



Trabajo Fin de Grado

Título del trabajo: *Análisis y rediseño de
montacargas para construcción.*

English tittle: *Analysis and redesign of
construction elevator.*

Autor/es

Edgar Gamiz Escanilla

Director/es

Javier Abad Blasco

Escuela de ingeniería y arquitectura, Universidad de Zaragoza

2017



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

TRABAJOS DE FIN DE GRADO / FIN DE MÁSTER

D./D^a. Edgar Gamiz Escanilla, con
nº de DNI 73029272-V en aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos
de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el
que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la
Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado, (Título del Trabajo)
Análisis y rediseño de montacargas para construcción

_____, es de
mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 20 de Noviembre de 2017

Fdo: Edgar Gamiz Escanilla



Análisis y rediseño de montacargas para construcción.

Resumen

A partir de un montacargas ya existente, se realizará una reforma manteniendo algunos parámetros de la máquina de referencia, tales como el tamaño de la cabina y la velocidad de desplazamiento. Se deberán rediseñar varios elementos del montacargas con el fin de obtener una serie de prestaciones nuevas. El objeto de este proyecto no es el diseño de la electrónica necesaria para el funcionamiento (Finales de carrera para que el montacargas pare en cada piso, cuadro eléctrico etc..), sino el mecánico. En primer lugar, se describirá el montacargas y la normativa a seguir durante el diseño. Se describirá la idea inicial de la que parte el cálculo. Se aumentará la carga útil del aparato en cuestión y se dotará al montacargas de una plataforma con posibilidad de intercambio, pudiendo ser utilizado para diferentes propósitos, tal como el desplazamiento de material o el desplazamiento de personal. La plataforma de este proyecto será destinada a transporte de material. El rediseño se fundamentará en parte, en la información facilitada por el fabricante del montacargas original, en mayor medida datos geométricos del montacargas, y a los aspectos legislativos a tener en cuenta a la hora de realizar determinados análisis. Para conseguir llevar a cabo el rediseño, debido a la hiperestaticidad que se da en algunos casos durante el estudio, se realizarán unos cálculos aproximados con el propósito de escoger diferentes perfiles o materiales para la remodelación del montacargas. Se realizará un modelo virtual en “Solid Works” con los perfiles y barras seleccionadas previamente para poner a prueba nuestro montacargas realizando cálculos estáticos que simulen el uso real del aparato. Por otro lado, se realizará también una selección del motor-reductor necesario para poner en movimiento el montacargas. Se ilustrará, a lo largo de dicho proyecto, el proceso de cálculo, selección en catálogos, diseño mediante software y aclaraciones a fin de hacer lo más explicativo posible todo el proceso.



ÍNDICE

1. Objeto y alcance del proyecto.....	5
2. Características de diseño del montacargas.....	6
3. Cálculos	10
3.1 Distribución Carga neta.....	10
3.2 Cálculo transmisión carga neta a perfiles inferiores	15
3.3 Distribución del peso de las puertas y paredes.	20
3.4 Distribución de peso de la chapa de la plataforma.....	21
3.5 Resultante de todas las cargas (principio de superposición)	23
3.6 Selección perfiles para plataforma.....	24
3.7 Distribución de carga en las uñas.....	25
3.8 Selección de perfiles para las uñas.....	28
3.9 Selección del motor-reductor para el montacargas.	30
3.10 Viento	32
3.11 Calculo ruedas guía	34
3.12 Cálculo de bulones para las ruedas guía.	39
4. Elección piñón-Cremallera	40
5. Elección del espesor plataforma	41
6. Diseño 3D en Solid Works	42
7. Análisis estático (Solid Works).	44
8. Conclusiones.....	50
9. Bibliografía.	51

1. Objeto y alcance del proyecto.

El objeto de dicho proyecto, es la remodelación y mejora de un montacargas de obra, de un determinado modelo. Existen varias empresas dedicadas al montaje de montacargas, como son: *Schindler*, *Ascensors Sales*, *Inelsa-Zener* o *Sermaco*. En este caso, el montacargas de referencia pertenece a la empresa Sermaco y se denomina "Sermaco 1700kg". Sermaco es una empresa, cuyas sedes se encuentran en Barcelona y Alicante. Dicha empresa se dedica a ofrecer andamio y montacargas para la realización de obras o construcciones, como puede ser la edificación de un bloque de pisos. Se pretende diseñar, para el montacargas, una plataforma que sea intercambiable, es decir, que pueda haber intercambio de cabinas siempre y cuando sea de las mismas dimensiones, esto dará versatilidad al modelo y podrá utilizarse para funciones diferentes (Transporte de personas, material, ambas etc...), puesto que las diferencias entre ellos residen en la cabina (tener mando de control dentro de la cabina o no, altura del habitáculo etc...). La plataforma de este proyecto será destinada a transporte de material. Además, se pretende aumentar la carga nominal admitida por el montacargas, de 1700kg a 2000 kg. Para llevar a cabo dicho objetivo, se realizan unos cálculos previos, con los que desarrollar el diseño definitivo. Para incorporar estas mejoras, se modificarán o diseñarán solo aquellos elementos que sea necesario, siendo las puertas y paredes excluyentes en nuestro rediseño, puesto que estarán sometidas a las mismas condiciones que el montacargas original. Se usará Solid Works para hacer el diseño virtual, y se pondrán a prueba algunos elementos del montacargas para comprobar su comportamiento ante las cargas de trabajo. El montacargas de referencia es el mostrado en la siguiente ilustración ("*Catálogo de productos y servicios Sermaco*"):



Ilustración 1. Montacargas "Sermaco 1700kg".

En el catálogo solo se facilitan las dimensiones de la plataforma y la altura del montacargas, así que me puse en contacto telefónico con la empresa (Sermaco) para conseguir algunos datos más para poder remodelar el montacargas. Tenemos el punto de partida para la elaboración del diseño del montacargas. Las dimensiones básicas con las que contamos:

Datos aportados por la empresa *Sermaco*:

- Plataforma útil → 2m x 1,75m.
- Espesor de paredes y puertas → 0,06 m.
- Plataforma total → 2,12mx1,87m
- Altura del habitáculo → 1,2 m
- Anchura pilar de celosía cuadrado → 600mm
- Anchura perfiles principales del pilar de celosía → 80mm
- Peso aproximado del montacargas → 2000kg
- Peso puertas → 60 kilogramos
- Peso paredes → 75 kilogramos

Con estos datos, se diseñará un bastidor nuevo que se adapte a la nueva carga nominal y se tendrá en cuenta los aspectos de cálculo y técnicos especificados en la norma *UNE-EN 12158-1*, donde como se indicará en los correspondientes casos que información nos aporta esta norma a la hora de realizar los cálculos (Velocidad del aire para el cálculo, coeficiente de seguridad de cálculo, etc...). Se seguirá dicha norma puesto que no existen reglamentos de obligado cumplimiento para el caso de montacargas para transporte de material. Si su uso inicial fuera para transporte de personas, debería buscarse la normativa correspondiente.

2. Características de diseño del montacargas

El montacargas en cuestión, estará compuesto de una chapa de acero que formara el propio suelo de la plataforma, bajo ella, dos niveles de perfiles, cruzados entre sí, dos uñas, el bastidor principal y los elementos mecánicos y eléctricos que permitirán su funcionamiento: Motor, ruedas guía, piñón-cremallera, freno de emergencia y cuadro de luces.

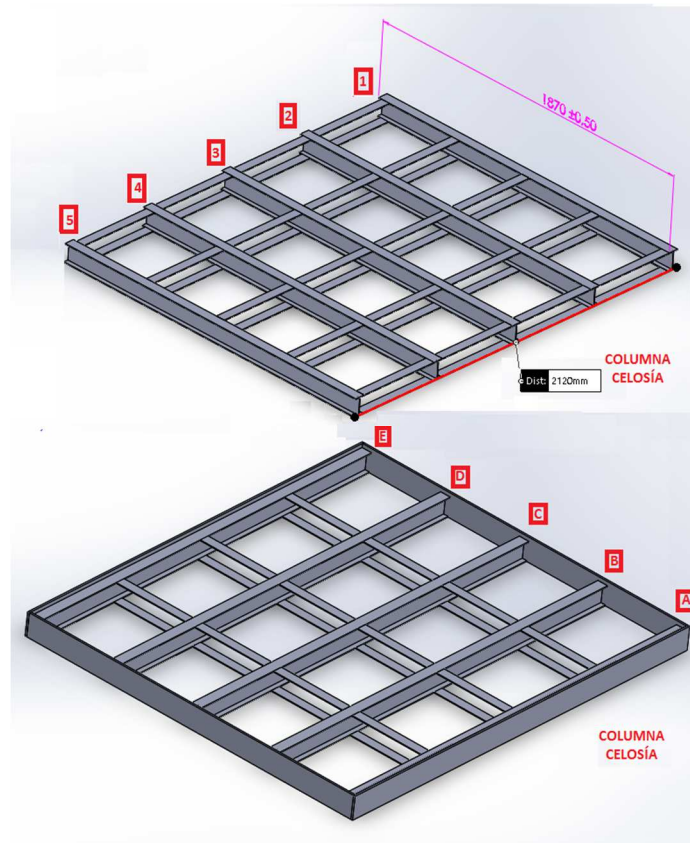


Ilustración 2. Imagen de los dos niveles de perfiles.

En el primer nivel de perfiles, estará situada la chapa de acero que conformará el suelo. El segundo nivel de perfiles estará delimitado por unas chapas soldadas, donde encajará el nivel superior de perfiles. La plataforma está delimitada por dos puertas y dos paredes. Las puertas, una en frente de otra permitirán la entrada de material al montacargas y la salida por las puertas contrarias. Las paredes también estarán situadas una enfrente de la otra y asegurarán que no se produzcan caídas de material por los lados en que se sitúan. El funcionamiento del aparato se lleva a cabo gracias a un motor-reductor, que a través de un sistema piñón-cremallera y unas ruedas guía realiza el desplazamiento vertical. Las ruedas guía mantienen el contacto entre el montacargas y el pilar cuadrado de celosía, permiten el movimiento relativo entre la plataforma y dicho pilar, en vertical. Dicho pilar está anclado a la pared del edificio en el que se vaya a utilizar el aparato, con anclajes colocados cada 6 metros de altura. La cremallera se situará verticalmente a lo largo del pilar, mediante atornillado a unos soportes previamente soldados en el pilar. Dicha cremallera se situará entre las dos esquinas del pilar más cercanas al montacargas, como se verá. El motor, el cual está unido a un reductor, engranará en la cremallera para permitir el ascenso o descenso de la máquina. A continuación, se mostrará una ilustración con la que ver de forma clara un sistema motor-reductor-cremallera, para entender mejor el mecanismo que nos atañe:

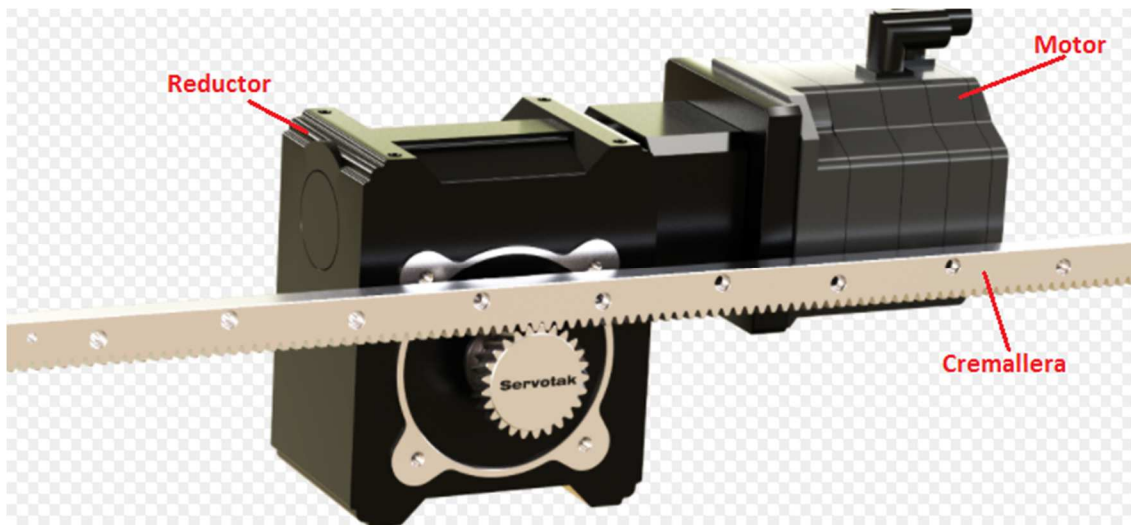


Ilustración 3. Ejemplo motor-reductor-cremallera.

El montacargas dispondrá de un freno de emergencia que detendrá el aparato en caso de que el motor o su transmisión fallen para evitar posibles accidentes durante el uso de dicho montacargas. Por último, se pretende dar versatilidad al montacargas con el sistema descrito de dos niveles de perfiles. Esto se ha concebido con la idea de permitir el cambio de la cabina en función del uso que pueda darse: Transporte de personas o transporte de materia. Debido a que tanto los montacargas para transporte de personal o los montacargas para transporte de material poseen los mismos principios de funcionamiento, pero solo difieren en las cabinas, se ha dotado al montacargas en esta reforma, con la posibilidad del intercambio de cabinas. Esta diferencia radica en aspectos como llevar o no incorporado un mando de control del montacargas en cabina o la altura de la misma.

En la siguiente ilustración se muestra como se ha concebido el montacargas al inicio:

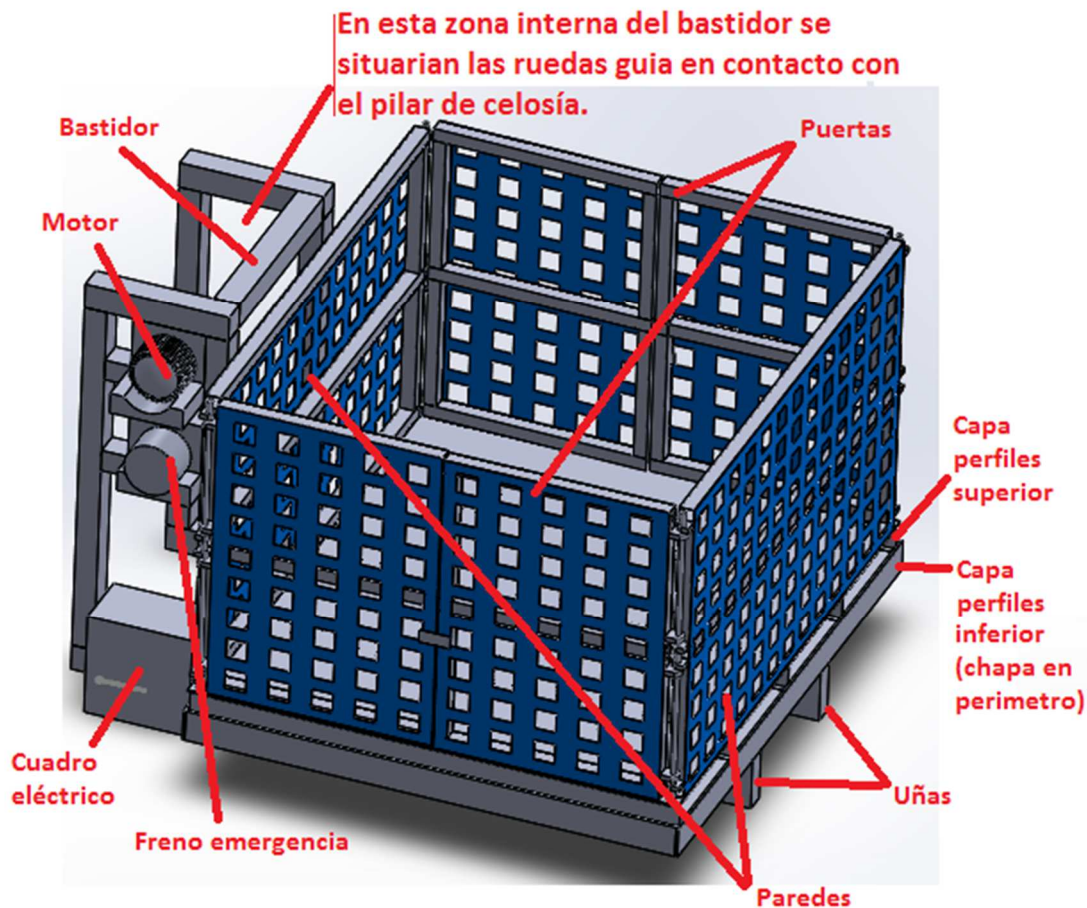


Ilustración 4. Partes del montacargas

Posteriormente como se verá, el montacargas sufrirá variaciones con respecto a lo mostrado en la anterior ilustración. Puesto que el pilar de celosía tiene una anchura de 600mm, dotaremos al bastidor en un principio de una anchura de 700mm para dejar sitio a ruedas y soportes para las mismas. Esto se verá más adelante. En cuanto a las uniones, se realizarán por soldaduras a tope, lo cual no requiere de cálculos (puesto que las propias zonas de soldaduras son más resistentes que el resto de las secciones de las barras). Las dos capas de perfiles no están soldadas, solo apoyada una encima de otra, pero puesto que la capa inferior está delimitada por unas chapas de acero de 10 mm de grosor donde encaja la capa superior, restringiendo el deslizamiento entre capas, manteniendo sujeta la plataforma. Dicha placa sobresaldrá 20mm por encima del perfil de la capa inferior, es decir, el “zócalo” donde encajará la capa superior de perfiles tendrá una profundidad de 20 milímetros.

3. Cálculos

3.1 Distribución Carga neta

Los cálculos comenzarán por la selección de los perfiles que cumplan con las solicitaciones a las que se verá sometido el montacargas. Para ello, decidimos que cada capa de perfiles (inferior y superior) posea 5 perfiles. Cada capa posee unidos sus perfiles entre sí por pequeñas barras rectangulares para facilitar su manipulación al conformar, cada capa, un solo bloque. Además, la capa inferior poseerá en su perímetro unas chapas las cuales harán las veces de zócalo para la capa superior de perfiles. Posteriormente, se abordará el cálculo de las uñas del montacargas, las cuales recibirán las cargas directamente de la capa inferior de perfiles. Posteriormente se usará Solid Works para saber las distribuciones de tensiones en nuestro bastidor, para poder escoger los perfiles con los que se conformará el mismo. Más tarde, se hallará las solicitaciones a las que se someterán las ruedas guía, para poder escoger las ruedas correctas en catálogo. También se realiza una selección de motor-reductor y de freno de emergencia siguiendo el procedimiento de selección que nos indica un fabricante (Bongliflogi).

En primer lugar, debe señalarse cuál es la designación que recibirá cada uno de los perfiles, tanto de la capa superior como de la inferior. Los perfiles de la capa superior serán designados por números y la capa inferior por letras, tal y como puede apreciarse en las siguientes ilustraciones:

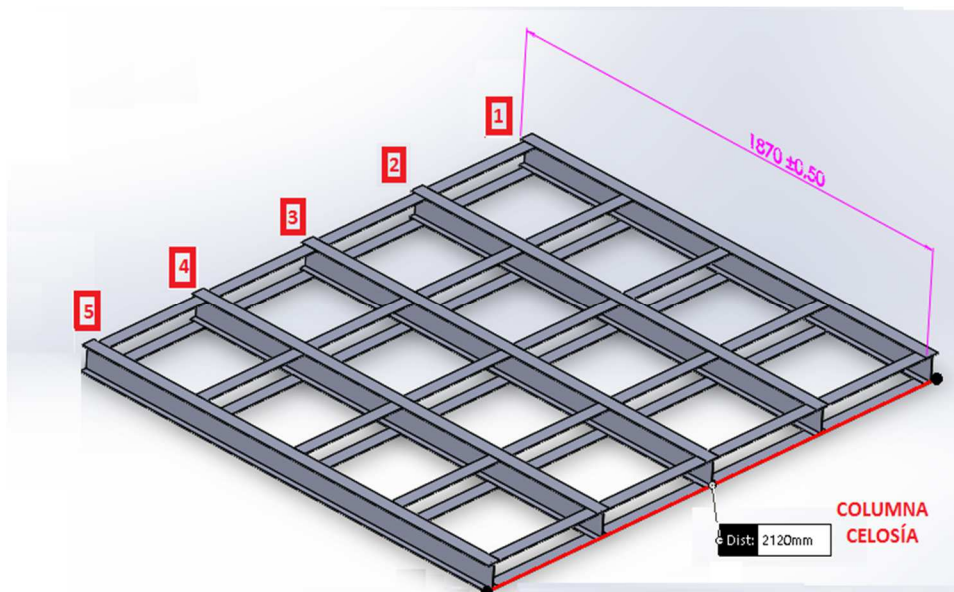


Ilustración 5.Designación de perfiles superiores.

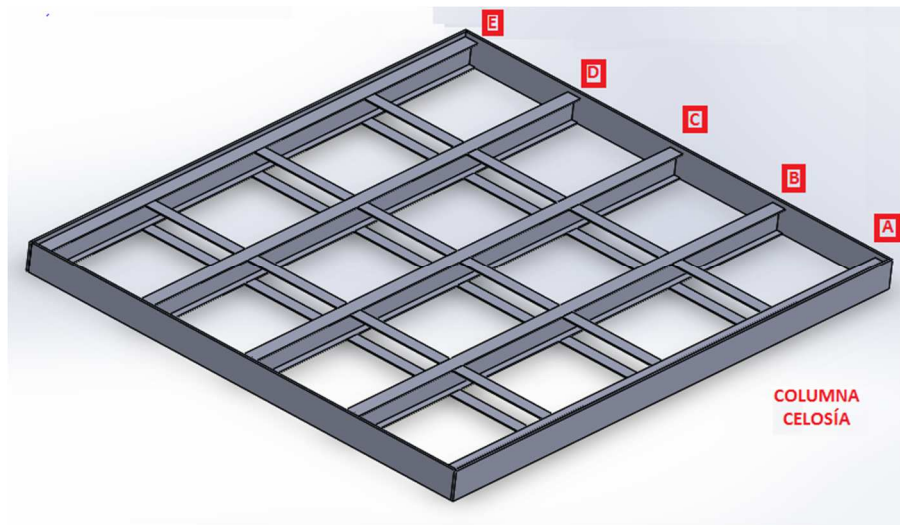


Ilustración 6. Designación de perfiles inferiores.

Los elementos que unen los perfiles principales y se muestran en la ilustración anterior, son simples barras soldadas, del espesor del ala del perfil escogido y anchura 50mm, para facilitar la posible manipulación de las capas de perfiles y que estos conformen una pieza individual cada capa.

Para nuestros cálculos previos, y según la norma *UNE-EN 12158-1* para montacargas, la carga total del montacargas, debe poder situarse en el 75% de la superficie de la plataforma, situándose este 75% en una de las esquinas del habitáculo más lejanas al pilar de celosía puesto que estas esquinas son las más desfavorables para nuestros cálculos. A continuación, se muestra un diagrama que muestra donde quedaría situada dicha superficie:

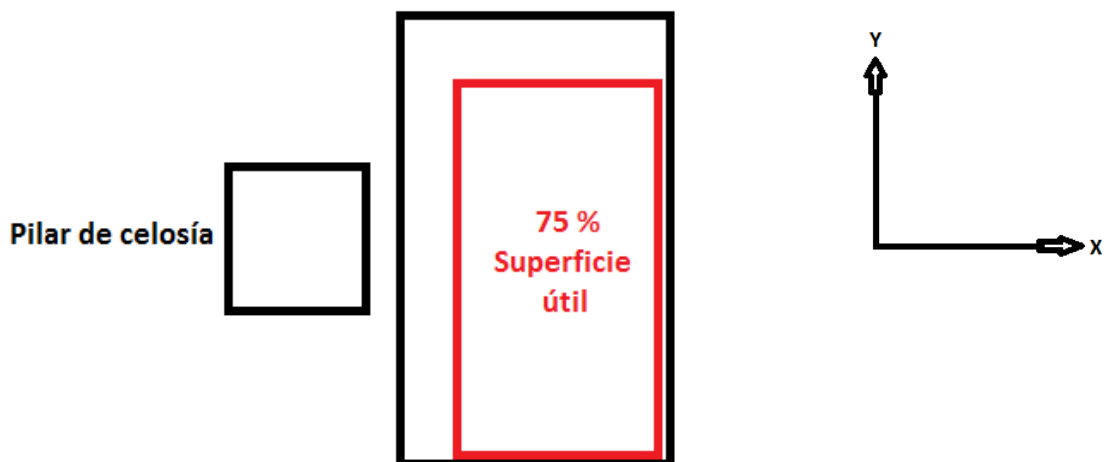


Ilustración 7. Esquema de pilar de celosía y montacargas y origen de coordenadas.

Ese 75% de la superficie, será un rectángulo que poseerá las mismas proporciones entre lados que el rectángulo que conforma la superficie útil.

Para calcular dicha superficie hemos realizado los siguientes cálculos (X e Y son los lados del rectángulo que conforma el 75% de la superficie total, correspondiente a dichas coordenadas):

- Superficie total = $2\text{m} \times 1.75\text{m} = 3.5\text{ m}^2$
- Superficie equivalente al 75% el total = $2.625\text{ m}^2 \rightarrow X*Y=2.625\text{ m}^2$
- Proporcionalidad entre lado paralelo a X e Y = $1.75/2 = 0.875 \rightarrow X=0,875*Y$

De este modo podemos llegar a:

$$2.625 = X * Y \rightarrow 2.625 = 0,875 * Y^2 \rightarrow$$

$$Y = 1,732\text{m} ; X = 1,515\text{m}$$

Así que el valor de la coordenada Y en el 75% de superficie es 1.732 metros, y por lo tanto el de la coordenada X es 1.515 metros, teniendo en cuenta obviamente los 60mm de anchura que ocuparan sobre dicha superficie las paredes y puertas, es decir, el rectángulo que conforma el 75% de la superficie se encuentra dentro del perímetro del total de la plataforma a una distancia de 60mm de sus lados más próximos. En la siguiente imagen se muestra cómo quedaría aproximadamente ubicada dicha área en la base del montacargas tal como se ha concebido:

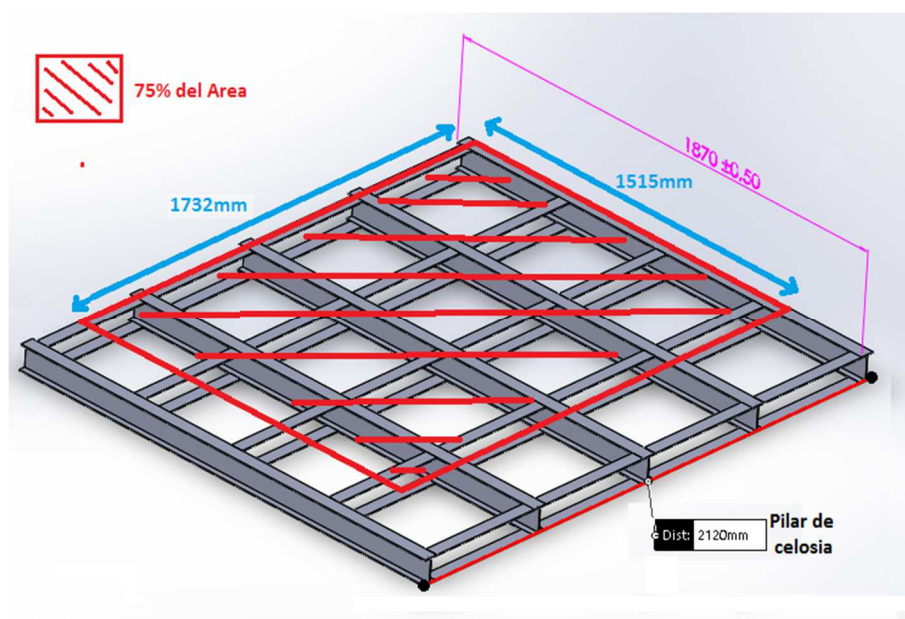


Ilustración 8. Imagen explicativa de la ubicación de la carga.

El peso máximo con el que va a trabajar el montacargas es de 2000 kg. Con este dato, podemos hallar el valor de la carga por unidad de superficie en el área correspondiente al 75% de la superficie útil del montacargas.

Por otro lado, debemos tener en cuenta la norma *UNE-EN 12158-1*. Esta norma, nos indica el uso de un factor con el que multiplicar la carga y peso del montacargas para realizar los cálculos. El valor del factor indicado por la norma es de 2,5. Este factor incluye el efecto de las inercias provocadas por la aceleración y la deceleración que puedan darse en el montacargas durante su uso. Se recuerda que el área equivalente al 75% de la superficie es de 2,624 m².

- $Q \text{ (sin factor)} = (2000\text{kg} * 9,81 \text{ m/s}^2) / 2.624 = 7477,134 \text{ N/m}^2$
- $Q \text{ (con factor)} = Q = 7477.134 * 2.5 = 18692,83 \text{ N/m}^2$

Esta fuerza por unidad de superficie es la que se usará para realizar los cálculos. En principio, se considerarán los perfiles que conformarán el emparrillado del montacargas, como elementos unidimensionales, de este modo, una vez obtengamos los diagramas de los perfiles, podremos proceder a la selección del perfil que más se ajuste a nuestras necesidades.

Debido a que los lados de la superficie útil son muy semejantes, dotaremos a ambos emparrillados del mismo número de perfiles, 5 en este caso.

Ahora hallaremos el valor de “I”, que corresponde con la carga lineal que poseerán los perfiles del emparrillado superior. Se debe tener en cuenta, que esta carga lineal no actúa a lo largo de todos los perfiles, ni en toda su longitud, si no que actúa solo en los tramos de los perfiles que se sitúen en debajo de dicha superficie conformada por el 75% de la superficie total. Además, debe tenerse en cuenta que en los márgenes de dicha superficie deben ubicarse las paredes y puertas, las cuales poseen una anchura de 6 cm, dichas puertas serán las mismas que en origen, puesto que deberán soportar las mismas cargas producidas por el aire. En la siguiente ilustración se muestra para cada perfil, el reparto de carga que se realiza, adjudicándole la mitad del área entre perfiles (Reparto de carga extraído de “*Apuntes de la asignatura Teoría de estructuras y construcciones industriales*”):

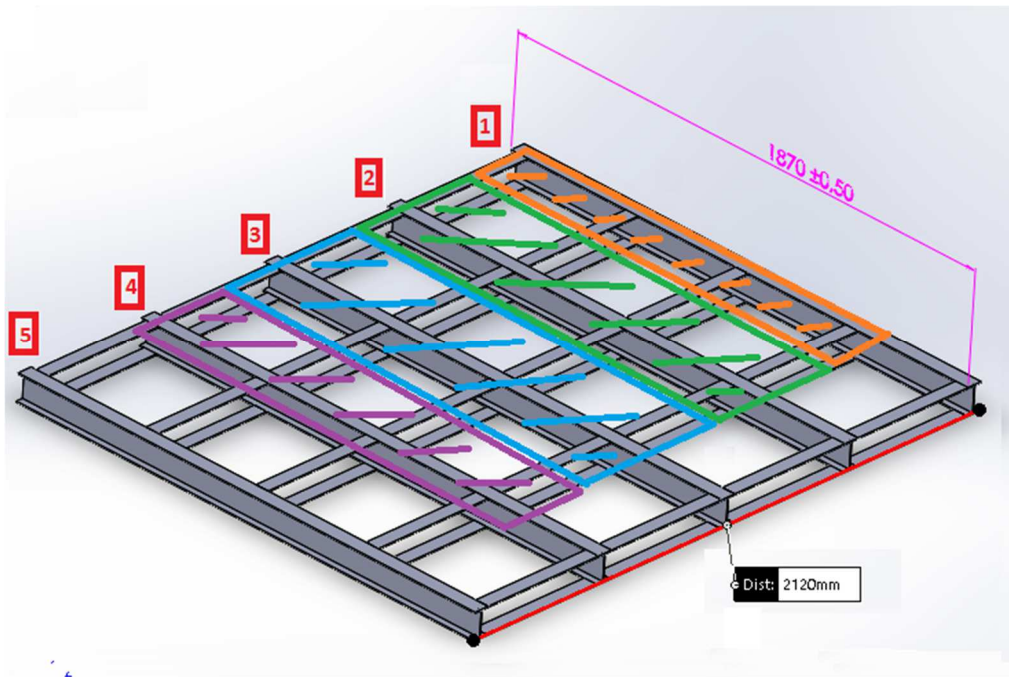


Ilustración 9. Distribución de la carga en la capa de perfiles superior.

Perfil 1:

$$l(1) = Q * \left(\left(\frac{0,530}{2} \right) - 60 \right) = 3832,06 \text{ N/m}$$

Perfil 2:

$$\text{Distancia entre perfiles} = \frac{2,12\text{m}}{4} = 0.53 \text{ metros}$$

$$l(2) = Q * 0.53 = 9907,27 \text{ N/m}$$

Perfil 3:

$$\text{Distancia entre perfiles} = \frac{2,12\text{m}}{4} = 0.53 \text{ metros}$$

$$l(3) = Q * 0.53 = 9907,27 \text{ N/m}$$

Perfil 4:

$$l(4) = Q * (0.202 + 0.265) = 8729,62 \text{ N/m}$$

Perfil 5:

$$l(5) = Q * 0 = 0 \text{ N/m}$$

3.2 Cálculo transmisión carga neta a perfiles inferiores

Para comprender mejor los cálculos se mostrará una ilustración que con las dos capas de perfiles, separadas entre sí, y la distribución de cargas para cada perfil:

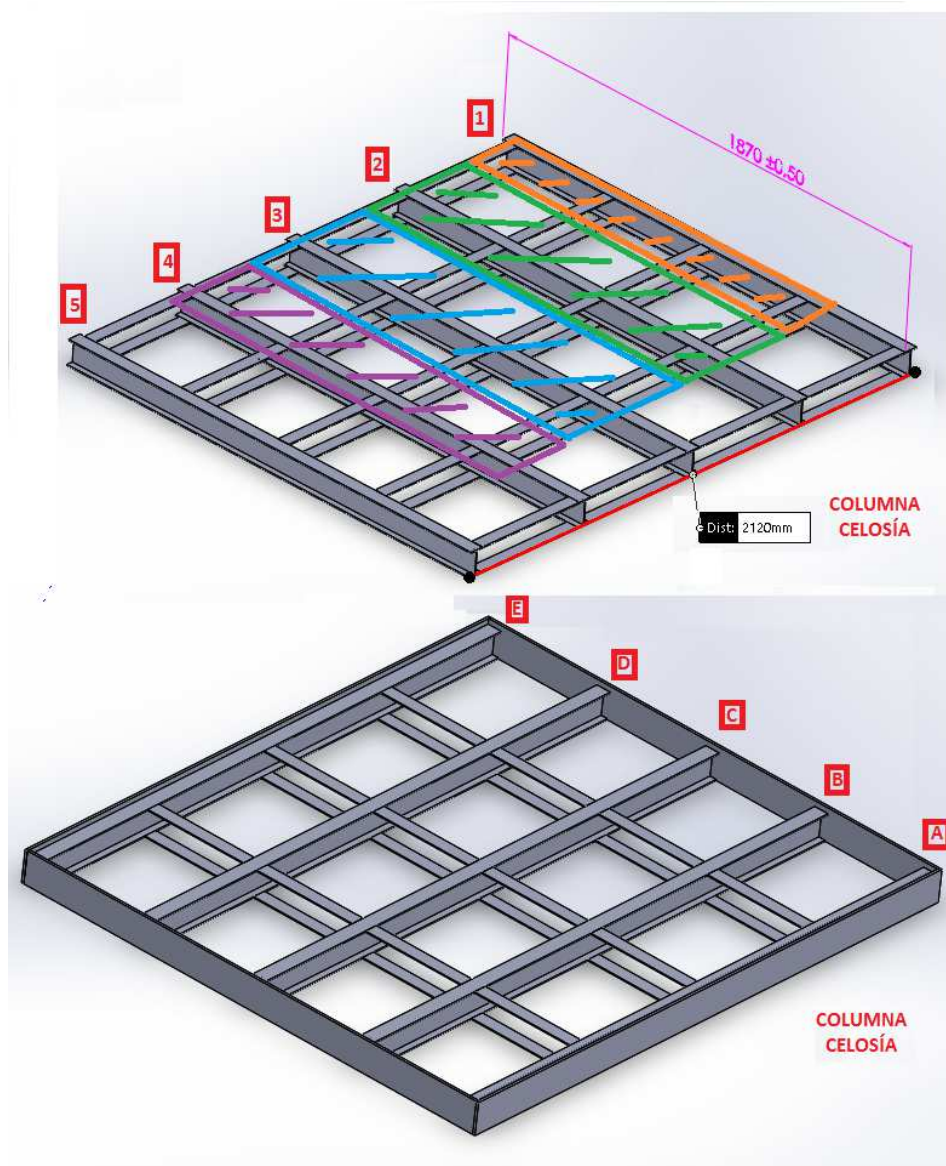


Ilustración 10. Dos capas de perfiles con distribución de carga.

A continuación, se muestra el diagrama que muestran un perfil cualquiera del emparrillado superior. Dicho perfil está sometido a lo largo de 1,51 metros (valor de la coordenada X del 75% de la superficie) a la carga por unidad de longitud correspondiente, calculadas en el apartado anterior. Recordemos que los perfiles distan 0,5 metros (entre el centro de las almas de los perfiles). Cada apoyo representa un perfil del emparrillado inferior.

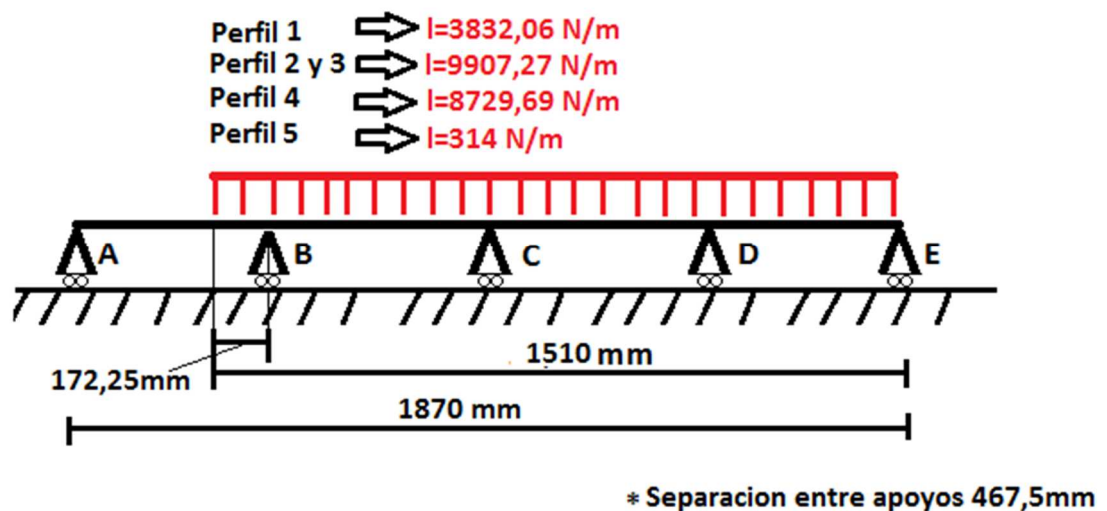


Ilustración 11. Diagrama general de apoyo de perfiles superiores en inferiores.

El método de cálculo empleado en este caso, consiste en dividir por tramos el perfil. Los tramos corresponden a las partes del perfil situadas entre apoyos, es decir, un tramo sería entre el apoyo A y B, otro entre B y C y así sucesivamente. Se aplicará el principio de superposición, por lo cual, la reacción en un apoyo será el sumatorio de las reacciones tanto de su tramo izquierdo como del derecho (en el caso de apoyos intermedios). Los apoyos corresponden a los perfiles del entramado inferior. Se considerará eje X el eje coincidente longitudinalmente con la barra en cada tramo y eje Y al eje perpendicular al X en el mismo plano, como se muestra en las siguientes imágenes:

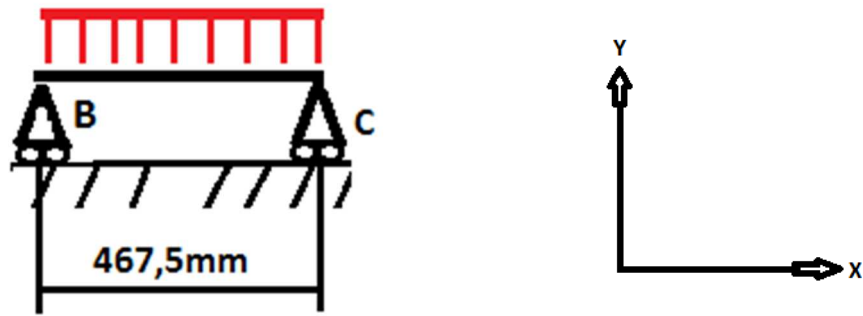


Ilustración 12. Ejemplo diagrama calculo perfiles y coordenadas en el perfil.

Se considerará los contactos entre el entramado inferior y superior (entre perfiles) como apoyos simples con dos grados de libertad, con Reacción vertical:



Ilustración 13. Esquema tipo de apoyo usado en los cálculos.

Se recuerda que además de las dimensiones de la plataforma útil, se encierran las puertas y paredes delimitando la misma, ambas con 60 mm de espesor, esa es la razón por la que tenemos en el tramo A-B solo 172,25mm de carga longitudinal.

Se recuerda los tramos poseen 0,4675 metros de longitud.

Para simplificar la comprensión de los cálculos, se denominará a las reacciones en cada apoyo con los perfiles de la capa inferior, por una “R” siempre en mayúscula, acompañada de la letra que indica el apoyo que se esté tratando y una “y” que indica

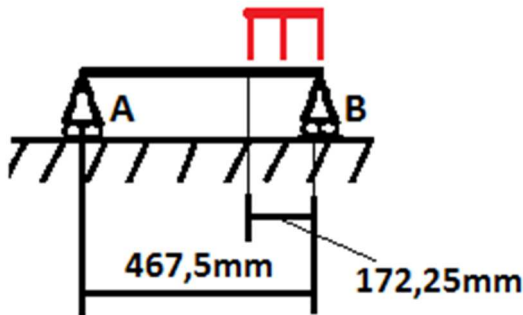
que es una reacción vertical tal y como se ha definido en nuestro sistema de coordenadas.

Es de indicar, además, que cuando un mismo apoyo se ve desde dos tramos diferentes, se obtendrán dos valores de “Ry” para el mismo apoyo, por el principio de superposición, sumando ambos valores, se obtendrá el valor resultante de la reacción en dicho apoyo.

A continuación, se muestra un ejemplo del cálculo completo, contenido en el ANEXO A, y el conjunto de resultados obtenido:

Por ejemplo, para el perfil 1 ($l=3832,06 \text{ N/m}$), en tramo desde A a B el cálculo realizado es:

Tramo A-B



$$\sum F_x = 0$$

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

$$\sum M_a = 0 =$$

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



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

- Ray1= 121,95 N
- Rby1= 1434,82 N
- Rcy1=1791,48 N
- Rdy1=1776,73 N
- Rey1= 680,57 N

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

- Ray2= 315,29 N
- Rby2= 3709,52 N
- Rcy2= 4631,65 N
- Rdy2= 4593,50 N
- Rey2= 1759,53 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.

- Ray3= 315,30 N
- Rby3= 3709,52 N
- Rcy3= 4631,65 N
- Rdy3= 4593,50 N
- Rey3= 1759,53 N

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

- Ray4= 277,82 N
- Rby4=3268,63 N
- Rcy4= 4081,18 N
- Rdy4= 4049,97 N
- Rey4= 1550,38 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:

- **Ray5= 0 N**
- **Rby5= 0 N**
- **Rcy5= 0 N**
- **Rdy5= 0 N**
- **Rey5= 0 N**

3.3 Distribución del peso de las puertas y paredes.

La distribución del peso de paredes y puertas se realiza en los respectivos puntos donde estos elementos se sitúan (en el perímetro de la plataforma aproximadamente). Se ha considerado que las paredes poseen una longitud de 2000mm pese a que la plataforma posee 2120mm por ese lado, esto es debido a que se dejan 60 mm a cada lado debido a las puertas (con también 60 mm de anchura) y al espacio que ocupan las orejetas que poseen al bulón solidario a las puertas y que gira entorno a las orejetas de las paredes. El reparto del peso para las paredes se realizará entre los 5 perfiles en los que apoyan (Desde el perfil 1 al 5), otorgando a los perfiles de los extremos casi la mitad del peso del resto de perfiles, puesto que solo reciben la carga por uno de los flancos al que se le resta los 60mm donde no hay pared. El reparto del peso de puertas se efectúa entre los 2 puntos de giro para cada par de puertas, pues a través del bulón de giro la carga de dicha puerta es transferida a la plataforma. El peso de las paredes es de 75 kilogramos cada una y el peso de cada par de puertas de 60 kilogramos.

- **Peso de cada puerta (N) = $\frac{(60*9,81)}{2} = 294,3$**
- **Distribución peso de paredes:**
 - **Carga lineal paredes = $\left(\frac{75*9,81}{2120-120}\right) = 367,875 \text{ N/m}$**
 - **Carga de la pared en los extremos = $367,875 * 0,205 = 75,41\text{N}$**
 - **Carga de la pared en puntos intermedios = $367,875 * 0,53 = 194,973\text{N}$**

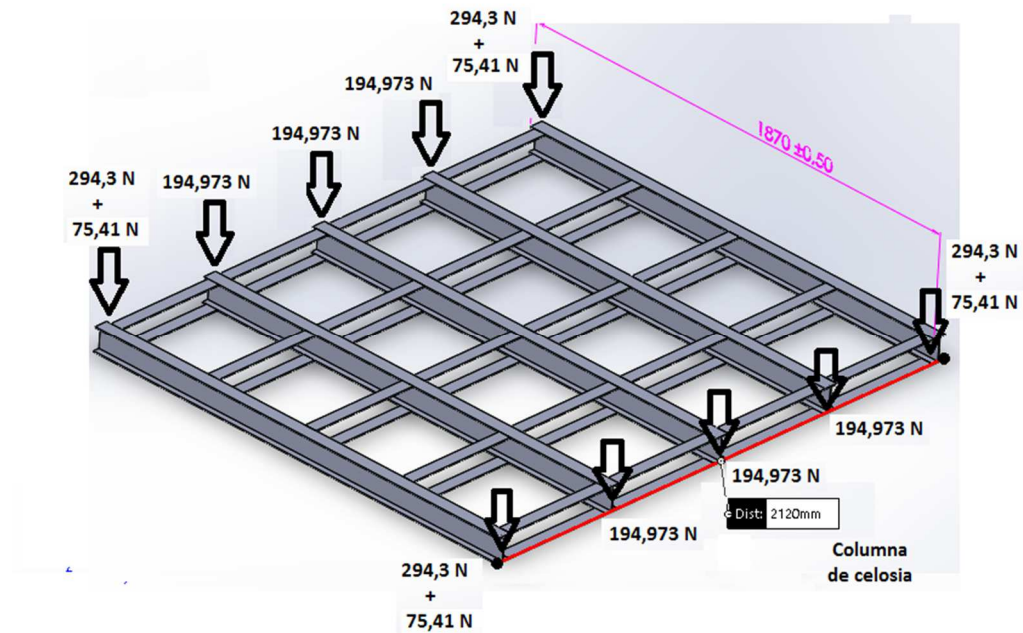


Ilustración 14. Distribución cargas debido a paredes y puertas.

Se tendrán en cuenta estas fuerzas para obtener la carga neta en cada uno de los puntos de la intersección de los perfiles superiores e inferiores.

3.4 Distribución de peso de la chapa de la plataforma

Este reparto de pesos de la plataforma se realiza de forma sencilla, dividiendo la plataforma en una cuadrícula, cuyos cuadrados poseen como centro los puntos de contacto entre la capa de perfiles superior e inferior. Esto es debido a que en dichos puntos se produce la transmisión de la carga de la chapa (al igual que la carga útil del montacargas, las puertas u las paredes) entre la capa de perfiles superior e inferior. Puesto que la chapa puede considerarse como una carga por unidad de superficie, cada uno de los cuadrados de la cuadrícula anteriormente descrita, delimita la zona de carga que pertenece a cada punto del reparto. A continuación, se mostrará una ilustración con la cuadrícula que se ha descrito y una tabla con el valor de las cargas repartidas en cada punto, donde la designación de cada punto, vendrá dada por el número del perfil superior y la letra del perfil inferior al que pertenezca la intersección:

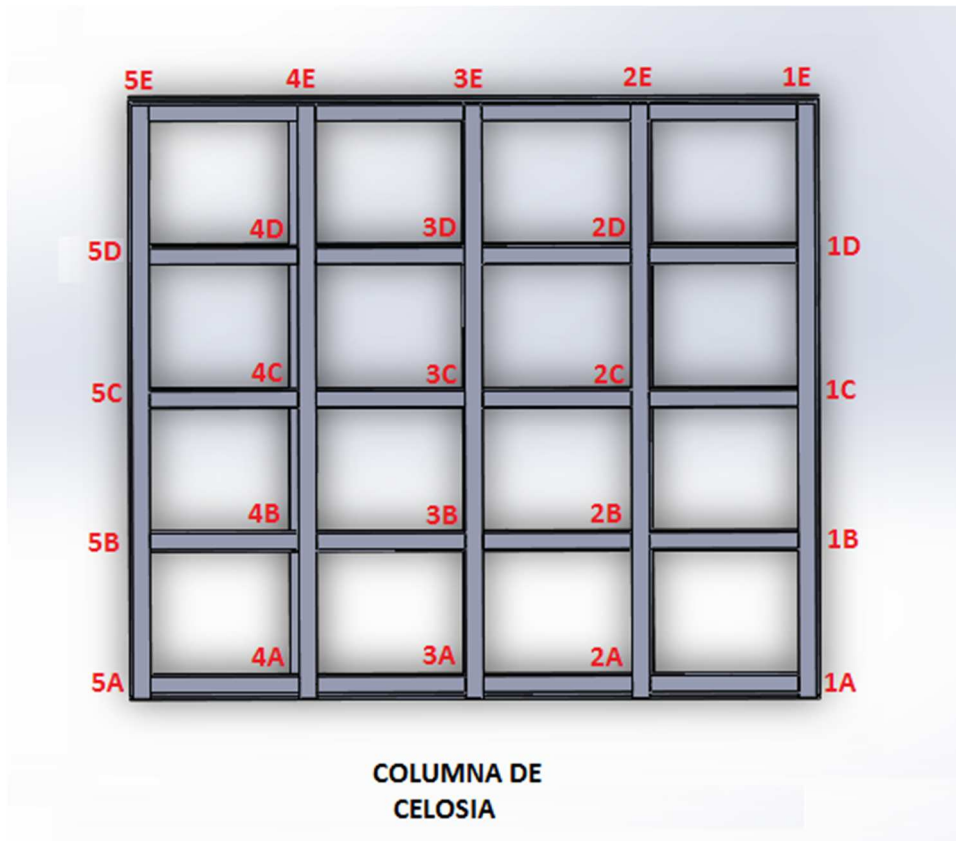


Ilustración 15. Imagen en planta de las dos capas de perfiles con la denominación de cada cruce.

Para calcular el reparto de pesos de cada intersección, se considera inicialmente un espesor de plataforma de 10mm, el cual no deberá ser el espesor final, pero nos permitirá realizar cálculos aproximados. La plataforma es de acero laminado, es por ello que considerando una densidad de 7800kg/m^3 , se obtiene una carga por unidad de superficie de $765,18\text{ N/m}^2$. Con este dato, obtendremos la carga por unidad de longitud en la capa de perfiles superior, y con este valor, podremos obtener la distribución de cargas en cada intersección, adjudicando a las intersecciones interiores el doble de valor que las de los extremos. Se realiza un cálculo de la carga lineal en cada perfil superior. Posteriormente se adjudica un tramo de carga a cada nudo, limitado por el punto medio que separa a cada nudo de sus contiguos. Todo esto está reflejado en el ANEXO B. Se muestran los resultados a continuación:

5E= 47,39 N	4E= 94,795 N	3E= 94,795 N	2E= 94,795 N	1E= 47,39 N
5D= 94,795 N	4D= 189,59 N	3D= 189,59 N	2D= 189,59 N	1D= 94,795 N
5C= 94,795 N	4C= 189,59 N	3C= 189,59 N	2C= 189,59 N	1C= 94,795 N
5B= 94,795 N	4B= 189,59 N	3B= 189,59 N	2B= 189,59 N	1B= 94,795 N
5A= 47,39 N	4A= 94,795 N	3A= 94,795 N	2A= 94,795 N	1A= 94,795 N

3.5 Resultante de todas las cargas (principio de superposición)

En la siguiente tabla, se mostrará, mediante el método de designación de las intersecciones usado hasta ahora, el valor de la resultante total debida a la suma de las cargas debidas a las chapa, carga útil y paredes y puertas, que hemos calculado en los apartados anteriores:

5E= 417,07N	4E= 1840,14N	3E= 2049,3N	2E= 2049,3N	1E= 1096,67N
5D= 94,79N	4D= 4237,06N	3D= 4783,09N	2D= 4783,09N	1D= 1871,52N
5C= 94,79N	4C= 4270,68N	3C= 4821,25N	2C= 4821,25N	1C= 1886,76N
5B= 94,79N	4B= 3458,17N	3B= 3899,11N	2B= 3899,11N	1B= 1529,61N
5A= 417,07N	4A= 567,85N	3A= 605,06N	2A= 605,06N	1A= 539,55N

Llegados a este punto sabemos cuáles son las fuerzas transmitidas entre perfiles, determinaremos en que zona se dará el máximo momento con el que calcular una tensión resultante. A partir de dicha tensión resultante, se buscará un perfil que cumpla con los requisitos.

3.6 Selección perfiles para plataforma

Para la selección de los perfiles que conformarán la plataforma, escogeremos entre ellas al perfil que sea más desfavorable, es decir, el que esté sometido a más carga y tenga mayores vanos donde se darán los momentos más grandes. Estos momentos darán origen, a unas tensiones a las que deberá poder hacer frente nuestro perfil. Por todo esto, se escogerá el perfil con mayor carga perteneciente a la capa inferior de perfiles. Se busca en la capa inferior de perfiles porque solo existen dos apoyos en los perfiles y se posee mayores voladizos que en la capa superior de perfiles. Se elige, por lo tanto, al perfil "C". A continuación, se mostrará un diagrama del perfil, donde se situarán las cargas y las uñas (apoyos). Situado debajo de este diagrama se encuentra el diagrama de momentos, calculado en ANEXO C, que indicará el valor del momento a lo largo del perfil:

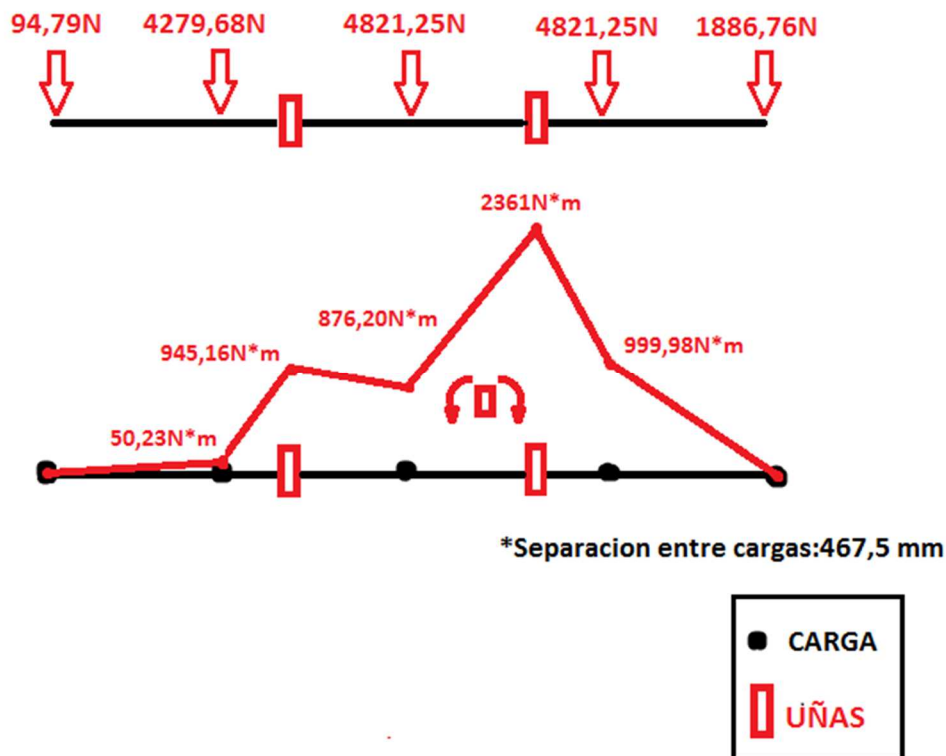


Ilustración 16. Diagrama perfil C (parte superior) y diagrama de momentos para perfil C (parte inferior).

Con el momento máximo que se da, 2361 N*m, seleccionaremos un perfil adecuado, usando la siguiente ecuación (ANEXO C):

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

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

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

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

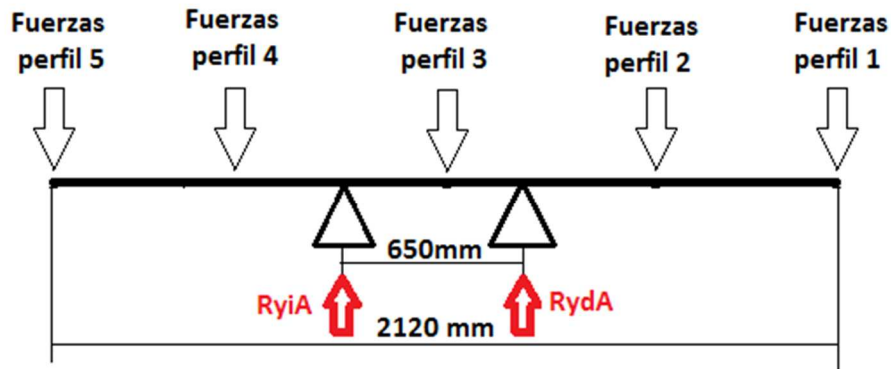
El perfil escogido es un IPE100 fabricados en acero S355. Se comprobará también, en nuestro diseño por “Solid Works”, si cumpliría también con su propósito correctamente. Se recuerda que se introducirán 5 barras del mismo acero del espesor del ala del perfil y anchura 50mm entre cada par de perfiles para facilitar su manipulación y transporte y que cada capa será un elemento indivisible. Las características de dicho perfil pueden verse en la siguiente ilustración o ANEXO L, extraído de “Catálogo de perfiles estructurales IPE y HEB”:

Perfil	Dimensiones							Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/ m
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h ₁ mm	u mm	A cm	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _a cm ⁶	w mm	a mm	e ₂ 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

Ilustración 17. Tabla perfiles IPE con las características dimensionales de los perfiles.

3.7 Distribución de carga en las uñas

El diagrama que se ha planteado para el cálculo aproximado de las cargas en cada uña se mostrará a continuación. Los diagramas y ecuaciones para cada caso se encuentran en el ANEXO D, con las cuales se obtienen las cargas en las uñas. Es de considerar que las uñas estarán en contacto directo (pues van soldados) con los perfiles de la capa inferior de la plataforma. Las reacciones en las que nos centraremos son las verticales puesto se consideran las reacciones horizontales como inexistentes en el cálculo manual por ser casi despreciables (Viento). Las reacciones verticales se denominarán mediante una letra “R” mayúscula, acompañado de una “y” que indica que la reacción es vertical, una “i” o “d” para designar la uña izquierda o derecha y una letra mayúscula en función del perfil al que pertenezca el cálculo. Se mostrará a continuación, como ejemplo del método de cálculo, el diagrama para el perfil A y las ecuaciones planteadas.



* Separacion entre Fuerzas 530mm

Ilustración 18. 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:

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

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

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

Se obtienen los siguientes resultados para el resto de perfiles:

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

- $R_{ydc} = 11318,57 \text{ N}$
- $R_{yiC} = 4576,16 \text{ N}$

- $R_{ydd} = 11318,57 \text{ N}$
- $R_{yiC} = 4576,16 \text{ N}$

- $R_{yde} = 5005,05 \text{ N}$
- $R_{yiD} = 2447,42 \text{ N}$

La distribución de fuerzas a lo largo de unas uñas de ejemplo quedaría representada de la siguiente forma:

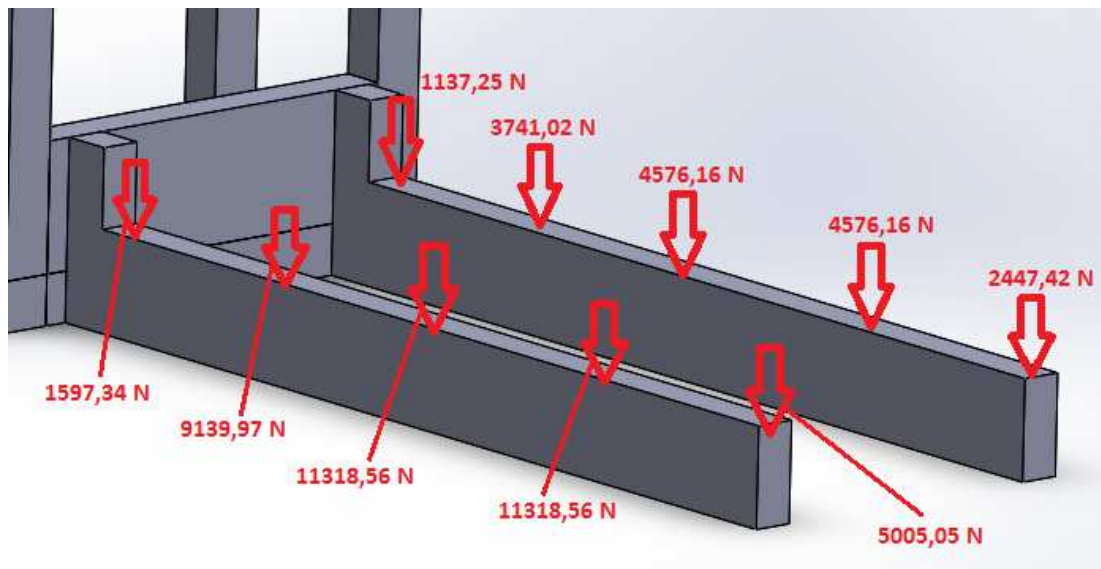


Ilustración 19. Cargas en las uñas del montacargas.

3.8 Selección de perfiles para las uñas

Con el momento máximo y trabajando con la ecuación que se mostrará a continuación, se obtiene en función del material, el valor para módulo resistente ($W_x = I_{xx}/y$), como se indica en el ANEXO D. (Extraído de “*Apuntes de asignatura criterios y diseño maquinas*”):

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

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

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

Sustituyendo en dicha ecuación, podemos obtener el Modulo resistente necesario para que el perfil sea apto para nuestro calculo. A partir del cálculo de las cargas en las uñas, se escoge la uña más cargada (la derecha) y se procede a obtener el momento máximo en ella ANEXO D, para poder una tensión máxima de trabajo para el cálculo y selección de las uñas. Como se reflejan en el ANEXO D, el diagrama de momentos flectores en la uña derecha el siguiente:

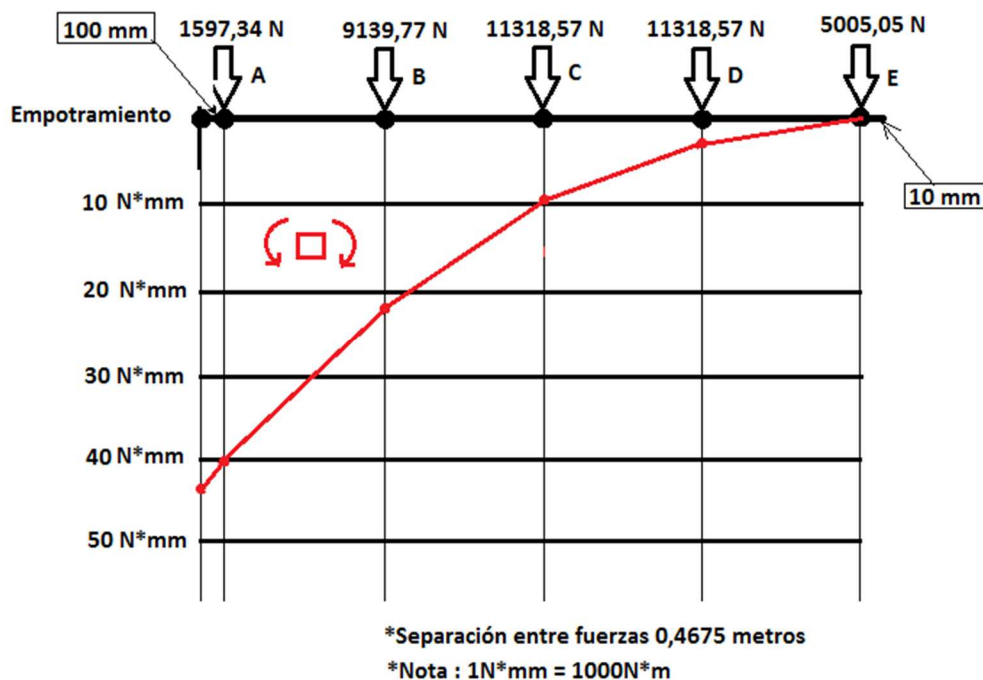


Ilustración 20. Diagrama momentos flectores en uña derecha.

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

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

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

Con los datos obtenidos en el ANEXO E y el factor de seguridad de 4 que se imponen para estos cálculos (se requiere un módulo resistente de valor 640 cm³) se escoge el perfil rectangular hueco debido a que posee un peso similar al elemento más ligero (perfil IPE calculado en ANEXO E), aunque más pesado (perfil IPE330 calculado en ANEXO D) pero la altura de la sección es considerablemente menor, 70 milímetros. El perfil seleccionado tiene una sección 260mmx180mm, con un espesor de 12,5mm. La longitud del mismo es de 1990mm.

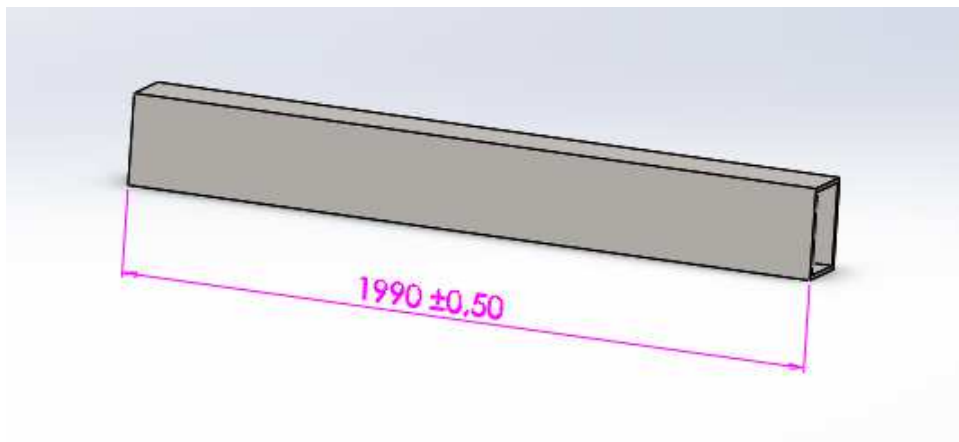


Ilustración 21. Imagen virtual perfil seleccionado (rectangular hueco).

3.9 Selección del motor-reductor para el montacargas.

Para la elección del motor, debemos conocer la velocidad de ascenso del montacargas y la masa total que se debe mover.

Contactando con “Sermaco”, por vía telefónica, los cuales poseen el montacargas de referencia, el cual inspira este proyecto, nos indican que el peso del montacargas es de unos 2000 kilogramos aproximadamente. Por ello, para estos primeros cálculos, usaremos dicho dato.

Por otro lado, la elección del motor-reductor se realizará a través de los catálogos del fabricante **Bonfiglioli**. En sus catálogos podemos obtener rendimientos mecánicos de diversos elementos, y con ellos el rendimiento total (el producto), (Extraído de “Catálogo de motores Bonfiglioli”):

$$\eta_{\text{piñón-cremallera}} = 0,90$$

$$\eta_{\text{ruedas guía}} = 0,90$$

$$\eta_{\text{reductor}} = 0,95$$

$$\eta_{\text{Total}} = \eta_{\text{piñón-cremallera}} * \eta_{\text{ruedas guía}} * \eta_{\text{Reductor}} = 0.7695$$

Suponemos entonces la Carga máxima de 2000kg y un peso propio de otros 2000 kg. Esto conforma la fuerza resistente del mecanismo, la cual vamos a obtener en Newton:

$$F_{\text{res}} = 4000 \text{ kg} * 9,81 = 39240 \text{ N}$$

La velocidad de elevación (V. elev.) es de 20 m /min, es decir:

$$V_{\text{elev}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{min}} = 0,333 \text{ m/s}$$

A través de la fuerza F_{res} y velocidad V_{elev} , podemos obtener la Potencia resistente:

$$Pot.\text{res} = F_{\text{res}} * V_{\text{elev}} = 39240 \text{ N} * 0,333 \text{ m/s} = 13078,69 \text{ Watios}$$

Con η_{Total} y **Pot.res** podemos obtener la Potencia necesaria (Pot. nec.) para mover el montacargas:

$$Pot. Nec = \frac{Pot. nec}{\eta_{Total}} = \frac{13078,69}{0,7695} = 16996,348 W$$

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):

- Potencia nominal (Pn) = 18,5 Kw
- N = 1460 rpm
- Mn = 121 N*m
- Jm (momento inercia motor) = $790 \cdot 10^{-4} \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$.
- Diámetro del motor 310mm.
- Longitud del motor 640mm.

El motor va emparejado con un freno CA FA 08, como se indica en el catálogo cuyo momento de inercia sería $J_m = 850 \cdot 10^{-4} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$:


freno c.a.				
FA				
Mod	Mb	Z _o	J _m	IM B5
	Nm	1/h	$\times 10^{-4}$ kgm ²	 Kg
FA 08	250	700	850	144

Ilustración 22.Freno correspondiente al motor indicado.

Para elegir el reductor debemos definir el piñón de salida del motor-reductor. Seguiremos un procedimiento, para el catálogo de reductores “Bonfiglioli” en el cual, trasladando los momentos de inercia de diferentes componentes a la salida del motor caracterizaremos la brusquedad con la que trabajara dicho motor. En el procedimiento terminaremos obteniendo un momento conducido con el cual podremos elegir un reductor compatible con él (Extraído de “Catálogo de reductores Bonfiglioli” e incluido en ANEXO L):



Tal y como se concluye en el ANEXO F, trabajamos con un engranaje de módulo 10, de acero F1540 con 18 dientes, y necesitamos un reductor que cumpla con los siguientes requisitos:

Relación de reducción $\rightarrow i = 49,11$

Momento necesario $\rightarrow Mc = 6700,83 \text{ N} \cdot \text{m}$

Escogemos el modelo C1003_46.2 cuyas características principales son lo más parecido posible a lo que se necesita:

- **$i = 46.2$**
- **$Mn=10264 \text{ N}\cdot\text{m}$**

3.10 Viento

Debemos tener en cuenta la incidencia del viento en el mecanismo. Situaremos el punto de actuación de las fuerzas en el centro de paredes y puertas respectivamente. Una vez situemos el centro de gravedad aproximado del conjunto podremos calcular las reacciones necesarias en los puntos de contacto entre el montacargas y el pilar de celosía. Puesto que poseemos las dimensiones básicas del montacargas, podemos proceder al cálculo de dichas fuerzas. Usaremos la formula siguiente para poder obtener el valor de la fuerza que actúan en las diferentes superficies del montacargas:

$$F_{viento} = 0,5 * Cx * \rho * V^2 * Af$$

Donde:

Cx = Coeficiente aerodinámico = 1,2.

ρ =Densidad del aire = 1,2 kg/m³.

V = Velocidad del viento=20 m/s.

Af = Área frontal de las superficies sobre la que incide el viento.

Nuestra designación para paredes y puertas en nuestro montacargas es la siguiente:

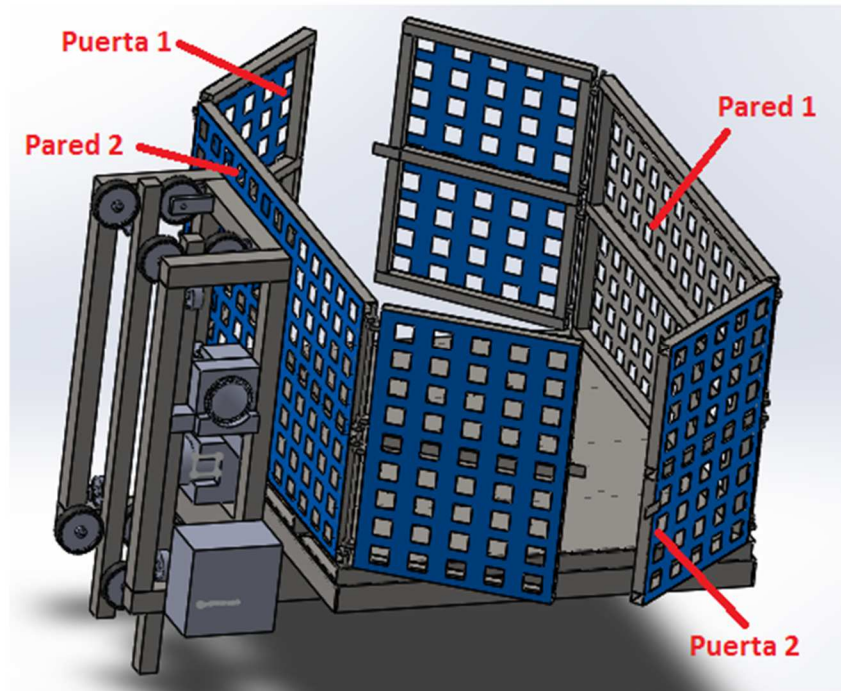


Ilustración 23. Ilustración designación puertas y paredes.

Las áreas donde incide el aire son para el lado de las paredes solo las propias paredes, puesto que las uñas son perfiles huecos y el resto de la estructura representa un área despreciable. Para el lado de las puertas supondría a las propias puertas, los perfiles, uña y la plataforma de canto.

- Área paredes = $2,12 * 1,2 = 2,54 \text{ m}^2$

- Área puerta = $1,87 * 1,2 = 2,24 \text{ m}^2$

- Área de capas de perfiles y uñas bajo las puertas = (sumatorio de anchura de perfiles, espesor de chapa y altura de sección de uñas) * longitud) =

= $(0,27 + 0,1 + 0,1 + 0,003) * 1,87 = 0,884 \text{ m}^2$

- **Área lado paredes** = $2,54 \text{ m}^2$
- **Área lado puertas** = $2,24 + 0,884 = 3,12 \text{ m}^2$

A continuación, se muestra una tabla con el valor de las fuerzas ejercidas por el viento en cada superficie del habitáculo del montacargas, en función del sentido del mismo viento durante el servicio de dicha maquinaria. La velocidad del viento es de 20m/s, a cualquier altura, como marca la norma *UNE-EN 12158-1*:

Dirección	Sentido	Incidencia	Fuerza [N]
X	-	Puerta 1	898,86
X	+	Puerta 2	898,86
Y	+	Pared 1	731,52
Y	-	Pared 2	731,52

Estas fuerzas serán tomadas en cuenta en los cálculos de las ruedas-guía del montacargas, ya que inducirán un momento en un sentido determinado, que deberá ser contrarrestado por un momento igual y opuesto, generado por las mismas ruedas-guía como respuesta a la acción del viento. Este sumatorio de momentos se realizará en el centro de gravedad, el cual hallamos con “Solid Works” al tener nuestro montacargas definido y sin ruedas guía aún. Dichos cálculos se verán más adelante.

3.11 Calculo ruedas guía

El número de ruedas que se usará para guiar el montacargas a lo largo del pilar de celosía, será el suficiente como para poder impedir el movimiento que no sea vertical y que produzca que la plataforma no se mantenga horizontal. Se consideran para esta explicación, dos planos: unos que paralelo a las paredes (Ruedas secundarias) y otros paralelos a las puertas (Ruedas principales) del montacargas. En el plano paralelo a las paredes, situamos 4 ruedas, dos arriba y dos abajo, de forma que no permita el giro en ese plano. En el plano paralelo a las puertas, se colocan 8 ruedas, 4 en cada esquina del pilar en contacto con el montacargas. La siguiente ilustración muestran los soportes de las ruedas y el esquema de la posición de las ruedas, tanto para las situadas en la parte superior del bastidor como para la inferior:

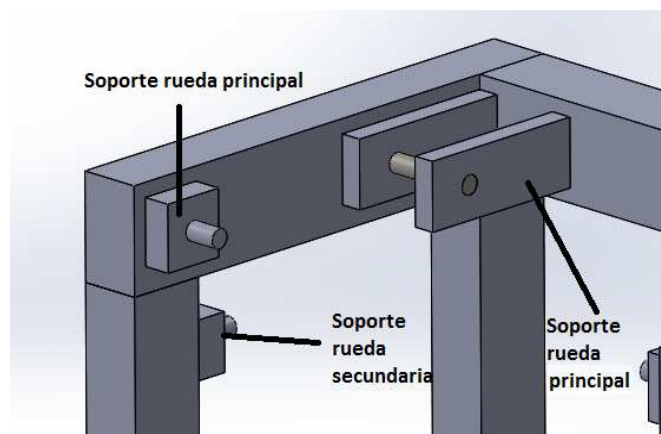


Ilustración 24. Imagen descriptiva posicionamiento de las ruedas.

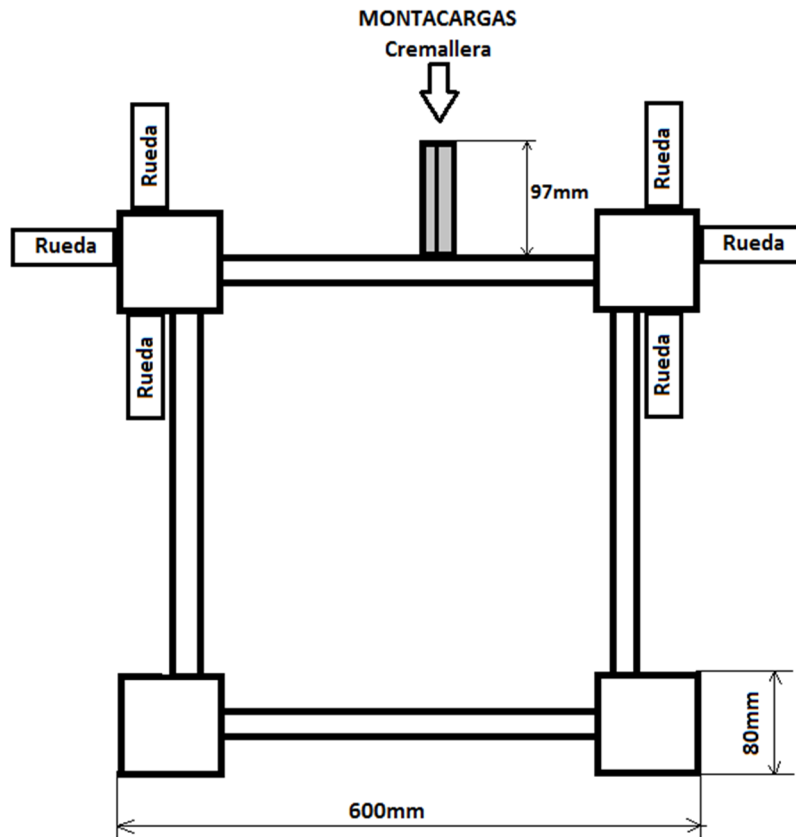


Ilustración 25. Detalle unión superior e inferior del montacargas con el pilar de celosía.

Seguiremos contando con el factor de 2,5 para la carga útil del problema planteado (Indicado por norma *UNE-EN 12158-1*), es decir, la carga útil sería de 5000kg. En el ANEXO G se muestran los cálculos realizados para la selección de las ruedas guía y en el apartado 1 del ANEXO G se encuentra como se ha determinado el centro de gravedad con “Solid Works”, que usaremos para realizar los cálculos de las ruedas guía que se plantean en el ANEXO G. Puesto que las ruedas ejercen solo fuerzas horizontales, no es necesaria su ubicación en la horizontal. Y su ubicación vertical se considera 50mm alejado de cada extremo del bastidor, como se refleja en las siguientes imágenes. Se han usado los siguientes diagramas en los cálculos, obteniendo los resultados adjuntos (Cálculos en ANEXO G)):

- Ruedas principales

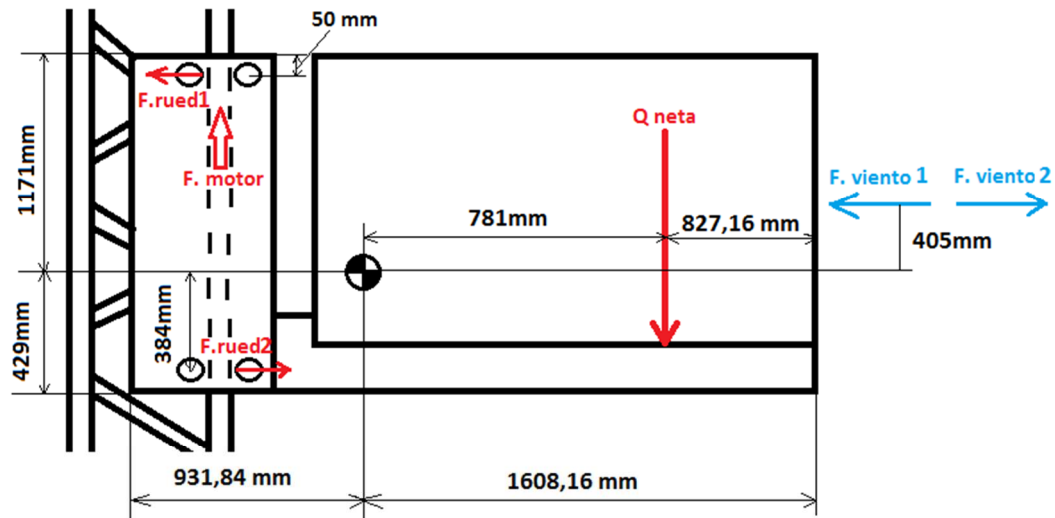


Ilustración 26. Diagrama usado para cálculo de ruedas principales.

Donde:

- $Q_{neta} = 9,81 \cdot 5000 \text{ kg} = 49050 \text{ N}$ [Situada en el centro de la superficie de la carga útil]
- $F_{motor} = 9,81 \cdot 7000 \text{ kg} = 68670 \text{ N}$
- $F_{viento} = 731,52 \text{ N}$ (En los dos sentidos)

Fuerza de viento 1(731,52 N)

Frued1= 52637,25 N -> Cada rueda = 26318,62 N

Frued2= 53368,72N -> Cada rueda = 26684,36 N

Fuerza de viento 2(731,52 N)

Frued1= 53707,48 N -> Cada rueda = 26853,74 N

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

Se puede observar en la siguiente tabla del “*Catálogo general de ruedas de Cuality Rodes*”, que existen ruedas de una anchura de 62mm con una resistencia de 5000 kg (49050 N). Nuestra solicitud máxima es de 28327,36 N, así que cumpliría con nuestros requerimientos:

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 27. Tabla del rango de fuerzas soportado por cada rueda (Cuality Rodes).

- **Ruedas secundarias:** 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 debido a su considerable menos reacción.

Fuerza viento 1

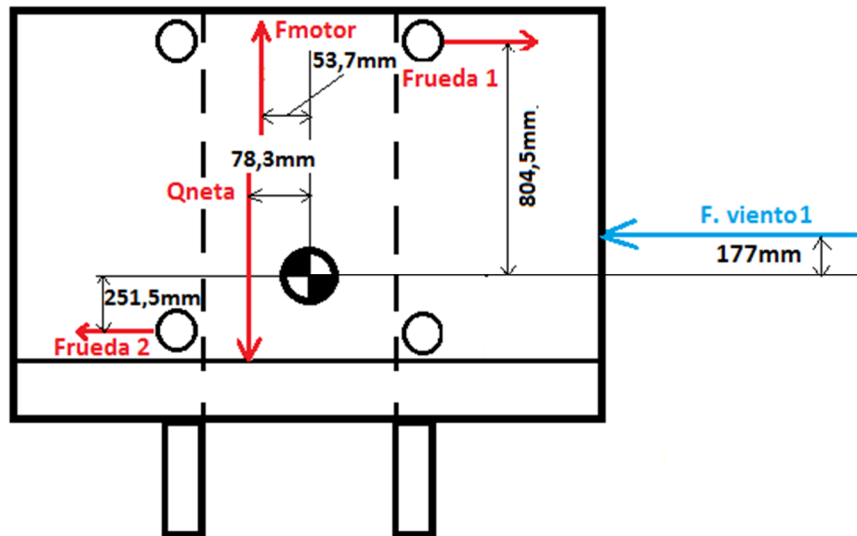


Ilustración 28. Diagrama usado para cálculo de ruedas secundarias nº1.

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

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

Fuerza viento 2

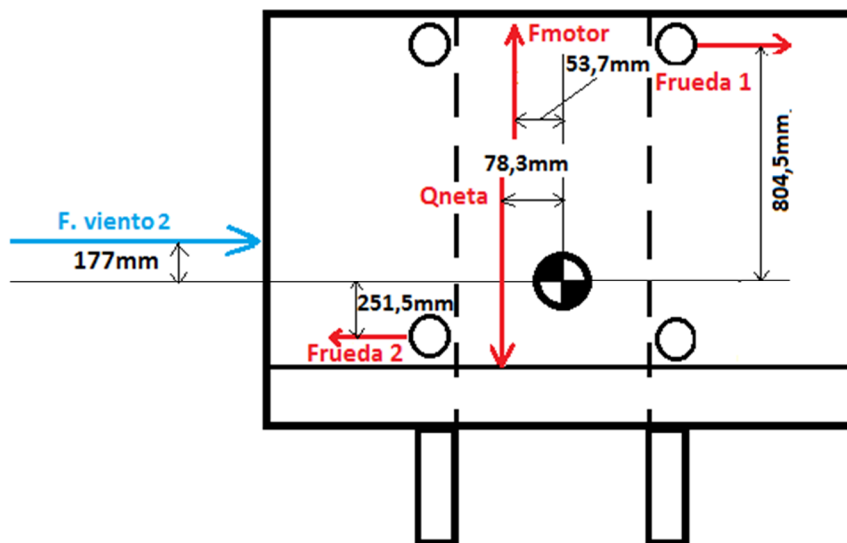


Ilustración 29. Diagrama usado para cálculo de ruedas nº2.

$$F3 = 208,11 \text{ N}$$

$$F4 = 690 \text{ N}$$

Para las ruedas secundarias bastará con el modelo de 2500 kg indicado en la misma ilustración, aunque podría valer una rueda de peores características. Recordemos que la posición de las ruedas secundarias

3.12 Cálculo de bulones para las ruedas guía.

Con máxima sollicitación que reciben las ruedas (calculadas en los apartados anteriores), hallaremos cual es la máxima tensión que se produce en los bulones para poder escoger el material del que están hechos, puesto que las dimensiones están ya definidas por las ruedas que se han escogido. Se impondrá un coeficiente de seguridad de 4 para la elección del bulón. Como se ve en el ANEXO G, apartado G.4., el mallado que se realiza con “Solid Works” genera pocas celdas en los bulones debido a su pequeño tamaño. Por ello se recurre al método manual de cálculo. Usando el valor de la máxima sollicitación, 26853,74 N, y las siguientes ecuaciones (“*Apuntes de asignatura criterios y diseño máquinas*”):

$$\tau_{max} = \frac{F_{max}}{\text{Area seccion bulón}}$$

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

Se llega al siguiente resultado:

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

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 ²
Coeficiente de Poisson	0.28	N/D
Módulo cortante	7.9e+010	N/m ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	1100825984	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	785593984	N/m ²

Ilustración 30. Características del acero escogido (1.6587).

4. Elección piñón-Cremallera

Para la elección del piñón cremallera, tendremos en cuenta las fuerzas que se deban transmitir entre ellos. Seguiremos el manual del “Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom”. La masa a elevar será los 2000 kg del montacargas más los 2000 kg de la Carga neta, es decir, 4000kg. La aceleración que consideraremos para el montacargas será despreciable, puesto que la velocidad de dicho montacargas es muy reducida (0,33m/s). Un tiempo de frenada de 1 segundo, supondría una aceleración de 0,33m/s², lo que supone apenas un 4% de error:

- $Masa\ a\ elevar = 4000\ kg$
- $F_{vertical} = 4000 * (g + a) = 4000 * 9,81 = 39240\ N$
- $F_{vertical\ corregida} = F_{vertical} * 2,5 = 98100\ N$

A partir de estos datos se escoge un conjunto piñón-cremallera de dentado helicoidal, métrica 10 y de acero F-1540 (“Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom”). El proceso está un poco más detallado en el ANEXO H. La ilustración siguiente extraída de “Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom” muestra la gráfica con la que se ha escogido el modulo y material del conjunto piñón-cremallera.

Tabla DME. Módulo dentado helicoidal

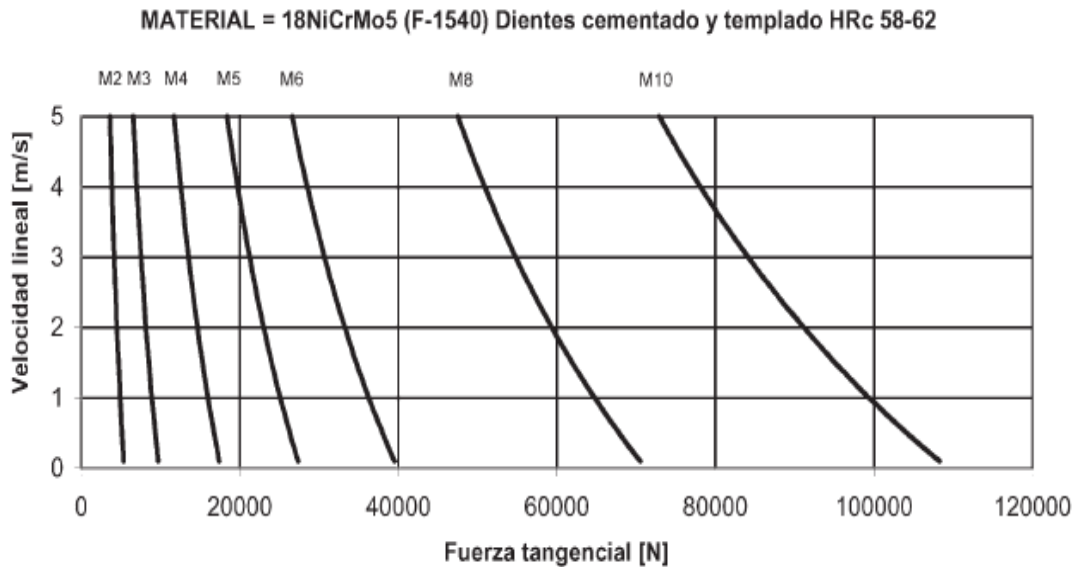


Ilustración 31. Imagen Catálogo piñon-cremallera Spitkoom.

5. Elección del espesor plataforma

Para la elección de la plataforma, se usa, en este caso, “Solid Works”, una vez desarrollado el diseño de la plataforma, procedemos a realizar un análisis estático con 2,5 veces la Carga neta colocada en el 75% del área como se ha hecho hasta ahora. Se tratará de un. Se comienza asignándole un espesor de 1 mm a la plataforma. Posteriormente asignamos un espesor de 3mm y 5 mm. Se obtienen, en los resultados de cálculo, las siguientes tensiones Von Mises para cada caso, como se muestra en el ANEXO I. Podemos apreciar que la tensión es más alta conforme se disminuye el grosor. En las ilustraciones se puede ver como la tensión mayor siempre está localizada en la misma zona, como es lógico. También podemos apreciar que el único caso en el que se alcanza el límite elástico del material ($2,75 \cdot 10^8$ Pa) es para espesor de 1mm. Nos fijaremos también en los desplazamientos que se den en cada tipo de grosor. Dichos desplazamientos, calculados por “Solid Works” se muestran en el ANEXO I. Se puede observar que el desplazamiento en el caso de 1mm es muy notable respecto a los otros dos casos, produciéndose un desplazamiento máximo de 12,4 mm. Se producen desplazamientos máximos o cercanos en varias zonas como puede apreciarse, para el caso de 1mm. Se descarta este espesor debido a estas causas. La diferencia de desplazamiento entre los espesores 3 y 5 es mínima y observando la diferencia de tensiones Von Mises, se concluye con la elección de un espesor de 3mm, pues parece cumplir con su función correctamente. Con este espesor podemos hallar el peso correspondiente a la plataforma, para introducir dicho valor en “Solid



Works” a la hora de realizar cálculos en dicho Software (Consideramos densidad de acero 7800kg/m^3):

$$\text{Peso plataforma} = \text{Volumen} * 7800 = (2,12\text{m} * 1,87 * 0.003) * 7800$$

$$\text{Peso plataforma} = 92,76 \text{ kg} = 910 \text{ N}$$

6. Diseño 3D en Solid Works

A partir del cálculo de perfiles, uñas y ruedas guía, podemos abordar al diseño físico del montacargas. Para ello contamos con la información que la empresa Sermaco nos ha facilitado sobre el montacargas y su unión con el pilar de celosía. Existen dos tipos de conexiones del montacargas con el pilar de celosía. La primera es la realizada entre las ruedas y el propio pilar, que se divide en las ruedas superiores del bastidor y las ruedas inferiores. Otro es el realizado por el piñón-cremallera.

Las ruedas inferiores y superiores estarán distanciadas tanto como las barras horizontales del bastidor. La distancia horizontalmente hablando que se tendrá en cada pareja de ruedas vendrá determinada por la rueda escogida y la anchura de los perfiles de las esquinas del pilar de celosía. En nuestro caso, puesto que las ruedas principales escogida posee un diámetro de 200mm y la anchura de los perfiles principales del pilar de celosía es de 80mm, se tendrá que la distancia entre ejes de cada pareja de ruedas guía principales será de 280mm. Por otro lado, se sitúa la cremallera céntricamente respecto al montacargas para favorecer su equilibrio disminuyendo el momento que genera la fuerza vertical desarrollada por el motor respecto al centro de gravedad del conjunto. Esto se muestra en el ANEXO H. Esta localización de la cremallera, el tamaño del reductor escogido y las dimensiones del motor, determinarán el soporte necesario para el motor y su posición relativa respecto al conjunto. De este modo, una vez situada la carga neta en su lugar y calculados los perfiles de la plataforma, las uñas y el bastidor, podemos emprender la modelización en 3D y escoger a su vez, mediante el software, la plancha de acero que conformara el suelo de la plataforma. Las paredes y puertas del montacargas son meras representaciones, puesto que se dejarán las originales debido a que se presupone su resistencia al aire correcta al no variar las dimensiones de las mismas en el nuevo diseño. Por otro lado, se ignora la modelización del pilar de celosía debido a que carecemos de información real al respecto y además pueden aplicarse las condiciones

de contorno en nuestro diseño como para comprobar el comportamiento de nuestro montacargas. El motor y el freno de emergencia representaciones con las medidas básicas obtenidas de catálogo ("*Catálogo de motores bonfiglioli serie VF-W*"). Por último, se mantiene una distancia de 100 mm entre el bastidor y la cabina para evitar al máximo posibles interferencias en el mecanismo (Al cargar la cabina, si no se toman las precauciones necesarias, puede quedar algún elemento sobresaliendo del habitáculo o salirse de su perímetro, esta separación facilitaría su caída al suelo y la no interferencia en el mecanismo. Se muestra el modelo completo a continuación y los elementos que lo conforman están contenidos en el ANEXO J:

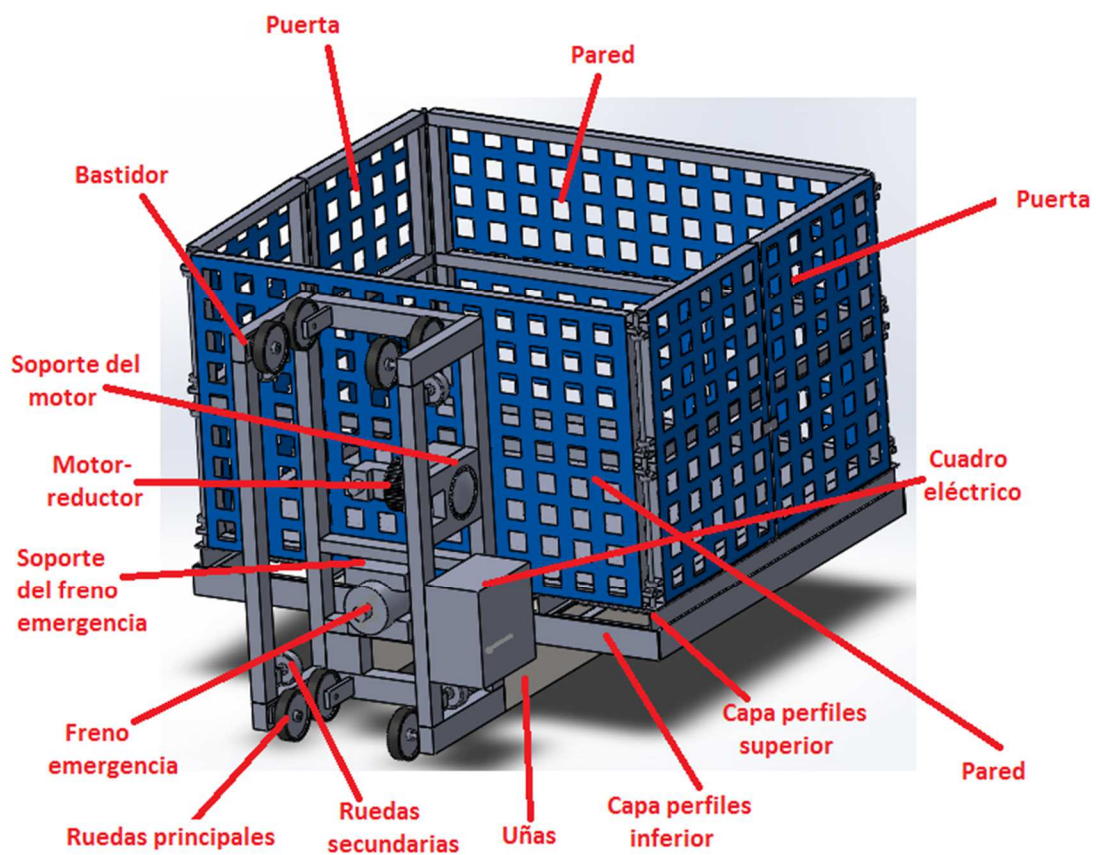


Ilustración 32. Montacargas modelizado en Solid Works.

7. Análisis estático (Solid Works).

Para realizar el cálculo estático para comprobar el comportamiento del montacargas en el software Solid Works, debido a que se trabaja con la versión estudiante, se realizan diferentes simulaciones para probar los siguientes elementos por separado: Uñas y plataforma y por otro lado el bastidor. La chapa de acero de la plataforma ya ha sido calculada en otro apartado para la selección de su espesor, así que ya se considera comprobada. Todo ello quedará expuesto con más detalle en el ANEXO K. Cabe destacar que para este análisis se ha considerado que las ruedas-guía seleccionadas en catalogo servirán bien al propósito, de modo que no se incluirán en el análisis. Los bulones se calculan de forma manual (Apartado 3.12) debido a que el mallado no es muy afinado en ellos, por su reducido tamaño, por lo que se despreciara el valor dado en ellos por “Solid Works”. Se aplicará como condición de contorno que los bulones puedan moverse verticalmente, tal como seria en la realidad, pues las ruedas solo se deslizan verticalmente a lo largo del pilar de celosía. Esto puede observarse en la siguiente ilustración:

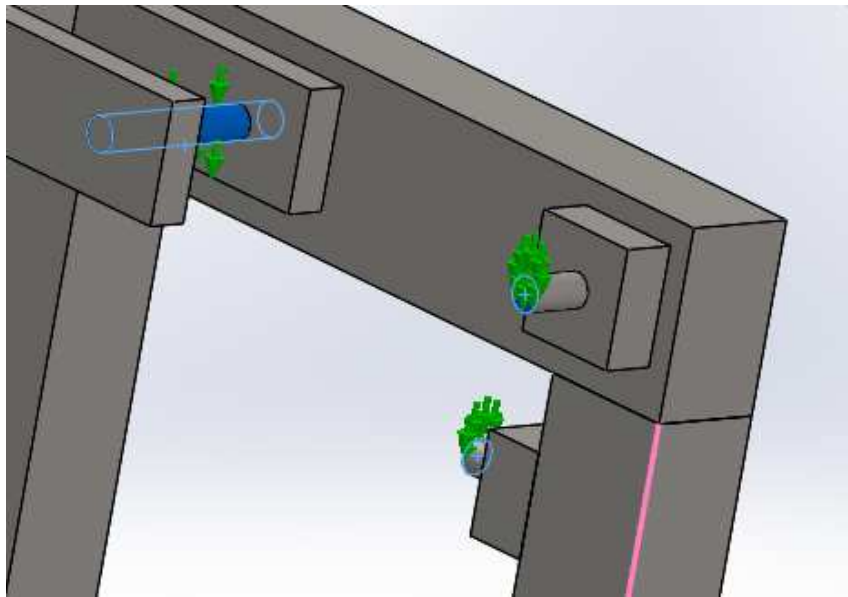


Ilustración 33. Sujecion fija para calculo estático uñas y plataforma.

Además, se aplica como condición de cálculo en la cara interna del soporte del motor, un apoyo fijo, puesto que cuando el montacargas este suspendido, el soporte, a través del motor, será el único sustento del montacargas:

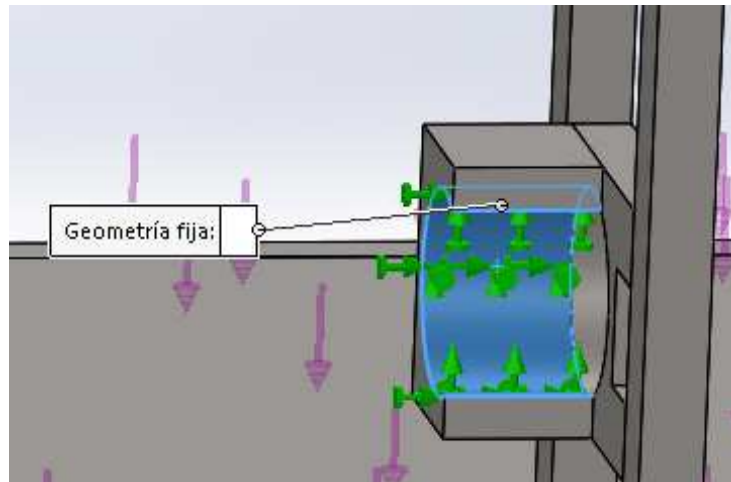


Ilustración 34. Apoyo fijo, simulación cálculo estático.

Como cargas, se aplican las mostradas en la ilustración siguiente:

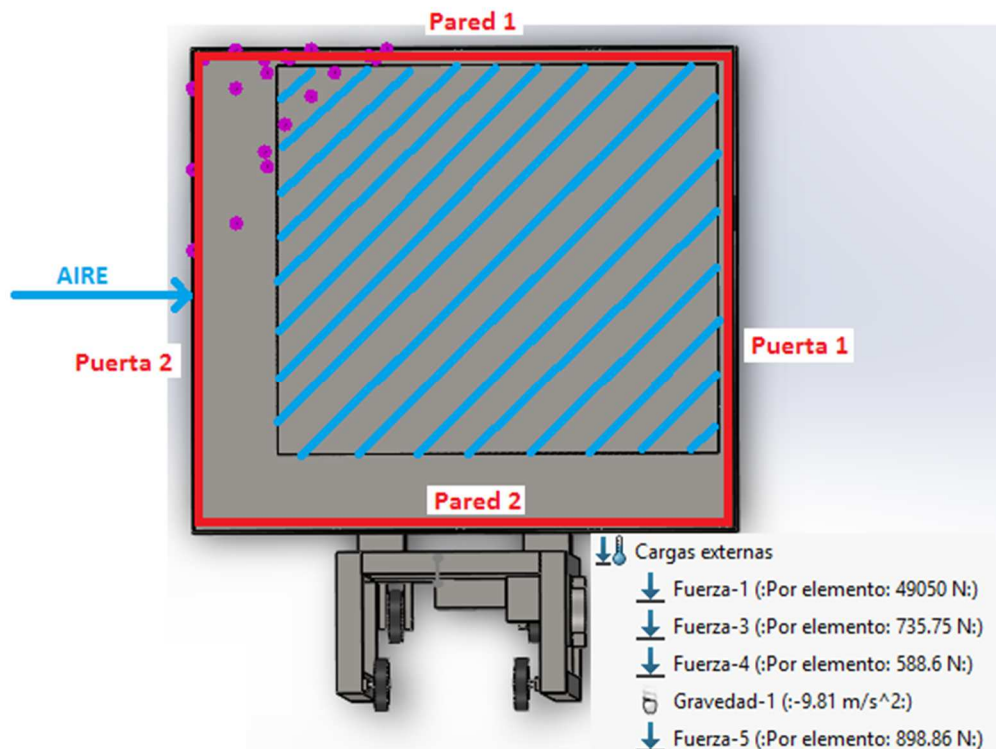


Ilustración 35. Fuerzas introducidas análisis uñas y plataforma.

Donde la fuerza uno se aplicaría en el área rallada y se correspondería a la carga útil (5000 kg = 49050 N). La fuerza 3 y 4 son las de paredes y puertas. La fuerza 5 es la del aire en el lugar más desfavorable según los cálculos manuales, aunque se introduce en la capa superior para ver si existiría un posible deslizamiento entre capas de perfiles, aunque era de esperar que no ocurriera por el pequeño valor de la fuerza. Por último, la gravedad es aplicada para incluir el peso propio en los análisis.

Con todo esto, como se muestra en los resultados de los cálculos y rediseños desarrollados en el ANEXO K, el valor obtenido en el conjunto del montacargas para tensiones Von Mises es el siguiente:

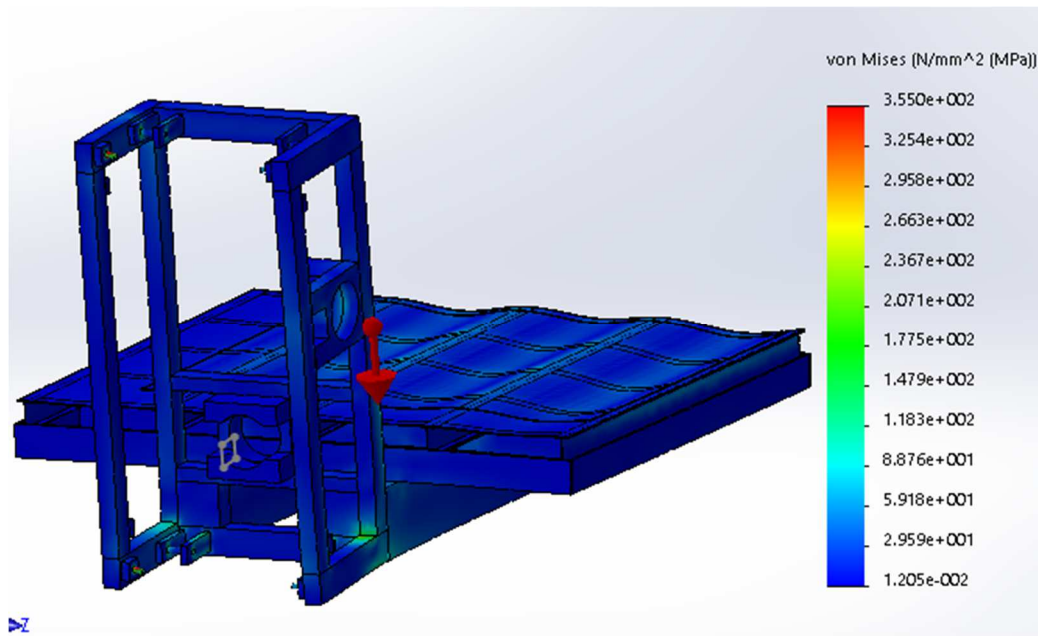


Ilustración 36. Plano general de tensiones Von Mises.

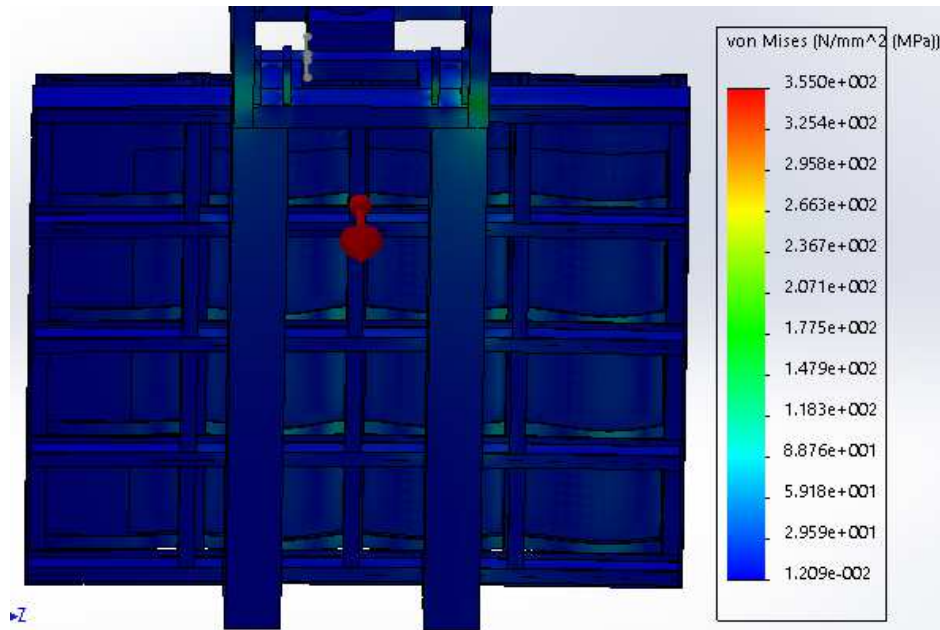


Ilustración 37. Vista general perfiles, Von Misses.

Donde se aprecia que el montacargas se comporta bien ante las cargas. Se alcanzan valores máximos de unos 200 Mpa, lo cual no supone un problema pues las barras del bastidor y los perfiles IPE son de acero S355JR y las uñas de acero S275, y todos pueden ser sometidos a dichas cargas sin problemas. En cuanto a los desplazamientos, se impone el requisito de que el desplazamiento máximo no exceda en una proporción de 1:250 a la longitud del montacargas. Se obtienen los siguientes resultados:

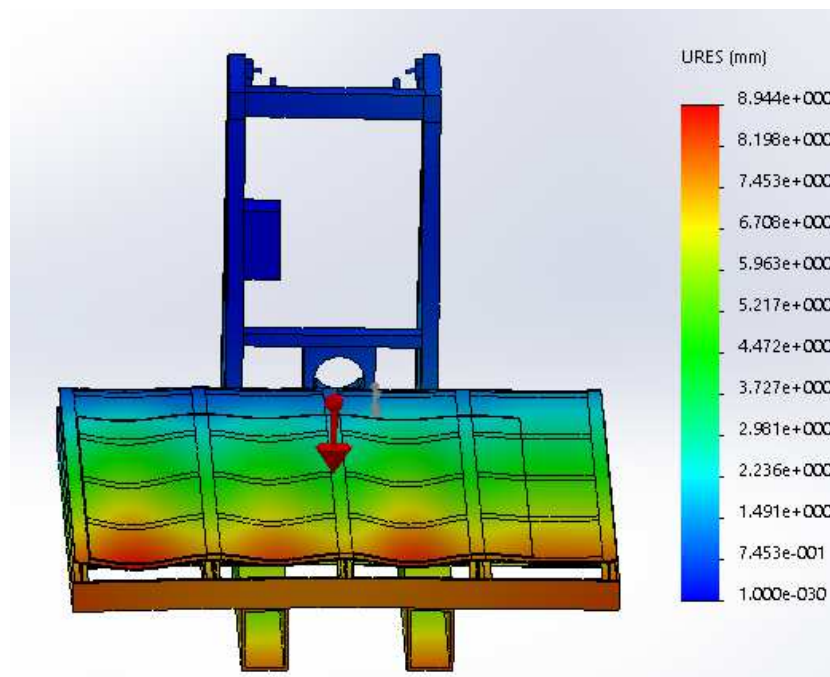


Ilustración 38. Vista general de desplazamientos.

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 diseño en este caso, puesto que los resultados muestran un correcto comportamiento antes las cargas y condiciones propuestas.

Por último, variando solo el apoyo fijo en el soporte motor y situándolo en el soporte del freno, comprobaremos si en situación de frenada (Recordemos que el coeficiente de 2,5 para la carga útil incluye, por ser más desfavorable, las situaciones de frenada y aceleración) el montacargas se comporta correctamente. Se introduce dicha condición de apoyo en el soporte freno:

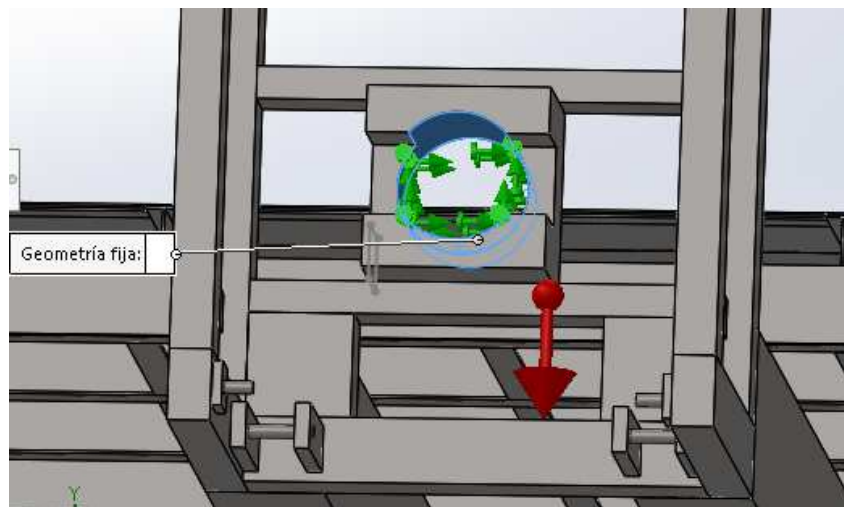


Ilustración 39. Condición de apoyo fijo en soporte freno.

Luego de que el programa realice los cálculos, se obtienen las tensiones Von Mises y desplazamientos en el montacargas:

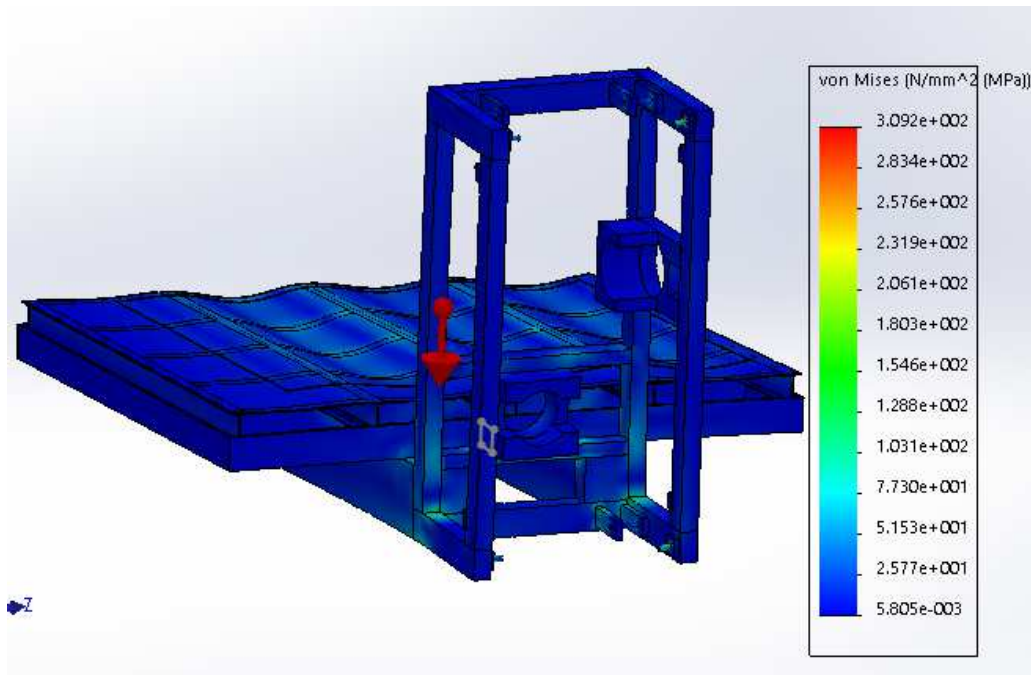


Ilustración 40. Tension Von Misses caso de apoyo fijo en soporte freno.

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. 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:

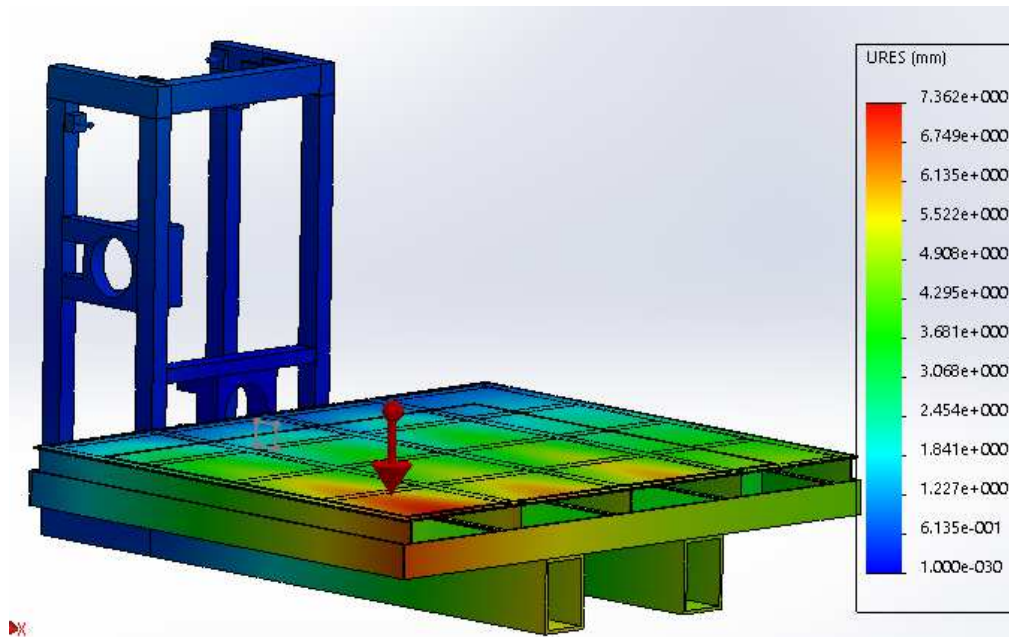


Ilustración 41. Desplazamientos para el caso de apoyo fijo en soporte freno.

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 válido el modelo. En “Solid Works” obtenemos que el peso del montacargas es de 2138 kilogramos. El motor y freno escogidos han sido calculados para un momento necesario de $6700,83 \text{ N}\cdot\text{m}$, siendo el peso usado para el montacargas de 2000kg (Dato facilitado por la empresa de forma aproximada). Puesto que el motor escogido, desarrolla un momento $10264 \text{ N}\cdot\text{m}$, más de un 50% más del necesario, se considera que el motor elegido puede trabajar con el peso del montacargas obtenido.

8. Conclusiones.

Partíamos como idea inicial de un montacargas de unas determinadas prestaciones y características técnicas, y se ha remodelado con una combinación de simplificaciones del problema abordado, para realizar cálculos aproximados de algunos elementos como los perfiles que constituyen las capas de la plataforma y o las uñas, y modelización mediante el software “Solid Works”. Ha habido dificultades para plantear los diagramas de la forma más fiel posible a la realidad sin crear un problema de alta hiperestaticidad, por ello, los diagramas planteados pueden no asemejarse del todo al caso real.

Se ha aplicado las condiciones expuestas en la norma *UNE-EN 12158-1*, para la realización de nuestros cálculos, como la velocidad del viento y el factor de aumenta



de la carga útil. Una vez observados los resultados del cálculo mediante software, se ha intentado disminuir el grosor o tamaño de algunos perfiles o piezas con el fin de aligerar el modelo. Una vez cumplido con todo esto, se ha llegado a un diseño que satisface nuestros requisitos y muestra un comportamiento correcto ante las cargas planteadas. Por lo que se obtiene un montacargas con las características deseadas.

Finalmente, el peso de nuestro aparato, calculado por “Solid Works” de forma aproximada, es de 2138 kilogramos.

9. Bibliografía.

1. Catálogo de productos y servicios Sermaco.
2. Catálogo reductores bonfiglioli.
3. Catálogo de motores bonfiglioli serie VF-W
4. Apuntes de asignaturas “Criterios de diseño máquinas”. Área de máquinas y vehículos, Departamento de ingeniería mecánica, Universidad de Zaragoza.
5. Apuntes de la asignatura “Teoría de estructuras y construcciones industriales”. Área de Mecánica de Medios Continuos y Teoría de Estructura, Departamento de ingeniería mecánica, Universidad de Zaragoza.
6. Norma UNE-EN 12158-1.
7. Catálogo general de ruedas "Cuality Rodes".
8. “Aparatos y elementos de elevación en la construcción” Francisco Márquez Sierra.
9. Catálogo de sistemas piñón-Cremallera Spitkoom.
10. Catálogo piñón-cremallera SERVO_KAPITEL_ZA.
11. Catálogo perfiles estructurales rectangular hueco.
12. Catálogo de perfiles estructurales IPE y HEB.
13. Catálogo de perfiles laminados.
14. Catálogo perfiles rectangulares macizos.