



Universidad
Zaragoza

Memoria

Análisis y cálculo de mesa elevadora de tijera simple
para 2000 Kg. de carga

Autor

Álvaro Navarro Fandos

Director

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2019

Índice

1- Introducción.....	3
2- Información sobre mesas elevadoras de tijera.....	3
3- Criterios iniciales del diseño.....	5
3.1- Especificaciones de diseño: Dimensiones adoptadas para la mesa elevadora.....	6
3.2- Accionamiento elegido.....	6
3.3- Definición de hipótesis de carga.....	7
3.4- Criterios de fallo y materiales escogidos.....	7
4- Planteamiento de los diagramas de sólido libre y resolución en función de la altura de la mesa.....	8
4.1- Carga centrada.....	9
4.2- Carga descentrada en la parte del apoyo móvil del tablero.....	10
4.3- Carga descentrada en la parte del apoyo fijo del tablero.....	12
5- Obtención de esfuerzos y dimensionamiento de componentes.....	13
5.1- Tablero.....	13
5.2- Travesaños.....	14
5.3- Largueros.....	15
5.4- Pasadores y orejetas.....	15
5.5- Barras de tijera.....	16
5.6- Cilindro hidráulico.....	18
5.7- Ruedas.....	19
6- Modelización y análisis con Solid Works.....	20
6.1- Parte superior.....	20
6.2- Barra de tijera más solicitada.....	23
6.3- Chasis.....	23
7- Conclusión.....	25
8- Bibliografía.....	26

1- Introducción.

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio detallado de la primera parte del diseño de una mesa elevadora de tijera simple. Se calcularán y seleccionarán los distintos componentes que la forman. Posteriormente se simularán varios de ellos con el software SolidWorks para comprobar la validez del diseño. El estudio de los elementos de la mesa elevadora engloba tanto la selección de los materiales como las dimensiones de ellos, empleando métodos de cálculo del área de Resistencia de Materiales. Para determinar la rotura de los materiales, usaremos el criterio de fallo del cortante máximo.

En cuanto a la metodología, primero se hará una recopilación de información sobre maquinaria similar para determinar las especificaciones del diseño: carga, altura y tamaño de la mesa elevadora. También se definirá el accionamiento elegido, las hipótesis de carga, materiales de los componentes y coeficiente de seguridad. Todo esto se hará para empezar el proceso de diseño y cálculo de las diferentes partes de la mesa considerando siempre las condiciones más desfavorables.

Una vez definidas las distintas hipótesis de carga, se plantearán con el programa MEF1 los diagramas de sólido libre de los distintos componentes para sacar las fuerzas de enlace y trasladarlas de un sólido a otro. Estos diagramas serán en función de la altura de la mesa elevadora y de cada una de las 3 hipótesis de carga: centrada, descentrada en la parte de los apoyos móviles y descentrada en la zona de los apoyos fijos. Luego se resolverán y se analizarán los diagramas de sólido libre para centrarnos en los puntos más desfavorables de cada componente y observar sus diagramas de esfuerzos. Se localizarán los puntos de máxima tensión y teniéndolos en cuenta se dimensionarán las distintas piezas que forman la mesa, en concreto: tablero, travesaños, largueros, pasadores, barras de tijera, cilindro hidráulico y ruedas. Para estos cálculos se tendrá en cuenta el criterio del cortante máximo, un coeficiente de seguridad adecuado y que no sufran aplastamiento las orejetas.

Por último, se acabará con un estudio estático con el Software SolidWorks, dónde se modelizarán 3 partes de la mesa y mediante un análisis por elementos finitos determinaremos las máximas tensiones soportadas por los componentes. Las 3 partes analizadas serán: la parte superior, formada por el tablero, los travesaños y los largueros; la barra dónde ejercen la fuerza los cilindros hidráulicos y el chasis, compuesto por 4 apoyos simulando las ruedas, dos largueros y dos travesaños, uno de ellos con las orejetas dónde van las fuerzas ejercidas por los cilindros.

2- Información sobre mesas elevadoras de tijera.

Una mesa elevadora es, en su forma más simple, una mesa o plataforma que puede ser elevada o bajada a cualquier altura en el movimiento vertical.

Las partes de las que se compone una mesa elevadora de tijera son:

-Base. Soporta el resto del montaje. Debe de ser fuerte, rígida y estable. En la mayoría de los casos es diseñada para ser ubicada en el suelo, pero también puede ser instalada en un foso o suministrada con ruedas o con reforzamiento del chasis.



Fig. 2.1. Base.

-Tijeras. Proporcionan un movimiento vertical preciso mientras soportan la plataforma. Cada par de tijeras están conectadas mediante ejes en el punto central de unión y en los extremos superior e inferior. Según el número de barras de tijera que poseen pueden ser de tijera simple o de tijera múltiple.



Fig. 2.2. Mesa elevadora de tijera simple.



Fig. 2.3. Mesa elevadora de tijera múltiple.

-Plataforma. Puede ser de cualquier tamaño siempre que sea compatible con la base y las tijeras. En concreto, la plataforma no puede ser menor que la longitud o anchura de las tijeras y de la base. La plataforma puede ser mayor que ambas. La plataforma puede ser equipada con una amplia gama de accesorios como caminos de rodillos, plataformas giratorias, plataformas basculantes o plataformas equipadas para diferentes aplicaciones especiales.



Fig. 2.4. Plataforma.

-Accionamiento. Por un lado, tenemos mesas elevadoras a correas, que permiten grandes velocidades y altas frecuencias de trabajo. También existen mesas elevadoras de husillo, que tienen una buena relación calidad-precio en cuanto a prestaciones. Por último, tenemos las mesas elevadoras de accionamiento hidráulico que permiten una larga duración de la máquina con un mantenimiento mínimo.



Fig. 2.5. Mesa elevadora a correas.



Fig. 2.6. Mesa elevadora a husillo.



Fig. 2.7. Mesa elevadora hidráulica.

-Unidad de control. Mediante botonera o control de pie.

De todas estas partes se hablará en el siguiente punto, que es dónde se define el diseño a estudiar.

3- Criterios iniciales del diseño.

La mesa elevadora que se va a diseñar está basada en una del fabricante Metal System, modelo MSAP-20-15/20, para una carga máxima de 2000 kilogramos. La altura máxima de elevación de este modelo son 1500 mm y las dimensiones son 2000 mm de ancho por 2500 mm de largo. El material es acero pintado.



Fig. 3.1. Mesa elevadora MSAP-20-15/20. Metal System.

3.1- Especificaciones de diseño: Dimensiones adoptadas para la mesa elevadora.

La mesa elevadora diseñada tiene las siguientes dimensiones, representadas en la Fig. 3.2:

- LONGITUD: 2700 mm.
- ANCHURA: 1500 mm.
- ALTURA DE ELEVACIÓN: 1700 mm.
- ALTURA REPLEGADA: 200 mm.

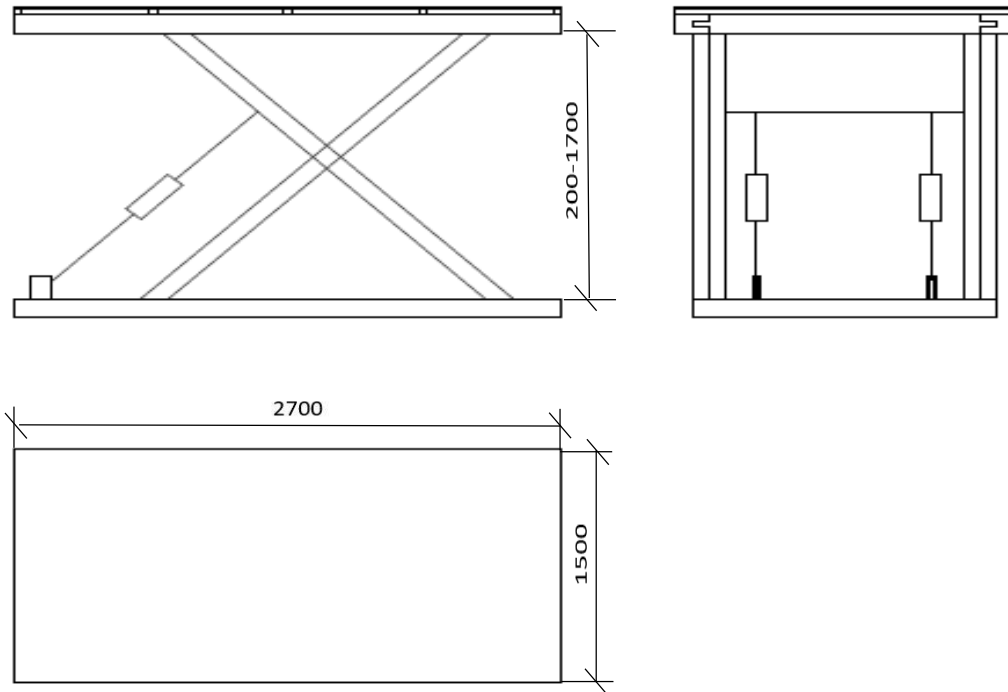


Fig. 3.1.1. Croquis mesa elevadora de tijera simple.

3.2- Accionamiento elegido.

La mesa elevadora se accionará mediante dos cilindros hidráulicos que se calcularán posteriormente, uno para cada par de barras de tijera. Se trata de un sistema conocido como electro-hidráulico, transforma la energía eléctrica en mecánica gracias a una transformación intermedia en energía hidráulica, es decir, mediante la acumulación de energía en un fluido. Lo más común dentro de la hidráulica es el uso de aceite como fluido transmisor se denomina oleo-hidráulica. Los actuadores principales son cilindros y motores hidráulicos cuyo funcionamiento se basa en el principio de Pascal.



Fig. 3.2.1 Sistema electro-hidráulico

3.3- Definición de hipótesis de carga.

La carga máxima a soportar es de 2000 Kg. por lo que se distribuyen 1000 Kg. en cada cilindro al ser simétrica en ese aspecto. Para calcular la fuerza ejercida sobre los cilindros y las barras de cada lado solo tenemos que multiplicar por la gravedad:

$$1000 [Kg] \times 9.8 [m / s^2] = 9800 [N]$$

El diseño de la mesa se hará analizando esta fuerza vertical de módulo 9800 N, aplicándola como una carga puntual para el cálculo de las barras, pasadores, ruedas, orejetas y los cilindros, y como una carga distribuida para el dimensionamiento de los largueros, travesaños y tablero.

Vamos a considerar 3 puntos de aplicación de la carga puntual por separado: en el primer caso se calcularán los DSL y los esfuerzos con la carga en el punto centrada en el medio de la longitud del tablero (número 1 de la Fig. 3.3.1), en el segundo caso la carga estará situada a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la mesa empezando por el lado del apoyo móvil de una barra de tijera (número 2 en la Fig. 3.3.1). Por último, consideramos la carga ubicada también a $\frac{1}{4}$ de la longitud de la mesa, pero en este caso empezando por el lado del apoyo fijo de la otra barra (número 3 en la Fig. 3.3.1).

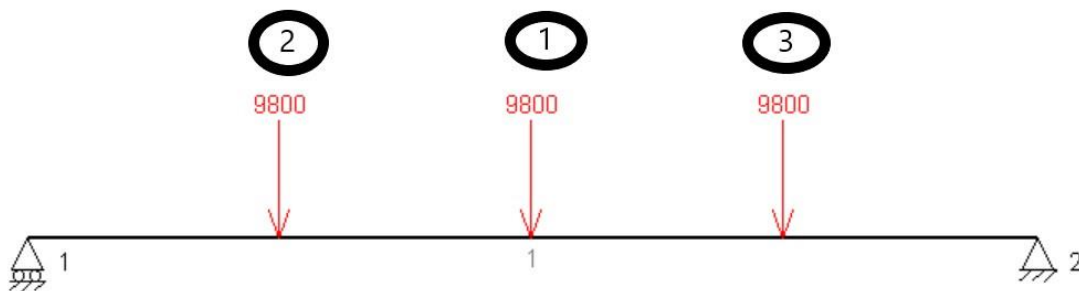


Fig. 3.3.1. Hipótesis de carga.

3.4- Criterios de fallo y materiales escogidos.

Para llevar a cabo el cálculo y el dimensionamiento de los componentes de la mesa elevadora se tendrá en cuenta el **Criterio de fallo del Cortante Máximo**, también conocido como Teoría de la tensión tangencial máxima (Criterio de Tresca). Éste nos dice que se predice la falla en el estado tensional combinado cuando la tensión de corte máxima alcanza un valor igual a la tensión de corte máxima en el momento de falla en el ensayo de tracción usando una probeta del mismo material. Esta teoría sólo es aplicable a materiales dúctiles. En resumen:

$$\tau_{\max} \geq \frac{\sigma_Y}{2} ,$$

siendo σ_Y el límite elástico del material de la pieza y τ_{\max} la tensión cortante máxima del punto considerado.

En cuanto al coeficiente de seguridad utilizado para todos los cálculos del diseño se ha escogido un **coeficiente de valor 2**, ya que, aunque hay múltiples criterios de elección que recomiendan elegir uno en torno a 2 o 3, no se ha creído necesario sobredimensionar la estructura para poder garantizar la seguridad de la estructura de la mesa elevadora.

Los materiales escogidos son:

-**Acero estructural laminado en caliente S 355 JR** para los perfiles de las barras, travesaños, largueros, tablero y orejetas. Este tipo de acero tiene un límite elástico de 355 MPa.

-**Acero galvanizado 42CD4**, mucho más resistente para los pasadores de las orejetas con límite elástico de 780 MPa.

4- Planteamiento de los diagramas de sólido libre y resolución en función de la altura de la mesa.

Todos los casos planteados a continuación para el cálculo y resolución de los diagramas de sólido libre en todos los puntos importantes del tablero, de las barras y del chasis han sido realizados y validados con el programa MEFI, y están reflejados en el Anexo I. Hallaremos los cálculos para las 3 hipótesis de carga diferentes y variando la altura desde los 0.2 m en estado replegado hasta los 1.7 m de altura de elevación de 0.5 en 0.5 m.

El procedimiento empieza calculando las reacciones en los puntos de apoyo de las barras con el tablero y desde ahí iremos calculando las demás reacciones en las barras para acabar hallando la fuerza del cilindro según la altura de la mesa. Al final veremos las fuerzas ejercidas por las barras sobre el chasis.

Para las distintas alturas de la mesa elevadora se tendrá en cuenta que el apoyo móvil del tablero se va desplazando hacia el apoyo fijo conforme la mesa sube hacia arriba, lo cual está calculado mediante las fórmulas necesarias en el Anexo I.

La longitud de las barras de tijera se ha calculado en estado replegado mediante el teorema de Pitágoras obteniendo el siguiente resultado:

$$L_{Barras} = \sqrt{2.5^2 + 0.2^2} = 2.508 \text{ m}$$

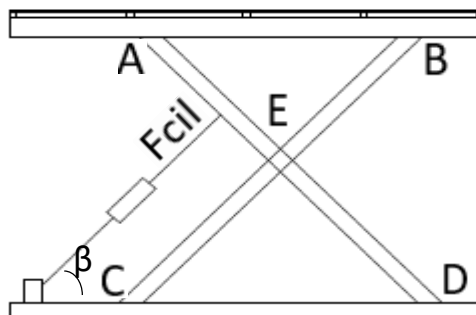


Fig. 4.0. Alzado mesa elevadora de tijera con puntos y ángulos importantes marcados.

4.1- Carga centrada.

En este caso la carga está aplicada en el centro de la longitud del tablero. Por trigonometría se halla el ángulo β (Anexo I), que es el que forma la barra que contiene a cada cilindro con la horizontal y la distancia entre apoyos en el tablero en función de la altura. También se puede calcular la fuerza del cilindro en función de la altura sabiendo el ángulo β .

Llamando “d” a la distancia entre apoyos del tablero, y que variaremos en función de la altura, repetimos los cálculos cada 0.5m de elevación de la mesa hasta llegar a los 1.7m de altura máxima. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

h	Ray	Rby	Rbx	RB	Rcy	Rex	Rey	Rdx	Rdy	RD	Fcil	FcilX	FcilY	β	d
0,2	4900	4900	0	4900	4900	0	9800	40953	4868	41241,3	42117	40953	9832	13,5	2,50
0,7	4712,8	5087,2	0	5087,2	5087,2	0	10174,4	12995	5056	13943,9	16295	12995	9831	37,11	2,41
1,2	4219,1	5580,9	0	5580,9	5580,9	0	11161,8	9267	5551	10802,4	13510	9267	9830	46,69	2,20
1,7	6664,4	3135,6	0	3135,6	3135,6	0	6271,2	8614	3106	9156,87	13070	8614	9829	48,77	1,84

Tabla 1. Resultados carga centrada

Para interpretar los resultados, se representan las reacciones en cada punto en función de la altura de elevación en la siguiente figura.

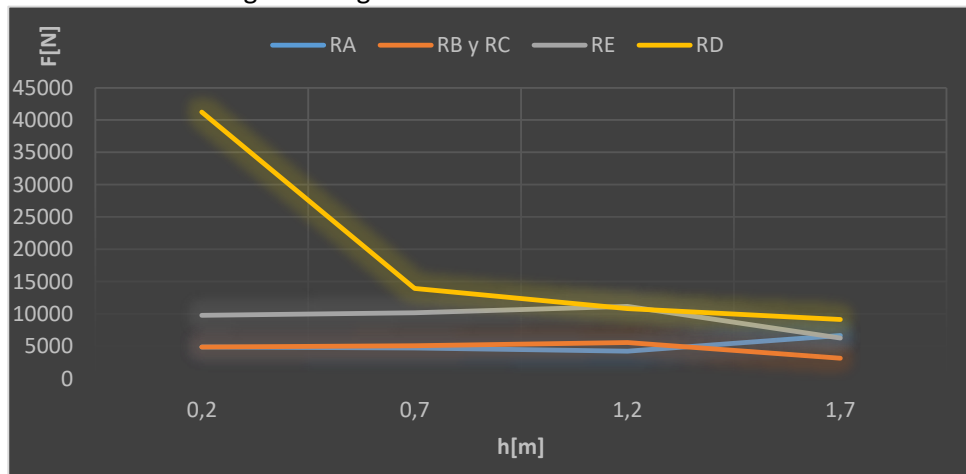


Fig. 4.1.5. Reacciones en los apoyos en función de la altura.

Al aumentar la altura de elevación, la resultante de las reacciones en el punto D disminuye considerablemente. B y C tienen la misma reacción vertical, que aumenta hasta que el punto de aplicación de la fuerza es tan cercano al punto A que éste absorbe casi toda la reacción, por lo que R_A aumenta en el último tramo de elevación. El punto E tiene siempre el doble de módulo de la fuerza de enlace de B y C ya que en la barra BC sólo hay reacciones verticales.

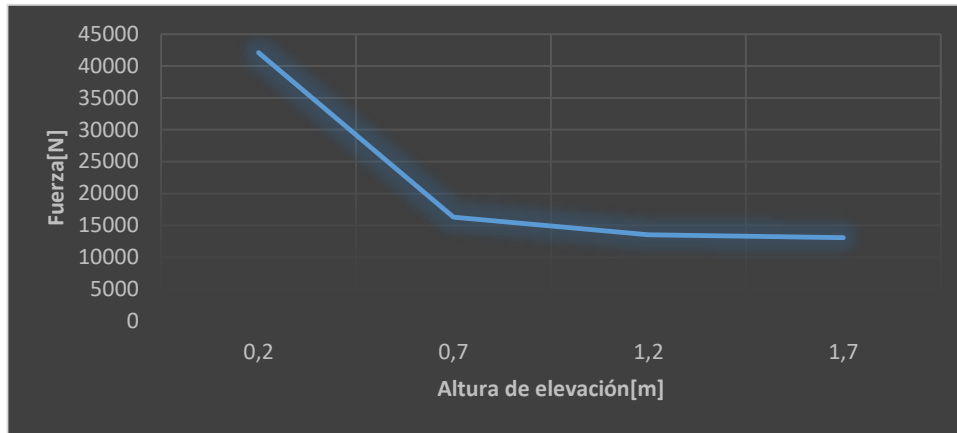


Fig. 4.1.6. Fuerza ejercida por el cilindro en función de la altura.

La resultante de la fuerza ejercida por el cilindro sobre la barra AD disminuye notablemente al aumentar la altura de elevación ya que su componente horizontal, la de mayor módulo, depende del coseno del ángulo que forma con la horizontal. Al aumentar la altura, el ángulo aumenta y el coseno disminuye con lo que el caso más desfavorable es cuando la tijera está replegada.

Ahora analizaremos las hipótesis de cargas descentradas tanto en la parte de los apoyos fijos como en la de los apoyos móviles.

4.2- Carga descentrada en la parte del apoyo móvil del tablero.

En este apartado trataremos el análisis de las partes realizadas anteriormente, pero con la modificación del punto de aplicación de la carga. Se situará en la parte del apoyo móvil de la barra en el tablero exactamente a $\frac{1}{4}$ de la longitud del tablero empezando por ese extremo.

Los resultados, calculados en el Anexo I y repitiendo los cálculos para las 4 alturas de elevación seleccionadas se muestran en la siguiente tabla.

h	Ray	Rby	Rbx	RB	Rcy	Rex	Rey	Rdx	Rdy	RD	Fcil	FcilX	FcilY	β	d
0,2	7350	2450	0	2450	2450	0	4900	40953	2418	41024,3	42117	40953	9832	13,5	2,50
0,7	7655	2145	0	2145	2145	0	4290	13007	2104	13176,1	16311	13007	9841	37,11	2,41
1,2	8371	1429	0	1429	1429	0	2858	9267	1398	9371,86	13511	9267	9831	46,69	2,20
1,7	9997	-197	0	-197	-197	0	-394	8614	226	8616,96	13070	8614	9829	48,77	1,84

Tabla 2. Resultados carga descentrada en el lado del apoyo móvil.

De forma similar a lo hecho en el apartado de la hipótesis de carga centrada, se representan las resultantes de las fuerzas de reacción en función de la altura de elevación.

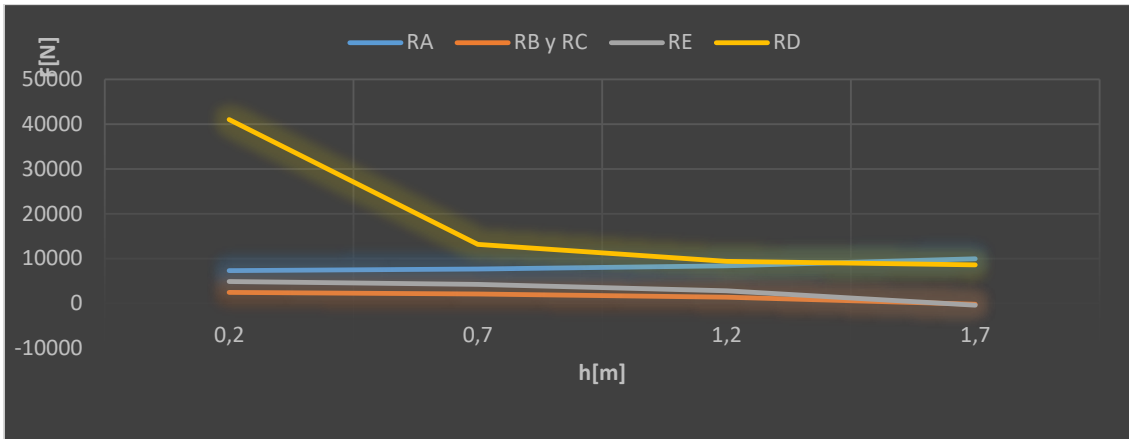


Fig. 4.2.5. Reacciones de los apoyos en función de la altura. Carga descentrada.

En este caso, la reacción del punto A aumenta cuando aumenta la altura porque, aunque desde que la mesa está replegada es mayor que la de B porque el punto de aplicación de la carga está más cerca de ella, conforme la mesa sube el apoyo móvil cada vez está más cerca de la carga y absorbe la mayor parte de ella en la reacción. Por otro lado, la reacción en el punto E que es la unión de las barras también disminuye proporcionalmente cuando disminuyen B y C al aumentar la altura de la mesa. La resultante de la reacción en el punto D, que es el apoyo fijo de abajo también disminuye igual que en la hipótesis de carga centrada.

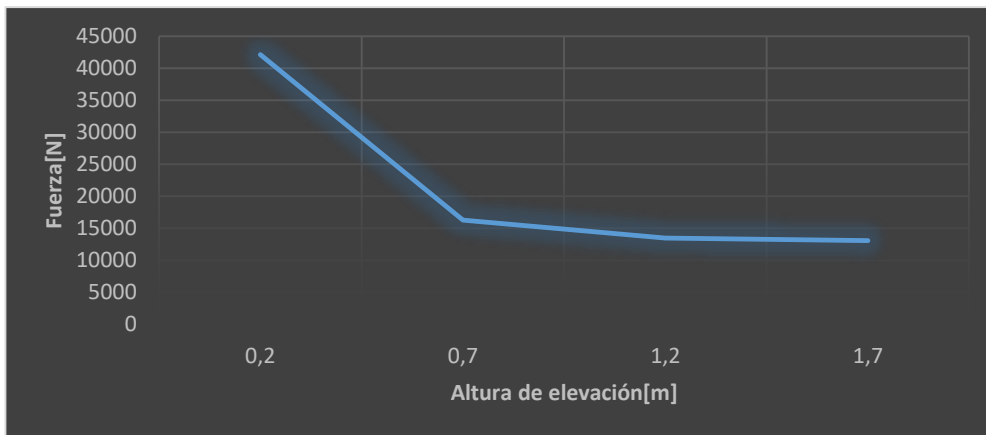


Fig. 4.2.6. Fuerza ejercida por el cilindro en función de la altura de elevación. Carga descentrada.

La fuerza ejercida por el cilindro en función de la altura es igual que en el caso anterior. Esto sucede porque en la fórmula para calcularla haciendo un ΣM en el punto D y despejando, se obtiene:

$$F_{cil} = \frac{L_{Barra} \times \left(R_{AY} + \frac{R_{EY}}{2} \right)}{\frac{3}{4} \times (d \times \sin \beta + h \times \cos \beta)}$$

Aquí vemos que, aunque las cargas tengan distinto punto de aplicación, la distancia entre apoyos "d" para su altura de elevación "h" correspondiente será siempre la misma y el ángulo también es el mismo para cada altura independientemente de la carga. La longitud de las barras de tijera es siempre 2,508.

Para cada hipótesis de carga la fuerza del cilindro variará dependiendo de R_{AY} y R_{EY} . No es así porque en el tablero siempre $R_{AY} + R_{BY}$ es igual a la carga. Con esto y teniendo en cuenta que R_{EY} es el doble de R_{BY} porque el punto E está situado en la mitad de la barra BC y de la AD, conseguimos, para cada altura, que la suma de R_{AY} y $R_{EY}/2$ sea siempre la misma, aunque varía el punto de aplicación de la carga.

4.3- Carga descentrada en la parte del apoyo fijo del tablero.

La última hipótesis de carga que se ha considera para el diseño de la mesa elevadora consiste en aplicar la carga en la zona opuesta del apartado anterior, es decir, a $\frac{1}{4}$ de la longitud del tablero empezando por el extremo dónde se encuentra el apoyo fijo.

Repitiendo los cálculos para las otras 3 alturas de elevación en el Anexo I obtenemos la siguiente tabla de resultados igual que en los dos casos anteriores.

h	Ray	Rby	Rbx	RB	Rcy	Rex	Rey	Rdx	Rdy	RD	Fcil	FcilX	FcilY	β	d
0,2	2450	7350	0	7350	7350	0	14700	40953	7318	41601,7	42117	40953	9832	13,5	2,50
0,7	2552	7248	0	7248	7248	0	14496	12995	7217	14864,6	16295	12995	9841	37,11	2,41
1,2	2792	7008	0	7008	7008	0	14016	9267	6977	11599,8	13511	9267	9831	46,69	2,20
1,7	3336	6464	0	6464	6464	0	12928	8614	6435	10752,2	13070	8614	9829	48,77	1,84

Tabla 3. Resultados carga descentrada en el lado del apoyo fijo.

Para ver mejor los resultados, representamos gráficamente las resultantes de las reacciones en función de la altura.

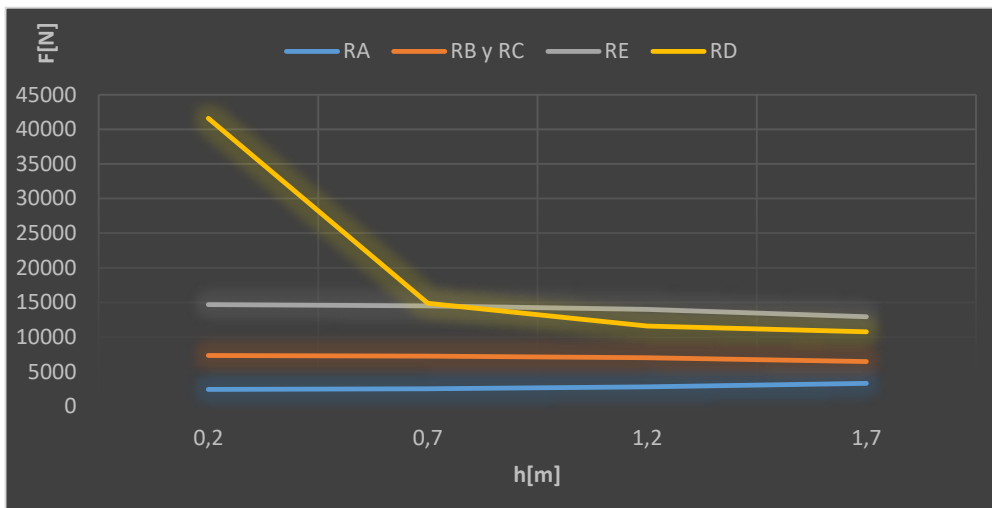


Fig. 4.3.5. Reacciones de los apoyos en función de la altura.

En este caso, la aplicación de la carga está mucho más cerca del punto B que del punto A por lo que B absorbe la mayor parte del módulo de la carga. El apoyo A se mueve hacia B al elevar la mesa y cada vez está más cerca de la carga, aunque no llega muy cerca de ella. Como ya se ha comentado anteriormente, la reacción en el punto E es el doble de B y C por lo que va disminuyendo proporcionalmente como disminuye B debido a que A aumenta al subir la mesa.

Para esta hipótesis de carga, igual que en los dos apartados anteriores, la fuerza del cilindro disminuye exactamente igual de la manera que se ha explicado en el otro apartado de carga descentrada.

5- Obtención de esfuerzos y dimensionamiento de componentes.

Ahora vamos a proceder con la obtención de esfuerzos y dimensionamiento de los distintos componentes que forman la mesa elevadora de tijera simple. Siempre se considerará el caso más desfavorable para cada uno de ellos. Igual que en los apartados anteriores, los cálculos resueltos de forma analítica se exponen en el Anexo I.

5.1- Tablero.

Con acero S 355 JR y coeficiente de seguridad 2 para todo el trabajo, calculamos el momento flector máximo para los dos siguientes supuestos.

- Caso 1: carga máxima superficial centrada

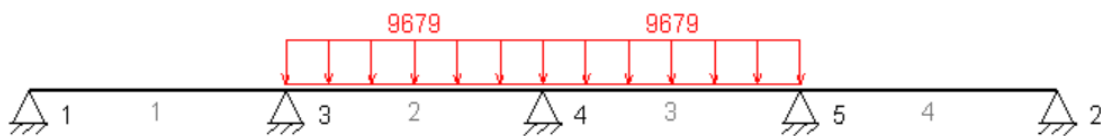


Fig. 5.1.1. DSL tablero carga superficial centrada.

- Caso 2: carga máxima superficial en un lado de la mesa

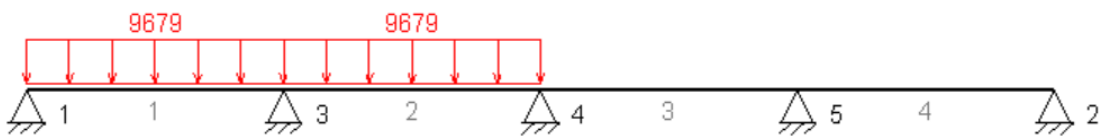


Fig. 5.1.2. DSL tablero carga superficial en un lado de la mesa.

El momento flector máximo lo hallamos gracias al MEFI (Anexo I) y se da en el segundo caso con un valor de 512 Nm por lo que calculando el espesor ya tenemos dimensionados estos componentes de la mesa.

Para evitar complicaciones y por dar un poco de margen al diseño, redondeamos y seleccionamos un tablero con las siguientes dimensiones:

Material	Longitud [mm]	Anchura[mm]	Espesor[mm]
Acero S 355 JR	2700	1500	5

5.2- Travesaños.

En los travesaños tenemos que elegir dos perfiles distintos debido a que 5 irán colocados en la parte superior de la mesa, para dar rigidez y situados justo debajo del tablero, y 2 se montarán en la parte inferior de la mesa.

- Travesaños parte superior

Para estos travesaños, igual que en el caso del tablero, se considera que el peor caso posible es cuando la carga total superficial se reparte sobre la mitad de ellos. En este caso los perfiles serán cuadrados huecos.

Con el diagrama de sólido libre del peor caso, gracias a MEFI sabemos el momento flector máximo y a partir de él calculamos el módulo resistente de dicho momento. W_z tiene un valor de 4500 mm^3 . De la siguiente tabla, ubicada en el Anexo I junto a los cálculos, buscamos un valor igual o mayor a nuestro W_z y conseguimos el perfil de nuestros travesaños de la parte superior.

Nuestros travesaños para la parte superior serían:

Material	b[mm]	e[mm]
Acero S 355 JR	40	3

- Travesaños chasis

Estos travesaños se van a calcular teniendo en cuenta la resultante de la reacción de la fuerza ejercida por los dos cilindros sobre ellos. El material utilizado es nuevamente el acero S 355 JR.

El momento total de cada cilindro se calcula multiplicando la fuerza ejercida por el cilindro por la distancia del origen al punto de aplicación de la fuerza al cuadrado por la distancia al segundo punto de aplicación y todo esto dividido entre la distancia total al cuadrado (Anexo I).

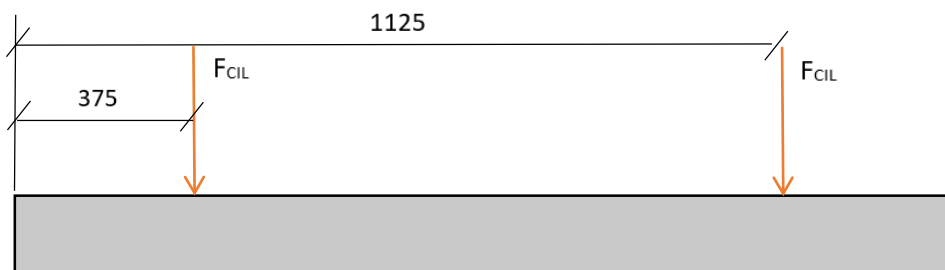


Fig. 5.2.4. Esquema de cargas en el travesaño del chasis.

El perfil escogido para los travesaños del chasis y el material son los siguientes:

Material	b[mm]	e[mm]
Acero S 355 JR	120	5

5.3- Largueros.

Para el cálculo y dimensionamiento de los largueros, utilizaremos también la carga distribuida en una mitad de la superficie del tablero. A diferencia de los travesaños, los largueros serán idénticos tanto en la parte superior de la mesa como en el chasis, utilizaremos un perfil UPN para poder apoyar las barras tanto de manera fija como de manera móvil. Los más solicitados serán los de la parte superior de la mesa considerando que la carga máxima es la mayor reacción de los travesaños en los puntos en los que se apoyan en los largueros.

Primero se han calculado las reacciones al apoyar los travesaños. Después los momentos flectores que se producen en los superiores (los más solicitados) y finalmente el módulo resistente correspondiente al flector máximo, todo ello reflejado en el Anexo I. Con este dato se acude a la tabla de perfiles rectangulares. Los largueros de nuestra mesa elevadora quedan de la forma:

Material	Perfil	h[mm]	b[mm]
Acero S 355 JR	UPN 140	60	7

5.4- Pasadores y orejetas.

Para el cálculo y dimensionamiento de las orejetas se procede a calcular el diámetro y el espesor del pasador, que será el mismo que el de la orejeta y posteriormente la anchura y espesor de la orejeta. Para ello se tendrá en cuenta la fuerza máxima ejercida por el cilindro sobre el pasador y que para cada cilindro se tienen dos orejetas y dos pasadores. Los pasadores serán de acero galvanizado 42CD4 y las orejetas de acero S 355 JR. El criterio de fallo para el acero galvanizado sigue siendo el Cortante Máximo.

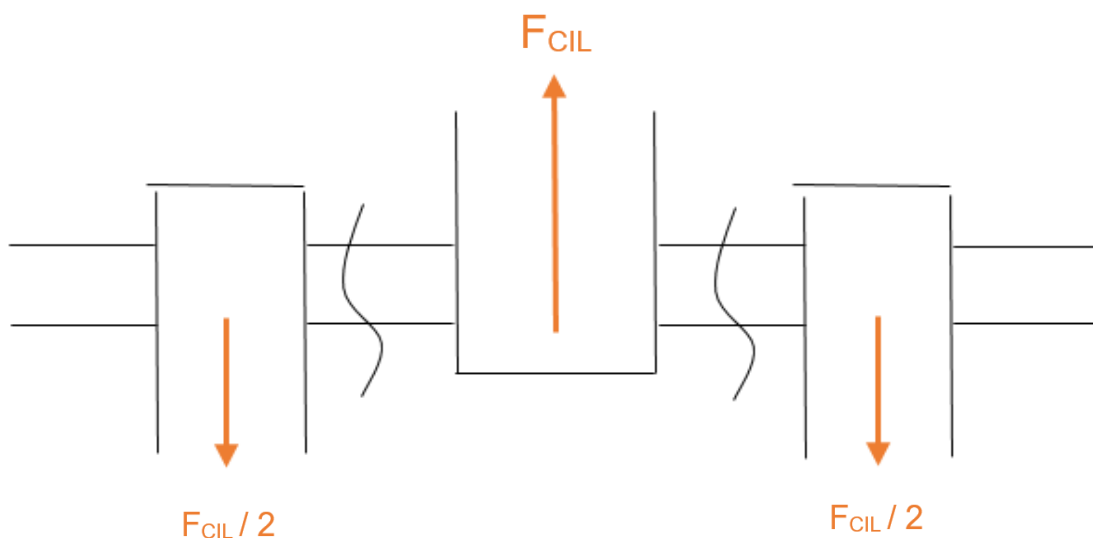


Fig. 5.4.1. Esquema fuerza cilindro sobre las orejetas.

- Ø Pasador / Ø Orejeta

Con la tensión máxima del acero galvanizado y la fuerza ejercida por el cilindro hallamos el diámetro, que es común a pasador y orejeta.

$$\varnothing = 11,65 \approx 12 \text{ mm}$$

- Espesor Pasador / Espesor Orejeta

Para el espesor tendremos en cuenta que podría sufrir aplastamiento, aunque una vez calculado en el Anexo I se ve que no es el caso. Nuestros pasadores son de esta manera:

Material	Ø[mm]	e[mm]
Acero galvanizado	12	10

- Anchura “b” de la orejeta

Se calcula a flexión (Anexo I), teniendo en cuenta tanto el momento flector como el axil producidos. Las orejetas de nuestra mesa elevadora serán:

Material	Ø[mm]	e[mm]	b[mm]
Acero S 355 JR	12	10	100

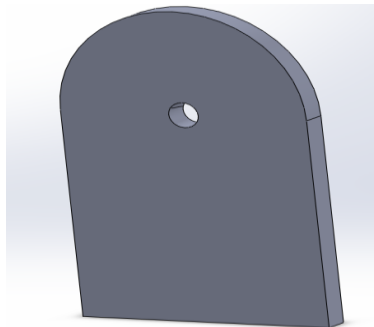


Fig. 5.4.2. Orejeta diseñada SolidWorks

5.5- Barras de tijera.

Para dimensionar los perfiles de las barras de la mesa elevadora, con el programa MEFI hemos observado que la sección más solicitada para las 3 hipótesis de carga y variando las alturas de elevación siempre era el punto dónde ejerce la fuerza el cilindro en la barra AD. Con estos datos se ha hecho una recopilación de esfuerzos axiales y momentos flectores para las 3 hipótesis de carga y en la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos.

h	CARGA CENTRADA		CARGA DESCENTRADA APOYO MÓVIL		CARGA DESCENTRADA APOYO FIJO	
	Nx	Mz	Nx	Mz	Nx	Mz
0,2	40310	2849500	40617	4465000	40236	5091000
0,7	1424,5	3072500	2251	4855000	10560	4630000
1,2	6103,5	3069900	4656	5358000	5420	3619000
1,7	6908,4	4698500	9167	6234000	4625	3164000

Tabla 4. Esfuerzos axiales y momentos flectores para las distintas hipótesis de carga.

De aquí vemos que los casos más desfavorables están señalados en rojo y en base a ellos se va a dimensionar el perfil de las barras. En uno de ellos, a la máxima altura de elevación se trabaja a flexión y el momento flector es muy elevado. En la otra situación, con la mesa replegada completamente, se trabaja a compresión y el esfuerzo axial es muy alto. Estos son los dos casos para los que vamos a dimensionar las barras de tijera y escogeremos el más restrictivo. Los cálculos se incluyen en el Anexo I.

- Caso 1: h=1.7m carga descentrada en el lado del apoyo móvil.

Escogemos el perfil rectangular hueco de dimensiones 100x80x4.

- Caso 2: h=0.2m carga descentrada en el lado del apoyo fijo.

Escogemos el perfil rectangular hueco de dimensiones 100x60x5.

El mayor perfil de los dos es el del primer caso por lo que nuestras barras de tijera quedarán de la siguiente manera dimensionadas en base a los cálculos del Anexo I:

Material	a[mm]	b[mm]	e[mm]	Longitud[mm]
Acero S 355 JR	100	80	4	2.508

Para la Tabla 4 expuesta anteriormente en este apartado, se han añadido los cálculos de las tensiones para cada altura de las 3 hipótesis de carga expuestas, todo ello en Excel, por lo que queda de esta manera el estudio de las mayores tensiones en las barras para el perfil seleccionado:

h	CARGA CENTRADA			CARGA DESCENTRADA A			CARGA DESCENTRADA B		
	Nx	Mz	σ	Nx	Mz	σ	Nx	Mz	σ
0,2	40310	2849500	107,137341	40617	4465000	161,281207	40236	5091000	167,336657
0,7	1424,5	3072500	83,6732527	2251	4855000	145,737561	10560	4630000	132,462366
1,2	6103,5	3069900	87,1480572	4656	5358000	171,107918	5420	3619000	101,391007
1,7	6908,4	4698500	131,5374	9167	6234000	174,525342	4625	3164000	88,5575513

Tabla 5. Tensiones en el perfil seleccionado para la barra AD.

Para ver la evolución real de la tensión en función de la altura y la hipótesis de carga se representa el siguiente gráfico.

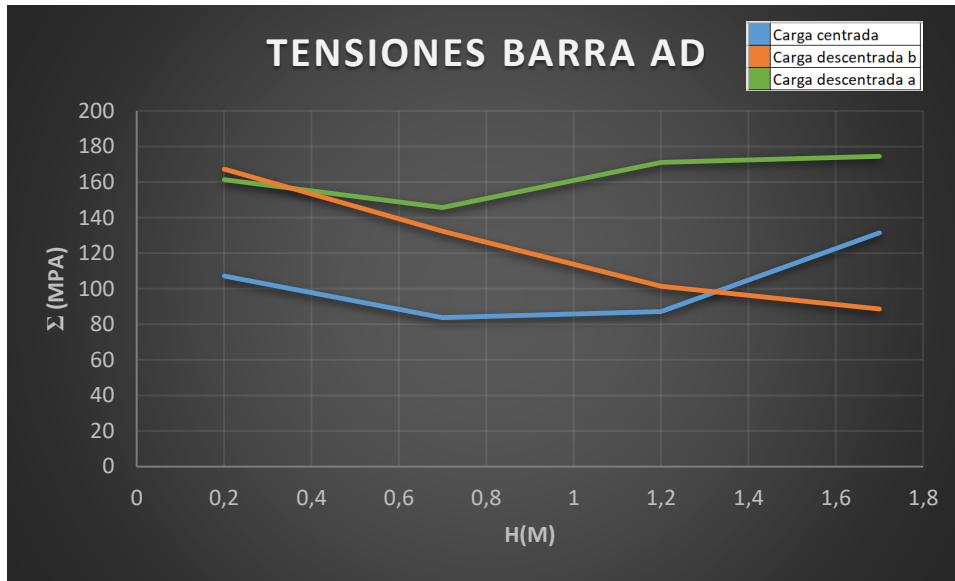


Fig. 5.5.4. Gráfico de evolución de las tensiones en función de la altura de elevación.

Cuando la carga está aplicada en el centro de la superficie del tablero, las barras trabajan a compresión mientras el apoyo móvil se va acercando al punto de aplicación de la carga. Llega un momento en el que el apoyo está muy cerca de la carga y se empieza a trabajar a flexión por lo que la tensión aumenta porque el acero es un material que trabaja mejor a compresión que a flexión y al elegir un perfil hueco todavía más. Si la carga está descentrada en el lado del apoyo fijo, la tensión es muy elevada si la tijera está replegada, pero a medida que sube hacia arriba la tensión disminuye porque al apoyo A se va acercando a dónde se encuentra la carga y se trabaja sólo a compresión con un vano muy pequeño. El caso contrario es cuando la carga está situada cerca del apoyo móvil, al principio se acerca el apoyo a la carga para trabajar a compresión, luego aparece la flexión y con ello el momento flector, lo que hace que aumente considerablemente y más aún cuando la carga deja de estar entre los dos apoyos y acaba en un voladizo. Si la mesa tuviera mayor altura de elevación podría acabar volcando pero se observa que para nuestro caso no se supera nunca la $\sigma_{m\acute{a}x}$ del material elegido con CS de 2.

5.6- Cilindro hidráulico.

Para dimensionar cada uno de los dos cilindros hidráulicos, primero tenemos que calcular la carrera del cilindro y se va a hacer por trigonometría. Después hallaremos el diámetro del pistón y por último el diámetro del vástago.

- Carrera del cilindro:

Para hallar la carrera del cilindro de nuestra mesa elevadora de tijera simple, calculamos la L_{CIL} para la altura de elevación máxima, que es cuando la mesa está estirada completamente, y la L_{CIL} para la altura mínima de la mesa, que es cuando la mesa está replegada del todo. La carrera para cada uno de los dos cilindros hidráulicos de nuestro diseño se obtiene con la diferencia entre ambas L_{CIL} .

$$Carrera\ Cilindro = L_{CIL\ MÁX} - L_{CIL\ MÍN} = 1.695 - 0.643 = 1.052\ m$$

- Diámetro del pistón:

Para calcular este diámetro, lo primero es fijar una presión de trabajo para el cilindro que es de 70 bar, lo que equivale a 7 MPa. Ahora utilizamos la siguiente fórmula para despejar el diámetro del pistón, teniendo en cuenta que la F_{cil} es la máxima calculada en apartados anteriores. Las fórmulas aplicadas se pueden ver en el Anexo I.

Gracias al catálogo del fabricante de cilindros hidráulicos SMC podemos escoger el que cumple con nuestras especificaciones.

MODELO	Carrera[mm]	Presión[MPa]	Diámetro pistón[mm]	Diámetro vástago[mm]
CH2F SERIE B	1052	7	100	56

5.7- Ruedas.

Para calcular las ruedas que soporten la carga máxima de nuestra mesa elevadora de tijera simple, se escoge la peor situación posible de solicitud de los apoyos en el chasis de la mesa, se calculan las reacciones en los puntos donde irán situadas las ruedas, y se calcula el peso necesario a soportar por cada una de ellas.

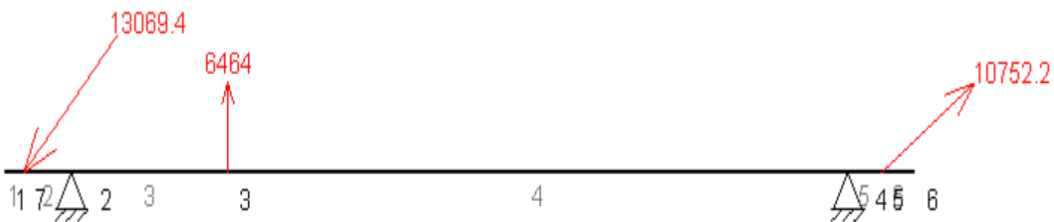


Fig. 5.7.1. DSL caso más desfavorable para el chasis.

Ahora nos fijamos en las reacciones verticales en los apoyos, que serán las ruedas y pondremos dos en cada lado de la mesa a 0.2 m de los extremos.

El tope del peso que soporta el chasis calculado en el Anexo I es de 836.44 Kg por lo que seleccionaríamos las siguientes ruedas del catálogo para nuestra mesa elevadora.

SERIE HLB-HG

Ruedas con núcleo de acero y banda de goma negra natural. Especialmente indicada para soportar altas cargas de hasta 850 Kg.


Se aplica en útiles de transporte logístico, gradas móviles, utillaje, grúas que transportan materiales pesados así como plataformas elevadoras, logística interna, carros de transporte.

Principalmente en el sector aeronáutico, ferroviario y automoción.

HG: Rueda apropiada para tracción mecánica. Máxima protección de los suelos. Rodadura suave y silenciosa. (Carretillas elevadoras, remolques etc...). Industria en general.

[← Volver](#)

[↔ Ver Comparativa](#)








































SERIE HLB-HG											
Código				Tipo cojinete Eje							
2-0453	100	200	38		150x110	105x80	10	180	90		
2-0454	125	250	38		150x110	105x80	10	183	108		
2-1951	150	400	50		150x110	105x80	10	200	121		
2-1952	200	600	50		150x110	105x80	10	249	155		
2-2289	250	700	50		150x110	105x80	10	315	197		
2-1953	250	700	50		180x170	150x135	16	315	197		
2-3563	250	750	75		180x170	150x135	16	315	197		
2-0983	300	750	50		180x170	150x135	16	380	230		
2-3584	300	850	75		180x170	180x170	16	380	230		

Fig. 5.7.2. Catálogo de ruedas Alex para maquinaria de elevación industrial.

En nuestro caso, escogemos el modelo seleccionado en rojo en la figura anterior, ya que con los 5 Kg de más que soporta cada una de las 4 ruedas, se compensa el peso de la estructura de nuestra mesa elevadora de tijera simple.

6- Modelización y análisis con Solid Works.

En esta parte vamos a repetir el análisis y dimensionamiento de las siguientes partes de la mesa elevadora: parte superior, formada por el tablero, los travesaños y los largueros, barra "AD" (barra de tijera más solicitada en cuanto a esfuerzos) y chasis, formado por los travesaños con las orejetas y los largueros. Todo esto simulado con el Software en 3D SolidWorks, del que se hace una breve introducción en el Anexo I. Vamos a trabajar con las 3 hipótesis de carga que se exponen al principio y variando en función de la altura de la mesa.

6.1- Parte superior.

Aquí vamos a mostrar las deformaciones y tensiones máximas producidas en la parte superior de la mesa al aplicar la carga distribuida de 19800 N sobre la cara 1/3 de la parte de arriba del tablero (carga centrada, lado derecho o lado izquierdo), que apoya sobre 5 travesaños de perfil cuadrado calculado anteriormente. Estos travesaños están encima de 2 largueros de perfil UPN también calculados en el punto anterior.

Después de simular en función de la altura y del punto de aplicación de la carga (Anexo I), el peor caso posible es con la tijera replegada y la carga centrada ya que está ubicada lejos de los apoyos de ambos lados. La fecha máxima en milímetros y la tensión máxima de Von Mises en Pascales se representan en las siguientes imágenes.

	Tensión Von Mises Máxima [Pa]	Desplazamiento máximo [mm]
Carga centrada replegada	3,10E+08	1,13E+01
Carga centrada estirada	2,63E+08	8,152
Carga descentrada apoyos fijos replegada	3,39E+08	7,632
Carga descentrada apoyos fijos estirada	3,22E+08	6,827
Carga descentrada apoyos móviles replegada	2,88E+08	8,326
Carga descentrada apoyos móviles estirada	3,16E+08	9,436

Tabla 6 Resumen simulaciones Solid Works parte superior de la mesa.

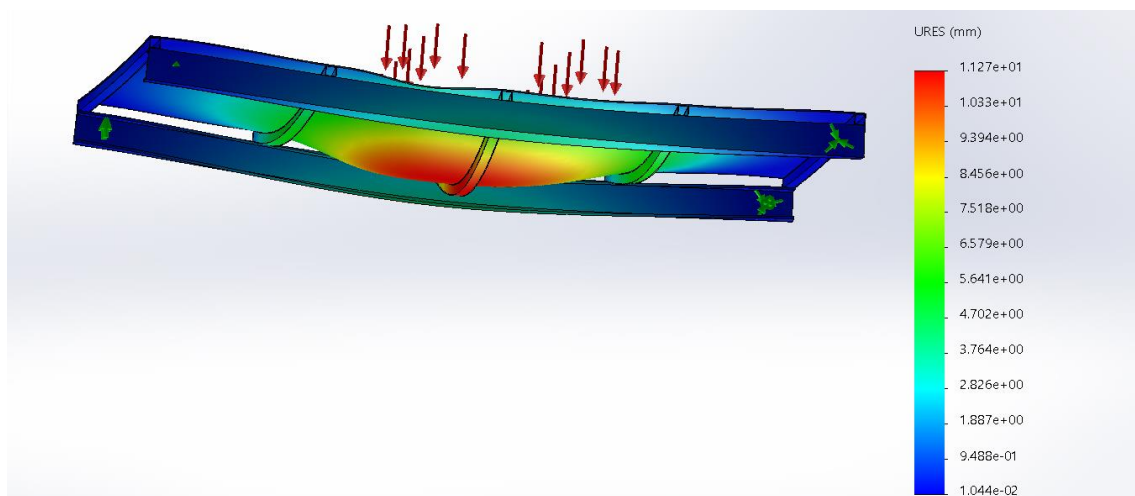


Figura 6.1.1. Desplazamiento máximo Carga Centrada Tijera Replegada

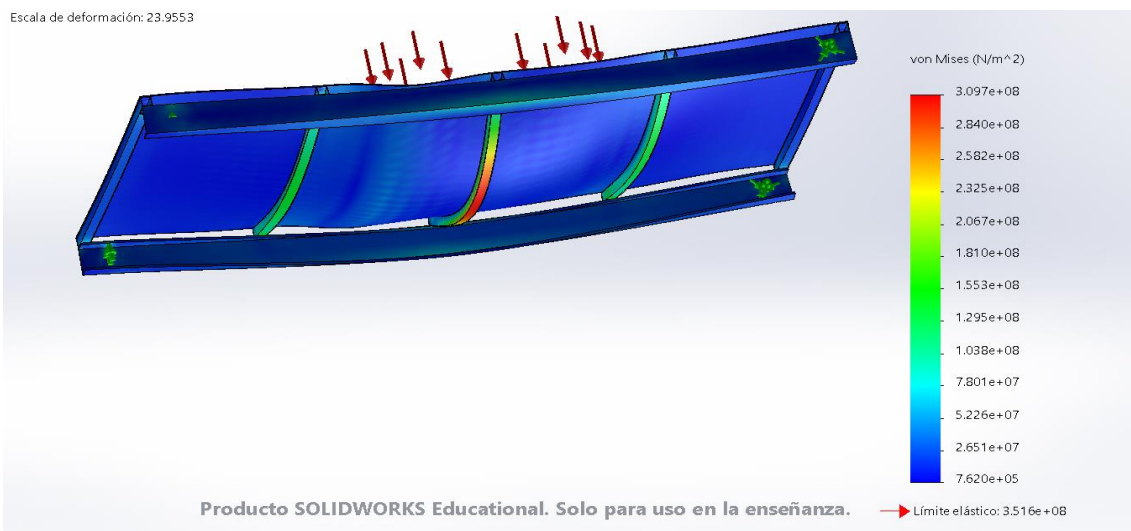


Figura 6.1.2. Tensión máxima Von Mises Carga Centrada Tijera Replegada

Aunque el material puede resistir la carga, el desplazamiento máximo es inadmisibles por lo que se propone como solución añadir 2 travesaños más hasta llegar a un total de 7. De esta manera se aporta más rigidez a la estructura y el desplazamiento vertical provocado por la fuerza disminuye considerablemente hasta un valor razonable cercano a la flecha máxima permitida de 6,7mm. También se producen tensiones menores en el tablero y travesaños. El problema puede ser el ensamblaje del conjunto y que para su dimensionamiento no se ha utilizado la misma carga distribuida que en este caso.

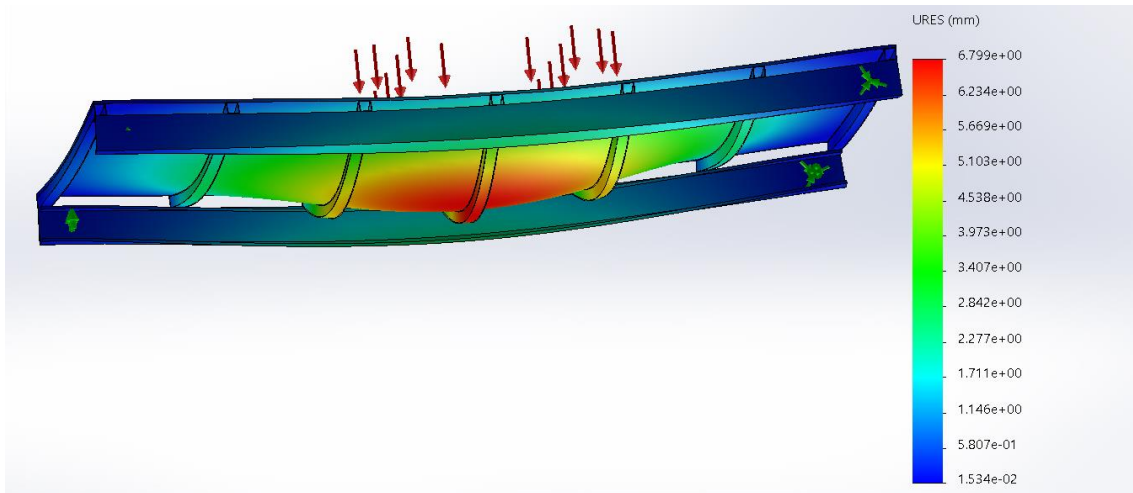


Figura 6.1.3. Desplazamiento máximo Carga Centrada Tijera Replegada (7 travesaños)

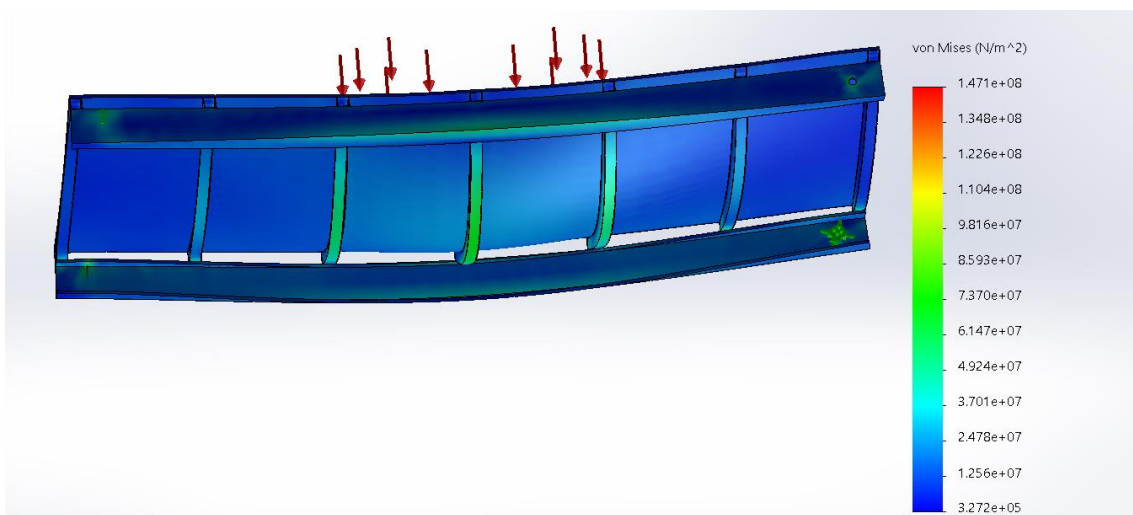


Figura 6.1.4. Tensión máxima Von Mises Carga Centrada Tijera Replegada (7 travesaños)

6.2- Barra de tijera más solicitada.

La barra de tijera que vamos a analizar es la que hemos denominado "AD". En esta barra, aparte de las fuerzas surgidas de los apoyos tanto en el chasis como en el larguero superior, se ejerce la fuerza generada por el cilindro hidráulico. Para hacer esta simulación, se han proyectado todas las fuerzas a los ejes locales de la barra y también se han evaluado los casos posibles en función de la altura de elevación y la aplicación de la carga (Anexo I).

	Tensión Von Mises Máxima [Pa]	Desplazamiento máximo [mm]
Carga centrada replegada	1,07E+08	1,98E+00
Carga centrada estirada	9,02E+07	2,58E+00
Carga descentrada apoyos fijos replegada	1,067E+08	1,00E+00
Carga descentrada apoyos fijos estirada	6,61E+07	1,48E+00
Carga descentrada apoyos móviles replegada	1,27E+08	3,40E+00
Carga descentrada apoyos móviles estirada	1,21E+08	4,09E+00

Tabla 7 Resultados Simulaciones SolidWorks barra AD

El caso más crítico para la barra en cuanto a desplazamientos es cuando la mesa está estirada y la carga está en el lado del apoyo móvil. Aun así, no es nada preocupante ya que es mínimo comparado con las dimensiones totales de la mesa.

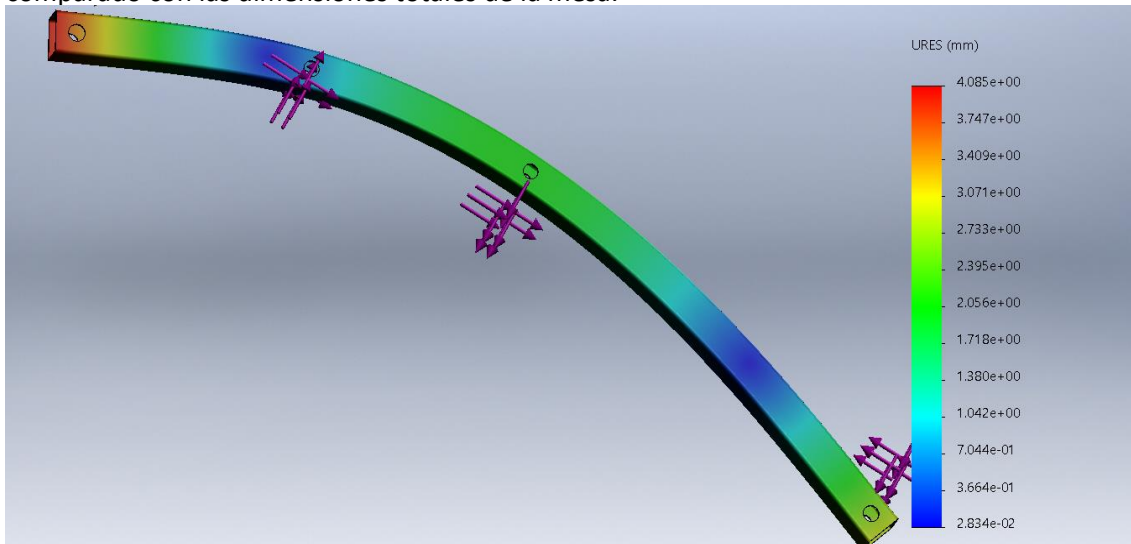


Figura 6.2.1. Desplazamiento máximo Carga Centrada lado apoyo móvil Tijera Estirada

En cuanto a tensiones máximas, se dan también con la carga distribuida en el lado del apoyo móvil. En este caso la mesa está replegada y son menores que el límite elástico del material.

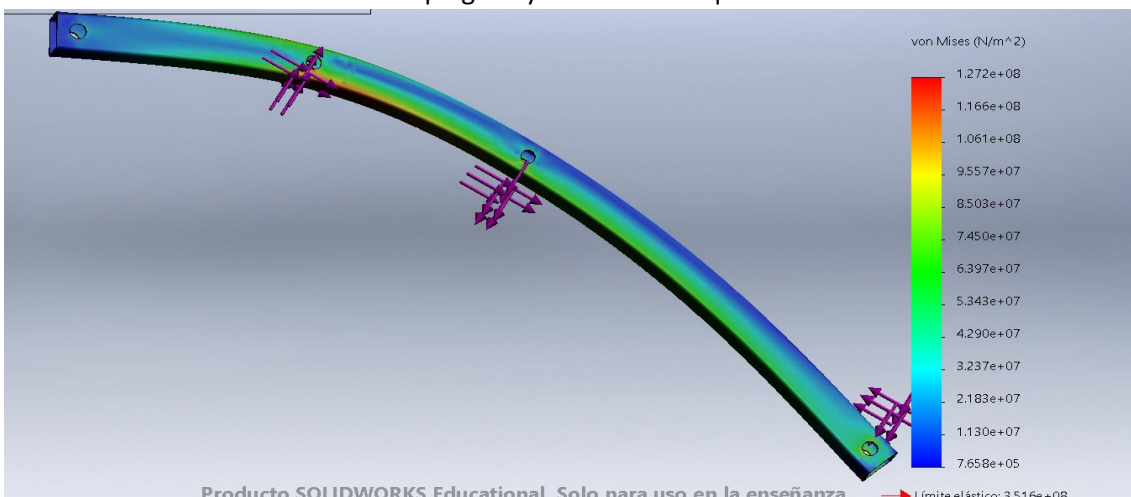


Figura 6.2.2. Tensiones máximas Von Mises Carga Descentrada izq. Tijera Replegada

De esta manera podemos concluir que las barras de tijera están adecuadamente dimensionadas para resistir la carga máxima que se podría poner sobre la mesa elevadora ya que con un factor de seguridad de 2 cumple tanto en tensiones como desplazamientos con los requerimientos asignados al principio.

6.3- Chasis.

Por último, vamos a analizar las tensiones y desplazamientos en la parte inferior de la mesa elevadora, formada por dos largueros como los de la parte superior, dos travesaños iguales y cuatro orejetas sobre uno de ellos. También vamos a usar cuatro tacos que nos sirven como apoyos y es dónde van a ir las ruedas. A continuación, se muestra la tabla resumen para ver en qué posición sufre más la mesa.

	Tensión Von Mises Máxima [Pa]	Desplazamiento máximo [mm]
Carga centrada replegada	2,25E+08	7,39E+00
Carga centrada estirada	6,91E+07	2,74E+00
Carga descentrada apoyos fijos replegada	2,26E+08	7,40E+00
Carga descentrada apoyos fijos estirada	7,16E+07	2,90E+00
Carga descentrada apoyos móviles replegada	2,25E+08	7,38E+00
Carga descentrada apoyos móviles estirada	6,69E+07	2,61E+00

Tabla 8 Resultados Simulaciones SolidWorks chasis.

Observamos que el caso más crítico se produce cuando la carga está situada en el lado de los apoyos fijos y la tijera replegada completamente. Aunque son tensiones importantes, el material aguanta sin problemas. En cuanto a los desplazamientos, habría que tener cuidado para que no aumentaran más y así dar por válido el diseño de la mesa elevadora.

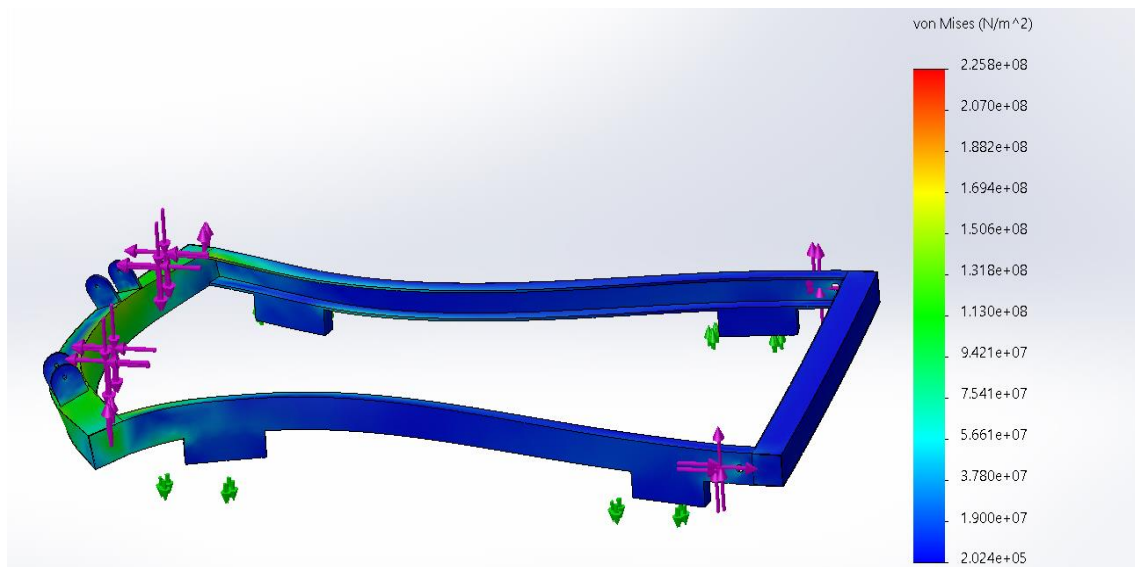


Figura 6.3.1. Tensiones máximas Von Mises Carga Descentrada dcha. Tijera Replegada

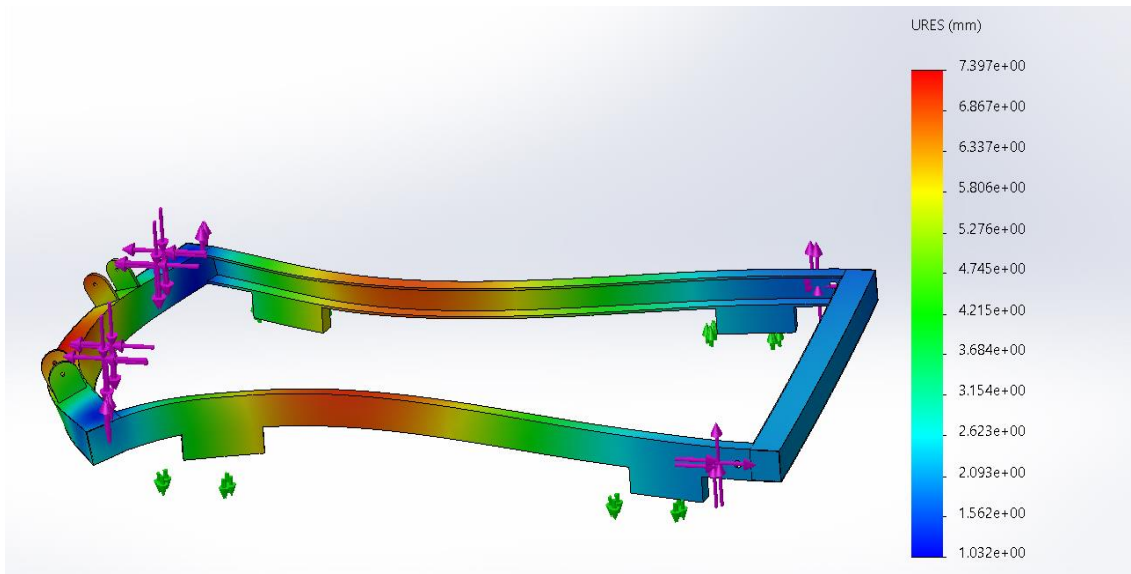


Figura 6.3.2. Desplazamientos máximos Carga Descentrada dcha. Tijera Replegada

7- Conclusión.

Dimensionar una mesa elevadora de tijera simple me ha parecido más difícil de lo que hubiera imaginado. Está claro que hoy en día con toda la tecnología que existe a nuestro alcance se simplifican mucho las cosas, pero a pesar de ello sigue siendo un proceso muy complicado y costoso desde el punto de vista matemático o de la ingeniería de materiales.

Por otra parte, me ha parecido un trabajo muy interesante ya que a pesar de llevar dos años trabajando en una empresa con este tipo de maquinaria, nunca había profundizado tanto en el tema. Es un mundo que me gusta y en el que intentaré seguir aprendiendo porque son mecanismos muy útiles para la elevación de cargas pesadas y también sirven para trabajar sobre la parte inferior de una máquina con mayor comodidad que si está apoyada en el suelo.

Me ha servido un poco la base adquirida en las asignaturas de Resistencia de materiales o Criterios de Diseño de Máquinas ya que sin ellas hubiera sido mucho más complicado entender el funcionamiento del problema planteado. Es importante resaltar que después de hacer el predimensionado más analítico, al simularlo después con SolidWorks, del que he aprendido bastante a manejar y entender, cambian un poco los resultados debido a que en el ensamblaje se consideran las estructuras en conjunto.

Por último, comentar que el problema está muy simplificado y que podría haber sido mucho más complejo añadiendo barras de tijera o cualquier otro elemento. A pesar de ello es mejor empezar de esta manera que con algo más difícil de primeras porque hay que entender todo el funcionamiento para poder añadir dificultades a posteriori. Ha sido algo un poco relacionado con una gran parte de la carrera y me alegra acabarla igual que la empecé: aprendiendo.

8- Bibliografía.

Información sobre mesas elevadoras de tijera.

http://www.edmolift.es/what_is_a_lift_table.aspx

<https://www.tecnoelevacion.com/mesas-elevadoras-accionamiento.html>

<http://www.mesa-elevadora.com/mesas-elevadoras.htm>

Criterios iniciales del diseño.

<http://metalsystem.es/mesas-elevadoras/simple-tijera/>

<http://metalsystem.es/wp-content/uploads/2017/12/Plataforma-MS-Acero-Pintado-20-15-14-con-báscula-800px.jpg>

Definición de hipótesis de carga.

<http://www.elrincondelingeniero.com/Coeficientes+de+seguridad>

Criterios de fallo y materiales escogidos.

https://es.wikipedia.org/wiki/Teorías_de_fallo

Obtención de esfuerzos y dimensionamiento de componentes.

<https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#heb>

https://www.plakaagroup.com/getmedia/d0ff69c1-1aec-4dab-90e8-1e9006f9f5b6/01-008-TITAN-TECHNIQUE_ES_LR.pdf

<https://www.alex.es/productos/0-ruedas-de-alta-capacidad/0-serie-hlb-ft/118>

SolidWorks.

<https://www.arquiparados.com/t786-curso-tutorial-de-solidworks-en-espanol-aprende-desde-cero>