



# ANEXOS

## (Análisis y rediseño de montacargas para construcción)

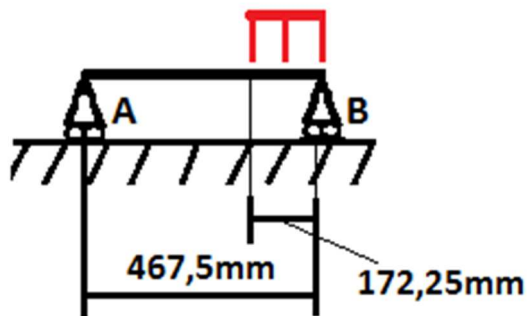
### ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| ANEXO A: Cálculo de transmisión de carga entre capas de perfiles. ....             | 2  |
| ANEXO B: Cálculo carga de plataforma en cada punto de apoyo entre perfiles. ....   | 10 |
| ANEXO C: Cálculo de la tensión aproximada en el perfil más solicitado. ....        | 12 |
| ANEXO D: Cálculo de cargas en las uñas. ....                                       | 14 |
| ANEXO E: Cálculo aproximado de uñas para el montacargas. ....                      | 19 |
| E.1 Selección perfil macizo para uñas. ....  | 20 |
| E.2 Selección perfil hueco para uñas. ....   | 22 |
| E.3. Selección de perfil estructural para uñas. ....                               | 24 |
| ANEXO F: Selección del reductor para el conjunto motor-reductor. ....              | 24 |
| ANEXO G: Cálculo de ruedas guía del montacargas. ....                              | 29 |
| G.1. Centro de gravedad del montacargas. ....                                      | 29 |
| G.2. Cálculo de las ruedas guía principales. ....                                  | 30 |
| G.3 Cálculo de las ruedas guías laterales. ....                                    | 33 |
| G.4 Cálculo de bulones para las ruedas. ....                                       | 36 |
| ANEXO H: Selección piñón-cremallera. ....  | 37 |
| ANEXO I: Elección del espesor de la chapa de la plataforma con “Solid Works”. .... | 39 |
| ANEXO J: Características de diseño y modelización en “Solid Works”. ....           | 43 |
| ANEXO K: Calculo estático. ....  | 56 |
| K.1. Condiciones de apoyo. ....  | 56 |
| K.2. Condiciones de carga. ....  | 58 |
| K.3. Mallado ....  | 59 |
| K.4. Resultados del cálculo. ....  | 61 |
| ANEXO L: Extractos de catálogos usados. ....                                       | 71 |

## ANEXO A: Cálculo de transmisión de carga entre capas de perfiles.

### Perfil 1 ( $l = 3832,06 \text{ N/m}$ )

#### Tramo A-B



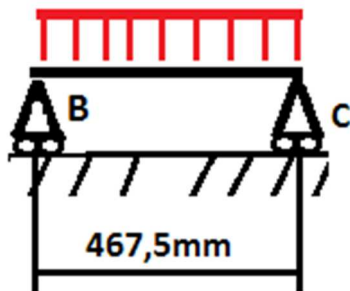
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 = R_{Ay1} + R_{By1} - (l * 0,1725) \rightarrow R_{Ay1} = 121,954 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0 =$$

$$R_{By1} * 0,4675 - (l * 0,1725) * \left( \left( \frac{0,1725}{2} \right) + 0,295 \right) = 0 \rightarrow R_{By1} = 539,075 \text{ N}$$

#### Tramo B-C



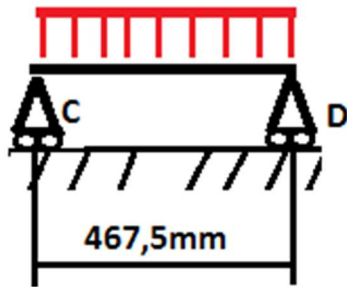
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 = R_{By1} + R_{Cy1} - (l * 0,4675) = 0 \rightarrow R_{By1} = 895,744 \text{ N}$$

$$\sum M_c =$$

$$0,5 * R_{Cy1} - l * (0,04675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{Cy1} = 895,744 \text{ N}$$

### Tramo C-D

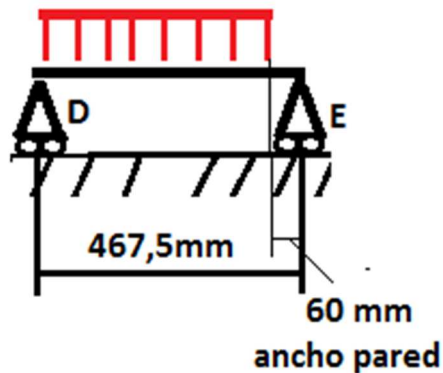


$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 = R_{cy1} + R_{dy1} - (l * 0,4675) \rightarrow R_{cy1} = 895,744 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0,5 * R_{dy1} - l * (0,4675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{dy1} = 895,744 \text{ N}$$

### Tramo D-E



$$\sum F_x = 0$$

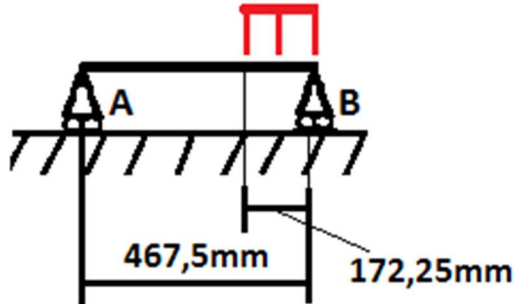
$$\sum F_y = 0 = R_{dy1} + R_{ey1} - (l * 0,4075) \rightarrow R_{dy1} = 880,985 \text{ N}$$

$$\sum M_d = 0,5 * R_{ey1} - l * (0,4075^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{ey1} = 680,574 \text{ N}$$

- $R_{ay1} = 121,95 \text{ N}$
- $R_{by1} = 1434,82 \text{ N}$
- $R_{cy1} = 1791,48 \text{ N}$
- $R_{dy1} = 1776,73 \text{ N}$
- $R_{ey1} = 680,57 \text{ N}$

**Perfil 2 ( $l = 9907,277 \text{ N/m}$ )**

**Tramo A-B**



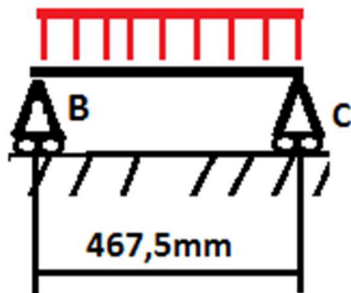
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Ay2} + R_{By2} - (l * 0,1725) = 0 \rightarrow R_{Ay2} = 315,296 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0 = R_{By2} * 0,4675 - (l * 0,1725) * \left( \left( \frac{0,1725}{2} \right) + 0,295 \right) = 0 \rightarrow R_{By2} = 1393,70$$

**Tramo B-C**



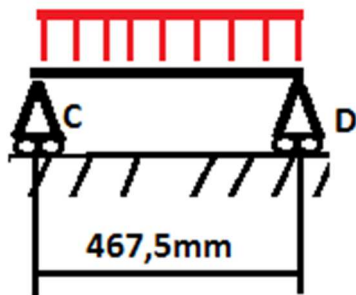
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{By2} + R_{Cy2} - (l * 0,4675) = 0 \rightarrow R_{By2} = 2315,826 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0,5 * R_{Cy2} - l * (0,04675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{Cy2} = 2315,826 \text{ N}$$

Tramo C-D



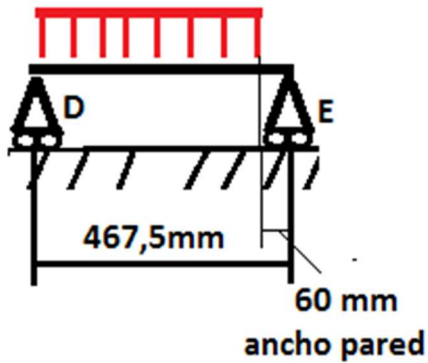
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{cy2} + R_{dy2} - (l * 0,4675) \rightarrow R_{cy2} = 2315,826 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0,5 * R_{dy2} - l * (0,4675^2/2) = 0 \rightarrow R_{dy2} = 2315,826 \text{ N}$$

Tramo D-E



$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{dy2} + R_{ey2} - (l * 0,4075) \rightarrow R_{dy2} = 2277,68 \text{ N}$$

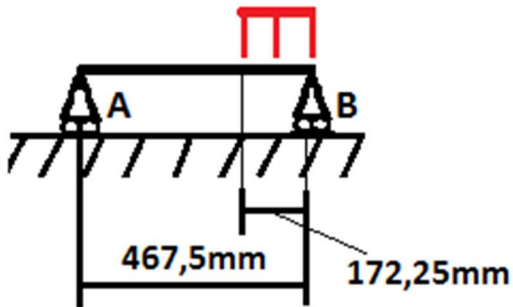
$$\sum M_d = 0 = 0,5 * R_{ey2} - l * (0,4075^2/2) = 0 \rightarrow R_{ey2} = 1759,53 \text{ N}$$

- $R_{ay2} = 315,29 \text{ N}$
- $R_{by2} = 3709,52 \text{ N}$
- $R_{cy2} = 4631,65 \text{ N}$
- $R_{dy2} = 4593,50 \text{ N}$
- $R_{ey2} = 1759,53 \text{ N}$

**Perfil 3 ( $l = 9907,277 \text{ N/m}$ )**

*Se realizarán los cálculos idénticos tanto para el perfil 2 como para 3, debido a que poseen la misma carga por unidad de longitud:*

**Tramo A-B**



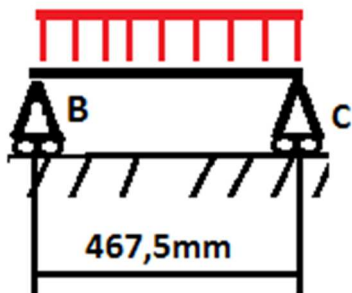
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 =$$

$$R_{Ay3} + R_{By3} - (l * 0,1725) \rightarrow R_{Ay3} = 315,296 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0 = R_{By3} * 0,4675 - (l * 0,1725) * \left( \frac{0,1725}{2} + 0,295 \right) = 0 \rightarrow R_{By3} = 1393,70 \text{ N}$$

**Tramo B-C**

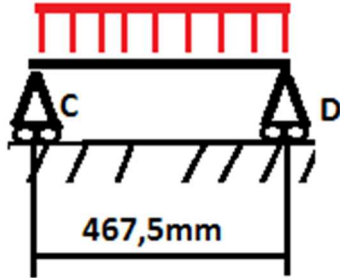


$$\sum F_y = 0$$

$$\sum F_y = 0 = R_{By3} + R_{Cy3} - (l * 0,4675) = 0 \rightarrow R_{By3} = 2315,826 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0 = 0,5 * R_{Cy3} - l * (0,4675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{Cy3} = 2315,826 \text{ N}$$

### Tramo C-D

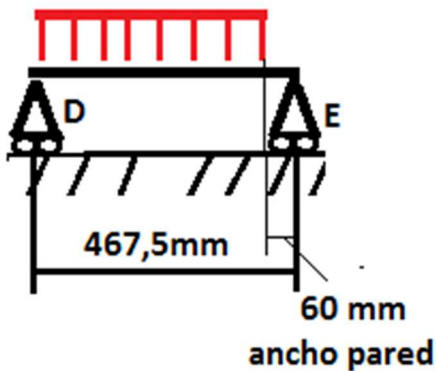


$$\sum F_x = 0 =$$

$$\sum F_y = 0 = R_{cy3} + R_{dy3} - (l * 0,4675) \rightarrow R_{cy3} = 2315,826 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0,5 * R_{dy3} - l * (0,4675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{dy3} = 2315,826 \text{ N}$$

### Tramo D-E



$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 = R_{dy3} + R_{ey3} - (l * 0,4075) \rightarrow R_{dy3} = 2277,68 \text{ N}$$

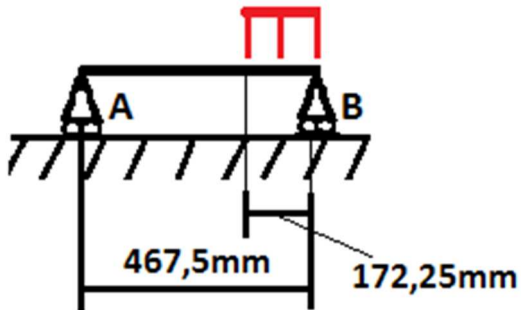
$$\sum M_d = 0 = 0,5 * R_{ey3} - l * (0,4075^2 / 2) = 0 \rightarrow$$

$$R_{ey3} = 1759,53 \text{ N}$$

- $R_{ay3} = 315,30 \text{ N}$
- $R_{by3} = 3709,52 \text{ N}$
- $R_{cy3} = 4631,65 \text{ N}$
- $R_{dy3} = 4593,50 \text{ N}$
- $R_{ey3} = 1759,53 \text{ N}$

**Perfil 4 ( $l = 8729,62 \text{ N/m}$ )**

**Tramo A-B**



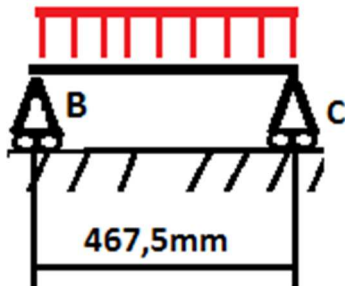
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 =$$

$$R_{ay4} + R_{by4} - (l * 0,1725) \rightarrow R_{ay4} = 277,82 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0 = R_{by4} * 0,4675 - (l * 0,1725) * \left( \frac{0,1725}{2} + 0,295 \right) = 0 \rightarrow R_{by4} = 1228,04 \text{ N}$$

**Tramo B-C**



$$\sum F_x = 0$$

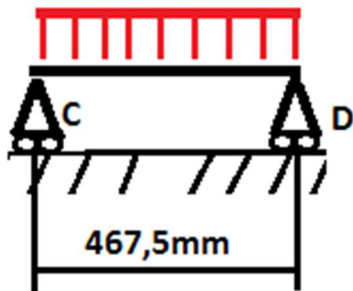
$$\sum F_y = 0 =$$

$$R_{by4} + R_{cy4} - (l * 0,4675) = 0 \rightarrow R_{by4} = 2040,59 \text{ N}$$

$$\sum M_b = 0 = 0,5 * R_{cy4} - l * (0,0,4675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{cy4} = 2040,59 \text{ N}$$



### Tramo C-D



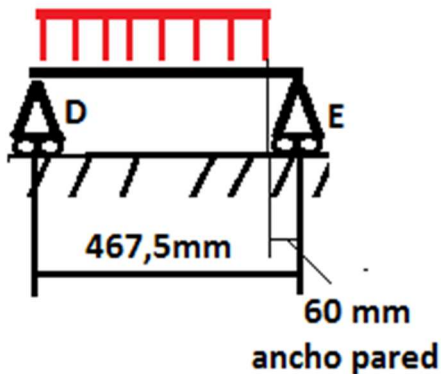
$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 =$$

$$R_{cy4} + R_{dy4} - (l * 0,4675) \rightarrow R_{cy4} = 2040,59 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0 = 0,5 * R_{dy4} - l * (0,4675^2 / 2) = 0 \rightarrow R_{dy4} = 2040,59 \text{ N}$$

### Tramo D-E



$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 =$$

$$R_{dy4} + R_{ey4} - (l * 0,4075) \rightarrow R_{dy4} = 2006,38 \text{ N}$$

$$\sum M_d = 0 = \sum M_d = 0,5 * R_{ey4} - l * (0,4075^2 /$$

$$2) = 0 \rightarrow R_{ey4} = 1550,38 \text{ N}$$

- $R_{ay4} = 277,82 \text{ N}$
- $R_{by4} = 3268,63 \text{ N}$
- $R_{cy4} = 4081,18 \text{ N}$
- $R_{dy4} = 4049,97 \text{ N}$
- $R_{ey4} = 1550,38 \text{ N}$



### **Perfil 5 ( $l = 8729,62 \text{ N/m}$ )**

Este perfil, en las condiciones de cálculo con las que estamos trabajando, solo recibe carga de las paredes y puertas bajo las que se encuentre.

Por ello, la carga, que debe soportar dicho perfil debido a la carga útil situada en el montacargas es de 0:

- $R_{ay5} = 0 \text{ N}$
- $R_{by5} = 0 \text{ N}$
- $R_{cy5} = 0 \text{ N}$
- $R_{dy5} = 0 \text{ N}$
- $R_{ey5} = 0 \text{ N}$

## ANEXO B: Cálculo carga de plataforma en cada punto de apoyo entre perfiles.

### **Cargas longitudinales en cada perfil:**

- $\text{Perfil 1} = 765,18 \text{ N/m}^2 * 0,265 = 202,77 \text{ N/m.}$
- $\text{Perfil 2} = 765,18 \text{ N/m}^2 * 0,53 = 405,54 \text{ N/m.}$
- $\text{Perfil 3} = 765,18 \text{ N/m}^2 * 0,53 = 405,54 \text{ N/m.}$
- $\text{Perfil 4} = 765,18 \text{ N/m}^2 * 0,53 = 405,54 \text{ N/m.}$
- $\text{Perfil 5} = 765,18 \text{ N/m}^2 * 0,265 = 202,77 \text{ N/m.}$

### **Perfil 1:**

- $Nudo A = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675/2) = 47,39 \text{ N}$
- $Nudo B = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79 \text{ N}$
- $Nudo C = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79 \text{ N}$
- $Nudo D = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79 \text{ N}$
- $Nudo E = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 47,39 \text{ N}$

**Perfil 2:**

- $Nudo A = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675/2) = 94,79N$
- $Nudo B = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo C = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo D = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo E = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$

**Perfil 3:**

- $Nudo A = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675/2) = 94,79N$
- $Nudo B = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo C = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo D = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo E = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$

**Perfil 4:**

- $Nudo A = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675/2) = 94,79N$
- $Nudo B = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo C = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo D = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 189,59N$
- $Nudo E = 405,54 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$

**Perfil 5:**

- $Nudo A = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675/2) = 47,39N$
- $Nudo B = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$
- $Nudo C = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$
- $Nudo D = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 94,79N$
- $Nudo E = 202,77 \text{ N/m} * (0,4675) = 47,39N$

Todos estos valores se recogen en la siguiente tabla:

|                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| <b>5E= 47,39 N</b>  | <b>4E= 94,795 N</b> | <b>3E= 94,795 N</b> | <b>2E= 94,795 N</b> | <b>1E= 47,39 N</b>  |
| <b>5D= 94,795 N</b> | <b>4D= 189,59 N</b> | <b>3D= 189,59 N</b> | <b>2D= 189,59 N</b> | <b>1D= 94,795 N</b> |
| <b>5C= 94,795 N</b> | <b>4C= 189,59 N</b> | <b>3C= 189,59 N</b> | <b>2C= 189,59 N</b> | <b>1C= 94,795 N</b> |
| <b>5B= 94,795 N</b> | <b>4B= 189,59 N</b> | <b>3B= 189,59 N</b> | <b>2B= 189,59 N</b> | <b>1B= 94,795 N</b> |
| <b>5A= 47,39 N</b>  | <b>4A= 94,795 N</b> | <b>3A= 94,795 N</b> | <b>2A= 94,795 N</b> | <b>1A= 94,795 N</b> |

## ANEXO C: Cálculo de la tensión aproximada en el perfil más solicitado.

Para calcular la tensión equivalente máxima, usaremos el valor del mayor momento, 2361 N\*m y la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \left( \frac{M_{max}}{I_{xx}} \right) * y \quad ; \quad W_x = I_{xx}/y$$

Es decir:

$$\sigma_{max} = \left( \frac{M_{max}}{W_x} \right)$$

Ahora se hallará el valor de  $W_x$  mínimo, y buscaremos en un catálogo de perfiles IPE algún perfil que cumpla con nuestro valor de  $W_x$ , aunque aumentado por algún coeficiente de seguridad. En este caso se impone un valor para el coeficiente de seguridad de como mínimo 4. Se comienza escogiendo un acero S275. El límite elástico para este acero es de 275 Mpa.:

$$\sigma_{max} = \left( \frac{M_{max}}{W_x} \right)$$



$$275000000Pa = \left( \frac{2361N * m}{W_x} \right)$$

$$W_x = 8,58 * 10^{-6}m^3 = 8,58 cm^3$$

$$W_x(\text{Coeficiente seguridad } 4) = 34,3 cm^3$$

Para cumplir con estos requisitos, serviría un perfil IPE 120, con un  $W_x$  de 54.

A continuación, se realizará el mismo calculo, pero con perfiles realizados en acero S355. El limite elástico para este acero es de 355 Mpa.:

$$\sigma_{max} = \left( \frac{M_{max}}{W_x} \right)$$

$$355000000Pa = \left( \frac{2361N * m}{W_x} \right)$$

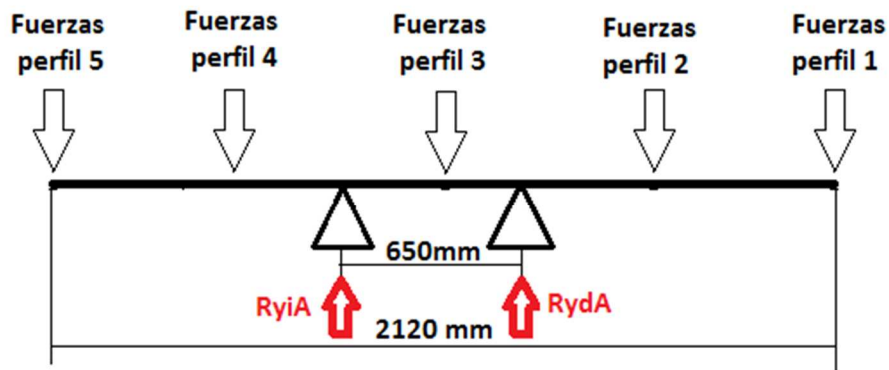
$$W_x = 6,65 * 10^{-6}m^3 = 6,65 cm^3$$

$$W_x(\text{Coeficiente seguridad } 4) = 26,6 cm^3$$

Con este valor, se podría escoger un IPE100 (34,2  $cm^3$ ), puesto que un IPE 80( $W_x=20cm^3$ ) sería insuficiente para cumplir con nuestros requisitos.

En este proyecto, se decide usar los perfiles IPE100 fabricados en acero S355 debido a su menor peso y dimensiones.

## ANEXO D: Cálculo de cargas en las uñas.



\* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 1. Diagrama calcula reacciones de las uñas. Perfil A.

### Sumatorio de momentos:

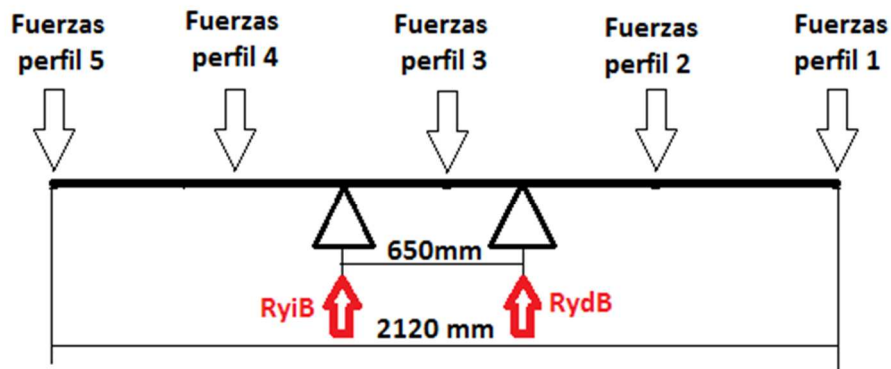
$$\sum M_i = 0 = \left(0,53 + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) - 0,06\right) * 5A + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) * 4A - \left(\frac{0,65}{2}\right) * 3A - \left(\left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) + 0,65\right) * 2A - \left((3 * 0,53) - \left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) - 0,06\right) * 1A + 0,65 * R_{ydA} = 0$$

### Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 = R_{ydA} + R_{tiA} = 393,44 + 520,31 + 557,79 + 557,79 + 534,98$$

$$R_{ydA} + R_{tiA} = 2564.31 \text{ N}$$

- $R_{ydA} = 1597,34 \text{ N}$
- $R_{yiA} = 1137,25 \text{ N}$



\* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 2. Diagrama calcula reacciones de las uñas. Perfil B.

### Sumatorio de momentos:

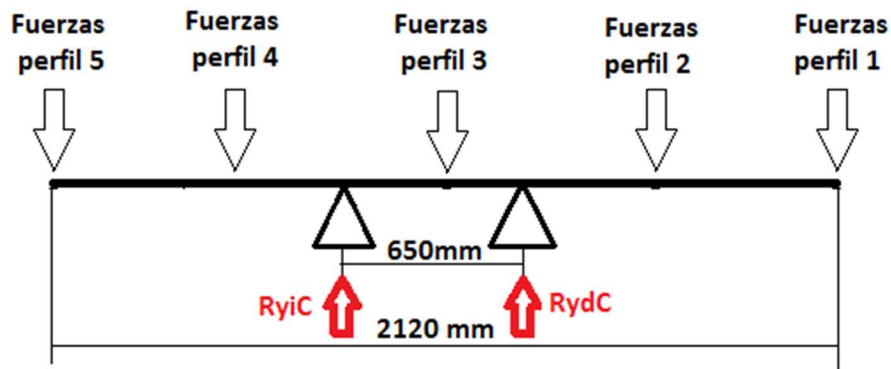
$$\sum M_i = 0 = \left(0,53 + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) - 0,06\right) * 5B + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) * 4B - \left(\frac{0,65}{2}\right) * 3B - \left(\left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) + 0,65\right) * 2B - \left((3 * 0,53) - \left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) - 0,06\right) * 1B + 0,65 * R_{ydB} = 0$$

### Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 = R_{ydB} + R_{yiB} = 47,52 + 3363,63 + 3804,57 + 3804,57 + 1482,34$$

$$R_{ydB} + R_{yiB} = 12502,63 \text{ N}$$

- $R_{ydB} = 9139,97 \text{ N}$
- $R_{yiB} = 3741,02 \text{ N}$



\* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 3. Diagrama calcula reacciones de las uñas. Perfil C.

### Sumatorio de momentos:

$$\sum M_i = 0 = \left(0,53 + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) - 0,06\right) * 5C + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) * 4C - \left(\frac{0,65}{2}\right) * 3C - \left(\left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) + 0,65\right) * 2C - \left((3 * 0,53) - \left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) - 0,06\right) * 1C + 0,65 * R_{ydC} = 0$$

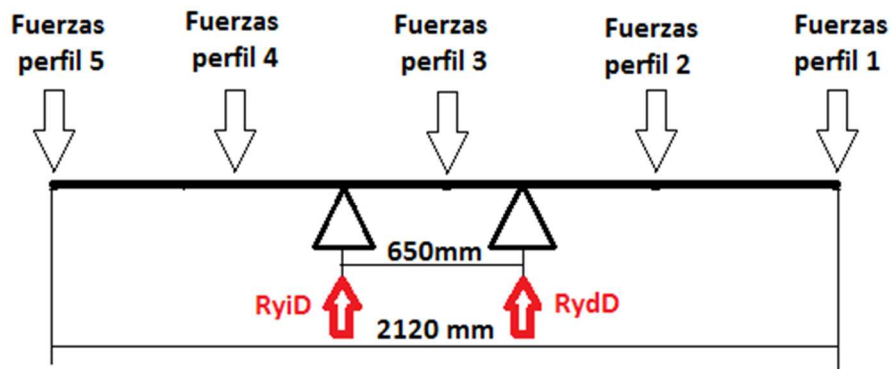
### Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 = R_{ydC} + R_{yiC} = 47,52 + 4176,14 + 4726,7 + 4726,7 + 1839,49$$

$$R_{ydC} + R_{yiC} = 15516,55N$$

- $R_{ydC} = 11318,57 N$
- $R_{yiC} = 4576,16 N$





\* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 4. Diagrama calcula reacciones de las uñas. Perfil D.

### Sumatorio de momentos:

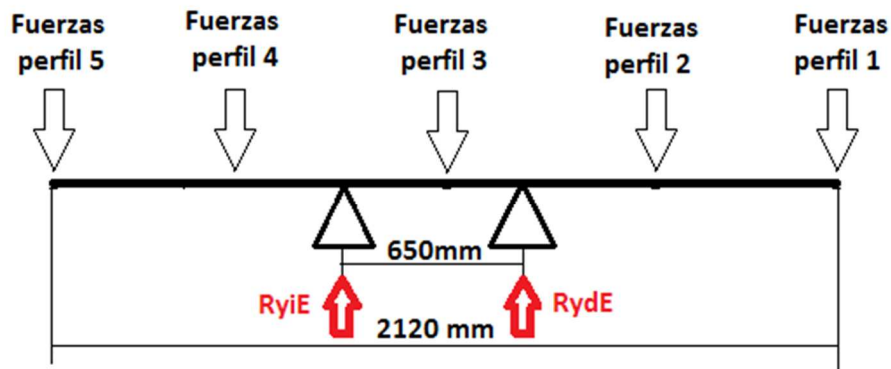
$$\sum M_i = 0 = \left(0,53 + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) - 0,06\right) * 5D + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) * 4D - \left(\frac{0,65}{2}\right) * 3D - \left(\left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) + 0,65\right) * 2D - \left((3 * 0,53) - \left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) - 0,06\right) * 1D + 0,65 * R_{ydD} = 0$$

### Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 = R_{ydD} + R_{yiD} = 47,52 + 4142,52 + 4688,55 + 4688,55 + 1824,25$$

$$R_{ydD} + R_{yiD} = 15391,39N$$

- $R_{ydD} = 11318,57 N$
- $R_{yiD} = 4576,16 N$



\* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 5. Diagrama calcula reacciones de las uñas. Perfil E.

### Sumatorio de momentos:

$$\sum M_i = 0 = \left(0,53 + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) - 0,06\right) * 5E + \left(0,53 - \left(\frac{0,65}{2}\right)\right) * 4E - \left(\frac{0,65}{2}\right) * 3E - \left(\left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) + 0,65\right) * 2E - \left((3 * 0,53) - \left(0,53 - \frac{0,65}{2}\right) - 0,06\right) * 1E + 0,65 * R_{ydE} = 0$$

### Sumatorio de fuerzas verticales:

$$\sum F_y = 0 = R_{ydE} + R_{yiE} = 393,44 + 1792,87 + 2002,02 + 2002,02 + 1090,60$$

$$R_{ydE} + R_{yiE} = 7280,95N$$

- $R_{ydE} = 5005,05 \text{ N}$
- $R_{yiE} = 2447,42 \text{ N}$

## ANEXO E: Cálculo aproximado de uñas para el montacargas.

### **Momentos flectores en cada apoyo**

- $Md = 5005,05 * 0.4675 = 2339,86 \text{ N} * m.$
- $Mc = (5005,05 * 2 * 0.4675) + (11318,57 * 0.4675) =$   
 $9971,15,58 \text{ N} * m$
- $Mb = (5005,05 * 3 * 0.4675) + (11318,57 * 2 * 0.4675) + (11318,57 * 0.4675) = 22893,9 \text{ N} * m$
- $Ma = (5005,05 * 4 * 0.4675) + (11318,57 * 3 * 0.4675) + (11318,57 * 2 * 0.4675) + (9139,77 * 0.4675) = 40089,49 \text{ N} * m$
- $Memp = (5005,05 * (1,87 + 0.1)) + (11318,57 * (3 * 0.4675 + 0.1)) + (11318,57 * (2 * 0.4675 + 0.1)) + (9139,77 * (0.4675 + 0.1)) = 43927,37 \text{ N} * m$

**Donde:**

**-Md = momento en el punto de intersección uña-perfil D**

**-Mc= momento en el punto de intersección uña-perfil C**

**-Mb= momento en el punto de intersección uña-perfil B**

**-Ma= momento en el punto de intersección uña-perfil A**

**-Memp= momento en el punto de unión uña con el bastidor.**

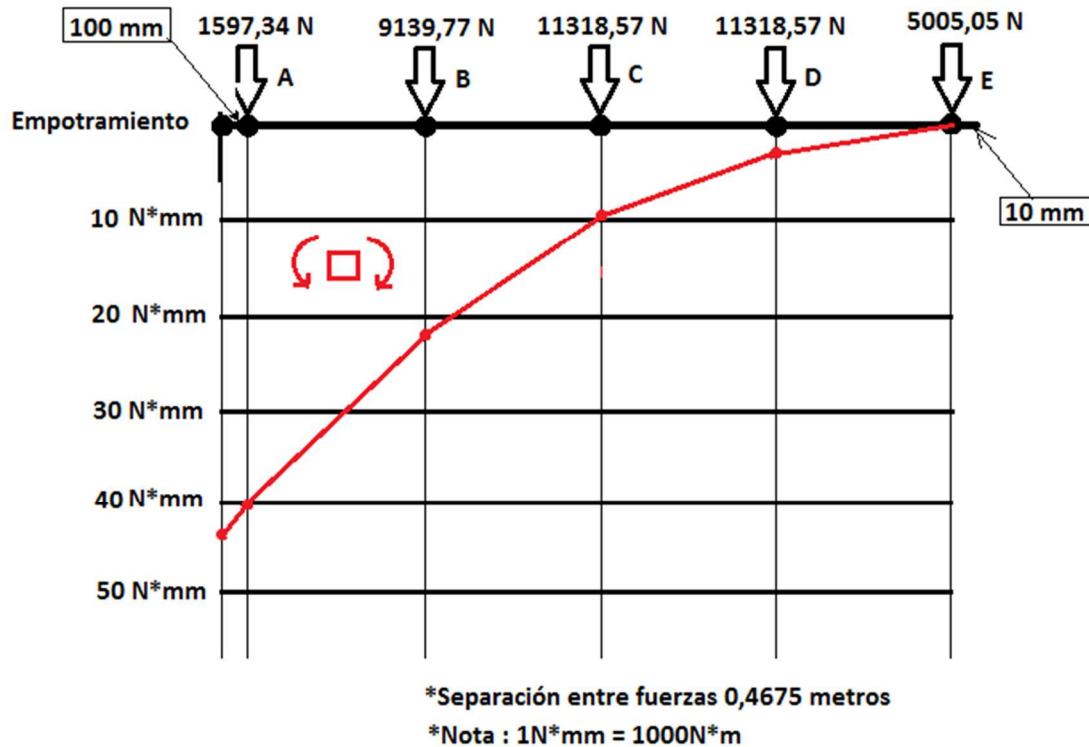


Ilustración 6. Diagrama momentos flectores de uña derecha.

### E.1 Selección perfil macizo para uñas.

Usaremos la siguiente ecuación para obtener la tensión normal máxima en la uña del montacargas, el cual se producirá en el punto A para la sección pequeña y en el punto de empotramiento para la grande. Se buscará un coeficiente de seguridad (a parte del coeficiente de 2,5 para la carga) de 4, para la fuerza normal resultante y la admisible del material escogido, es decir seguiremos trabajando con la carga de 5000kg y además el material que escojamos tendrá una resistencia 4 veces mayor a la requerida en nuestros cálculos trabajando con esta carga:

$$\sigma_x = \frac{6 * Mz}{(b * h^2)}$$

Esta ecuación deriva de la siguiente, pero sustituyendo “y” por “h/2” y “Ixx” por “bh<sup>3</sup>/12”:

$$\sigma_x = \left( \frac{Mm}{I_{xx}} \right) * y$$

Se probará con un perfil de sección 120 x 180 mm:

**Tensión normal en el empotramiento:**

$$\sigma_{xemp} = \frac{6 * 35432,16}{(0,08 * 0,2^2)} = 66435000 Pa$$

$$\sigma_{xemp} = 66,43 \text{ Mpa}$$

$$\text{Si escogemos un acero S235JR} = \frac{235}{66,43} = 3,53$$

$$\text{Si escogemos un acero S275JR} = \frac{275}{66,43} = 4,14$$

$$\text{Si escogemos un acero S355JR} = \frac{355}{66,43} = 5,34$$

Para el empotramiento al ser la sección mayor claramente cumplirá los requisitos si el resto de la uña los cumple.

Se escogería entonces un perfil de sección 200 x 80 mm con espesor 80mm (ANEXO L , “Catálogo de perfiles laminados” ), de una longitud de 1990 mm, con un rectángulo en el extremo el cual se unirá al resto de montacargas, de 360 mm de altura, mismo espesor y una anchura de 100mm (Distancia estipulada de separación entre el bastidor del montacargas y el habitáculo del mismo). El material será acero **S275JR**. Si peso por unidad de longitud, tal y como nos indica el catalogo, es de 124,8 kg/m. Quedaría como se muestra a continuación:

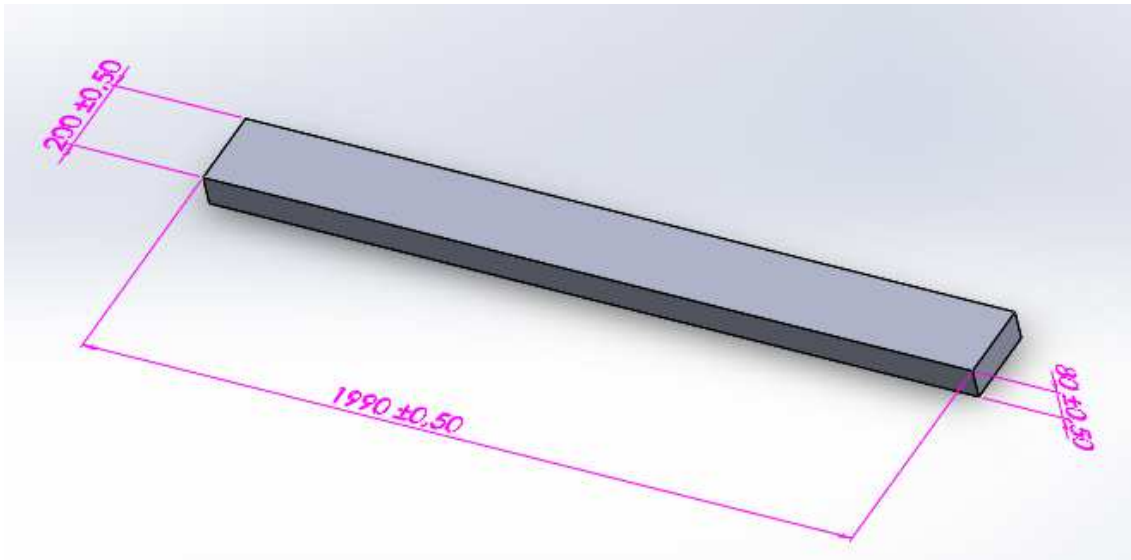


Ilustración 7. Detalle de uña del montacargas con dimensiones.

## E.2 Selección perfil hueco para uñas.

Se buscará también un perfil rectangular, puesto que es más eficaz a la hora soportar momento que uno de sección cuadrada o circular. Buscaremos el módulo resistente que necesitamos para soportar el momento máximo que se dé. Por otro lado, para disminuir peso, se usará un perfil estructural o un perfil rectangular hueco, a fin de no usar un elemento macizo y pesado. El máximo momento que se da es de 43927,37 N\*m. Probaremos buscando un perfil fabricado en acero S275, que tiene un módulo elástico de 275 Mpa. Usaremos la ecuación siguiente:

$$\sigma_{Max} = \left( \frac{M_{max}}{I_{xx}} \right) * y$$

Donde “y” correspondería a la máxima distancia en vertical, desde el centro de la sección hasta el extremo de dicha vertical. Teniendo en cuenta que el valor de W (modulo resistente) es:

$$W_x = I_{xx}/y$$

$$\sigma_{Max} = \left( \frac{M_{max}}{W_x} \right)$$

Sustituyendo en dicha ecuación, podemos obtener el Modulo resistente necesario para que el perfil sea apto para nuestro calculo:

$$275000000Pa = \left( \frac{43927,37N * m}{W_x} \right)$$

$$W_x = 1,60 * 10^{-4} = 160 cm^3$$

En este caso se obtiene un módulo de  $1,60 * 10^{-4} cm^3$ , es decir,  $160 cm^3$ . En un catálogo de perfiles rectangulares huecos, buscaremos alguno que cumpla con nuestros requisitos. Para nuestros cálculos, se fijará un coeficiente de seguridad de valor 4. Es decir, necesitamos encontrar un perfil que posea un módulo resistente 4 veces mayor al requerido por la ecuación anterior, es decir,  $640 cm^3$ . El catalogo nos indica (ANEXO L) que se sirven los perfiles en materiales S275 o S355. Si estuviese fabricado en acero S275, para cumplir con este coeficiente de seguridad se escoge un perfil rectangular de 260mmx180mm, con un espesor de 12,5 mm. (*"Catálogo perfiles estructurales rectangular hueco"*).

El perfil sería como se mostrará en la ilustración siguiente:

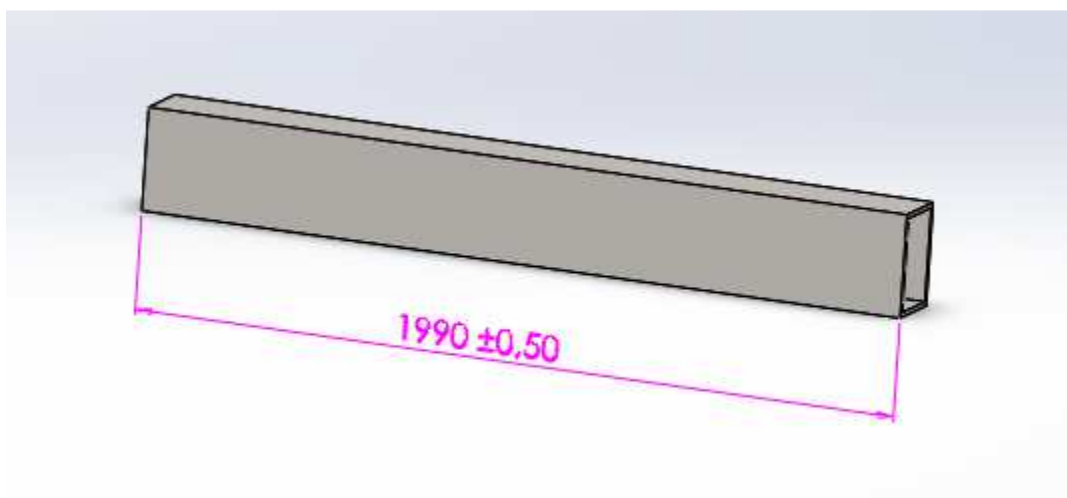


Ilustración 8. Uña sección hueca.

### E.3. Selección de perfil estructural para uñas.

En este caso, podemos buscar, al igual que en el anterior apartado (“E.2. Selección perfil hueco uñas”), un perfil que posea un módulo resistente de valor  $640 \text{ cm}^3$ . Un perfil IPE 330 posee un módulo resistente de  $734 \text{ cm}^3$  (“Catálogo de perfiles estructurales IPE y HEB”), lo cual podría servir para el propósito indicado. El peso por unidad de longitud de dicho perfil es de  $49,1 \text{ kg/m}$ . (Catálogo en ANEXO L)

## ANEXO F: Selección del motor para el conjunto motor-reductor.

En primer lugar, escogemos un piñón normalizado en el “catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom”. Pertenece a la serie de engranajes que junto con sus respectivas cremalleras pueden llegar a soportar la carga con un coeficiente de seguridad que nos hemos impuesto de 2,5.

Las características del engranaje en cuestión son:

- Engranaje helicoidal
- Módulo= 10
- Numero de dientes (Z)=18
- Diámetro primitivo (Dp)=191mm
- Diámetro interior (Dint)=55mm
- Diámetro exterior (Dext)=212.21mm
- Material= Acero F1540

Sabemos que la velocidad nominal ( $V_n$ ) que buscamos para nuestro montacargas es de  $0,33 \text{ m/s}$ , además conocemos la velocidad angular nominal del motor ( $W_{nm}$ ) que es de  $1460 \text{ rpm}$ . Con todos estos datos podemos hallar la relación de transmisión que buscamos:



$W_{nm} = 1460 \text{ rpm}$ .

Dividiremos estos 1460 rpm para 60 para obtener revoluciones por segundo:

$W_{nm} = 24,33 \text{ rps (revoluciones por segundo)}$

A su vez, multiplicaremos las revoluciones por segundo por " $2\pi$ " para obtener Rad/s:

$W_{nm} = 152,89 \text{ rad/s}$

Ahora hallamos la velocidad angular del piñón a la salida del grupo motor-reductor ( $W_{mr}$ ). Para ello simplemente dividimos la velocidad nominal del montacargas ( $V_n$ ) para el radio primitivo del piñón escogido para la salida del reductor.

$$W_{mr} = \frac{V_n}{\frac{d_{pm}}{2}} = \frac{0,33}{\frac{0,1823}{2}} = 3,113 \text{ rad/s}$$

La relación de transmisión (i) buscada será entonces:

$$i = \frac{W_{nm}}{W_{pm}} = \frac{152,89}{3,6569} = 49,11$$

Se procederá a continuación al cálculo de los momentos de inercia de todas las masas reducidos a la salida del motor. Por la nomenclatura usada, "J" hace referencia a momento de inercia, y los subíndices al elemento al cual se refiere, si dicho subíndice termina en "r" quiere decir que ese momento está reducido a la salida del motor-reductor:

#### 1. Momento de inercia de la carga y peso propio del montacargas

$$J_{cpr} = \left( \frac{1}{\eta_{tot}} \right) * m_{tr} * \left( \frac{V_n}{W_{mr}} \right)^2 = \left( \frac{1}{\eta_{tot}} \right) * m_{tr} * \left( \frac{d_{pm}}{i*2} \right)^2 = \left( \frac{1}{0,7695} \right) * 4000 * \left( \frac{0,1823}{41,808*2} \right)^2$$

$$J_{cpr} = 0,02421 \text{ kg} * \text{m}^2$$

## 2. Momento inercia piñón reducido a salida motor (Jpr).

En este caso deberemos hallar el momento de inercia exterior del disco y restarle el momento de inercia generado por el diámetro interno si este no fuese un orificio para obtener el momento del propio piñón. Consideraremos el piñón de un acero medio con densidad de 7800 kg/m<sup>3</sup>.

$$M_{ext} = \pi * \left(\frac{dpm}{2}\right)^2 * b * \rho = \pi * \left(\frac{0,1823}{2}\right)^2 * 0,08 * 7800 = 21,67 \text{ kg}$$

$$M_{int} = \pi * \left(\frac{dint}{2}\right)^2 * b * \rho = \pi * \left(\frac{0,07}{2}\right)^2 * 0,08 * 7800 = 1,78 \text{ kg}$$

$$J_{ext} = \frac{1}{8} * M_{ext} * dpm^2 = \frac{1}{8} * 21,67 * 0,1823^2 = 0,0988 \text{ kg} * m^2$$

$$J_{int} = \frac{1}{8} * M_{int} * dint^2 = \frac{1}{8} * 1,78 * 0,07^2 = 6,73 * 10^{-4} \text{ kg} * m^2$$

$$J_p = J_{ext} - J_{int} = 0,0981 \text{ Kg} * m^2$$

Ahora lo reducimos a la salida del motor (Jpr):

$$J_{pr} = \left(\frac{1}{\eta_{red}}\right) * J_p * \left(\frac{W_{pm}}{W_{nm}}\right)^2 = \left(\frac{1}{0,95}\right) * 0,0981 * \left(\frac{3,6569}{152,89}\right)^2 = 4,28 * 10^{-5} \text{ kg} * m^2$$

## 3. Momento inercia freno emergencia

El freno de emergencia tiene las siguientes características:

- Jfe=0,06 kg\*m<sup>2</sup>
- $\eta$  piñ-crem=0,95
- Dpiñ\_fre (diámetro piñón freno) =0,1823 m
- Dint piñ\_fre (diámetro interior piñón-freno) =0,038 m
- b piñ\_fre (anchura del piñón) =0,07

$$J_{fer} = \left(\frac{1}{\eta}\right) * J_{fe} * \left(\frac{W_{pm}}{W_{nm}}\right)^2 = \left(\frac{1}{0,95}\right) * 0,06 * \left(\frac{3,6569}{152,89}\right)^2$$

$$= 4,695 * 10^{-5} \text{ kg} * m^2$$

4. Momento de inercia piñón-freno emergencia reducido a la salida del motor.

$$M_{ext} = \pi * \left( \frac{D_{piñ\_fre}}{2} \right)^2 * b_{piñ\_fre} * \rho = \pi * \left( \frac{0,1823}{2} \right)^2 * 0,07 * 7800 \\ = 14,251 \text{ kg}$$

$$M_{int} = \pi * \left( \frac{D_{int \text{ piñ\_fre}}}{2} \right)^2 * b_{piñ\_fre} * \rho = \pi * \left( \frac{0,038}{2} \right)^2 * 0,07 * 7800 \\ = 0,619 \text{ kg}$$

$$J_{ext} = \frac{1}{8} * M_{ext} * (D_{piñ\_fre})^2 = \frac{1}{8} * 14,251 * 0,1823^2 = 0,0592 \text{ kg} * m^2$$

$$J_{int} = \frac{1}{8} * M_{int} * D_{int \text{ piñ\_fre}}^2 = \frac{1}{8} * 0,619 * 0,038^2 = 1,117 * 10^{-4} \text{ kg} * m^2$$

$$J_{pf} = J_{ext} - J_{int} = 0,059 \text{ Kg} * m^2$$

Ahora lo reducimos a la salida del motor-reductor:

$$J_{pfr} = \left( \frac{1}{\eta} \right) * J_{pf} * \left( \frac{W_{pm}}{W_{nm}} \right)^2 = \left( \frac{1}{0,7695} \right) * 0,059 * \left( \frac{3,6569}{152,89} \right)^2 \\ = 4,782 * 10^{-5} \text{ kg} * m^2$$

**Momento inercia masas conducidas (Jc)**

$$J_c = J_{cpr} + J_{pr} + J_{fer} + J_{pfr} = 0,02481 \text{ kg} * m^2$$

### Momento de inercia del freno del motor

$$Jm = 850 * 10^{-4} \text{ kg} * \text{m}^2$$

### Factor aceleración de masas (K)

$$K = \frac{Jc}{Jm} = 0,2918$$

Este valor de K se encuentra en el rango, definido en el catálogo, entre 0,25 y 3, con lo cual se encuentra en el grupo K2 (carga con choques moderados).

El siguiente paso para poder escoger nuestro reductor es definir el factor “fs”, el cual vendrá determinado por las horas de trabajo diarias y los arranques por hora. En este caso, se elige que el montacargas será sometido a 16 horas de trabajo y 4 arranques por hora. De esta manera, guiándonos por la gráfica, obtenemos un valor para fs de 1,52.

Este factor fs nos relaciona el momento conducido (Mc) con el momento resístete a la salida del reductor (Msr):

$$Mc = fs * Msr$$

$$Msr = Mres r = \left(\frac{1}{\eta}\right) * Fres * \left(\frac{Vnom}{Wr}\right) = \left(\frac{1}{\eta f * \eta p}\right) * Fres * \left(\frac{Vnom}{\left(\frac{Vnom}{\frac{dpm}{2}}\right)}\right)$$

$$Msr = 4408,4 \text{ N} * \text{m}$$

$$Mc = fs * Msr = 1,52 * 4408,4 = 6700,83 \text{ N} * \text{m}$$

Escogemos el motor BN 180 M de cuatro polos, que cumple con esta potencia necesaria y posee las siguientes características (página 255 del “catálogo de motores bonfiglioli serie VF-W” y en ANEXO L):

- Potencia nominal (Pn) = 18,5 Kw
- N = 1460 rpm
- Mn = 121 N\*m



- $J_m$  (momento inercia motor) =  $790 \cdot 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$ .
- Diámetro del motor 310mm.
- Longitud del motor 640mm.

## ANEXO G: Cálculo de ruedas guía del montacargas.

### G.1. Centro de gravedad del montacargas.

El centro de gravedad de la maquina es obtenido de forma aproximada a través del software "Solid Works". A través de la pestaña "propiedades físicas" se nos facilita el volumen de material, posición del centro de gravedad referenciado al origen de coordenadas en el diseño 3D y demás propiedades como superficie y momentos de inercia. El origen de coordenadas en dicho modelo virtual, está situado en punto fuera del montacargas. Con las medidas, respecto al origen de coordenadas, del de centro de gravedad obtenidas en "propiedades físicas" y las coordenadas de un punto del montacargas, podemos situar nuestro centro de gravedad, respecto al punto del montacargas. Estos datos quedan representados en la siguiente ilustración, donde se señala con color verde el punto del montacargas desde el cual se toma la referencia del centro de gravedad:

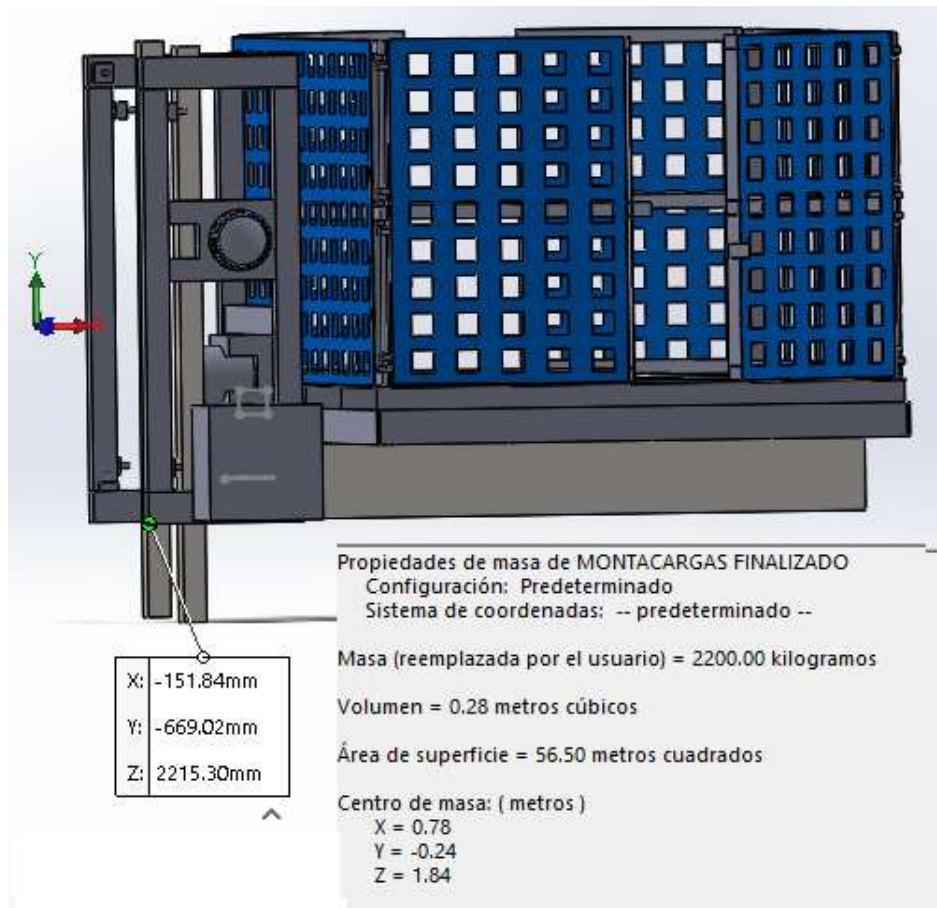


Ilustración 9. Coordenadas de un punto del montacargas y posición del centro de masas respecto al origen de coordenadas del diseño 3D.

Centro de gravedad respecto a ese punto del montacargas:

$$X = 780 + 151,84 = 931,84mm$$

$$Y = 669,02 - 240 = 429,02mm$$

$$Z = 2215,30 - 1840 = 375,3mm$$

## G.2. Cálculo de las ruedas guía principales

Para este cálculo, tendremos en cuenta la carga neta (manteniendo el factor de seguridad de 2,5, el cual contempla la dinámica del mecanismo), la fuerza que hace el motor en ascenso (la carga neta más el peso del propio montacargas) y las reacciones

que el pilar tiene sobre las ruedas del montacargas. Con estos valores, se realiza el sumatorio de momentos, con el fin de obtener el valor de las fuerzas en las ruedas (F. rued), en el centro de gravedad. El centro de gravedad ha sido obtenido mediante Solid Works, es decir, se ha realizado el diseño completo del montacargas sin las ruedas guía, y se ha obtenido el centro de gravedad de este diseño, que apenas tendrá diferencia con el diseño terminado (Ruedas escogidas). El número de ruedas totales es de 8, situándose la mitad a cada lado del montacargas. Las ruedas bloquean el giro del montacargas y mantienen la horizontalidad de la plataforma.

La siguiente ilustración muestra el diagrama usado para la obtención de las “F.rued.” Se tiene en cuenta el viento, en ambos sentidos, para realizar el sumatorio de momentos. Además, se tendrá en cuenta la existencia de otras cuatro ruedas (tal como se muestra en la imagen) en la otra cara del montacargas, multiplicando las fuerzas en las ruedas por un factor 2. El sentido de las fuerzas indicado en el diagrama es aleatorio y se definirá en función del signo en el valor de la fuerza, siendo opuesto al indicado en el diagrama si este sale negativo. Las posiciones de los ejes de las ruedas están situados, respecto a la vertical, en el medio de los perfiles horizontales que conforman el bastidor, es un cálculo aproximado, después podrán variar medidas una vez se estudie el comportamiento del montacargas en “Solid Works”.

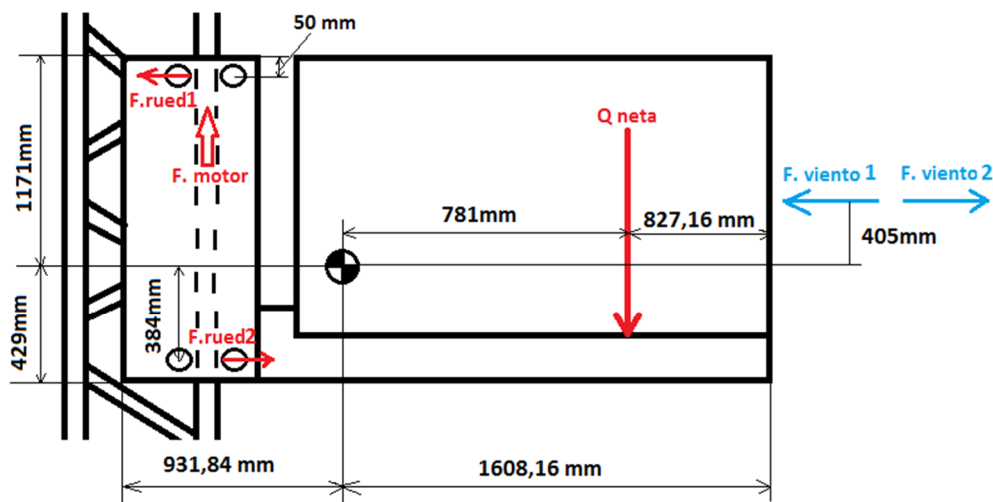


Ilustración 10. Diagrama usado para cálculo de ruedas.



Donde:

- $Q_{neta} = 9,81 * 5000 \text{ kg} = 49050 \text{ N}$
- $F_{motor} = 9,81 * 7000 \text{ kg} = 68670 \text{ N}$
- $F_{viento} = 731,52 \text{ N}$  (En los dos sentidos)

- **Fuerza de viento 1.**

Sumatorio de momentos en el centro de gravedad:

$$\sum M_{cdg} = 0 = 1,126 * F_{rued1} + 0,0.384 * F_{rued2} - 0,608 * F_{mot} - (5000 * 9,81) * 0,781 + 0,405 * F_{viento} = 0$$

Sumatorio de fuerzas horizontales:

$$\sum F_x = 0 = -F_{rued1} + F_{rued2} - 731,52 \text{ N} = 0$$

$F_{rued1} = 52637,25 \text{ N} \rightarrow \text{Cada rueda} = 26318,62 \text{ N}$

$F_{rued2} = 53368,72 \text{ N} \rightarrow \text{Cada rueda} = 26684,36 \text{ N}$

- **Fuerza de viento 2.**

Sumatorio de momentos en el centro de gravedad:

$$\sum M_{cdg} = 0 = 1,126 * F_{rued1} + 0,0.384 * F_{rued2} - 0,608 * F_{mot} - (5000 * 9,81) * 0,781 - 0,405 * F_{viento} = 0$$

Sumatorio de fuerzas horizontales:

$$\sum F_x = 0 = -F_{rued1} + F_{rued2} + 731,52 \text{ N} = 0$$

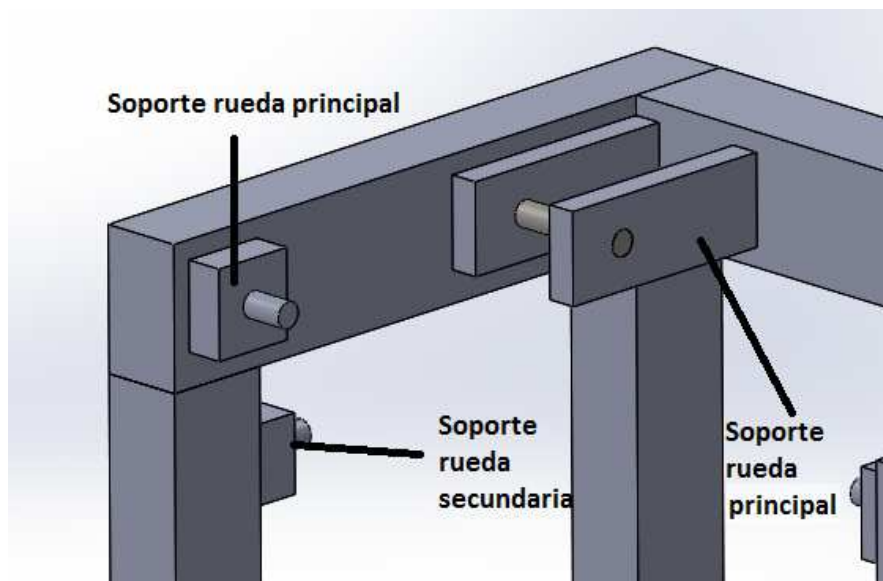
$F_{rued1} = 53707,48 \text{ N} \rightarrow \text{Cada rueda} = 26853,74 \text{ N}$



**Frued2= 52975,96 N -> Cada rueda = 26487,98 N**

### G.3 Cálculo de las ruedas guías laterales

Para el cálculo de las ruedas de los laterales, de las cuales existen 4, dos arriba y dos abajo, se tendrá en cuenta el viento que impacta las puertas y paredes, tratando a estos elementos como si no tuviesen orificios. Estas ruedas equilibrarán las acciones que el viento tiene sobre el montacargas y además equilibrarán el momento que la carga ejerce sobre el eje paralelo a la dirección de las uñas. A Continuación, se mostrará una ilustración del diagrama utilizado para plantear las ecuaciones y resolver los valores de las fuerzas que actúan sobre las ruedas. Posteriormente comparando los valores de estas ruedas, con las calculadas anteriormente, escogeremos el valor máximo para su selección puestos que todas son iguales. Además, se seguirá trabajando con una carga multiplicada por un factor 2,5 (Indicado por norma *UNE-EN 12158-1*, por ello para mantener el equilibrio se supone que el motor producirá una fuerza de igual valor a la suma de esa carga aumentada más el peso del montacargas (tan y como nos han indicado en la compañía Sermaco). Cabe señalar que el sentido de las fuerzas indicado en el diagrama es aleatorio. El sentido correcto de las fuerzas de las ruedas vendrá determinado por el signo de los resultados. En los siguientes apartados podremos observar las ilustraciones que nos muestran la colocación de las ruedas guía. La posición del eje de las ruedas secundarias respecto de la vertical se ha obtenido dejando 80mm de distancia entre el eje de la rueda y barra del bastidor bajo la que se encuentra. Se escoge 80 debido a que la rueda principal escogido tenía radio 100 y ésta cabe esperar que sea menor. Se toman las medidas en “Solid Work”. Para aclarar la posición de las ruedas secundarias se muestra la ilustración siguiente:



*Ilustración 11. Imagen descriptiva posicionamiento de las ruedas.*

## Fuerza viento 1 (898,86N)

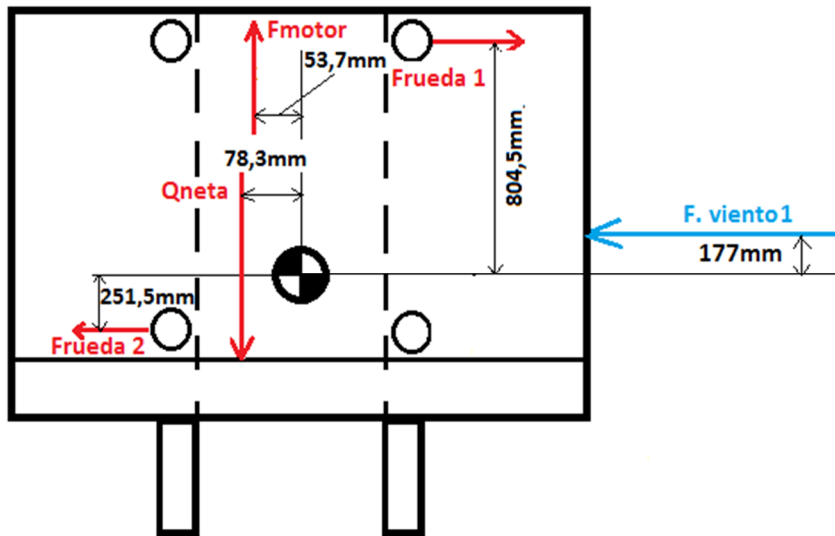


Ilustración 12. Diagrama usado para cálculo de ruedas n°1.

Sumatorio de momentos en el centro de gravedad:

$$\sum Mcdg = 0,177 * Fviento1 - 0,804 * F1 - 0,251 * F2 + Qneta * 0,783 - Fmotor * 0,0537 = 0$$

Sumatorio de fuerzas horizontales:

$$\sum Fx = -898,86 + F1 - F2 = 0$$

Resultado

$$F1 = 509,70 \text{ N}$$

$$F2 = -389,15 \text{ N}$$

## Fuerza viento 2 (898,86N)

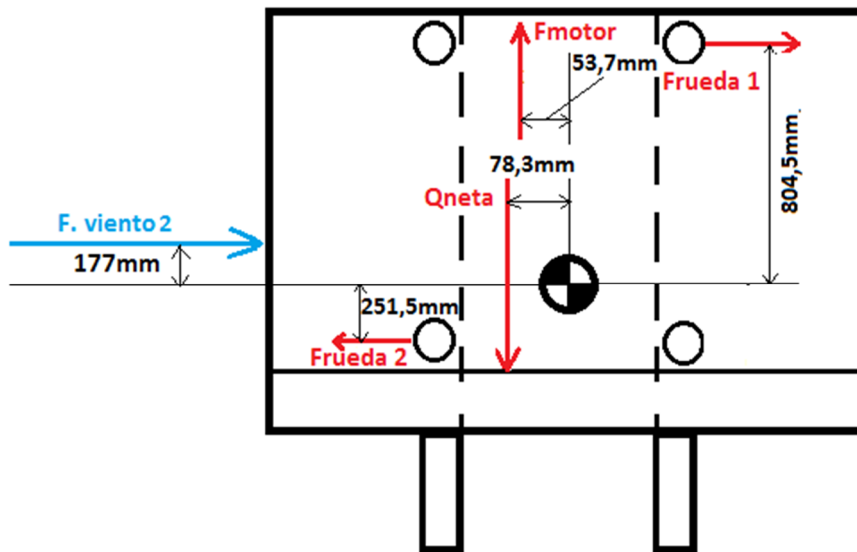


Ilustración 13. Diagrama usado para cálculo de ruedas n.º2.

### Sumatorio de momentos en el centro de gravedad:

$$\sum Mcdg = -0,177 * Fviento1 - 0,804 * F1 - 0,251 * F2 + Qneta * 0,783 - Fmotor * 0,0537 = 0$$

### Sumatorio fuerzas horizontales:

$$\sum Fx = +898,86 + F4 - F3 = 0$$

### Resultado

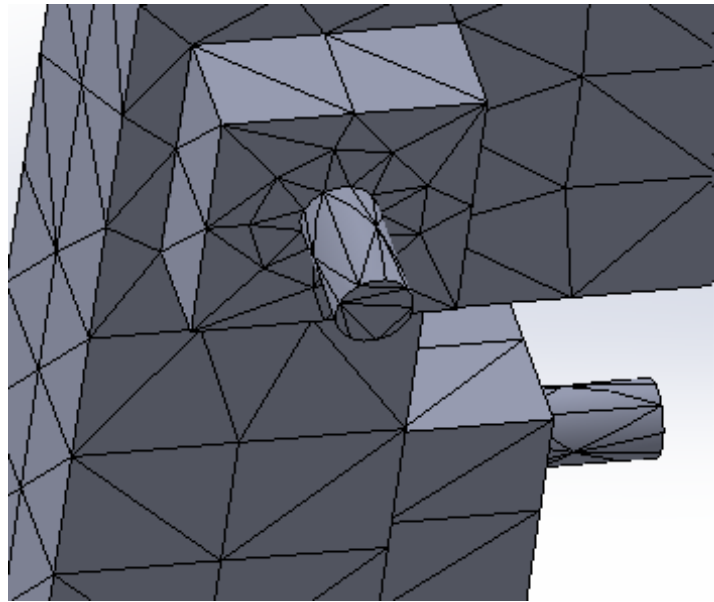
$$F3 = -208,11N$$

$$F4 = 690 N$$

Podemos apreciar que las mayores fuerzas son soportadas por las ruedas guía principales, es por ello que las ruedas principales serán más resistentes que las secundarias.

#### G.4 Cálculo de bulones para las ruedas.

Se considerarán todos los bulones iguales, aunque lógicamente los bulones de las ruedas secundarias podrían ser de inferior resistencia que los de las ruedas principales. Este cálculo se realizará a mano y no mediante software debido a que los bulones de nuestras ruedas deben ser de 20mm de diámetro y en “Solid Works” el mallado no permite realizar un cálculo preciso de dichos elementos, en la siguiente ilustración puede verse que el mallado para estos elementos es pésimo:



*Ilustración 14. Detalle del mallado de bulones.*

Puesto que el valor más alto de reacción obtenido para las ruedas principales es de 26853,74 N (Cálculo con fuerza del viento 2), usaremos dicho valor para obtener un cortante y mediante un coeficiente de seguridad determinaremos el material necesario para los bulones de 20 mm de diámetro. El momento en el bulón será insignificante debido a su pequeña longitud en voladizo (60mm), así que se despreciará en esta aproximación. El cortante sería:

$$\begin{aligned}\tau_{bulon\ max} &= \frac{F_{bulon\ max}}{Area\ seccion\ bulón} = \frac{F_{max}}{\pi * r^2} = \frac{26853,74}{3,1415 * 10^{-4}} \\ &= 85478109,23\ Pa = 85,47\ Mpa\end{aligned}$$

Se impone un coeficiente de seguridad de 4, así que la tensión de fluencia del material será calculada usando la ecuación siguiente:

$$Cs = (\sigma_{fluencia}) / (2 * \tau_{max})$$

$$\tau_{fluencia} = 2 * \tau_{max} * Cs$$

$$\tau_{fluencia} = 2 * 85,47 * 4$$

$$\tau_{fluencia} = 683,86 \text{ Mpa}$$

Con este requerimiento se opta por un acero 1.6587 (denominación según norma DIN), que posee las siguientes características:

| 1.6587 (18CrNiMo7-6)   |                  |                   |
|------------------------|------------------|-------------------|
| Propiedad              | Valor            | Unidades          |
| Módulo elástico        | 2.100000031e+011 | N/m <sup>2</sup>  |
| Coeficiente de Poisson | 0.28             | N/D               |
| Módulo cortante        | 7.9e+010         | N/m <sup>2</sup>  |
| Densidad de masa       | 7800             | kg/m <sup>3</sup> |
| Límite de tracción     | 1100825984       | N/m <sup>2</sup>  |
| Límite de compresión   |                  | N/m <sup>2</sup>  |
| Límite elástico        | 785593984        | N/m <sup>2</sup>  |

Ilustración 15. Características del acero escogido (1.6587)

## ANEXO H: Selección piñón-cremallera.

Podemos observar a raíz de estos datos, que debemos escoger un piñón-cremallera de dentado helicoidal y métrica 10. Eso puede corroborarse en la gráfica siguiente (Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom y ANEXO L):

Tabla DME. Módulo dentado helicoidal

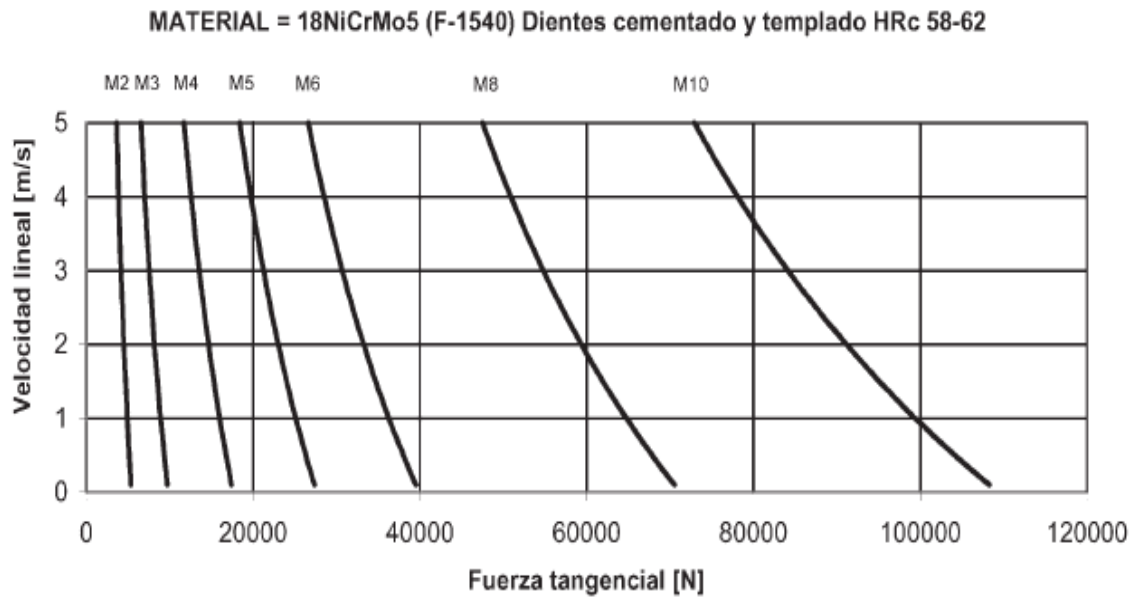


Ilustración 16. Grafica selección modulo.

El engranaje debe ser helicoidal debido a que este tipo de engranaje, en catálogo, soporta más carga, y es necesaria su elección para poder elevar la carga que necesitamos. El engranaje escogido para la salida del motor venía condicionado por las características del pilar de celosía y la resistencia de la cremallera escogida. La anchura de los perfiles de las esquinas del pilar es de 80mm.

El engranaje helicoidal es métrica 10, posee una anchura de 97mm, el diámetro primitivo es de 191mm.

Como se expuso anteriormente, siguiendo el catálogo de “Spitkoom”, para soportar la carga Vertical de valor 4000kg, a la velocidad de 0,33 m/s de ascenso y con un factor de seguridad de 2,5, nos lleva a que para soportar la carga debemos trabajar con una cremallera M10 de un material de F-1540.

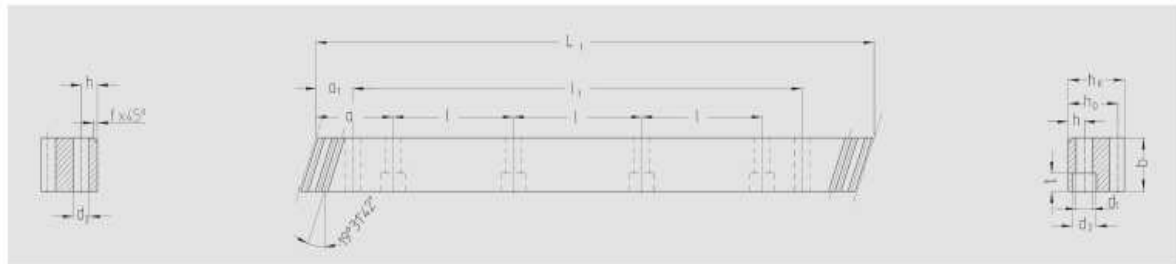
Dicha cremallera se encontrará colocada en el centro de la pared del pilar próxima al montacargas, tal y como se mostrará más adelante, en la ilustración 22. La cremallera tendrá una suptación la cual permitirá el atornillado entre cremallera y pilar. Por otro lado, el pilar llevara también incorporada elementos deportación para que se pueda realizar el atornillado antes mencionado.

La selección del piñón-cremallera podría haberse realizado también a través de otros catálogos, como por ejemplo “Servo Kapitel”. En dicho catalogo podemos seleccionar el piñón-cremallera en función directamente de la fuerza a transmitir por el mecanismo. De este modo, escogiendo la fuerza a trasmitir, el catalogo nos remitirá a un conjunto de cremalleras y piñones con una anchura u otro, módulos etc...

En nuestro caso, siendo la fuerza a transmitir de 98100 Newton, podríamos escoger un conjunto piñón cremallera catalogado como quality 6, con una anchura de 79mm la cual, si podría ser compatible también con nuestro problema, se adjunta la tabla de este último catálogo mencionado a continuación (*Catalogo piñón-cremallera SERVO\_KAPITEL\_ZA*):

#### ATLANTA-Qualität 6

#### ATLANTA-Quality 6




| Bestell-Nr. | Modul  | Zähnezahl      |             |                   |                |                | Anz. Bohr. |   |     |             |    |                |                |    |                |                |                |       |  |
|-------------|--------|----------------|-------------|-------------------|----------------|----------------|------------|---|-----|-------------|----|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|-------|---|
| Order code  | Module | L <sub>1</sub> | N° of teeth | b <sup>+0,4</sup> | h <sub>k</sub> | h <sub>0</sub> | f          | a   | l   | N° of holes | h  | d <sub>1</sub> | d <sub>2</sub> | t  | a <sub>1</sub> | l <sub>1</sub> | d <sub>3</sub> |       |   |
| 29 60 105   | 6      | 1000,00        | 50          | 59                | 49             | 43             | 2,5        | 62,5  | 125 | 8           | 16 | 18             | 26             | 17 | 37,5           | 925,0          | 15,7           | 18,10 |   |
| 29 61 105   | 6      | 1000,00        | 50          | 59                | 49             | 43             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 18,10 |   |
| 29 60 155   | 6      | 1500,00        | 75          | 59                | 49             | 43             | 2,5        | 62,5  | 125 | 12          | 16 | 18             | 26             | 17 | 37,5           | 1425,0         | 15,7           | 27,10 |   |
| 29 61 155   | 6      | 1500,00        | 75          | 59                | 49             | 43             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 27,10 |   |
| 29 60 205   | 6      | 2000,00        | 100         | 59                | 49             | 43             | 2,5        | 62,5  | 125 | 16          | 16 | 18             | 26             | 17 | 37,5           | 1925,0         | 15,7           | 36,20 |   |
| 29 61 205   | 6      | 2000,00        | 100         | 59                | 49             | 43             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 36,20 |   |
| 29 80 105   | 8      | 960,00         | 36          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | 60,0  | 120 | 8           | 25 | 22             | 33             | 21 | 120,0          | 720,0          | 19,7           | 42,50 |   |
| 29 81 105   | 8      | 960,00         | 36          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 42,50 |   |
| 29 80 155   | 8      | 1440,00        | 54          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | 60,0  | 120 | 12          | 25 | 22             | 33             | 21 | 120,0          | 1200,0         | 19,7           | 63,80 |   |
| 29 81 155   | 8      | 1440,00        | 54          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 63,80 |   |
| 29 80 205   | 8      | 1920,00        | 72          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | 60,0  | 120 | 16          | 25 | 22             | 33             | 21 | 120,0          | 1680,0         | 19,7           | 85,00 |   |
| 29 81 205   | 8      | 1920,00        | 72          | 79                | 79             | 71             | 2,5        | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |    |                |                |    |                |                |                | 85,00 |   |

Ilustración 17. Imagen tabla catálogo "Servo Kapitel"

## ANEXO I: Elección del espesor de la chapa de la plataforma con "Solid Works".

La selección del espesor de la plataforma, se realiza a partir del análisis estático, desarrollado en el anexo K, pero con una condición de contorno diferente, y sin aplicar la gravedad, pues el peso propio de la estructura nos daría como resultado desplazamientos mayores en la chapa. Se busca aislar a la chapa del comportamiento global del análisis, para centrarnos en el comportamiento de la misma. Se aplica como condición de contorno únicamente un apoyo fijo en el bastidor, no se asemejará a la realidad, pero se apreciará mejor el comportamiento de la plataforma ante las cargas, pues el bastidor queda anclado y fijo, sin posibilidad de desplazamiento:



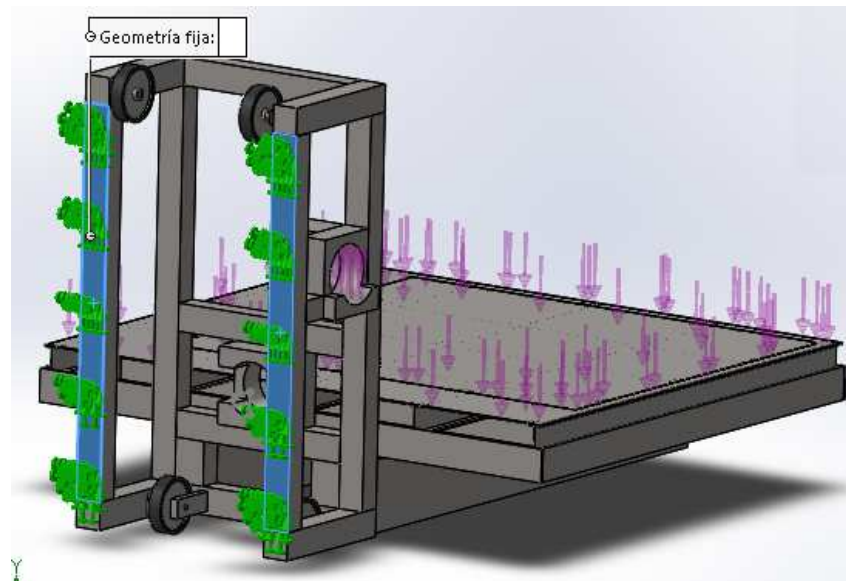


Ilustración 18. Condición de apoyo fijo en el bastidor del montacargas.

Modificando los valores de la leyenda para centrarnos más en la chapa. Se escoge un acero S275 para la chapa. Los valores obtenidos para los diferentes espesores se mostrarán a continuación:

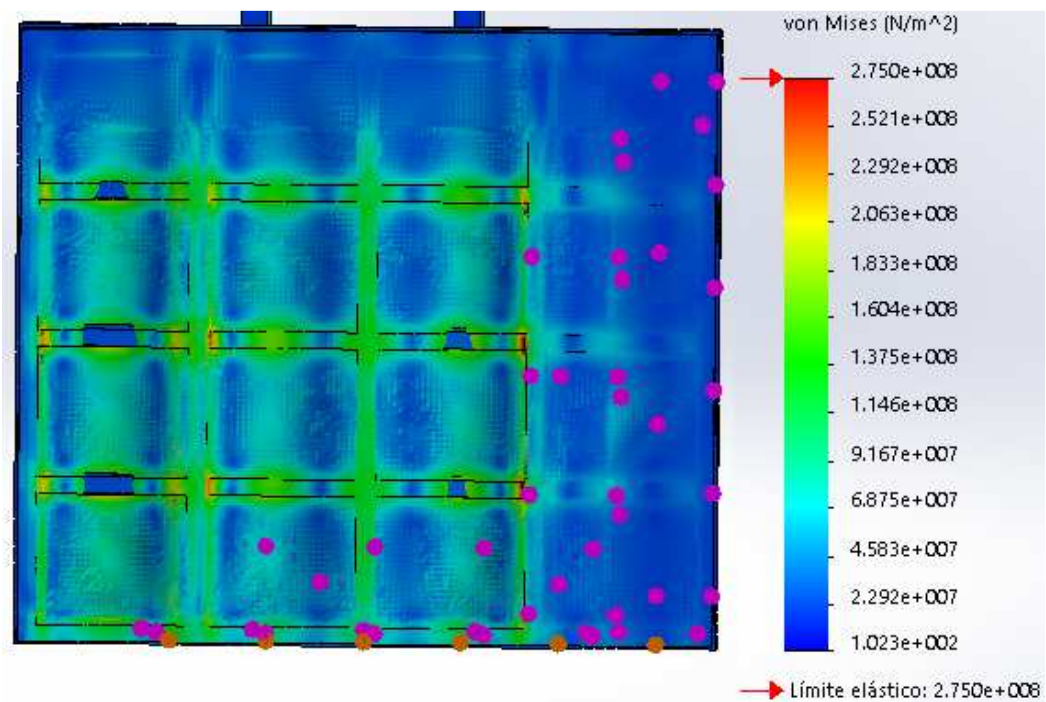


Ilustración 19. Distribución tensión Von Mises con 1 mm de espesor.



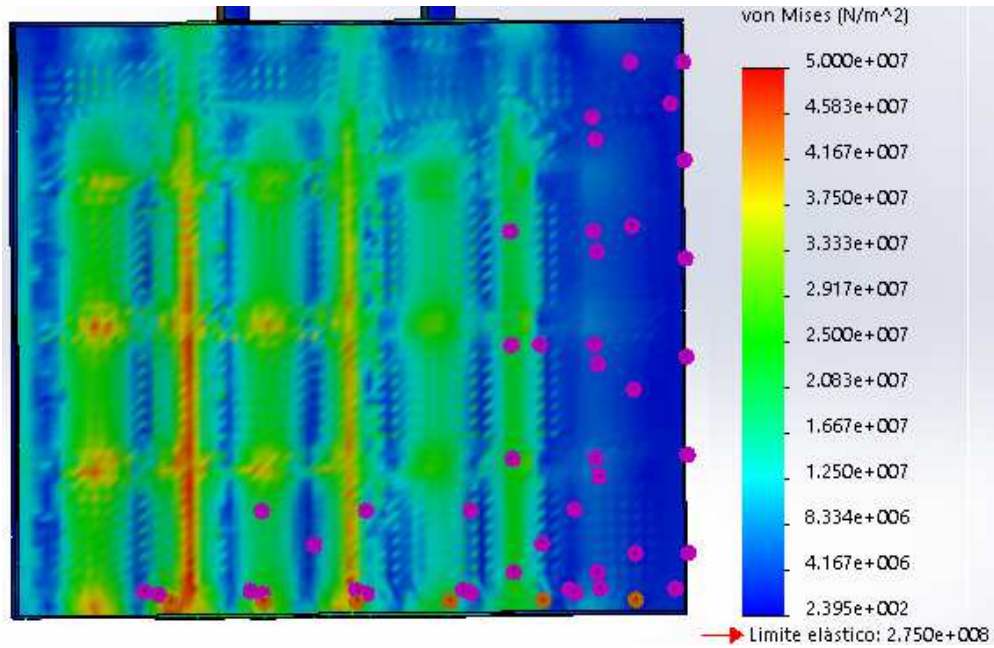


Ilustración 20. Distribución tensión Von Mises con 3mm de espesor.

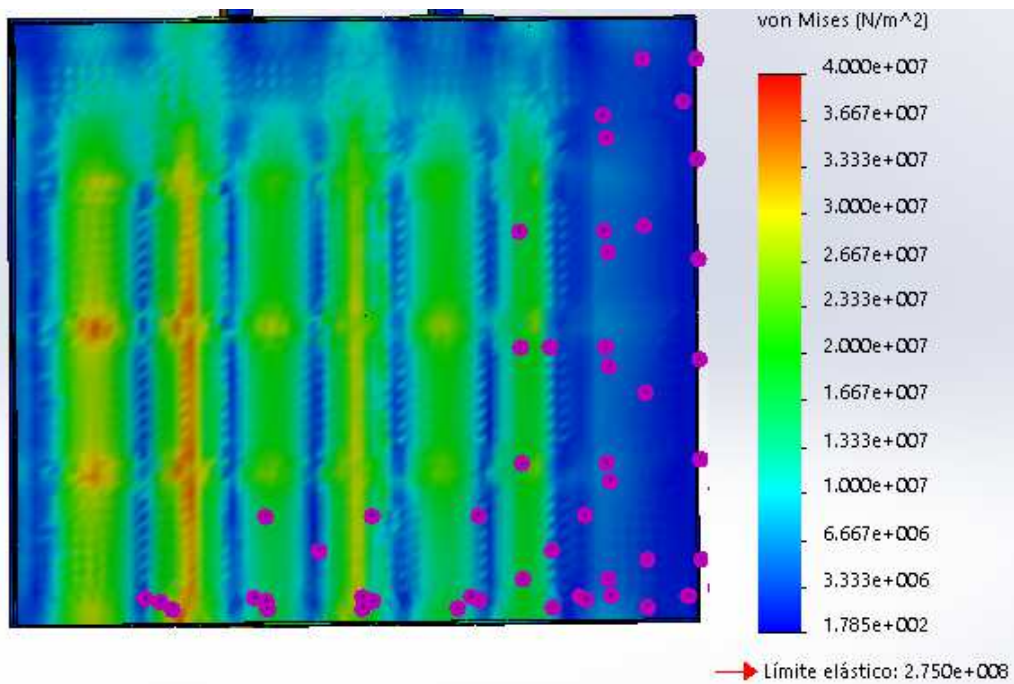


Ilustración 21. Distribución tensión Von Mises con 5mm de espesor.

Puede verse que para las tensiones Von Misses, a mayor espesor menor valor de tensión.

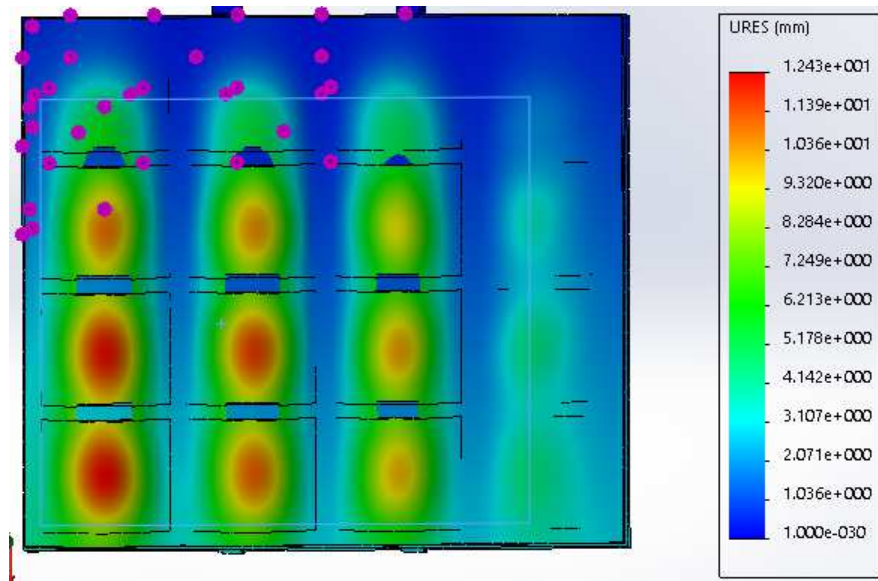


Ilustración 22.Desplamientos para plataforma con espesor 1mm.

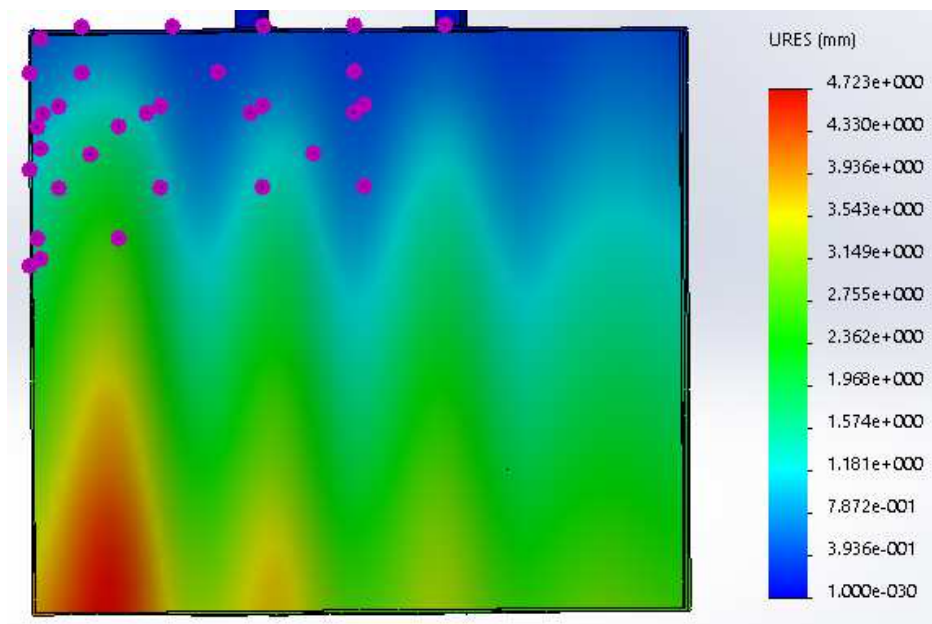


Ilustración 23.Desplamientos para plataforma con espesor 3mm.

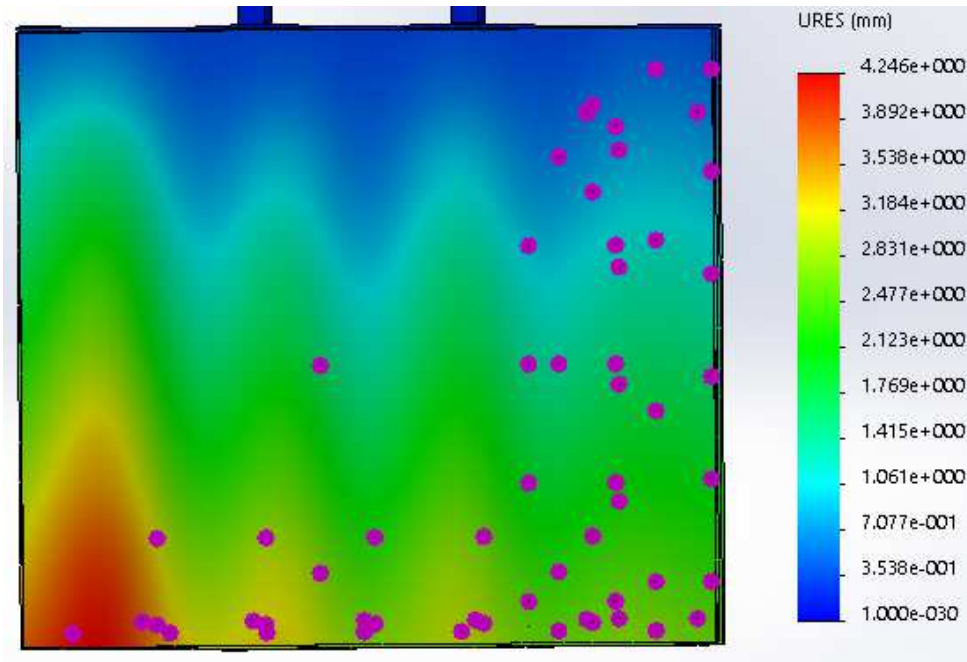
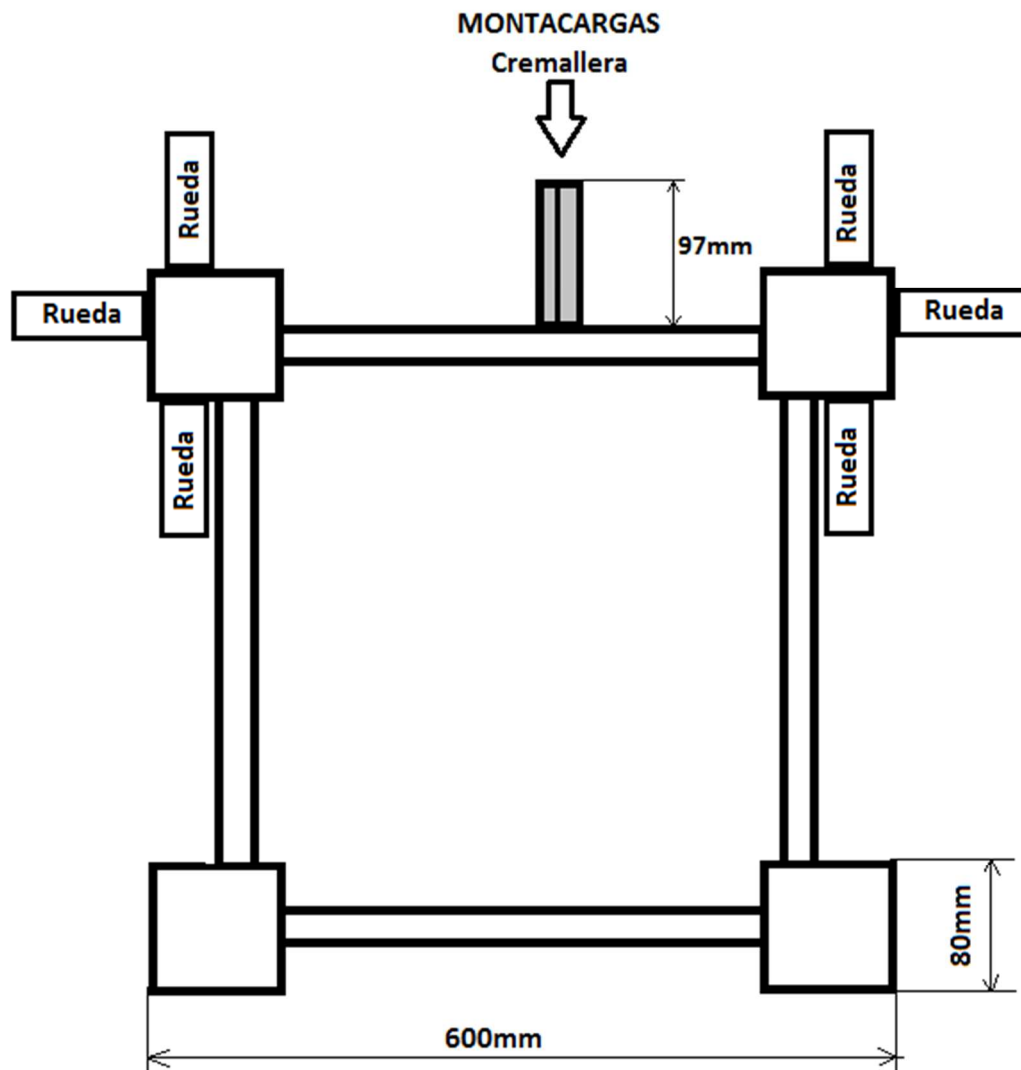


Ilustración 24. Desplazamientos para plataforma con espesor 5 mm.

Para los desplazamientos, a mayor espesor menores desplazamientos. Aunque se puede apreciar una variación mayor de 1 a 3 milímetros que de 3 a 5 milímetros, de hecho, la variación entre estos dos últimos espesores es de apenas medio milímetro según “Solid Works”. Por esta razón se decide que con un espesor de 3mm es suficiente para nuestras necesidades.

## ANEXO J: Características de diseño y modelización en “Solid Works”.

En la siguiente ilustración se muestra una sección del pilar y la colocación de las ruedas respecto al pilar y la localización de la cremallera:



*Ilustración 25. Detalle unión superior e inferior del montacargas con el pilar de celosía.*

A continuación, se muestran los elementos que conforman el diseño en tres dimensiones:

- **Paredes y puertas:** El diseño de este elemento es puramente estético, para que su parecido sea real al montacargas de referencia. En la realidad se usaría la misma pared que el montacargas original, debido a que seguiría cumpliendo las exigencias técnicas en el nuevo montacargas:

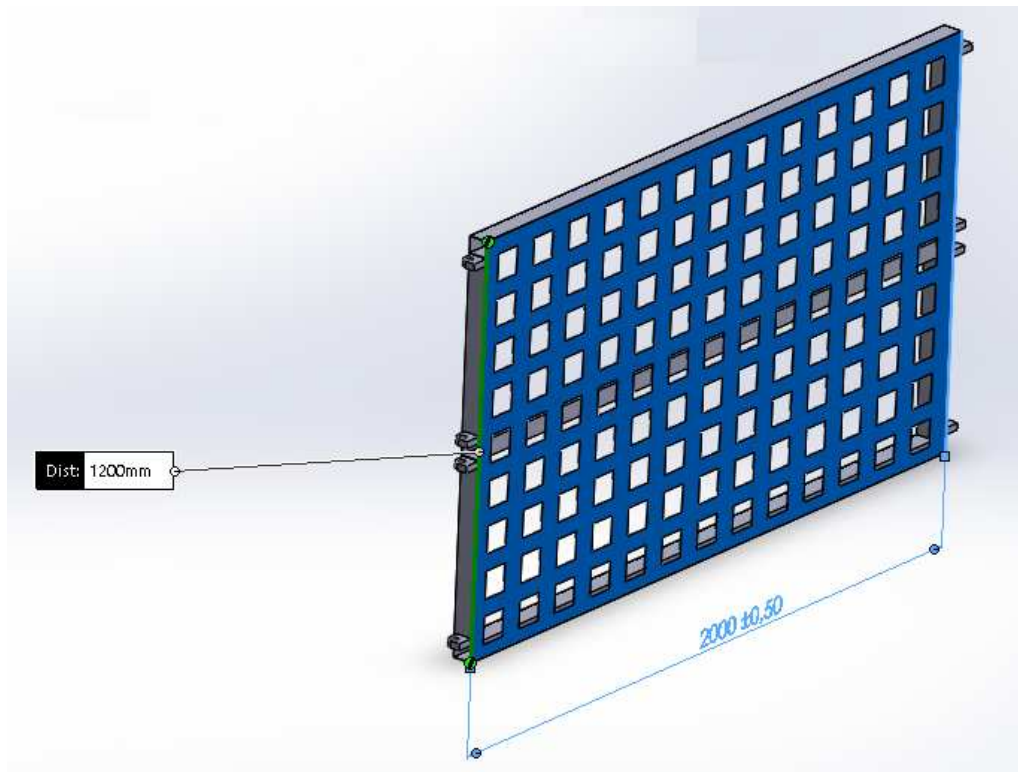


Ilustración 26. Imagen de paredes del montacargas.

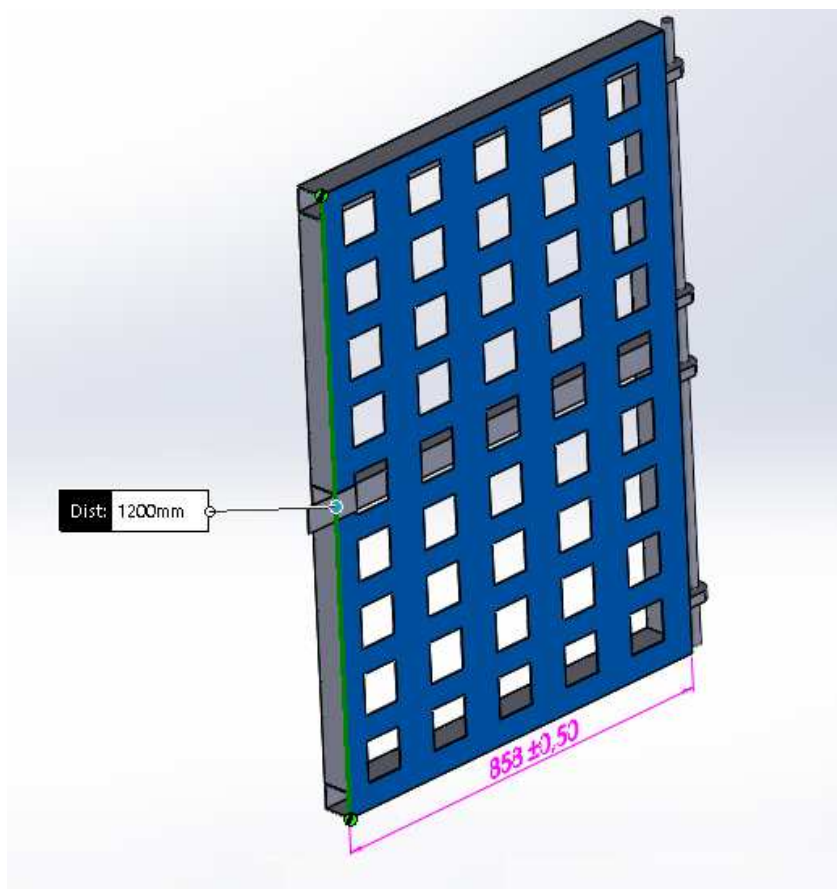


Ilustración 27. Puerta Derecha (a ambos lados del montacargas)



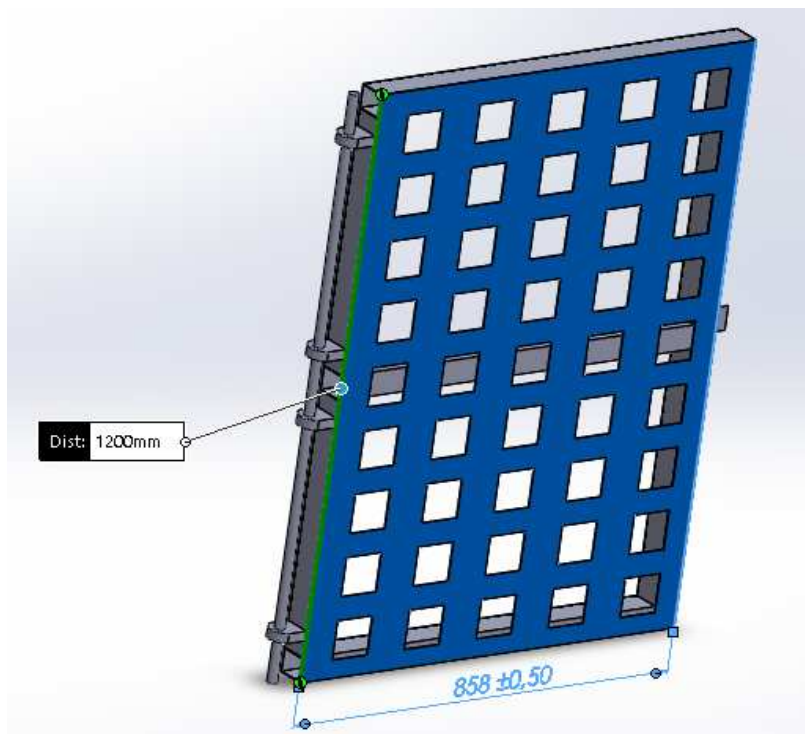


Ilustración 28. Puerta Derecha (a ambos lados del montacargas)

- **Perfiles y pletinas de unión:** Fueron escogidos antes del diseño en 3D, para su realización se parte de un mismo croquis, con la sección de dicho perfil. Entre las capas de perfiles solo varía la longitud de los mismos, también se introducen Solid Works el material escogido para estos elementos, acero S355JR:

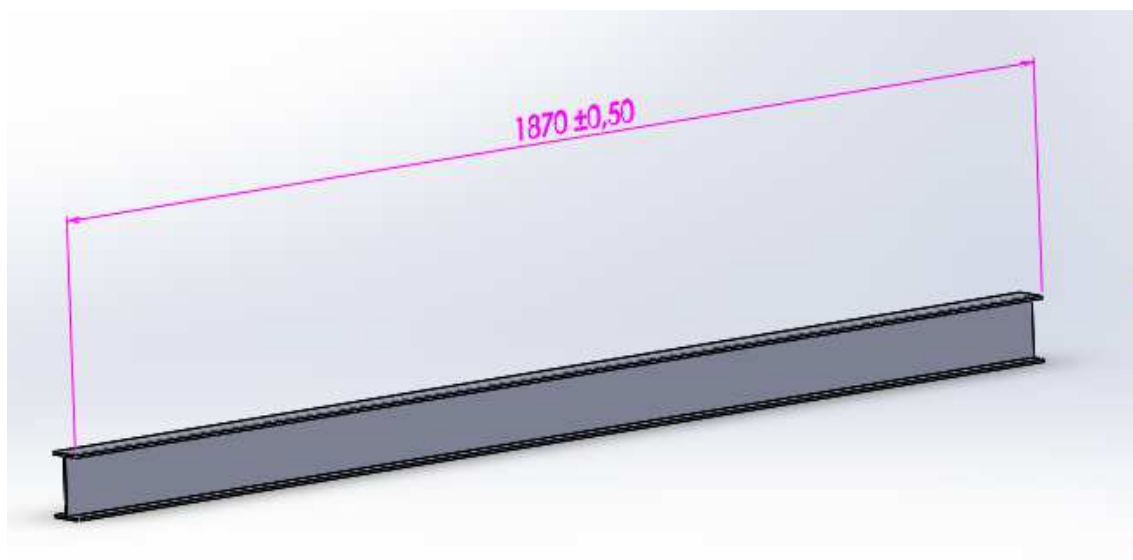
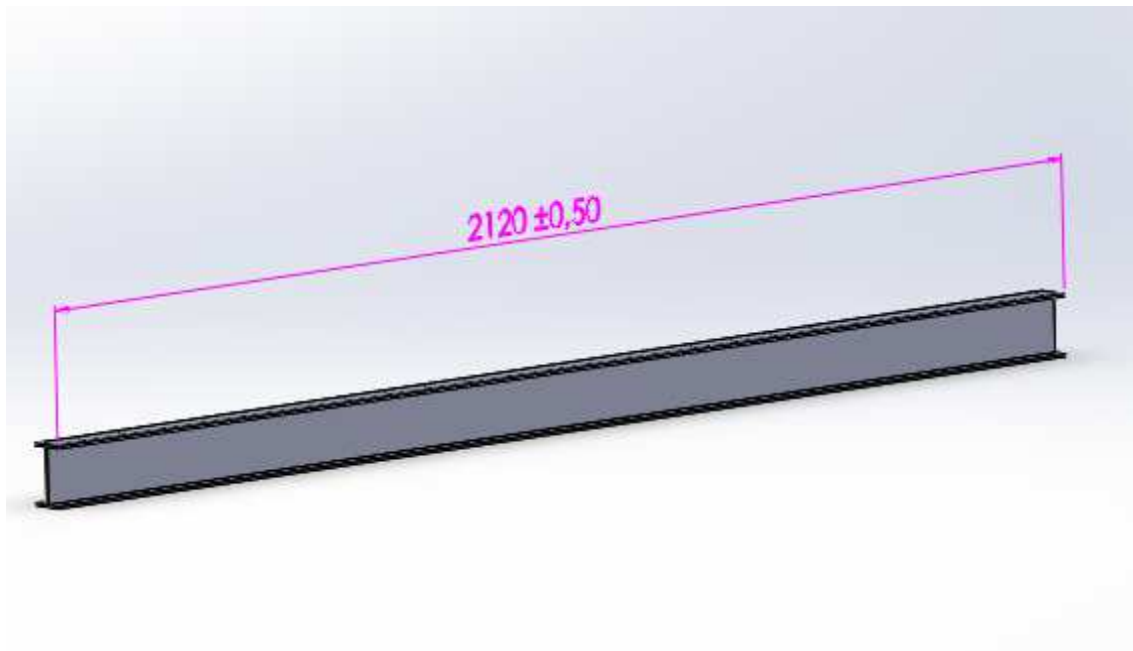
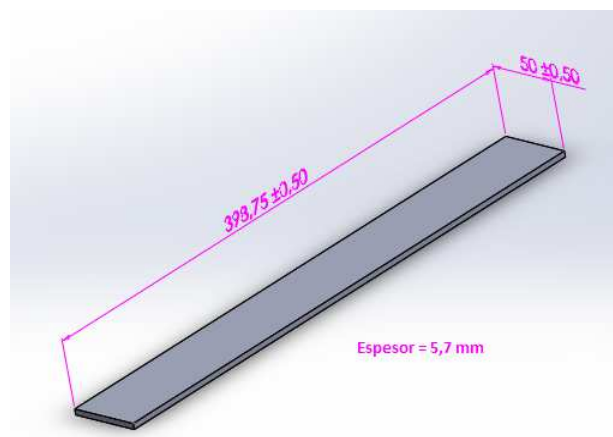


Ilustración 29. Perfil 1870 mm.

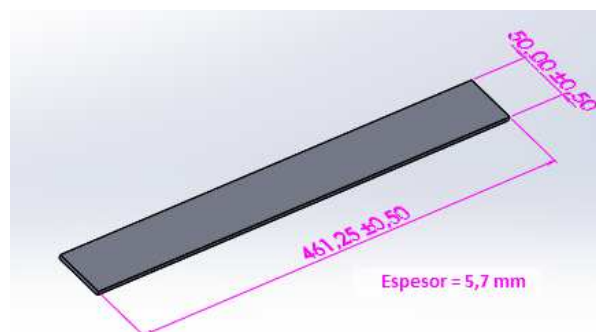


*Ilustración 30. Perfil 2120 mm.*

Además, recordemos que se sueldan entre cada dos perfiles, 5 pletinas equidistantes que los unen para facilitar su manipulación, las medidas que deben tener debido a los perfiles IPE 100 escogidos y a las dimensiones de la plataforma son:



*Ilustración 31. Pletina de unión perfiles capa inferior.*



*Ilustración 32. Pletina unión perfiles capa superior.*

- **Chapa de la Plataforma:** Como se trata en otro apartado, esta chapa a sido seleccionada a partir de Solid Works, seleccionando el acero S275JR y probando diferentes espesores. Al final se escoge el espesor de 3mm, pues se considera que cumple con los requisitos:

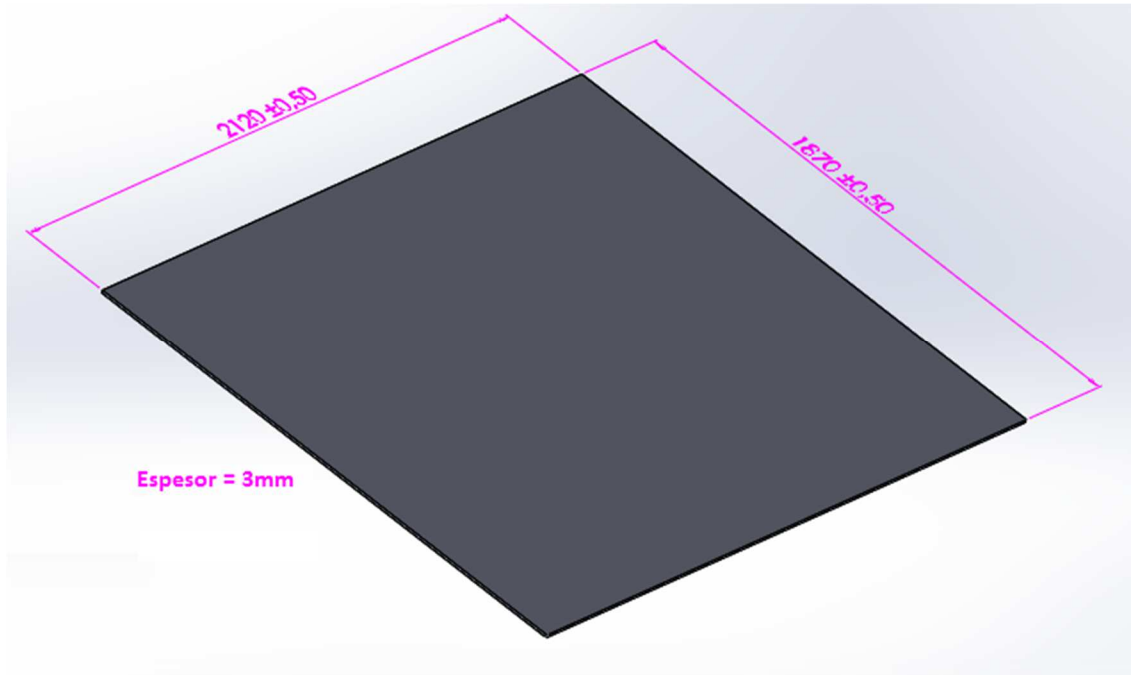


Ilustración 33. Plataforma acero.

- **Uñas:** Como se ha calculado en el apartado 3.8, los perfiles escogidos para las uñas son perfiles rectangulares huecos de sección 260mmx180mm, con un espesor de 12,5 mm. Se muestra en la siguiente ilustración:

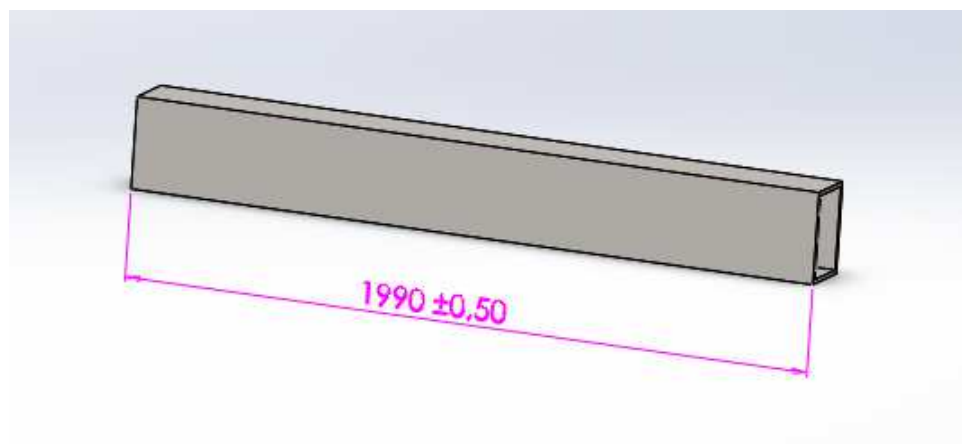
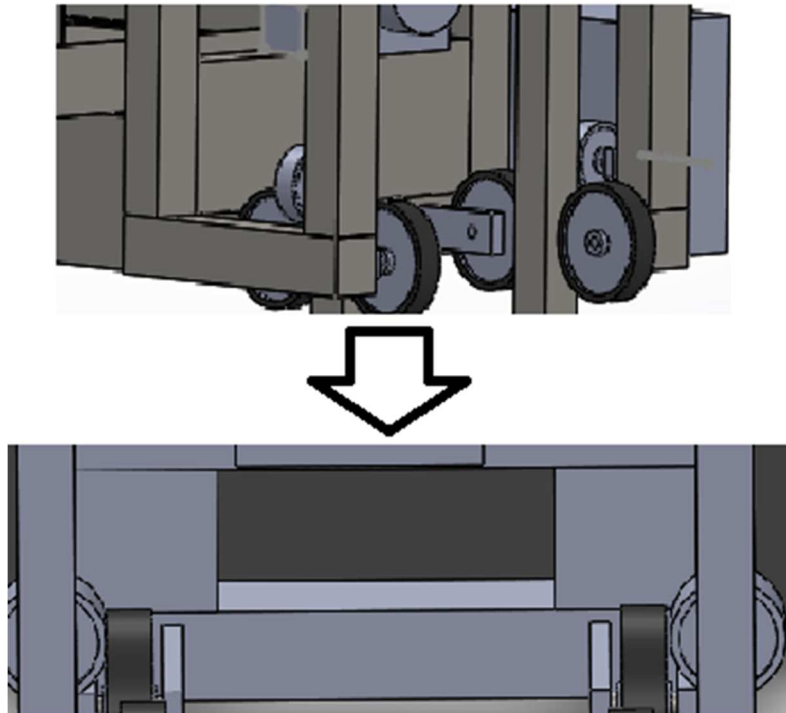


Ilustración 34. Perfil seleccionado para las uñas.

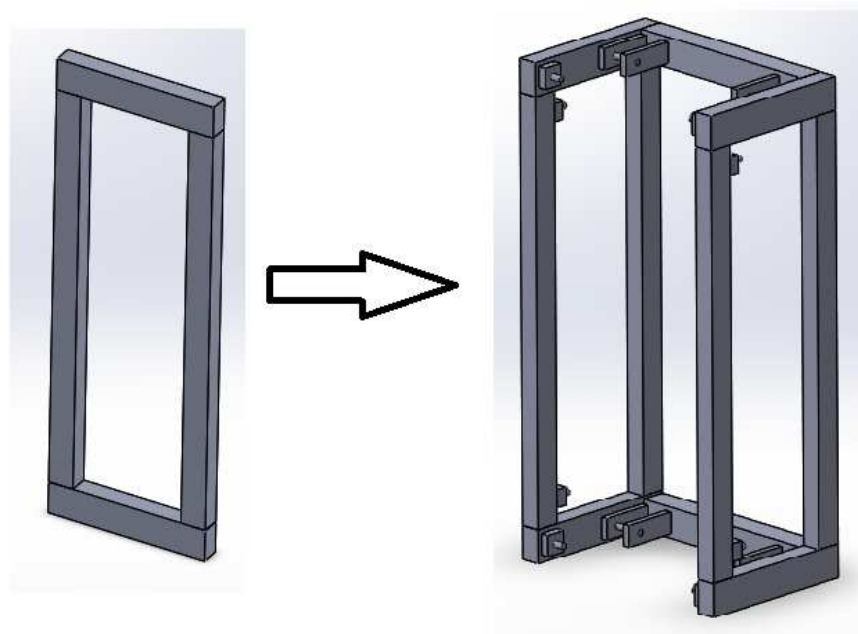


Para unir las uñas al bastidor se añade una placa de acero que se soldara al bastidor y a las propias uñas. Se mostrará a continuación una ilustración con dicha placa, una concebida inicialmente y otra remodelada, se comprobará el por qué en el análisis estático y se verá que existe un exceso de material debido a la falta de tensiones en ese elemento.



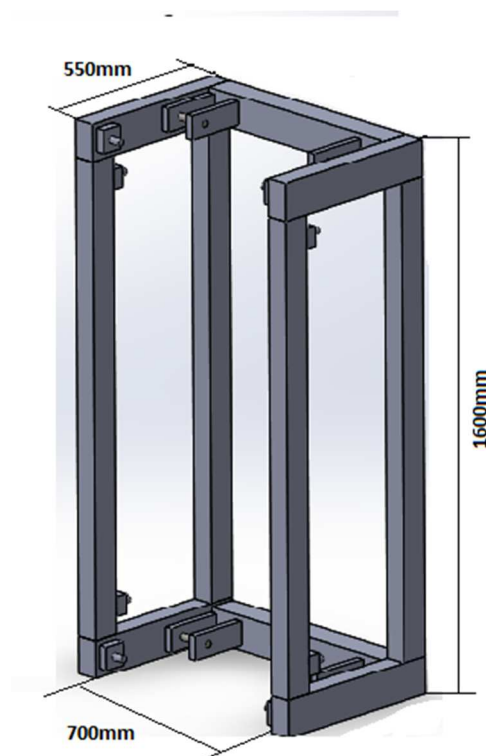
*Ilustración 35. Transformacion de la pieza que une uñas a bastidor.*

- **Bastidor principal:** En un principio se crea un bastidor de perfiles muy gruesos. Se concibe dicho bastidor como un cubículo de perfiles macizos de 100 o 100 mm de sección, que luego pasara a ser sección más pequeña cuando se compruebe que se necesita menor sección para cumplir con los requisitos de funcionamiento. Para diseñarlo, se parte de un marco simple de barras, que se une a otro marco igual mediante barras de la misma sección, tal como se muestra a continuación:



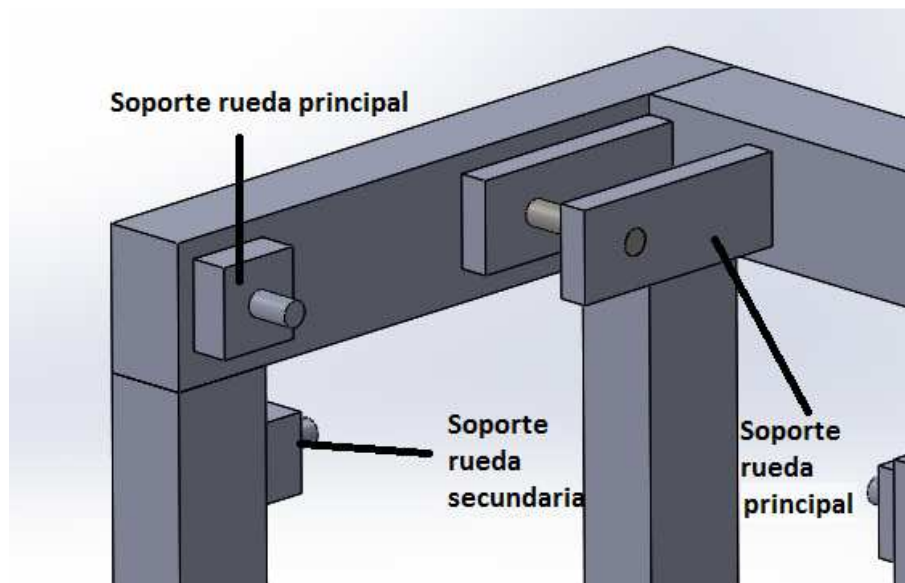
*Ilustración 36. Bastidor principal del montacargas.*

El bastidor tendrá de alto 1600mm (algo menos que la cota máxima de la cabina). La anchura de la cavidad donde se situará el pilar será de 700mm. Las medidas básicas se muestran a continuación en perfiles donde se ha disminuido la anchura a 50mm. Esta disminución de anchura deriva de los resultados del análisis estático del apartado K.4 del ANEXO K.



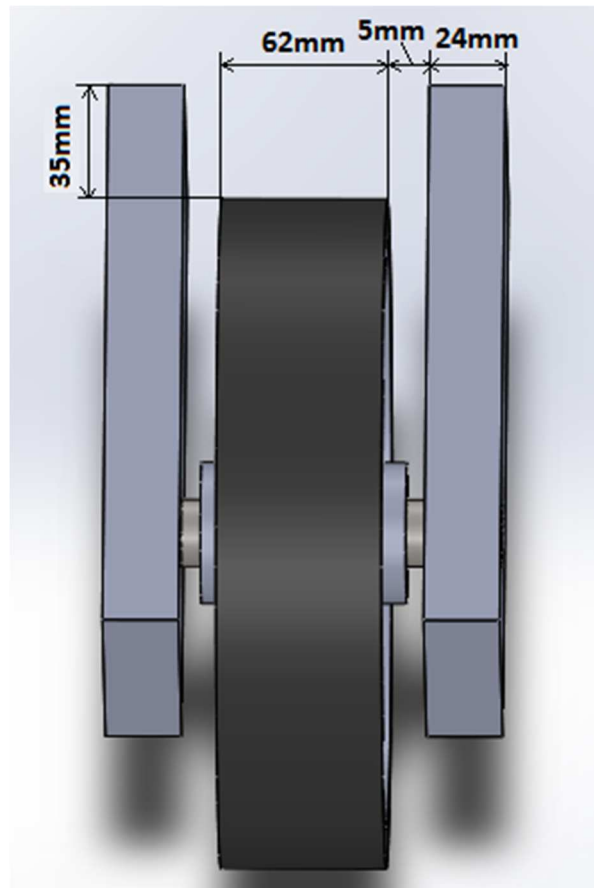
*Ilustración 37. Medidas básicas del bastidor.*

- **Ruedas guía y soportes correspondientes:** Las ruedas se seleccionan en catálogo, pero los soportes se realizan expresamente para este diseño. Como se ha visto, se distinguen entre dos tipos de soporte: Soporte para ruedas principales y soportes para ruedas secundarias. Los primeros a su vez se subdividen en soporte biempotrados y soportes en voladizo, siendo estos últimos los que están más alejados de la cabida del montacargas. Los soportes de las ruedas secundarias se encuentran en los marcos de barras del bastidor. Se muestran los dos en la siguiente imagen:



*Ilustración 38. Soporte de las ruedas guía.*

Los soportes en voladizo solo se componen de un pequeño elemento que une el bulón al bastidor, formado por cuadrado extorsionado de 60x60mm con un orificio de 20mm en el centro para el bulón. El otro soporte está constituido de dos piezas que situadas en voladizo, sostienen al bulón que soporta a la rueda, se ha dejado 5mm entre el soporte y la rueda para garantizar el libre giro y se ha dejado 35mm entre el bastidor y la rueda para prevenir posibles atascos o accidentes si cae un objeto o trozo de material a este lugar.:



*Ilustración 39. Soporte principal de bulón biempotrado*

Por otro lado, la distancia entre ruedas, teniendo en cuenta que el pilar de celosía mide 600mm de lado, y cada poste principal del pilar mide 80mm de lado, debe calcularse, pues las medidas del bastidor dependen de ello. Recordemos que las ruedas principales poseen 50 mm de ancho en el perímetro de la rueda y las secundarias 45mm. El bastidor mide de alto 1600mm. La distancia entre rueda secundarias será la anchura del pilar, lógicamente, 600mm. Se consideran las medidas expuestas a continuación:

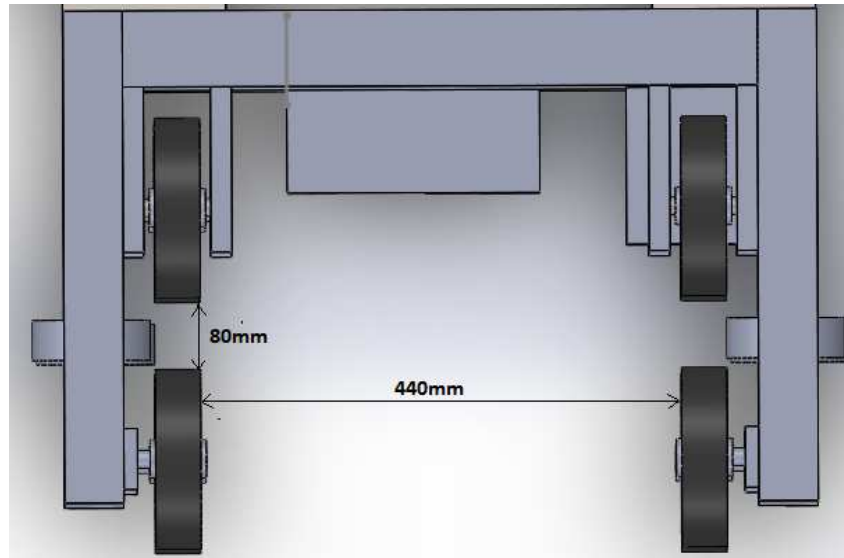


Ilustración 40. Distancias entre ruedas principales.

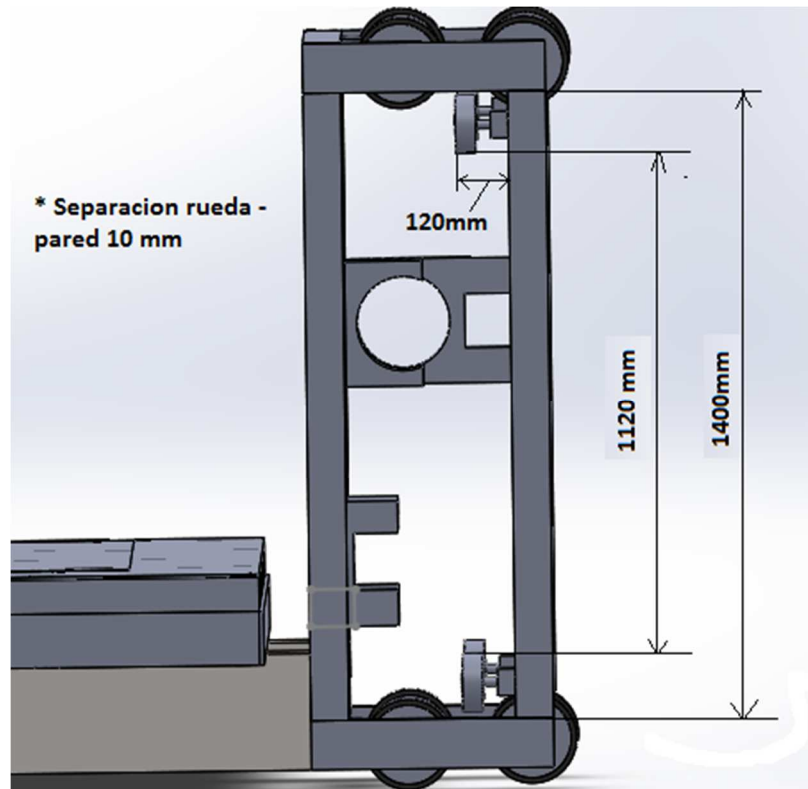


Ilustración 41. Medidas para las ruedas secundarias.

- **Soporte motor y freno:** Estos elementos se han diseñado inspirado en otros montacargas. Es un diseño simple que consiste en un elemento que sujeta al motor o freno y está unido al bastidor principal. Para realizarlo, se ha buscado una estructura que rodee a los elementos pero que también les dote de cierta sujeción para resistir el momento que puede surgir a partir del engrane de

estos elementos con la cremallera. Sus dimensiones han dependido en mayor medida del bastidor (su anchura, sobre todo). Se compone de un elemento abierto que rodea el motor parcialmente para su posible manipulación, puesto que como marca el siguiente esquema del “catálogo de motores bonfiglioli” tiene un cuadro, que sobresale, donde se encuentran las conexiones. Este cuadro se ubicaría en este lado abierto del soporte:

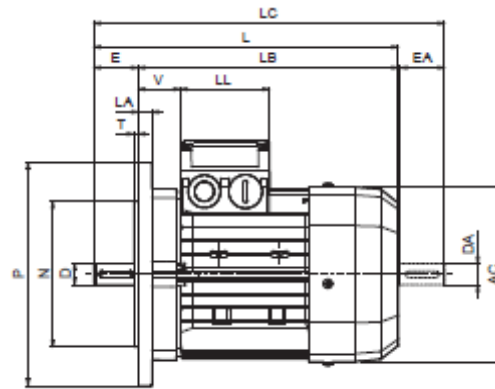


Ilustración 42. Esquema del motor bonfiglioli.

El otro elemento, unido al bastidor que rodea al motor totalmente. Debido a que el motor es el núcleo del montacargas, se ha constituido este soporte en acero macizo. Las dimensiones se obtienen de catálogo, pero el valor más importante es el diámetro del motor y la longitud, 310mm y 640mm.

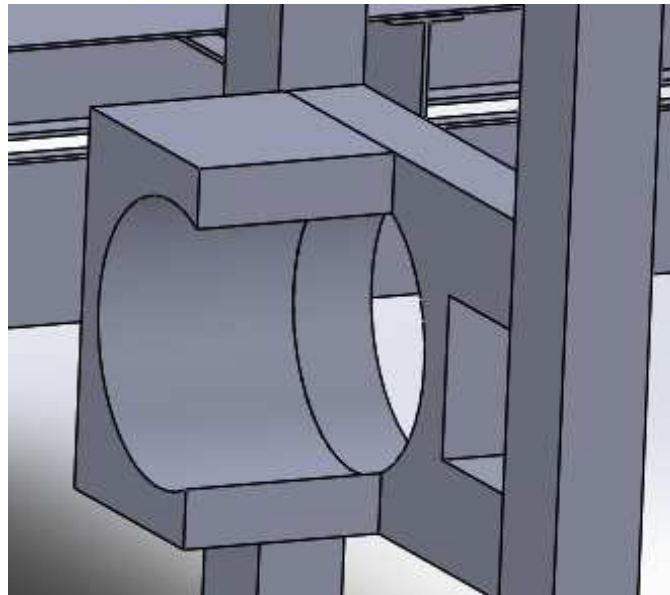
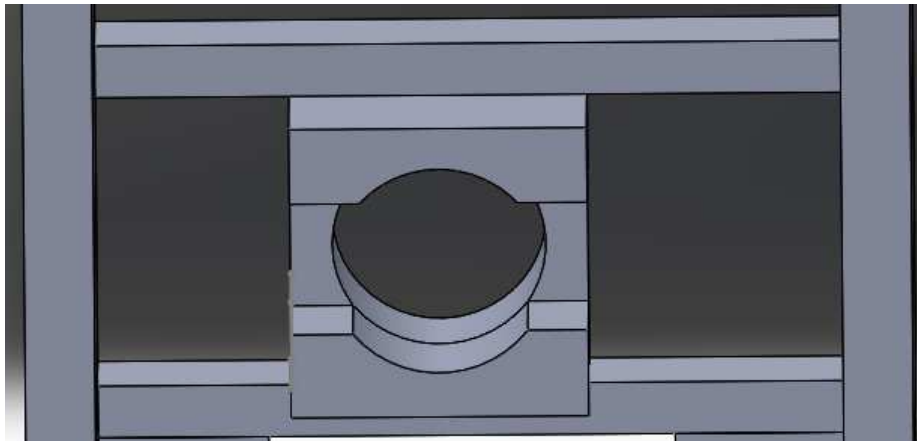


Ilustración 43. Soporte del motor

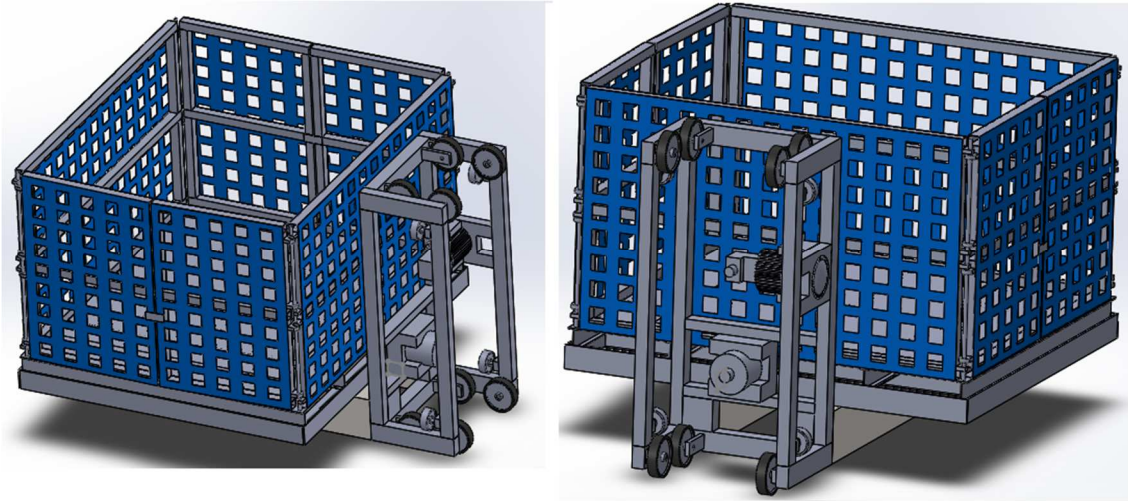
Puesto que el freno de emergencia engrana directamente en la cremallera, se ha modificado el diseño del montacargas de referencia y se ha introducido entre la cabina

y el pilar de celosía, puesto que se dispone del hueco necesario, de este modo, tal y como está colocada la cremallera no se necesita ningún elemento extra para unir freno motor y cremallera puesto que es un engrane directo, no como el motor, que debe cambiar el sentido de engrane con el reductor que cambia la orientación del engranaje 90°. Para el diseño del soporte motor, se ha buscado, al igual que para el motor, un elemento que lo rodee y aporte sujeción, solo que, en este caso, al producirse menos voladizo (menor distancia del soporte a la cremallera) se ha realizado un soporte algo menor, sujetado por arriba y abajo por dos perfiles huecos de 100x40 y de 5 mm de espesor (Imagen de “Catálogo perfiles estructurales rectangular hueco” en ANEXO L).



*Ilustración 44. Soporte del freno de emergencia.*

Una vez creados los elementos del montacargas, sea procedido a realizar el ensamblaje, es decir se ha introducido en el Software la relación de posición de cada uno de los elementos respecto a otros o sus uniones, quedando el resultado así (En la ilustración se incluyen dos barras que representan 2 de las esquinas del pilar de celosía, donde apoyarían las ruedas del montacargas):



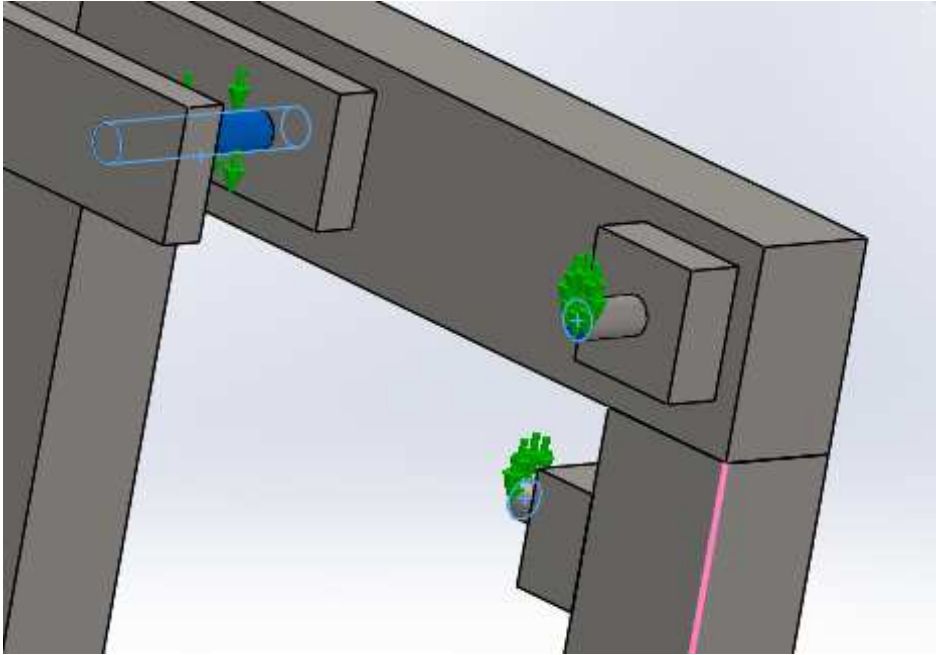
*Ilustración 45. Montacargas finalizado*

## ANEXO K: Cálculo estático.

### K.1. Condiciones de apoyo.

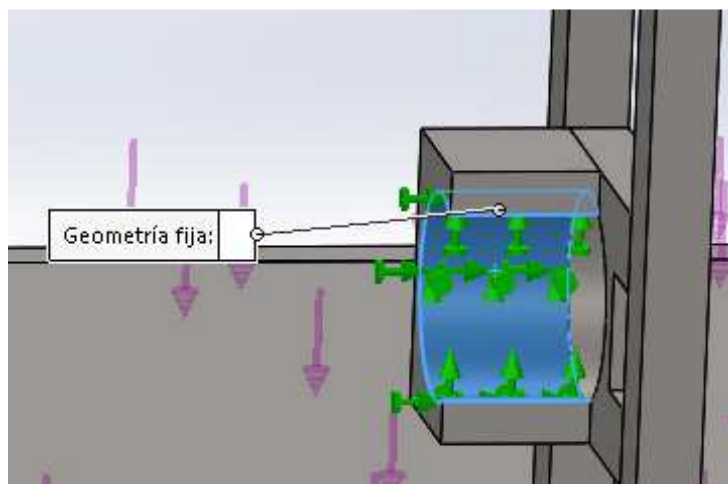
Para realizar este análisis se introducen apoyo deslizante en los bulones de las ruedas, es decir, para asemejarse el cálculo con la realidad, en los bulones biapoyados se selecciona el bulón entero con esta condición de apoyo deslizante. En los bulones en voladizo, se acorta el bulón hasta el propio eje de simetría de la rueda y se aplica la condición de apoyo deslizante a la cara libre del bulón. En la siguiente ilustración se muestra las condiciones de apoyo para los bulones:





*Ilustración 46. Sujeción fija para cálculo estático uñas y plataforma.*

Por otro lado, para simular que el montacargas está detenido en suspensión, colgando en algún punto del pilar de celosía, se introduce una condición de apoyo fijo a la cara interna del soporte motor, pero no todo el soporte puesto que en realidad el apoyo estaría en el engranaje del motor, pero en la simulación aplicaremos lo dicho puesto que es lo más aproximado posible, se muestra dicho apoyo en la siguiente imagen:



*Ilustración 47. Apoyo fijo, simulación cálculo estático.*

La idea de estas condiciones de contorno radica en simular el caso en el que el montacargas está suspendido, de modo que el único apoyo con reacción vertical es el motor (de ahí la condición de apoyo fijo a la cara interna de dicho soporte). Además,

los únicos movimientos posibles de las ruedas son vertical puesto que solo pueden moverse a lo largo del pilar de celosía.

## K.2. Condiciones de carga.

La introducción de cargas en “Solid Works” se realiza también lo más análogo posible a la realidad. En primero lugar, como se mostrará en la siguiente ilustración, la zona rallada en azul pertenecería a la zona donde estaría situada la carga neta, aumentada por el coeficiente de 2,5 como se ha ido haciendo a lo largo del proyecto. En el perímetro de la plataforma, como muestra el cuadrado rojo, se han situado las cargas de puertas y paredes que se han eliminado del análisis porque si no hay muchos elementos que mallar innecesariamente, y eso podría interferir en la obtención de cálculos correctos. Según la ilustración que se mostrará a continuación la carga de las puertas sería la fuerza 4 y las de las paredes la fuerza 3, cada una en sus respectivos lados de la plataforma. Puesto que se ha eliminado paredes y puertas y las fueras del viento son pequeñas comparado con los valores utilizados para carga, se introduce dicha fuerza (Fuerza 5) en la capa de perfiles superior, así se podrá comprobar si hay movimiento relativo entre capas debido a la acción del aire. Por último, para considerar los efectos del peso propio, se ha introducido la fuerza de la gravedad en el análisis.

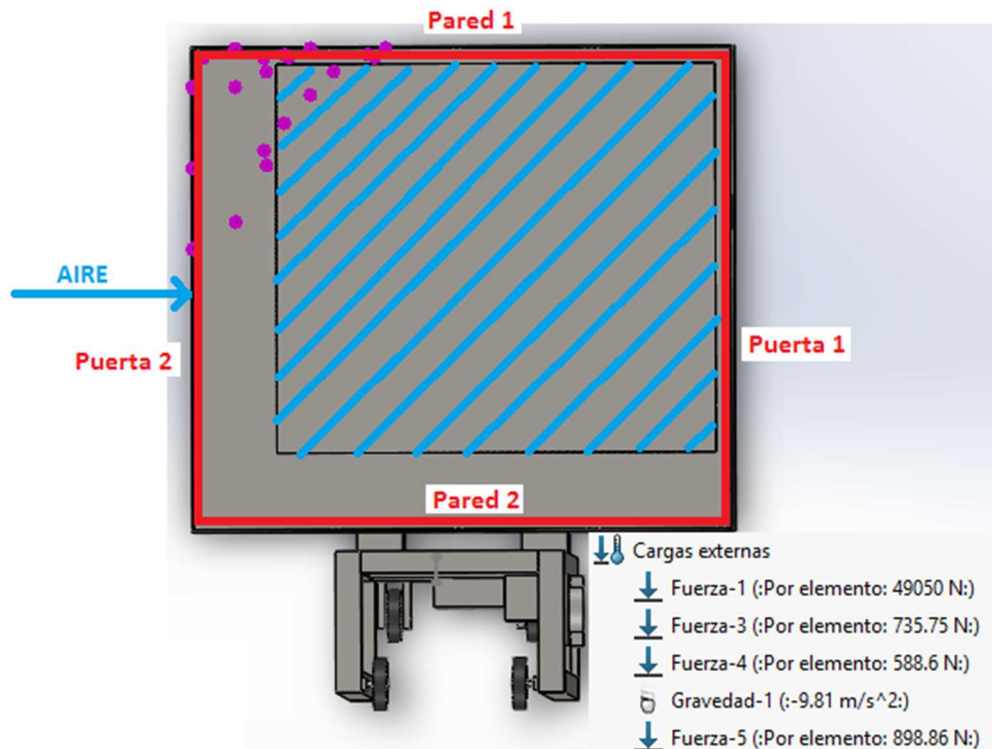


Ilustración 48. Fuerzas introducidas análisis uñas y plataforma.

### K.3.Mallado

Para realizar el cálculo estático, es necesario mallar el montacargas virtual, es decir, subdividirlo físicamente en celdillas, con las cuales se realiza el cálculo computacional de fuerzas y deformaciones. Se introduce el mallado más fino posible, que el “Solid Works” puede realizar en el ordenador de diseño, los parámetros de mallado introducidos se muestran a continuación:

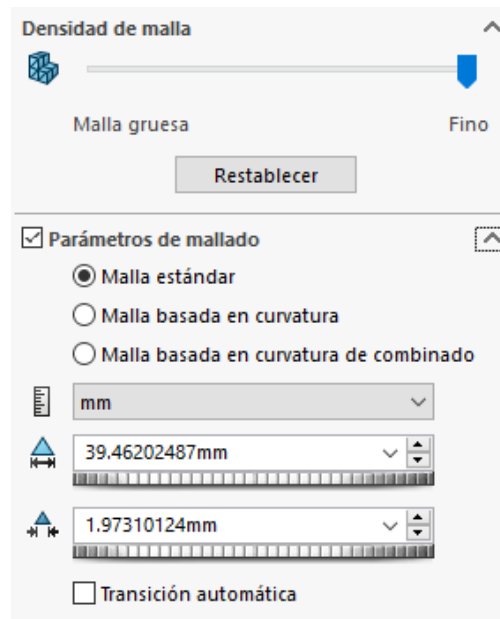
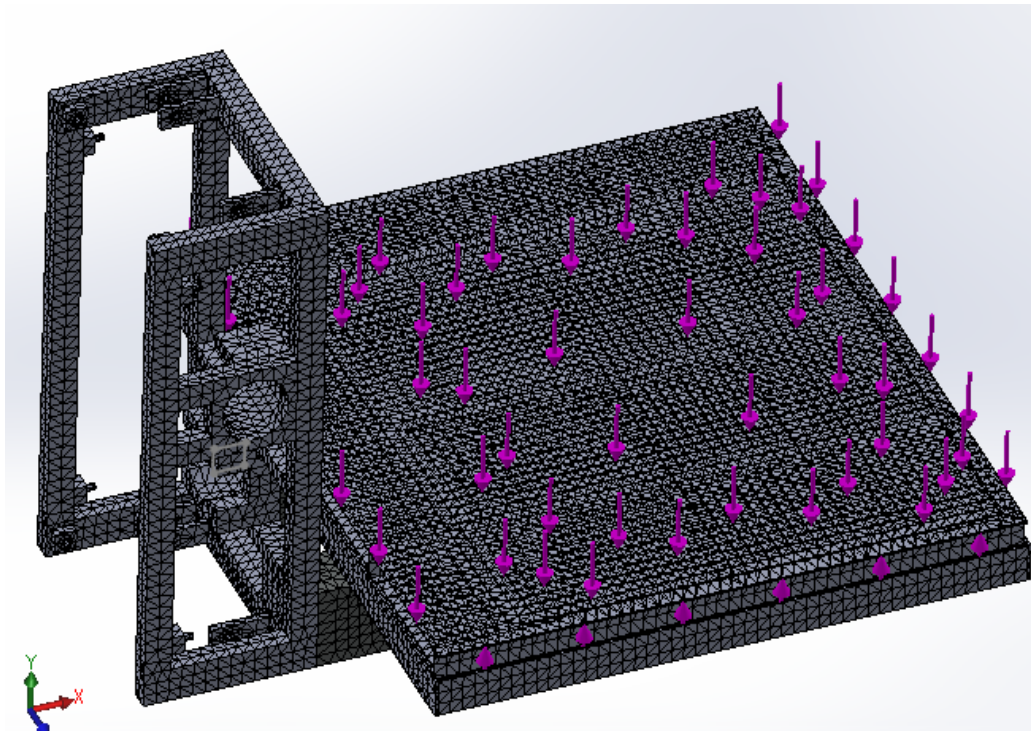


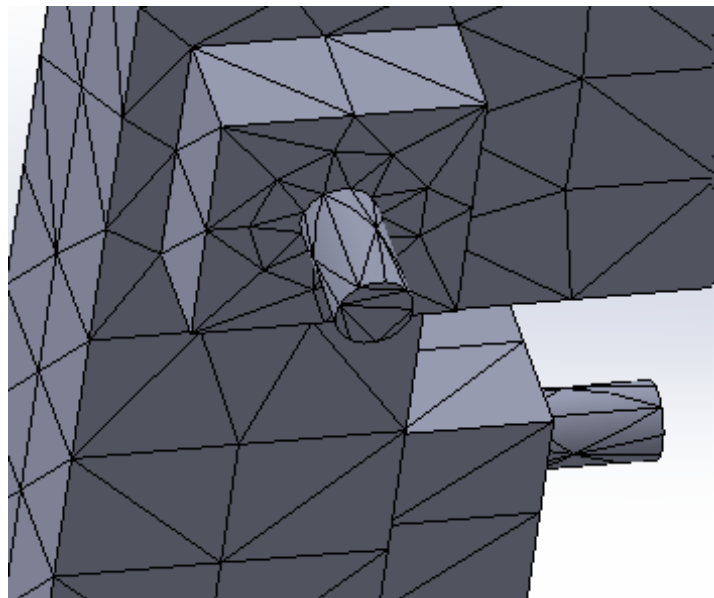
Ilustración 49.Parámetro de mallado para el cálculo estático.

El mallado una vez realizado por “Solid Works” quedaría:



*Ilustración 50. Mallado del problema planteado, análisis estático.*

Como se dijo anteriormente, en los bulones el mallado es algo débil, por ello estos elementos se calculan a mano. Podemos ver el mallado deficiente de estos elementos a continuación:



*Ilustración 51. Mallado de los bulones de las ruedas.*

#### K.4. Resultados del cálculo.

Los resultados, una vez calculados, muestran las tensiones Von Mises en todas las zonas del montacargas y las deformaciones y desplazamientos, nos centraremos en las tensiones y desplazamientos para establecer conclusiones. Los desplazamientos máximos que se permitirán será 1:250 como máximo, es decir 1mm de desplazamiento vertical por cada 250 mm longitud del montacargas. En primer lugar, se comentarán las tensiones obtenidas:

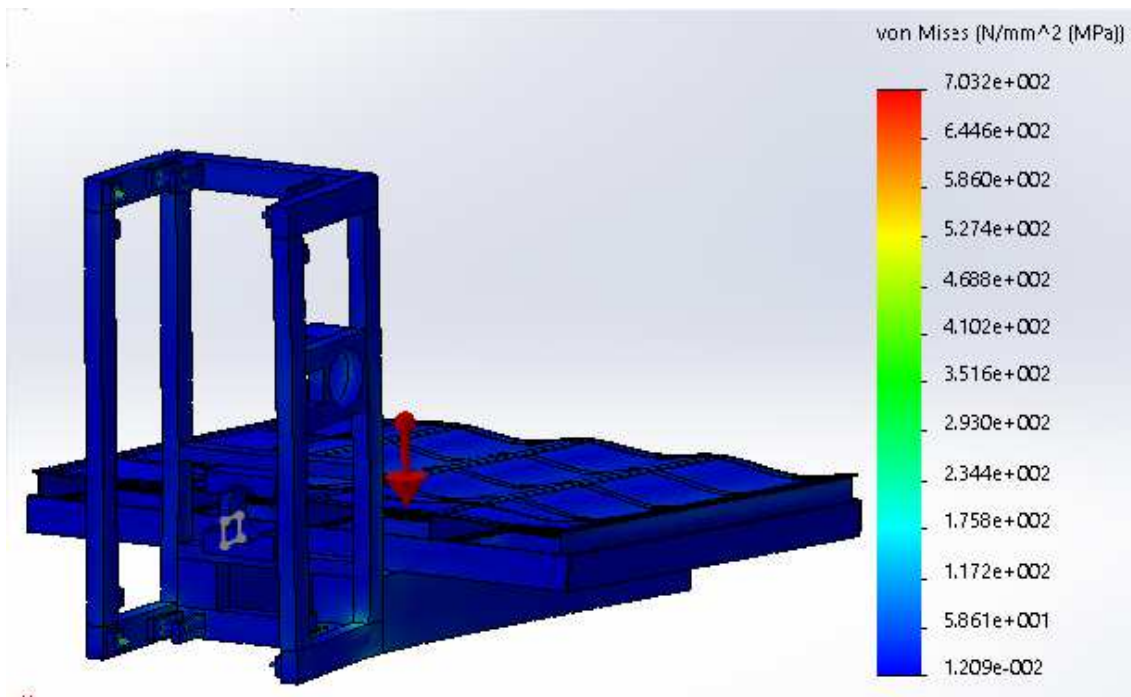


Ilustración 52. Vista general, tensión Von Mises.

Puede verse que el rango de tensiones dada por la leyenda es muy amplio y además el valor máximo (700Mpa) no se encuentra con facilidad en el resultado, esto se debe a que esas tensiones máximas se encuentran en algunos bulones, debido al mallado deficiente por su pequeño tamaño. En la siguiente ilustración se corrobora lo expuesto:

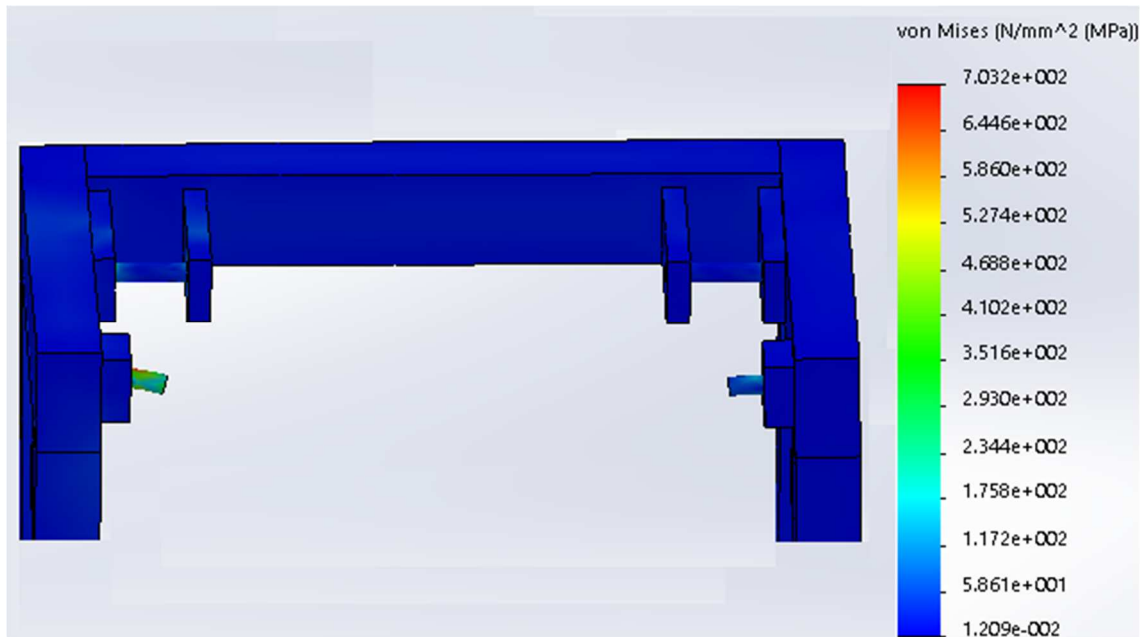


Ilustración 53. Detalle tensión en los bulones.

Por lo comentado, se ha excluido de este análisis los bulones (que además han sido calculados en el apartado 3.12) y se ha acortado el rango de valores mostrado por la leyenda en el modelo virtual (como máximo a 355 Mpa), a continuación, una vez hecho esto, puede verse el resultado en tensiones más claramente:

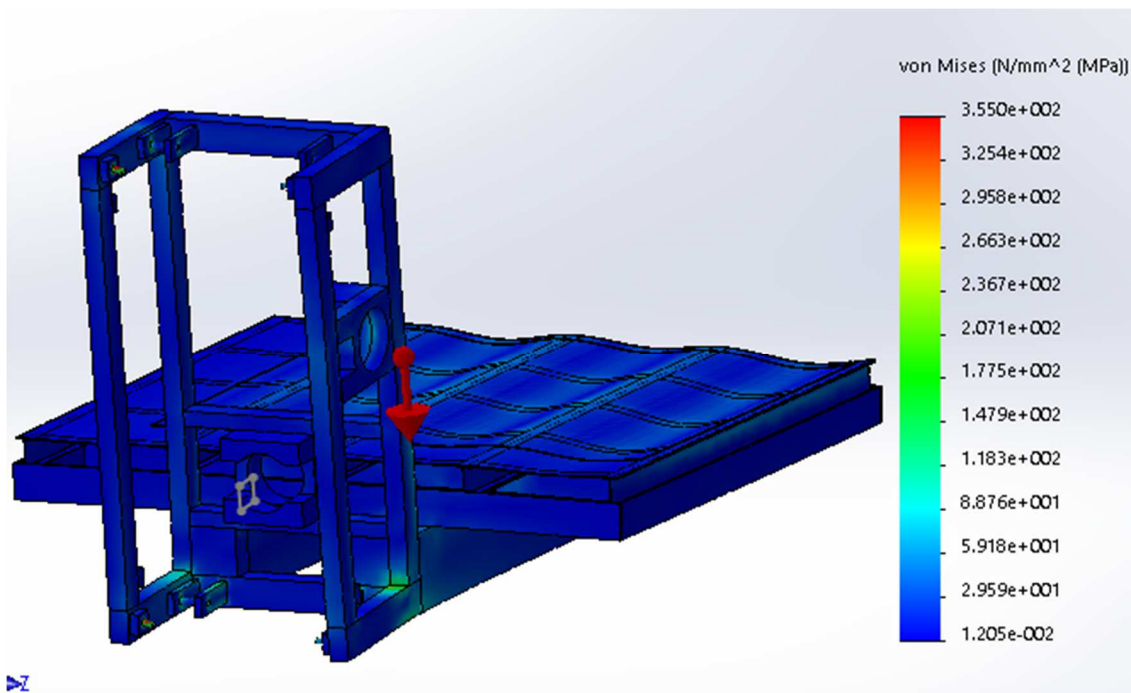
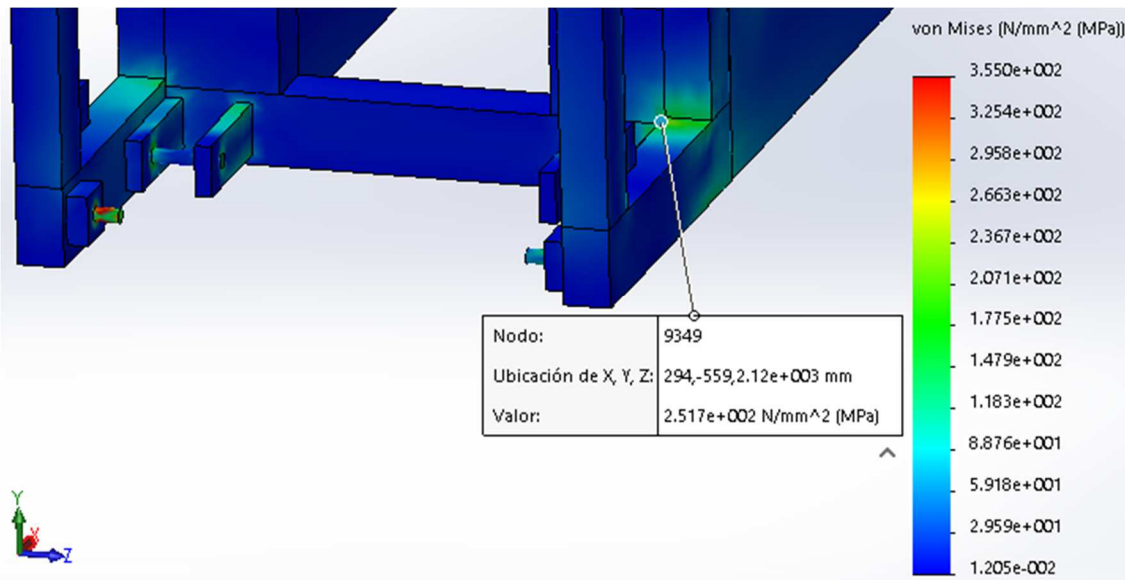


Ilustración 54. Vista general, tensión Von Mises con rango de tensiones menor.



Ahora puede apreciarse, excluidos los bulones, cual es la distribución de tensiones de forma más clara e inteligible. Puede verse que las mayores tensiones están localizadas en la parte inferior del bastidor, cerca de las uñas, aunque por los tonos (azulados-verdosos) podemos afirmar que no llegan a 260 Mpa. Veremos con más detalle lo explicado:



*Ilustración 55. Detalle inferior del bastidor, Von Mises.*

Podemos apreciar que no existen zonas “rojas”, que son las tensiones mayores según la leyenda, a excepción de los bulones, que son los elementos donde se señalan las tensiones mayores.

El bastidor en un principio no era así, los perfiles verticales eran de sección 100x100 y tras comprobar como veremos que estas zonas no estaban apenas solicitadas, se decide limitar la placa para las uñas solo a las propias uñas, sin constituir un solo bloque. Además, los perfiles verticales se han podido reducir a 50mm, reduciendo así a la mitad el peso de dichos perfiles. Es de indicar que el peso ha reducido considerablemente (la diferencia entre el modelo de antes y ahora, según “Solid Works” son 0,04m<sup>2</sup>, aproximadamente 312kg considerando la densidad del acero 7800kg). La ineficiencia de estos elementos que se han reducido queda reflejada en las siguientes ilustraciones:

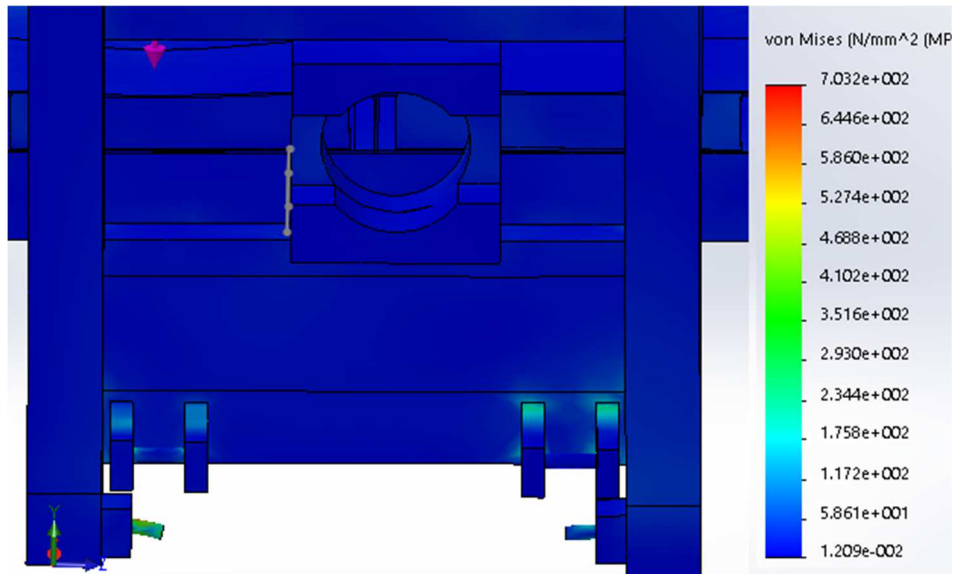


Ilustración 56. Detalle antes de reformar la placa de las uñas.

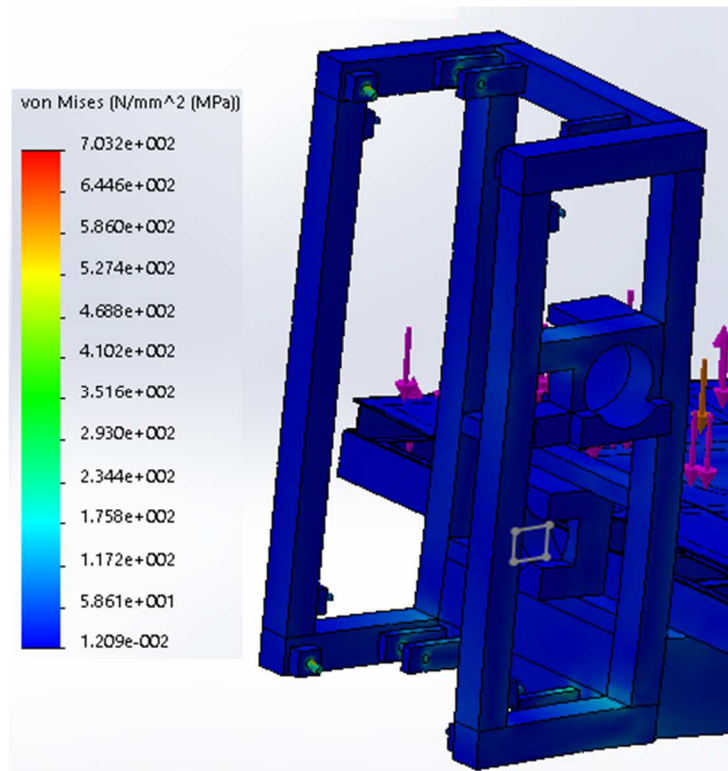
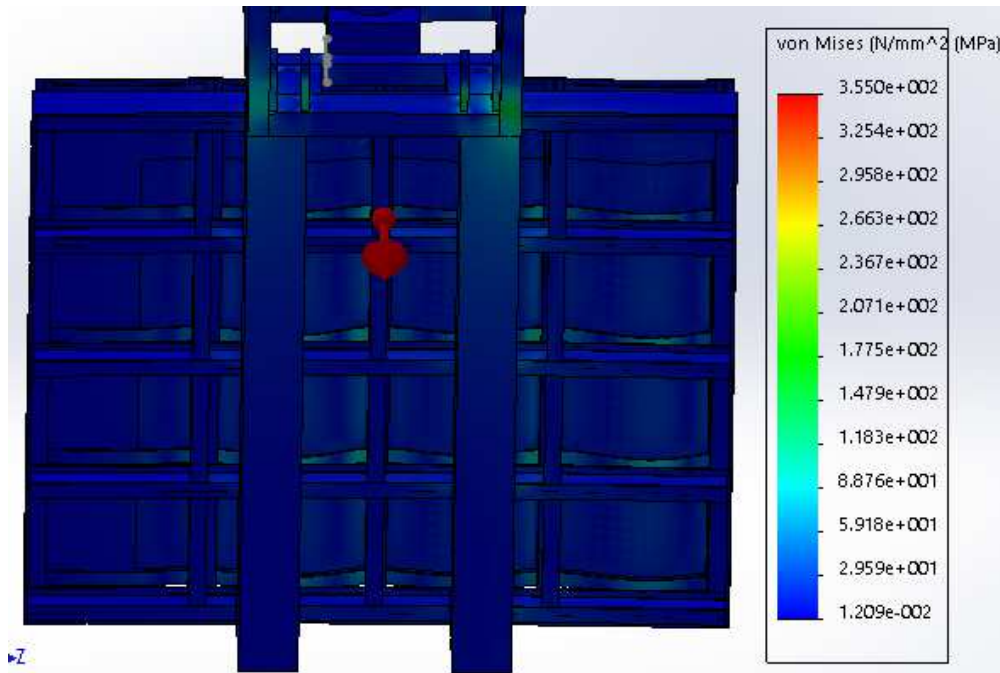


Ilustración 57. Bastidor antes de disminuir la sección de sus perfiles.

Con estos resultados en el bastidor, se escoge un acero S355 para los perfiles del bastidor, pues aparecen valores entorno a 300Mpa y el limite elástico de este acero es de 355Mpa, además se mayor la carga por 2,5 así que ya está implícito un coeficiente de seguridad. Los soportes de las ruedas serán del mismo material, acero S355 debido a la misma causa.



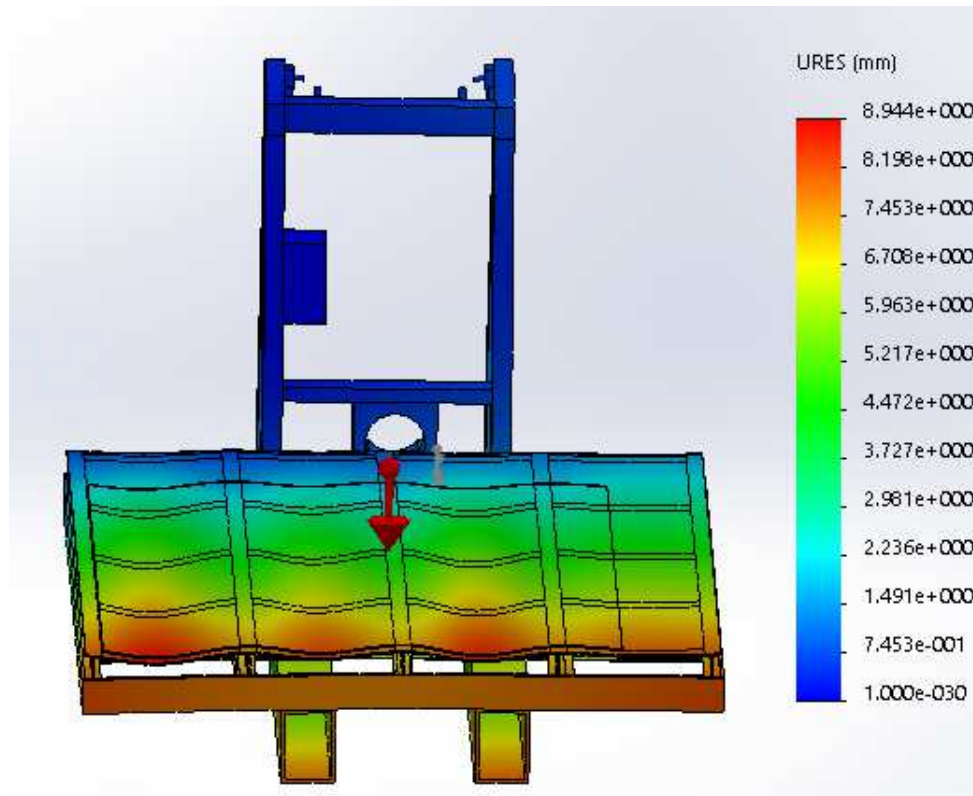
Ahora pasaremos a observar las capas de perfiles:



*Ilustración 58. Vista general perfiles, Von Misses.*

Puede verse que los perfiles se encuentran en tonos azules, por lo que no alcanzan grandes tensiones y cumplen, en principio con su cometido, por lo que se considera acertado su diseño (IPE 100 de acero S355JR). Además, los perfiles que unen los montacargas, de espesor como el ancho del ala, 5,7 mm, también se comportan bien ante las cargas.

En cuanto a deformaciones, lo ocurrido para el caso del montacargas, puede resumirse en la siguiente ilustración:



*Ilustración 59. Vista general de desplazamientos.*

Puede verse que los desplazamientos son mayores cuanto más nos alejamos del bastidor principal. Esto es debido a que el resto del montacargas se encuentra en voladizo y las cargas hacen flexionarse a la estructura. Puede verse que el máximo desplazamiento, se produce en la esquina izquierda (desde el punto de vista que da la ilustración anterior), y que el valor máximo se encuentra en la chapa que conforma el suelo de la plataforma. Esto se ve de forma muy explícita en la ilustración siguiente:

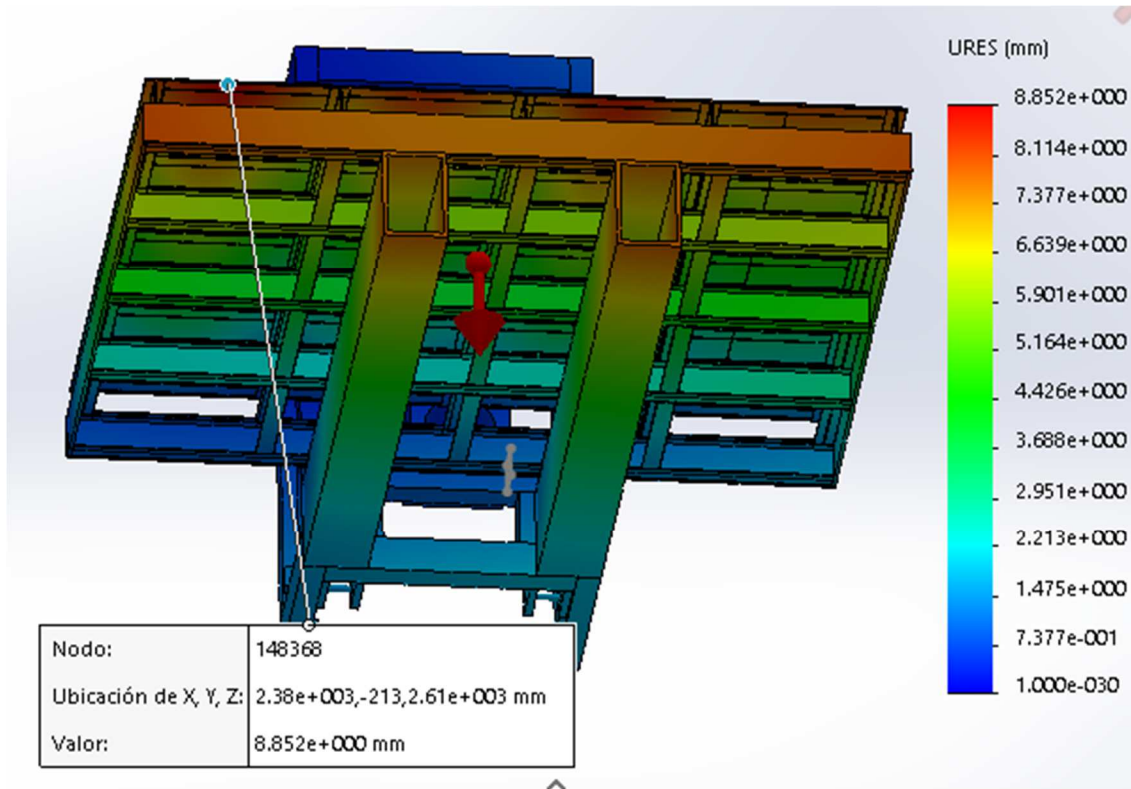


Ilustración 60.Desplazamiento y máximo desplazamiento.

Se había indicado que el desplazamiento máximo permitido podía tener una relación 1:250 con la longitud del montacargas. Puesto que el montacargas mide de largo 2420mm la relación entre la deformación máxima y la longitud es de  $2420/8,85 = 273$ . Se da por aceptable el valor obtenido para deformaciones, en caso contrario hubiese que haber modificado, por ejemplo, las uñas, asignando perfiles que flexionen menos antes las condiciones del problema.

Por último, se comprobará el caso de la frenada con el freno de emergencia, para ellos se elimina el apoyo fijo en el soporte del motor, y se sitúa en el soporte del freno de emergencia, el cual está delimitado por dos barras de la misma sección que las barras del bastidor, pero con 700mm de longitud que es el ancho del bastidor.

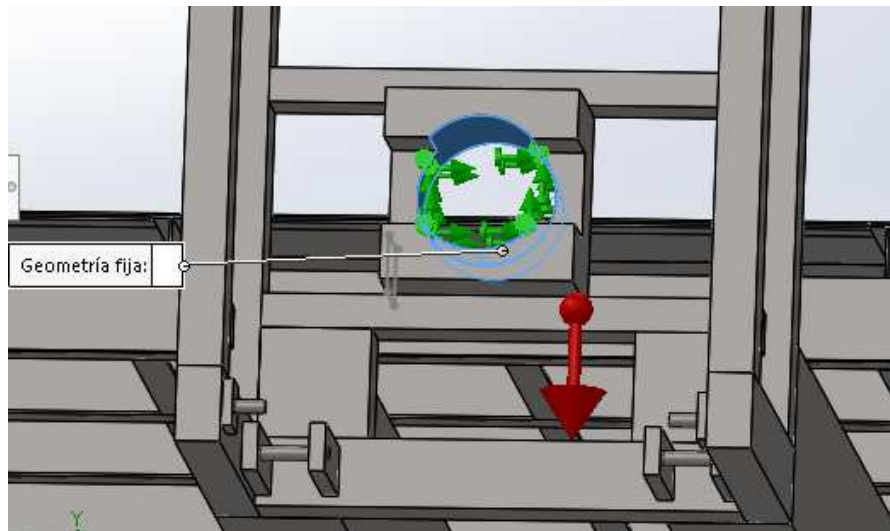


Ilustración 61. Condición de apoyo fijo en soporte freno.

Una vez se realiza el mallado y los cálculos (como en el anterior caso) se obtienen las tensiones Von Mises y desplazamientos en el montacargas:

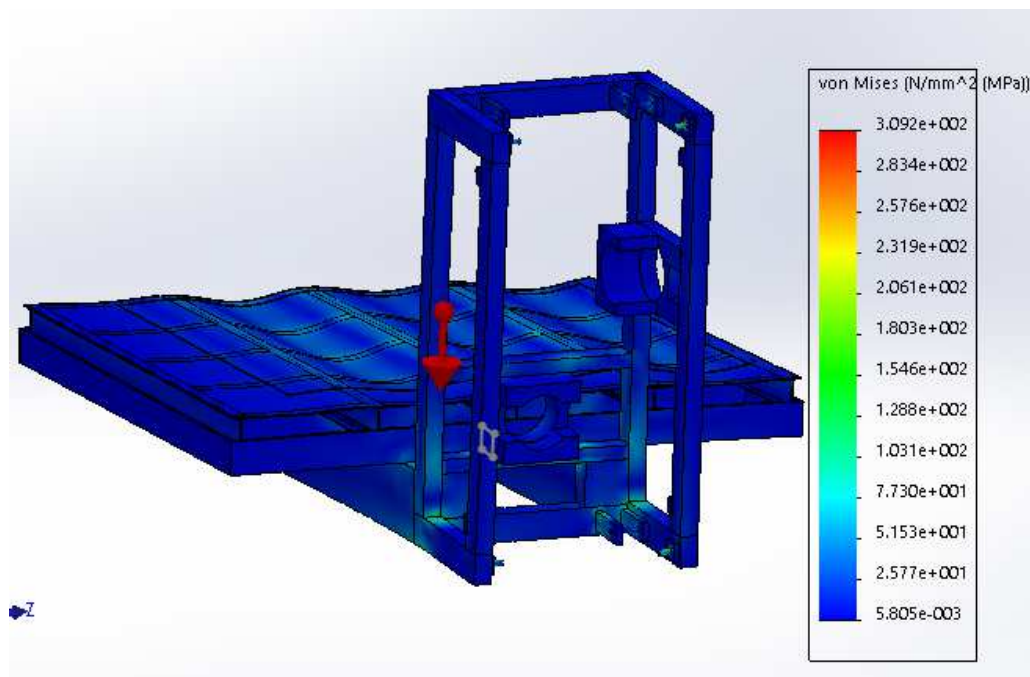
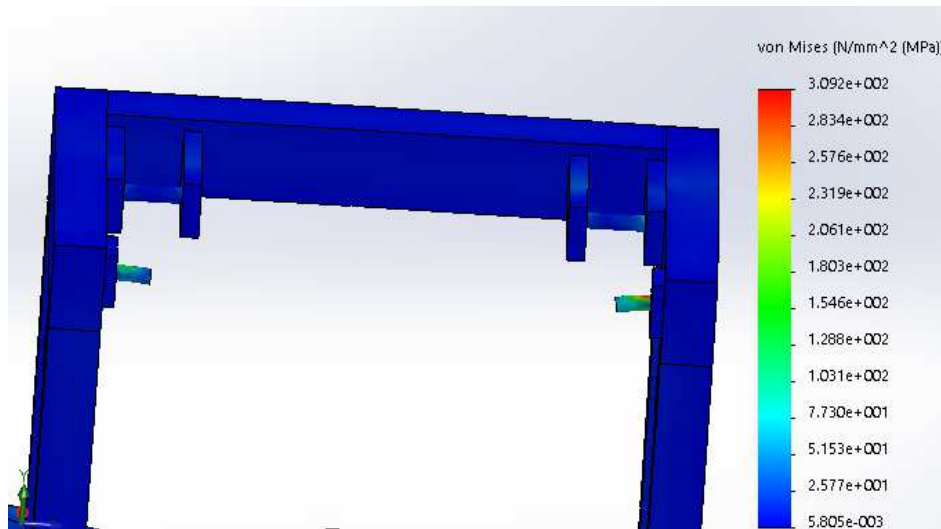


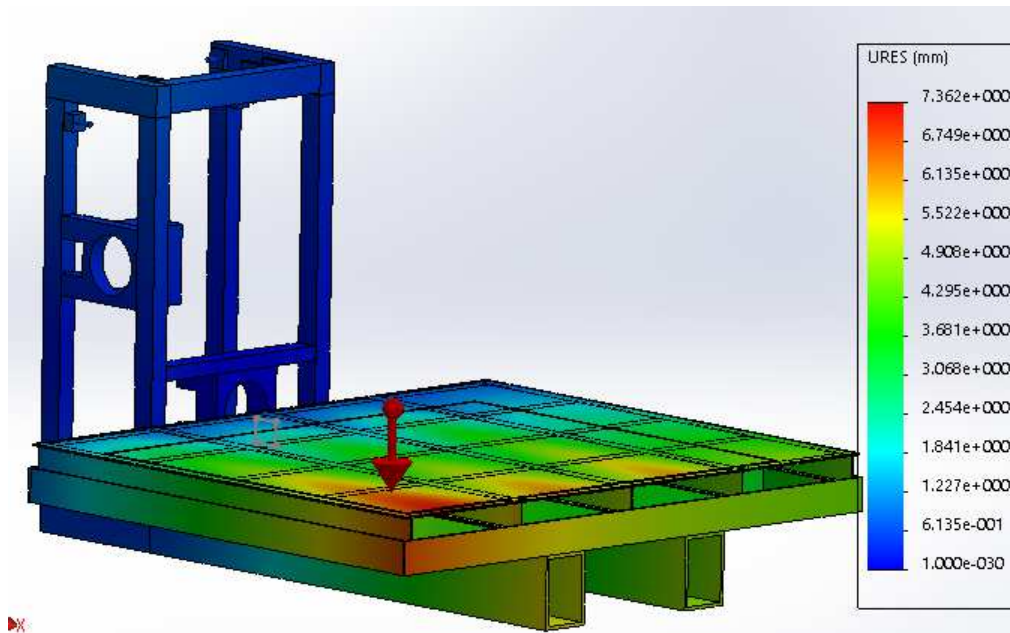
Ilustración 62. Tensión Von Mises caso de apoyo fijo en soporte freno.



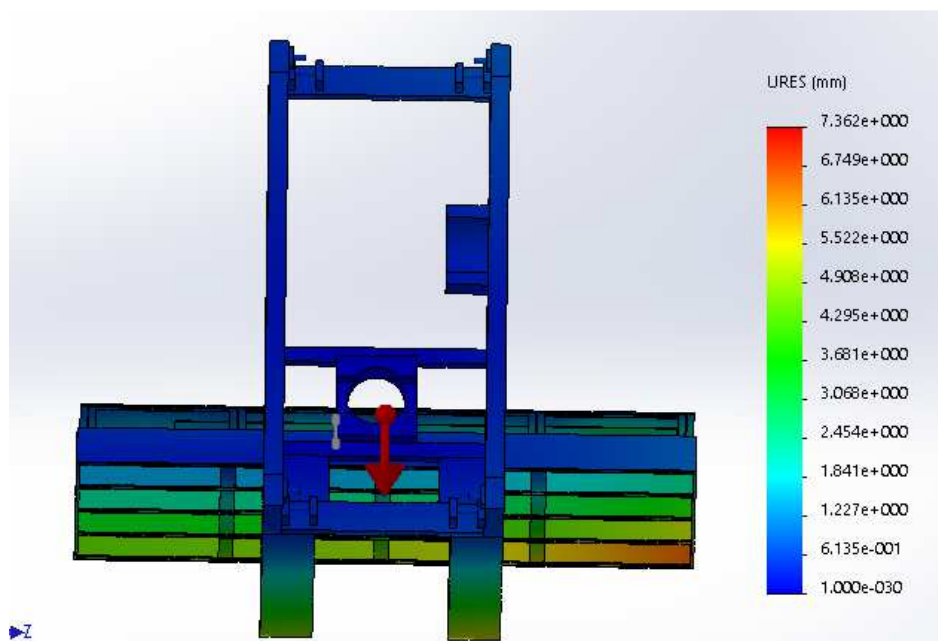
*Ilustración 63. Tensión Von Misses caso de apoyo fijo en soporte freno, detalle en bulones.*

Para este caso, la leyenda no está modificada si no que muestra todo el rango de valores para las tensiones. Por esta causa, se puede apreciar que disminuye notablemente el valor máximo de tensiones para el caso de apoyo fijo en el soporte freno y en el soporte motor. Dicho valor se sigue situando en los bulones como se ve en la anterior ilustración. Esto puede deberse a que el freno a sido situado, en el medio del bastidor, más cerca del centro geométrico y de gravedad del montacargas, por lo que la frenada introduciría menores momentos en el montacargas y por lo tanto se generarían menores tensiones. Además, el soporte de freno parece que no sufre grandes tensiones y resisten bien a las tensiones que se crean en la simulación.

Para los desplazamientos se obtienen los siguientes resultados:



*Ilustración 64.Desplazamientos para el caso de apoyo fijo en soporte freno.*



*Ilustración 65.Desplazamientos para el caso de apoyo fijo en soporte freno, parte de detrás del montacargas.*

En el caso de los desplazamientos puede observarse que son menores que en el caso de apoyo fijo en el soporte motor. Observando dichos resultados, se da por valido el modelo. El peso del montacargas final, obtenido a través del software es de 2138 kilogramos. Así pues, queda definido el montacargas, y se considera correcto el modelo obtenido para hacer frente a las condiciones de trabajo introducidas.



## ANEXO L: Extractos de catálogos usados.

**4P** **1500 min<sup>-1</sup> - S1**

**Bonfiglioli**  
Motoren

| P <sub>n</sub><br>kW |          | n<br>min <sup>-1</sup> | M <sub>n</sub><br>Nm | IE1  | η<br>(100%)<br>% | η<br>(75%)<br>% | η<br>(50%)<br>% | cosφ | I <sub>n</sub><br>400V<br>A | I <sub>s</sub><br>I <sub>n</sub> | M <sub>s</sub><br>M <sub>n</sub> | M <sub>s</sub><br>M <sub>n</sub> | J <sub>m</sub><br>x 10 <sup>-4</sup><br>kgm <sup>2</sup> | IM B5<br> |
|----------------------|----------|------------------------|----------------------|------|------------------|-----------------|-----------------|------|-----------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|--|-----------|
| 0.06                 | BN 66A   | 4                      | 1340                 | 0.43 | ○                | 46.8            | 44.2            | 41.3 | 0.65                        | 0.28                             | 2.6                              | 2.3                              | 2.0  | 3.1       |
| 0.09                 | BN 66B   | 4                      | 1350                 | 0.64 | ○                | 51.7            | 47.6            | 42.9 | 0.60                        | 0.42                             | 2.6                              | 2.5                              | 2.4  | 3.1       |
| 0.12                 | BN 63A   | 4                      | 1350                 | 0.85 | ○                | 59.8            | 56.2            | 47.0 | 0.62                        | 0.47                             | 2.6                              | 1.9                              | 1.8  | 3.5       |
| 0.18                 | BN 63B   | 4                      | 1320                 | 1.30 | ○                | 54.8            | 52.9            | 52.5 | 0.67                        | 0.71                             | 2.6                              | 2.2                              | 2.0  | 3.9       |
| 0.25                 | BN 63C   | 4                      | 1340                 | 1.78 | ○                | 65.3            | 65.0            | 57.9 | 0.69                        | 0.80                             | 2.7                              | 2.1                              | 1.9  | 5.1       |
| 0.25                 | BN 71A   | 4                      | 1380                 | 1.73 | ○                | 63.7            | 62.2            | 59.1 | 0.73                        | 0.78                             | 3.3                              | 1.9                              | 1.7  | 5.1       |
| 0.37                 | BN 71B   | 4                      | 1370                 | 2.6  | ○                | 66.6            | 66.7            | 63.0 | 0.76                        | 1.05                             | 3.7                              | 2.0                              | 1.9  | 5.9       |
| 0.55                 | BN 71C   | 4                      | 1380                 | 3.8  | ○                | 69.0            | 68.9            | 68.8 | 0.74                        | 1.55                             | 4.1                              | 2.3                              | 2.3  | 7.3       |
| 0.55                 | BN 80A   | 4                      | 1390                 | 3.8  | ○                | 72.0            | 71.3            | 69.7 | 0.77                        | 1.43                             | 4.1                              | 2.3                              | 2.0  | 8.2       |
| 0.75                 | BN 80B   | 4                      | 1400                 | 5.1  | ●                | 75.0            | 74.5            | 69.3 | 0.78                        | 1.85                             | 4.9                              | 2.7                              | 2.5  | 9.9       |
| 1.1                  | BN 80C   | 4                      | 1400                 | 7.5  | ●                | 75.5            | 76.2            | 70.4 | 0.78                        | 2.7                              | 5.1                              | 2.8                              | 2.5  | 11.3      |
| 1.1                  | BN 90S   | 4                      | 1390                 | 7.6  | ●                | 76.5            | 76.2            | 72.2 | 0.77                        | 2.70                             | 4.6                              | 2.6                              | 2.2  | 12.2      |
| 1.5                  | BN 90LA  | 4                      | 1410                 | 10.2 | ●                | 78.7            | 78.5            | 74.9 | 0.77                        | 3.6                              | 5.3                              | 2.8                              | 2.4  | 13.6      |
| 1.85                 | BN 90LB  | 4                      | 1390                 | 12.7 | ●                | 78.6            | 78.9            | 77.2 | 0.79                        | 4.3                              | 5.1                              | 2.8                              | 2.6  | 15.1      |
| 2.2                  | BN 100LA | 4                      | 1410                 | 14.9 | ●                | 81.1            | 81.4            | 79.9 | 0.75                        | 5.2                              | 4.5                              | 2.2                              | 2.0  | 18        |
| 3                    | BN 100LB | 4                      | 1410                 | 20   | ●                | 82.6            | 83.8            | 83.7 | 0.77                        | 6.8                              | 5.0                              | 2.3                              | 2.2  | 22        |
| 4                    | BN 112M  | 4                      | 1430                 | 27   | ●                | 84.4            | 84.2            | 81.6 | 0.81                        | 8.4                              | 5.6                              | 2.7                              | 2.5  | 30        |
| 5.5                  | BN 132S  | 4                      | 1440                 | 36   | ●                | 84.7            | 84.6            | 82.5 | 0.81                        | 11.6                             | 5.5                              | 2.3                              | 2.2  | 44        |
| 7.5                  | BN 132MA | 4                      | 1440                 | 50   | ●                | 86.0            | 86.3            | 85.3 | 0.81                        | 15.5                             | 5.7                              | 2.5                              | 2.4  | 53        |
| 9.2                  | BN 132MB | 4                      | 1440                 | 61   | ●                | 88.4            | 88.6            | 87.5 | 0.81                        | 18.8                             | 5.9                              | 2.7                              | 2.5  | 59        |
| 11                   | BN 160MR | 4                      | 1440                 | 73   | ●                | 87.6            | 87.6            | 86.0 | 0.81                        | 22.4                             | 6.0                              | 2.7                              | 2.5  | 70        |
| 15                   | BN 160L  | 4                      | 1460                 | 98   | ●                | 88.7            | 88.5            | 88.4 | 0.81                        | 30                               | 6.0                              | 2.3                              | 2.1  | 99        |
| 18.5                 | BN 180M  | 4                      | 1460                 | 121  | ●                | 89.3            | 89.5            | 89.2 | 0.81                        | 37                               | 6.2                              | 2.6                              | 2.5  | 115       |
| 22                   | BN 180L  | 4                      | 1460                 | 144  | ●                | 89.9            | 90.0            | 90.0 | 0.80                        | 44                               | 6.4                              | 2.5                              | 2.5  | 135       |
| 30                   | BN 200L  | 4                      | 1460                 | 196  | ●                | 91.4            | 91.7            | 91.0 | 0.80                        | 59                               | 7.1                              | 2.7                              | 2.8  | 157       |

○ = n.a.    ● = IE1

255 / 280

Ilustración 66.Extracto catalogo motores bonfiglioli.


| freno c.a. |      |                |  |   |
|------------|------|----------------|--|---|
| FA         |      |                |  |   |
| Mod        | Mb   | Z <sub>0</sub> | J <sub>m</sub>                         | IM B5   |
|            | Nm   | 1/n            | x 10 <sup>-4</sup><br>kgm <sup>2</sup> |  |
| FA 02      | 1.75 | 13000          | 2.6                                    | 5.0   |
| FA 02      | 3.5  | 13000          | 3.0                                    | 5.4   |
| FA 02      | 3.5  | 10000          | 3.9                                    | 6.6   |
| FA 03      | 3.5  | 11000          | 6.9                                    | 7.5   |
| FA 03      | 5.0  | 9400           | 8.0                                    | 8.3   |
| FA 03      | 7.5  | 8700           | 10.2                                   | 9.7   |
| FA 04      | 10   | 8000           | 16.6                                   | 12.0  |
| FA 04      | 15   | 7800           | 22                                     | 13.7  |
| FA 04      | 15   | 5300           | 27                                     | 15.1  |
| FA 14      | 15   | 8000           | 23                                     | 16.3  |
| FA 05      | 26   | 6000           | 32                                     | 20.3  |
| FA 05      | 26   | 5900           | 34                                     | 21.8  |
| FA 15      | 40   | 4700           | 44                                     | 25  |
| FA 15      | 40   | 4400           | 58                                     | 29  |
| FA 06S     | 60   | 2100           | 107                                    | 42  |
| FA 06      | 75   | 1200           | 223                                    | 58  |
| FA 07      | 100  | 1000           | 280                                    | 71  |
| FA 07      | 150  | 900            | 342                                    | 77  |
| FA 07      | 150  | 850            | 382                                    | 88  |
| FA 08      | 200  | 750            | 710                                    | 128   |
| FA 08      | 250  | 700            | 850                                    | 144   |

Ilustración 67.Extracto de frenos adjuntos a los motores en catálogo bonfiglioli.





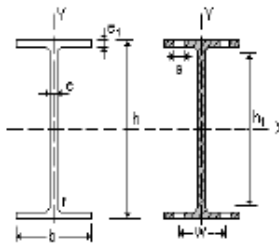
| M <sub>2</sub><br>Nm | S   | i    | R <sub>n2</sub><br>N |  |  |  |  |
|----------------------|-----|------|----------------------|---|---|--|---|
| 12734                | 0.9 | 57.4 | 55300                |   |   | C1003_57.4 P225 BN225S4  | 164   |
| 10264                | 1.2 | 46.2 | 56600                |   |   | C1003_46.2 P225 BN225S4  | 164   |
| 8201                 | 1.4 | 36.9 | 57000                |   |   | C1003_36.9 P225 BN225S4  | 164   |
| 5631                 | 1.2 | 24.8 | 29500                |   |   | C902_24.8 P225 BN225S4   | 161   |
| 5467                 | 2.0 | 24.1 | 55200                |   |   | C1002_24.1 P225 BN225S4  | 164   |
| 4237                 | 1.5 | 18.7 | 30100                |   |   | C902_18.7 P225 BN225S4   | 161   |
| 4234                 | 2.5 | 18.7 | 53600                |   |   | C1002_18.7 P225 BN225S4  | 164   |
| 3779                 | 0.9 | 16.7 | 18500                |   |   | C802_16.7 P225 BN225S4   | 158   |
| 3143                 | 1.9 | 13.9 | 29700                |   |   | C902_13.9 P225 BN225S4   | 161   |
| 3122                 | 1.1 | 13.8 | 18800                |   |   | C802_13.8 P225 BN225S4   | 158   |
| 2726                 | 1.4 | 12.0 | 18800                |   |   | C802_12.0 P225 BN225S4   | 158   |
| 2546                 | 2.2 | 11.2 | 29100                |   |   | C902_11.2 P225 BN225S4   | 161   |
| 2178                 | 1.7 | 9.6  | 18800                |   |   | C802_9.6 P225 BN225S4  | 158   |
| 2046                 | 2.5 | 9.0  | 28300                |   |   | C902_9.0 P225 BN225S4  | 161   |
| 1730                 | 2.0 | 7.6  | 18500                |   |   | C802_7.6 P225 BN225S4  | 158   |
| 1661                 | 2.9 | 7.3  | 27400                |   |   | C902_7.3 P225 BN225S4  | 161   |
| 1386                 | 2.3 | 6.1  | 18000                |   |   | C802_6.1 P225 BN225S4  | 158   |
| 1271                 | 3.5 | 5.6  | 26100                |   |   | C902_5.6 P225 BN225S4  | 161   |
| 1173                 | 3.7 | 5.2  | 25700                |   |   | C902_5.2 P225 BN225S4  | 161   |

Ilustración 68.Extracto catálogo reductores bonfiglioli.



**Tabla 2.A1.2.- Perfiles IPE**



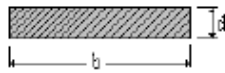
A = Área de la de la sección  
 $S_x$  = Momento estático de media sección,  
 respecto a X.  
 $I_x$  = Momento de inercia de la sección,  
 respecto a X.  
 $W_x = 2I_x : h$ . Módulo resistente de la sección,  
 respecto a X.  
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección,  
 respecto a X.  
 $I_y$  = Momento de inercia de la sección,  
 respecto a Y.  
 $W_y = 2I_y : b$ . Módulo resistente de la sección,  
 respecto a Y.  
 $I_y = (I_y : A)^{1/2}$ . Radio de giro de la sección,  
 respecto a Y.

$I_t$  = Módulo de torsión de la  
 sección.  
 $I_a$  = Módulo de alabeo de la  
 sección.  
 u = Perímetro de la sección.  
 a = Diámetro del agujero del  
 roblón normal.  
 w = Gramil, distancia entre ejes  
 de agujeros.  
 $h_1$  = Altura de la parte plana del  
 alma.  
 p = Peso por metro.

| Perfil  | Dimensiones |         |         |                      |         |                      |         | Términos de la sección |                          |                          |                          |             |                          |                          |             |                          |                          | Agujeros |         |                      | Peso<br>p<br>kg/m |
|---------|-------------|---------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------|---------|----------------------|-------------------|
|         | h<br>mm     | b<br>mm | e<br>mm | e <sub>1</sub><br>mm | r<br>mm | h <sub>1</sub><br>mm | u<br>mm | A<br>cm <sup>2</sup>   | $S_x$<br>cm <sup>3</sup> | $I_x$<br>cm <sup>4</sup> | $W_x$<br>cm <sup>3</sup> | $i_x$<br>cm | $I_y$<br>cm <sup>4</sup> | $W_y$<br>cm <sup>3</sup> | $i_y$<br>cm | $I_t$<br>cm <sup>4</sup> | $I_a$<br>cm <sup>6</sup> | w<br>mm  | a<br>mm | e <sub>2</sub><br>mm |                   |
| IPE 80  | 80          | 46      | 3,8     | 5,2                  | 5       | 60                   | 328     | 7,64                   | 11,6                     | 80,1                     | 20,0                     | 3,24        | 8,49                     | 3,69                     | 1,05        | 0,721                    | 118                      | -        | -       | 3,8                  | 6,00              |
| IPE 100 | 100         | 55      | 4,1     | 5,7                  | 7       | 75                   | 400     | 10,3                   | 19,7                     | 171                      | 34,2                     | 4,07        | 15,9                     | 5,79                     | 1,24        | 1,140                    | 351                      | -        | -       | 4,1                  | 8,10              |
| IPE 120 | 120         | 64      | 4,4     | 6,3                  | 7       | 93                   | 475     | 13,2                   | 30,4                     | 318                      | 53,0                     | 4,90        | 27,7                     | 8,65                     | 1,45        | 1,770                    | 890                      | 35       | -       | 4,4                  | 10,4              |
| IPE 140 | 140         | 73      | 4,7     | 6,9                  | 7       | 112                  | 551     | 16,4                   | 44,2                     | 541                      | 77,3                     | 5,74        | 44,9                     | 12,3                     | 1,65        | 2,630                    | 1981                     | 40       | 11      | 4,7                  | 12,9              |
| IPE 160 | 160         | 82      | 5,0     | 7,4                  | 9       | 127                  | 623     | 20,1                   | 61,9                     | 869                      | 109                      | 6,58        | 68,3                     | 16,7                     | 1,84        | 3,640                    | 3959                     | 44       | 13      | 5                    | 15,8              |
| IPE 180 | 180         | 91      | 5,3     | 8,0                  | 9       | 146                  | 698     | 23,9                   | 83,2                     | 1320                     | 146                      | 7,42        | 101                      | 22,2                     | 2,05        | 5,060                    | 7431                     | 48       | 13      | 5,3                  | 18,8              |

Ilustración 69.Extracto catalogo perfiles IPE.

**Tabla 2.A1.10.- Rectangulares**



A = Área de la sección  
p = Peso por metro

| b×d<br>mm <sup>2</sup> | A<br>cm <sup>2</sup> | p<br>Kp/m | b×d<br>mm <sup>2</sup> | A<br>cm <sup>2</sup> | p<br>Kp/m | b×d<br>mm <sup>2</sup> | A<br>cm <sup>2</sup> | p<br>Kp/m | b×d<br>mm <sup>2</sup> | A<br>cm <sup>2</sup> | p<br>Kp/m | b×d<br>mm <sup>2</sup> | A<br>cm <sup>2</sup> | p<br>Kp/m |
|------------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|-----------|
| 20×40                  | 0.80                 | 0.628     | 45×40                  | 1.80                 | 1.41      | 70×4                   | 2.8                  | 2.20      | 100×40                 | 4.0                  | 3.14      | 160×8                  | 12.8                 | 10        |
| 20×50                  | 1.00                 | 0.785     | 45×50                  | 2.25                 | 1.77      | 70×5                   | 3.5                  | 2.75      | 100×50                 | 5.0                  | 3.93      | 160×10                 | 16.0                 | 12.6      |
| 20×60                  | 1.20                 | 0.942     | 45×60                  | 2.70                 | 2.12      | 70×6                   | 4.2                  | 3.30      | 100×60                 | 6.0                  | 4.71      | 160×12                 | 19.2                 | 15.1      |
| 20×80                  | 1.60                 | 1.260     | 45×80                  | 3.60                 | 2.83      | 70×8                   | 5.6                  | 4.40      | 100×80                 | 8.0                  | 6.23      | 160×15                 | 24.0                 | 18.8      |
| 20×10                  | 2.00                 | 1.570     | 45×10                  | 4.50                 | 3.53      | 70×10                  | 7.0                  | 5.50      | 100×10                 | 10.0                 | 7.85      | 160×20                 | 32.0                 | 25.1      |
| 20×12                  | 2.40                 | 1.880     | 45×12                  | 5.40                 | 4.24      | 70×12                  | 8.4                  | 6.59      | 100×12                 | 12.0                 | 9.42      | 160×25                 | 40.0                 | 31.4      |
| 20×15                  | 3.00                 | 2.360     | 45×15                  | 6.75                 | 5.30      | 70×15                  | 10.5                 | 8.24      | 100×15                 | 15.0                 | 11.8      | 160×30                 | 48.0                 | 37.7      |
| 25×40                  | 1.00                 | 0.785     | 45×20                  | 9.00                 | 7.07      | 70×20                  | 14.0                 | 11.0      | 100×20                 | 20.0                 | 15.7      | 160×35                 | 56.0                 | 44.0      |
| 25×50                  | 1.25                 | 0.981     | 45×25                  | 11.20                | 8.83      | 70×25                  | 17.5                 | 13.7      | 100×25                 | 25.0                 | 19.6      | 160×40                 | 64.0                 | 50.2      |
| 25×60                  | 1.50                 | 1.180     | 45×30                  | 13.50                | 10.6      | 70×30                  | 21.0                 | 16.5      | 100×30                 | 30.0                 | 23.6      | 180×80                 | 14.4                 | 11.3      |
| 25×80                  | 2.00                 | 1.570     | 45×35                  | 15.80                | 12.4      | 70×35                  | 24.5                 | 19.2      | 100×35                 | 35.0                 | 27.5      | 180×10                 | 18.0                 | 14.1      |
| 25×10                  | 2.50                 | 1.960     | 45×40                  | 18.00                | 14.1      | 70×40                  | 28.0                 | 22.0      | 100×40                 | 40.0                 | 31.4      | 180×12                 | 21.6                 | 17.0      |
| 30×80                  | 2.40                 | 1.880     | 50×15                  | 7.50                 | 5.89      | 75×15                  | 11.2                 | 8.83      | 110×15                 | 16.5                 | 13.0      | 200×80                 | 16.0                 | 12.6      |
| 30×10                  | 3.00                 | 2.360     | 50×20                  | 10.00                | 7.85      | 75×20                  | 15.0                 | 11.8      | 110×20                 | 22.0                 | 17.3      | 200×10                 | 20.0                 | 15.7      |
| 30×12                  | 3.60                 | 2.830     | 50×25                  | 12.50                | 9.81      | 75×25                  | 18.8                 | 14.7      | 110×25                 | 27.5                 | 21.6      | 200×12                 | 24.0                 | 18.8      |
| 30×15                  | 4.50                 | 3.530     | 50×30                  | 15.00                | 11.8      | 75×30                  | 22.5                 | 17.7      | 110×30                 | 33.0                 | 25.9      | 200×15                 | 30.0                 | 23.6      |
| 30×20                  | 6.00                 | 4.710     | 50×35                  | 17.50                | 13.7      | 75×35                  | 26.2                 | 20.6      | 110×35                 | 38.5                 | 30.2      | 200×20                 | 40.0                 | 31.4      |
| 30×25                  | 7.50                 | 5.890     | 50×40                  | 20.00                | 15.7      | 75×40                  | 30.0                 | 23.6      | 110×40                 | 44.0                 | 34.5      | 200×25                 | 50.0                 | 39.2      |
| 35×40                  | 1.40                 | 1.100     | 55×40                  | 2.20                 | 1.73      | 80×4                   | 3.2                  | 2.51      | 120×40                 | 4.8                  | 3.77      | 200×30                 | 60.0                 | 47.1      |
| 35×50                  | 1.75                 | 1.370     | 55×50                  | 2.75                 | 2.16      | 80×5                   | 4.0                  | 3.14      | 120×50                 | 6.0                  | 4.71      | 200×35                 | 70.0                 | 55.0      |
| 35×60                  | 2.10                 | 1.650     | 55×60                  | 3.30                 | 2.59      | 80×6                   | 4.8                  | 3.77      | 120×60                 | 7.2                  | 5.65      | 200×40                 | 80.0                 | 62.8      |
| 35×80                  | 2.80                 | 2.200     | 55×80                  | 4.40                 | 3.45      | 80×8                   | 6.4                  | 5.02      | 120×8                  | 9.6                  | 7.54      | 250×80                 | 20.0                 | 15.7      |
| 35×10                  | 3.50                 | 2.750     | 55×10                  | 5.50                 | 4.32      | 80×10                  | 8.0                  | 6.28      | 120×10                 | 12.0                 | 9.42      | 250×10                 | 25.0                 | 19.6      |
| 35×12                  | 4.20                 | 3.300     | 55×12                  | 6.60                 | 5.18      | 80×12                  | 9.6                  | 7.54      | 120×12                 | 14.4                 | 11.3      | 250×12                 | 30.0                 | 23.6      |
| 35×15                  | 5.25                 | 4.120     | 55×15                  | 8.25                 | 6.48      | 80×15                  | 12.0                 | 9.42      | 120×15                 | 18.8                 | 14.1      | 250×15                 | 37.5                 | 29.4      |
| 35×20                  | 7.00                 | 5.500     | 55×20                  | 11.0                 | 8.64      | 80×20                  | 16.0                 | 12.6      | 120×20                 | 24.0                 | 18.8      | 250×20                 | 50.0                 | 39.2      |

Ilustración 70.Extracto catálogo perfiles rectangulares macizos.

### Serie 385 / Titán Acero



|        |    |    |       | Código | Descripción   |  |
|--------|----|----|-------|--------|---------------|--|
| 130X45 | 20 | 50 | 2500  | 30558  | 385/130 Acero |  |
| 200X50 | 20 | 62 | 5000  | 36196  | 385/200 Acero |  |
| 250X75 | 25 | 90 | 10000 | 36210  | 385/250 Acero |  |

Aro: Monobloque de acero F-114 templado a alta frecuencia.

Rodamiento: Dos cojinetes cónicos a rodillos de precisión  
(cojinete a rodillos metálico de aguja en diámetro 130 m/m).

Ilustración 71 Extracto para selección de ruedas, Catálogo general de ruedas "Cuality Rodes".

| Diámetro exterior | Espesor | Masa por unidad de longitud | Área de la sección transversal | Momento de inercia de flexión | Radio de giro   | Módulo de flexión elástico | Módulo de flexión plástico | Momento de inercia de torsión | Módulo de torsión | Área superficial por metro lineal | Longitud nominal por tonelada |                 |                 |                   |       |      |
|-------------------|---------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-------|------|
| H x B             | T       | M                           | A                              | I <sub>xx</sub>               | I <sub>yy</sub> | i <sub>xx</sub>            | i <sub>yy</sub>            | W <sub>elxx</sub>             | W <sub>elyy</sub> | W <sub>plxx</sub>                 | W <sub>plyy</sub>             | I <sub>t</sub>  | C <sub>t</sub>  | A <sub>s</sub>    | m     |      |
| mm                | mm      | kg/m                        | cm <sup>2</sup>                | cm <sup>4</sup>               | cm <sup>4</sup> | cm                         | cm                         | cm <sup>3</sup>               | cm <sup>3</sup>   | cm <sup>3</sup>                   | cm <sup>3</sup>               | cm <sup>4</sup> | cm <sup>3</sup> | m <sup>2</sup> /m |       |      |
| 150               | 100     | 4.0                         | 14.9                           | 18.9                          | 595             | 319                        | 5.60                       | 4.10                          | 79.3              | 63.7                              | 95.7                          | 72.5            | 662             | 105               | 0.486 | 67.2 |
|                   |         | 5.0                         | 18.3                           | 23.4                          | 719             | 384                        | 5.55                       | 4.05                          | 95.9              | 76.8                              | 117                           | 88.3            | 809             | 127               | 0.483 | 54.5 |
|                   |         | 6.0                         | 21.7                           | 27.6                          | 835             | 444                        | 5.50                       | 4.01                          | 111               | 88.8                              | 137                           | 103             | 948             | 147               | 0.479 | 46.1 |
|                   |         | 6.3                         | 22.4                           | 28.5                          | 848             | 453                        | 5.45                       | 3.98                          | 113               | 90.5                              | 140                           | 106             | 992             | 152               | 0.473 | 44.6 |
|                   |         | 8.0                         | 27.7                           | 35.2                          | 1008            | 536                        | 5.35                       | 3.90                          | 134               | 107                               | 169                           | 128             | 1206            | 182               | 0.466 | 36.1 |
|                   |         | 10.0                        | 33.4                           | 42.6                          | 1162            | 614                        | 5.22                       | 3.80                          | 155               | 123                               | 199                           | 150             | 1426            | 211               | 0.457 | 29.9 |
|                   |         | 12.0                        | 37.7                           | 48.1                          | 1207            | 642                        | 5.01                       | 3.65                          | 161               | 128                               | 215                           | 163             | 1573            | 229               | 0.438 | 26.5 |
|                   |         | 12.5                        | 38.9                           | 49.5                          | 1225            | 651                        | 4.97                       | 3.63                          | 163               | 130                               | 220                           | 166             | 1606            | 233               | 0.436 | 25.7 |
| 160               | 80      | 4.0                         | 14.2                           | 18.1                          | 598             | 204                        | 5.74                       | 3.35                          | 74.7              | 60.9                              | 92.9                          | 57.4            | 494             | 88.0              | 0.466 | 70.2 |
|                   |         | 5.0                         | 17.5                           | 22.4                          | 722             | 244                        | 5.68                       | 3.30                          | 90.2              | 61.0                              | 113                           | 69.7            | 601             | 106               | 0.463 | 57.0 |
|                   |         | 6.0                         | 20.7                           | 26.4                          | 836             | 281                        | 5.62                       | 3.26                          | 105               | 70.2                              | 132                           | 81.3            | 702             | 122               | 0.459 | 48.2 |
|                   |         | 6.3                         | 21.4                           | 27.3                          | 846             | 286                        | 5.57                       | 3.24                          | 106               | 71.4                              | 135                           | 83.3            | 732             | 126               | 0.453 | 46.7 |
|                   |         | 8.0                         | 26.4                           | 33.6                          | 1001            | 335                        | 5.46                       | 3.16                          | 125               | 83.7                              | 163                           | 100             | 882             | 150               | 0.446 | 37.9 |
|                   |         | 10.0                        | 31.8                           | 40.6                          | 1146            | 380                        | 5.32                       | 3.06                          | 143               | 95.0                              | 191                           | 117             | 1031            | 172               | 0.437 | 31.4 |
|                   |         | 12.0                        | 35.8                           | 45.7                          | 1171            | 391                        | 5.06                       | 2.93                          | 146               | 97.8                              | 204                           | 125             | 1111            | 183               | 0.418 | 27.9 |
|                   |         | 12.5                        | 36.9                           | 47.0                          | 1185            | 396                        | 5.02                       | 2.90                          | 148               | 98.9                              | 208                           | 127             | 1129            | 185               | 0.416 | 27.1 |
| 250               | 150     | 5.0                         | 30.1                           | 38.4                          | 3304            | 1509                       | 9.28                       | 6.27                          | 264               | 201                               | 320                           | 225             | 3285            | 337               | 0.783 | 33.2 |
|                   |         | 6.0                         | 35.8                           | 45.6                          | 3886            | 1768                       | 9.23                       | 6.23                          | 311               | 236                               | 378                           | 266             | 3886            | 396               | 0.779 | 27.9 |
|                   |         | 6.3                         | 37.2                           | 47.4                          | 4001            | 1825                       | 9.18                       | 6.20                          | 320               | 243                               | 391                           | 276             | 4078            | 412               | 0.773 | 26.8 |
|                   |         | 8.0                         | 45.5                           | 59.2                          | 4886            | 2219                       | 9.08                       | 6.12                          | 391               | 296                               | 482                           | 340             | 5050            | 504               | 0.766 | 21.5 |
|                   |         | 10.0                        | 57.0                           | 72.6                          | 5825            | 2634                       | 8.96                       | 6.02                          | 466               | 351                               | 582                           | 409             | 6121            | 602               | 0.757 | 17.6 |
|                   |         | 12.0                        | 66.0                           | 84.1                          | 6458            | 2925                       | 8.77                       | 5.90                          | 517               | 390                               | 658                           | 463             | 7088            | 684               | 0.738 | 15.2 |
|                   |         | 12.5                        | 68.3                           | 87.0                          | 6633            | 3002                       | 8.73                       | 5.87                          | 531               | 400                               | 678                           | 477             | 7315            | 704               | 0.736 | 14.6 |
|                   |         | 16.0                        | 83.8                           | 106.8                         | 7660            | 3453                       | 8.47                       | 5.69                          | 613               | 460                               | 805                           | 566             | 8713            | 823               | 0.718 | 11.9 |
| 260               | 180     | 5.0                         | 33.2                           | 42.4                          | 4121            | 2350                       | 9.86                       | 7.45                          | 317               | 261                               | 377                           | 294             | 4695            | 426               | 0.863 | 30.1 |
|                   |         | 6.0                         | 39.6                           | 50.4                          | 4856            | 2763                       | 9.81                       | 7.40                          | 374               | 307                               | 447                           | 348             | 5566            | 501               | 0.859 | 25.3 |
|                   |         | 6.3                         | 41.2                           | 52.5                          | 5013            | 2850                       | 9.77                       | 7.38                          | 386               | 317                               | 463                           | 361             | 5844            | 523               | 0.853 | 24.3 |
|                   |         | 8.0                         | 51.5                           | 65.6                          | 6145            | 3493                       | 9.68                       | 7.29                          | 473               | 388                               | 573                           | 446             | 7267            | 642               | 0.846 | 19.4 |
|                   |         | 10.0                        | 63.2                           | 80.6                          | 7363            | 4174                       | 9.56                       | 7.20                          | 566               | 464                               | 694                           | 540             | 8850            | 772               | 0.837 | 15.8 |
|                   |         | 12.0                        | 73.5                           | 93.7                          | 8245            | 4679                       | 9.38                       | 7.07                          | 634               | 520                               | 790                           | 615             | 10328           | 884               | 0.818 | 13.6 |
|                   |         | 12.5                        | 76.2                           | 97.0                          | 8482            | 4812                       | 9.35                       | 7.04                          | 652               | 535                               | 815                           | 635             | 10676           | 911               | 0.816 | 13.1 |
|                   |         | 16.0                        | 93.9                           | 120                           | 9923            | 5614                       | 9.11                       | 6.85                          | 763               | 624                               | 977                           | 759             | 12890           | 1079              | 0.798 | 10.7 |

Calidades: S 275 JOH y S 355 J2H

| Diámetro exterior | Espesor | Masa por unidad de longitud | Área de la sección transversal | Momento de inercia de flexión |                 | Radio de giro |          | Módulo de flexión elástico |                 | Módulo de flexión plástico |                 | Momento de inercia de torsión | Módulo de torsión | Área superficial por metro lineal | Longitud nominal por tonelada |
|-------------------|---------|-----------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|---------------|----------|----------------------------|-----------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| H x B             | T       | M                           | A                              | $I_{xx}$                      | $I_{yy}$        | $i_{xx}$      | $i_{yy}$ | $W_{elxx}$                 | $W_{elyy}$      | $W_{plxx}$                 | $W_{plyy}$      | $I_t$                         | $C_t$             | $A_s$                             |                               |
| mm                | mm      | kg/m                        | cm <sup>2</sup>                | cm <sup>4</sup>               | cm <sup>4</sup> | cm            | cm       | cm <sup>3</sup>            | cm <sup>3</sup> | cm <sup>3</sup>            | cm <sup>3</sup> | cm <sup>4</sup>               | cm <sup>3</sup>   | m <sup>2</sup> /m                 | m                             |
| 40                | 2.5     | 5.17                        | 6.59                           | 79.3                          | 18.8            | 3.47          | 1.89     | 15.9                       | 9.39            | 20.2                       | 10.6            | 50.5                          | 16.8              | 0.271                             | 193                           |
|                   | 3.0     | 6.13                        | 7.81                           | 92.3                          | 21.7            | 3.44          | 1.87     | 18.5                       | 10.8            | 23.7                       | 12.4            | 59.0                          | 19.4              | 0.270                             | 163                           |
|                   | 4.0     | 7.97                        | 10.1                           | 116                           | 26.7            | 3.38          | 1.82     | 23.1                       | 13.3            | 30.3                       | 15.7            | 74.5                          | 24.0              | 0.266                             | 126                           |
|                   | 5.0     | 9.70                        | 12.4                           | 136                           | 30.8            | 3.31          | 1.58     | 27.1                       | 15.4            | 36.1                       | 18.5            | 87.9                          | 27.9              | 0.263                             | 103                           |
| 50                | 2.5     | 5.56                        | 7.09                           | 91.2                          | 31.1            | 3.59          | 2.09     | 18.2                       | 12.4            | 22.7                       | 14.0            | 75.4                          | 21.5              | 0.291                             | 180                           |
|                   | 3.0     | 6.60                        | 8.41                           | 106                           | 36.1            | 3.58          | 2.07     | 21.3                       | 14.4            | 26.7                       | 16.4            | 88.6                          | 25.0              | 0.290                             | 152                           |
|                   | 4.0     | 8.59                        | 10.9                           | 134                           | 44.9            | 3.50          | 2.03     | 26.8                       | 18.0            | 34.1                       | 20.9            | 113                           | 31.3              | 0.286                             | 116                           |
|                   | 5.0     | 10.5                        | 13.4                           | 158                           | 52.5            | 3.44          | 1.96     | 31.8                       | 21.0            | 40.8                       | 25.0            | 135                           | 36.8              | 0.283                             | 95.4                          |
| 60                | 2.5     | 6.0                         | 7.58                           | 103                           | 46.9            | 3.69          | 2.49     | 20.6                       | 15.6            | 25.1                       | 17.7            | 103                           | 26.2              | 0.311                             | 168                           |
|                   | 3.0     | 7.07                        | 9.01                           | 121                           | 54.6            | 3.68          | 2.46     | 24.1                       | 18.2            | 29.8                       | 20.8            | 122                           | 30.6              | 0.310                             | 141                           |
|                   | 4.0     | 9.22                        | 11.7                           | 153                           | 68.7            | 3.60          | 2.42     | 30.5                       | 22.9            | 37.9                       | 26.6            | 155                           | 38.7              | 0.306                             | 108                           |
|                   | 5.0     | 11.3                        | 14.4                           | 181                           | 80.8            | 3.55          | 2.37     | 36.2                       | 26.9            | 45.6                       | 31.9            | 180                           | 45.8              | 0.303                             | 88.7                          |
| 80                | 2.5     | 7.07                        | 9.01                           | 121                           | 54.6            | 3.68          | 2.46     | 24.1                       | 18.2            | 29.8                       | 20.8            | 122                           | 30.6              | 0.310                             | 141                           |
|                   | 3.0     | 8.06                        | 10.1                           | 139                           | 63.4            | 3.67          | 2.43     | 27.6                       | 20.8            | 33.3                       | 23.9            | 141                           | 35.0              | 0.307                             | 116                           |
|                   | 4.0     | 10.2                        | 12.4                           | 163                           | 76.8            | 3.58          | 2.37     | 33.0                       | 24.0            | 39.0                       | 27.0            | 163                           | 42.0              | 0.303                             | 95.4                          |
|                   | 5.0     | 12.3                        | 15.6                           | 199                           | 90.7            | 3.50          | 2.32     | 39.0                       | 28.0            | 46.9                       | 31.9            | 180                           | 50.0              | 0.300                             | 77.9                          |

Ilustración 72.Extracto catálogo de perfiles rectangulares huecos.

Tabla DME. Módulo dentado helicoidal

MATERIAL = 18NiCrMo5 (F-1540) Dientes cementado y templado HRC 58-62

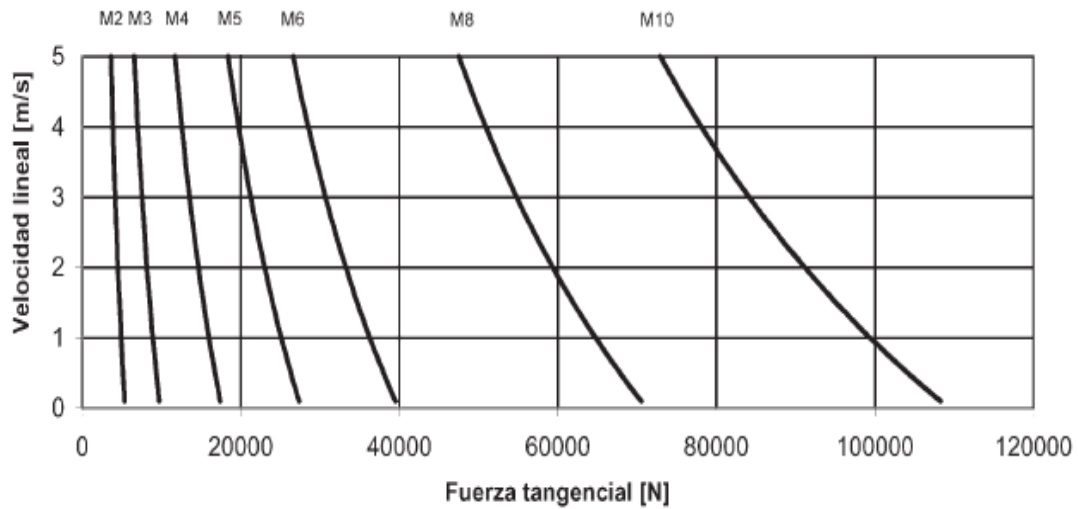
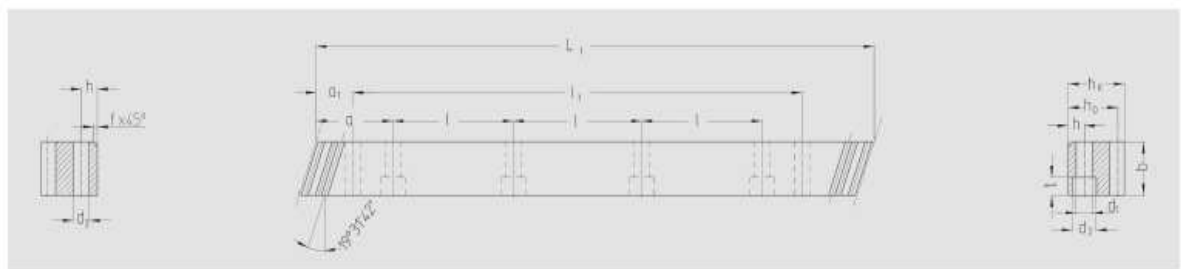


Ilustración 73.Extracto de "Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom".

ATLANTA-Qualität 6

ATLANTA-Quality 6



| Bestell-Nr. | Modul  | Zähnezahl |             | Anz. Bohr.    |       |       |     |   |     |             |     |       |       |     |       |        |       | kg    |
|-------------|--------|-----------|-------------|---------------|-------|-------|-----|---|-----|-------------|-----|-------|-------|-----|-------|--------|-------|-------|
| Order code  | Module | $L_1$     | Nº of teeth | $b \cdot 0,4$ | $h_k$ | $h_0$ | $f$ | $a$   | $l$ | Nº of holes | $h$ | $d_1$ | $d_2$ | $t$ | $a_1$ | $l_1$  | $d_3$ |       |
| 29 60 105   | 6      | 1000,00   | 50          | 59            | 49    | 43    | 2,5 | 62,5  | 125 | 8           | 16  | 18    | 26    | 17  | 37,5  | 925,0  | 15,7  | 18,10 |
| 29 61 105   | 6      | 1000,00   | 50          | 59            | 49    | 43    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 18,10 |
| 29 60 155   | 6      | 1500,00   | 75          | 59            | 49    | 43    | 2,5 | 62,5  | 125 | 12          | 16  | 18    | 26    | 17  | 37,5  | 1425,0 | 15,7  | 27,10 |
| 29 61 155   | 6      | 1500,00   | 75          | 59            | 49    | 43    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 27,10 |
| 29 60 205   | 6      | 2000,00   | 100         | 59            | 49    | 43    | 2,5 | 62,5  | 125 | 16          | 16  | 18    | 26    | 17  | 37,5  | 1925,0 | 15,7  | 36,20 |
| 29 61 205   | 6      | 2000,00   | 100         | 59            | 49    | 43    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 36,20 |
| 29 80 105   | 8      | 960,00    | 36          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | 60,0  | 120 | 8           | 25  | 22    | 33    | 21  | 120,0 | 720,0  | 19,7  | 42,50 |
| 29 81 105   | 8      | 960,00    | 36          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 42,50 |
| 29 80 155   | 8      | 1440,00   | 54          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | 60,0  | 120 | 12          | 25  | 22    | 33    | 21  | 120,0 | 1200,0 | 19,7  | 63,80 |
| 29 81 155   | 8      | 1440,00   | 54          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 63,80 |
| 29 80 205   | 8      | 1920,00   | 72          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | 60,0  | 120 | 16          | 25  | 22    | 33    | 21  | 120,0 | 1680,0 | 19,7  | 85,00 |
| 29 81 205   | 8      | 1920,00   | 72          | 79            | 79    | 71    | 2,5 | ohne Befestigungsbohrungen / without mounting holes |     |             |     |       |       |     |       |        |       | 85,00 |

Ilustración 74.Imagen tabla catálogo "Servo Kapitel".