manera que la sección quede perpendicular a la mesa de trabajo. La preforma es una chapa de acero S275 con un espesor de 10 mm, una longitud de 2.500 mm y una anchura de 1.000 mm. El tiempo de corte es 0,5 min/chapa, además el tiempo total de preposicionamiento y extracción es de 3 min. Por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 3,5 min/chapa.

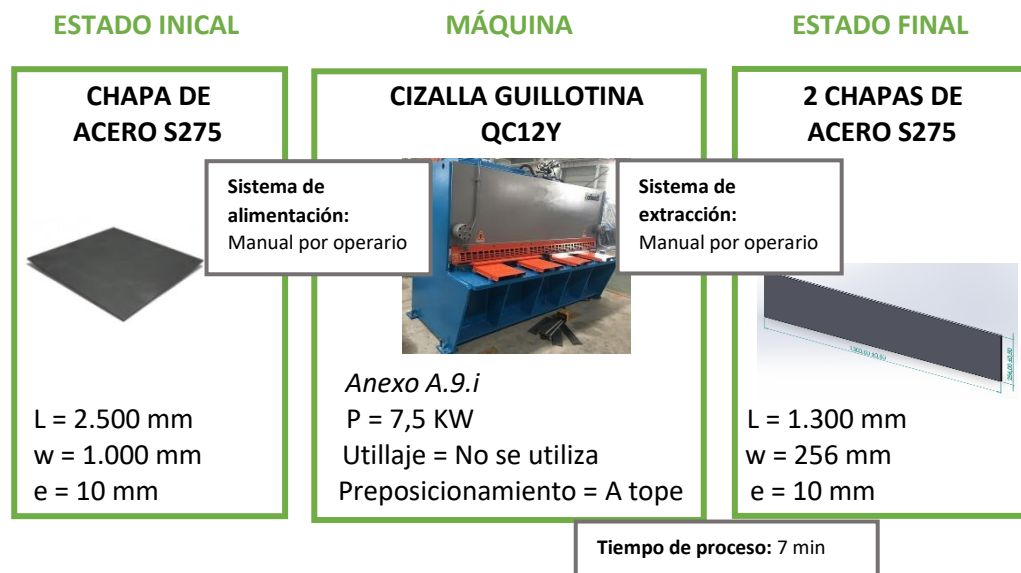


Figura 96. Diagrama de flujo del proceso A1.



## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso A2. Plegado con matrices:** Este proceso se realiza con la plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC. El operario inicialmente debe cargar el plano en el programa de la máquina (ver en Figura 97). En este caso para doblar la chapa con espesor de 10 mm, la V que se coloca es de 50 mm con un ala mínima de plegado de  $H = 30$  mm y se requieren 128 Tn para efectuar el plegado (ver en Figura 99). La matriz y el punzón seleccionados para el proceso son la matriz plegadora promecam M75.85.63 y el punzón PK95.85.R3, cuyas características aparecen en el Anexo A.9.ii. Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC (ver en Figuras 100 y 101). La preforma es una chapa de acero S275 con un espesor de 10 mm, una longitud de 1.300 mm y una anchura de 256 mm. El tiempo de plegado es 2 min /chapa, además el tiempo total de preposicionamiento y extracción es de 5 min. Por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 7 min/chapa.

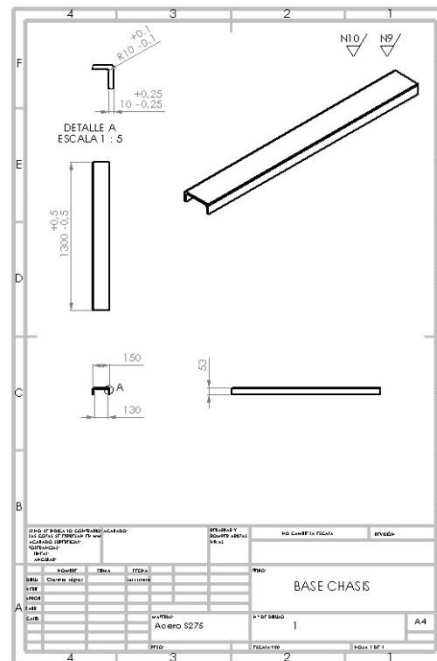


Figura 97. Plano del estado final del proceso A2.

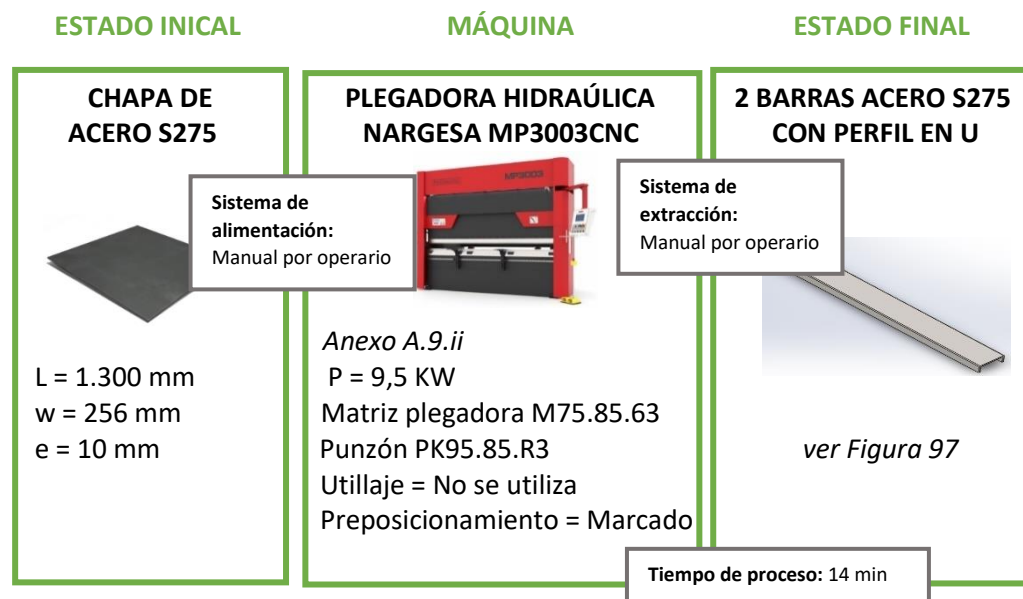


Figura 98. Diagrama de flujo del proceso A2.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso A3. Fresar:** En este proceso se realiza el fresado del extremo que se requiere contornear con la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC (ver Anexo A.9.iii. *Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC*). El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza (ver flechas en *Figura 102*). La preforma es una barra de acero S275 con un perfil en U según el plano que aparece en la *Figura 87*.

Para este proceso se usa una fresa de diámetro 20 mm y una velocidad de avance de 150 mm/min. Por tanto, se necesitan 8 pasadas para completar el contorneado en una primera etapa (siendo el ancho total a contornear de 150 mm con una fresa de 20 mm) y se necesita una segunda etapa para alcanzar toda la profundidad de 53 mm debido a la longitud de rosca de la fresa de  $L_2 = 38$  mm. El tiempo de contorneado total con las 16 pasadas indicadas previamente es 8 min /pieza.

Además, dentro de este mismo proceso también se realiza mediante la fresadora el agujero interno de la base del chasis con la misma fresa indicada en el párrafo anterior y la misma velocidad de avance. Por tanto, se necesitan 5 pasadas para completar el fresado del ancho total del agujero (siendo el ancho total a fresar de 100 mm con una fresa de 20 mm). El tiempo de fresado es 6 min /pieza.

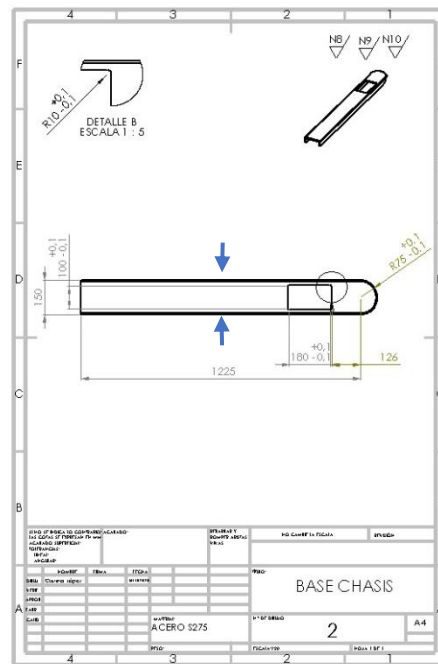


Figura 102. Plano del estado final del proceso A3.1

Por último, también dentro de este mismo proceso se realiza el corte lateral indicado en la *Figura 103* mediante un fresado de la base del chasis girando la pieza 90° y sujetándola por los otros laterales restantes con la misma fresa indicada anteriormente y la misma velocidad de avance (ver flechas en *Figura 103*). Por tanto, se necesitan 3 pasadas para completar el contorneado en una primera etapa (siendo el ancho total a contornear de 43 mm con una fresa de 20 mm) y se necesita girar la pieza 180° para poder realizar el corte del otro lateral. El tiempo de fresado de cada lateral es 2,5 min /pieza, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso de fresado lateral total es de 5 min.

Finalmente, el tiempo total de fresado es 19 min /pieza siendo el tiempo total estimado para las dos piezas de 38 min.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

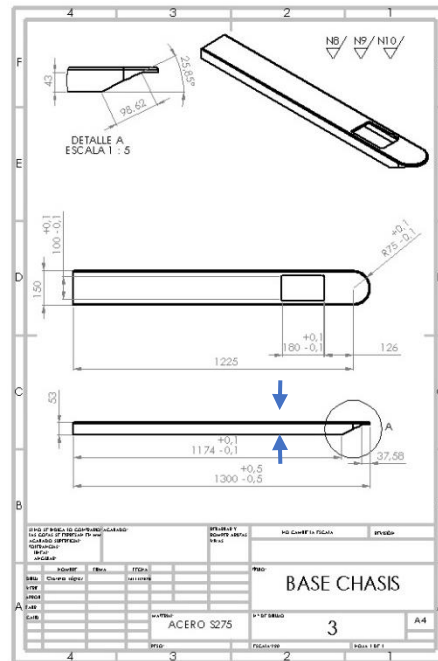


Figura 103. Plano del estado final del proceso A3.2

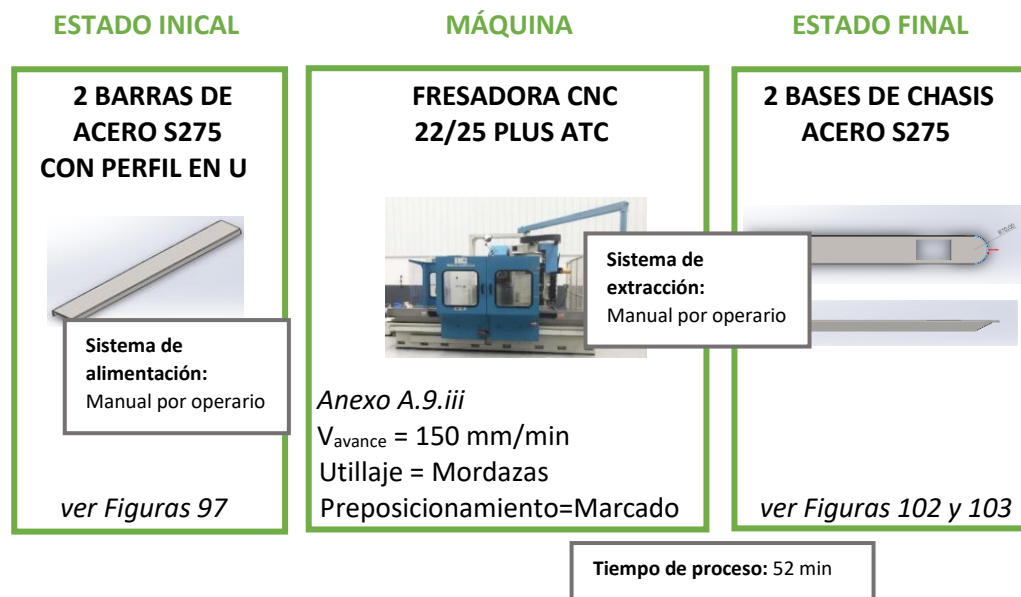


Figura 104. Diagrama de flujo del proceso A3.



ii. Elemento rigidizador.

La fabricación de la pieza que proporciona rigidez al ensamblaje final está formada por 2 procesos de fabricación.

**Proceso B1. Cortar:** Este proceso se realiza con la Sierra de cinta Femi 785XL para corte de perfiles (ver Anexo A.9.iv. Sierra de cinta FEMI 785XL). El operario inicialmente debe pre posicionarla en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con la mordaza que proporciona la propia máquina. La preforma es una barra de acero S275 de sección cuadrada 120 mm x 120 mm con una longitud de 1.000 mm. El tiempo estimado de corte es 0,5 min / barra.

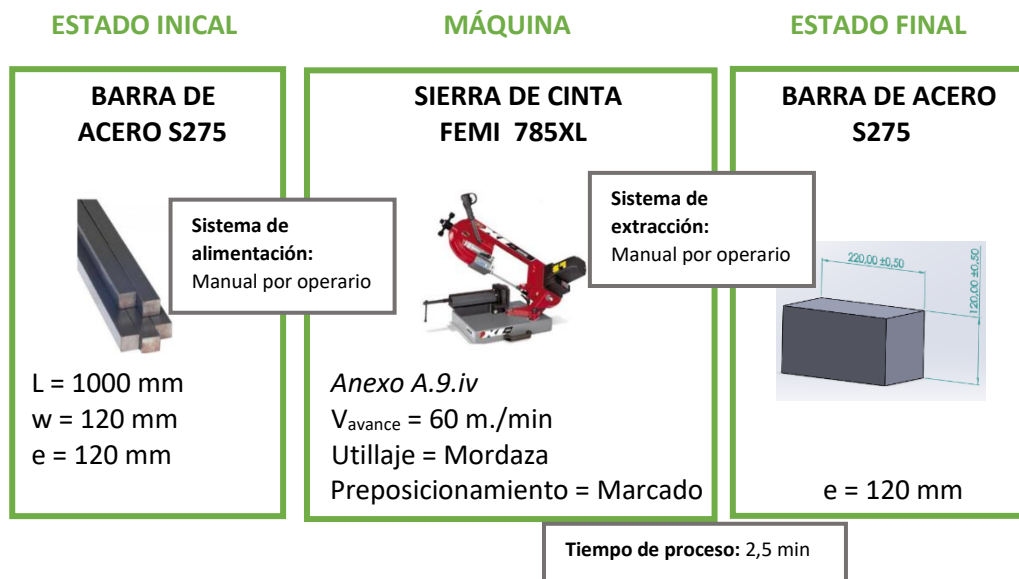


Figura 105. Diagrama de flujo del proceso B1.

**Proceso B2. Fresar:** En este proceso se realiza el fresado para realizar el contorneado de la pieza con la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC (ver Anexo A.9.iii. Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC). El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza con mayor longitud, L = 220 mm (ver flechas azules en Figura 106). La preforma es una barra de acero S275 con un perfil cuadrado de lado de 120 mm.

Para este proceso se usa una fresa de diámetro 25 mm, longitud de rosca de L<sub>2</sub> = 53 mm y una velocidad de avance de 150 mm/min. Por tanto, se necesitan 3 pasadas para reducir la anchura de la pieza de 120 mm a 110 mm realizándose un recorrido a lo largo de los 220 mm de longitud en cada pasada. Sucede lo mismo para reducir el lateral restante de 120 mm a 53 mm, necesitándose en esta ocasión 5 pasadas, realizándose un recorrido a lo largo de los 220 mm de longitud en cada pasada, en dos etapas para alcanzar la profundidad deseada. El tiempo de contorneado es 1,47 min /pasada, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 27,87 min.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

Además, dentro de este mismo proceso también se realiza el vaciado de la pieza con la misma fresa indicada en el párrafo anterior y la misma velocidad de avance. Sin embargo, el operario debe volver a posicionar la pieza en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina y girando la pieza 90° (ver flechas verdes en *Figura 106*). Por tanto, para este proceso, se necesitan 4 pasadas para realizar el vaciado de la pieza dejando un espesor de 10 mm en todo el contorno de la pieza. El tiempo de contorneado es 1,47 min /pasada, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 5,87 min.

Finalmente, el tiempo total de fresado es 33,74 min.

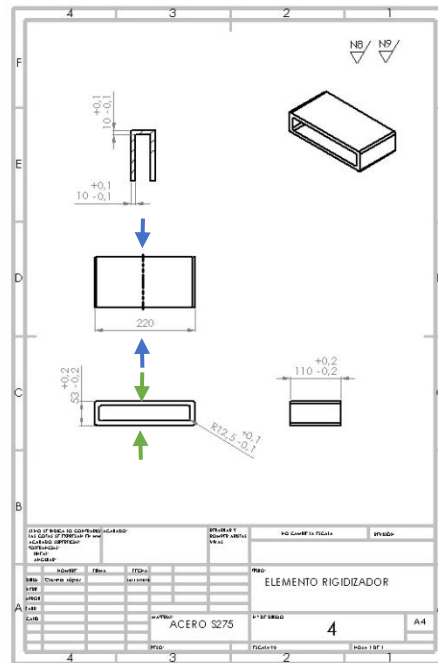


Figura 106. Plano del estado final del proceso B2

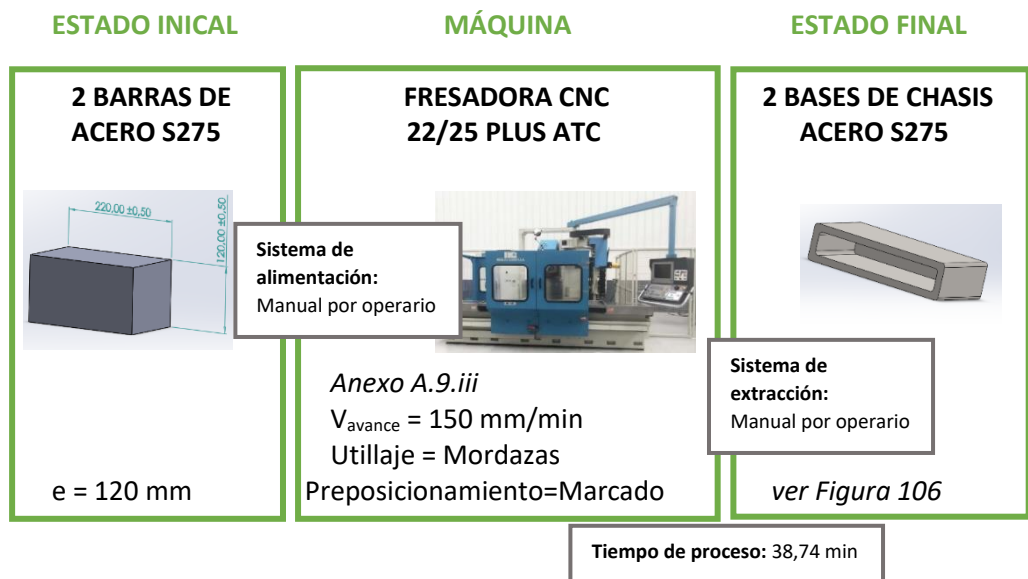


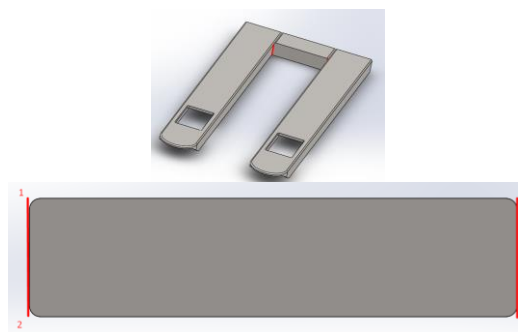
Figura 107. Diagrama de flujo del proceso B2.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

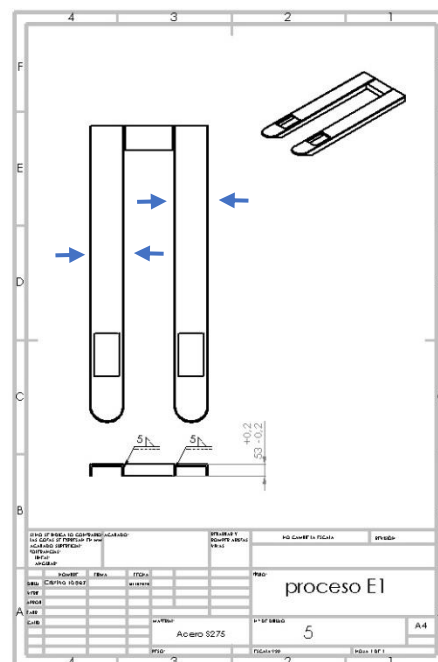
**Proceso E1. Soldar:** Una vez montadas ambas partes que forman la base del chasis y el elemento rigidizador, se procede a realizar su correspondiente unión a través del proceso de soldadura MIG, siendo esta una de las más adecuadas para la unión de piezas de espesores hasta 15 mm (en este caso el espesor a soldar es de 10 mm). También, este tipo de soldadura nos ofrece ventajas como que se puede soldar cualquier tipo de material, velocidades de soldeo elevadas, la posibilidad de realizarla en cualquier posición y la inexistencia de escoria.

En este proceso la fuente de calor se realiza mediante arco y el gas de protección empleado es un gas inerte, empleándose en este caso la mezcla de Ar + CO<sub>2</sub>.

La posición que se emplea para soldar según el código ASME es la posición vertical 3G siguiendo el esquema de la *Figura 108*. Por último, con motivo de conseguir una óptima soldadura en posición vertical del elemento rigidizador con ambas partes de la base del chasis, se alinean las 3 partes tocando su parte trasera con la pared. A su vez, también se colocan dos mordazas para evitar cualquier movimiento que provoque que la base quede soldada de manera inclinada (ver flechas en *Figura 109*).



*Figura 108. Esquema del proceso E1.*



*Figura 109. Plano del proceso E1.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

El consumible que se usa es un alambre de 1 mm de diámetro con una tasa de deposición de 3 Kg/h.

Finalmente, en esta unión se realizan dos cordones, por tanto, se necesitan 106 mm (siendo la altura del rigidizador de 53 mm). Además, se emplea una garganta de soldadura de cordón de 5 mm, formando superficie de 25 mm<sup>2</sup> y entonces, un volumen total a depositar de 2.650 mm<sup>3</sup> (0,0212 kg, siendo la densidad del acero de 8kg/L). Como la tasa de deposición es de 3 kg/h, el tiempo de realización del proceso de soldadura, sin tener en cuenta los tiempos de posicionamiento, es de 0,4 min.

Adicionalmente, el operario encargado de realizar los procesos de soldadura debe tener el título de soldador profesional y debe tener en cuenta antes del pre posicionamiento que es necesario comprobar el voltaje de red, las clavijas, enchufes, intensidades, fusibles y el extractor de humos.

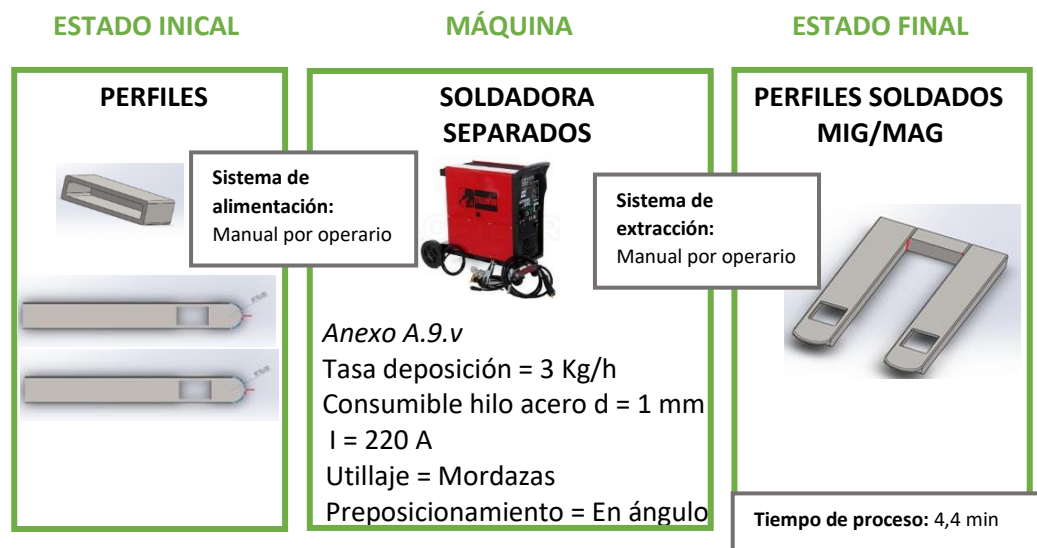


Figura 110. Diagrama de flujo del proceso E1.

## iii. Cuerpo del chasis.

La fabricación de la pieza que forma el cuerpo del chasis está formada por 3 procesos de fabricación.

**Proceso C1. Cortar:** Este proceso, al ser más complejo que los anteriores cortes, requiere una máquina más precisa. Entonces, se realiza con la máquina de corte por láser G3015HF (ver Anexo A.9.vi. Máquina de corte por láser G3015HF). El operario inicialmente debe pre posicionarla en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con el amarre que proporciona la propia máquina. La preforma es el resto de la chapa de acero S275 previamente cortada en el proceso A1 con un espesor de 10 mm, una longitud de 1.200 mm y una anchura de 1.000 mm. El tiempo de corte es 4 min, además el tiempo total de preposicionamiento y extracción es de 2 min. Por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 6 min.

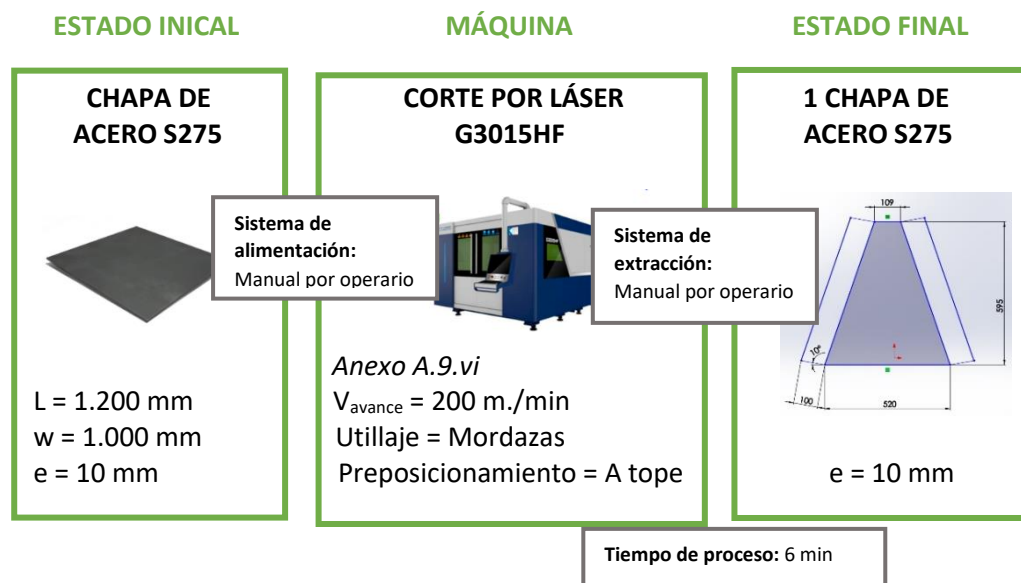


Figura 111. Diagrama de flujo del proceso C1.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso C2. Plegado con matrices:** Este proceso se realiza con la plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC. El operario inicialmente debe cargar el plano en el programa de la máquina (ver en Figura 112). En este caso la matriz y el punzón seleccionados para el proceso son los mismos que para el proceso A2 (la matriz plegadora promecam M75.85.63 y el punzón PK95.85.R3, cuyas características aparecen en el Anexo A.9.ii. *Plegadora hidráulica NARGESA MP3003CNC* (ver en Figuras 100 y 101)). La preforma es una chapa de acero S275 con un espesor de 10 mm y una sección que se representa en la Figura 111. El tiempo de plegado es 2 min, además el tiempo total de pre posicionamiento y extracción es de 5 min. Por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 7 min.

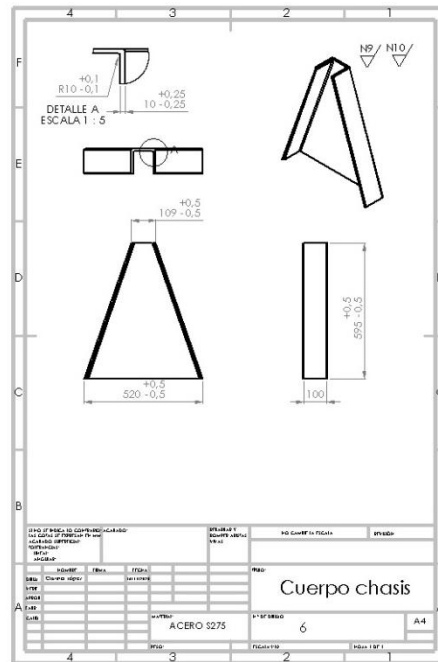


Figura 112. Plano del estado final del proceso C2.

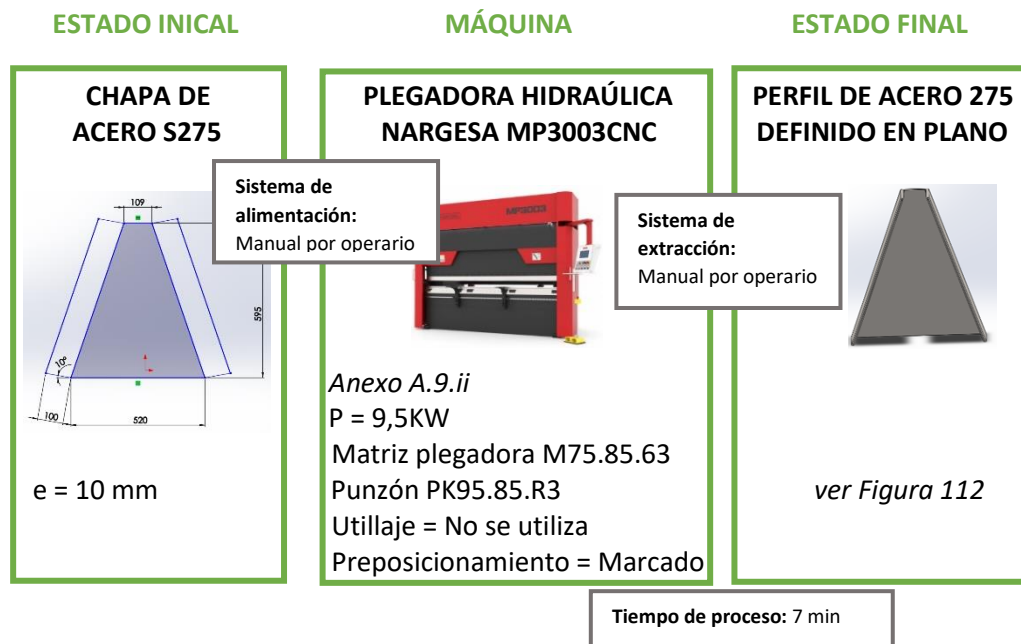


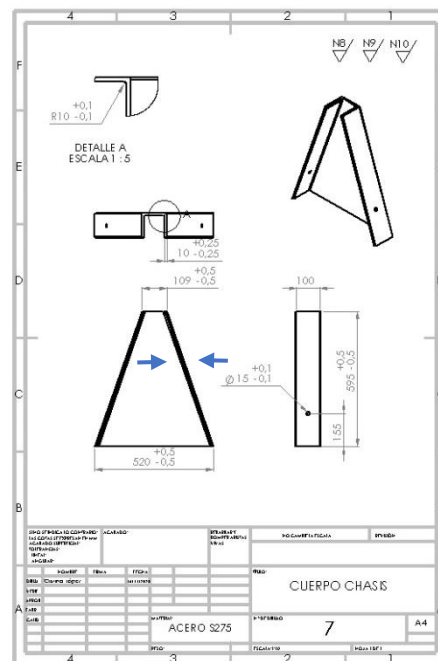
Figura 113. Diagrama de flujo del proceso C2.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso C3. Taladrar:** En este proceso se realizan los agujeros laterales de la pieza que unen el balancín 1 con el cuerpo del chasis, a través de la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC (ver Anexo A.9.iii. *Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC*). Para este proceso se usa una broca de diámetro 15 mm y una velocidad de avance de 0,2 mm/rev. El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza (ver flechas en *Figura 114*). La preforma es una pieza de acero S275 con un perfil definido según el plano que aparece en la *Figura 113*.

El avance de la broca es de 0,2 mm/rev y alcanza un velocidad de 200 rpm a una velocidad de corte de 20 m/min. Por tanto, el tiempo necesario para realizar un agujero es de 0,8 min.

$$* T_{\text{taladrado}} = \frac{L + \frac{d}{3}}{v_f \cdot n} = \frac{10 \text{ mm} + \frac{15 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} = 0,4 \text{ min.}$$



*Figura 114. Plano del estado final del proceso C3*

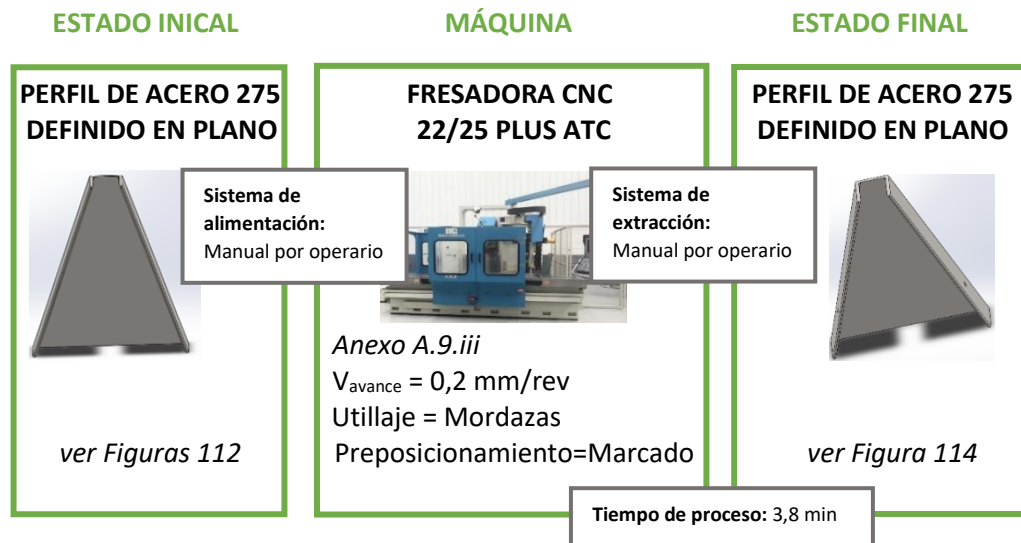


Figura 115. Diagrama de flujo del proceso C3.



## iv. Tapa del chasis.

La fabricación de la pieza que cierra la parte superior del ensamblaje final está formada por 4 procesos de fabricación.

**Proceso D1. Cortar:** Este proceso se realiza con la Sierra de cinta Femi 785XL para corte de perfiles (ver Anexo A.9.iv. *Sierra de cinta FEMI 785XL*). El operario inicialmente debe pre posicionarla en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con la mordaza que proporciona la propia máquina. La preforma es una barra de acero S275 de sección cuadrada 120 mm x 120 mm con una longitud de 1.000 mm. El tiempo estimado de corte es 0,5 min / barra. (ver Anexo A.9.iv. *Sierra de cinta FEMI 785XL*)

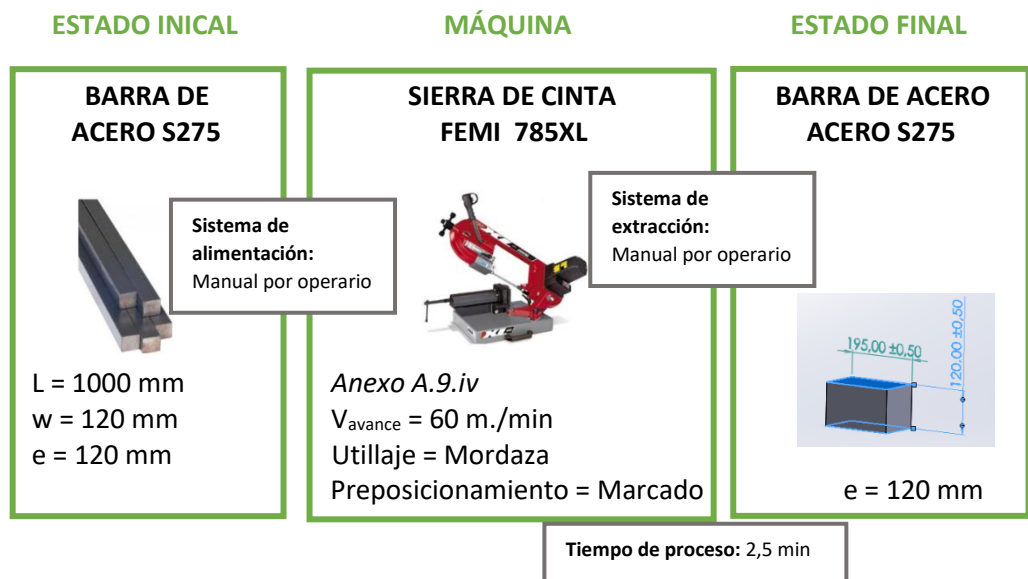


Figura 116. Diagrama de flujo del proceso D1.

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso D2. Fresar:** En este proceso se realiza el fresado para realizar el contorneado de la pieza con la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC (ver *Anexo A.9.iii. Fresadora CNC CF 22/25 PLUS ATC*). El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza con mayor longitud,  $L = 195$  mm (ver flechas en *Figura 118*). La preforma es una barra de acero S275 con un perfil cuadrado de lado de 120 mm y una longitud de 195 mm.

Para este proceso se usa una fresa de diámetro 20 mm, longitud de rosca de  $L_2 = 38$  mm y una velocidad de avance de 150 mm/min. Por tanto, se necesitan 6 pasadas para reducir la anchura de la pieza de 120 mm a 50 mm realizándose un recorrido a lo largo de los 195 mm de longitud en cada pasada, en dos etapas para alcanzar la profundidad deseada. El tiempo de contorneado es 1,3 min /pasada, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 15,6 min.

Una vez obtenido el tamaño deseado, se realiza el contorneado frontal para conseguir la forma semicircular del externo empleando la misma fresa indicada en el párrafo anterior y la misma velocidad de avance. Por tanto, se necesitan 3 pasadas para conseguir la forma semicircular en su extremo realizándose un recorrido a lo largo de los 120 mm de longitud en cada pasada, en dos etapas para alcanzar la profundidad deseada. El tiempo de contorneado es 0,8 min /pasada, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso es de 4,8 min.

Finalmente, el tiempo total de fresado es 20,4 min.

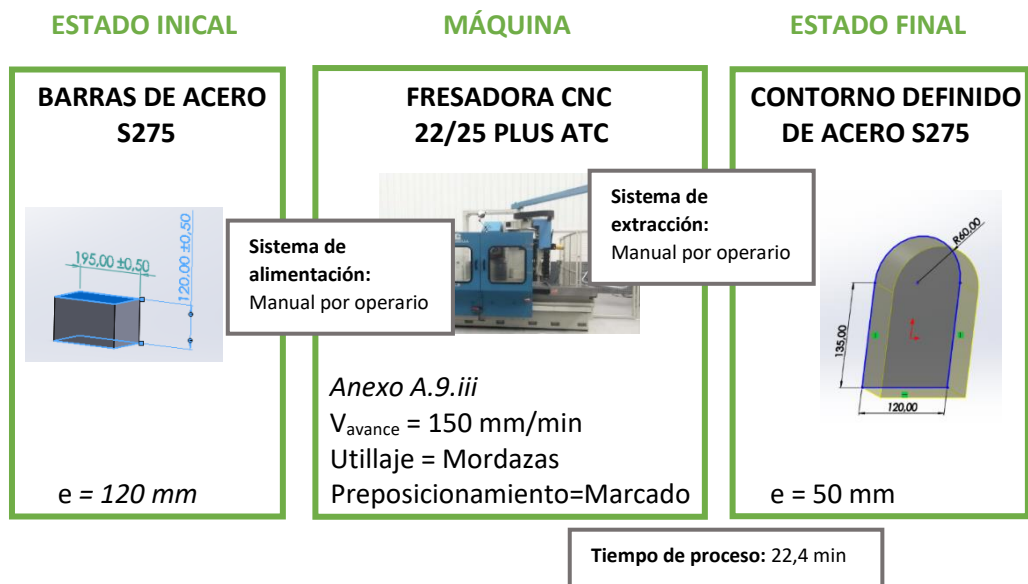


Figura 117. Diagrama de flujo del proceso D2.

**Proceso D3. Taladrar:** En este proceso se realiza el agujero frontal de la tapa del chasis, a través de la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC. El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza. La preforma es una pieza de acero S275 con un perfil definido según el plano que aparece en la *Figura 117*.

Para este proceso se usan brocas de diferentes diámetros hasta conseguir la medida deseada ( $d_1 = 10 \text{ mm}$ ,  $d_2 = 20 \text{ mm}$ ,  $d_3 = 30 \text{ mm}$ ,  $d_4 = 40 \text{ mm}$ ,  $d_5 = 50 \text{ mm}$ ).

El avance de la broca es de  $0,2 \text{ mm/rev}$  y alcanza un velocidad de  $200 \text{ rpm}$  a una velocidad de corte de  $20 \text{ m/min}$ . Por tanto, el tiempo necesario para realizar el agujero deseado es de  $9,5 \text{ min}$ .

$$\begin{aligned}
 * T_{\text{taladrado}} &= \frac{L + \frac{d}{3}}{v_f \cdot n} \\
 &= \frac{50 \text{ mm} + \frac{10 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} + \frac{50 \text{ mm} + \frac{20 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} + \frac{50 \text{ mm} + \frac{30 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} + \frac{50 \text{ mm} + \frac{40 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} + \frac{50 \text{ mm} + \frac{50 \text{ mm}}{3}}{0,2 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \cdot 200 \frac{\text{rev}}{\text{min}}} \\
 &= 7,5 \text{ min.}
 \end{aligned}$$

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso D4. Fresar:** En este proceso se realiza el vaciado frontal de la tapa del chasis, a través de la fresadora CNC 22/25 PLUS ATC. El operario inicialmente debe pre posicionar la pieza del estado inicial en la mesa de manera horizontal para poder sujetarla adecuadamente con las mordazas que contiene la máquina por los laterales de la pieza (ver flechas en *Figura 118*). La preforma es una pieza de acero S275 con un perfil definido según el plano que aparece en la *Figura 117* con el agujero frontal ya realizado.

Para este proceso se usa una fresa de diámetro 25 mm, una longitud de rosca de 53 mm y una velocidad de avance de 150 mm/min. Por tanto, para este proceso, se necesitan 5 pasadas para realizar el vaciado de la pieza dejando un espesor de 5 mm en todo el contorno de la pieza y realizándose un recorrido a lo largo de los 195 mm de longitud en cada pasada. El tiempo de contorneado es 1,3 min /pasada, por lo tanto, el tiempo total estimado del proceso vaciado es de 6,5 min.

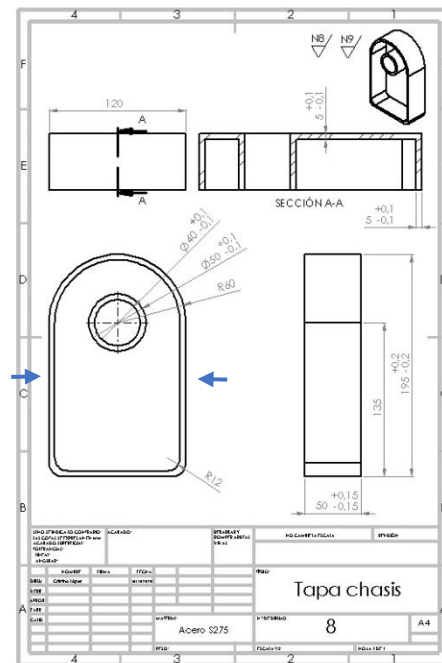


Figura 118. Plano del estado final del proceso D4

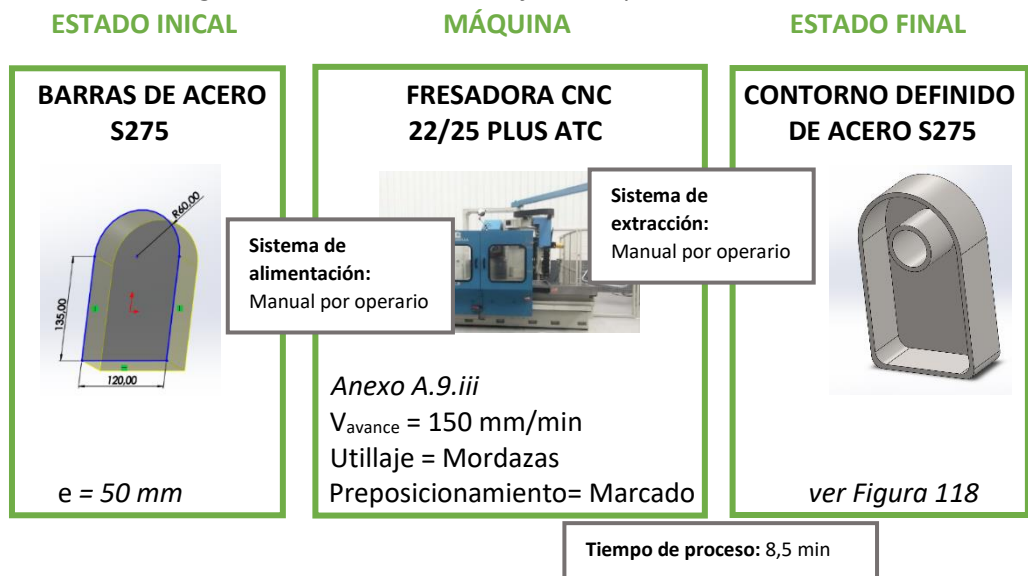
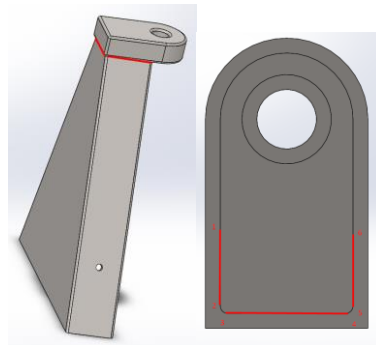


Figura 119. Diagrama de flujo del proceso D4.

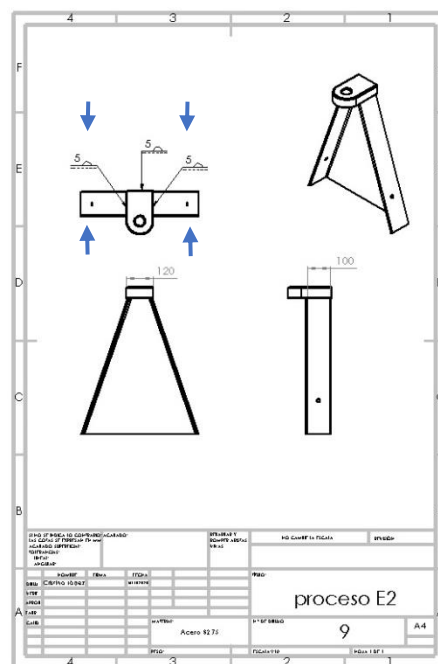
## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso E2. Soldar:** Una vez montados el cuerpo del chasis y su tapa correspondiente, se procede a realizar su unión a través del mismo proceso de soldadura MIG empleado en el proceso de unión anterior.

La posición que se emplea para soldar según el código ASME es la posición horizontal 2G siguiendo el esquema de la *Figura 120*. Por último, con motivo de conseguir una óptima soldadura en posición horizontal del cuerpo del chasis con la tapa, se usa una escuadra para comprobar la paralelidad de ambas piezas. A su vez, también se colocan dos mordazas para evitar cualquier movimiento que provoque que el cuerpo del chasis vuelque (ver flechas en *Figura 121*).



*Figura 120. Esquema del proceso E2.*



*Figura 121. Plano del proceso E2.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

El consumible que se usa es un alambre de 1 mm de diámetro con una tasa de deposición de 3 Kg/h.

Finalmente, en esta unión se realizan tres cordones, por tanto, se necesitan 309 mm (siendo la anchura de la tapa de 109 mm y la anchura del cuerpo del chasis 100 mm). Además, se emplea una garganta de soldadura de cordón de 5 mm, formando superficie de 25 mm<sup>2</sup> y entonces, un volumen total a depositar de 7.725 mm<sup>3</sup> (0,0618 kg, siendo la densidad del acero de 8kg/L). Como la tasa de deposición es de 3 kg/h, el tiempo de realización del proceso de soldadura, sin tener en cuenta los tiempos de posicionamiento, es de 1,3 min.

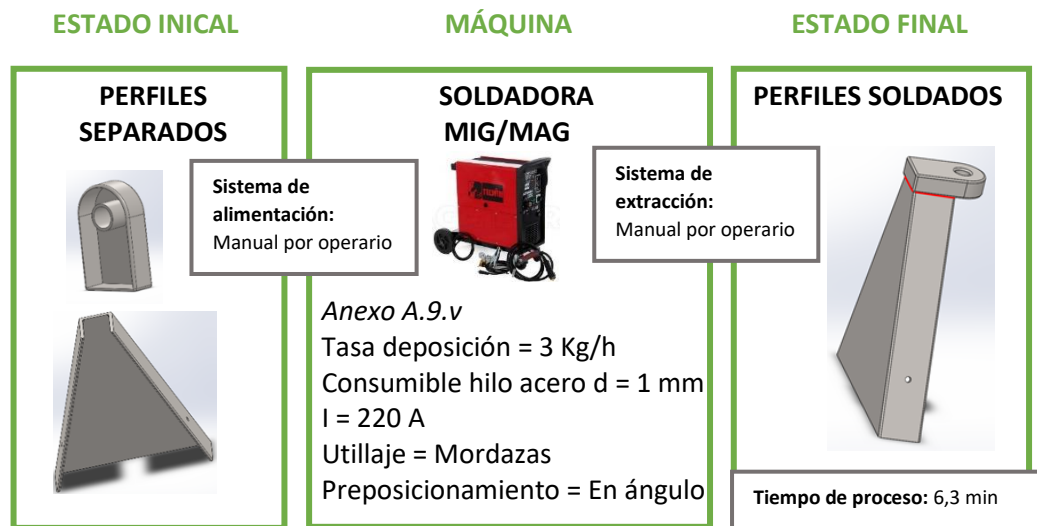
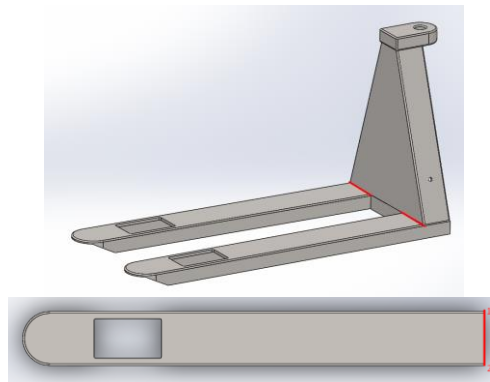


Figura 122. Diagrama de flujo del proceso E2.

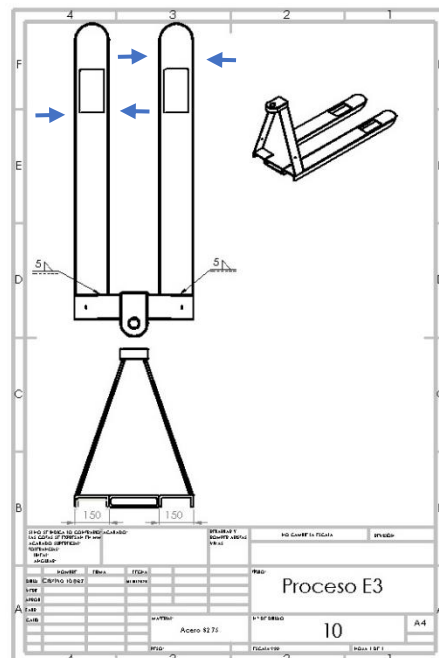
## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

**Proceso E3. Soldar:** Una vez montadas las partes principales del modelo, se procede a realizar su unión a través del mismo proceso de soldadura MIG empleado en el proceso de unión anterior.

La posición que se emplea para soldar según el código ASME es la posición horizontal 2G siguiendo el esquema de la *Figura 123*. Por último, con motivo de conseguir una óptima soldadura en posición horizontal del cuerpo del chasis con la base, se colocan dos mordazas para evitar cualquier movimiento que provoque que el cuerpo del chasis vuelque (ver flechas en *Figura 124*).



*Figura 123. Esquema del proceso E3.*



*Figura 124. Plano del proceso E3.*

## CÁLCULO, DISEÑO Y PLANIFICACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE UNA TRASPALETA

El consumible que se usa es un alambre de 1 mm de diámetro con una tasa de deposición de 3 Kg/h.

Finalmente, en esta unión se realizan dos cordones, por tanto, se necesitan 300 mm (siendo la anchura de la base del chasis 150 mm). Además, se emplea una garganta de soldadura de cordón de 5 mm, formando superficie de 25 mm<sup>2</sup> y entonces, un volumen total a depositar de 7.500 mm<sup>3</sup> (0,06 kg, siendo la densidad del acero de 8kg/L). Como la tasa de deposición es de 3 kg/h, el tiempo de realización del proceso de soldadura, sin tener en cuenta los tiempos de posicionamiento, es de 1,2 min.

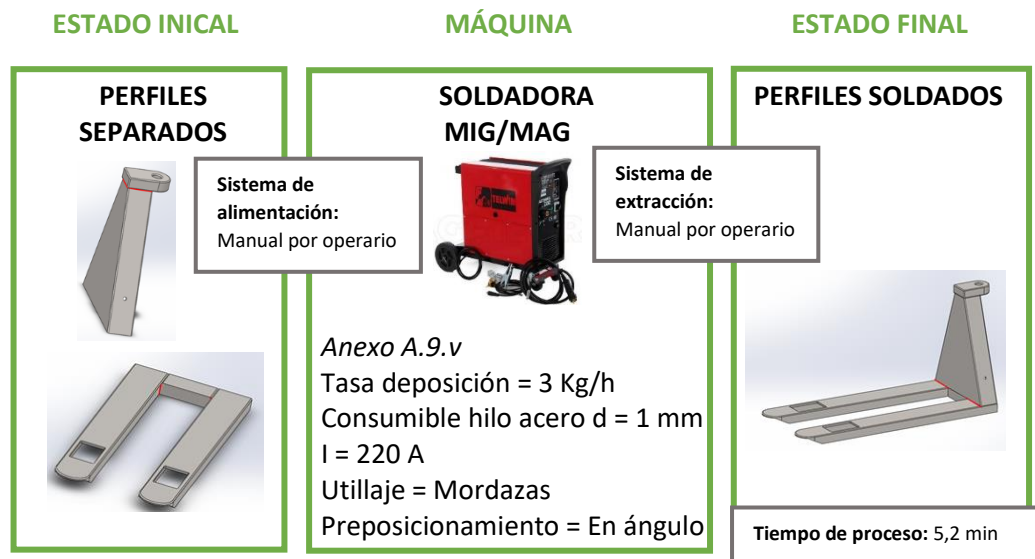


Figura 125. Diagrama de flujo del proceso E3.