



**GRADO EN MECÁNICA**

TRABAJO FIN DE GRADO

2015 / 2016

**PROYECTO DE DISEÑO DE UN DISPENSADOR AUTOMÁTICO DE PALETS**

**3. ANEXOS**

**DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO**

NOMBRE SERGIO  
 APELLIDOS PÉREZ VIGIOLA

FDO.:

FECHA: 16-06-2016

**DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA**

NOMBRE ITZIAR  
 APELLIDOS MARTIJA LÓPEZ  
 DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA: 16-06-2016

## 3.1. Índice de los anexos

<b>3. ANEXOS.....</b>	<b>3.0</b>
<b>3.1. Índice de los anexos .....</b>	<b>3.i</b>
<b>3.2 Uñas escamoteables.....</b>	<b>3.2</b>
<b>3.3 Cilindro neumático y compresor .....</b>	<b>3.3</b>
<b>3.4 Bastidor móvil.....</b>	<b>3.4</b>
<b>3.5 Bastidor despaletizador.....</b>	<b>3.11</b>
<b>3.6 Patas regulables .....</b>	<b>3.27</b>
<b>3.7 Uniones atornilladas .....</b>	<b>3.30</b>
<b>3.8 Uniones soldadas .....</b>	<b>3.43</b>

### 3.2 Uñas escamoteables

La uñas escamoteables de este proyecto tiene el siguiente código de identificación: DSNU-32-80-PPV-A.

- DSNU: modelo del cilindro.
- 32: diámetro del émbolo.
- 80: carrera.
- PPV: amortiguación neumática.
- A: detector de posición.

El dispensador tendrá como carga máxima 12 palets con 24,79 kg cada uno, por lo que la masa total es de 297,48 kg y como este dispensador consta de cuatro uñas escamoteables, la masa que tiene que soportar cada accesorio de la uña será de 74,37 kg. Para la comprobación a flexión se ha supuesto que el palets se encuentra justo en el borde de la uña escamoteables ya que es la situación más peligrosa. También se comprobará el cortante a pesar de ser muy inferior a la tensión del momento flector.

$$\sigma_{Mf} = \frac{Mf \cdot y}{I} \quad (1)$$

$$\tau_v = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} \quad (2)$$

$$\sigma_{Mf} = \frac{Mf \cdot y}{I} = \frac{(74,37 \text{ kg} \cdot 80 \text{ mm}) \cdot 10 \text{ mm}}{\frac{\pi \cdot 10^4 \text{ mm}^4}{4}} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 74,31 \text{ MPa}$$

$$\tau_v = \frac{4 \cdot V}{3 \cdot A} = \frac{4 \cdot 74,37 \text{ kg}}{3 \cdot (\pi \cdot 10^2 \text{ mm}^2)} \cdot 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} = 3,09 \text{ MPa}$$

Combinando ambos esfuerzos mediante Von Mises se obtendrá el C.S. que si es mayor que 1 significa que la sección soportara estos esfuerzos.

$$(3) \quad \sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_v^2} = 74,50 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,15 > 1$$

A continuación conociendo la velocidad con la que la uña se despliega y se recoge (1m/s), se calculará el caudal de aire necesario, además se tiene que tener en cuenta que el área con la que el aire ejerce su presión en el proceso de extendido y recogido. Cuando la uña escamoteable se extiende el aire ejerce su presión en la cara completa del émbolo, es decir, su área de contacto es de  $8,04 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , mientras que cuando la uña se recoge hay que restar el área de la sección del vástago, es decir, su área de contacto con el aire es de  $3,80 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ .

$$Q = v \cdot A \quad (4)$$

Por lo que el caudal total es:  $(8,04 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3/\text{s} + (3,80 \cdot 10^{-4}) \text{ m}^3/\text{s} = 1,184 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Por último se escogerá la presión de 4 bar como presión de trabajo, ya que no hay ninguna condición porque no eleva ninguna carga en vertical y no se tendrá en cuenta la masa de cada uña ya que no llegan a 0,5 kg.

### 3.3 Cilindro neumático y compresor

El cilindro de este proyecto tiene el siguiente código de identificación: DNC-125-250-PPV-A.

- DNC: modelo del cilindro.
- 125: diámetro del émbolo.
- 250: carrera.
- PPV: amortiguación neumática.
- A: detector de posición.

En este caso habrá que tener en cuenta la masa del cilindro, su masa será 6.771 gr más 168 gr por cada 10 mm de carrera, es decir que la masa total es de 10.971 gr, lo que es lo mismo, 10,971 kg.

La masa que debe de soportar es la siguiente: la masa del bastidor móvil, la de la cuna de entrada, la de la cuna simétrica y la de los doce palets como capacidad máxima, es decir un total de 485,475 kg (el resto de masa son pequeñas en comparación, por lo que se desprecian), lo que es lo mismo, 4,76 KN.

Cuando el cilindro hace que el bastidor con toda la carga descienda, el área de contacto con el aire a presión es de 0,01227 m<sup>2</sup> mientras que el área de contacto en el ascenso, siguiendo el procedimiento de las uñas escamoteables, es de 0,01169 m<sup>2</sup>. Por lo que la presión de descenso como la de descenso en el cilindro será de 3,88 bar y 4,07 bar respectivamente. En este proyecto se asignará una presión de 6 bar, pero hay que tener en cuenta que hay pérdidas mecánicas, con 4 bar se suelen tener el 5% de pérdidas mientras que con 8 bar se originan un 15%, por lo que interpolando, para 6 bar se tendrá un 10%. En este caso con 6 bar y el área de contacto en el descenso se obtiene una fuerza de 7,36 KN, aplicando ese 10% de pérdidas, la fuerza resultante en el descenso es de 6,6263 KN. En el caso del ascenso de la carga se aplicará lo mismo, es decir, 6 bar de presión de trabajo, con el área de contacto en el ascenso y la presión de 6 bar se obtiene una fuerza de 7,014 KN, aplicando de nuevo el 10% de pérdidas mecánicas se obtiene una fuerza de 6,3126KN. Resumiendo, en el cilindro, que es el que se encarga del ascenso y descenso de toda la carga, ejercerá las fuerzas de 6,6263 KN y 6,3126 KN en el descenso y en el ascenso respectivamente. En este caso hay que comprobar que la velocidad de impacto del cilindro no sea excesiva ya que podría dar lugar a fallo. En la página 10 del catálogo de cilindros FESTO, que es el catálogo de donde se selecciona este cilindro neumático, nos recomiendan que la velocidad no supere los 1,5 m/s. Para calcular esta velocidad de impacto se debe de tener en cuenta la masa del propio cilindro (10,971 kg), la masa de la carga (484,475 kg) y el valor de energía de impacto admisible (Eadm) que según dicho catálogo adquiere el valor de 5.

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{adm}}{m_{propia} + masa_{carga}}} < 1,5 \frac{m}{s} \quad (5)$$

Sustituyendo los valores se obtiene un velocidad de impacto de 0,14, que es muy inferior a la que se indica como velocidad límite que es de 1,5 /s.

A continuación utilizando las áreas de descenso y ascenso y aplicando la ecuación (4) y el procedimiento seguido en el cálculo del caudal de las uñas escamoteables se obtiene un caudal total de 3,34\*10<sup>-3</sup> m<sup>3</sup>/s. Por último se seleccionará el compresor necesario para abastecer al cilindro y las cuatro uñas escamoteables. Como se empleará un presión de 6 bar en el cilindro y 4 bar por cada uña escamoteable, se requiere un compresor que al menos produzca una presión de 22 bar, se ha seleccionado un compresor tipo BOGE K8 con una presión máxima de 40bar.

### 3.4 Bastidor móvil

En este apartado se analizará la resistencia del bastidor móvil. El procedimiento será el siguiente: se irán trasladando las cargas y sus efectos asociados a las diferentes zonas del bastidor móvil, comenzando por los extremos inferiores y finalizando por el cuadro del bastidor. Se ha de recordar que se empleará un perfil cuadrado hueco de 80x80x4 mm.

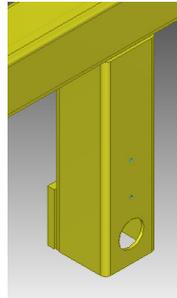


Figura 1. Extremo inferior del bastidor móvil.

La condición de contorno que se le ha impuesto es un empotramiento en la parte superior que es la zona de la soldadura.

En esta zona del bastidor sumando la masa correspondiente de los palets, la uña escamoteable, la cuna de entrada, la cuna simétrica de entrada y la masa propia de esta zona se obtiene una masa total de 95,911 kg que es mucho menor que la resistencia a máxima a tracción de este tipo de perfil (26.799m18 kg). A partir de ahora para saber si las diferentes zonas del dispensador de palets van resistiendo a las cargas, se calculará el C.S. y si es mayor que la unidad significa que aguanta. Todas las tensiones con signo negativo indican que son a compresión, y se tomarán como valor absoluto a la hora de los cálculos, ya que se estudiará siempre el punto más crítico de la sección.

$$\sigma = \sigma^N + \sigma^{Mf} = \frac{F}{A} + \frac{Mf}{W_{el}} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} \tag{6}$$

$$\sigma = 0,2959 \frac{kg}{mm^2} = 2,903 MPa < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 80,95 > 1$$

La siguiente zona a estudio es la siguiente:

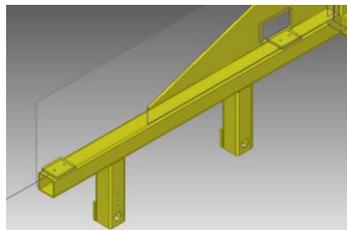


Figura 2. Viga horizontal del bastidor móvil.

En este caso la masa propia a añadir a los anteriores esfuerzos es la de la propia viga (13,659 kg). Se comprobará que la flecha en el extremo no es excesiva y se tendrá en cuenta el torsor que se combinará con el momento flector para dar la tensión máxima que se situará en el extremo soldado al cuadro del bastidor cuya condición de contorno es un empotramiento ya

que está soldado. (El cortante se desprecia ya que genera una tensión muy inferior a la del momento flector).

Aplicando la ecuación (1) se obtiene una tensión  $\sigma$  de  $6,12 \text{ kg/mm}^2=60,1 \text{ MPa}$ , el momento torsor es de  $5949,6 \text{ kg} \cdot \text{mm}^2$  y la tensión resultante es la siguiente:

$$\tau_{Mt} = \frac{T}{2 \cdot t \cdot Am} \tag{7}$$

$$\tau_{Mt} = 0,1287 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 1,26 \text{ MPa}$$

Combinando la tensión generada por el momento torsor y por el momento flector y aplicando el procedimiento de la ecuación (3) se obtiene el C.S.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 60,08 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,91 > 1$$

Por último se obtiene la flecha máxima ( $y_{\text{máx}}$ ) mediante el software CESPLA:

$$y_{\text{máx}} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} \tag{8}$$

$$4,122 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = \frac{1500}{300} = 5 \text{ mm}$$

A continuación, la última zona a analizar es el cuadro del bastidor móvil, el cual se analizará en la situación de parado, ascenso y descenso del bastidor móvil.

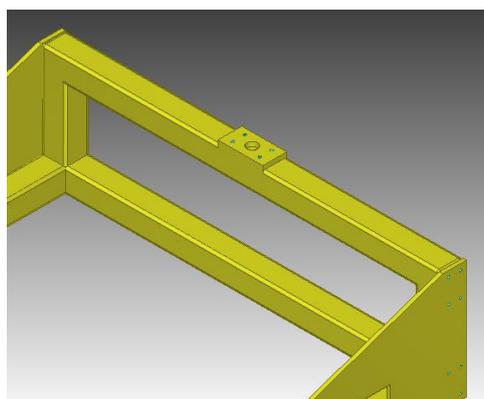


Figura 3. Cuadro del bastidor móvil.

- Situación de reposo: apoyos móviles en los extremos y apoyo fijo en el punto medio de la viga superior.
- Situación de ascenso: apoyos fijos en los extremos inferiores y apoyos móviles en los extremos superiores.
- Situación de descenso: apoyos fijos en los extremos inferiores y apoyos móviles en los extremos superiores.

Situación de reposo:

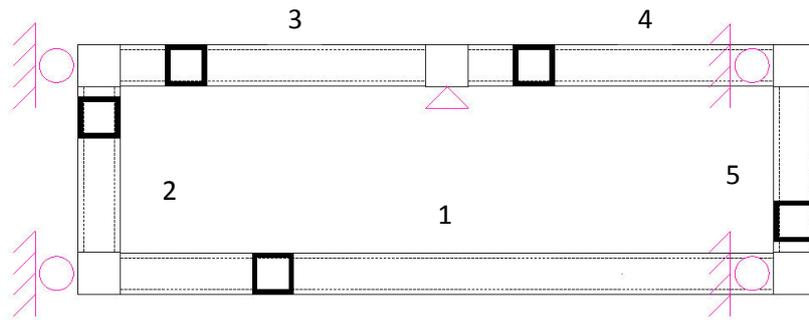


Figura 4. Cuadro del bastidor móvil (reposo).

Mediante CESPLA obtendremos los esfuerzos de cada tramo y aplicando las ecuaciones (3), (6) y (7) se obtienen las tensiones.

$$\text{Tramo 1} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 8,17 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 815,474 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 2,88 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 62,55 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,75 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,38 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = \frac{1330 \text{ mm}}{300} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 2} \begin{cases} N = 195,4 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,63 \text{ MPa} \\ V = 135,851 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 5.5265,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 19,53 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_T = 81,21 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,89 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,025 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 199,4 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 79.348,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 28,04 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 68,49 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,43 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{m\acute{a}x} = 0,32 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{665}{300} = 2,21 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 4} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 209,69 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 79.348,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 28,04 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 68,49 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,43 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{m\acute{a}x} = 0,33 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{665}{300} = 2,21 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 5} \begin{cases} N = 195,19 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,67 \text{ MPa} \\ V = 161,59 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 58085 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 20,52 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_T = 82,24 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,85 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 5 es de 0,022 mm, lo que prácticamente 0 mm.

Situación de ascenso:

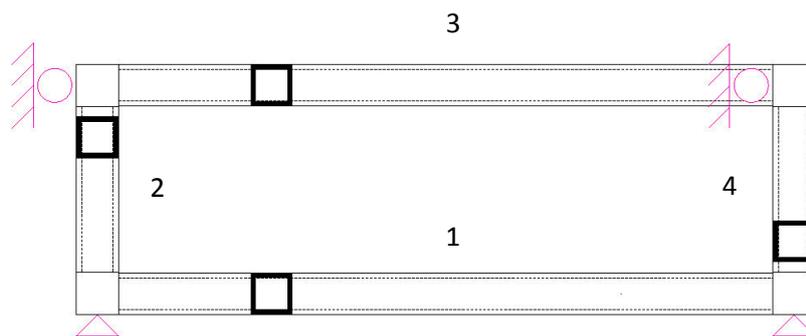


Figura 5. Cuadro del bastidor móvil (ascenso).

Para esta situación se ha introducido la fuerza de ascenso de 643,48 kg en el punto medio del tramo 3 y con sentido positivo, además se ha introducido la fuerza de inercia también en el punto medio del tramo 3 pero en sentido negativo, para obtener la fuerza de inercia se ha considerado la aceleración de 2 m/s<sup>2</sup> y una masa de 485,47 kg, así dando una Fi de 970,95 N, lo que es lo mismo, 98,97 kg.

Mediante CESPLA obtendremos los esfuerzos de cada tramo y aplicando las ecuaciones (3), (6) y (7) se obtienen las tensiones.

$$\text{Tramo 1} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 9,21 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 8.971,65 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 3,17 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{M_f}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 62,56 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,75 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\max} = 0,065 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{1330 \text{ mm}}{300} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 2} \begin{cases} N = 261,47 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg}; \sigma = 2,18 \text{ MPa} \\ V = 188,61 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 73.994,1 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 26,14 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_T = 88,37 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,65 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,032 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 273,2 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 94.835,6 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 33,51 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{M_f}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 70,90 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,31 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\max} = 0,43 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{1330}{300} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 4} \begin{cases} N = 263,64 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg}; \sigma = 1,45 \text{ MPa} \\ V = 211,02 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 75436,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 26,65 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_T = 88,75 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,64 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 4 es de 0,03 mm, lo que prácticamente 0 mm.

Situación de descenso:

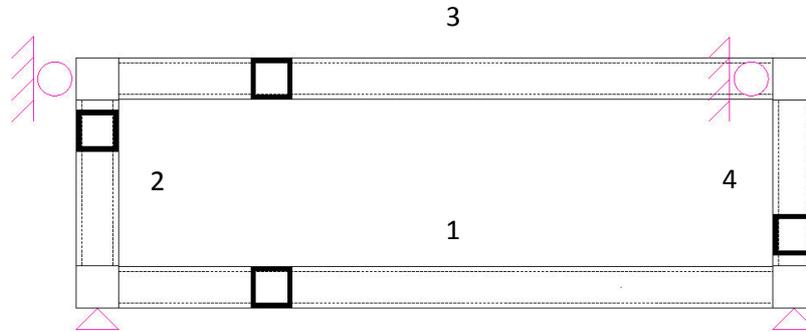


Figura 6. Cuadro del bastidor móvil (descenso).

Para esta situación se ha introducido la fuerza de descenso de 675,46 kg en el punto medio del tramo 3 y con sentido negativo, además se ha introducido la fuerza de inercia también en el punto medio del tramo 3 pero en sentido positivo, para obtener la fuerza de inercia se ha considerado la aceleración de 2 m/s<sup>2</sup> y una masa de 485,47 kg, así dando una Fi de 970,95 N, lo que es lo mismo, 98,97 kg.

Mediante CESPLA obtendremos los esfuerzos de cada tramo y aplicando las ecuaciones (3), (6) y (7) se obtienen las tensiones.

$$\text{Tramo 1} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 2,89 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 9.410,11 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 3,32 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 62,57 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,75 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{m\acute{a}x} = 0,060 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{1330 \text{ mm}}{300} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 2} \begin{cases} N = -295,383 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,63 \text{ MPa} \\ V = 235,3 < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 82335,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 29,09 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

En este caso, al tener el axial de compresión la tensión total se va a considerar que el punto más peligroso de la sección es el que está comprimido.

$$\sigma_T = 90,77 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,58 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,032 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \begin{cases} N = 0 \text{ kg} \\ V = 293,21 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 102.024 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 36,08 \text{ MPa} \\ M_t = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,07 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{Mf}^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 72,14 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,25 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\max} = 0,46 \text{ mm} < y_{adm} = \frac{L}{300} = \frac{1330}{300} = 4,43 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 4} \begin{cases} N = -293,25 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg}; \sigma = 1,62 \text{ MPa} \\ V = 212,44 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 80.893,1 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 28,58 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,05 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma_T = 90,25 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,60 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 4 es de 0,034 mm, lo que prácticamente 0 mm.

En este caso, al tener el axial de compresión la tensión total se va a considerar que el punto más peligroso de la sección es el que está comprimido.

En el caso de la situación de descenso se comprobará si hay que estudiar el pandeo, para ello comprobamos la esbeltez.

$$\lambda = \frac{Lp}{\rho} = \frac{c \cdot L}{\sqrt{I/A}} \tag{9}$$

En este caso "c" es 0,5 ya que se considera empotramiento en los extremos.

$$L=400 \text{ mm}$$

$$I=111 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A=1774,8 \text{ mm}^2$$

$$\lambda = 6,5 < 20 \text{ no susceptible a pandeo.}$$

Se puede concluir este apartado diciendo que el bastidor móvil aguanta en todas las situaciones.

### 3.5 Bastidor despaletizador

En este apartado se estudiará el cuadro del bastidor despaletizador también en las tres situaciones de reposo, ascenso y descenso. En estas tres situaciones la condición de contorno que se utilizará será la de empotramiento en la parte inferior.

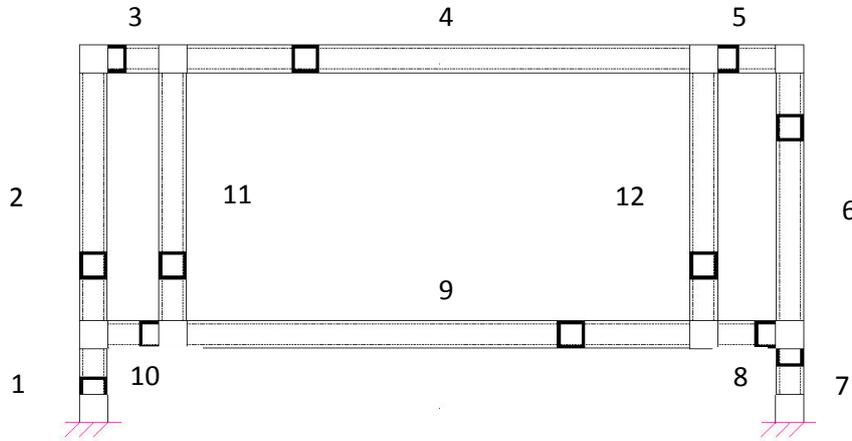


Figura 7. Cuadro del bastidor despaletizador.

Situación de reposo:

$$\text{Tramo 1} \left\{ \begin{array}{l} N = -313,916 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 2,62 \text{ MPa} \\ V = 110,194 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 18.794,1 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 6,64 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 69,45 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,38 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 1 es de 0,034 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 2} \left\{ \begin{array}{l} N = -108,47 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,90 \text{ MPa} \\ V = 26,49 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 11.735,4 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 4,14 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 65,23 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,60 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,034 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \left\{ \begin{array}{l} N = 26,49 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,22 \text{ MPa} \\ V = 101,18 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 11.735,4 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 4,14 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 62,78 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,74 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,034 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 4} \left\{ \begin{array}{l} N = 75,12 \text{ kg} < N_{pl}, Rd = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,62 \text{ MPa} \\ V = 70,20 \text{ kg} < V_{pl}, Rd = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 7.263,52 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 2,56 \text{ MPa} \\ Mt = 340.670,56 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 72,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 125,31 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,87 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,1 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 5} \left\{ \begin{array}{l} N = 35,46 \text{ kg} < N_{pl}, Rd = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,29 \text{ MPa} \\ V = 112,14 \text{ kg} < V_{pl}, Rd = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 15.181,50 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 5,36 \text{ MPa} \\ Mt = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 62,89 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,73 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,034 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 6} \left\{ \begin{array}{l} N = -119,42 \text{ kg} < N_{pl}, Rd = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,66 \text{ MPa} \\ V = 35,46 \text{ kg} < V_{pl}, Rd = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 15.181,5 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 5,36 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 66,21 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,54 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 6 es de 0,021mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 7} \left\{ \begin{array}{l} N = -317,74 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,75 \text{ MPa} \\ V = 110,19 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 16.507,80 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 5,83 \text{ MPa} \\ M_f \text{ (fuera del plano)} = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 67,77 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,46 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 7 es de 0,0008mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 8} \left\{ \begin{array}{l} N = 74,73 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,62 \text{ MPa} \\ V = 196,36 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 29.697,50 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 10,49 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 63,61 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,69 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,031 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 9} \left\{ \begin{array}{l} N = 35,06 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,29 \text{ MPa} \\ V = 10,92 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 4.447,87 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1,57 \text{ MPa} \\ M_t = 340.670,56 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 72,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 125,76 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,86 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,082 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 10} \left\{ \begin{array}{l} N = 83,69 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,69 \text{ MPa} \\ V = 203,48 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 28.254,4 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 9,98 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 63,53 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,69 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,031\text{mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 11} \left\{ \begin{array}{l} N = -192,14\text{kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,06\text{MPa} \\ V = 48,63\text{kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 16.865,9\text{kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 5,96\text{MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 67,21\text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,49 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 11 es de 0,019mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 12} \left\{ \begin{array}{l} N = -183,16\text{kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,52\text{MPa} \\ V = 39,66\text{kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 16.865,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 5,96 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 68,41\text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,43 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 12 es de 0,021mm, lo que prácticamente 0 mm.

Situación de ascenso:

En esta situación se añadirá la fuerza de 643,49 kg en el tramo 4, en sentido negativo por el principio de acción-reacción.

$$\text{Tramo 1} \left\{ \begin{array}{l} N = -638,29\text{kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 3,52 \text{ MPa} \\ V = 337,09 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 53851,5 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 19,03\text{MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 82,74\text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,84 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 1 es de 0,0055 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 2} \left\{ \begin{array}{l} N = 14,18 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,11 \text{ MPa} \\ V = 76,86 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 32.834,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 11,60 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 71,91\text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,26 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,023 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \left\{ \begin{array}{l} N = 76,86 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,22 \text{ MPa} \\ V = 16,27 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 36.323 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 12,83 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 64,06 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,66 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,098 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 4} \left\{ \begin{array}{l} N = 257,28 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 2,14 \text{ MPa} \\ V = 351,62 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 131.958 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 46,63 \text{ MPa} \\ M_t = 340.670,56 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 72,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 134,41 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,74 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,87 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 5} \left\{ \begin{array}{l} N = 84,87 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,46 \text{ MPa} \\ V = 14,63 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 35.658 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 12,60 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 63,98 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,67 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,106 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 6} \left\{ \begin{array}{l} N = -21.92 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,12 \text{ MPa} \\ V = 84,87 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 35.658 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 12,6 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 72,91 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,22 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 6 es de 0,023mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 7} \left\{ \begin{array}{l} N = -6336,85kg < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 3,52 \text{ MPa} \\ V = 337,09kg < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 52.710,6 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 18,62 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 82,33 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,85 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 7 es de 0,0044mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 8} \left\{ \begin{array}{l} N = -252,22 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 2,10 \text{ MPa} \\ V = 612,97 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 84.951,70 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 30,02 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 70,39 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,33 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,0905 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 9} \left\{ \begin{array}{l} N = 79,80 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,66 \text{ MPa} \\ V = 10,43 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 8.708,83 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 30,02 \text{ MPa} \\ M_t = 340.670,56 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 72,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 125,31 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,87 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,191 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 10} \left\{ \begin{array}{l} N = 260,22 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,43 \text{ MPa} \\ V = 643,23 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 82.511,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 29,15 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 69,70 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,37 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,0819 < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 11} \left\{ \begin{array}{l} N = -630,71 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 3,48 \text{ MPa} \\ V = 180,42 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 78.459,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 27,72 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 91,39 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,57 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 11 es de 0,037mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 12} \left\{ \begin{array}{l} N = -600,96 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 5,01 \text{ MPa} \\ V = 172,41 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 81.641 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 28,85 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 94,05 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,49 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 12 es de 0,06mm, lo que prácticamente 0 mm.

Situación de descenso:

En esta situación se añadirá la fuerza de 675,46 kg en el tramo 4, en sentido positivo por el principio de acción-reacción.

$$\text{Tramo 1} \left\{ \begin{array}{l} N = 28,53 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,15 \text{ MPa} \\ V = 127,98 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 18.005,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 6,36 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 66,71 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,52 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 1 es de 0,0015mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 2} \left\{ \begin{array}{l} N = -229,57 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 1,26 \text{ MPa} \\ V = 26,38 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg} \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 10.693,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 3,77 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 65,22 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,6 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 2 es de 0,021 mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 3} \left\{ \begin{array}{l} N = 26,38kg < N_{pl}, Rd = 26.799,18 kg ; \sigma = 0,64 MPa \\ V = 222,29 kg < V_{pl}, Rd = 7.587,15 kg \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 61.078,7 kg \cdot mm \rightarrow \sigma = 21,58 MPa \\ Mt = 170.335,28 kg \cdot mm \rightarrow \tau = 36,16MPa \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 66,29 MPa < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 MPa}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,54 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,032mm < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 mm$$

$$\text{Tramo 4} \left\{ \begin{array}{l} N = 116,08kg < N_{pl}, Rd = 26.799,18 kg ; \sigma = 0,64 MPa \\ V = 334,29kg < V_{pl}, Rd = 7.587,15 kg \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 123.775kg \cdot mm \rightarrow \sigma = 43,74 MPa \\ Mt = 340.670,56 kg \cdot mm \rightarrow \tau = 72,32MPa \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 132,89MPa < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 MPa}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,76 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,71mm < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 mm$$

$$\text{Tramo 5} \left\{ \begin{array}{l} N = 16,40kg < N_{pl}, Rd = 26.799,18 kg ; \sigma = 0,09MPa \\ V = 214,48 kg < V_{pl}, Rd = 7.587,15 kg \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 59.437,5 kg \cdot mm \rightarrow \sigma = 21,00 MPa \\ Mt = 170.335,28 kg \cdot mm \rightarrow \tau = 36,16 MPa \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 66,09MPa < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 MPa}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,55 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,041 mm < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 mm$$

$$\text{Tramo 6} \left\{ \begin{array}{l} N = -221,772kg < N_{pl}, Rd = 26.799,18 kg ; \sigma = 1,22MPa \\ V = 16,00kg < V_{pl}, Rd = 7.587,15 kg \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 6.808,31 kg \cdot mm \rightarrow \sigma = 2,04MPa \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 kg \cdot mm \rightarrow \sigma = 60,19 MPa \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 63,81MPa < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 MPa}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,68 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 6 es de 0,027mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 7} \left\{ \begin{array}{l} N = 19,18kg < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,16 \text{ MPa} \\ V = 127,98g < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 21.493,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 7,59 \text{ MPa} \\ M_f (\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 67,94 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,45 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 7 es de 0,003mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 8} \left\{ \begin{array}{l} N = 111,57 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,93 \text{ MPa} \\ V = 240,95 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 31.977,6 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 11,3 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 63,81 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,68 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,027 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 9} \left\{ \begin{array}{l} N = 11,89 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,09 \text{ MPa} \\ V = 12,16 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 5.488,16 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1,93 \text{ MPa} \\ M_t = 340.670,56 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 72,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 125,29 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,87 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,0031 \text{ mm} < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 10} \left\{ \begin{array}{l} N = 101,59 \text{ kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 0,84 \text{ MPa} \\ V = 260,19 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 30.647,3 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 10,83 \text{ MPa} \\ M_t = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 36,16 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 63,71 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,68 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{m\acute{a}x} = 0,029 < y_{adm} = \frac{L}{300} = 0,76 \text{ mm}$$

$$\text{Tramo 11} \left\{ \begin{array}{l} N = 531,051 \text{kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 4,43 \text{MPa} \\ V = 89,69 \text{kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 41.372,9 \text{kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 17,44 \text{MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 82,06 \text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,86 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 11 es de 0,06mm, lo que prácticamente 0 mm.

$$\text{Tramo 12} \left\{ \begin{array}{l} N = 518,22 \text{kg} < N_{pl}, R_d = 26.799,18 \text{ kg} ; \sigma = 2,86 \text{MPa} \\ V = 99,67 \text{kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 47.304,7 \text{kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 16,71 \text{MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 60,19 \text{MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma_T = 79,76 \text{MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,94 > 1$$

El desplazamiento lateral del tramo 12 es de 0,026mm, lo que prácticamente 0 mm.

En todos los casos algunos de los elementos verticales tienen un axial de compresión por lo que hay que comprobar si son susceptibles a pandeo (empleando la ecuación (9)).

$$\lambda = \frac{L_p}{\rho} = \frac{c \cdot L}{\sqrt{I/A}}$$

En este caso "c" es 0,5 ya que se considera empotramiento en los extremos.

L=215mm y 800 mm

I=111\*10^4 mm^4

A=1774,8 mm^2

$$\lambda_{215} = 4,29 < 20 \text{ no susceptible a pandeo.}$$

$$\lambda_{800} = 15,99 < 20 \text{ no susceptible a pandeo.}$$

Se puede concluir este apartado diciendo que el cuadro del bastidor despaletizador aguanta en todas las situaciones.

A continuación se va a verificar cuál de los dos apoyos inferiores es el más peligroso (apoyo A, apoyo B).

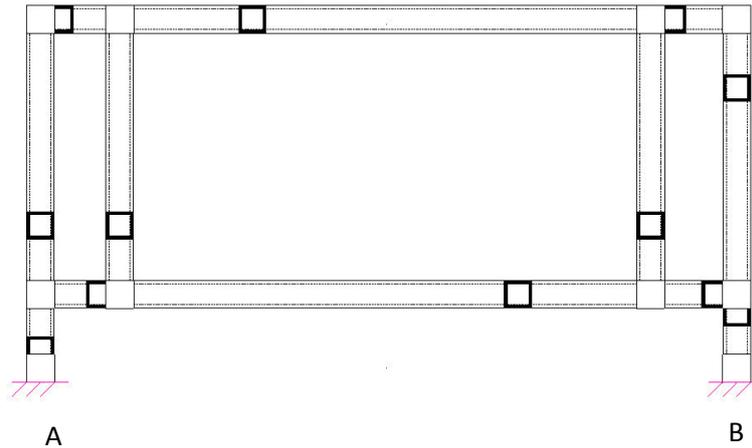


Figura 8. Apoyos A y B.

Apoyo A):

Situación de reposo:

- $M_f=170.335,28 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .
- $N=313,916 \text{ kg}$ .
- $V=110,19 \text{ kg}$ .
- $M_t=4.897,63 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .

Situación de ascenso:

- $M_f=170.335,28 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .
- $N=638,29 \text{ kg}$ .
- $V=337,09 \text{ kg}$ .
- $M_t=18.623,7 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .

Situación de descenso:

- $M_f=170.335,28 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .
- $N=-26,57 \text{ kg}$ .
- $V=-127,98 \text{ kg}$ .
- $M_t=9.510,52 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .

Apoyo B):

Situación de reposo:

- $M_f=170.335,28 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .
- $N=317,74 \text{ kg}$ .
- $V=-110,19 \text{ kg}$ .
- $M_t=7.183,95 \text{ kg}\cdot\text{mm}$ .

Situación de ascenso:

- $M_f = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ .
- $N = -636,85 \text{ kg}$ .
- $V = -337,09 \text{ kg}$ .
- $M_t = 19.764,7 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ .

Situación de descenso:

- $M_f = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ .
- $N = -17,22 \text{ kg}$ .
- $V = 127,98 \text{ kg}$ .
- $M_t = 6.021,87 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ .

Los casos más peligrosos es el apoyo B en la situación de reposo y de ascenso (a pesar de que el axial es un poco menor al del apoyo A, pero el torsor es mayor y causa mayor efecto), y el apoyo A en la situación de descenso.

A continuación, conociendo que casos son los más críticos se estudiará las vigas inferiores del bastidor despaletizador (con condición de empotramiento en los extremos, C y D).

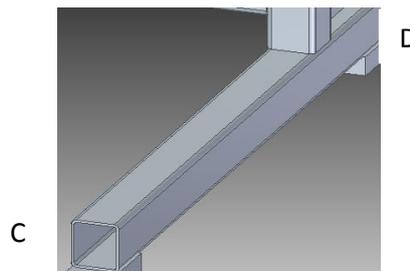


Figura 9. Viga inferior del bastidor despaletizador.

Situación de reposo (situación más peligrosa a 884,2 mm del extremo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V = 208,24 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 110.110 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 38,91 \text{ MPa} \\ M_f (\text{fuera del plano}) = 8.464,55 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 2,99 \text{ MPa} \\ M_t = 1.736,12 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 0,36 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 41,90 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 5,60 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,229 < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 4 \text{ mm}$$

Situación de ascenso (situación más peligrosa a 1200 mm del extremo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V = 392,63 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 85.421,16 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 30,18 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 26.217,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 9,26 \text{ MPa} \\ M_t = 1.4988,23 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 0,32 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 39,44 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 5,95 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,29 < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 4 \text{ mm}$$

Situación de descenso (situación más peligrosa a 884,2 mm del extremo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V = 175,58 \text{ kg} < V_{pl}, R_d = 7.587,15 \text{ kg (se desprecia)} \\ M_f = 83.661,4 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 29,56 \text{ MPa} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 9.830,78 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 3,47 \text{ MPa} \\ M_t = 2.298,37 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 0,50 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{M_f} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 33,08 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 7,10 > 1$$

Por otro lado obtendremos la flecha máxima y la compararemos con la admisible aplicando la ecuación (8).

$$y_{\text{máx}} = 0,15 < y_{\text{adm}} = \frac{L}{300} = 4 \text{ mm}$$

A continuación se mostrarán las reacciones en los extremos C y D para estudiar sus efectos en la chapa soldada y posteriormente en las patas regulables.

Situación de reposo:

$$C \left\{ \begin{array}{l} N = 208,24 \text{ kg} \\ V = -16,19 \text{ kg} \\ M_f = 70.464,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \\ M_f(\text{fuera del plano}) = 5.856,43 \text{ kg} \cdot \text{mm} \\ M_t = 1.736,12 \text{ kg} \cdot \text{mm} \end{array} \right.$$

$$D \left\{ \begin{array}{l} N = 120,42kg \\ V = -93,99kg \\ Mf = 89.604,9kg \cdot mm \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 18.377,1kg \cdot mm \\ Mt = 5.447,82 kg \cdot mm \end{array} \right.$$

Situación de ascenso:

$$C \left\{ \begin{array}{l} N = 255,15kg \\ V = -49,54kg \\ Mf = 87.423,8kg \cdot mm \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 17.915,4kg \cdot mm \\ Mt = 4.776,46 kg \cdot mm \end{array} \right.$$

$$D \left\{ \begin{array}{l} N = 392,63kg \\ V = -287,54kg \\ Mf = 85.421,26kg \cdot mm \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 26.217,6kg \cdot mm \\ Mt = 14.988,23 kg \cdot mm \end{array} \right.$$

Situación de descenso:

$$C \left\{ \begin{array}{l} N = 157,63kg \\ V = -18,81g \\ Mf = 52.164,8kg \cdot mm \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 6.801,69kg \cdot mm \\ Mt = 2.298,37 kg \cdot mm \end{array} \right.$$

$$D \left\{ \begin{array}{l} N = -173,28kg \\ V = -109,17kg \\ Mf = 32.182,5kg \cdot mm \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 21.343,2kg \cdot mm \\ Mt = 7.212,14 kg \cdot mm \end{array} \right.$$

Para el caso de analizar las chapas soldadas se despreciará el cortante (como en anteriores ocasiones), pero para el estudio de las patas regulables, se tendrán en cuenta ya que generan momentos flectores.

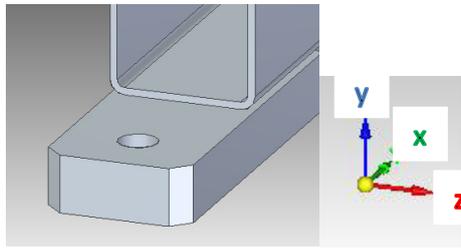


Figura 10. Chapa del bastidor despaletizador.

Lo primero se definirá el área y las inercias:

$$I_z = \frac{1}{12} b \cdot h^3 \tag{10}$$

$$I_y = \frac{1}{12} h \cdot b^3 \tag{11}$$

$$I_z = \frac{1}{12} 58 \cdot 32^3 = 158.378,66 \text{ mm}^4$$

$$I_y = \frac{1}{12} 32 \cdot 58^3 = 520.298,66 \text{ mm}^4$$

$$A = b \cdot h \tag{12}$$

$$A = 58 \cdot 32 = 1.856 \text{ mm}^2$$

Situación de reposo (chapa del apoyo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ M_f = 91.288,9 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 90,47 \text{ MPa} \\ M_f \text{ (fuera del plano)} = 7.476,43 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 4,08 \text{ MPa} \\ M_t = 1.736,12 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 1,14 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 94,57 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,48 > 1$$

Situación de reposo (chapa del apoyo D):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 101.647,30 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 100,73 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 27776 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 15,18 \text{ MPa} \\ Mt = 5.447,82 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 3,59 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 116,08 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,02 > 1$$

Situación de ascenso (chapa del apoyo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 112.940,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 111,92 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 22.870,03 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 12,5 \text{ MPa} \\ Mt = 4.776,46 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 3,15 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 124,53 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,88 > 1$$

Situación de ascenso (chapa del apoyo D):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 124.684,46 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 180,45 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 54.972 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 46,46 \text{ MPa} \\ Mt = 14.988,23 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 9,88 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 226,91 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,03 > 1$$

Situación de descenso (chapa del apoyo C):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 67.928,7 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 97,05 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 8.682,69 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 4,74 \text{ MPa} \\ Mt = 2.298,69 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 1,51 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 101,82 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,3 > 1$$

Situación de descenso (chapa del apoyo D):

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 0 \text{ kg} \\ V \text{ (se desprecia)} \\ Mf = 14.853,7 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 14,72 \text{ MPa} \\ Mf(\text{fuera del plano}) = 32.260,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 17,63 \text{ MPa} \\ Mt = 7.212,14 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 4,75 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 33,28 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 7,06 > 1$$

Se puede concluir este apartado diciendo que está parte del proyecto reíste las cargas aplicadas.

### 3.6 Patas regulables

Las patas regulables tendrán una altura de trabajo de 113,85 mm por lo que habrá que comprobar si son susceptibles a pandeo, además, otra característica es que el material será más resistente que en el resto de los elementos, ya que tendrán un espesor pequeño, dicho material será acero AISI 4142 TyR 600°F, con una tensión de fluencia de 1.720 MPa.

En este apartado, como la sección es circular, el momento total debido a los momentos flectores en diferentes planos será la raíz cuadrada de los momentos elevados al cuadrado. Además, el momento flector debido al efecto cortante ya estará incluido los siguientes cálculos.

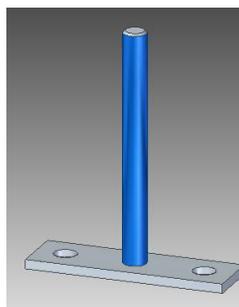


Figura 11. Pata regulable.

$$I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} \quad (13)$$

$$I = \frac{\pi \cdot 10^4}{4} = 7.853,98 \text{ mm}^4$$

$$I_p = 2 \cdot I \quad (14)$$

$$I_p = 2 \cdot 7.853,98 = 157.707,96 \text{ mm}^4$$

$$A = \pi \cdot r^2 \quad (15)$$

$$A = \tau \cdot 10^2 = 314,15 \text{ mm}^2$$

Situación de reposo (pata de la zona C):

$$\begin{cases} N = -208,24 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 6,5 \text{ MPa} \\ Mf = 91.359,06 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1141,11 \text{ MPa} \\ Mt = 7.476,43 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 1,14 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 1.150,45 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,49 > 1$$

Situación de reposo (pata de la zona D):

$$\begin{cases} N = -120,42 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 3,76 \text{ MPa} \\ Mf = 102.922,05 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1285,54 \text{ MPa} \\ Mt = 18.377,1 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 114,76 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 1.304,53 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,31 > 1$$

Situación de ascenso (pata de la zona C):

$$\begin{cases} N = -255,15 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 7,96 \text{ MPa} \\ Mf = 113.420,14 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1.416,67 \text{ MPa} \\ Mt = 22.870,03 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 142,82 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 1.438,11 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,19 > 1$$

Situación de ascenso (pata de la zona D):

$$\begin{cases} N = -392,63 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 12,26 \text{ MPa} \\ Mf = 133.506,34 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 1.667,55 \text{ MPa} \\ Mt = 54.972 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 343,31 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 1.678,65 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,02 > 1$$

Situación de descenso (pata de la zona C):

$$\begin{cases} N = -157,63 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 4,92 \text{ MPa} \\ Mf = 68.073,64 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 850,27 \text{ MPa} \\ Mt = 8.682,69 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 54,92 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 860,33 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,99 > 1$$

Situación de descenso (pata de la zona D):

$$\begin{cases} N = 173,28 \text{ kg} \rightarrow \sigma = 5,41 \text{ MPa} \\ Mf = 24.626,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma = 307 \text{ MPa} \\ Mt = 32.260,2 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau = 201,42 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_{Mf} + \sigma_N)^2 + 3 \cdot \tau_V^2} = 468,37 \text{ MPa} < \frac{\sigma_{yp}}{C.S.} = \frac{1.720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 3,67 > 1$$

En algunos de los elementos verticales tienen un axial de compresión por lo que hay que comprobar si son susceptibles a pandeo (empleando la ecuación (9)).

$$\lambda = \frac{Lp}{\rho} = \frac{c \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{A}}}$$

En este caso "c" es 0,5 ya que se considera empotramiento en los extremos.

L=113,85 mm

I=7.853,98\*10^4 mm^4.

A=314,159 mm^2

$$\lambda = 11,38 < 20 \text{ no susceptible a pandeo.}$$

Se puede concluir este apartado diciendo que está parte del proyecto reúne las cargas aplicadas.

### 3.7 Uniones atornilladas

La primera unión que se va a estudiar es la de la chapa sujeta a los laterales del bastidor móvil, suponiendo que los tornillos son los encargados de llevarse todo el efecto cortante aplicada en la unión, se va a encontrar la fuerza soportada por el tornillo que más trabaja, además, también se va a comprobar el fallo cortante del tornillo y el aplastamiento de la chapa de 15 mm de espesor con una tensión de fluencia de 235 MPa y por último se estimará la precarga. Se va a escoger como valor de rozamiento 0,15 (acero con acero).

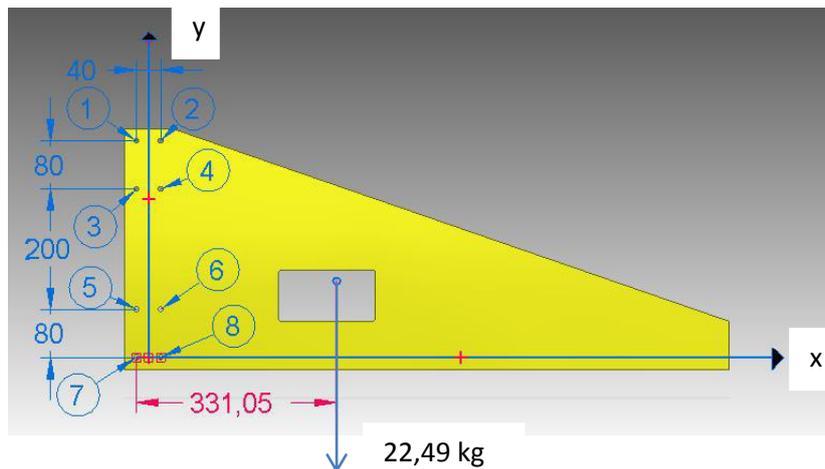


Figura 12. Esquema de la unión.

Lo primero será conocer el centro de gravedad de los agujeros, para ello se coloca el eje “x” de forma que pase por los agujeros 7, 8 para facilitar los cálculos, a continuación se establecerá la cota  $y_g$  de la unión (el centro de gravedad de la pieza para establecer su masa, se ha calculado mediante el programa Solid Edge):

$$y_g = \frac{A_t \cdot (y_{g1} \cdot y_{g2} \cdot y_{g3} \cdot y_{g4} \cdot y_{g5} \cdot y_{g6} \cdot y_{g7} \cdot y_{g8})}{8 \cdot A_t} \tag{16}$$

$$y_g = \frac{A_t \cdot (360mm + 360mm + 280mm + 280mm + 80mm + 80mm + 0mm + 0mm)}{8 \cdot A_t}$$

$$y_g = 180mm$$

Por lo tanto el centro de gravedad de la unión es: (0,180) mm.

A continuación se van a indicar las componentes directas ( $F_d$ ) y las indirectas ( $F_i$ ) de la fuerza, además de las distancias ( $d_i$ ) desde los agujeros hasta centro de gravedad de la unión y el efecto de trasladar dicha fuerza al centro de gravedad.

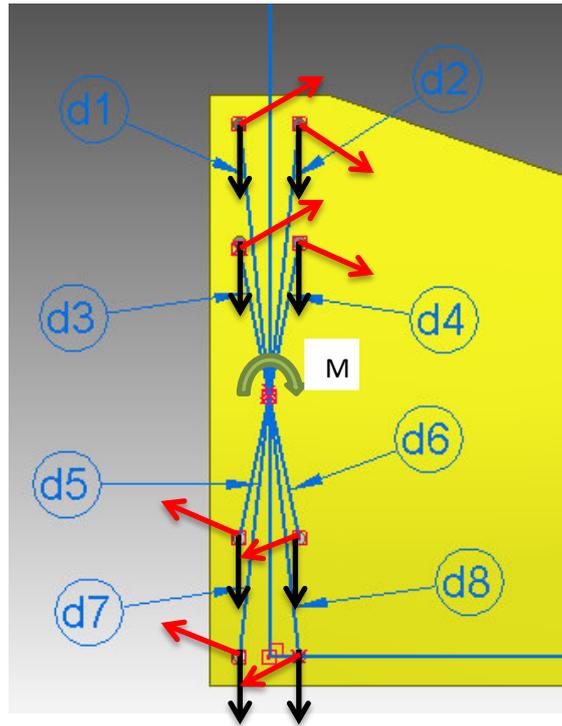


Figura 13. Fuerzas que intervienen en la unión.

Las flechas negras son las fuerzas directas, las flechas rojas son las fuerzas indirectas y la flecha verde es el momento que se produce al trasladar la fuerza original.

Como se puede ver los agujeros más peligrosos serán el 1, 2, 7 y 8 por ser los más alejados del centro de gravedad de la unión. Otra conclusión que se puede decir es la siguiente, como la fuerza indirecta del agujero 1 y 7 tienden a anular sus fuerzas directas, se puede decir que los agujeros más peligrosos son el 2 y el 8 y como ambos están a igual distancia del centro de gravedad con estudiar uno de ellos será suficiente (se estudiará el agujero 8). A continuación se calcularán las fuerzas directas e indirectas.

$$F_d = \frac{F}{n} \tag{17}$$

Siendo  $F=22,49\text{kg}$  y  $n$  el número de agujeros, es decir, 8 agujeros:

$$F_d = \frac{22,49 \text{ kg}}{8} = 2,81 \text{ kg}$$

El valor del momento será:

$$M = F \cdot d \tag{18}$$

$$M = 22,49 \text{ kg} \cdot 311,05 \text{ mm} = 6.995,82 \text{ kg} \cdot \text{mm}$$

$$M = F_{i1} \cdot d_1 + F_{i2} \cdot d_2 + F_{i3} \cdot d_3 + F_{i4} \cdot d_4 + F_{i5} \cdot d_5 + F_{i6} \cdot d_6 + F_{i7} \cdot d_7 + F_{i8} \cdot d_8 \quad (19)$$

$$\frac{F_{i1}}{d_1} = \frac{F_{i2}}{d_2} = \frac{F_{i3}}{d_3} = \frac{F_{i4}}{d_4} = \frac{F_{i5}}{d_5} = \frac{F_{i6}}{d_6} = \frac{F_{i7}}{d_7} = \frac{F_{i8}}{d_8} \quad (20)$$

$$F_{i1} = \frac{d_1}{d_8} F_{i8}; F_{i2} = \frac{d_2}{d_8} F_{i8}; F_{i3} = \frac{d_3}{d_8} F_{i8}; F_{i4} = \frac{d_4}{d_8} F_{i8}; F_{i5} = \frac{d_5}{d_8} F_{i8}; F_{i6} = \frac{d_6}{d_8} F_{i8}; F_{i7} = \frac{d_7}{d_8} F_{i8}$$

Retomando la ecuación (19) se sustituye los anteriores resultados en ella:

$$M = \left( \frac{d_1^2}{d_8} + \frac{d_2^2}{d_8} + \frac{d_3^2}{d_8} + \frac{d_4^2}{d_8} + \frac{d_5^2}{d_8} + \frac{d_6^2}{d_8} + \frac{d_7^2}{d_8} + d_8 \right) \cdot F_{i8} \quad (21)$$

Por trigonometría se obtiene las d<sub>i</sub>:

- d<sub>1</sub>=d<sub>2</sub>=181,10 mm.
- d<sub>3</sub>=d<sub>4</sub>=101,98 mm.
- d<sub>5</sub>=d<sub>6</sub>=101,98 mm.
- d<sub>7</sub>=d<sub>8</sub>=181,10 mm.

Despejando F<sub>i8</sub> de la ecuación (21) se obtiene:

$$F_{i8} = \frac{M \cdot d_8}{d_1^2 \cdot d_2^2 \cdot d_3^2 \cdot d_4^2 \cdot d_5^2 \cdot d_6^2 \cdot d_7^2 \cdot d_8^2} \quad (22)$$

Sustituyendo los datos que se tienen:

$$F_{i8} = 7,33 \text{ kg} = F_{i2}$$

En resumen, hasta ahora se tiene el siguiente esquema del agujero 8:

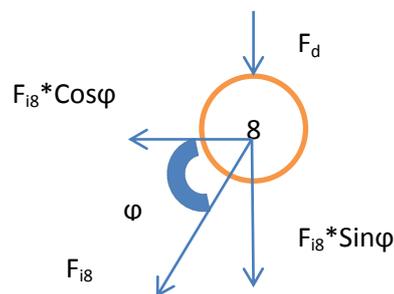


Figura 14. Agujero 8.

Por trigonometría y sumatorio de fuerzas verticales y horizontales se obtiene:

$$\begin{cases} \varphi = 6,34^\circ \\ F_{8x} = 7,28 \text{ kg} \\ F_{8y} = 3,62 \text{ kg} \end{cases}$$

Por lo que:

$$F_8 = \sqrt{F_{8x}^2 + F_{8y}^2} \quad (23)$$

$$F_8 = 8,13 \text{ kg}$$

Como no se ha especificado el paso de la rosca, se cogerán los datos más restrictivos:

M10 →  $A_t = 58 \text{ mm}^2$  (paso grueso: 1,5 mm).

Como tampoco se ha especificado la clase se coge la tensión de fluencia más restrictiva, 240MPa.

$$\tau_8^{\text{trabajo}} = \frac{F_8}{A_t} \quad (24)$$

$$\tau_8^{\text{trabajo}} = \frac{8,13 \text{ kg}}{58 \text{ mm}^2} = 0,14 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 1,37 \text{ MPa} \leq \tau_{adm} = \frac{\sigma_{yp}}{2 \cdot C.S.} \rightarrow C.S. = 87,59 > 1$$

Ya se ha comprobado el cortante del tornillo, a continuación se comprobará el aplastamiento de la chapa y la precarga.

Aplastamiento de la chapa:

$$\sigma^{\text{trabajo}} = \frac{F_8}{A} \quad (25)$$

$$\sigma^{\text{trabajo}} = \frac{8,13 \text{ kg}}{10 \text{ mm} \cdot 12 \text{ mm}} = 0,067 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 0,66 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_{yp}^{\text{chapa}}}{C.S.} \Rightarrow C.S. = 353,58 > 1$$

Comparando los C.S. se puede decir que fallará antes el tornillo que la chapa ya que el coeficiente de seguridad del tornillo es menor que el de la chapa.

Friction type

$$F_8 < \mu \cdot F_p \cdot N \cdot m \quad (26)$$

N= número de tornillos estudiado (1).

m=caras de rozamiento (1).

$$F_p > \frac{F_8}{\mu \cdot N \cdot m} = \frac{8,13 \text{ kg}}{0,15 \cdot 1 \cdot 1} = 54,2 \text{ kg} = 531,70 \text{ N}$$

Para acabar con el estudio de este elemento hay que decir que resiste a todas las cargas.

La siguiente unión será la de las uñas escamoteables con el bastidor móvil, el espesor de la chapa es de 12,5 mm, el coeficiente de rozamiento es 0,15 y las incógnitas a resolver serán las mismas que en el primer caso estudiado:

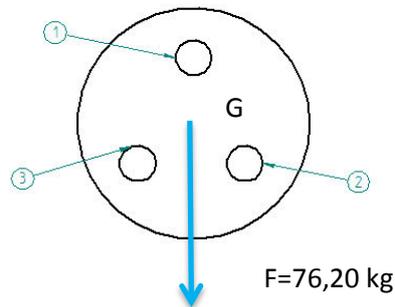


Figura 15. Unión uña.

Como no hay fuerza indirecta el estudio será más sencillo:

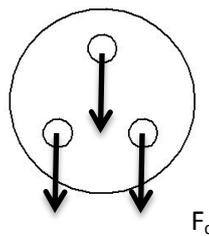


Figura 16. Fuerzas directas.

Aplicando la ecuación (17) se calcula la fuerza directa (en este caso todos los agujeros son igual de críticos):

$$F_d = \frac{76,20 \text{ kg}}{3} = 25,40 \text{ kg}$$

Como no se ha especificado el paso de la rosca, se cogerán los datos más restrictivos:

M8 → \$A\_t=36,6 \text{ mm}^2\$ (paso grueso: 1,25 mm).

Como tampoco se ha especificado la clase se coge la tensión de fluencia más restrictiva, 240MPa.

Aplicando la ecuación (24) se obtiene la tensión cortante:

$$\tau_{trabajo} = \frac{F_d}{A_t}$$

$$\tau_{trabajo} = \frac{25,40 \text{ kg}}{36,6 \text{ mm}^2} = 0,69 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 6,80 \text{ MPa} \leq \tau_{adm} = \frac{\sigma_{yp}}{2 \cdot C.S.} \rightarrow C.S. = 17,62 > 1$$

Ya se ha comprobado el cortante del tornillo, a continuación se comprobará el aplastamiento de la chapa y la precarga (con las ecuaciones (25) y (26) respectivamente).

Aplastamiento de la chapa:

$$\sigma^{trabajo} = \frac{F_d}{A}$$

$$\sigma^{trabajo} = \frac{25,40 \text{ kg}}{8\text{mm} \cdot 12,5\text{mm}} = 0,254 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 2,49 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_{yp}^{chapa}}{C.S.} \Rightarrow C.S. = 94,31 > 1$$

Comparando los C.S. se puede decir que fallará antes el tornillo que la chapa ya que el coeficiente de seguridad del tornillo es menor que el de la chapa.

Friction type

$$F_d < \mu \cdot F_p \cdot N \cdot m$$

N= número de tornillos estudiado (1).

m=caras de rozamiento (1).

$$F_p > \frac{F_d}{\mu \cdot N \cdot m} = \frac{25,40 \text{ kg}}{0,15 \cdot 1 \cdot 1} = 169,33 \text{ kg} = 1.661,16\text{N}$$

Para acabar con el estudio de este elemento hay que decir que resiste a todas las cargas.

El siguiente elemento a estudio es la unión de las guías y su chapa soldada, el espesor de la chapa es de 7 mm, el coeficiente de rozamiento es 0,15 y las incógnitas a resolver serán las mismas que en el anterior caso estudiado:

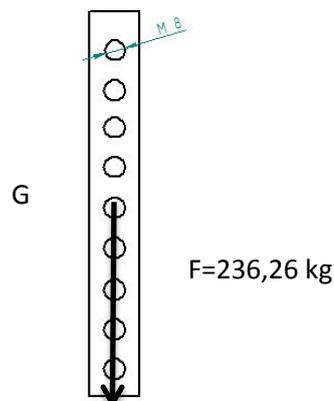


Figura 17. Boceto unión.

Como no hay fuerza indirecta el estudio será más sencillo:

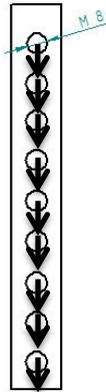


Figura 17. Fuerzas directas.

Aplicando la ecuación (17) se calcula la fuerza directa (en este caso todos los agujeros son igual de críticos):

$$F_d = \frac{236,26 \text{ kg}}{9} = 26,25 \text{ kg}$$

Como no se ha especificado el paso de la rosca, se cogerán los datos más restrictivos:

M8 →  $A_t = 36,6 \text{ mm}^2$  (paso grueso: 1,25 mm).

Como tampoco se ha especificado la clase se coge la tensión de fluencia más restrictiva, 240MPa.

Aplicando la ecuación (24) se obtiene la tensión cortante:

$$\tau^{trabajo} = \frac{F_d}{A_t}$$

$$\tau^{trabajo} = \frac{26,25 \text{ kg}}{36,6 \text{ mm}^2} = 0,71 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 7,03 \text{ MPa} \leq \tau_{adm} = \frac{\sigma_{yp}}{2 \cdot C.S.} \rightarrow C.S. = 17,05 > 1$$

Ya se ha comprobado el cortante del tornillo, a continuación se comprobará el aplastamiento de la chapa y la precarga (con las ecuaciones (25) y (26) respectivamente).

Aplastamiento de la chapa:

$$\sigma^{trabajo} = \frac{F_d}{A}$$

$$\sigma^{trabajo} = \frac{26,25 \text{ kg}}{82,89 \text{ mm}^2} = 0,316 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 3,10 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_{yp}^{chapa}}{C.S.} \Rightarrow C.S. = 75,64 > 1$$

Comparando los C.S. se puede decir que fallará antes el tornillo que la chapa ya que el coeficiente de seguridad del tornillo es menor que el de la chapa.

Friction type

$$F_d < \mu \cdot F_p \cdot N \cdot m$$

N= número de tornillos estudiado (1).

m=caras de rozamiento (1).

$$F_p > \frac{F_d}{\mu \cdot N \cdot m} = \frac{26,25 \text{ kg}}{0,15 \cdot 1 \cdot 1} = 175 \text{ kg} = 1716,75 \text{ N}$$

Para acabar con el estudio de este elemento hay que decir que resiste a todas las cargas.

La siguiente unión a estudiar es la de las cunetas de entrada de palets, el espesor de la chapa es de 5 mm, el coeficiente de rozamiento es 0,15 y las incógnitas a resolver serán las mismas que en el primer caso estudiado:

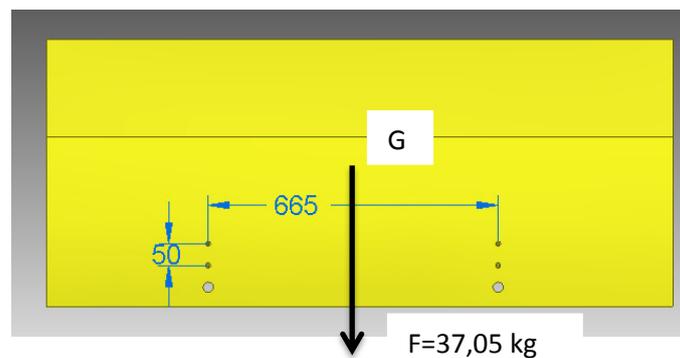


Figura 18. Boceto unión.

Como no hay fuerza indirecta el estudio será más sencillo:

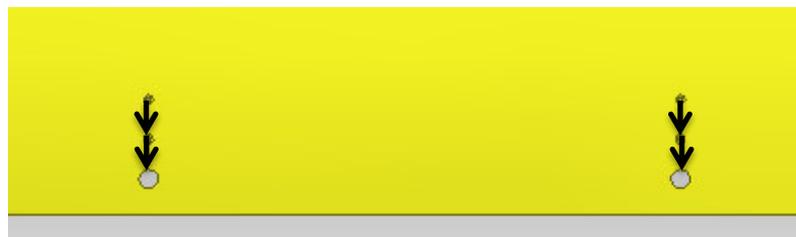


Figura 19. Fuerzas directas.

Aplicando la ecuación (17) se calcula la fuerza directa (en este caso todos los agujeros son igual de críticos):

$$F_d = \frac{37,05 \text{ kg}}{4} = 9,26 \text{ kg}$$

Como no se ha especificado el paso de la rosca, se cogerán los datos más restrictivos:

M6→ $A_t=6,78 \text{ mm}^2$  (paso grueso:1,5 mm).

Como tampoco se ha especificado la clase se coge la tensión de fluencia más restrictiva, 240MPa.

Aplicando la ecuación (24) se obtiene la tensión cortante:

$$\tau^{trabajo} = \frac{F_d}{A_t}$$

$$\tau^{trabajo} = \frac{9,26 \text{ kg}}{6,78 \text{ mm}^2} = 1,41 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 13,92 \text{ MPa} \leq \tau_{adm} = \frac{\sigma_{yp}}{2 \cdot C.S.} \rightarrow C.S. = 8,62 > 1$$

Ya se ha comprobado el cortante del tornillo, a continuación se comprobará el aplastamiento de la chapa y la precarga (con las ecuaciones (25) y (26) respectivamente).

Aplastamiento de la chapa:

$$\sigma^{trabajo} = \frac{F_d}{A}$$

$$\sigma^{trabajo} = \frac{9,26 \text{ kg}}{40,06 \text{ mm}^2} = 0,23 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 2,26 \text{ MPa} \leq \frac{\sigma_{yp}^{chapa}}{C.S.} \Rightarrow C.S. = 103,58 > 1$$

Comparando los C.S. se puede decir que fallará antes el tornillo que la chapa ya que el coeficiente de seguridad del tornillo es menor que el de la chapa.

Friction type

$$F_d < \mu \cdot F_p \cdot N \cdot m$$

N= número de tornillos estudiado (1).

m=caras de rozamiento (1).

$$F_p > \frac{F_d}{\mu \cdot N \cdot m} = \frac{9,26 \text{ kg}}{0,15 \cdot 1 \cdot 1} = 61,76 \text{ kg} = 605,86 \text{ N}$$

Para acabar con el estudio de este elemento hay que decir que resiste a todas las cargas.

La siguiente unión a estudiar es las ruedas al bastidor móvil, el espesor de la chapa es de 10,5 mm, el coeficiente de rozamiento es 0,15 y las incógnitas a resolver serán las mismas que en el primer caso estudiado:

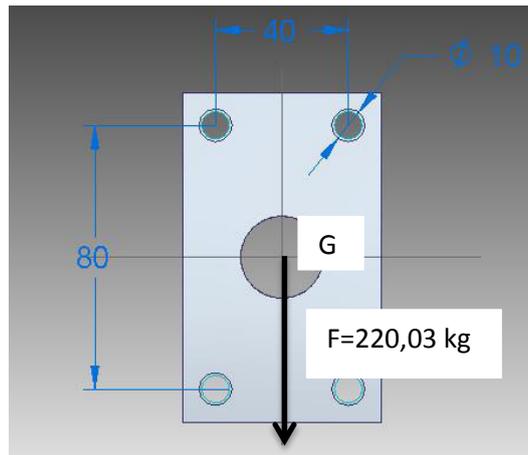


Figura 20. Boceto unión.

Como no hay fuerza indirecta el estudio será más sencillo:

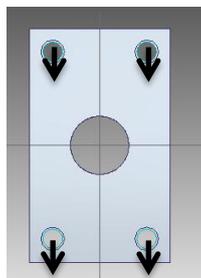


Figura 21. Fuerzas directas.

Aplicando la ecuación (17) se calcula la fuerza directa (en este caso todos los agujeros son igual de críticos):

$$F_d = \frac{220,03 \text{ kg}}{4} = 55,008 \text{ kg}$$

Como no se ha especificado el paso de la rosca, se cogerán los datos más restrictivos:

M10 →  $A_t = 58 \text{ mm}^2$  (paso grueso: 1,5 mm).

Como tampoco se ha especificado la clase se coge la tensión de fluencia más restrictiva, 240MPa.

Aplicando la ecuación (24) se obtiene la tensión cortante:

$$\tau^{trabajo} = \frac{F_d}{A_t}$$

$$\tau^{trabajo} = \frac{55.008 \text{ kg}}{58 \text{ mm}^2} = 0,94 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 9,3 \text{ MPa} \leq \tau_{adm} = \frac{\sigma_{yp}}{2 \cdot C.S.} \rightarrow C.S. = 12,89 > 1$$

Ya se ha comprobado el cortante del tornillo, a continuación se comprobará el aplastamiento de la chapa y la precarga (con las ecuaciones (25) y (26) respectivamente).

Aplastamiento de la chapa:

$$\sigma^{trabajo} = \frac{F_d}{A}$$

$$\sigma^{trabajo} = \frac{55,008kg}{10 \cdot 10,5mm^2} = 0,523 \frac{kg}{mm^2} = 5,13 MPa \leq \frac{\sigma_{yp}^{chapa}}{C.S.} \Rightarrow C.S. = 45,80 > 1$$

Comparando los C.S. se puede decir que fallará antes el tornillo que la chapa ya que el coeficiente de seguridad del tornillo es menor que el de la chapa.

Friction type

$$F_d < \mu \cdot F_p \cdot N \cdot m$$

N= número de tornillos estudiado (1).

m=caras de rozamiento (1).

$$F_p > \frac{F_d}{\mu \cdot N \cdot m} = \frac{55,008 kg}{0,15 \cdot 1 \cdot 1} = 366,72 kg = 3.597,52N$$

Para acabar con el estudio de este elemento hay que decir que resiste a todas las cargas.

La siguiente unión a estudiar es la del cilindro con el bastidor despaletizador (parte superior del dispensador). En este caso hay dos situaciones, la primera es cuando asciende la carga y la otra situación es cuando desciende. Cuando asciende la unión está sometida a una fuerza hacia abajo (la del cilindro) que favorece la unión, pero el peso de la carga que asciende tira hacia abajo, lo cual favorece la separación de la unión. En la situación de descenso de la carga, la unión sufre una fuerza de hacia arriba de 675,46 kg y favorece la separación de la unión, además la fuerza de la propia carga hacia abajo también favorece la separación de la unión.

Dicho todo esto, la situación a estudiar por ser la más crítica es la de descenso (F=675,46 kg ; F<sub>inicial</sub>= 485,475 kg (la carga)).

Cálculo de la rigidez del tornillo:

$$k_b = \frac{A_d \cdot A_t \cdot E}{A_d \cdot l_t + A_t \cdot l_d} \left\{ \begin{array}{l} A_t = \text{área de la parte roscada.} \\ l_t = \text{longitud de la parte roscada de agarre.} \\ E = \text{módulo de Young.} \\ A_d = \text{área de la parte sin rosca.} \\ l_d = \text{longitud de la parte sin rosca en agarre.} \end{array} \right. \quad (27)$$

$$k_b = \frac{132,73mm^2 \cdot 115,94mm^2 \cdot (210 \cdot 10^3)MPa}{132,73mm^2 \cdot 2mm + 115,94mm^2 \cdot 3,5mm} = 4.814.346,96 \frac{N}{mm}$$

Cálculo de la carga que inicialmente soporta el tornillo:

$$F_{inicial\ tornillo} = \frac{F_{inicial}}{\text{número de tornillos}} \quad (28)$$

$$F_{inicial\ tornillo} = \frac{485,75\ kg}{4} = 121,36\ kg$$

Cálculo de la carga debida a la fuerza del movimiento:

$$P_{tornillo} = \frac{F}{\text{número de tornillos}} \quad (29)$$

$$P_{tornillo} = \frac{675,46\ kg}{4} = 168,86\ kg$$

Cálculo de la rigidez de los elementos unidos:

$$k_m = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot E \cdot d}{2 \cdot \ln\left(5 \cdot \frac{0,5774 \cdot l + 0,5 \cdot d}{0,5774 \cdot l + 2,5d}\right)} \left\{ \begin{array}{l} d = \text{métrica} \\ l = \text{long. arandelas hasta final de la unión} \end{array} \right. \quad (30)$$

$$k_m = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot (210 \cdot 10^3)\text{MPa} \cdot 12\text{mm}}{2 \cdot \ln\left(5 \cdot \frac{0,5774 \cdot 54,5\text{mm} + 0,5 \cdot 12\text{mm}}{0,5774 \cdot 54,5\text{mm} + 2,5 \cdot 12\text{mm}}\right)} = 2.050.933,54 \frac{N}{mm}$$

Cálculo de la constante de rigidez:

$$c = \frac{k_b}{k_b + k_m} \quad (31)$$

$$c = \frac{4.814.346,96 \frac{N}{mm}}{4.814.346,96 \frac{N}{mm} + 2.050.933,54 \frac{N}{mm}} = 0,701$$

Cálculo de la tensión del tornillo:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t} = \frac{c \cdot P_{tornillo} + F_{inicial\ tornillo}}{A_t} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \sigma_b = \frac{F_b}{A_t} &= \frac{0,701 \cdot 168,86\ kg + 121,36\ kg}{115,94\text{mm}^2} = 2,06 \frac{kg}{\text{mm}^2} = 20,28\text{MPa} < \frac{\sigma_{prueba\ tracción}}{C.S.} = \\ &= \frac{240\text{MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 11,83 > 1 \end{aligned}$$

Par de apriete:

$$T = K \cdot F_{inicial\ tornillo} \cdot d ; K = 0,2 \text{ (factor de tuerca)} \quad (33)$$

El factor de tuerca se obtiene experimentalmente, el valor típico de K suele ser alrededor de 0,2, pero presenta una elevada dispersión debido a la dispersión propia del fenómeno de fricción, en el que influyen factores como el material, el acabado superficial, lubricación etc. Se trata de factores cuya influencia es imposible se prever.

$$T = 0,2 \cdot 121,36 \text{ kg} \cdot 12\text{mm} = 291,26 \text{ kg} \cdot \text{mm} = 2.857,29 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

La última unión a estudio es a del cilindro con el bastidor móvil. La peor situación es cuando asciende la carga, ejerciendo una fuerza de tracción de 643,48 kg además de una fuerza inicial de la propia carga ( $F=643,48 \text{ kg}$  ;  $F_{inicial}= 485,475 \text{ kg}$  (la carga)). Se utilizarán las ecuaciones de aplicadas en la unión anterior; (27), (28), (29), (30), (31), (32) y (33).

$$k_b = \frac{143,13\text{mm}^2 \cdot 113,09\text{mm}^2 \cdot (210 \cdot 10^3)\text{MPa}}{143,13\text{mm}^2 \cdot 15\text{mm} + 113,09\text{mm}^2 \cdot 0\text{mm}} = 1.583.260,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$F_{inicial\ tornillo} = \frac{485,75 \text{ kg}}{4} = 121,36 \text{ kg}$$

$$P_{tornillo} = \frac{643,48 \text{ kg}}{4} = 160,87 \text{ kg}$$

$$k_m = \frac{0,5774 \cdot \pi \cdot (210 \cdot 10^3)\text{MPa} \cdot 12\text{mm}}{2 \cdot \ln\left(5 \cdot \frac{0,5774 \cdot 38,5\text{mm} + 0,5 \cdot 12\text{mm}}{0,5774 \cdot 38,5\text{mm} + 2,5 \cdot 12\text{mm}}\right)} = 2.298.999,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

$$c = \frac{1.583.260,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}}}{1.583.260,00 \frac{\text{N}}{\text{mm}} + 2.298.999,90 \frac{\text{N}}{\text{mm}}} = 0,470$$

$$\begin{aligned} \sigma_b = \frac{F_b}{A_t} &= \frac{0,470 \cdot 160,87 \text{ kg} + 121,36 \text{ kg}}{113,09\text{mm}^2} = 1,65 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 16,18\text{MPa} < \frac{\sigma_{prueba\ tracción}}{C.S.} = \\ &= \frac{240\text{MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 14,82 > 1 \end{aligned}$$

Par de apriete:

$$T = 0,2 \cdot 121,36 \text{ kg} \cdot 12\text{mm} = 291,26 \text{ kg} \cdot \text{mm} = 2.857,29 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

### 3.8 Uniones soldadas

Las soldaduras empleadas en este proyecto van a ser de filete y los valores de esfuerzos a analizar serán tomados en los puntos de aplicación de soldadura.

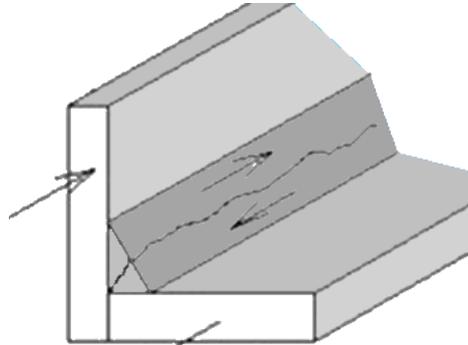


Figura 22. Soldadura de filete.

Las ecuaciones aplicadas en este apartado son las siguientes:

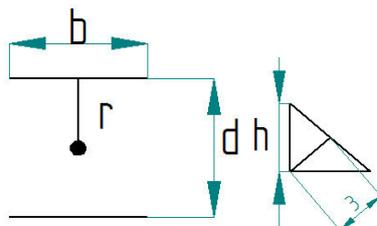


Figura 23. Boceto soldadura.

$$\tau' = \frac{V}{A} \text{ (tensión cortante primaria)} \quad (34)$$

Torsión:

$$\tau''_t = \frac{M \cdot r}{J} = \frac{M \cdot r}{0,707 \cdot h \cdot J_u} \text{ (tensión cortante secundaria a torsión)} \quad (35)$$

$$A = 2 \cdot d \text{ (área de la garganta)} \quad (36)$$

$$J_u = \frac{b^3 + 3 \cdot b \cdot d^3}{6} \text{ (segundo momento polar unitario del área)} \quad (37)$$

Flexión:

$$\tau''_f \sim \sigma''_f = \frac{M}{0,707 \cdot b \cdot d \cdot h} \text{ (tensión cortante secundaria a flexión)} \quad (38)$$

Combinación de esfuerzos:

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} \quad (39)$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} < \frac{\sigma_{yp}^{soldadura}}{C.S.} \quad (40)$$

b=80 mm  
 d=80mm  
 r=40mm  
 h=2,12mm

La primera zona ha estudio es la parte inferior del bastidor móvil, representada en la figura 1:

El axial produce un esfuerzo pequeño en comparación con el creado por el momento flector por lo que se ha decidido despreciarlo en este cálculo.

$$\sigma''_f = 0,62 \frac{kg}{mm^2} = 6,08MPa < \frac{235MPa}{C.S.}$$

$$\rightarrow C.S. = 38,65 > 1$$

La siguiente soldadura a estudiar es la representada en la figura 2:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = 205,48 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 1,28 \frac{kg}{mm^2} = 12,59 \text{ MPa} \\ M = 169.936 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 17,71 \frac{kg}{mm^2} = 173,78 \text{ MPa} \\ T = 5.949,6 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 0,46 \frac{kg}{mm^2} = 4,56 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 13,39MPa$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 175,32MPa < \frac{235MPa}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,34 > 1$$

La siguiente zona de soldadura a estudiar es la del cuadro móvil representada por las figuras 4, 5 y 6. Las mayores tensiones son todas en la situación de descenso (figura 6) por lo que los datos se utilizarán de dicha situación, en la posición de la soldadura.

$$\text{Tramo 1} \left\{ \begin{array}{l} V = 2,9 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 0,0018 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 0,177 \text{ MPa} \\ M = 5.834,39 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 0,608 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 5,96 \text{ MPa} \\ T = 84.968 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 6,64 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 65,17 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 65,17 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 113,036 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,07 > 1$$

$$\text{Tramo 2} \left\{ \begin{array}{l} V = 295,38 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 1,84 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 18,11 \text{ MPa} \\ M = 167.303,83 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 17,44 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 171,095 \text{ MPa} \\ T = 0 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 0 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 0 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 18,11 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 173,94 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,35 > 1$$

$$\text{Tramo 3} \left\{ \begin{array}{l} V = 295,38 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 1,84 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 18,11 \text{ MPa} \\ M = 82.335,8 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 8,58 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 84,2 \text{ MPa} \\ T = 84.968 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 6,64 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 65,17 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 65,63 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 144,27 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,62 > 1$$

$$\text{Tramo 4} \left\{ \begin{array}{l} V = 212,44 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 1,32 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 13,025 \text{ MPa} \\ M = 165.861,1 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 17,29 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 169,62 \text{ MPa} \\ T = 0 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 0 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 0 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 13,025 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 171,11 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,37 > 1$$

Hasta ahora se ha calculado cada tramo en la situación más peligrosa, en este último caso es el tramo 2 en la situación de descenso. Para simplificar los cálculos a partir de ahora solo se calculará el peor tramo de la situación más peligrosa.

A continuación se va a comprobar la soldadura del cuadro del bastidor despaletizador (figura 7), para ello se va a analizar la situación más crítica, la cual según los resultados obtenidos en los cálculos de la resistencia, se puede decir que el tramo más peligroso es el número 4 en la situación de descenso, con una tensión de 134,41MPa.

$$\left\{ \begin{array}{l} V = 351,64 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 2,19 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 21,55 \text{ MPa} \\ M = 114.782,19 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 10,96 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 107,58 \text{ MPa} \\ T = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 11,32 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 111,04 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 113,12 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 223,48 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,051 > 1$$

La siguiente zona a estudiar son las vigas inferiores del bastidor despaletizador representadas en la figura 9. La situación más peligrosa es la situación de parado con una tensión de 41,904 MPa. En este caso r=40mm, b=80mm, d=32mm.

$$\left\{ \begin{array}{l} V = 120,42 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 0,75 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 7,38 \text{ MPa} \\ M = 107.981,976 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 21,44 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 210,34 \text{ MPa} \\ T = 5.447,82 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 11,29 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 13,49 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 211,63 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 1,11 > 1$$

A continuación se analizará la parte superior del bastidor móvil, la zona donde se situará el cilindro, la situación más peligrosa es la de ascenso con una tensión de 134,41MPa. En este caso b=80mm, d=250mm y r=125mm.

$$\left\{ \begin{array}{l} V = 328,15 \text{ kg} \rightarrow \tau' = 0,65 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 6,43 \text{ MPa} \\ M = 131.957,82 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 4,40 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 43,18 \text{ MPa} \\ T = 170.335,28 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 5,49 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 53,90 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 54,28 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 103,46 \text{ MPa} < \frac{235 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,27 > 1$$

La última unión soldada es la de las patas regulables, en este caso el material de aportación será el mismo que el material de fabricación que las patas con una tensión de fluencia de 1720MPa. En este caso la peor situación es la de ascenso con una tensión de 1678,65MPa (para el caso de analizar la soldadura el axial se desprecia ya que la tensión generada es pequeña), se utilizará r=10mm y una nueva ecuación para el segundo momento polar unitario del área, ya que la geometría cambia y pasa a ser circular.

$$J_u = 2 \cdot \pi \cdot r^3 \text{ (segundo momento polar unitario del área)} \quad (41)$$

También la siguiente ecuación también se adaptará a la geometría:

$$\tau''_f \sim \sigma''_f = \frac{M}{0,707 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot h} \text{ (tensión cortante secundaria a flexión)} \quad (42)$$

Por otro lado, el cortante primario se va a despreciar, ya que, en los casos anteriores genera una tensión pequeña, si en el caso de que el coeficiente de seguridad está muy próximo a la unidad, se volverán a hacer estos cálculos contando con el efecto cortante primario

$$\begin{cases} M = 133.506,34 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \sigma''_f = 28,35 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 278,14 \text{ MPa} \\ T = 54.972 \text{ kg} \cdot \text{mm} \rightarrow \tau''_t = 58,37 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} = 572,63 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''_t{}^2} = 572,63 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{3 \cdot \tau^2 + \sigma''_f{}^2} = 748,32 \text{ MPa} < \frac{1720 \text{ MPa}}{C.S.} \rightarrow C.S. = 2,29 > 1$$

Como era de esperar, el cortante no ha afectado demasiado y se obtiene un C.S. lejano a la unidad.

Todas las uniones soldadas resistencia los esfuerzos sometidos.