



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

DISEÑO, CÁLCULO Y MODELADO DE UNA GRÚA PARA PERSONAS DEPENDIENTES

Autor

D. Oscar Lobera Salazar

Director

D. Javier Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2016

Agradecimientos.

En primer lugar quisiera expresar mi agradecimiento al director de este trabajo de fin de grado, D. Javier Abad Blasco, por su orientación y por la paciencia que ha mostrado a la hora de atender cada una de mis consultas. Su labor ha supuesto una ayuda inestimable para la finalización del mismo.

También quiero aprovechar estas líneas para agradecer a la residencia de la tercera edad Casa Amparo de Alagón y en especial, a sus trabajadores por permitirme hacer uso de sus equipos y darme las pautas necesarias para su correcta utilización.

Finalmente, no puedo dejar de agradecer a mi gran familia y amigos por la paciencia y comprensión que han mostrado en los momentos de mayor presión, y por su apoyo incondicional en todos y cada uno los proyectos que he decidido emprender a lo largo de mi vida.

Gracias a todos.



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).

D./D^a. Oscar Lobera Salazar,

con nº de DNI 25.459.001-W 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)

DISEÑO, CÁLCULO Y MODELADO DE UNA GRÚA PARA PERSONAS
DEPENDIENTES

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

Zaragoza, 1 de Febrero de 2.016

Fdo: Oscar Lobera Salazar

ÍNDICE

1. ANTECEDENTES.....	1
2. OBJETO DEL PROYECTO.....	1
3. ESTUDIO DE LAS GRÚAS MÓVILES SANITARIAS.....	1
3.1. GRÚAS MÓVILES CON ARNÉS.	2
3.2. GRÚA DE BIPEDESTACIÓN.	3
3.3. GRÚAS MÓVILES CON CAMILLA.	4
3.4. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.	5
4. DISEÑO BÁSICO DE LA GRÚA.	6
4.1. GEOMETRÍA.....	6
5. CÁLCULOS ANALÍTICOS.	8
5.1. CONDICIONES DE CÁLCULO.	8
5.2. MATERIALES.....	8
5.3. RELACIONES GEOMÉTRICAS.....	9
5.4. BRAZO.....	10
5.5. ACTUADOR LINEAL.	13
5.6. COLUMNA.....	16
5.7. PATAS.	19
5.8. TRAVESAÑO.....	20
5.9. RUEDAS.....	22
5.10. PERCHA.	24
5.11. PASADORES.....	25
5.12. COMPROBACIÓN CON SOFTWARE MEFI.....	28
6. MODELADO Y ANÁLISIS ESTÁTICO.....	34
6.1. PERCHA.	34
6.2. BRAZO.....	39
6.3. COLUMNA.....	45
6.4. TRAVESAÑO.....	54
6.5. PATAS.	61
6.6. PEDAL.	68

7. COMPROBACIÓN AL VUELCO.	74
8. ENSAMBLAJE FINAL DE LA GRÚA.	76
9. MANUAL DE OPERACIÓN DE LA GRÚA.	78
10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.	80
11. RESUMEN FINAL.	82
12. BIBLIOGRAFIA.	83
13. ANEJOS.	85
13.1. ACTUADOR LINEAL.	
13.2. RUEDAS.	
13.3. PASADORES.	
13.4. ROTULAS.	
13.5. TABLAS DE TUBOS CUADRADOS Y RECTANGULARES.	

1. ANTECEDENTES.

El presente estudio se redacta por D. Oscar Lobera Salazar como trabajo final de grado de la titulación de Grado en Ingeniería Mecánica, impartida en la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

2. OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este trabajo consiste en diseñar y analizar la estructura de una grúa de elevación y traslado de pacientes. Este tipo de mecanismos es de gran utilidad en residencias, hospitales y también en domicilios particulares.

La finalidad de estas grúas es facilitar el traslado y transferencia del paciente con seguridad, reduciendo el riesgo de lesiones tanto del enfermo como de su cuidador. De esta manera se pueden ahorrar importantes costes en bajas laborales, mejorar la calidad de vida de los trabajadores y ofrecer una atención sanitaria de calidad.

3. ESTUDIO DE LAS GRÚAS MOVILES SANITARIAS.

Las grúas para atención a personas dependientes disponen de una base con ruedas, permitiendo su uso en cualquier sitio donde haya espacio suficiente para la maniobra. Disponen de frenos en las ruedas traseras. Por motivos de estabilidad, el brazo de la grúa no gira respecto de la base y habitualmente son plegables o desmontables para facilitar su almacenamiento y transporte.

La mayor ventaja de este tipo de grúas es que pueden moverse con facilidad a cualquier estancia donde sean necesarias, por contra es necesario disponer del espacio suficiente para realizar las maniobras de transferencia. Otro condicionante son sus patas que limitan su uso en elementos grandes sin espacio libre bajo ellos, tales como las bañeras normales.

Los principales usos de estas grúas son:

- Transferencias: para mover a las personas de una superficie a otra, por ejemplo, levantarlas de la cama y sentarlas en una silla de ruedas, colocarlas en el inodoro o situarlas sobre la ducha.
- Traslado: cuando es necesario llevar a una persona a otra estancia.

- Elevación desde el suelo: en caso de una caída o en las salas de fisioterapia y rehabilitación.

3.1. Grúas móviles con arnés.

Poseen una base que permite su apertura para poder acercarse a elementos anchos, tales como las sillas de ruedas. La persona va suspendida en el arnés. Son indicadas para personas con movilidad ausente o reducida en las piernas y personas de peso elevado que puedan permanecer en posición de sentado. Permiten una amplia variedad de transferencias.

Ventajas:

Permiten hacer transferencias en cualquier sitio al que se pueda acceder y donde haya espacio suficiente para maniobrar.

Inconvenientes:

Necesitan disponer de suficiente espacio libre para poder maniobrar. No permiten hacer transferencias a bañeras convencionales ni a otros dispositivos que no tengan una apertura inferior donde quepan las patas de la grúa o que no se puedan rodear por ellas.



Imagen 1.- Grúa de elevación móvil con arnés.

3.2. Grúa de bipedestación.

Son grúas móviles para la transferencia de personas en posición incorporada, habitualmente incluyen un apoyo para los pies y las tibias. La sujeción de la persona suele ser con un arnés que la rodea por debajo de las axilas. Muchos modelos tienen unas asas donde la persona se sujeta durante la transferencia y el traslado. Están indicadas para transferencias de sentado a sentado.

Ventajas:

Permiten hacer las transferencias de forma muy rápida y sencilla. Son muy prácticas para el cambio de pañales del paciente. Ocupan poco espacio y son fáciles de transportar.

Inconvenientes:

Están contraindicadas en personas con problemas óseos con riesgo de fractura, requieren una cierta capacidad muscular en las rodillas y cadera. No pueden hacerse transferencias en posición de tumbado ni desde el suelo. Los mecanismos de plegado y desmontado suelen ser más complejos que en las grúas con arneses.



Imagen 2.- Grúa de bipedestación.

3.3. Grúas móviles con camilla.

Son grúas que disponen de una camilla que permite el traslado de una persona en posición de tumbado. Especialmente indicadas para personas encamadas con fracturas de cadera, quemados, lesiones de columna o cualquier otra patología que no permita al usuario permanecer en posición de sentado.

Ventajas:

Permite hacer las transferencias y traslados en posición de tumbado o semi-recostado, de forma rápida, segura y cómoda.

Inconvenientes:

Son las más voluminosas de todas, requieren grandes superficies de maniobra y permiten únicamente transferencias en las que tanto la posición de partida como la de destino sea tumbado. Esta función también puede ser ejecutada usando acoples especiales por una grúa móvil con arnés.



Imagen 3.- Grúa móvil con camilla.

3.4. Conclusiones del estudio.

Después de analizar los distintos tipos de grúas sanitarias se ha seleccionado para realizar este trabajo, una **grúa móvil con arnés** ya que es la más polivalente y la que con mayor frecuencia se puede encontrar en residencias, centros sanitarios e incluso en casas particulares.

Para que nuestra grúa sea una herramienta segura, útil y eficaz, debe cumplir los siguientes requisitos:

- Estar preparada, para un uso intensivo, permitiendo un elevado número de transferencias al día.
- La capacidad de carga debe de ser elevada, para que pueda utilizarse con personas de mucho peso.
- La base tiene que ser ajustable en anchura para facilitar el acceso al mobiliario, aparatos sanitarios, silla de ruedas.
- Dimensiones ajustadas para poder pasar por puertas estándar.
- El volumen y peso de la grúa deben ser lo más reducidos posible para facilitar su maniobrabilidad.
- Debe ser estable y resistente al vuelco.
- Sencilla de montar y desmontar para facilitar su almacenaje y transporte.
- Compatible con la mayoría de modelos de arnés, para adaptarse a los distintos pacientes y a sus situaciones especiales.

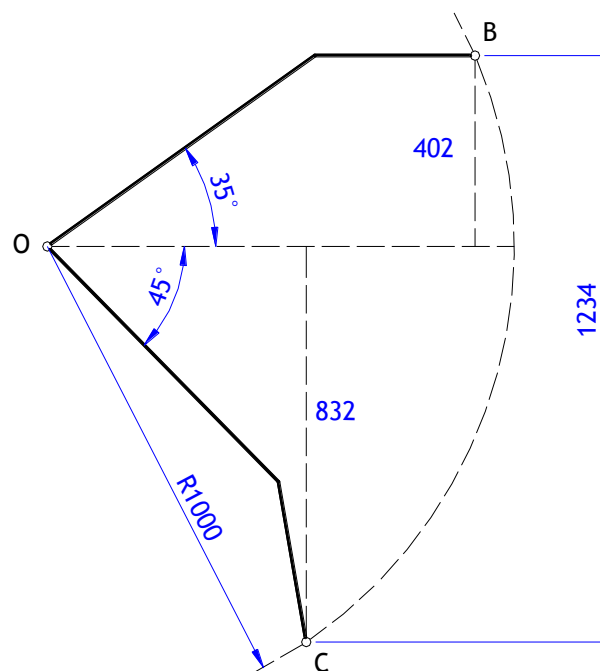
4. DISEÑO BÁSICO DE LA GRÚA.

Una vez analizando las características y prestaciones de las grúas móviles con arnés, se fijan unas condiciones de diseño con las que poder predimensionar una estructura simple de la máquina.

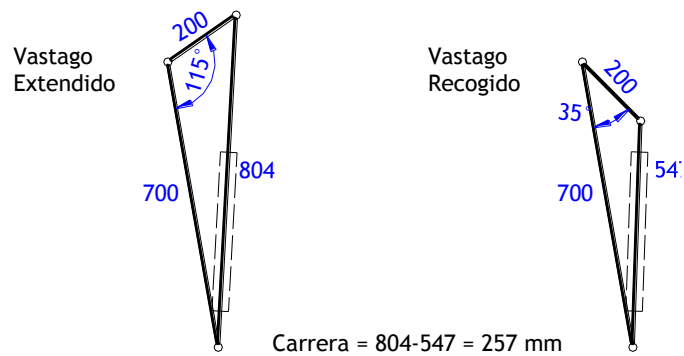
Condiciones de diseño	
Carga máxima	150 Kg
Altura total máxima	1850 mm
Rango de elevación	400-1600 mm
Longitud de patas	1000 mm
Radio de giro del brazo	1000 mm
Anchura con patas cerradas	550 mm

4.1. Geometría.

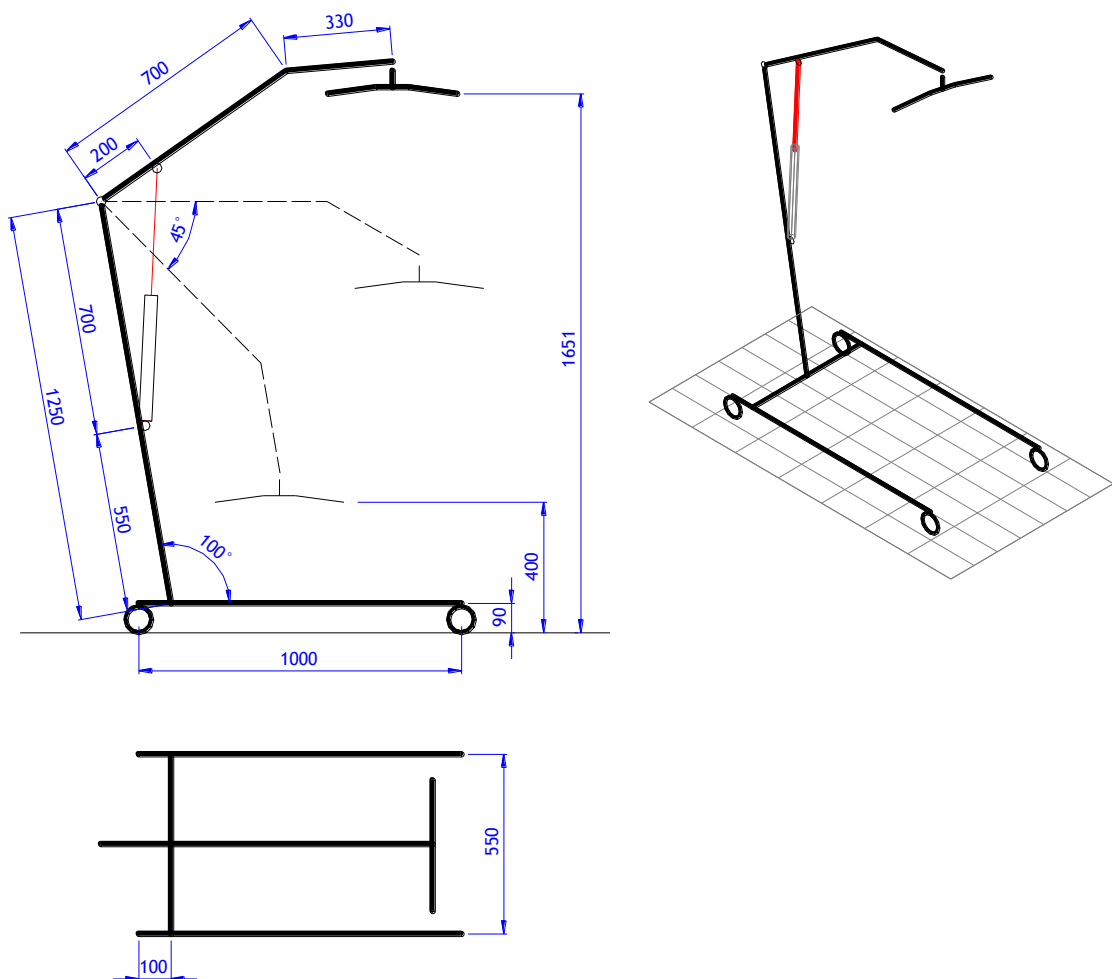
A partir de la longitud del brazo y las alturas de elevación necesarias se busca una solución geométrica que se adapte además a la forma de la carga, en este caso a la de una persona.



Partiendo del esquema anterior se obtiene la carrera mínima necesaria del actuador lineal para alcanzar el rango de elevación previsto.



Con esto datos se esboza un esquema simplificado de la estructura con unas dimensiones iniciales para proceder a su estudio.



5. CÁLCULOS ANALÍTICOS.

5.1. Condiciones de cálculo.

El cálculo de los esfuerzos y reacciones de los elementos de la grúa se realizarán despreciando el peso propio y para la carga máxima de la estructura (1.500 N). El coeficiente de seguridad empleado es $C_s=2$ según el criterio del cortante máximo.

5.2. Materiales.

Para diseñar los elementos estructurales de la grúa se han buscado aceros de alta resistencia, el S700MC para las horquillas y Strenx Tube 700MH (SSAB Company) en las secciones tubulares estructurales, ambos con un límite elástico de 700MPa.

El uso de estos aceros hace posible la fabricación de equipos más ligeros, permitiendo ahorros de coste y mejorando la capacidad de carga. Se estima que se puede reducir el peso de los equipos entre el 20% y el 50% sobre otros aceros convencionales.

Strenx product chart Steel tubes and sections

Product name	Wall thickness [mm]	External dimensions [mm]		Yield strength ¹⁾ $R_{p0.2}$ min [MPa]	Tensile strength ¹⁾ R_m [MPa]	Elongation A_5 min %	CET/CEV ^{Typical}	Impact Toughness [J] at -20 °C
Strenx Tube 700	3-10	33.7-323.9	30x30-300x300	700	750-950	10	0.24/0.38	40
Strenx Tube 900	4-6	76.1-219.1	70x70-160x160	900	930-1200	7	0.25/0.50	40
Strenx Tube 960	4-6	76.1-219.1	70x70-160x160	960	980-1250	6	0.28/0.51	40
Strenx Section 650	2.5-10			650	700-880	12	0.22/0.34	40
Strenx Section 700	3-10			700	750-950	12	0.24/0.38	40
Strenx Section 900	3-6			900	930-1200	8	0.28/0.51	40

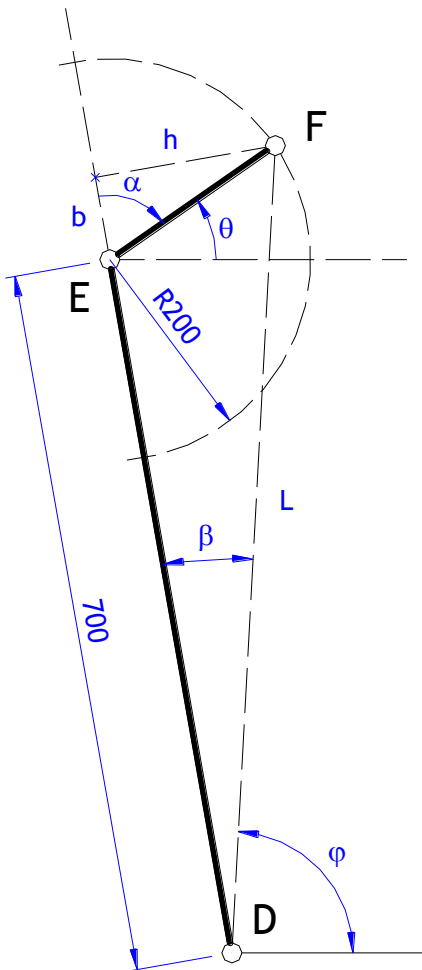
Estos aceros son aptos para todo tipo de soldadura por arco. Se recomienda utilizar electrodos que tengan la misma resistencia que el material base o que la superen. En la tabla siguiente se recogen los electrodos/fundentes recomendados para el S700MC.

Suministrador	SMAW	GMAW	FCAW	SAW	
Esab	OK 75,75	OK Autrod 13,29, OK Aristorod 13,31	OK Tubrod 14,03	OK Autrod 13,43	OK Flux 10,62
Filarc	Filarc 118		Filarc PZ 6148		
Lincoln	Conarc 80	LNM MoNiVa	Outersshield 690-H	LNS 168	P230
	Conarc 85		Outersshield MC-100	LA 100	Lincolnweld 8500
Oerlikon	Tenacito 80 CL	Carbofil NiMoCr	Fluxofil 42	OE-S3 NiMoCr	OP 121TT
	Tenax 118M	Carbofil MnNiMo	Citoflux M07	Fluxocord 42	
S.A.F. Air Liquide	Safer ND 80	Nertalic 88	Steelcored 42		
			Safduel 270		
Thyssen	SHNK 100	Union NiMoCr		Union S3 NiMoCr	UV 421TT

5.3. Relaciones geométricas.

Los esfuerzos que sufren los elementos de la grúa no sólo dependen del valor de la carga sino también de la posición de esta. Por este motivo se cree apropiado analizar los esfuerzos en función del ángulo de giro del brazo de la grúa, con el fin de encontrar las mayores sollicitaciones en las barras. Se estudian las relaciones entre sus ejes, no se ha tenido en cuenta las secciones de los elementos al ser aun una incógnita.

Relación entre el ángulo del brazo θ y el ángulo del actuador lineal φ .



$$h = 200 \times \sin \alpha$$

$$\theta = 100 - \alpha$$

$$b = 200 \times \cos \alpha$$

$$\tan \beta = \frac{H}{700 + b}$$

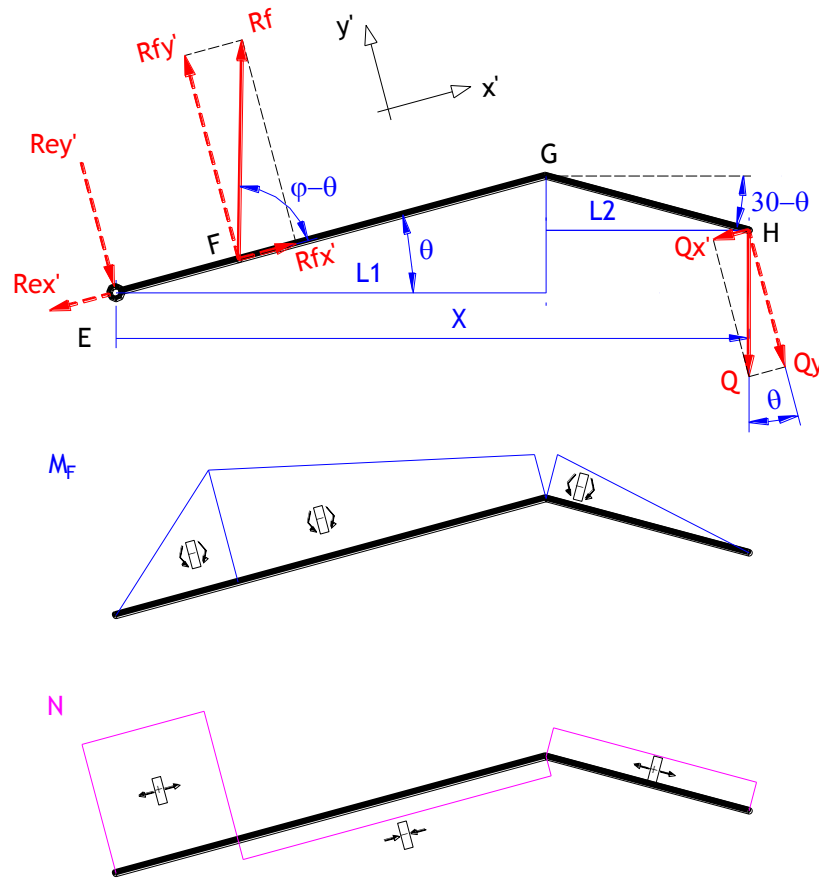
$$\beta = \arctan \frac{H}{700 + y'}$$

$$\varphi' = 100 - \beta$$

$$\varphi(\theta) = 100 - \arctan \frac{200 \sin(100 - \theta)}{700 + 200 \cos(100 - \theta)}$$

5.4. Brazo.

A continuación se hace el diagrama de sólido libre del brazo y se expresan sus reacciones en función del ángulo θ .



$$\sum F_{x'} = 0 \quad R_{fx'} - R_{ex'} - Q_{x'} = 0'$$

$$\sum F_{y'} = 0 \quad R_{fy'} - Q_{y'} - R_{ey'} = 0'$$

$$\sum M_E = 0 \quad R_{fy'} \cdot 200 = Q \cdot X$$

$$L1 = 700 \cos \theta$$

$$L2 = 330 \cos (30 - \theta)$$

$$X = L1 + L2$$

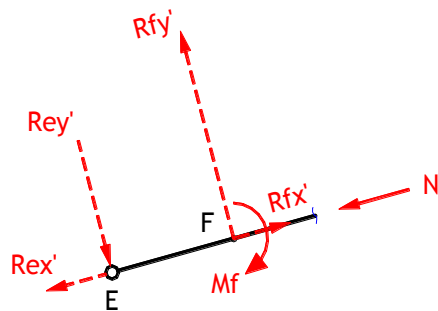
$$R_{fy'} = \frac{Q (700 \cos \theta + 330 \cos(30 - \theta))}{200}$$

$$Rfx' = \frac{Rfy'}{\tan(\varphi - \theta)}$$

$$Rex' = Rfx' - Qx'$$

$$Rey' = Rfy' - Qy'$$

El punto F es el más crítico de toda la barra, ya que es donde se produce el mayor momento flector, por lo que se analizan su momento y su axil en el.



$$Mf = 200 Rey'$$

$$N = Rfx' - Rex' = Qx'$$

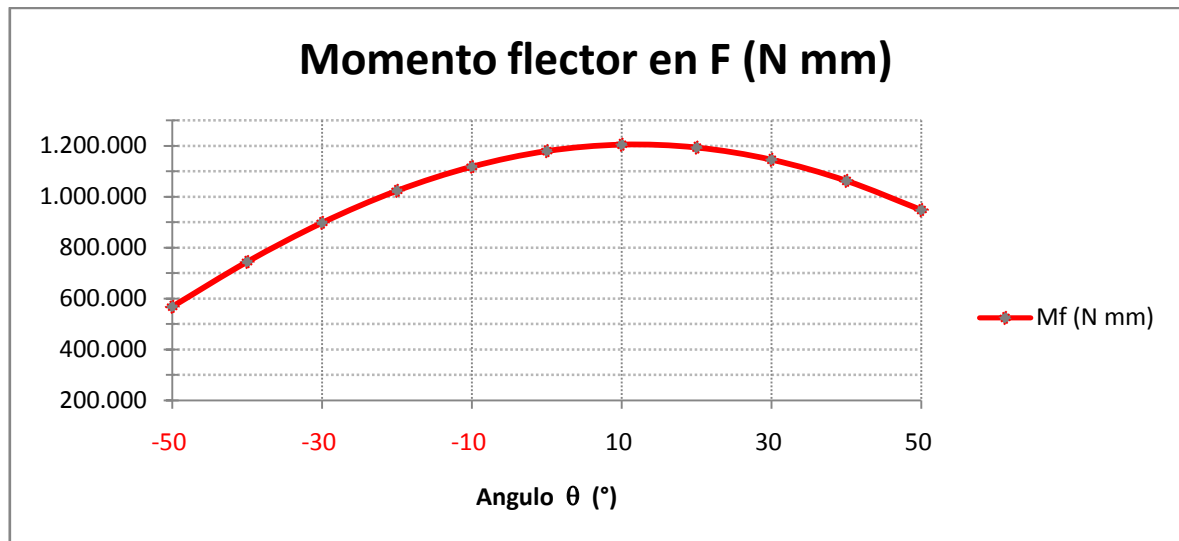
$$N = Q \cos \theta$$

Los resultados para distintos ángulos del brazo se adjuntan en la siguiente tabla.

θ (°)	φ (°)	Rfy' (N)	Rfx' (N)	Rf (N)	Rey' (N)	Rex' (N)	Re (N)	Mf (N mm)	N (N)
-50	89,25	3804	-4415	5828	2840	-3266	4328	568047	-1149
-40	86,77	4868	-3638	6077	3719	-2674	4580	743833	-964
-30	84,99	5784	-2696	6382	4485	-1946	4889	897019	-750
-20	83,90	6524	-1614	6721	5115	-1101	5232	1022949	-513
-10	83,43	7066	-423	7079	5589	-163	5591	1117798	-260
0	83,51	7393	841	7441	5893	841	5953	1178683	0
10	84,05	7496	2142	7796	6019	1881	6306	1203754	260
20	84,99	7371	3438	8133	5961	2925	6640	1192249	513
30	86,26	7022	4691	8444	5723	3941	6948	1144519	750
40	87,78	6459	5860	8721	5310	4896	7223	1062013	964
50	89,52	5700	6909	8957	4736	5760	7457	947239	1149

El máximo momento flector se produce exactamente en $\theta = 11,86^\circ$

θ (°)	φ (°)	Rfy' (N)	Rfx' (N)	Rf (N)	Rey' (N)	Rex' (N)	Re (N)	Mf (N mm)	N (N)
11,86	84,20	7490	2384	7860	6022	2076	6370	1204387	308



Para seleccionar un perfil comercial idóneo para el brazo, se usará la teoría del cortante máximo o de Tresca, con un coeficiente de seguridad $C_s=2$.

El material elegido para este elemento es un perfil rectangular de acero STRENX 700MH, su alto límite elástico lo hace idóneo para su uso en brazos de grúas.

$$\sigma_f = 700 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{700 \text{ MPa}}{4} = 175 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = 2 \cdot \tau_{adm} = 350 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{Mf}{W_x} + \frac{N}{A} = 350 \text{ MPa}$$

Al haber 2 incógnitas se desprecia inicialmente la parte debida al Axil N para obtener un W_x aproximado:

$$\sigma_{adm} = \frac{Mf}{W_x} = \frac{1204387 \text{ Nmm}}{W_x} = 350 \text{ MPa}$$

$$W_x = 3441 \text{ mm}^3 = 3,411 \text{ cm}^3$$

Se ha seleccionado de las tablas de perfiles comerciales (ver anejos), un tubo rectangular de 50x30x2,5mm con módulo resistente $W_x= 4,91 \text{ cm}^3$ y área $A=3,73 \text{ cm}^2$.

Se comprueba que cumple teniendo en cuenta también el axil y se calcula el valor del coeficiente de seguridad.

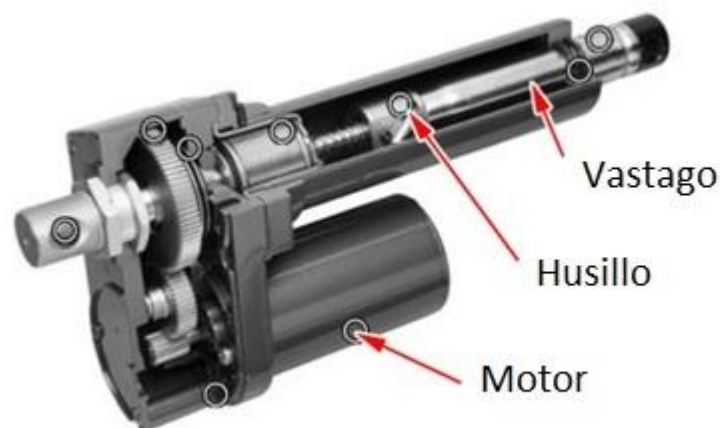
$$\sigma_{max} = \frac{Mf}{W_x} + \frac{N}{A} = \frac{1204387 Nmm}{4910 mm^3} + \frac{308 N}{373 mm^2} = 246,11 MPa$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} = \frac{700 MPa}{246,11 N} = 2,84 > 2$$

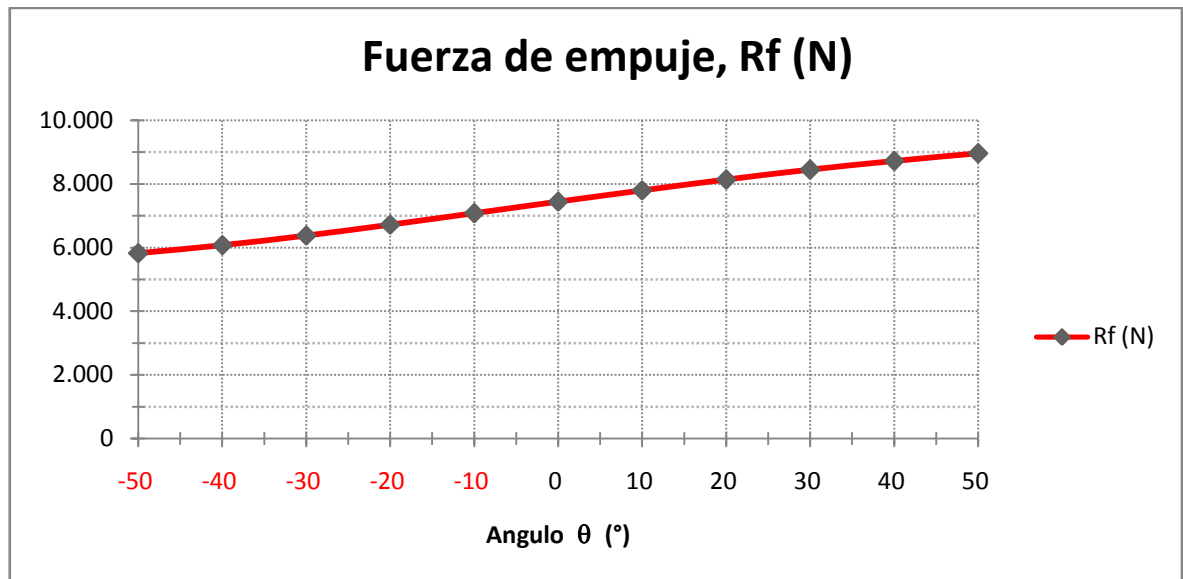
El brazo de la grúa se modelará a partir de un **perfil rectangular hueco de 50x30x2,5 mm de acero STRENX 700 MH**.

5.5. Actuador lineal.

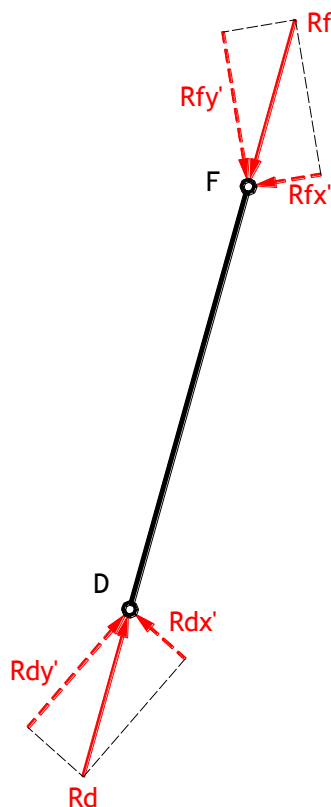
Se ha elegido para elevar la carga un actuador lineal eléctrico, este es un dispositivo que convierte el movimiento de rotación de un motor de corriente continua en un movimiento lineal, es decir, los movimientos de empuje y halado. Este tipo de actuadores son precisos, silenciosos, con poco o ningún mantenimiento y menos voluminosos que los sistemas hidráulicos.



En el apartado correspondiente al brazo, se calcularon las reacciones en el actuador, usando estos datos, se representa la variación de la carga del actuador lineal (R_f), en función del ángulo de elevación del brazo de la grúa θ :



El esfuerzo del actuador aumenta conforme se eleva el brazo de la grúa, el ángulo θ máximo se estima no supere los 40° , pero por seguridad se toma el valor de R_f para $\theta=50^\circ$.



$$\text{Para } \theta = 50^\circ \rightarrow R_f = 8957 \text{ N}$$

$$R_f = R_d = 8957 \text{ N}$$

El actuador tendrá que tener al menos una fuerza de empuje de 9000 N para poder elevar la carga máxima.

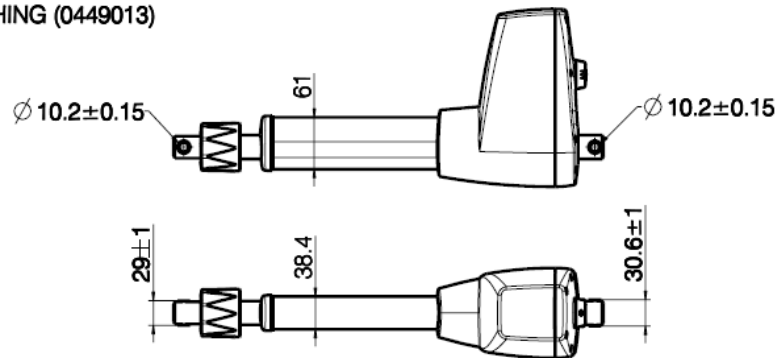
Se ha seleccionado un actuador lineal de la marca LINAK, esta compañía dispone de una gama de productos especializada en equipamiento hospitalario. El modelo LA44 de LINAK tiene una versión de 10.000 N y otra de 12.000N, funciona con baterías de 24Vdc, con un consumo de energía de 7A y un peso aproximado de 6Kg. Tiene un rango de longitudes de carrera entre los 100 y 400mm, en tramos de 25mm. (Ver características técnicas en anejos)

Así pues, se considera apropiada la versión de 10.000N, con una longitud de carrera de 275 mm, correspondiente a la siguiente referencia de producto:

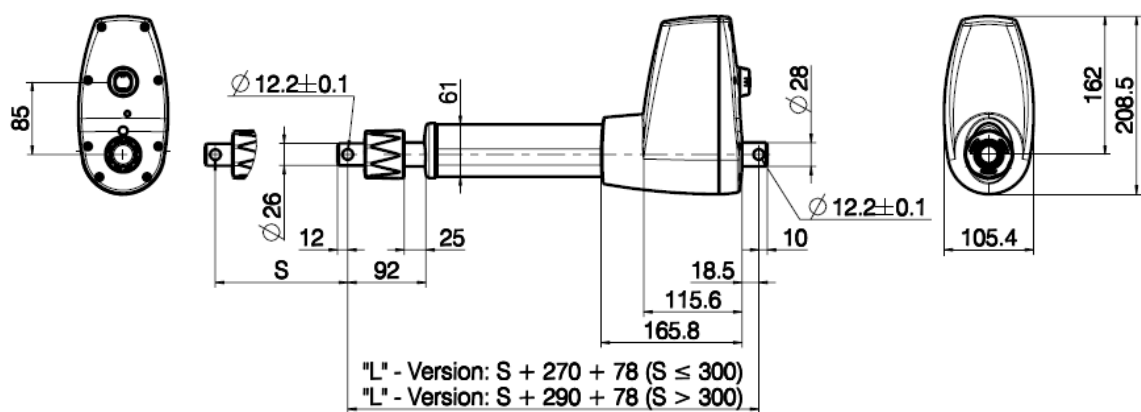
Actuador lineal LINAK LA44: 44 3 1 0 1 + 1 L 275 0 A 0

Plano de instalación y dimensiones:

WITH BUSHING (0449013)



WITHOUT BUSHING (0449013)

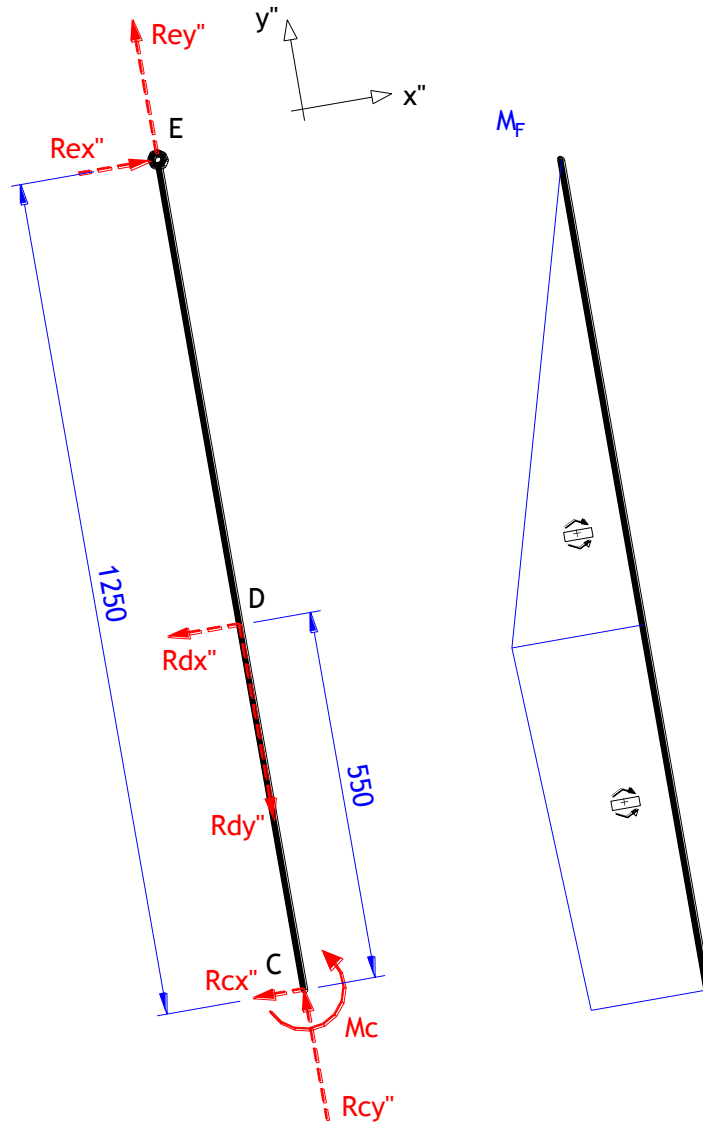


Drawing no.: 0449013

N.B. Tolerance information
± 2 mm - Installation dimension

5.6. Columna.

La columna es un elemento fijo de la estructura, encargado de soportar el brazo de la grúa. Partiendo de las reacciones calculadas en el brazo se analiza este elemento. Para obtener los axiles y cortantes de la columna, se rota el sistema de coordenadas usado en el brazo un ángulo $\alpha = \theta - 10^\circ$



$$\sum F_x'' = 0 \quad R_{ex}'' - R_{dx}'' - R_{cx}'' = 0$$

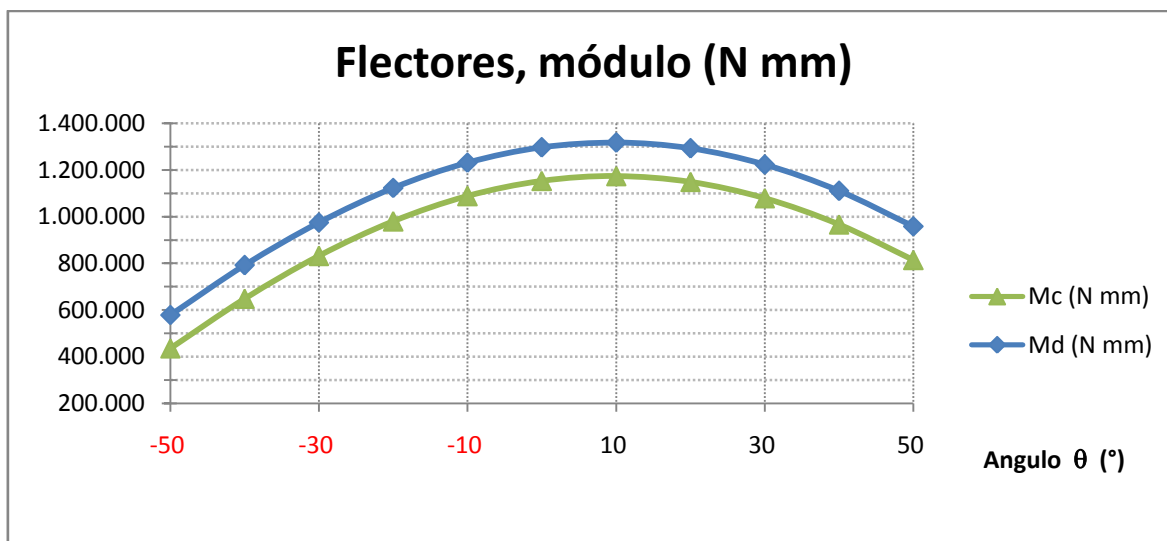
$$\sum F_y'' = 0 \quad R_{ey}'' + R_{cy}'' - R_{dy}'' = 0 \rightarrow R_{cy}'' = R_{dy}'' - R_{ey}''$$

$$\sum M_C = 0 \quad 550 \cdot R_{dx}'' - 1250 \cdot R_{ex}'' + M_C = 0$$

$$M_C = 1250 \cdot R_{ex}'' - 550 \cdot R_{dx}''$$

En la tabla siguiente se muestran los esfuerzos y momentos para los distintos ángulos del brazo:

θ (°)	ϕ (°)	R_f (N)	Rdx'' (N)	Rdy'' (N)	Rex' (N)	Rey' (N)	Rex'' (N)	Rey'' (N)	Mc (N mm)	Md (N mm)
-50	89,25	5828	1087	5726	-3266	2840	-827	-4249	435319	-578579
-40	86,77	6077	1391	5916	-2674	3719	-1130	-4439	648084	-791345
-30	84,99	6382	1653	6164	-1946	4485	-1392	-4687	831266	-974527
-20	83,90	6721	1864	6457	-1101	5115	-1604	-4980	979300	-1122560
-10	83,43	7079	2019	6785	-163	5589	-1758	-5308	1087686	-1230947
0	83,51	7441	2112	7135	841	5893	-1852	-5658	1153133	-1296394
10	84,05	7796	2142	7496	1881	6019	-1881	-6019	1173651	-1316911
20	84,99	8133	2106	7856	2925	5961	-1846	-6379	1148616	-1291877
30	86,26	8444	2006	8202	3941	5723	-1746	-6725	1078791	-1222052
40	87,78	8721	1846	8524	4896	5310	-1585	-7047	966295	-1109556
50	89,52	8957	1629	8808	5760	4736	-1368	-7331	814548	-957809



Tal como se ve en la gráfica, el mayor flector en valor absoluto de la columna se da en el punto D, siendo más crítico para $\theta=10^\circ$, $Md= 1.316.911$ Nmm.

Se calcula las reacciones en C con los valores correspondiente a $\theta=10^\circ$:

$$Rcx'' = Rex'' - Rdx'' \rightarrow Rcx'' = 261 \text{ N}$$

$$Rcy'' = Rdy'' - Rey'' \rightarrow Rcy'' = 7496 - 6019 = 1477 \text{ N}$$

$$Rc = \sqrt{Rcx''^2 + Rcy''^2} = 1500 \text{ N}$$

El material para la columna es acero STREX 700 MH y su coeficiente de seguridad $C_s=2$.

Se calcula la tensión máxima admisible:

$$\sigma_f = 700 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{700 \text{ MPa}}{4} = 175 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = 2 \cdot \tau_{adm} = 350 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{Mf}{W_x} + \frac{N}{A} = 350 \text{ MPa}$$

Despreciando la parte debida al axil se obtiene un W_x aproximado:

$$W_x = \frac{1316911 \text{ N mm}}{350 \text{ MPa}} = 3762,6 \text{ mm}^3 = 3,763 \text{ cm}^3$$

Se ha seleccionado de la tabla, un perfil rectangular hueco de 30x50x2mm con un $W_x=3,81 \text{ cm}^3$ y $A=2,937 \text{ cm}^2$.

Comprobamos el perfil contando también con el valor del axil.

$$\sigma_{max} = \frac{Mf}{W_x} + \frac{N}{A} = \frac{1316911 \text{ Nmm}}{3810 \text{ mm}^3} + \frac{6019 \text{ N}}{293,7 \text{ mm}^2} = 265,50 \text{ MPa}$$

No cumple, así que se elige el siguiente perfil con mayor W_x y menor peso, 40x50x2 mm con $W_x=4,733 \text{ cm}^3$ y $A=3,337 \text{ cm}^2$.

Se comprueba de nuevo para este perfil

$$\sigma_{max} = \frac{Mf}{W_x} + \frac{N}{A} = \frac{1316911 \text{ Nmm}}{4733 \text{ mm}^3} + \frac{6019 \text{ N}}{333,7 \text{ mm}^2} = 296,27 \text{ MPa}$$

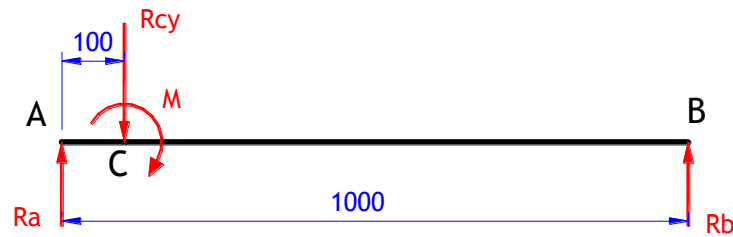
$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{max}} = \frac{700 \text{ MPa}}{296,27 \text{ MPa}} = 2,36 \rightarrow \text{Cumple}$$

La columna se modelará a partir de un perfil rectangular hueco de 40x50x2mm de acero STREX 700 MH.

5.7. Patas.

La base de la estructura está formada por 2 largueros con ruedas en sus extremos que permiten su movilidad. Partiendo de las reacciones calculadas previamente se analiza como si fuese un único elemento y luego se repartirán las reacciones a medias.

El momento flector máximo M_c se produce para $\theta = 10^\circ$ por lo que se calculan las reacciones para este caso.



$$R_{cy} = 1.500 \text{ N}$$

$$M = 1.173.651 \text{ N mm}$$

$$\sum F_x = 0 \quad R_{ax} = R_{bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_a + R_b = R_{cy} = 1.500 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0 \quad 1000 R_b = 100 R_{cy} + M \rightarrow R_b = 1.324 \text{ N} \rightarrow R_a = 176 \text{ N}$$

$$M_c = 100 R_a + M = 1.191.251 \text{ N mm}$$

Dado que los esfuerzos se reparten simétricamente sobre las dos patas, tanto las reacciones R_a , R_b como el momento M_c se quedan en la mitad.

Se vuelve a elegir para la columna un acero STRENGTH 700 MH y un coeficiente de seguridad $C_s=2$.

Se calcula la tensión máxima admisible para el acero STRENGTH 700 MH:

$$\sigma_f = 700 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{700 \text{ MPa}}{4} = 175 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = 2 \cdot \tau_{adm} = 350 \text{ MPa}$$

Al no aparecer axiles N en la barra se queda:

$$\sigma_{adm} = \frac{Md}{W_x} = 350 \text{ MPa} \rightarrow W_x = \frac{595625 \text{ N mm}}{350 \text{ MPa}} = 1701,8 \text{ mm}^3 = 1.702 \text{ cm}^3$$

Se ha seleccionado de las tablas, un perfil rectangular hueco de 30x40x2mm, con un $W_x=2,746 \text{ cm}^3$.

$$\sigma_{max} = \frac{Mf}{W_x} = \frac{595625 \text{ Nmm}}{2746 \text{ mm}^3} = 216,90 \text{ MPa}$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} = \frac{700 \text{ MPa}}{216,90 \text{ N}} = 3,22$$

Las patas de la estructura se modelarán a partir de un perfil rectangular hueco de 30x40x2 mm de acero STRENX 700 MH.

5.8. Travesaño.

Este elemento une la columna con las dos patas, formando la base de la grúa. Sobre él recae el peso de la carga y el momento que produce, este último al ser entorno a su eje axial le afecta a torsión. Se analiza para $\theta = 10^\circ$ donde se comprobó que el momento en C era mayor.

$$M_T = 1173651 \text{ N mm}$$

$$R_c = 1500 \text{ N}$$

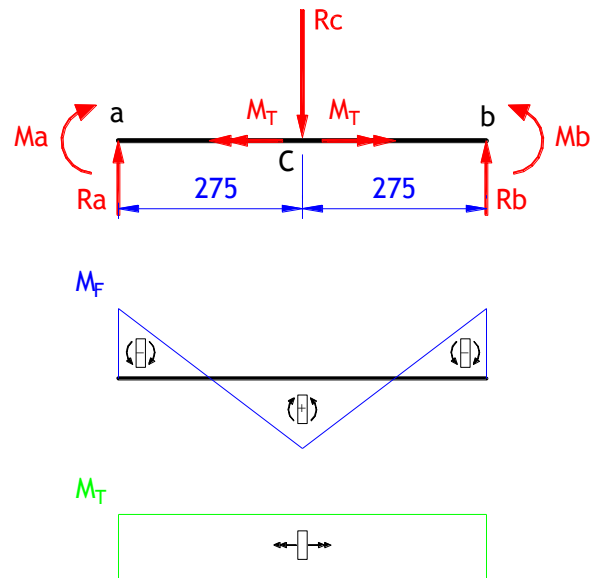
Para hallar las reacciones y momentos flectores se consultan las tablas de momentos de empotramiento:

$$R_a = R_b = \frac{1}{2} R_c = 750 \text{ N}$$

$$M_A = M_B = \frac{R_c \cdot L}{8} = 103125 \text{ N mm}$$

$$M_C = M_A - 750 \text{ N} \cdot 275 = 103125 \text{ N mm}$$

$$M_A = M_B = \frac{P \cdot L}{8} = 1500 \text{ N} \cdot 550 \text{ mm}$$



$$M_A = M_B = 103125 \text{ N mm}$$

$$M_C = M_A - 750 \text{ N} \cdot 275 = 103125 \text{ N mm}$$

Calculo del travesaño, para tubo de acero STREX 700 MH y Cs=2.

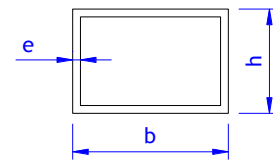
$$\sigma_f = 700 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{700 \text{ MPa}}{4} = 175 \text{ MPa}$$

Aparece una combinación de esfuerzos de torsión y flexión en la barra, se comprueba a torsión en el punto C para una sección cuadrada hueca.

Caso general de una sección rectangular hueca:

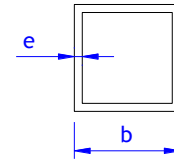
$$\tau_{max} = \frac{Mx}{2 \cdot h \cdot b \cdot e}$$



Para una sección cuadrada hueca con e=3mm

$$\tau_{max} = \frac{Mx}{2 \cdot b^2 \cdot e}$$

$$\tau_{max} = \frac{1173651 \text{ N mm}}{2 \cdot b^2 \cdot 3} = 175 \text{ MPa} \rightarrow b = 33,43 \text{ mm}$$

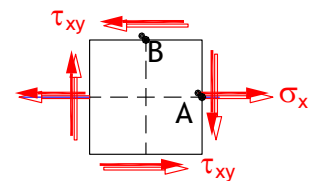


Seleccionamos un perfil cuadrado hueco de 40x40x3mm, con $W_x = 4,51 \text{ cm}^3$ y comprobamos si cumple para la combinación de esfuerzos de torsión y flexión.

$$\tau_{max} = \frac{1173651 \text{ N}}{2 \cdot 40^2 \cdot 3} = 122,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_c}{W_x} = \frac{103125 \text{ N mm}}{4510 \text{ mm}^3} = 22,86 \text{ MPa}$$

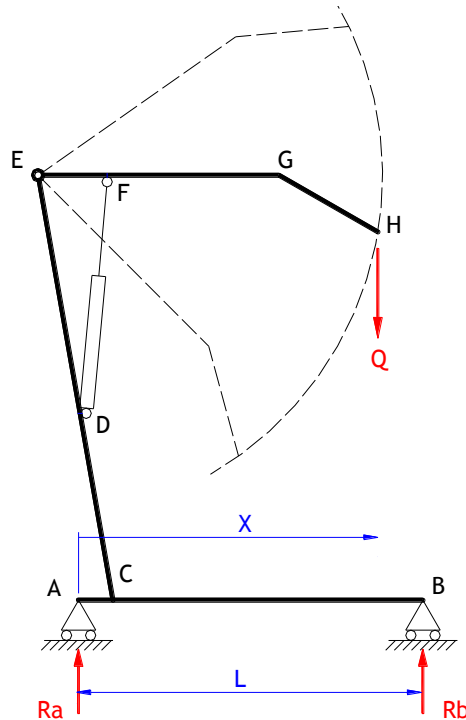
$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{adm}^2} = 122,78 \text{ MPa}$$



Cumple, el travesaño de la estructura se modelará a partir de un perfil cuadrado hueco de 40x40x3mm de acero STREX 700 MH.

5.9. Ruedas.

Para dimensionar las ruedas se dibuja la estructura completa y se analizan las reacciones en los apoyos con la carga máxima de trabajo para las distintas posiciones de esta con respecto a los apoyos.



$$\sum F_X = 0$$

$$\sum F_Y = 0 \quad Ra + Rb = Q \rightarrow \quad Ra = Q - Rb$$

$$\sum M_A = 0 \quad Rb \cdot L = Q \cdot X \rightarrow \quad Rb = (Q \cdot X)/L$$

Para: $Q=1500 \text{ N}$
 $L= 1000 \text{ mm}$
 $X= \text{valores entre } 400 \text{ y } 883 \text{ mm}$

$Ra \text{ máxima} = 900 \text{ N}$

$Rb \text{ máxima} = 1324,5 \text{ N}$

X (mm)	Ra (N)	Rb (N)
400	900	600
500	750	750
600	600	900
700	450	1050
800	300	1200
869	196,5	1303,5
883	175,5	1324,5

Las reacciones se reparten entre las dos patas, con lo que en cada rueda la reacción es la mitad, finalmente queda: **Ra max= 450 N y Rb max= 663 N.**

Las ruedas deben poder soportar una carga equivalente a la reacción calculada más el peso de la grúa. Se estima un peso aproximado de la grúa entre 30 y 40 Kg, unos 10 kg por rueda

Ruedas delanteras.

Las ruedas delanteras deben aguantar $663\text{N} + 100\text{N} = 763\text{N}$ cada una. Por cuestiones de accesibilidad se requiere además que estas ruedas sean de pequeño diámetro y giratorias.

Así pues, se ha elegido del catálogo de Ruedas Alex, S.L.U, un modelo giratorio de $\varnothing 50\text{mm}$ (Código: I-BP BLANCO 2-0040). La hoja de características técnicas puede verse en los anejos).

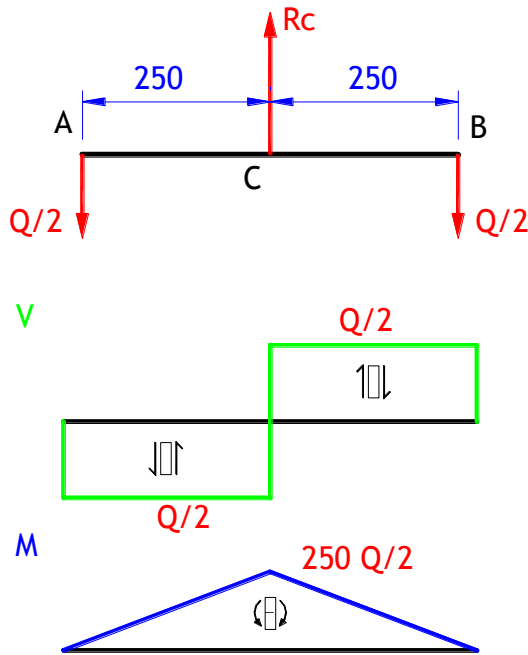
Ruedas traseras.

Las ruedas traseras, deben ser capaces de soportar una carga de $450\text{N} + 100\text{N} = 550\text{N}$. En la parte trasera el tamaño no es tan restrictivo, pero deben ser giratorias y con freno.

Se ha elegido del mismo catalogo, unas ruedas giratorias de $\varnothing 100\text{ mm}$ con freno modelo (Código: ZLI-UT 2-3090). La hoja de características técnicas puede verse en los anejos).

5.10. Percha.

Básicamente es un tubo unido su centro al brazo de la grúa. En sus extremos se engancha el arnés con el paciente. A continuación se hace el diagrama de sólido libre y se calculan sus esfuerzos.



$$L = 500 \text{ mm}$$

$$Q = 1500 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0 \quad R_{ax} = R_{bx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_y = Q/2 + Q/2 = 1500 \text{ N}$$

$$\sum M_c = 0 \quad M_c = Q/2 \cdot L/2 = 750 \cdot 250$$

$$M_c = 187.500 \text{ N mm} = 187,5 \text{ N m}$$

Se decide usar en la percha una aleación de Aluminio (EN-AW315) con un límite elástico de 200 MPa. Se calcula para criterio de cortante máximo y $C_s=2$.

$$\sigma_f = 200 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm} = \frac{200 \text{ MPa}}{4} = 50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = 2 \cdot \tau_{adm} = 100 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_f}{W_x} = 100 \text{ MPa} \rightarrow W_x = \frac{187500 \text{ N mm}}{100 \text{ MPa}}$$

$$W_x = 1875 \text{ mm}^3 = 1,875 \text{ cm}^3$$

Se comprueba para un tubo rectangular de 30x25x2mm con $W_x=2.125 \text{ mm}^3$

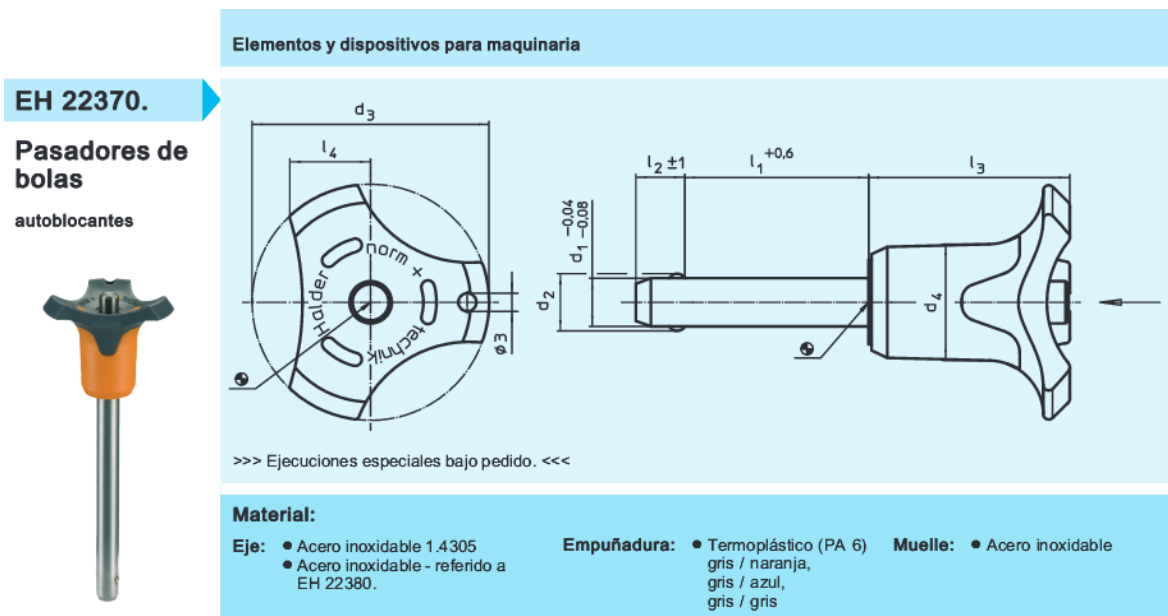
$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W_x} = \frac{187.500 \text{ N mm}}{2125 \text{ mm}^3} = 88,23 \text{ MPa}$$

$$Cs = \frac{\sigma_f}{\sigma_{adm}} = \frac{200 \text{ MPa}}{88,23 \text{ MPa}} = 2,26$$

Cumple, así que la percha se modelará para Aluminio EN-AW315 con un perfil rectangular hueco de 30x25x2mm.

5.11. Pasadores.

A fin de facilitar las operaciones de montaje y desmontaje de la grúa se ha optado por usar pasadores rápidos de la casa HALDERL (EH22370) de acero inoxidable, como se muestra en la imagen (para más detalles ver anejos).



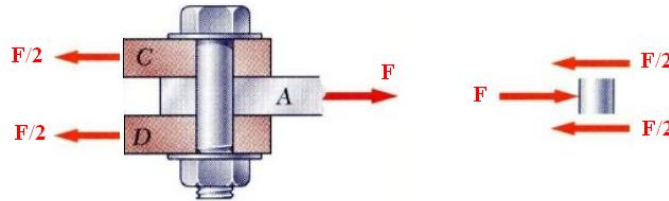
Pasador de unión del brazo con la columna.

Este elemento permite el giro del brazo respecto de la columna y tiene que soportar la reacción R_e , siendo esta mayor al aumentar la elevación del brazo, por lo que se toma su valor para $\theta = 50^\circ$, $R_e = 7457 \text{ N}$.

El eje está sometido a un esfuerzo cortante en dos planos, conocido como de doble cortadura. El pasador es acero inoxidable DIN 1.4305 y la columna STRENX 700 MH y S700MC. Así que la tensión máxima admisible vendrá dada por el pasador al tener un límite elástico menor (400MPa). Se procede a calcular el pasador a cortadura y a aplastamiento:

$$\sigma_f = 400 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$

$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm \text{ pasador}} = \frac{400 \text{ MPa}}{4} = 100 \text{ MPa}$$



Cálculo para cortadura:

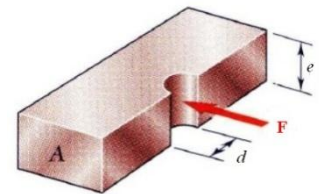
$$\tau_{max} = \frac{Re}{2 \cdot Area} = \frac{7457 \text{ N}}{2 \cdot Area} \rightarrow Area = \frac{7457 \text{ N}}{2 \cdot 100 \text{ MPa}} = 37,28 \text{ mm}^2$$

$$Area = \pi \frac{d^2}{4} \rightarrow d = 6,89 \text{ mm} \rightarrow \text{Diámetro comercial} = 8 \text{ mm}$$

Cálculo para aplastamiento:

El espesor menor es el de la columna $e=3 \text{ mm}$

$$\sigma_{aplast} = \frac{Re}{2 \cdot Area} = \frac{Re}{2 \cdot d \cdot e} = \frac{7457 \text{ N}}{2 \cdot d \cdot 3} = 100 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{aplast} = \frac{7457 \text{ N}}{2 \cdot d \cdot 3} = 100 \text{ MPa} \rightarrow d = 12,42 \text{ mm} \rightarrow \text{Diámetro comercial} = 14 \text{ mm}$$

El diámetro resultante es muy grande por lo que se opta por colocar una horquilla con un espesor mayor $e=4 \text{ mm}$ de acero S700 MC.

Comprobación para aplastamiento:

$$\sigma_{aplast} = \frac{Re}{2 \cdot d \cdot e} = \frac{7457 \text{ N}}{2 \cdot d \cdot 4} = 100 \text{ MPa} \rightarrow d = 9,32 \text{ mm}$$

El pasador debe tener un diámetro mínimo de 10mm y la horquilla un espesor de al menos 4mm.

Pasador de unión del brazo con la percha.

Este pasador está sometido a un esfuerzo de doble cortadura menor (1500N), por lo que se elige también un **pasador HALDERL EH22370 de Ø10mm con una horquilla de espesor 4mm.**

Pasadores de sujeción del actuador lineal.

Según los planos de instalación del actuador los pasadores para sus anclajes son de diámetro 10mm si lleva casquillo y de 12mm sin el. Por lo que se comprobará su resistencia para el diámetro menor. Se usará en las uniones el mismo tipo de pasador usado en la unión brazo-columna.

Este pasador es de acero inoxidable DIN 1.4305 y estará sometido a un esfuerzo de doble cortadura, las horquillas de sujeción serán de espesor 5mm de acero S700 MC, con estos datos se comprueba a cortadura y a aplastamiento.

El pasador tiene un límite elástico menor por lo que la tensión máxima admisible vendrá determinada por él:

$$\sigma_f = 400 \text{ MPa} \quad C_s = 2$$
$$C_s = \frac{\sigma_f}{2 \tau_{adm}} \rightarrow \tau_{adm \text{ pasador}} = \frac{400 \text{ MPa}}{4} = 100 \text{ MPa}$$

Comprobación a cortadura:

$$Area = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{12^2}{4} \rightarrow Area = 113,10 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{max} = \frac{Rd}{2 \cdot Area} = \frac{9000 \text{ N}}{2 \cdot 113,10 \text{ mm}^2} = 39,78 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

Comprobación para aplastamiento:

Espesor de la horquilla e=5 mm

$$\sigma_{aplast} = \frac{Rd}{2 \cdot Area} = \frac{Rd}{2 \cdot d \cdot e} = \frac{9000 \text{ N}}{2 \cdot 10 \cdot 5} = 90 \text{ MPa} < 100 \text{ MPa}$$

Para el pasador HALDERL EH22370 de Ø10mm es necesaria una horquilla de espesor 5mm.

5.12. Comprobación con software MEFI.

Como comprobación de los resultados analíticos obtenidos anteriormente, se calculan los diagramas de esfuerzos de la estructura usando el software MEFI. Este es un programa académico de la Universidad Politécnica de Cartagena, que permite el análisis de estructuras planas tanto articuladas como rígidas.

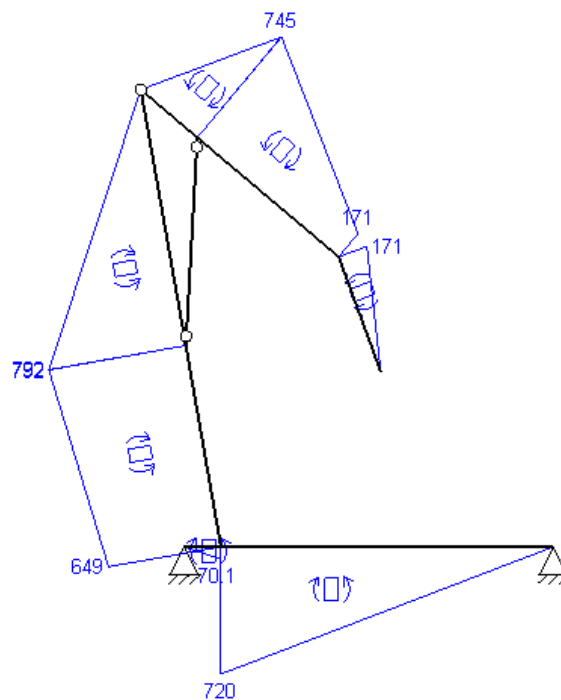
Se procede al estudio de la grúa para su carga máxima (1500 N) en 3 posiciones diferentes del brazo, en su estado más baja $\theta = -40^\circ$, en el de mayores flectores $\theta = 12^\circ$ y en el más alto $\theta = 50^\circ$, obteniendo los siguientes resultados.

Diagramas de flectores, unidades (N·m):

Grúa Sanitaria, ángulo -40° □ (estado 1)

Momentos flectores

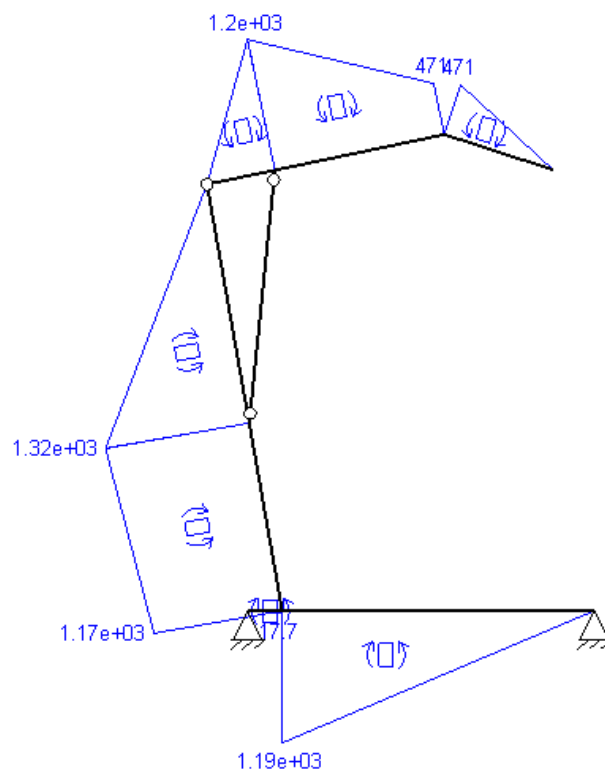
MEFI



Grúa Sanitaria, ángulo 12° □ (estado 1)

Momentos flectores

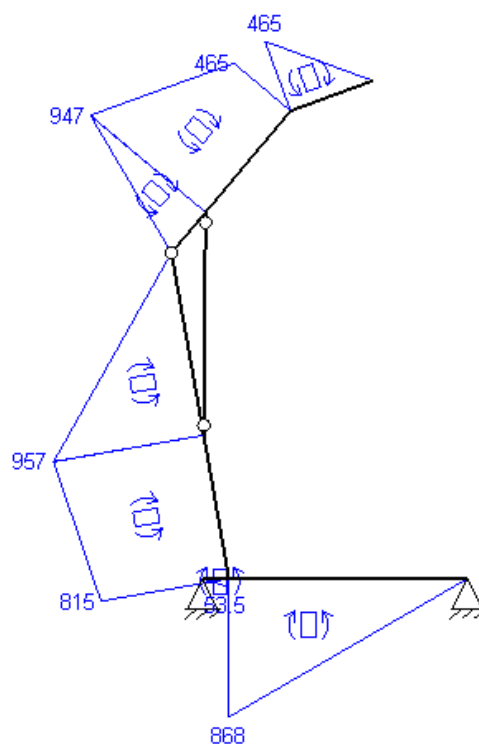
MEFI



Grúa Sanitaria, ángulo 50° □ (estado 1)

Momentos flectores

MEFI

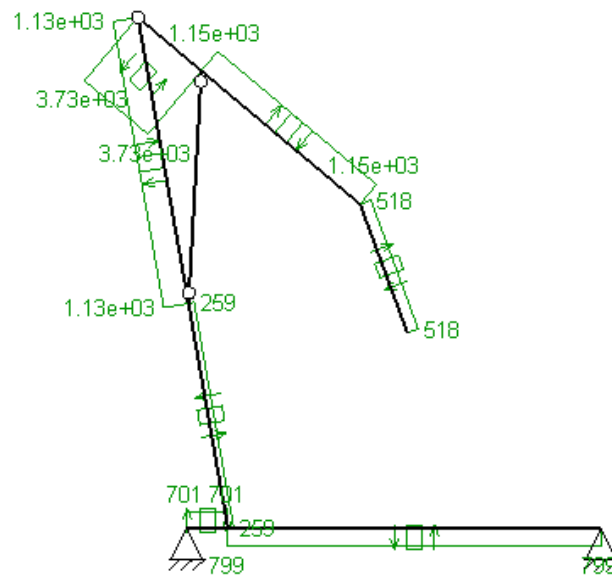


Diagramas de Cortantes, unidades (N):

Grúa Sanitaria, ángulo -40° □ (estado 1)

MEFI

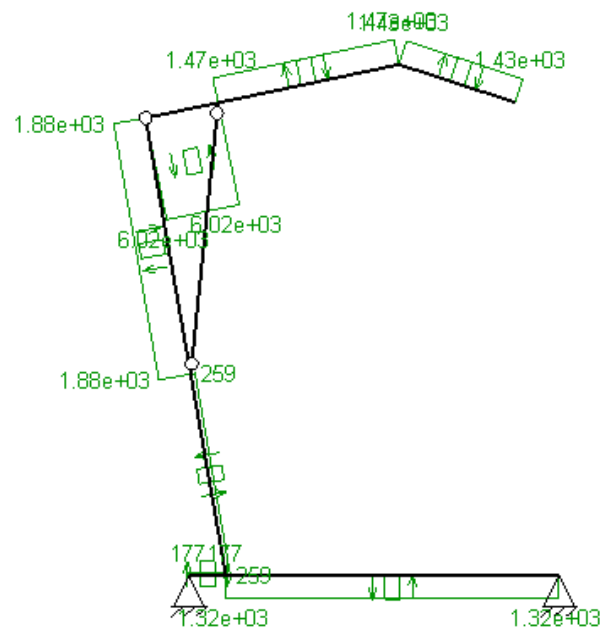
Esfuerzos cortantes



Grúa Sanitaria, ángulo 12° □ (estado 1)

MEFI

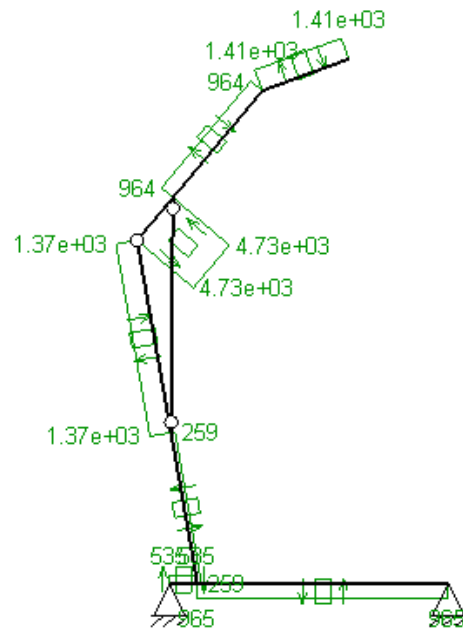
Esfuerzos cortantes



Grúa Sanitaria, ángulo 50° □ (estado 1)

MEFI

Esfuerzos cortantes

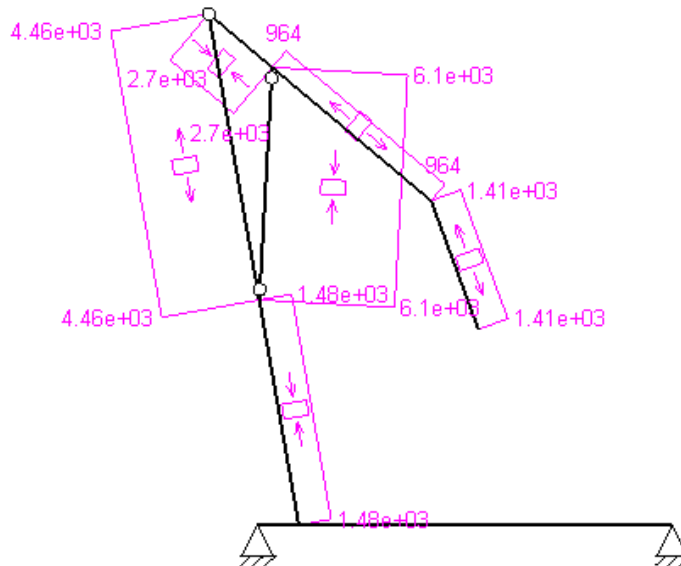


Diagramas de axiles, unidades (N):

Grúa Sanitaria, ángulo -40° □ (estado 1)

MEFI

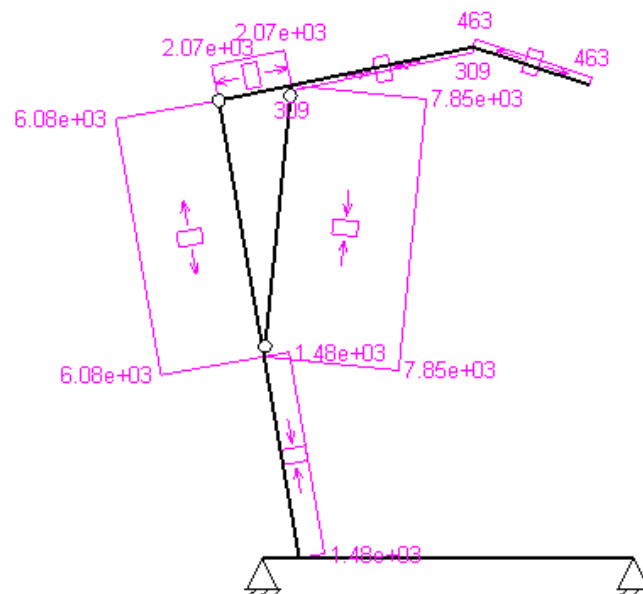
Esfuerzos axiales



Grúa Sanitaria, ángulo 12° □ (estado 1)

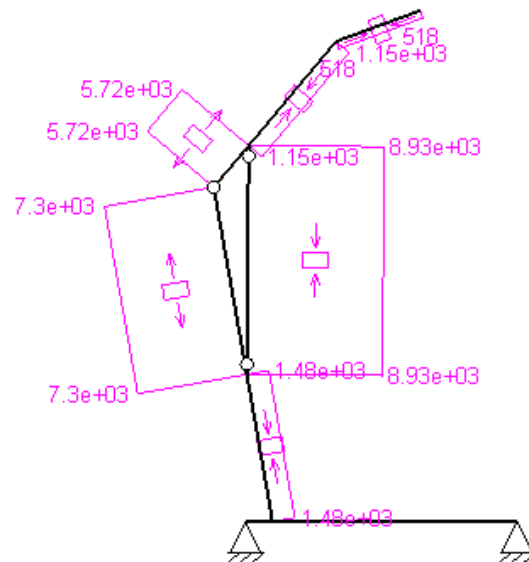
MEFI

Esfuerzos axiales



Grúa Sanitaria, ángulo 50° □ (estado 1)
Esfuerzos axiales

MEFI



Conclusión:

Los valores de los esfuerzos obtenidos con MEFI coinciden con exactitud con los calculados analíticamente, por lo que quedan comprobados estos valores y se pasa a la fase de modelado en 3D de los elementos de la grúa.

6. MODELADO Y ANÁLISIS ESTÁTICO.

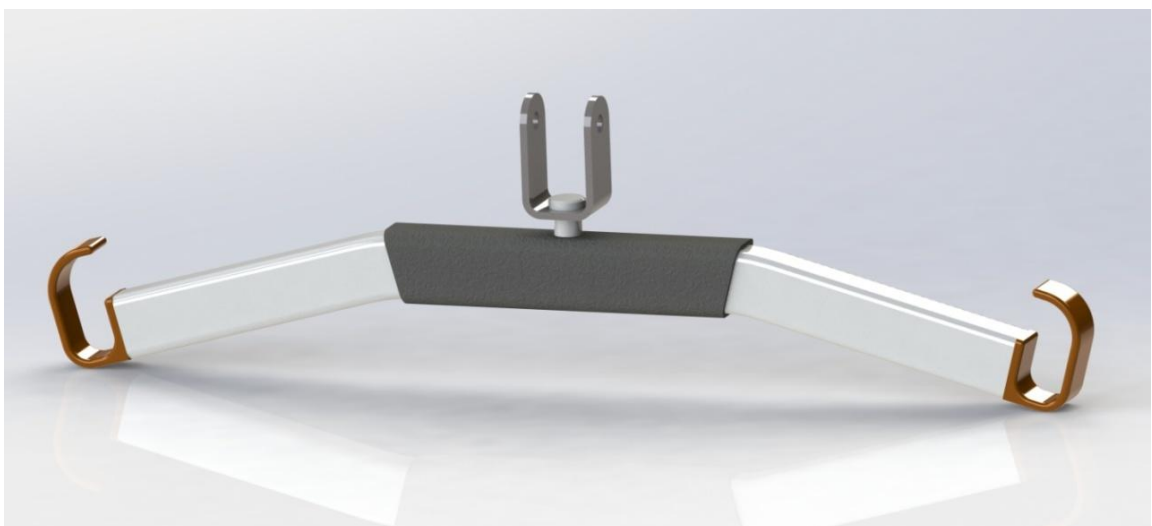
Gracias a los sistemas CAD en 3D, se puede modelar cualquier pieza con precisión y una apariencia realista. Si a esto le añadimos un software de elementos finitos se puede comprobar su comportamiento en unas condiciones reales de trabajo, todo ello sin necesidad de fabricar un prototipo. SOLIDWORKS es una herramienta que presta ambas funciones bajo un mismo entorno, este es el motivo principal por el que ha sido el software elegido para diseñar y analizar los elementos de la grúa.

La parte de modelado intentará combinar un diseño sencillo pero funcional, fácil de armar y desarmar, y todo ello intentando usar elementos comerciales que no encarezcan demasiado el producto.

La parte del análisis consistirá en hacer un estudio estático individual de cada una de las piezas de la grúa. Aplicando en cada una de ellas las fuerzas y reacciones calculadas en el estudio analítico. Se evaluarán las tensiones, desplazamientos y el factor de seguridad de cada elemento, modificando las piezas que así lo requieran.

6.1. Percha.

La percha es el elemento que sirve para enganchar el arnés que sujeta al paciente. Es un conjunto de varias piezas formadas principalmente por un tubo rectangular doblado y una horquilla que se une al brazo por medio de un pasador.



6.1.1. Análisis estático de la percha.

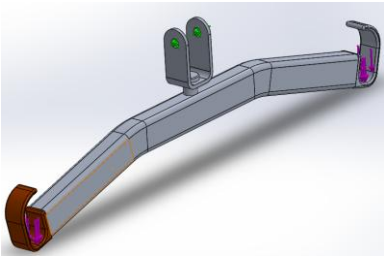
Se analiza el ensamblaje que forma la percha junto con su horquilla para las siguientes condiciones de contorno y parámetros de cálculo.

Material:

Propiedades del material	
Descripción	Aluminio (EN-AW 3105)
Límite elástico	220 N/mm ²
Límite de tracción	240 N/mm ²
Módulo elástico	70000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.3897
Densidad	2710 g/cm ³

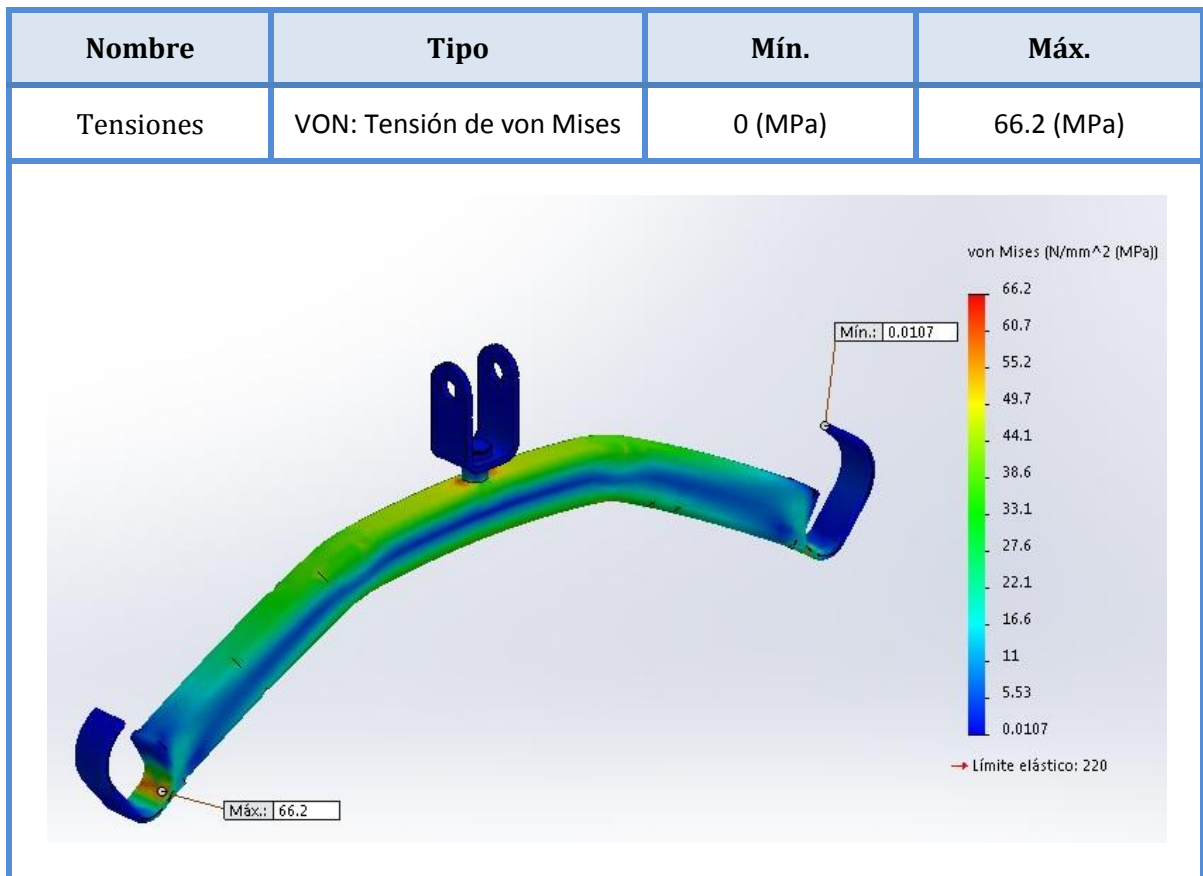
Sujeciones y cargas:

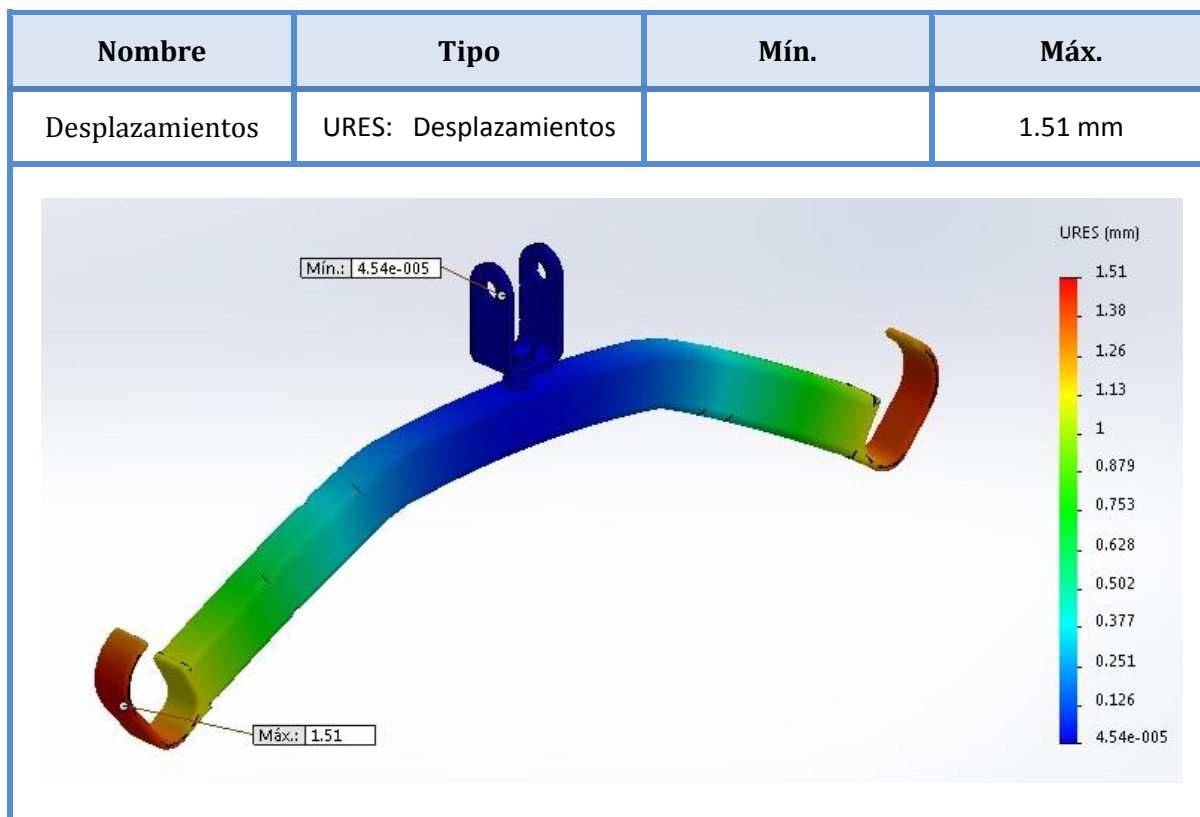
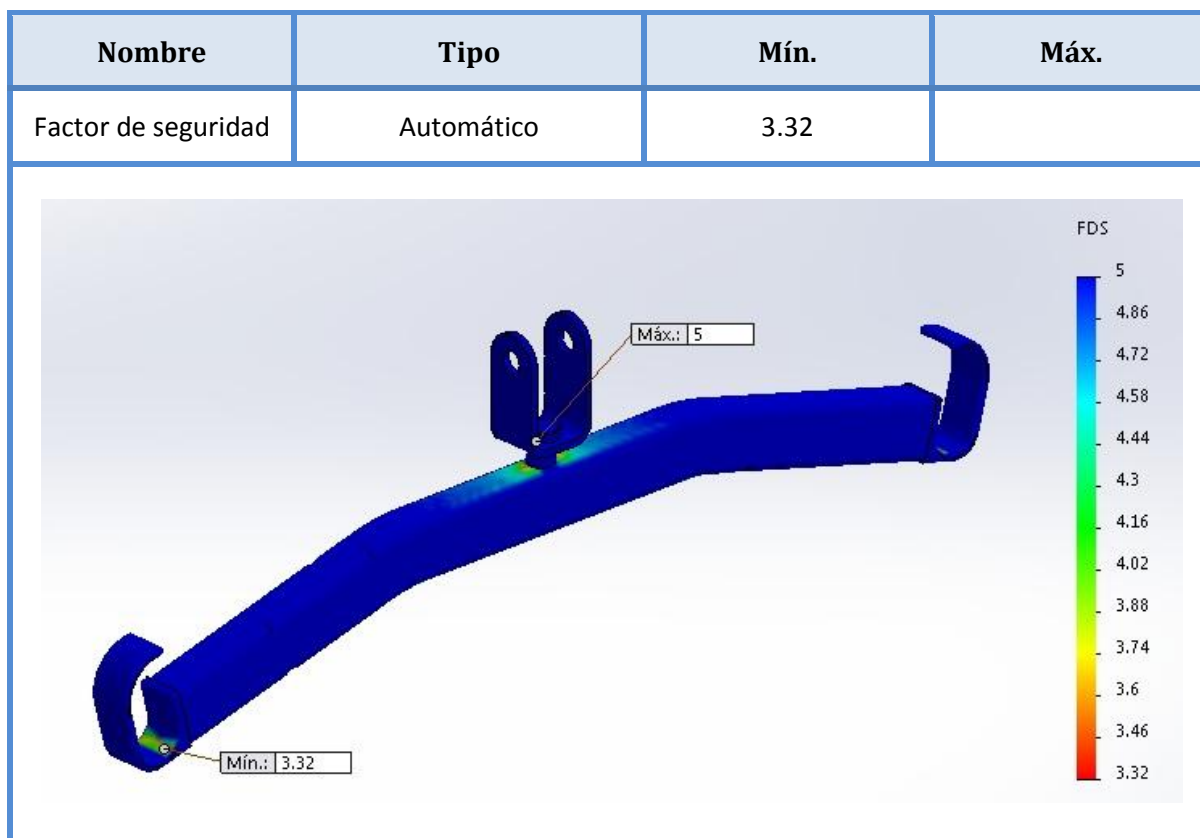
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-2		<p>Entidades 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Bisagra fija</p>

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 1500 N</p>

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	0 mm
Tamaño mínimo del elemento	0 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:



Conclusiones.

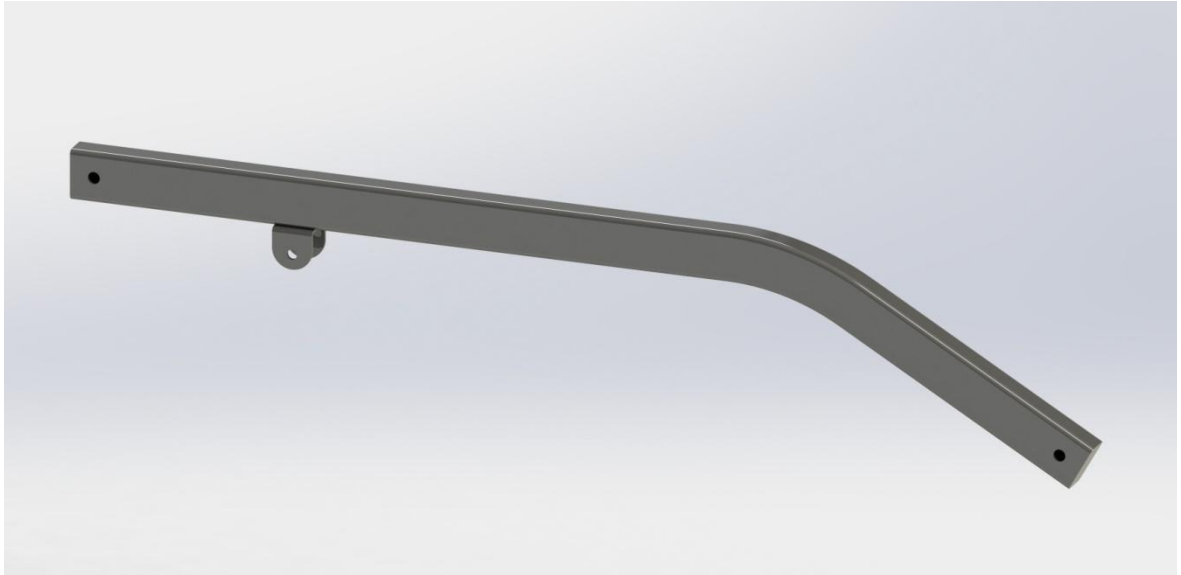
Tras el análisis de los resultados, se considera que la pieza está correctamente dimensionada ya que resiste bien la carga máxima y manteniendo unos valores de desplazamientos moderados.

Características de la pieza:

Percha	
Dimensiones	Perfil 35x25x2mm, L=500mm
Material	Aluminio EN –AW3105
Peso aprox.	0,547 Kg
FDS mínimo	3,30

6.2. Brazo.

El brazo se modela a partir de un tubo hueco rectangular de 50x30x2mm con una horquilla soldada, la cual sirve de anclaje al vástago del actuador. En un extremo del tubo se une a la columna mediante un pasador y en el otro extremo va enganchada la percha con otro pasador.



6.2.1. Análisis estático del brazo.

Se estudia el brazo en su escenario más desfavorable, para el ángulo $\theta = 12^\circ$ y carga de 1500N, que corresponde con el máximo flector. Se analiza este elemento para las siguientes condiciones de contorno y parámetros de cálculo.

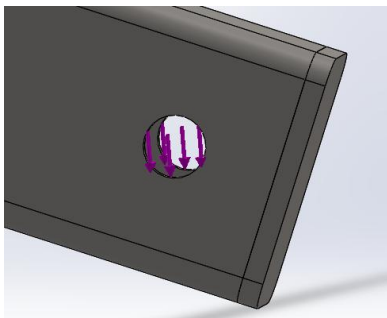
Materiales:

Ha sido necesario crear un nuevo material en SolidWorks con las características mecánicas del acero empleado en el diseño (Ver punto 5.2).

Propiedades del material	
Descripción	S700MC
Límite elástico	700 N/mm ²
Límite de tracción	800 N/mm ²
Módulo elástico	210000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.28
Densidad	7800 g/cm ³

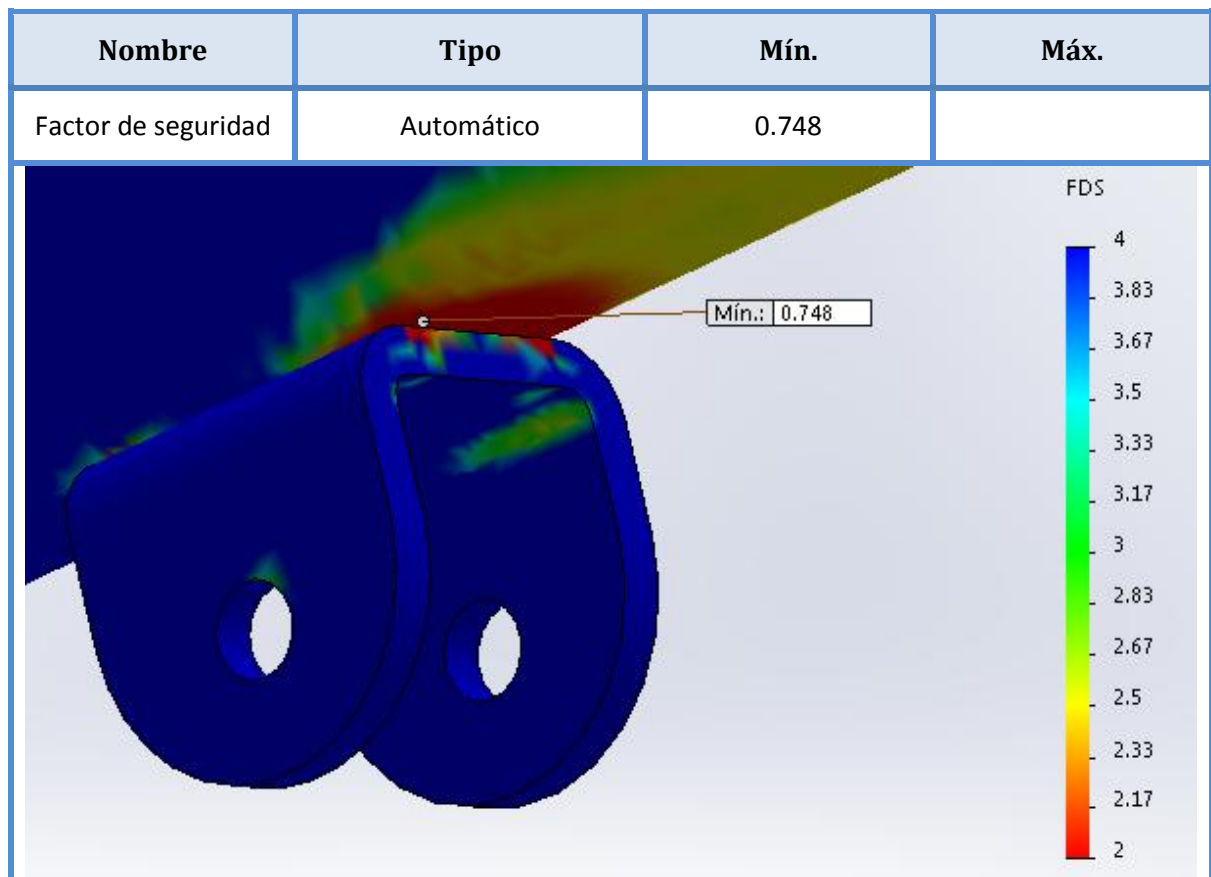
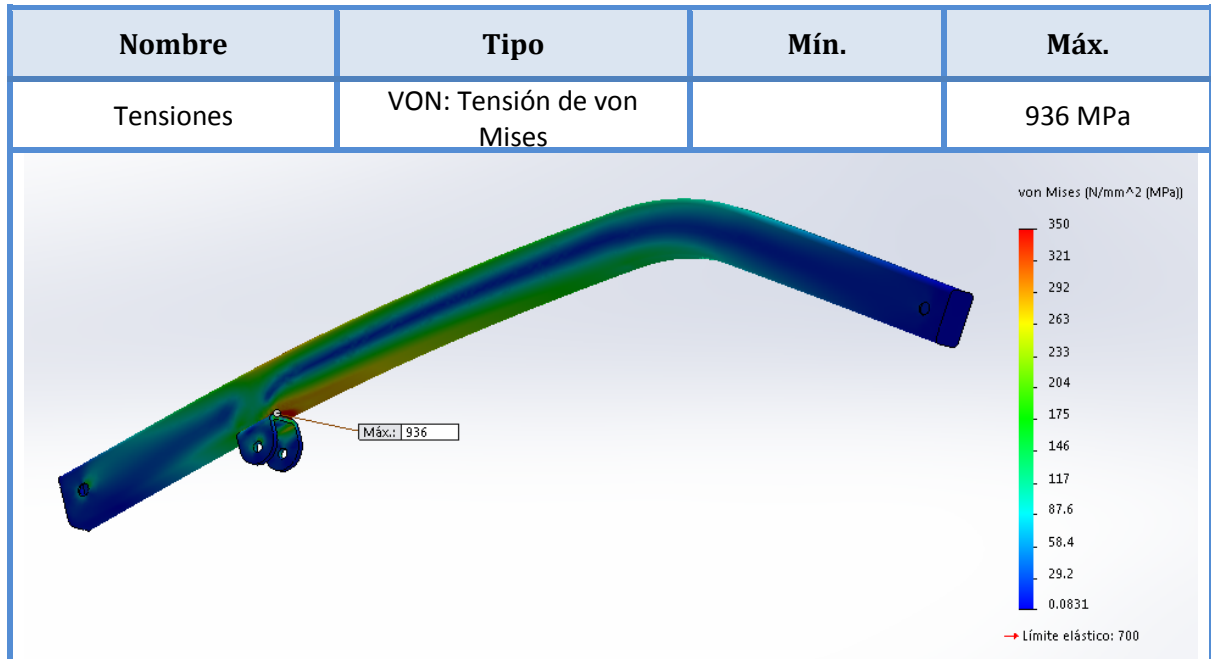
Sujeciones y cargas:

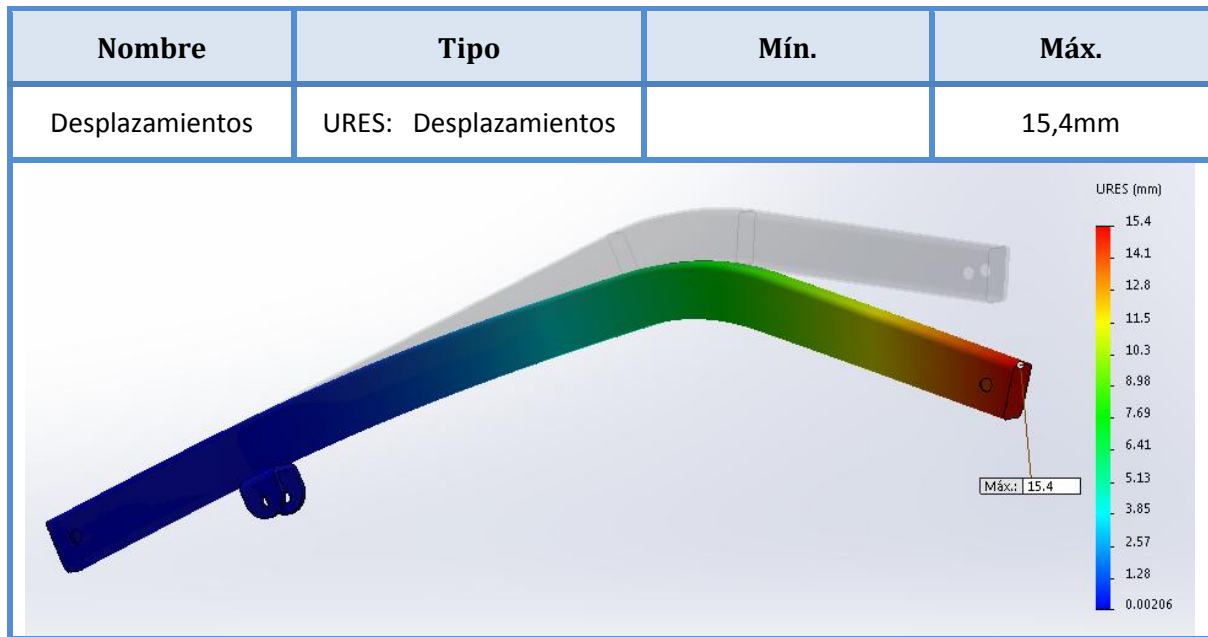
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija
Bisagra fija-2		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 1500 N

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	11.2602 mm
Tamaño mínimo del elemento	2.25204 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:



Conclusiones.

Se observa en la unión de la horquilla con el brazo una zona de concentración de tensiones sobrepasando el límite elástico del material, por lo que es necesario modificar esta unión.

Por otra parte se produce un desplazamiento en el extremo del brazo de 15,4mm, esto supone el 1,54% de la longitud del brazo, que aun no considerándose excesivo, se intentará reducir en lo posible.

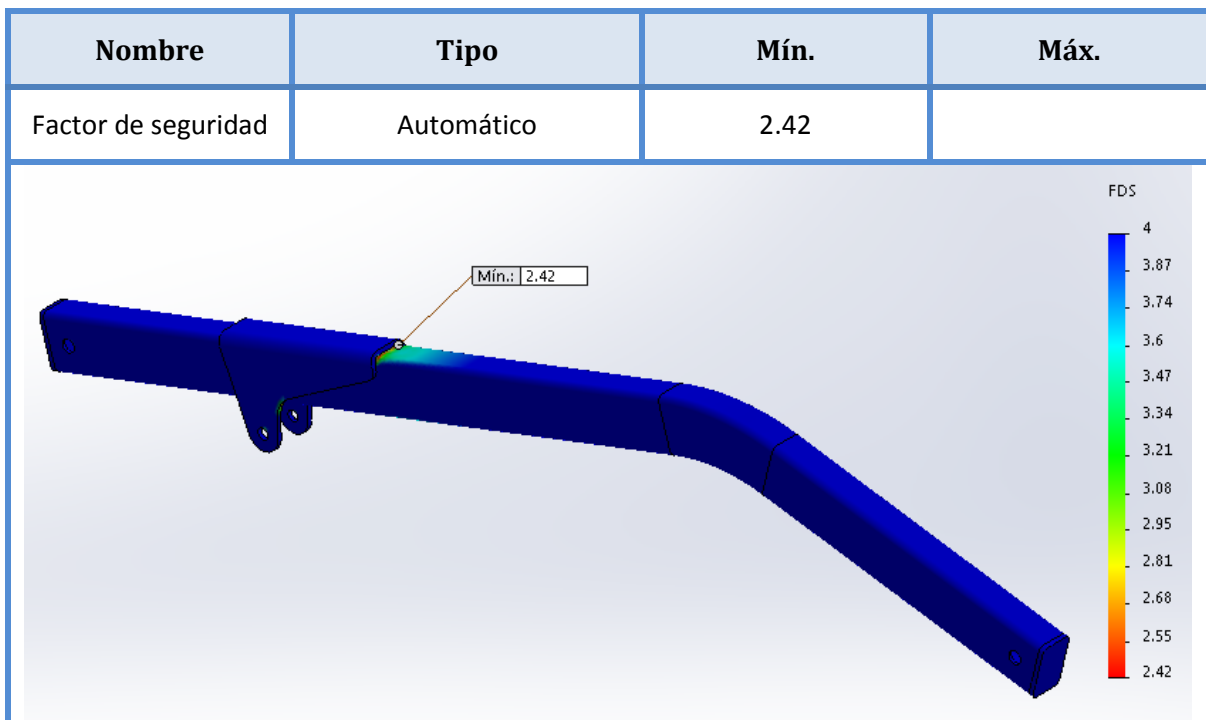
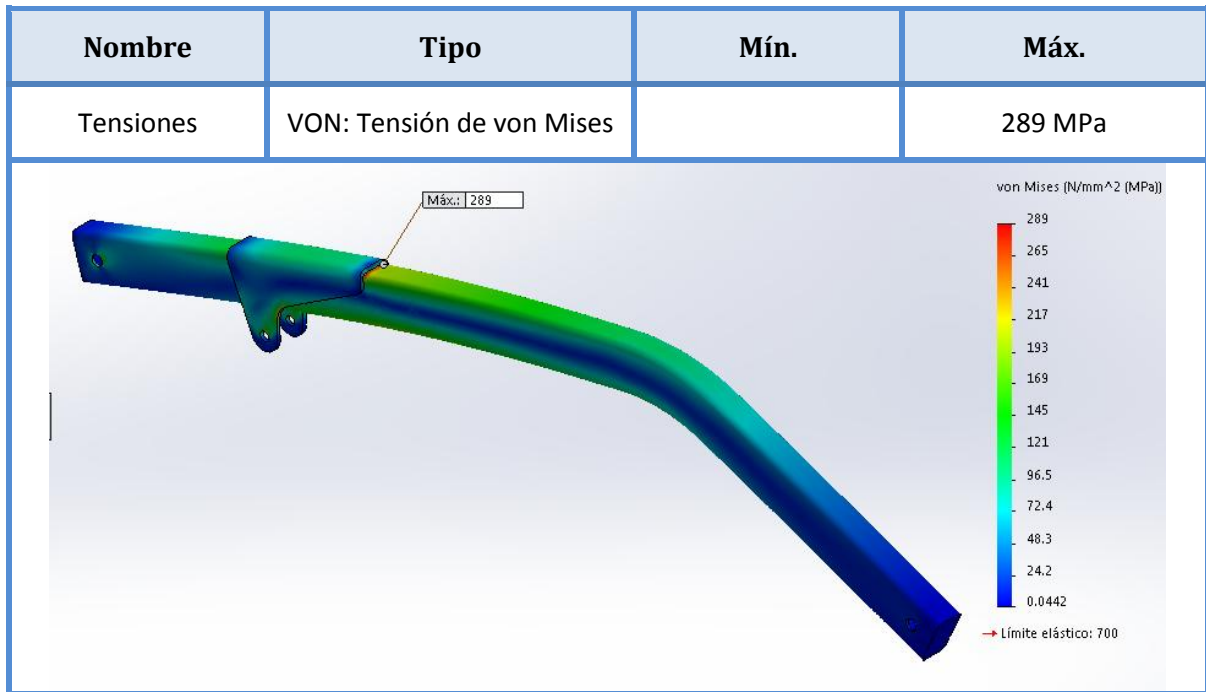
6.2.2. Modificaciones.

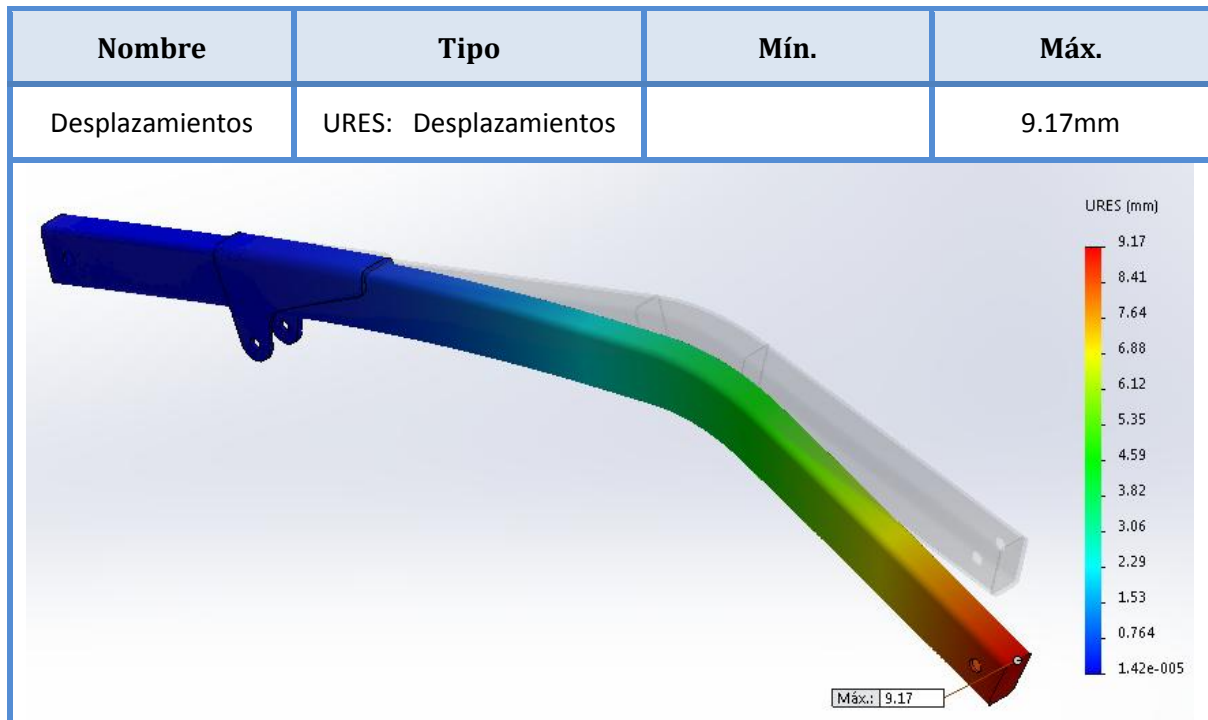
Para evitar el aplastamiento que sufría la zona de unión de la horquilla, ha sido necesario hacer varios cambios, por una parte se ha aumentado el espesor del perfil en 0,5mm quedando finalmente de 30x50x2.5mm y por otro lado se ha rediseñado la forma de la horquilla tal como se muestra en la imagen.



Se analiza el nuevo diseño con las mismas condiciones de contorno, obteniendo los siguientes resultados.

Resultados del estudio:



**Resumen:**

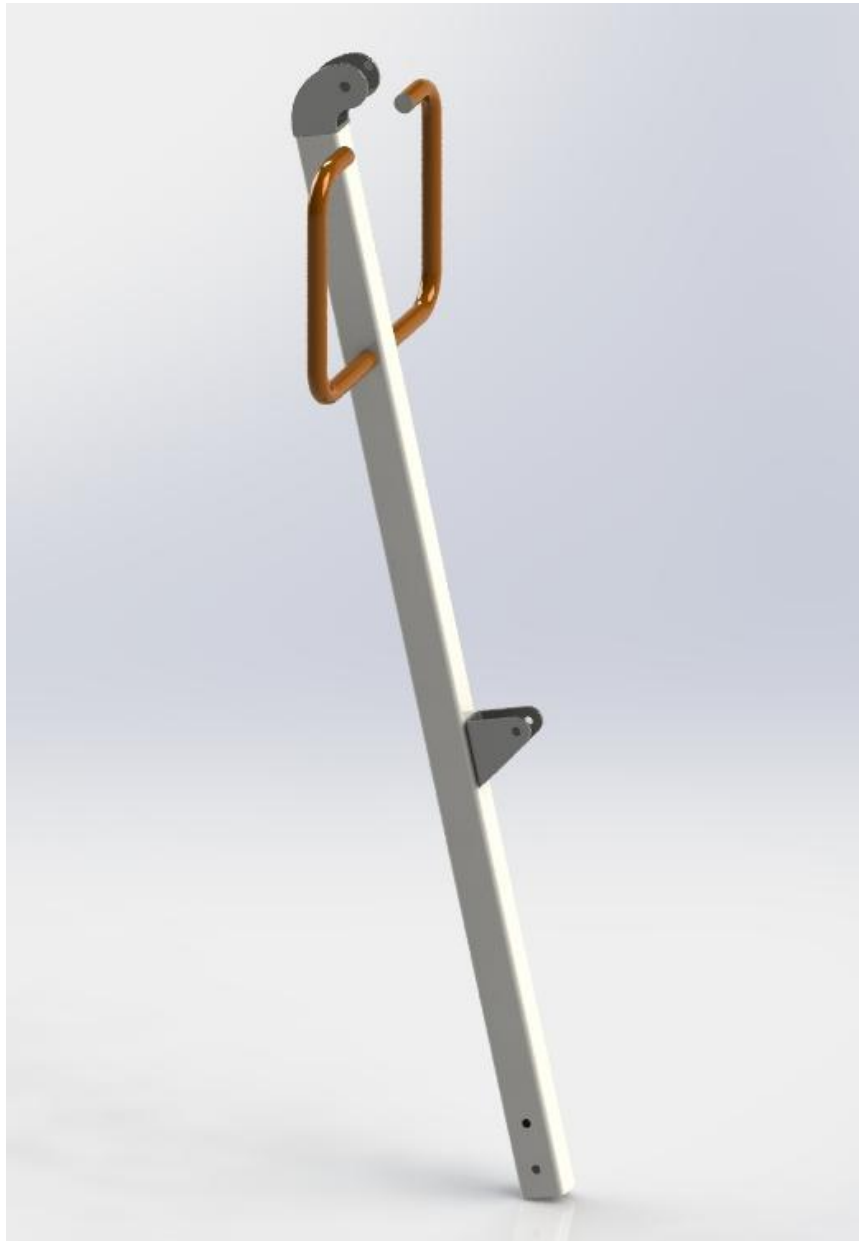
Se ha conseguido reducir la tensión máxima de 936MPa a 289MPa, consiguiendo un FDS=2,42. El desplazamiento máximo también se ha reducido de 15,4 mm a 9,17 mm.

Finalmente se considera que la pieza está correctamente dimensionada para las exigencias de diseño, reuniendo las siguientes características:

Brazo de la grúa	
Dimensiones	Perfil 50x40x2,5mm, L=1030mm
Material	Acero STREX 700MH
Peso aprox.	3,65 Kg
FDS mínimo	2,42

6.3. Columna.

Este elemento se modela a partir de un tubo hueco rectangular de 40x50x2mm, en el extremo superior se diseña una horquilla curva que permite el giro del brazo, en su parte media se coloca otra horquilla para el anclaje inferior del actuador. Se coloca un manillar para maniobrar la grúa con dos trozos de tubo doblados. En su base se perforan dos agujeros que sirven para fijar la columna con el travesaño con un par de pasadores de montaje rápido.



6.3.1. Análisis estático de la columna.

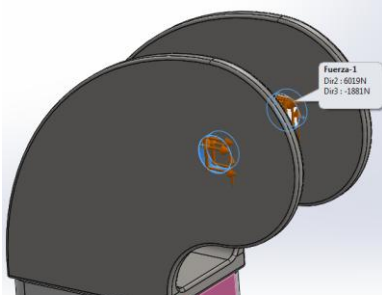
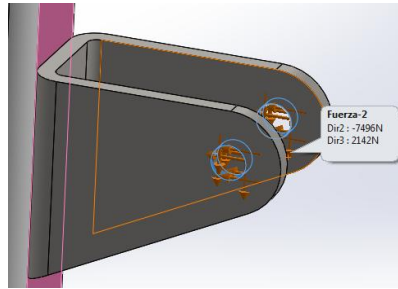
El caso más desfavorable para la columna, se produce para carga de 1500N y ángulo de brazo $\theta = 10^\circ$, aparece un flector máximo en la unión con la horquilla central. Se analiza este elemento para las siguientes condiciones de contorno y parámetros de cálculo.

Materiales:

Propiedades del material	
Descripción	S700MC
Límite elástico	700 N/mm ²
Límite de tracción	800 N/mm ²
Módulo elástico	210000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.28
Densidad	7800 g/cm ³

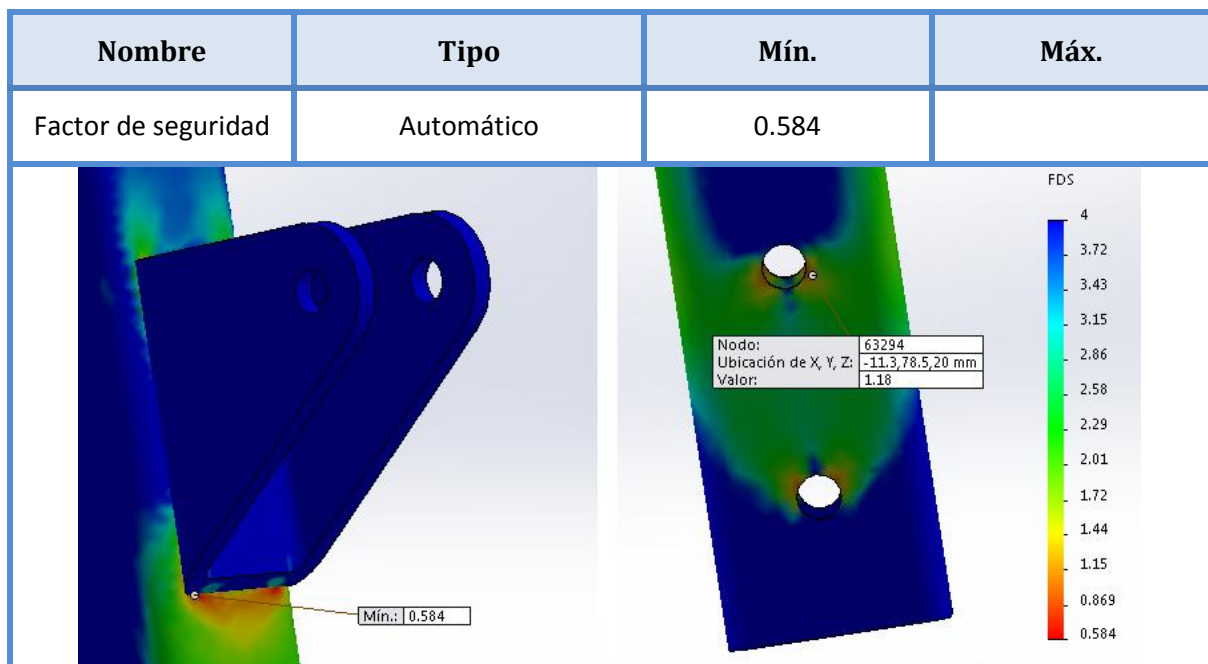
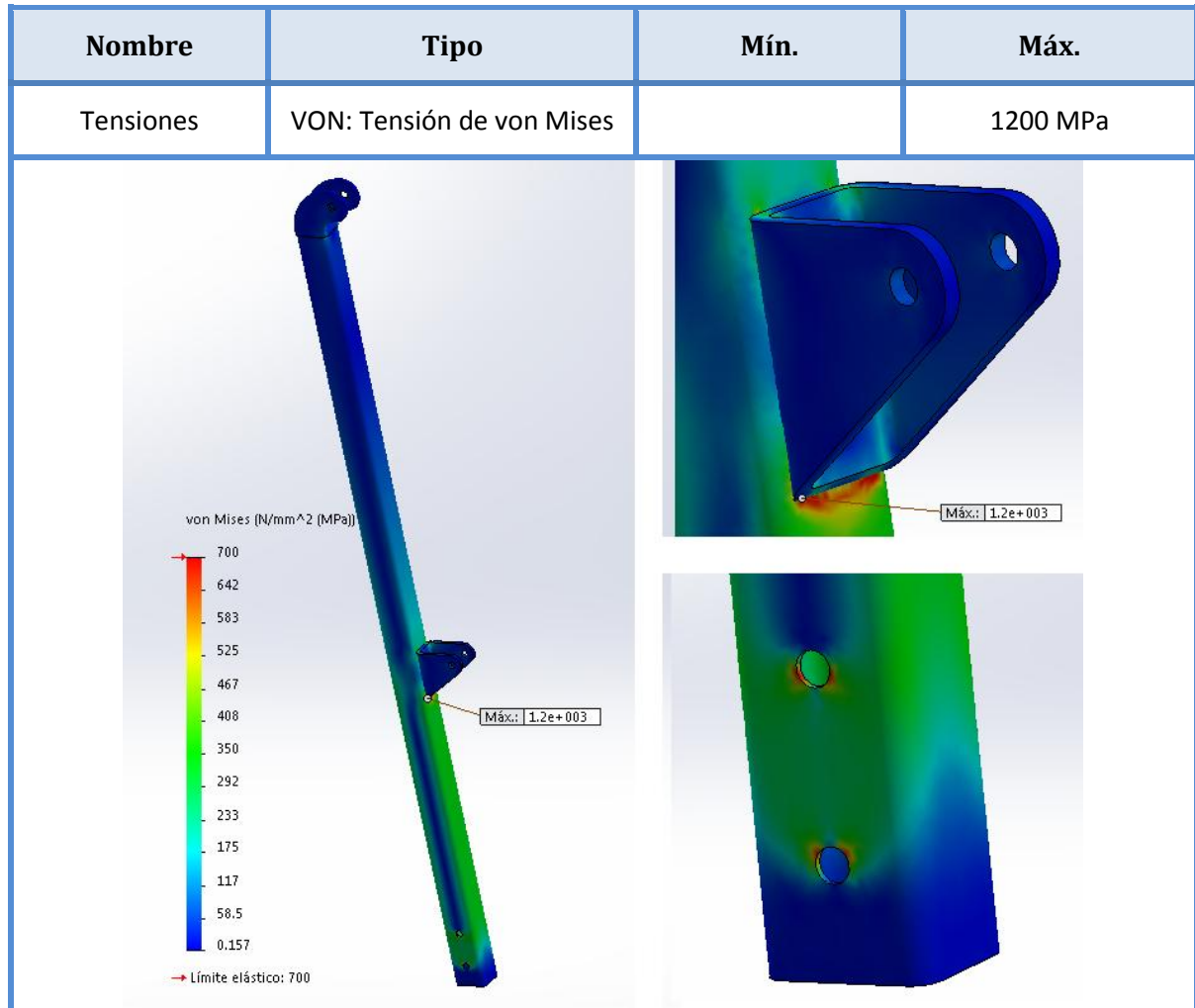
Sujeciones y cargas:

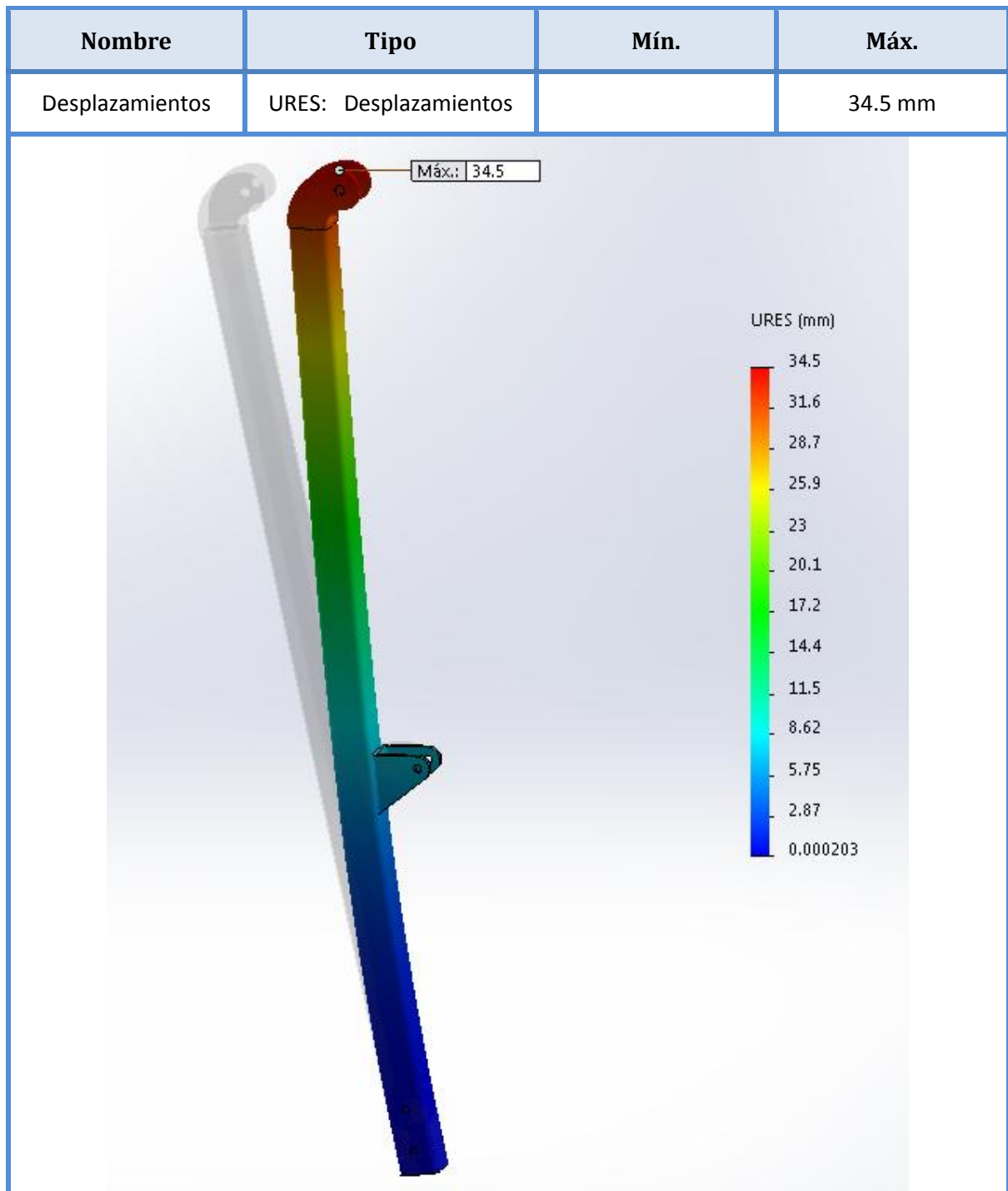
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija
Bisagra fija-2		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valor: 6019, -1881 N</p>
Fuerza-2		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valor: -7496, 2142 N</p>

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	13.7492 mm
Tamaño mínimo del elemento	2.74984 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:

**Conclusiones.**

Las mayores tensiones aparecen en dos zonas diferenciadas, una es la unión con la horquilla (330MPa) y la otra en los taladros donde se une la pieza con el travesaño (468MPa). Estas zonas tienen FDS inferiores a 2, por lo que es necesario hacer modificaciones para solventar este problema.

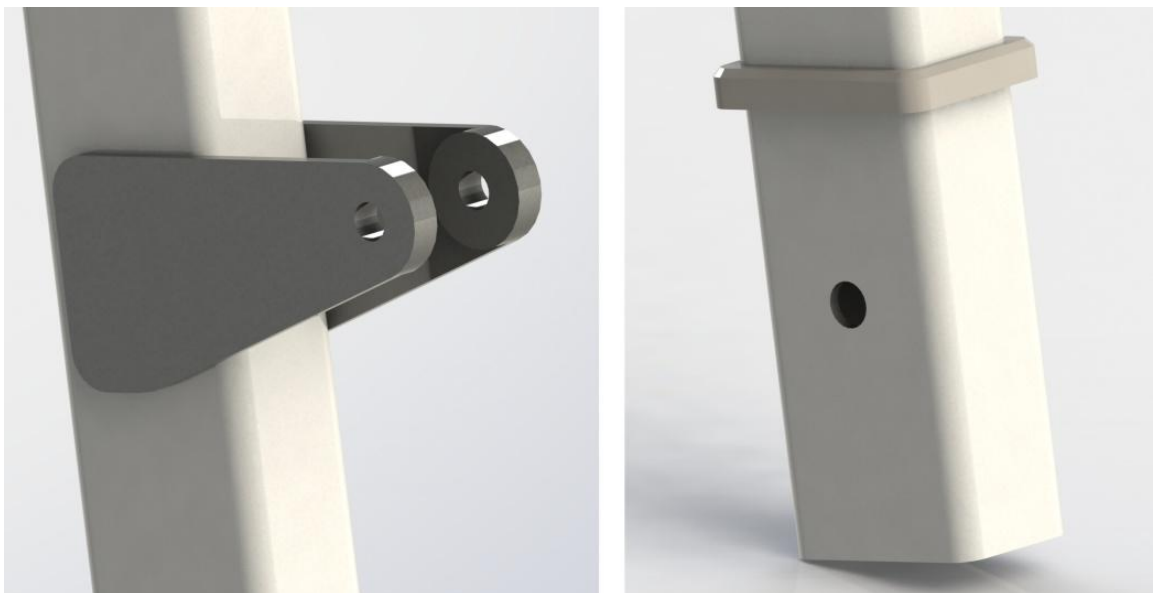
El máximo de desplazamiento se produce en el extremo superior, con un valor de 34,5mm, un 2,76% de la longitud de la pieza, esto se considera un valor excesivo y que es preciso reducir.

6.3.2. Modificaciones.

Para reducir los grandes desplazamientos que sufría la columna se ha aumentado el tamaño del perfil a 40x60x3mm.

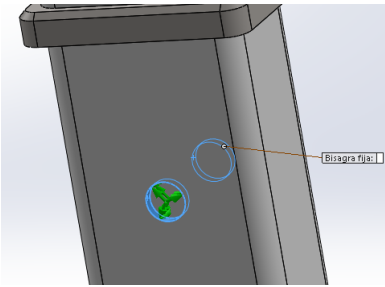
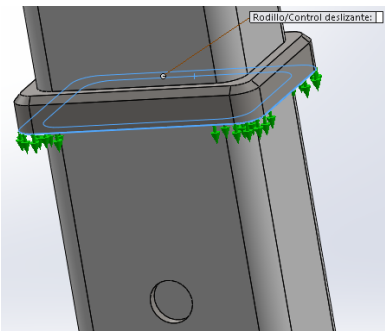
También se ha rediseñado la forma de la horquilla para reducir el aplastamiento que sufría en su unión con el perfil, quedando como se muestra en la imagen.

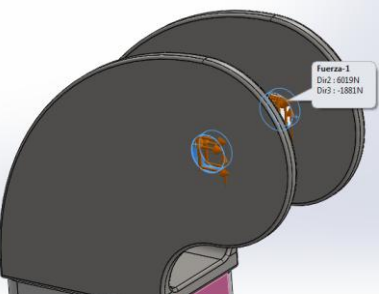
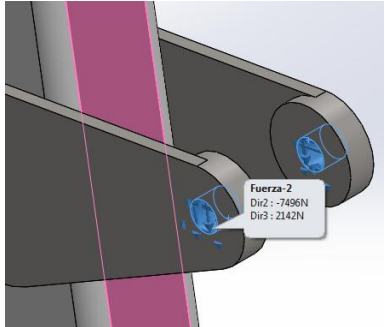
Por otro lado se ha eliminado las tensiones en los agujeros de la base, colocando un anillo alrededor de la columna, este soportará toda la carga ya que descansará directamente sobre el travesaño. Además se ha suprimido uno de estos agujeros al considerar que con el nuevo apoyo y un pasador queda bien fijado al travesaño.

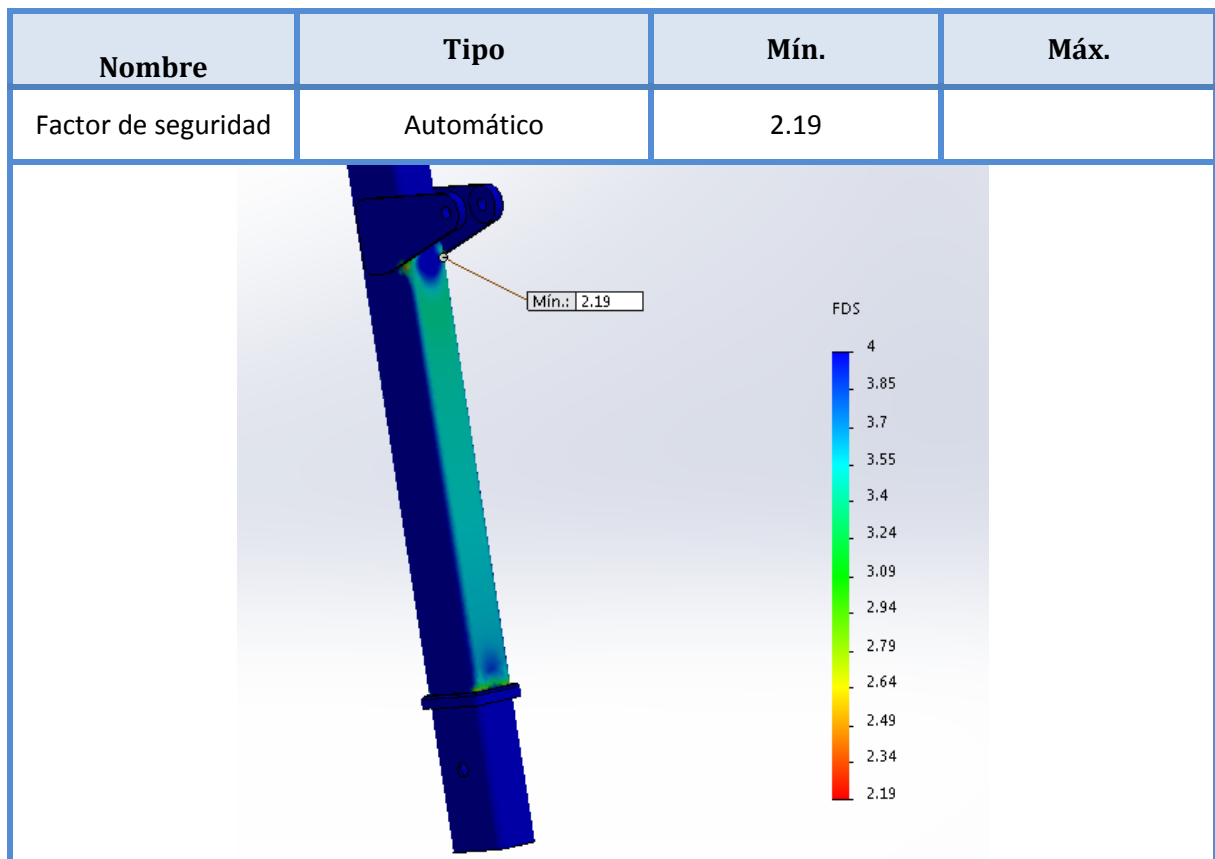
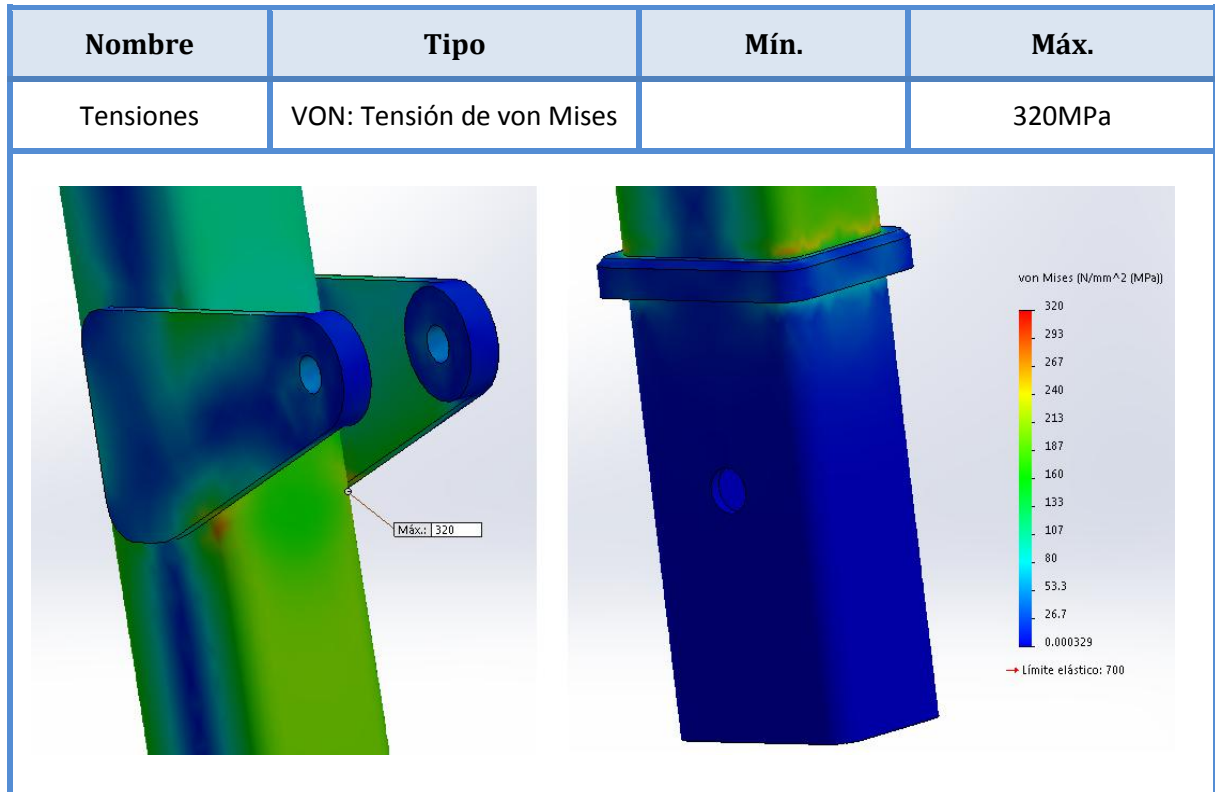


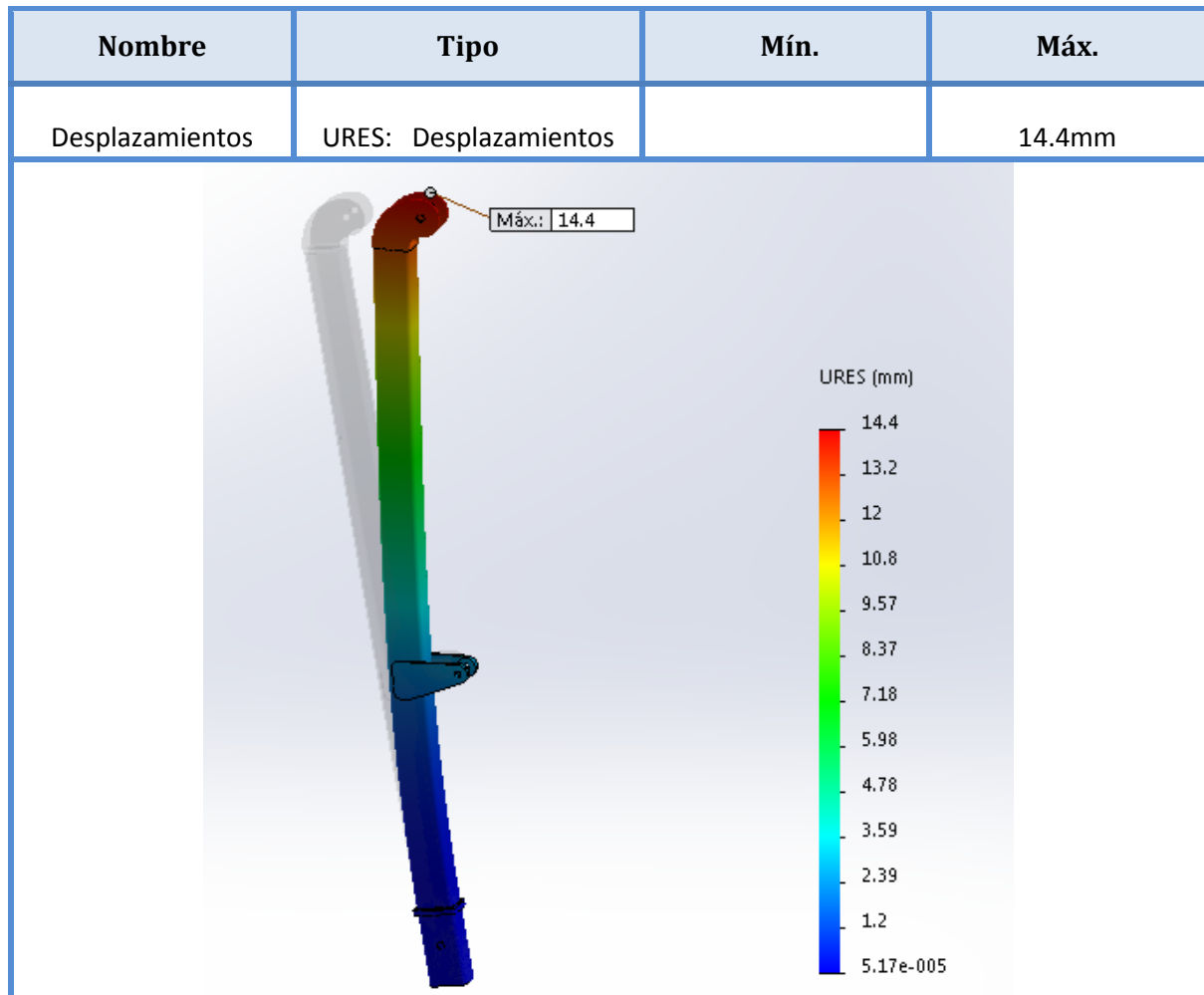
Al haber cambiado la forma de contacto con el travesaño, es necesario definir de nuevo las sujeciones y los puntos de aplicación de las cargas para poder volver a analizar la pieza.

Sujeciones y cargas:

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija
odillo/ Control deslizante-1		Entidades 1 cara Tipo: Rodillo/ Control deslizante

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valor: 6019, -1881 N
Fuerza-2		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valor: -7496, 2142 N

Resultados del estudio:

**Resumen:**

Se ha reducido la tensión de la zona de la horquilla de 614MPa a 320MPa y la del agujero de la base ahora es despreciable. La tensión máxima de la columna es de 320MPa siendo el FDS =2,19. También se ha reducido el desplazamiento máximo de 18,2mm a 14,4mm.

Finalmente se considera que la pieza está correctamente dimensionada para las exigencias de diseño, reuniendo las siguientes características:

Columna	
Dimensiones	Perfil □60x40x3mm, L=1175mm
Material	Acero STREX 700MH
Peso aprox.	6,85 Kg
FDS mínimo	2,19

6.4. Travesaño.

Este componente sirve de unión entre la columna y las dos patas, éstas se unen mediante articulaciones formadas por horquillas y tornillos. Mientras la columna se introduce dentro del travesaño al que se fija con dos pasadores.

Este elemento se modela a partir de un tubo rectangular de 70x50x3.2mm, atravesado por un tubo cuadrado de 40x40x3mm. En la parte trasera lleva soldado un eje para el pedal de apertura de las patas.



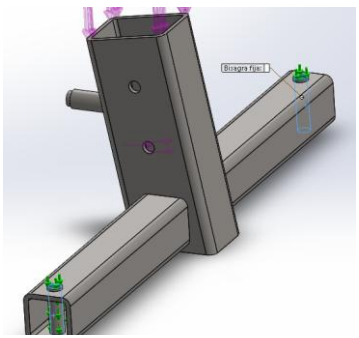
6.4.1. Análisis estático del travesaño.

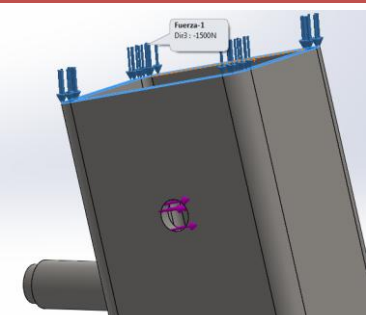
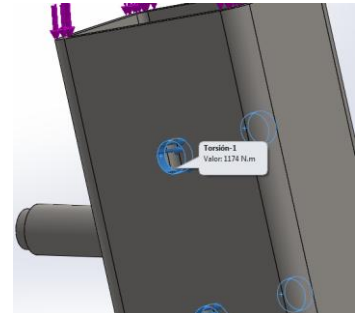
Las mayores sollicitaciones en esta pieza se dan para la carga máxima (1500N) y ángulo del brazo $\theta=10^\circ$, el momento flector de la columna se transmite al travesaño, haciendo que el perfil cuadrado se vea sometido a una fuerza de torsión de 1174Nm. Se analiza junto con los casquillos de unión de las patas, para las siguientes condiciones de contorno y parámetros.

Materiales:

Propiedades del material	
Descripción	S700MC
Límite elástico	700 N/mm ²
Límite de tracción	800 N/mm ²
Módulo elástico	210000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.28
Densidad	7800 g/cm ³

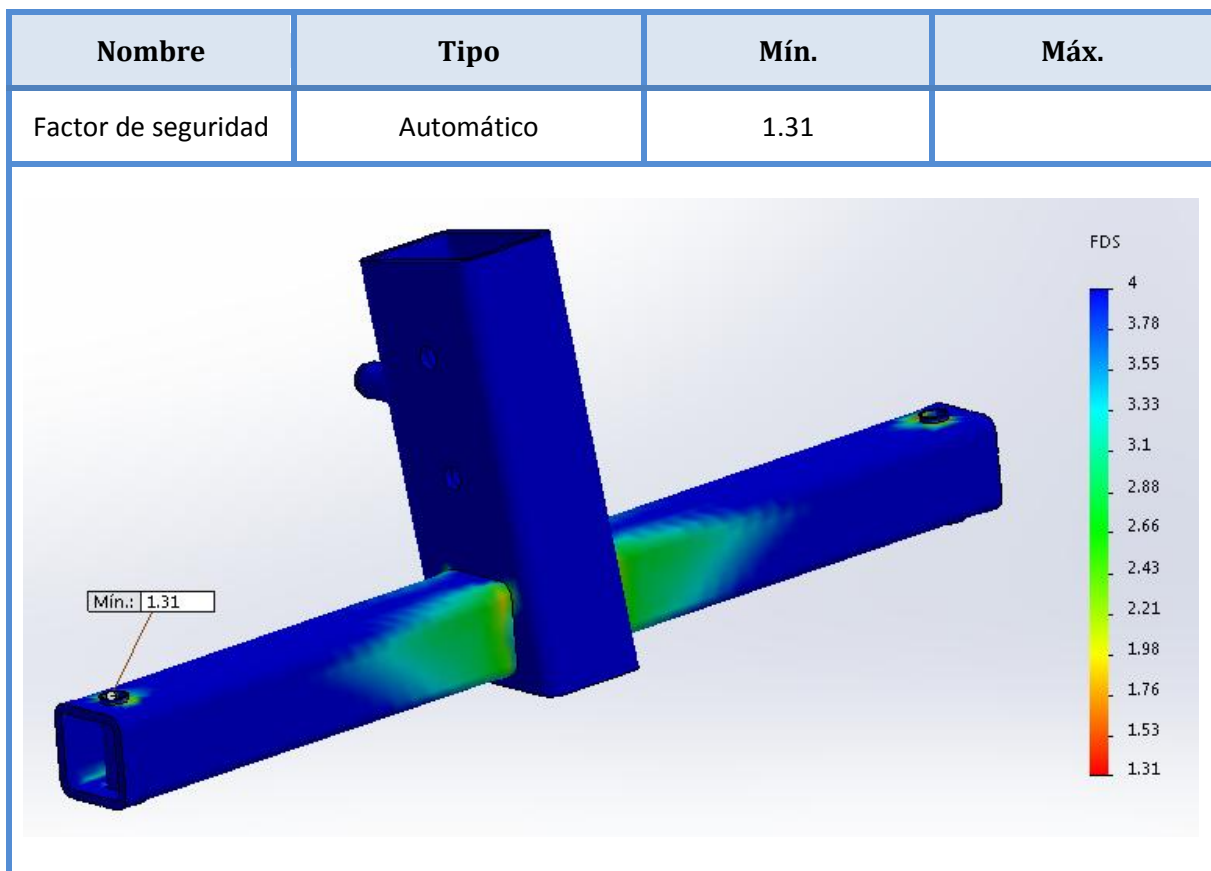
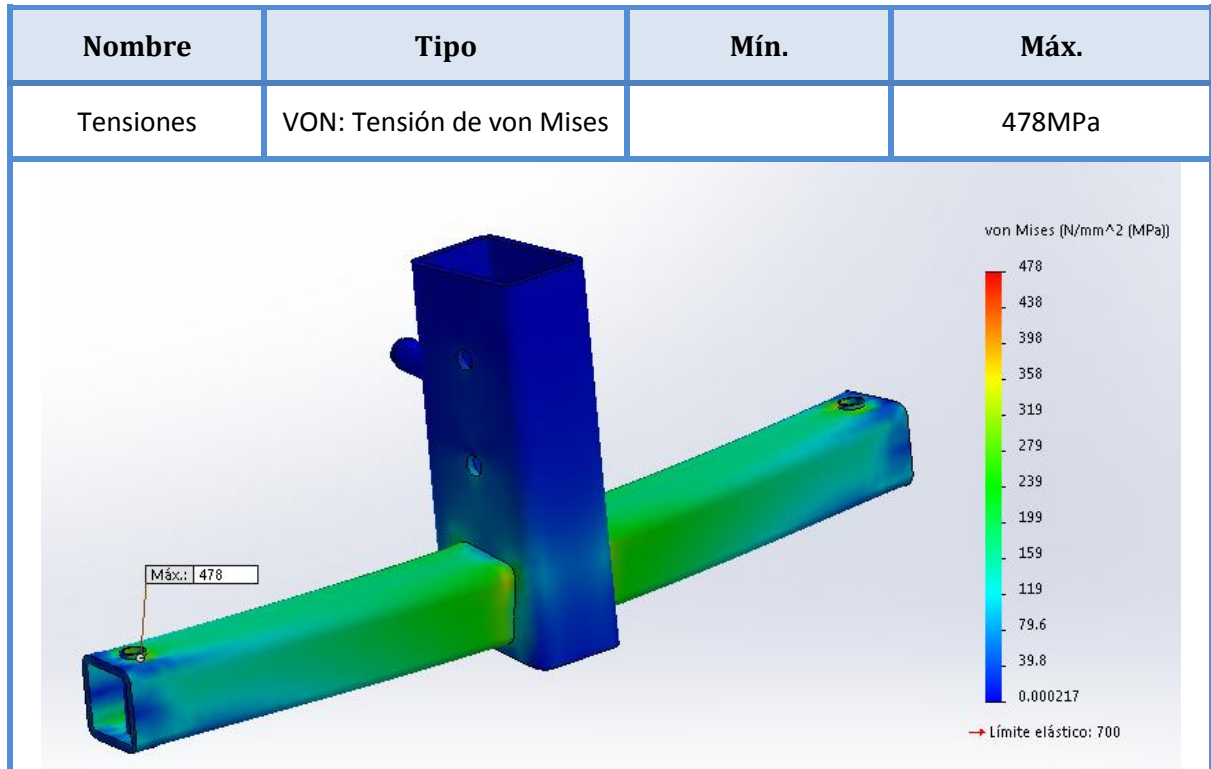
Sujeciones y cargas:

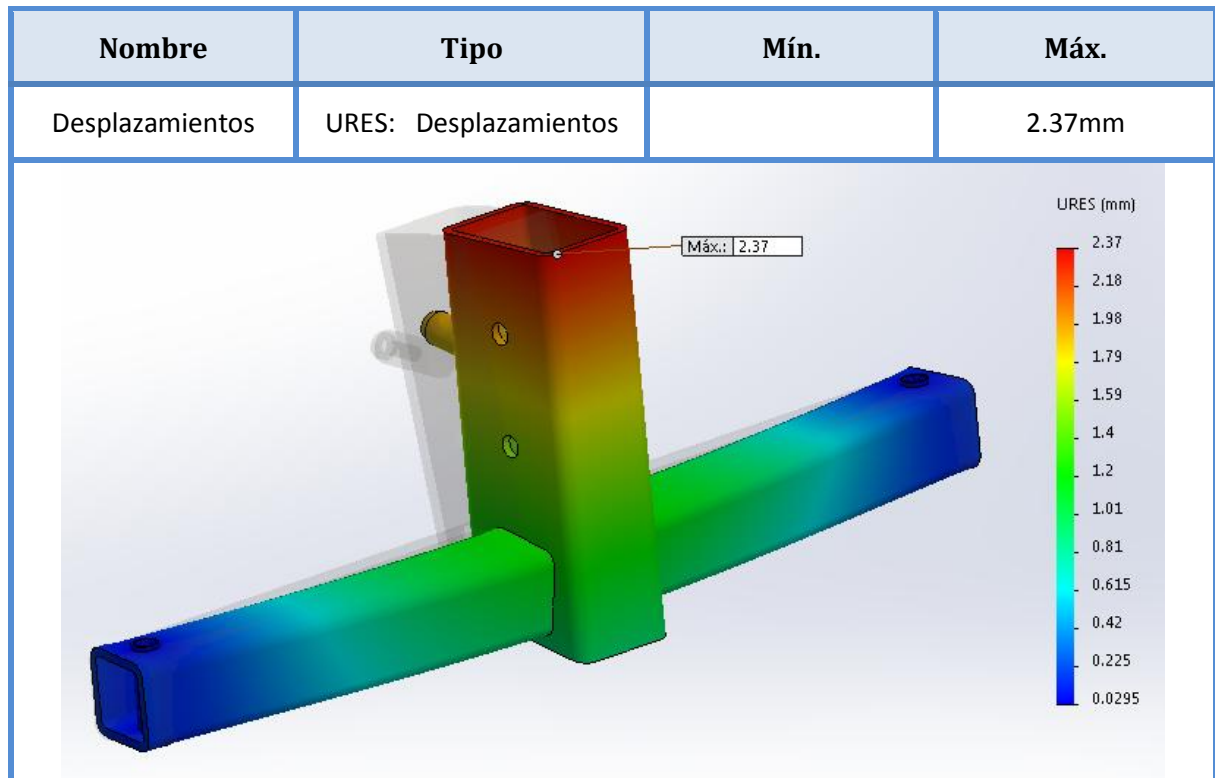
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		Entidades: 2 caras Tipo: Bisagra fija

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valor: 0,0,1500 N
Torsion-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 1174 N m

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	9.56402 mm
Tamaño mínimo del elemento	1.9128 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:



Conclusiones.

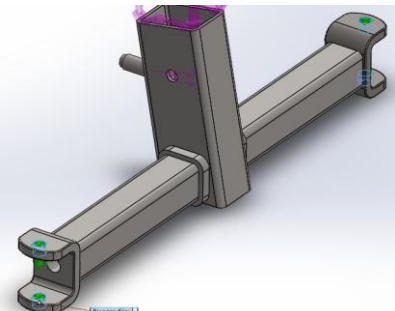
Aparecen tensiones importantes en el tubo cuadrado, en los agujeros de unión con las patas y cerca del poste vertical. Estas zonas el FDS es inferior a 2, por lo que es necesario modificar el diseño para solucionarlo.

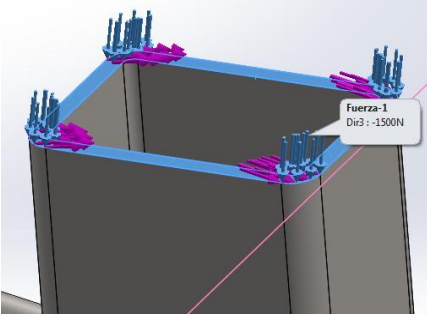
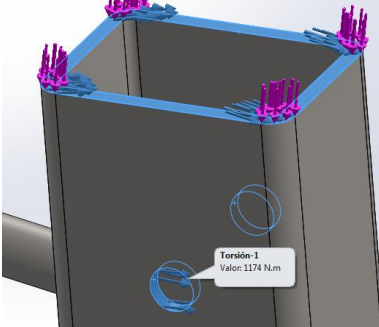
6.4.2. Modificaciones.

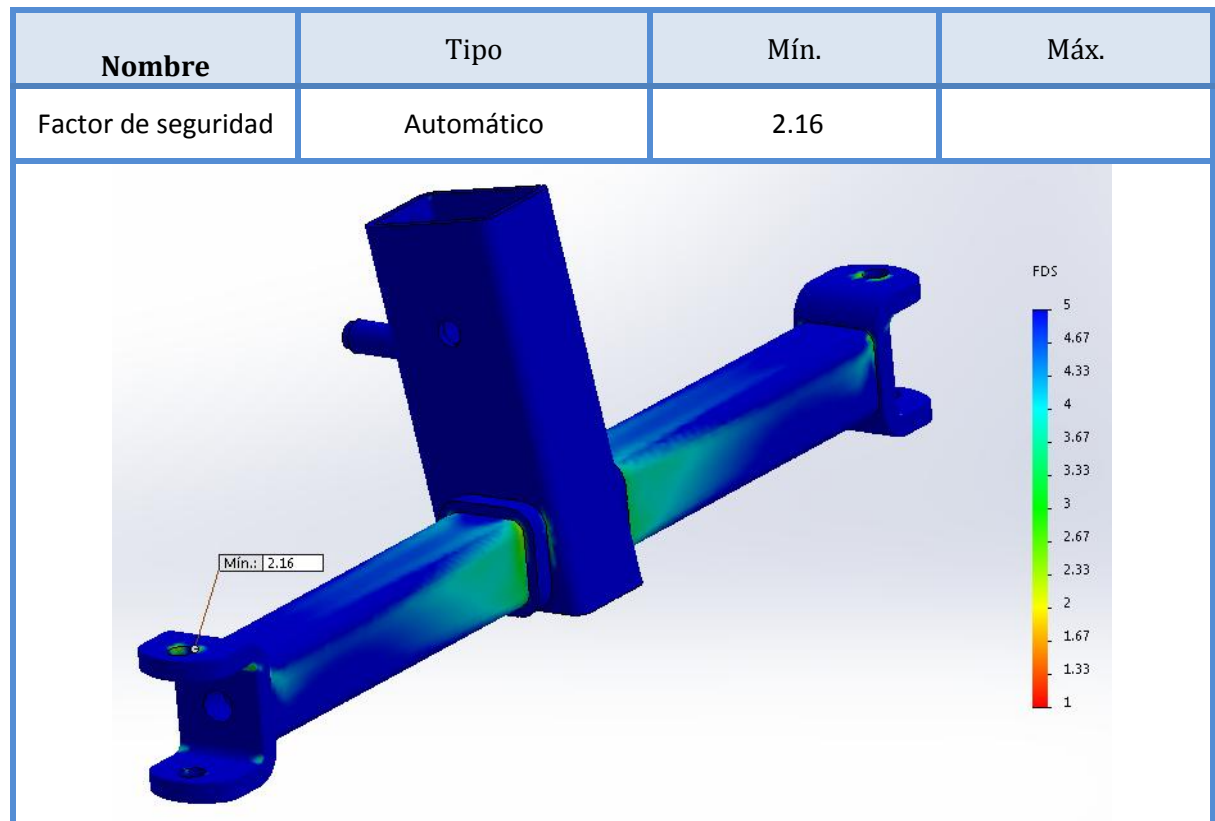
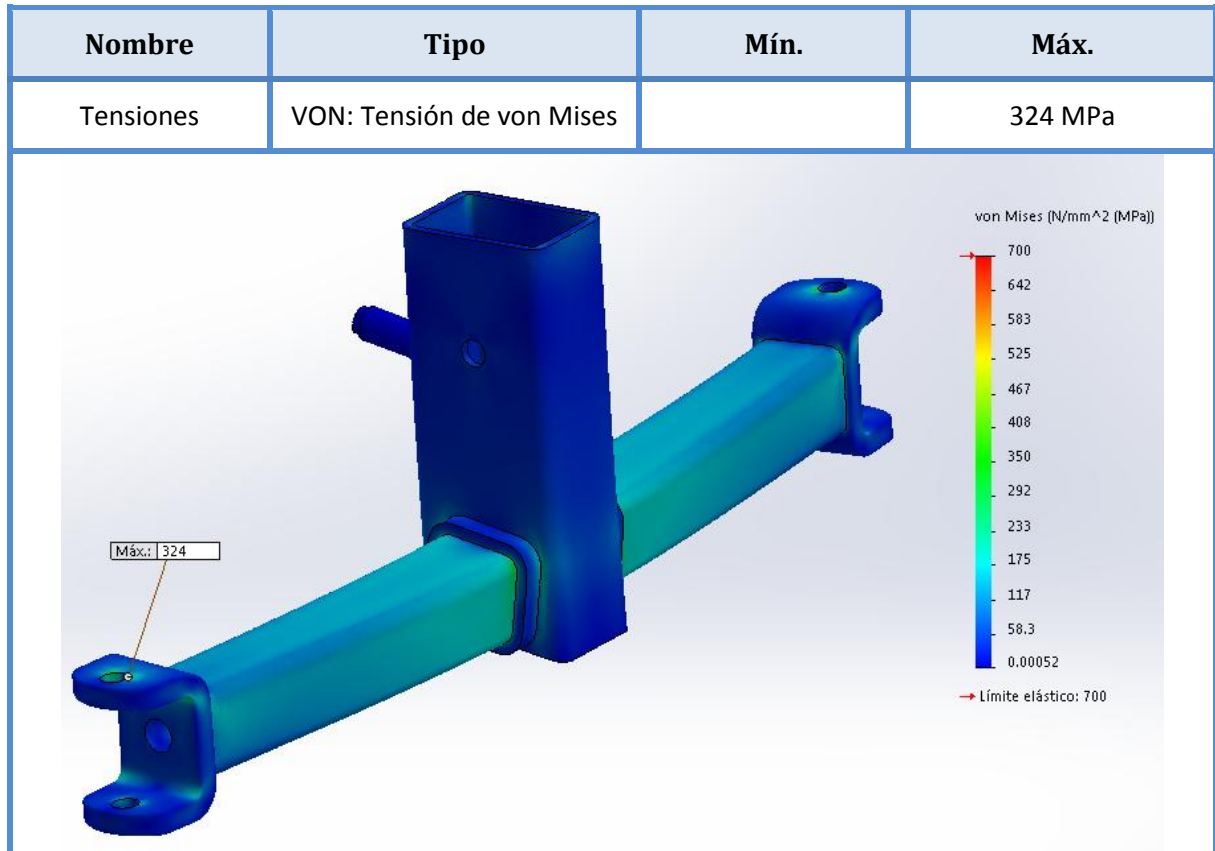
Tras realizar varias pruebas simultáneamente con las patas, se decide descartar este diseño, ya que provocaba que las patas sufrieran un esfuerzo de torsión alabeando los soportes de las ruedas (ver apartado 6.5). Como consecuencia las ruedas no habrían trabajado uniformemente en toda la superficie de contacto con el suelo, pudiendo concentrarse puntos de tensión. Para evitar este problema se rediseña la articulación entre el travesaño y las patas.

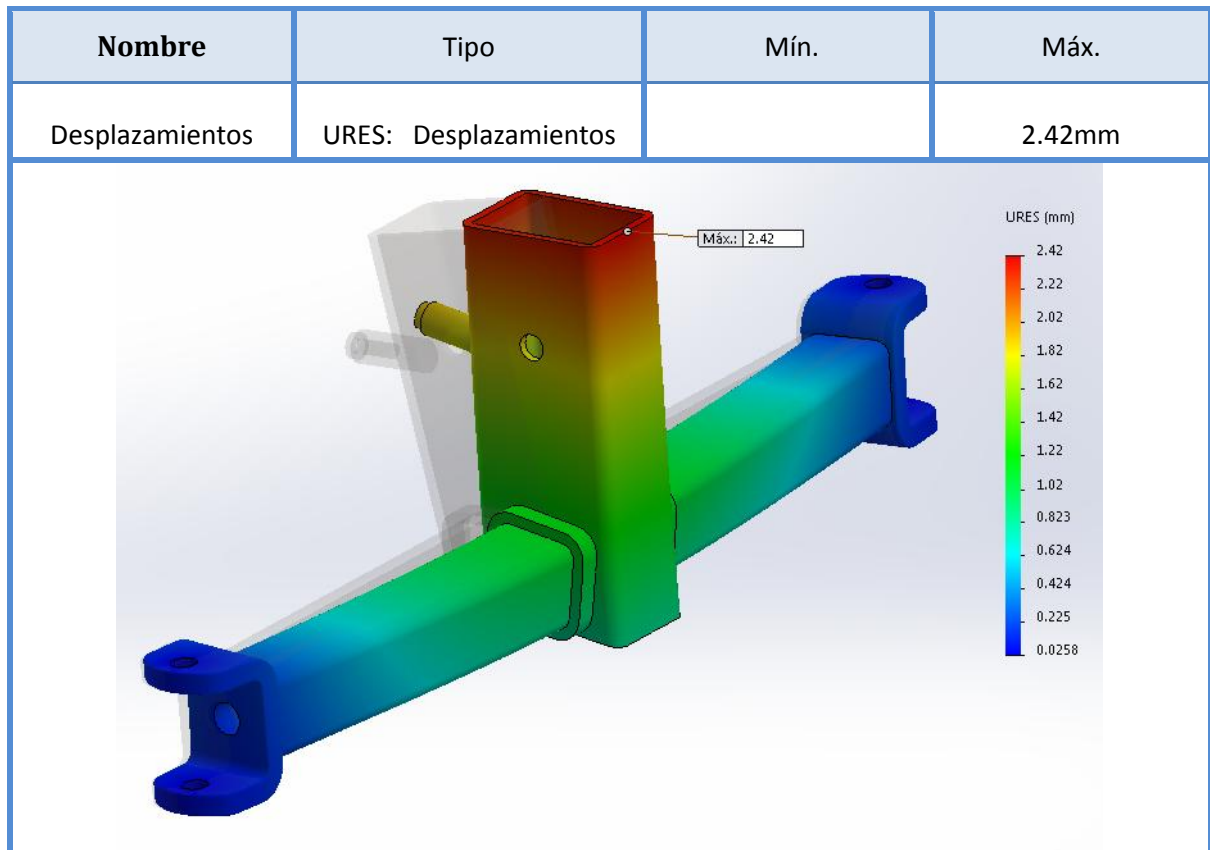
Al haber cambiado la unión con las patas y la columna es preciso definir de nuevo las sujeciones y los puntos de aplicación de las cargas.

Sujeciones y cargas:

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		<p>Entidades 4 cara(s)</p> <p>Tipo: Bisagra fija</p>

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valor: 0,0,-1500 N</p>
Torsión-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar momento torsor</p> <p>Valor: 1174 N m</p>

Resultados del estudio:

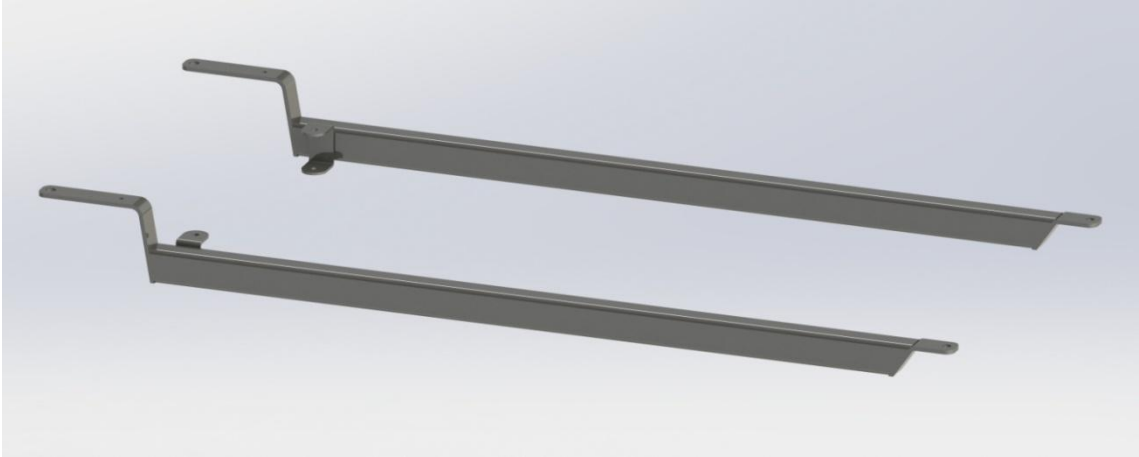
**Resumen:**

Se ha reducido las tensiones lo suficiente para conseguir un FDS = 2.12, por lo que se considera que la pieza está correctamente dimensionada.

Travesaño	
Dimensiones	1 Perfil 40x40x4mm, L=460 mm 1 Perfil 70x50x4mm, L=175 mm
Material	Acero STRENGTH 700MH
Peso aprox.	4,62 Kg
FDS mínimo	2,58

6.5. Patas.

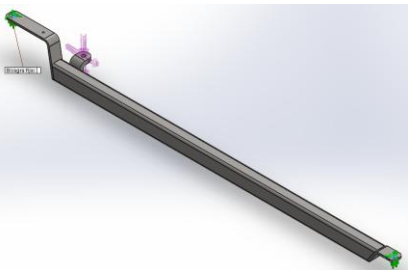
Cada pata está formada por un tubo rectangular de 40x30x2mm, en sus extremos lleva soldados unos apoyos donde se atornillan las ruedas. En un costado va soldada una horquilla que forma la articulación que permite la apertura de las patas.

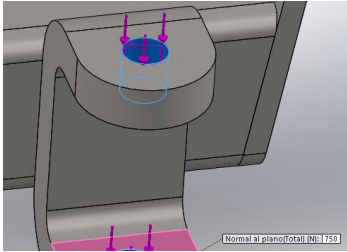
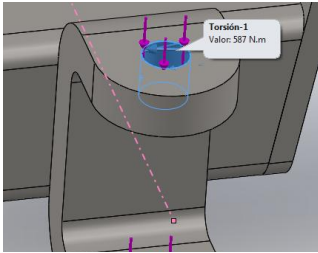


Material:

Propiedades del material	
Descripción	S700MC
Límite elástico	700 N/mm ²
Límite de tracción	800 N/mm ²
Módulo elástico	210000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.28
Densidad	7800 g/cm ³

Sujeciones y cargas:

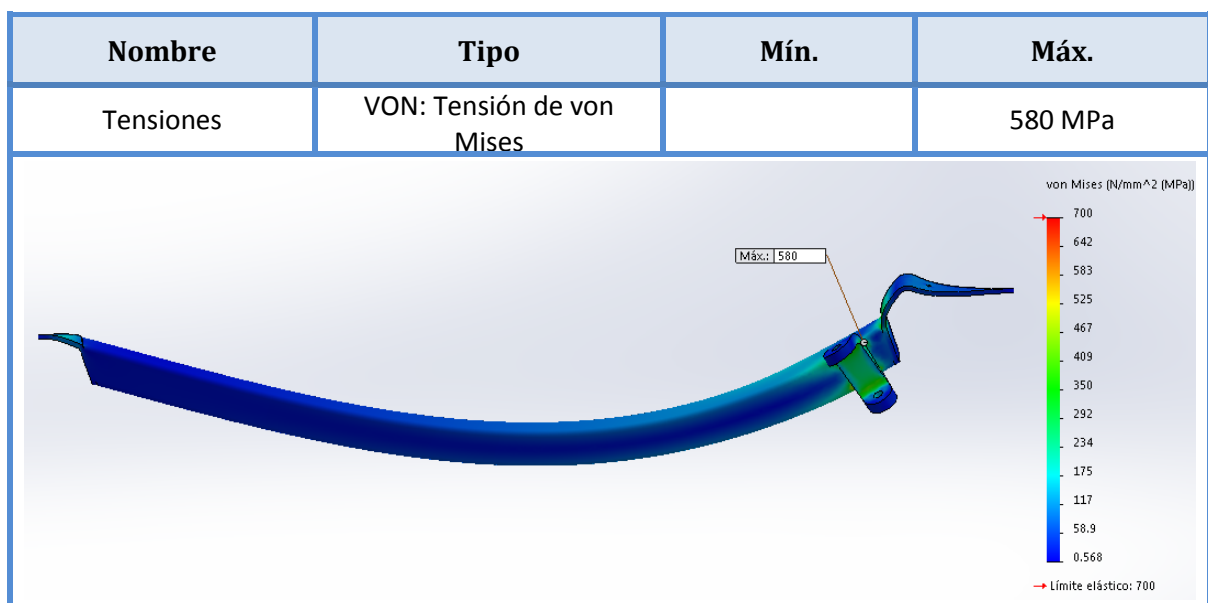
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija		<p>Entidades 2 caras</p> <p>Tipo: Bisagra fija</p>

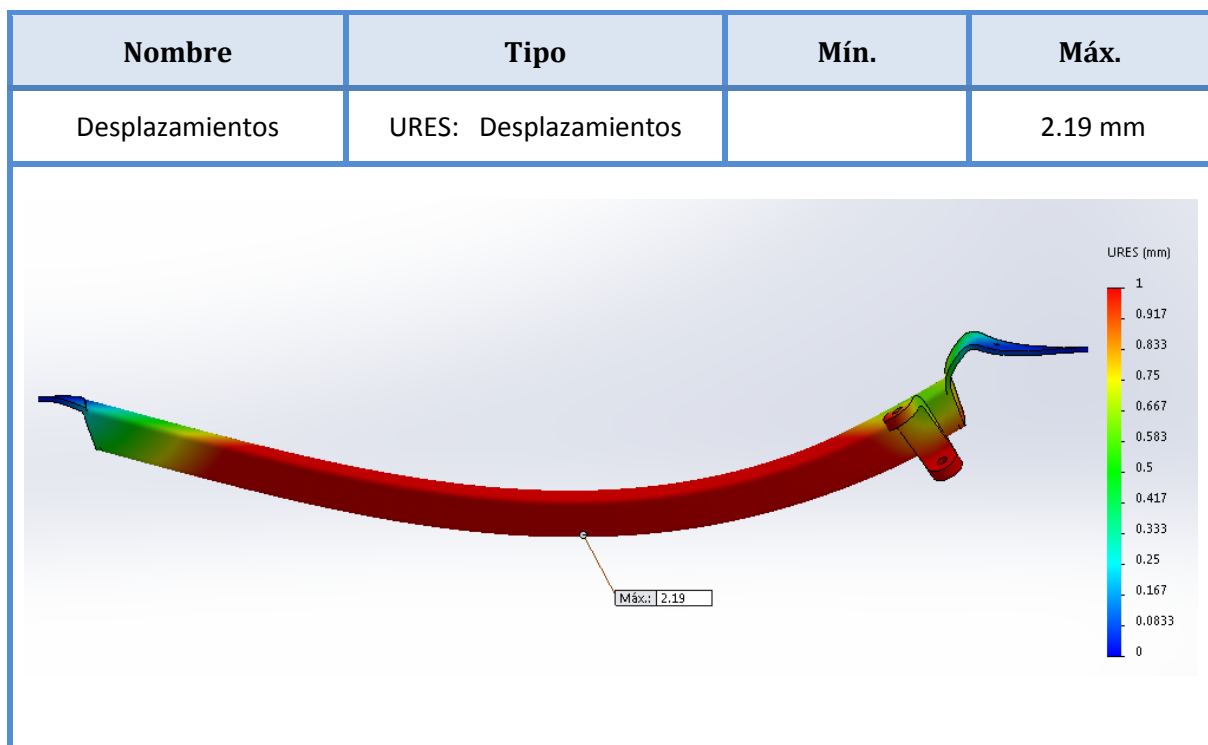
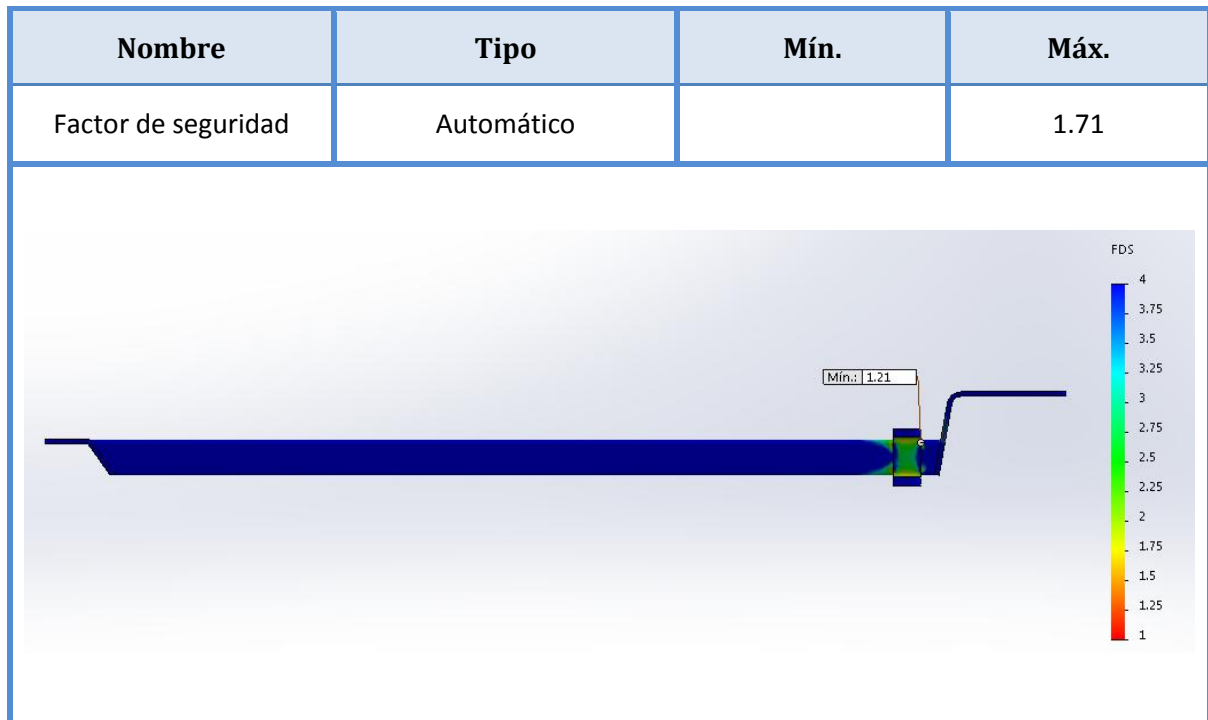
Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valor: 0,0,-750 N
Torsión-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar momento torsor Valor: 587 N m

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	10.1611 mm
Tamaño mínimo del elemento	2.03222 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:





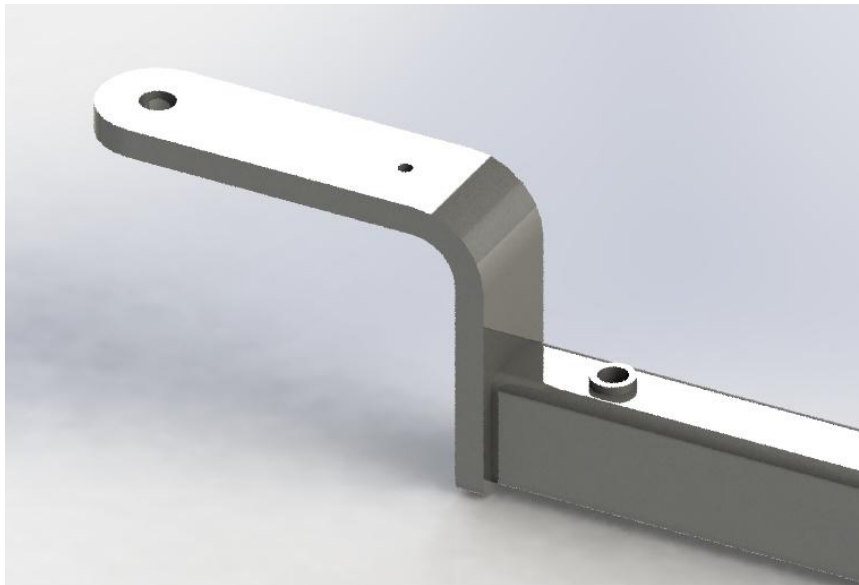
Conclusiones.

Tal como ya se avanzó cuando se modificó el travesaño, aparecen fuerzas de torsión en las patas que provocan un alabeo en el soporte de las ruedas. A fin de evitar esto se rediseña la forma de unión entre el travesaño y las patas.

6.5.1. Modificaciones.

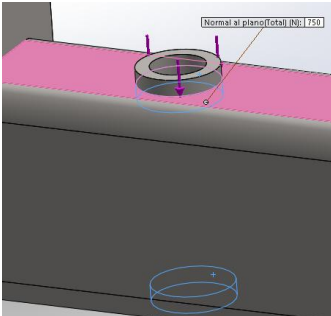
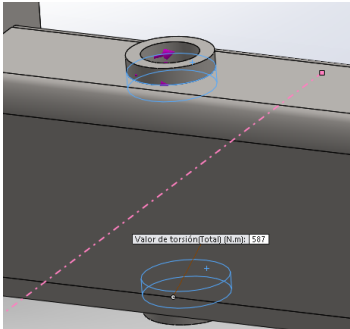
La pieza ha sufrido varias modificaciones, se ha sustituido la horquilla por un agujero en el perfil que hará de articulación, eliminando así la torsión en el tubo y el alabeo. Por otra parte se ha rediseñado el soporte de la rueda trasera.

Estos cambios en la articulación de unión con el travesaño hace necesario definir de nuevo las sujeciones y los puntos de aplicación de las cargas.

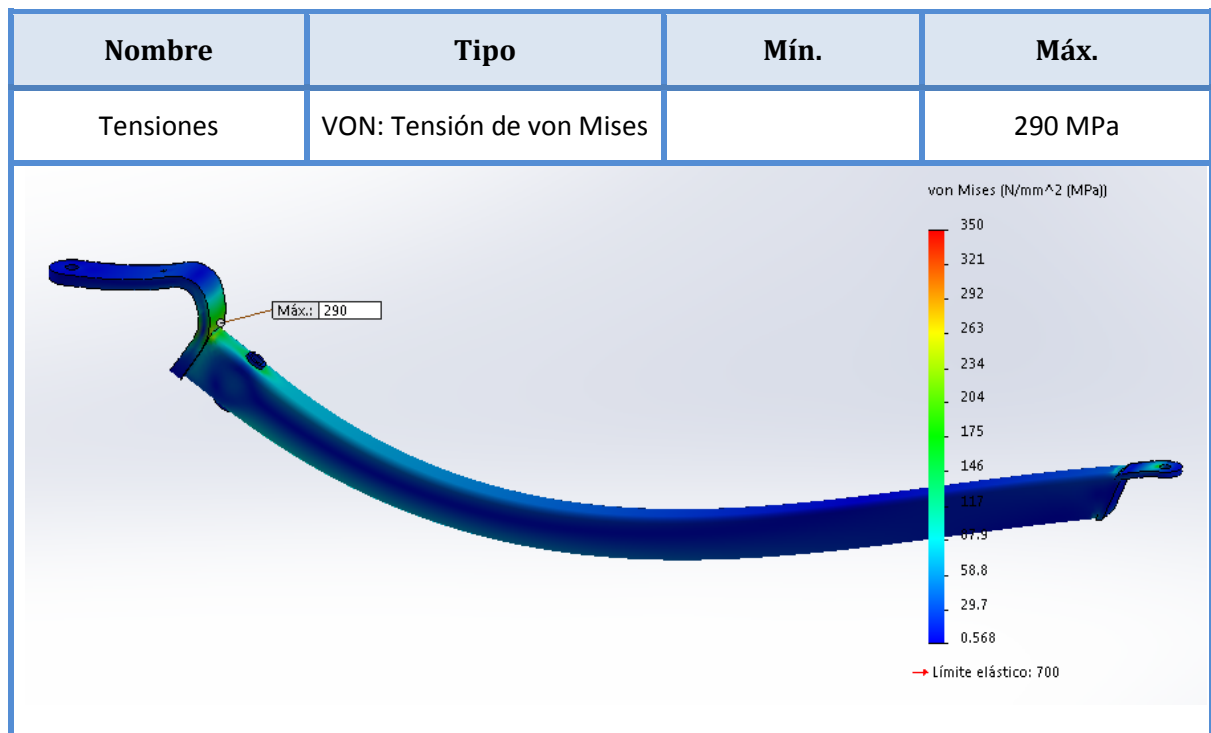


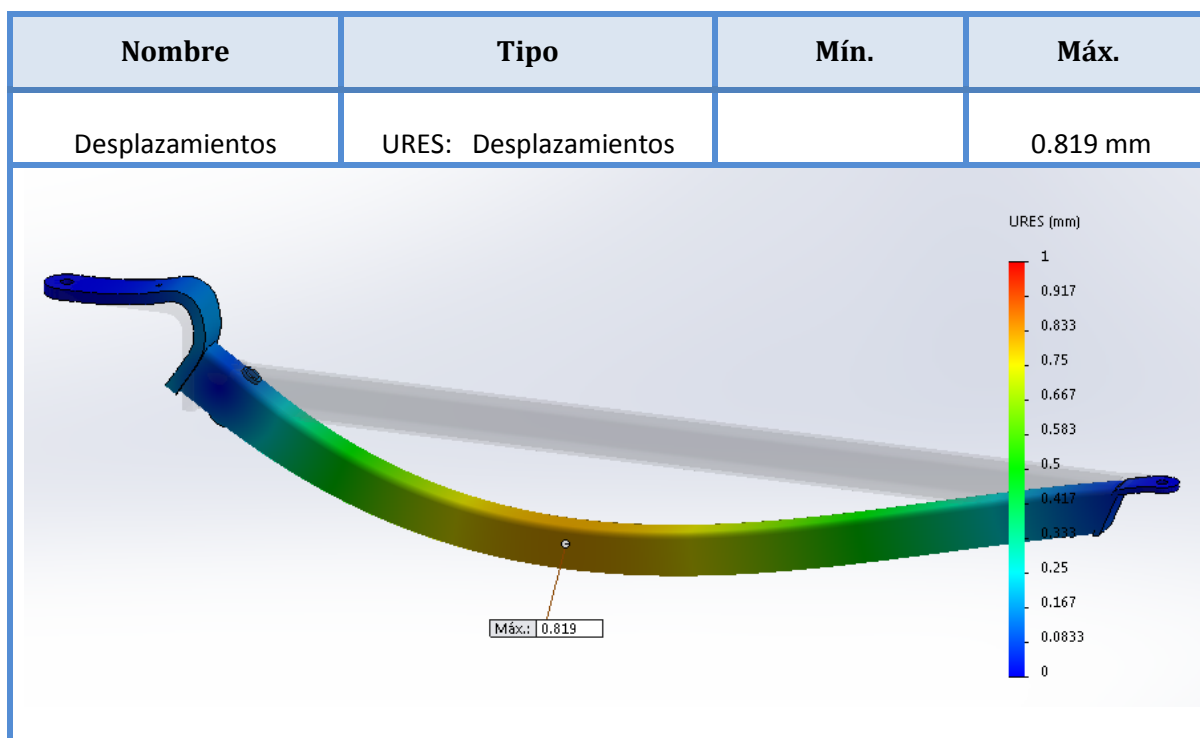
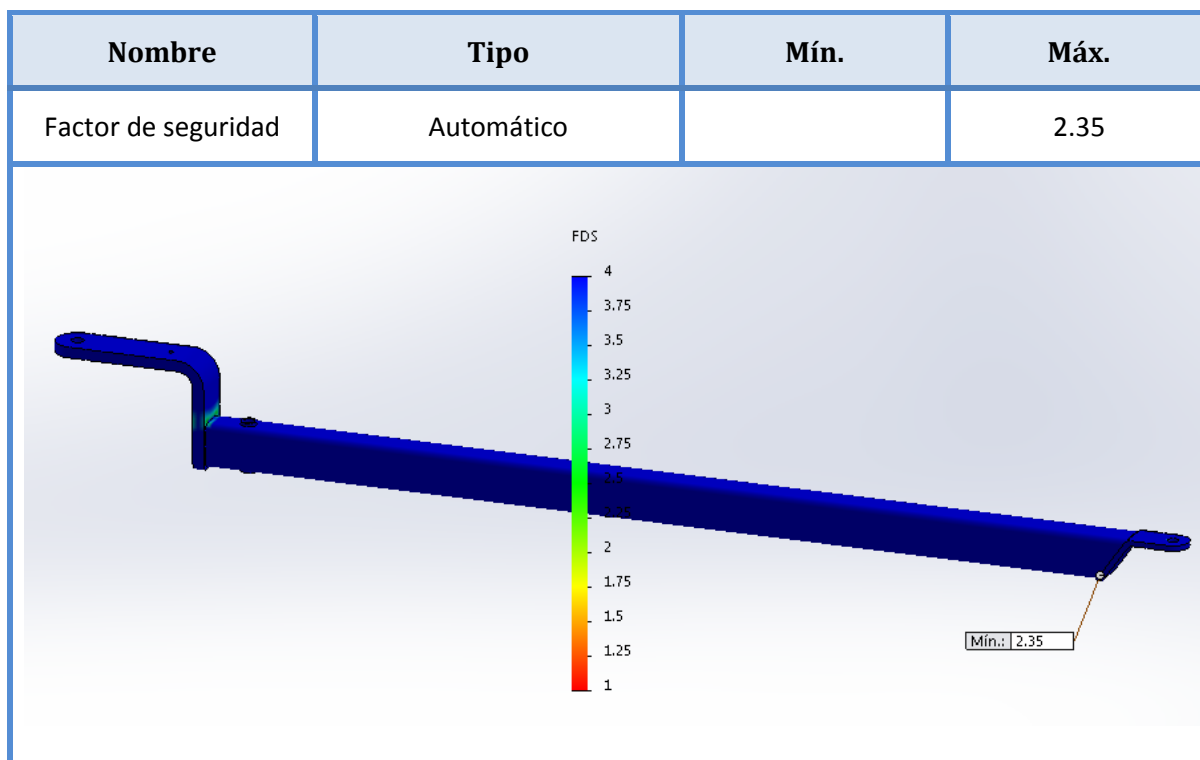
Sujeciones y cargas:

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija-1		Entidades 2 cara(s) Tipo: Bisagra fija

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valor: 0,0,-750 N</p>
Torsion-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar momento torsor</p> <p>Valor: 587 N m</p>

Resultados del estudio:





Resumen:

Al modificar la forma de unión de las patas con el travesaño, se ha eliminado el alabeo que se producía en los soportes de las ruedas. Las tensiones están dentro de lo admisible consiguiendo un FDS de 2,35 por lo que se da por válido este diseño, reuniendo las siguientes características:

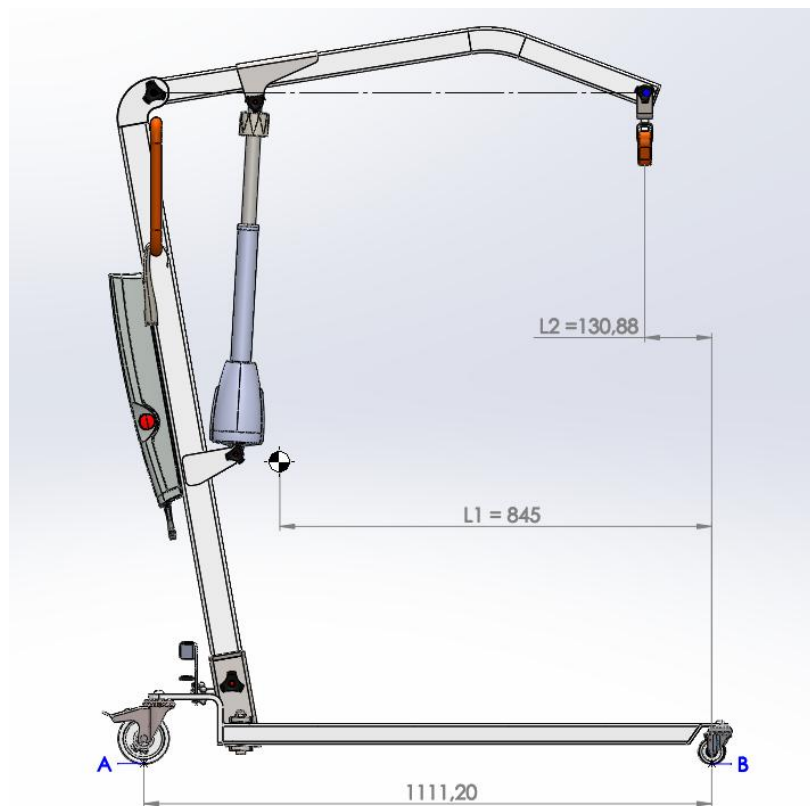
Patas	
Dimensiones	2 Perfiles 40x30x3mm, L =855mm
Material	Acero STREX 700MH
Peso aprox.	3,22 Kg
FDS mínimo	2,35

6.6. Pedal.

Este elemento es el encargado de transmitir la fuerza del pie del operario a las patas para ajustar su apertura en vacío (ver manual de operación).

Se ha esperado para diseñar esta pieza a tener terminado el resto de la grúa ya que era preferible conocer el ensamblaje completo de la máquina para poder ajustar mejor el mecanismo del pedal.

A partir del ensamblaje de la grúa se ha obtenido con Solidworks su peso (29,90Kg) y su CDG, tal como se muestra en la imagen. Con estos datos se hace una estimación de la fuerza necesaria en el pedal para abrir o cerrar las patas sin carga.



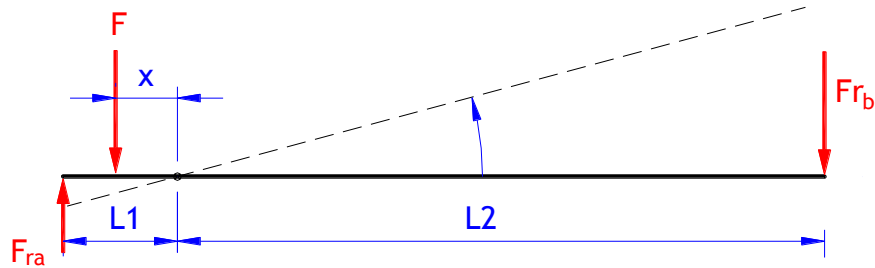
Se calculan reacciones en las ruedas para el peso propio de la grúa:

$$\sum M_B = 0 \rightarrow P \cdot L1 = R_A \cdot L$$

$$R_A = \frac{P \cdot L1}{L} = \frac{299N \cdot 845mm}{1111,20mm} = 227,40N$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow P = R_A + R_B \rightarrow R_B = 299N - 227,40 = 71,60N$$

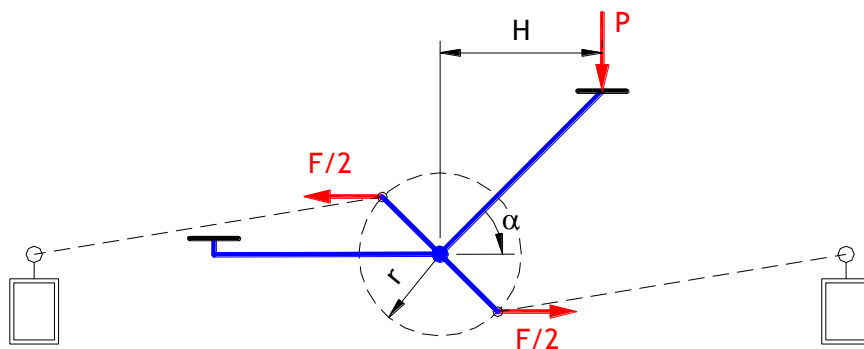
Se calcula la fuerza F necesaria para vencer el rozamiento de las ruedas de polipropileno sobre un suelo rígido.



Polipropileno $\mu = 0,30$; $X = 75\text{mm}$; $L_1 = 160\text{mm}$; $L_2 = 938\text{mm}$.

$$F \cdot x = L_1 \cdot \mu \cdot Ra + L_2 \cdot \mu \cdot Rb$$

$$F = \frac{L_1 \cdot \mu \cdot Ra + L_2 \cdot \mu \cdot Rb}{x} = 414,18\text{N}$$



Se calcula P para $\alpha = 45^\circ$, $r = 20\text{mm}$ y $H = 110\text{mm}$:

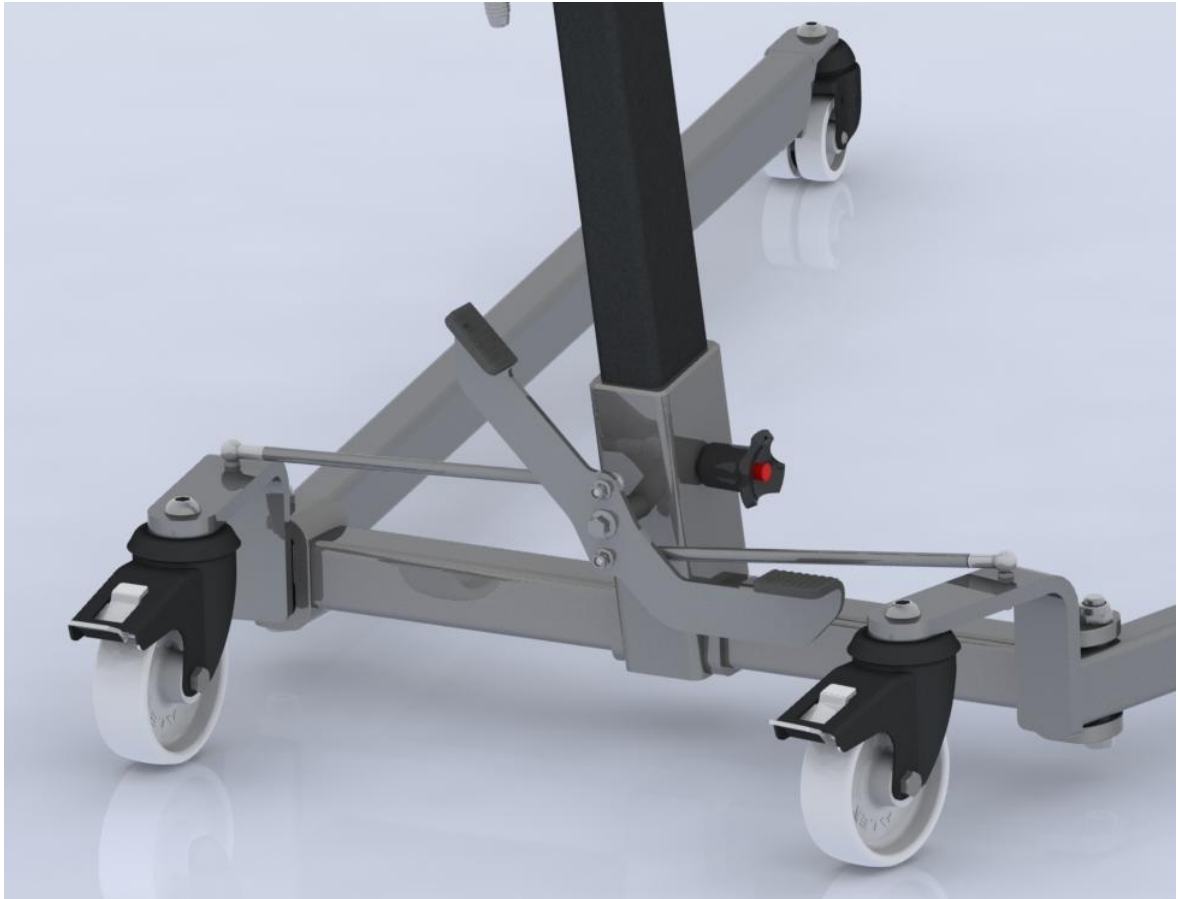
$$P \cdot H - F \cdot r \cdot \sin 45 = 0 \rightarrow P = \frac{414,18\text{N} \cdot 20\text{mm} \cdot \sin 45}{110\text{mm}} = 53,24\text{N} \approx 5,3\text{Kg}$$

La fuerza necesaria que hay que aplicar sobre el pedal para abrir las patas de la grúa en vacío sobre un suelo rígido, será de 54N.

Modelado y análisis.

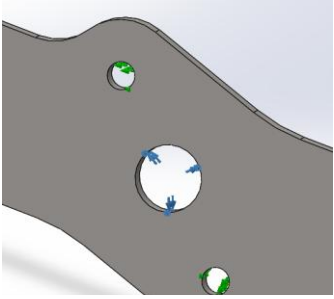
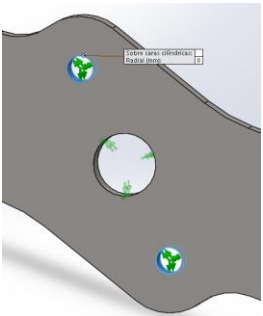
El pedal se modela a partir de chapa de acero de 4mm de espesor, con dos pliegues que dan forma a las pisaderas.

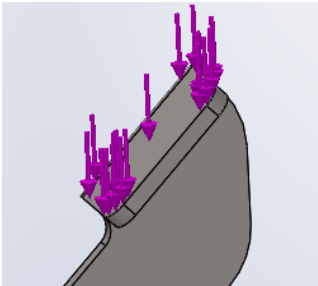
El análisis se efectúa aplicando una fuerza en la pisadera de apertura de las patas de 100N. En este caso el material a usar es un acero S275N ya que las solicitaciones no son muy grandes.

**Materiales:**

Propiedades del material	
Descripción	S275N
Límite elástico	275 N/mm ²
Límite de tracción	370 N/mm ²
Módulo elástico	210000 N/mm ²
Coef. De Poisson	0.28
Densidad	7800 g/cm ³

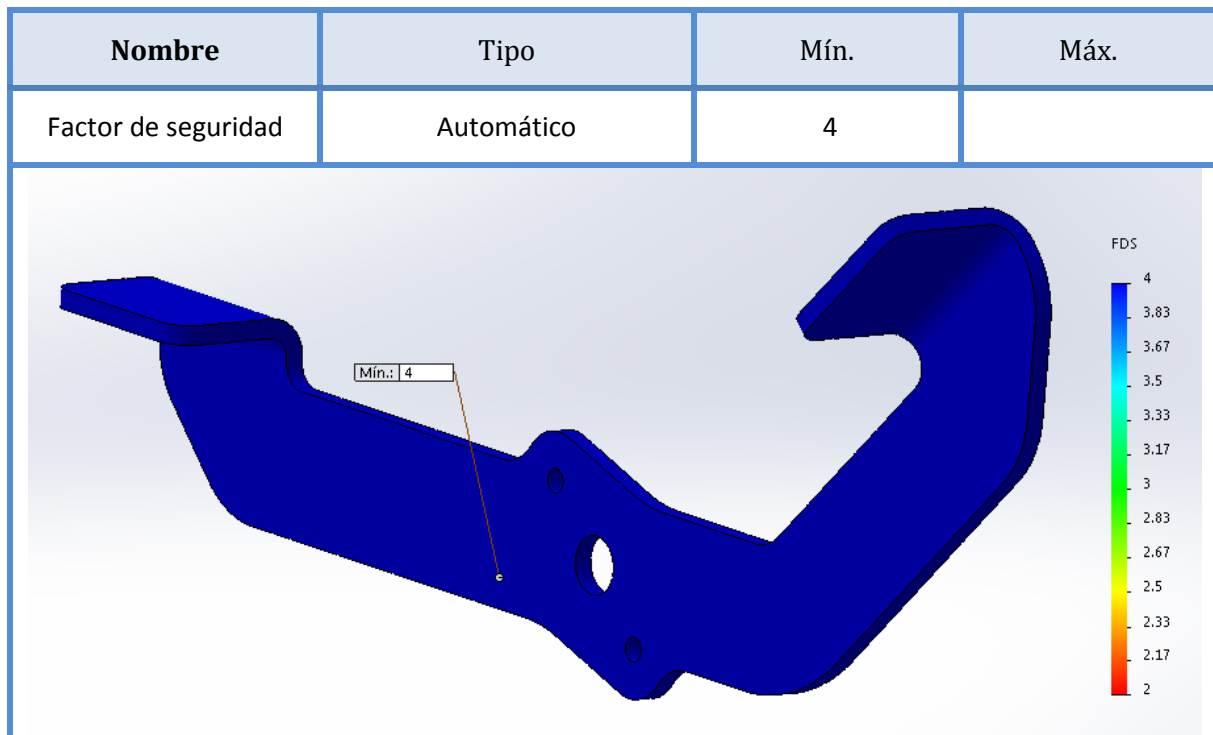
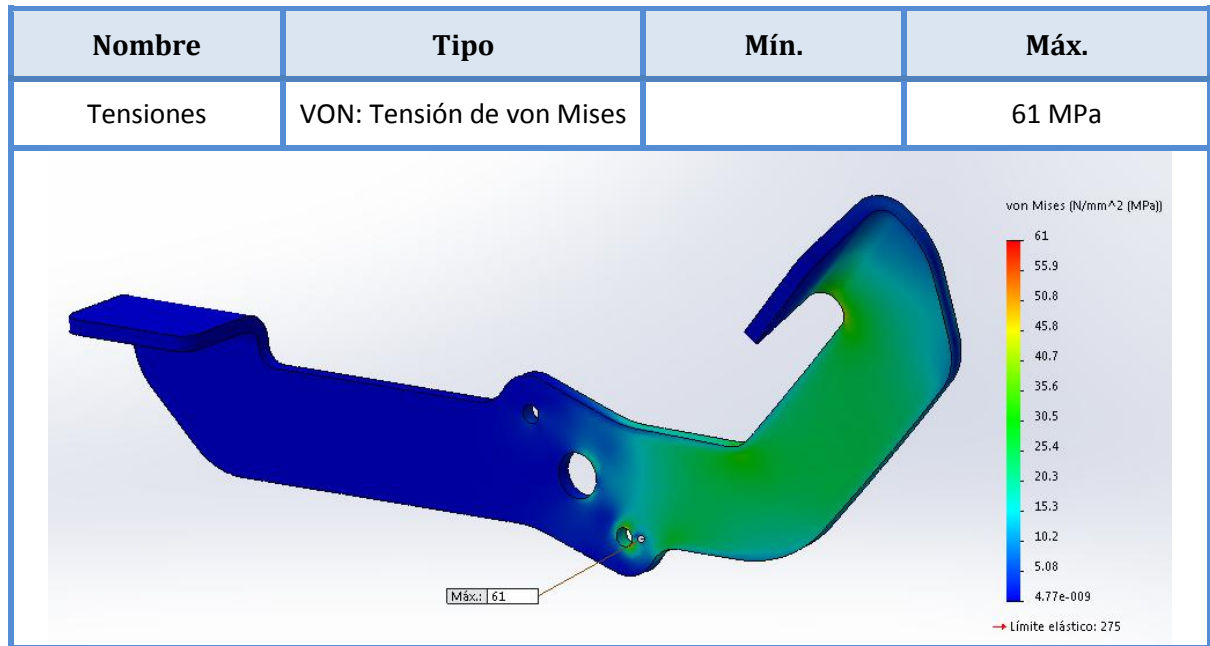
Sujeciones y cargas:

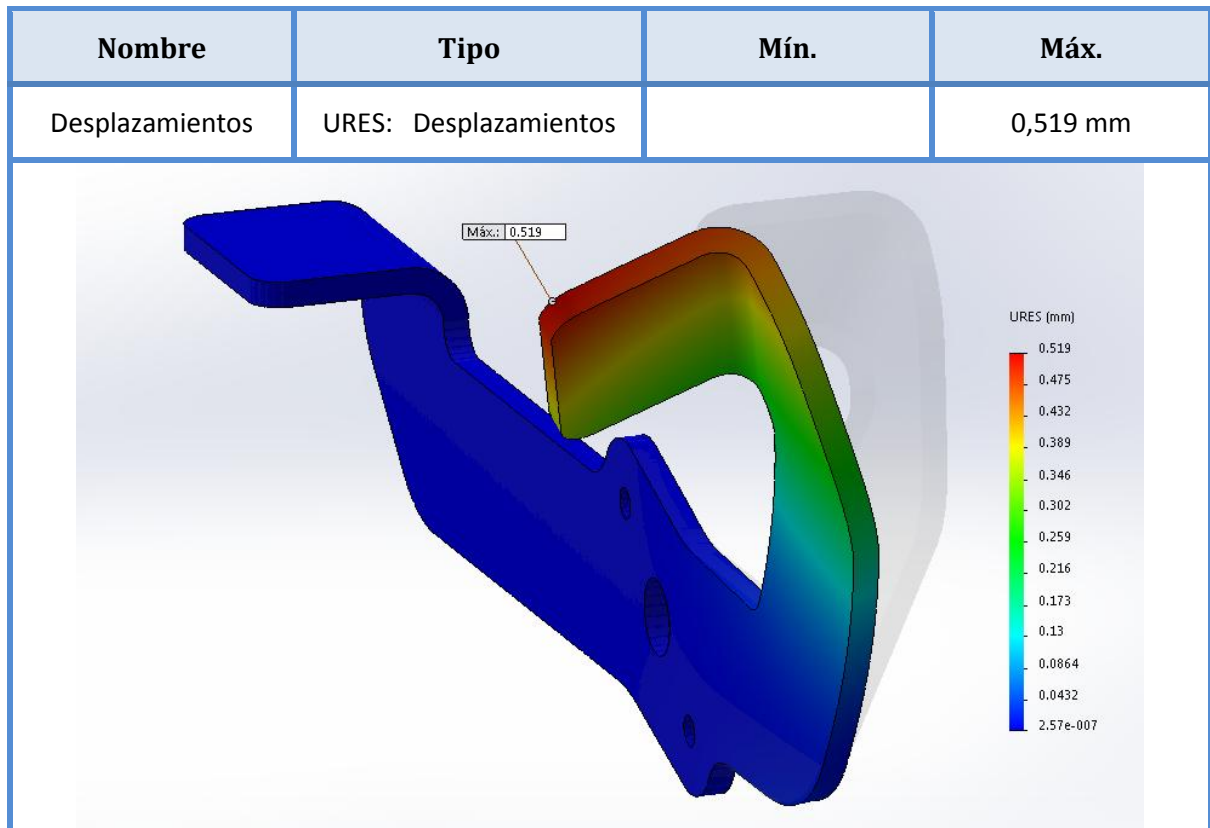
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Bisagra fija		Entidades 2 caras Tipo: Bisagra fija
Sobre caras cilíndricas-1		Entidades 2 caras Tipo: Sobre caras cilíndricas Traslación 0,---,--- Unidades mm

Nombre de carga	Imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valor: 0,0,-100N

Información de malla:

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño máximo de elemento	10.1611 mm
Tamaño mínimo del elemento	2.03222 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Resultados del estudio:



Conclusiones.

El pedal no está sometido a grandes tensiones ni sufre grandes desplazamientos por lo que se da por válido este diseño, reuniendo las siguientes características:

Patas	
Dimensiones	2 Perfiles 40x30x3mm, L=855mm
Material	Acero S275N
Peso aprox.	0,376 Kg
FDS mínimo	4

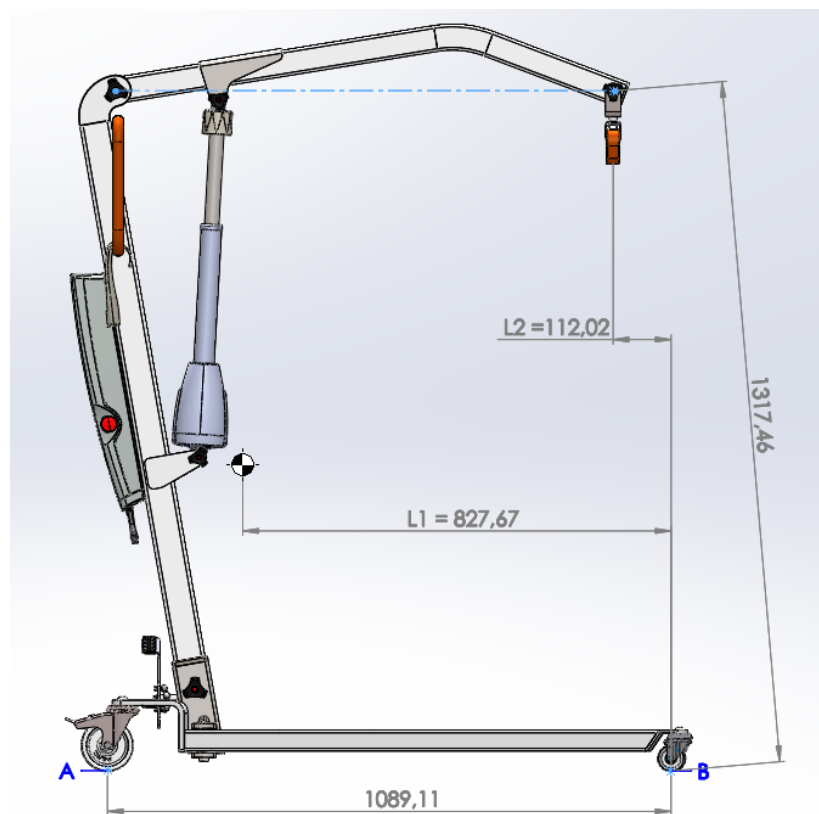
7. COMPROBACIÓN AL VUELCO.

Este tipo de grúas están diseñadas para su uso en suelos horizontales y para velocidades muy bajas (3km/h), así que sólo se hace una comprobación estática al vuelco. Se estudia únicamente el vuelco hacia delante al ser el más restrictivo.

Vuelco hacia delante

La posición más crítica se produce cuando la punta de la pluma está más adelantada ($\theta \approx 10^\circ$), las patas completamente abiertas y una carga de $Q=1500\text{N}$.

Se ha obtenido con Solidworks el peso del ensamblaje completo (29,90Kg), el CDG y las distancias a los apoyos para esta posición, tal como se muestra en la siguiente imagen.



Con estos datos se aplican momentos respecto a la rueda delantera para conocer la reacción contra el suelo de las ruedas traseras.

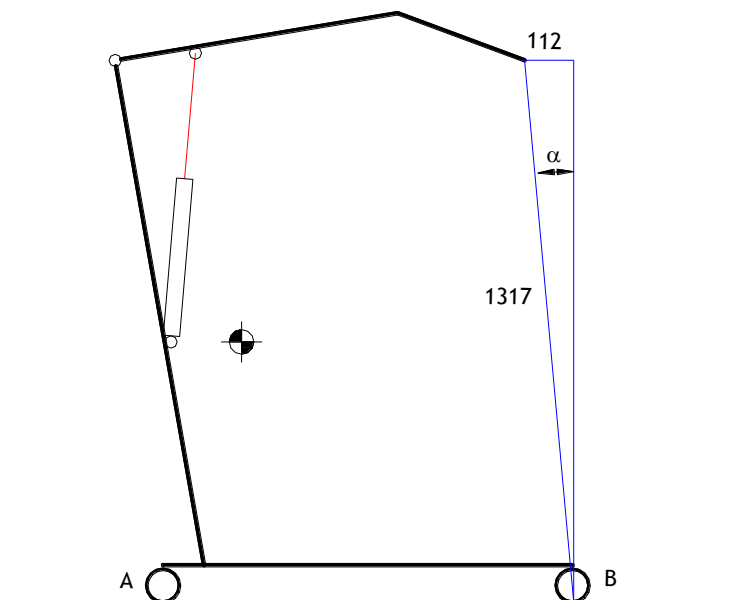
$$\sum M_B = 0 \rightarrow P \cdot L1 + Q \cdot L2 = R_A \cdot L$$

$$R_A = \frac{P \cdot L1 + Q \cdot L2}{L} = \frac{299N \cdot 827,67mm + 1500N \cdot 112,02mm}{1089,11mm} = 381,50N \approx 38 \text{ Kg}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow P + Q = R_A + R_B \rightarrow R_B = 1417,50N \approx 142 \text{ Kg}$$

La reacción Ra positiva implica que las ruedas traseras están transmitiendo peso al suelo y la grúa no vuelca.

Sabiendo que siempre que la carga Q no sobrepase las ruedas delanteras la grúa está equilibrada, se puede hallar aproximadamente la pendiente máxima que aguanta sin volcar:



$$L \cdot \sin \alpha = 112 \text{ mm} \rightarrow \sin \alpha = \frac{112}{1317,5}$$

$$\alpha = 4,87^\circ \rightarrow \text{Pendiente máxima} = 8,5\%$$

Conclusión

Aunque hay que recalcar que la grúa está diseñada para su uso sobre un suelo firme y horizontal, esta podría soportar sin volcar una inclinación superior al 8% incluso con la carga máxima (1500N).

8. ENSAMBLAJE FINAL DE LA GRÚA.

Una vez terminados los elementos de la estructura se procede a hacer el ensamblaje completo de la grúa con el resto de piezas comerciales, tales como, el actuador lineal, la controladora, las ruedas, los tornillos y pasadores. Se comprueba que los elementos no tienen interferencias entre si y que las articulaciones móviles funcionan en su rango de trabajo sin colisionar.

A continuación se muestra varias imágenes del ensamblaje de la grúa desde distintos puntos de vista.





9. MANUAL DE OPERACIÓN DE LA GRÚA.

Esta grúa está diseñada para el traslado y elevación de pacientes. Su manejo debe realizarse siempre por un profesional sanitario o un usuario instruido en su manejo y seguridad. Está indicada para el traslado y la elevación de pacientes tanto en entornos domiciliarios como en instituciones hospitalarias o residenciales.

Utilización:

1. Ajuste de las patas:

Se puede ajustar la anchura de las patas para facilitar el acceso a una silla de ruedas, al inodoro...etc. Para pasar a través de puertas o por pasillos estrechos, se recomienda cerrar las patas totalmente. Para ajustarlas, presione con el pie el pedal de ajuste de las patas, situado en la parte posterior del mástil.

Pedal dcho. = apertura de patas

Pedal izdo. = cierre de patas

2. Ruedas traseras y frenos:

La grúa posee dos ruedas traseras con frenos. Cuando levante el brazo, las ruedas traseras se deben dejar libres; así la grúa podrá moverse hacia el centro de gravedad de la línea de izado. Si los frenos están activados, entonces será el paciente el que se moverá hacia el centro de gravedad, con la consiguiente incomodidad.

3. Elevación y descenso del brazo.

El movimiento del brazo se consigue con un actuador eléctrico controlado por mando móvil. Este mando tiene dos botones con las flechas ARRIBA y ABAJO. El actuador se detiene automáticamente al llegar al límite del recorrido de ambas direcciones.

4. Botón de parada de emergencia:

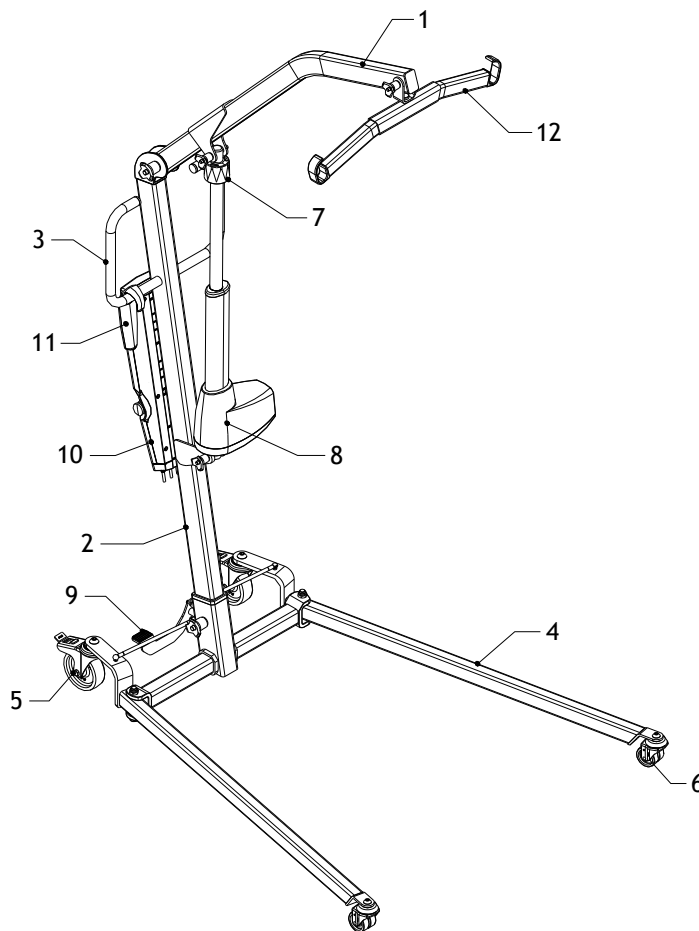
El botón rojo de parada de emergencia se encuentra en la parte posterior del cuadro de control, y se activa presionándolo. De esta forma, se corta toda la energía suministrada a la grúa, que sólo se reactivará al girarlo en el sentido contrario al de las agujas del reloj y soltándolo.

Medidas de seguridad:

- Familiarícese con los mandos y los dispositivos de seguridad de la grúa antes de iniciar el proceso de izado del paciente.
- Comprobar antes de cada uso el buen funcionamiento de la grúa y de sus accesorios.
- Asegurarse que el peso del paciente no sobrepasa la carga máxima de la grúa.
- No izar al paciente, hasta que sus manos estén recogidas entre el arnés, evitando que pueda agarrarse al actuador, o a las juntas móviles de la grúa.
- Al subir o bajar al paciente, el operador de la grúa no tendrá las manos entre el actuador y las parte de unión y giro, del brazo con el mástil.
- No accione el pedal de ajuste de anchura entre patas con la grúa cargada.
- Para traslados entre estancias, comprobar previamente que la altura de los marcos de las puertas es suficiente para pasar con la grúa.
- Utilizar únicamente las asas de empuje para desplazar la grúa.
- No empujar la grúa cargada con el paciente a más de 3 Km/h.
- Utilice siempre la grúa sobre terreno llano y liso.
- No intente superar con la grúa ningún obstáculo por el que las ruedas no puedan pasar con facilidad.
- No utilice la grúa en suelos con pendientes que excedan el 8% . En cualquier caso es necesaria la ayuda de una tercera persona, para trasladar a un paciente por una pendiente.
- No deje nunca la grúa con el paciente en una superficie inclinada.
- No utilice la grúa en la ducha.
- No utilice la grúa para otro fin que no sea el de elevación y traslado de pacientes

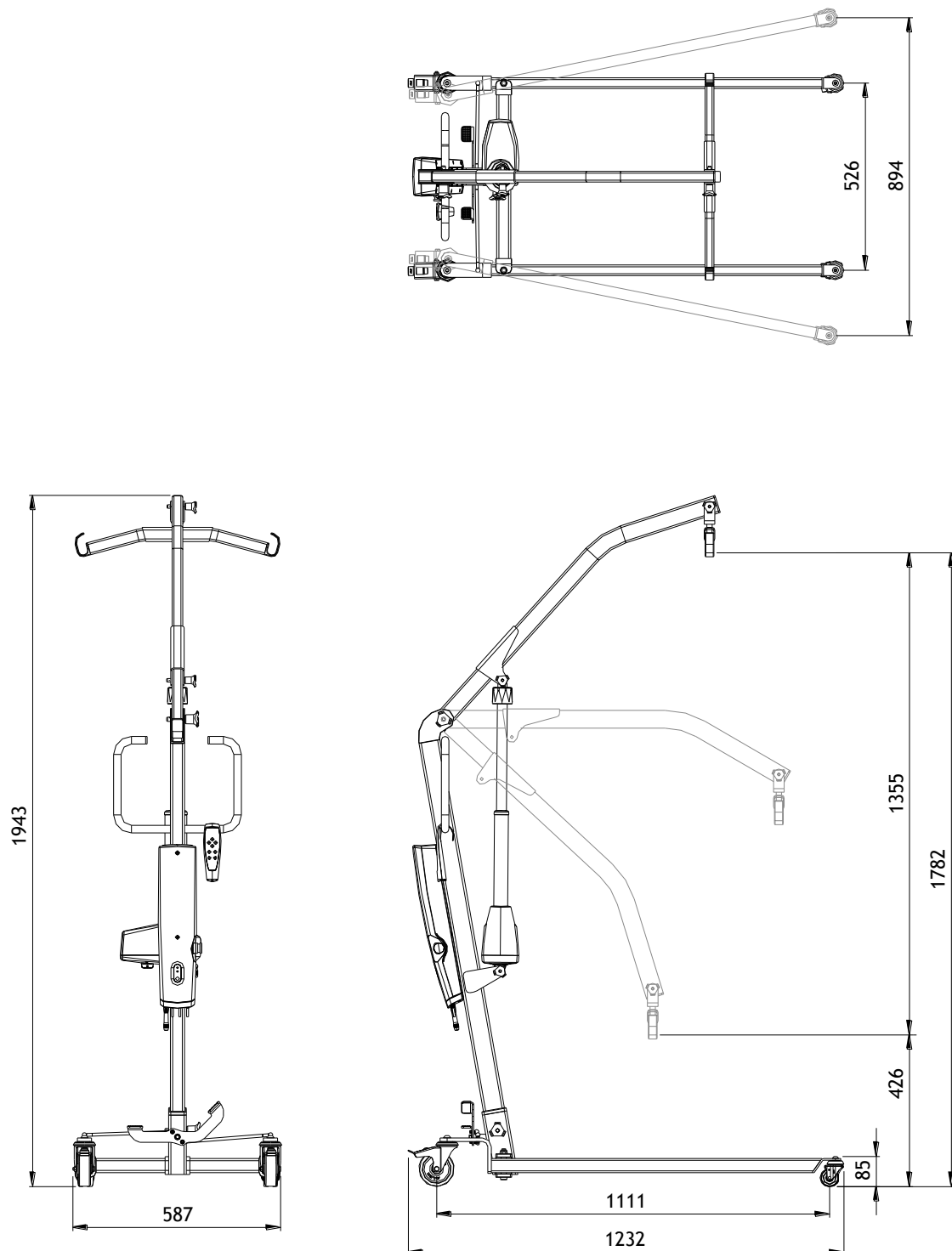
10. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

Características técnicas	
Peso máximo del paciente	150 Kg
Rango de elevación	426-1782 mm
Longitud total máxima	1232 mm
Altura máxima	1943 mm
Anchura máxima con patas cerradas	587 mm
Anchura máxima con patas abiertas	894 mm
Ruedas delanteras	Ø50 mm
Ruedas traseras	Ø100 mm
Peso total de la grúa	30 Kg
Baterías	2 x 12V gel ácido
Actuador lineal	LINAK LA44, 24V dc



- 1.- Brazo.
- 2.- Columna
- 3.- Manillar
- 4.- Patas.
- 5.- Ruedas traseras con freno
- 6.- Ruedas delanteras.
- 7.- Bajada de emergencia
- 8.- Actuador lineal.
- 9.- Pedal de ajuste de las patas.
- 10.- Controladora y baterías.
- 11.- Mando de control.
- 12.- Percha.

DIMENSIONES.



*** Todas las dimensiones en mm.**

11. RESUMEN FINAL.

Este trabajo comenzó estudiando los tipos de grúas sanitarias más habituales, eligiendo para su posterior desarrollo una grúa móvil con arnés.

Fijando unos requisitos y características para la máquina, se hizo un diseño preliminar para su cálculo analítico, obteniendo los esfuerzos que sufría cada componente, los cuales se verificaron con la ayuda de el software MEF. Con los datos calculados, se predimensionaron los elementos de la grúa.

Llegados a este punto, se procedió a diseñar un modelo en 3D de cada pieza usando el programa Solidworks. Posteriormente se realizó un estudio estático de los modelos con el módulo de elementos finitos, Solidworks Simulation. Se analizaron los resultados obtenidos y se modificaron las piezas hasta cumplir las exigencias que nos habíamos fijado en la etapa del diseño.

Se hizo un ensamblaje definitivo con todos los elementos de la grúa y se comprobó su estabilidad al vuelco, también se elaboró un breve manual de operación de la máquina donde se describe su correcto uso y las medidas de seguridad.

Como conclusión, se ha podido comprobar la gran utilidad de los programas de diseño 3D y de análisis de elementos finitos, que se han convertido en una poderosa herramienta a la hora de desarrollar un producto y de su optimización, ahorrando mucho tiempo y costes. Lo cual no exime de realizar un posterior ensayo real sobre un prototipo, antes de dar por válido un diseño.

Finalmente, el autor abajo firmante, considerando que se han cumplido los objetivos propuestos para este trabajo fin de grado, lo presenta para su aprobación si procede, por el tribunal evaluador de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

Zaragoza, a 1 de Febrero de 2016.

EL INGENIERO MECÁNICO



Fdo.: Oscar Lobera Salazar

12. BIBLIOGRAFIA.

Libros y apuntes:

Apuntes Diseño de Maquinas, EINA.

Apuntes Introducción a la Mecánica, EINA.

Diseño de elementos de máquinas. Robert L. Mott. Ed. Pearson.

Resistencia de materiales, García- Maroto editores.

SolidWorks Simulation. Sergio Gómez Gonzalez. Editorial Ra-Ma

Páginas Web:

<http://audiovida.es/entradas/articulos/equipamientos/como-elegir-la-mejor-grua-para-residencias>

<http://www.upct.es/~deyc/software/mefi.php>

<http://www.linak.es>

<http://www.alex.es/>

<http://www.3dcontentcentral.es>

<http://www.abraservice.com/iberica/index.php/alto-limite-elastico.html>

http://fce.arcelormittal.com/prd_web/A22_ES.html

<http://www.flinsa.com/es/productos/gama-de-calidades>

<http://www.ssab.com/Products/Steel-categories/Hollow-sections/Products/Strenx-Tube-700-MH>

ANEJOS.

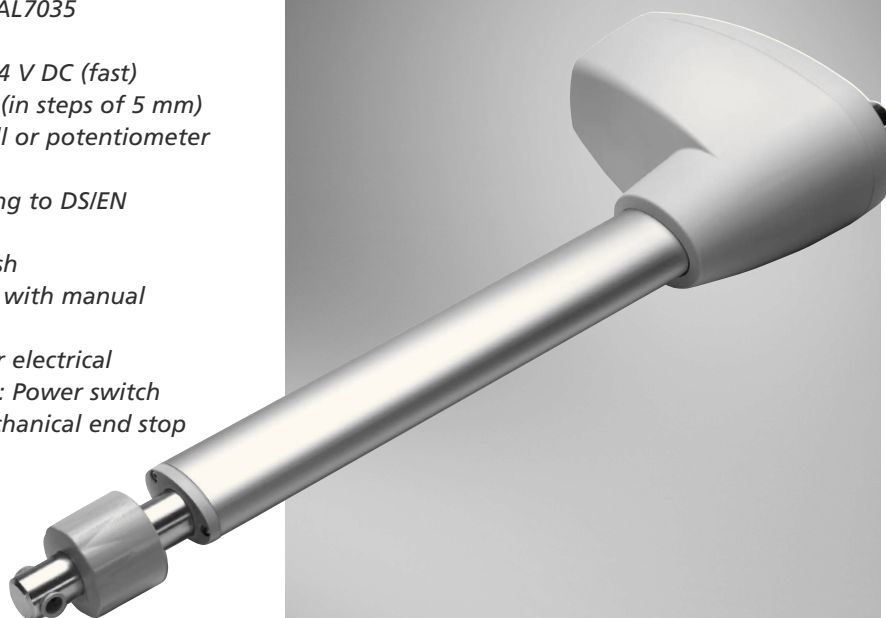
ACTUATOR LA44

Features & Options:

- Load in push: 10000 N, 12000 N
- Housing colour: Light grey RAL7035
- Protection class: IPX4 or IPX6
- Motor: 24 V DC (standard), 24 V DC (fast)
- Stroke length: 100 - 400 mm (in steps of 5 mm)
- Positioning options: Dual Hall or potentiometer (pot. not for LA44 IC)
- Noise level: 50dB (A) according to DSIEN ISO3743-1
- Safety nut option: Yes, in push
- Nut: Guided (not guided nut with manual lowering)
- Spline options: Mechanical or electrical
- Built-in electrical limit switch: Power switch
- First failure safe: Built-in mechanical end stop
- Exchangeable cable:
Yes, minifit to minifit
- Safety factor: > 2
- Manual lowering:
Optional in red or grey

Usage:

- Duty cycle: 10%, 2 minutes continuous use followed by 18 minutes not in use
- Usage temperature: 5°C to 40°C
- Storage temperature: -10°C to +50°C
- Compatibility: CBJ1/2, CBJ-Home, CBJ-Care, CB6S, CB16, CB20
- Approvals: IEC60601-1:2005 3rd edition, ANSI, AAMI ES60601-1:2005, 3rd edition, and CAN / CSA 22.2 No 60601-1:2008.



MEDLINE[®]
IMPROVING EFFICIENCY
CARELINE[®]
IMPROVING EFFICIENCY

The LA44 is available in powerful 10,000 N and 12,000 N versions, ensuring safe patient handling.

With the LA44 actuator, LINAK offers a product, which with its wide range of safety options, low noise level, and outstanding performance is the right choice for medical applications such as patient lifts, beds, dental chairs etc.

- Heavy duty actuator
- Safety options such as:
 - Manual lowering: makes it possible to turn the inner tube down by hand, in case of emergency, or if electrical power is not available.
 - Spline: potential work injuries are prevented by the spline, as the actuator can only push and not pull, in case something touches e.g. the lifting boom on a patient lift.
 - High side load capacity for high safety: Side load of up to 1000 N is possible without breaking or damaging the actuator.
 - Safety nut: to ensure safe patient handling even when the actuator is no longer new.
- Unique and improved brake to ensure no unintended movement.

Technical specifications LA44 with standard and fast motor:

Power supply	Spindle pitch (mm)	Thrust max. Push (N)	Motor type	Speed at 0/full load (mm/sec.)	Current at full load (Amp.)
24VDC	8	12000	Standard	6.2 / 4.2	6.1
CBJ1/2	8	12000	Standard	6 / 3.3	6.0
CB6S / CB16 + 35% trafo	8	12000	Standard	7.9 / 4.4	6.1
CB20 280W trafo	8	12000	Standard	7.8 / 5.1	6.2
24VDC	8	12000	Fast	6.9 / 5.0	7.3
CBJ1/2	8	12000	Fast	7.3 / 4.3	7.3
CB6S / CB16 +35% trafo	8	12000	Fast	8.9 / 4.9	7.4
CB20 280W trafo	8	12000	Fast	8.6 / 5.7	7.0
24VDC	12	10000	Standard	11 / 7.6	7.4
CBJ1/2	12	10000	Standard	10.4 / 6	7.5
CB6S / CB16 +35% trafo	12	10000	Standard	13.5 / 6.8	7.6
CB20 280W trafo	12	10000	Standard	13.8 / 8.3	7.5
24VDC	12	10000	Fast	11.8 / 7.7	8.2
CBJ1/2	12	10000	Fast	11.1 / 6.4	7.8
CB6S / CB16 +35% trafo	12	10000	Fast	14 / 6.8	8.0
CB20 280W trafo	12	10000	Fast	14 / 8.3	8.0

Please note the above measurements are typical values.

Ordering example:

4	4	0	0	1	0	0	0	A	P	0	0	0	0	-	1	0	1	0	0	0	2	8	8	2	1	S	0	0
Not used																												
Not used																												
Safety Factor:																											0 = 2.0 1 = 1.5 2 = 2.5	
Cable:																											0 = None	
Plug Type:																											D = Mini-fit	
Fire Category:																											0 = None /HB 1 = V0	
Install. Dim.:																											XXXX = mm	
Brake:																											1 = Brake PUSH	
Option /Position:																											0 = None J = Manuel Lowering X = Other	
Piston Rod Eye:																											0 = None 1 = With slot 2 = Solid X = Special	
Back fixture:																											0 = None 1 = 0 degrees 2 = 90 degrees X = Special	
Colour:																											2 = Grey RAL7035 X = Special	
IP:																											4 = IPx4 6 = IPx6	
Motor Type:																											B = 24VDC. Normal E = 24VDC. Fast X = Other	
Interface:																											00 = None 05 = IC	
Positioning:																											0 = None P = Potmeter H = Hall X = Special	
Safety:																											A = Safety nut D = Mec. Spline + Safety nut. L = EL. Splines + Safety nut X = Special	
Stroke Length:																											XXX = mm	
Spindle Pitch:																											080 = 8 mm 120 = 12 mm	
Actuator Type:																											44 = LA44	

Installation dimension

Installation dimension option "0" in ordering example

	Installation dimensions 12 mm pitch (10,000 N)	
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+3.3 mm)
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 210 mm	S + 213.3 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension		
Piston rod eye with slot: Installation + 3.3 mm		
Manual Lowering not allowed		

Installation dimension option "1" in ordering example

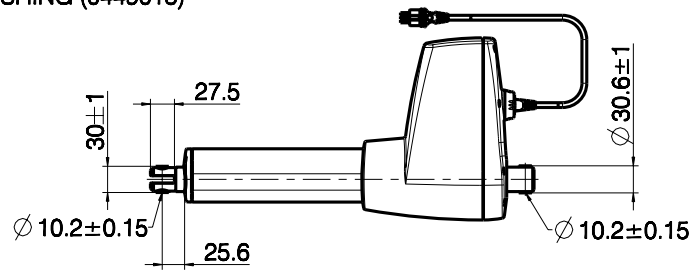
	Installation dimensions 8 mm pitch (12,000 N)	
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+3.3 mm)
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 230 mm	S + 233.3 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension		
Manual Lowering not allowed		

Installation dimension option "L" in ordering example

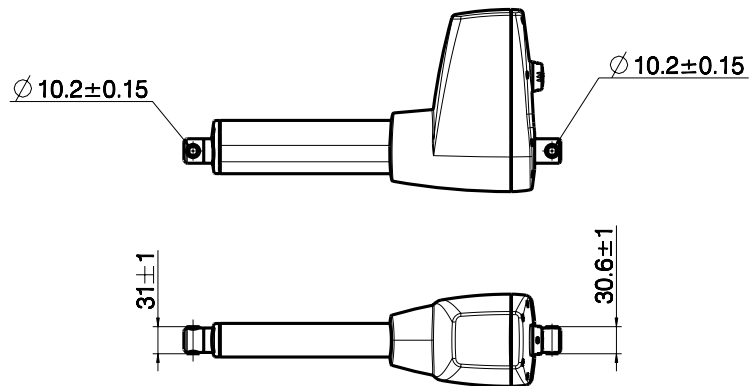
	Installation dimensions 8 mm pitch (12,000 N) or 12 mm pitch (10,000 N)		
	Standard piston rod	Piston rod with slot (+3.3 mm)	With manual lowering
Stroke length 100 - 300 mm:	S + 270 mm	S + 273.3 mm	S + 348 mm
Stroke length 301 - 400 mm:	S + 290 mm	S + 293.3 mm	S + 368 mm
Safety nut in push is standard: no addition to installation dimension			
Piston rod eye with slot: Installation + 3.3 mm (Not for 12,000 N)			
Manual Lowering: Installation + 78 mm (slot is not possible with manual lowering)			

Dimensions: LA44 Standard

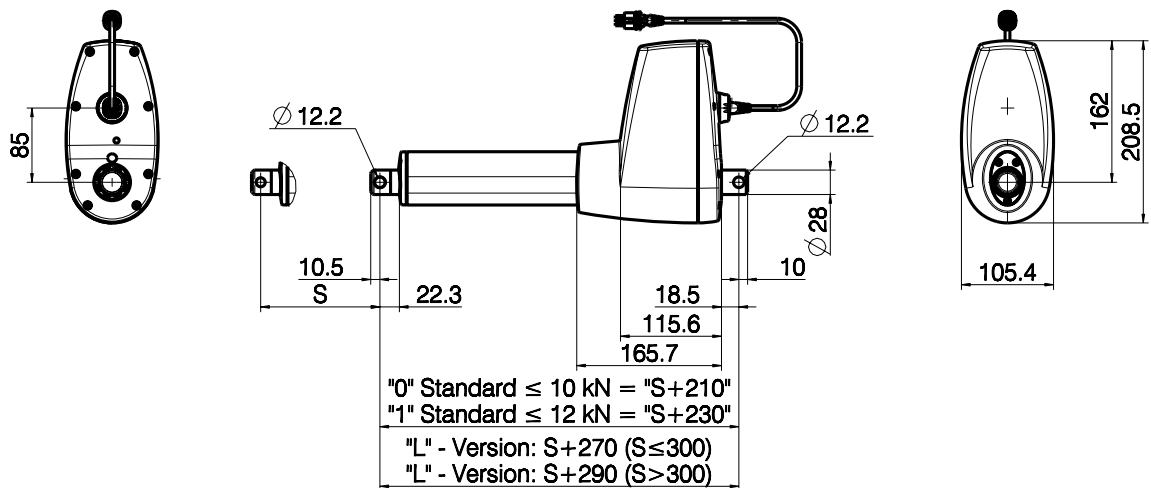
WITH SLOT AND BUSHING (0449015)



WITH BUSHING (0449014)



WITHOUT BUSHING (0449014)



INSTALLATION DIMENSION

Drawing no.: 0449014

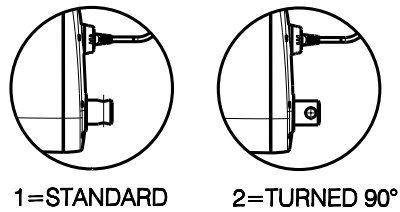
N.B. Tolerance information

± 2 mm - Installation dimension

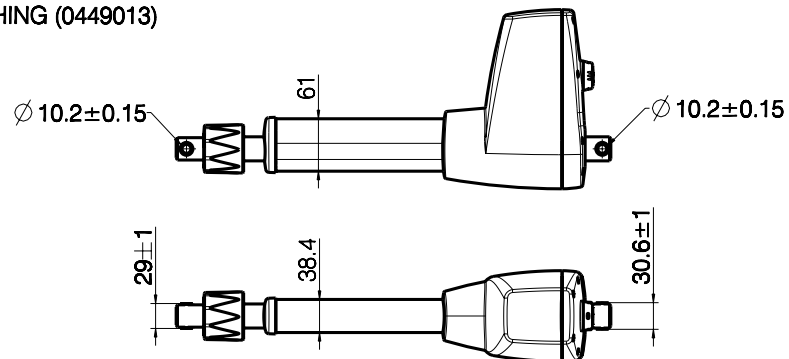
± 2 mm - Stroke length

Dimensions: LA44 with manual lowering

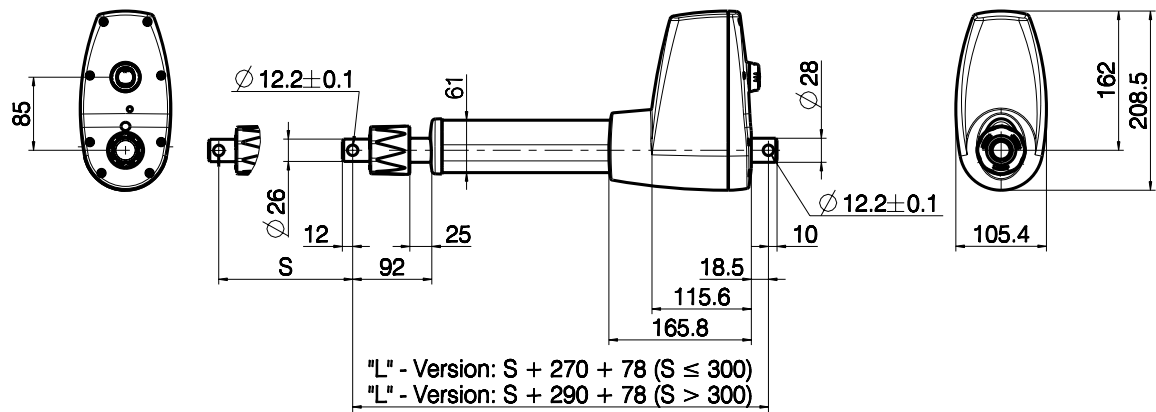
FIXTURE ORIENTATION (0449013)



WITH BUSHING (0449013)



WITHOUT BUSHING (0449013)



INSTALLATION DIMENSION

Drawing no.: 0449013





N.B. Tolerance information

± 2 mm - Installation dimension

± 2 mm - Stroke length

Ficha técnica

Rueda I-BP BLANCO 2-0040

Codigo				Tipo cojinete Eje					
2-0040	50	90	18x2	==	-	-	10	74	41



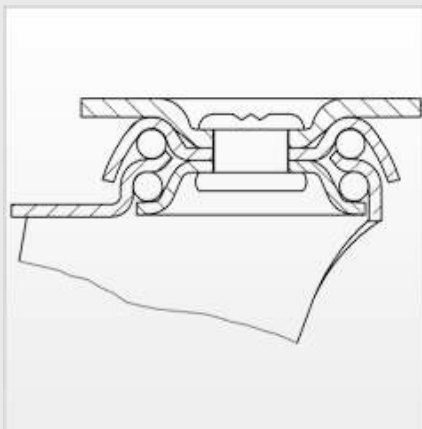
Características

Fabricada con chapa de acero hasta 2 m/m de espesor.
Soporte con doble rodamiento a bolas.
Acabado cincado.
Fabricadas según normas europeas EN 12528.

Datos técnicos

Diámetro: 50 mm
Carga: 90 kg
Tipo de cojinete: Cojinete Liso
Ancho de Banda de rodadura: 18x2 mm
Diámetro agujero pasante: 10 mm
Altura total: 74 mm
Radio de giro: 41 mm

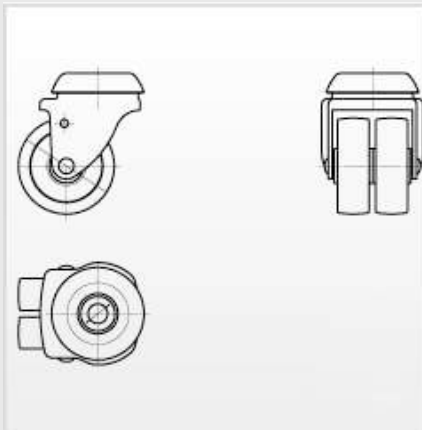
Archivos CAD



Rueda

BP Blanco (Polipropileno-Plastico)
Rueda de polipropileno blanco
Rango de temperatura: -20° ÷ +60°


Productos relacionados



Codigo: 1-0391

Ficha técnica

Rueda ZLI-UT 2-3090

Codigo				Tipo cojinete Eje					
2-3090	100	110	34	==	-	-	12	127	80



Características

Fabricada con chapa de acero inoxidable (AISI 304) hasta 2,5 m/m de espesor.

Todos los componentes son de acero inoxidable.

Fabricadas según normas europeas EN 12528

Datos técnicos

Diámetro: 100 mm

Carga: 110 kg

Tipo de cojinete: Cojinete Liso

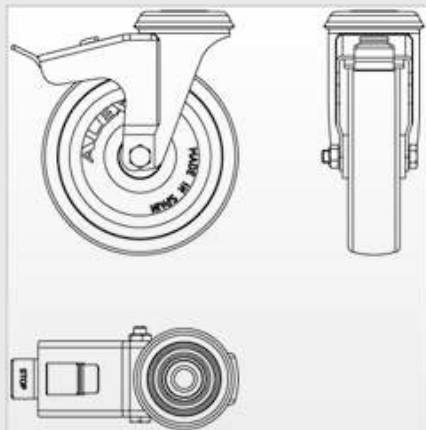
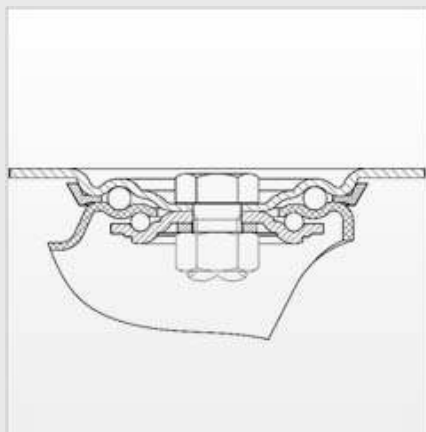
Ancho de Banda de rodadura: 34 mm

Diámetro agujero pasante: 12 mm

Altura total: 127 mm

Radio de giro: 80 mm

Archivos CAD



Rueda

UT (Poliamix)

Rueda de poliamix blanco

Rango de temperatura: -20° ÷ +60°

Productos relacionados

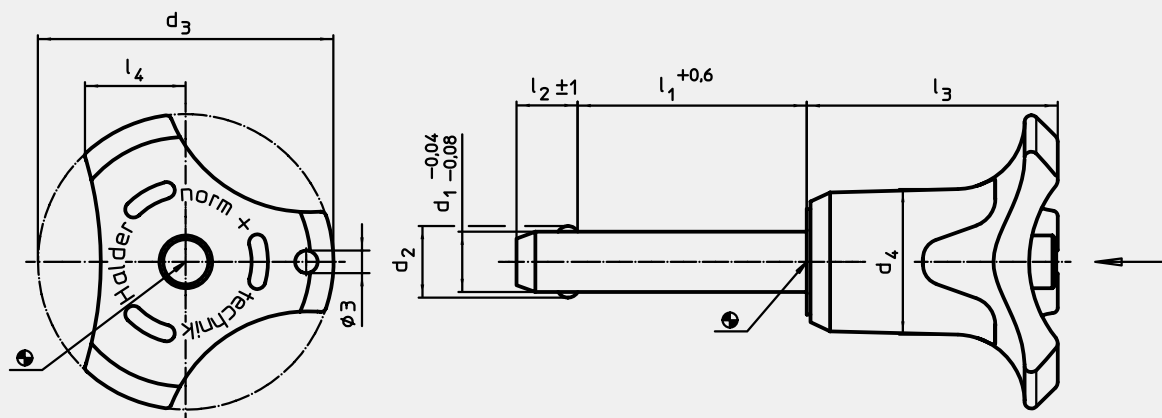


Codigo: 2-3087

EH 22370.

Pasadores de
bolas

autoblocantes



>>> Ejecuciones especiales bajo pedido. <<<

Material:

Eje:

- Acero inoxidable 1.4305
- Acero inoxidable - referido a EH 22380.

Empuñadura:

- Termoplástico (PA 6) gris / naranja, gris / azul, gris / gris

Muelle:

- Acero inoxidable

Nota:

Presionar el botón para liberar

Sirven para sujetar y bloquear rápidamente piezas pequeñas y piezas a mecanizar. Desbloqueo simple y rápido para sujetiones repetitivas.

Estos pasadores de sujeción ofrecen las siguientes ventajas:

- resistentes a la corrosión
- empuñadura ergonómica
- el diseño de la empuñadura evita el desbloqueo de manera no intencionada
- fácilmente adaptables a una cuerda de seguridad (cable de retención) EH 22400.
- temperaturas de utilización entre: - 30 °C / + 80 °C.

Referencia naranja	Referencia gris	Referencia azul	d ₁	l ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₂	l ₃	l ₄	Diámetro del alojamiento H11	Resistencia al cizallamiento doble kN min.*	g
22370.0152	22370.0292	22370.0432	5	10	5,5	33,2	14,5	6,0	26,7	10,8	5	14	15
22370.0153	22370.0293	22370.0433	5	15	5,5	33,2	14,5	6,0	26,7	10,8	5	14	15
22370.0154	22370.0294	22370.0434	5	20	5,5	33,2	14,5	6,0	26,7	10,8	5	14	16
22370.0155	22370.0295	22370.0435	5	25	5,5	33,2	14,5	6,0	26,7	10,8	5	14	17
22370.0156	22370.0296	22370.0436	5	30	5,5	33,2	14,5	6,0	26,7	10,8	5	14	18
22370.0162	22370.0302	22370.0442	6	10	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	16
22370.0163	22370.0303	22370.0443	6	15	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	17
22370.0164	22370.0304	22370.0444	6	20	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	18
22370.0165	22370.0305	22370.0445	6	25	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	19
22370.0166	22370.0306	22370.0446	6	30	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	20
22370.0167	22370.0307	22370.0447	6	35	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	21
22370.0168	22370.0308	22370.0448	6	40	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	22
22370.0169	22370.0309	22370.0449	6	45	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	23
22370.0170	22370.0310	22370.0450	6	50	7,0	33,2	14,5	7,0	26,7	10,8	6	21	24
22370.0174	22370.0314	22370.0454	8	20	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	40
22370.0175	22370.0315	22370.0455	8	25	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	42
22370.0176	22370.0316	22370.0456	8	30	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	44
22370.0177	22370.0317	22370.0457	8	35	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	46
22370.0178	22370.0318	22370.0458	8	40	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	47
22370.0179	22370.0319	22370.0459	8	45	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	49
22370.0180	22370.0320	22370.0460	8	50	9,6	39,2	19,3	8,2	33,3	13,4	8	38	51
22370.0184	22370.0324	22370.0464	10	20	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	47
22370.0185	22370.0325	22370.0465	10	25	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	49
22370.0186	22370.0326	22370.0466	10	30	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	53
22370.0187	22370.0327	22370.0467	10	35	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	55
22370.0188	22370.0328	22370.0468	10	40	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	58
22370.0189	22370.0329	22370.0469	10	45	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	61
22370.0190	22370.0330	22370.0470	10	50	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	64
22370.0192	22370.0332	22370.0472	10	60	12,0	39,2	19,3	9,6	33,3	13,4	10	60	70

* Resistencia al cizallamiento similar a DIN 50141

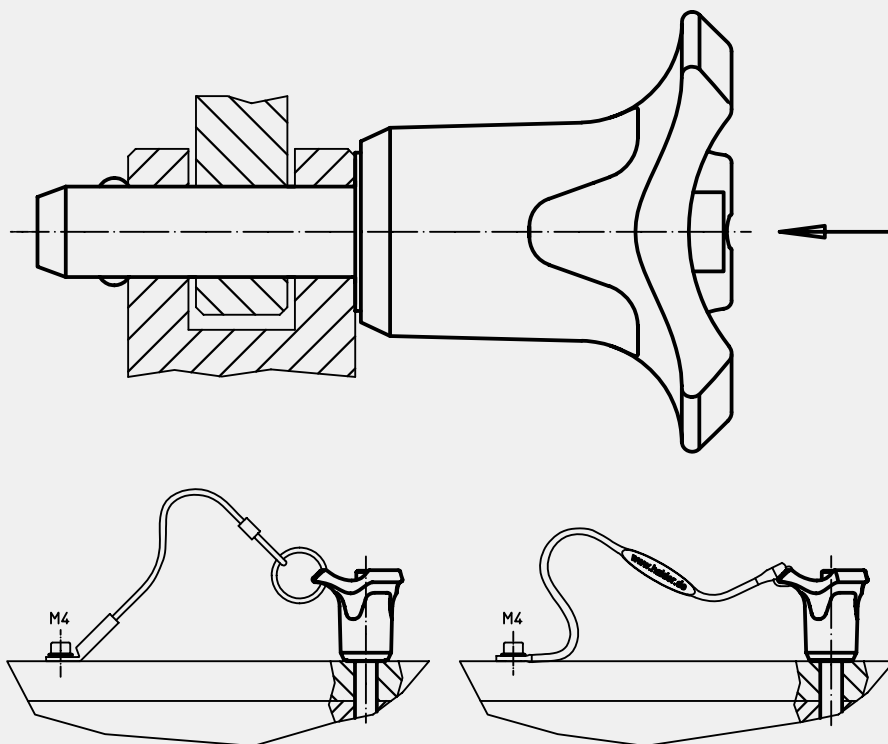
Viene de la página anterior

EH 22370.**Pasadores de
bolas**

autoblocantes

Referencia naranja	Referencia gris	Referencia azul	d ₁	l ₁	d ₂	d ₃	d ₄	l ₂	l ₃	l ₄	Diámetro del alojamiento H11	Resistencia al cizalla- miento doble kN mín.*	g
22370.0205	22370.0345	22370.0485	12	25	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	96
22370.0206	22370.0346	22370.0486	12	30	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	100
22370.0207	22370.0347	22370.0487	12	35	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	105
22370.0208	22370.0348	22370.0488	12	40	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	109
22370.0209	22370.0349	22370.0489	12	45	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	113
22370.0210	22370.0350	22370.0490	12	50	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	117
22370.0212	22370.0352	22370.0492	12	60	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	126
22370.0214	22370.0354	22370.0494	12	70	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	134
22370.0216	22370.0356	22370.0496	12	80	14,5	47,6	26,3	10,6	39,7	16,7	12	87	143
22370.0226	22370.0366	22370.0506	16	30	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	132
22370.0227	22370.0367	22370.0507	16	35	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	140
22370.0228	22370.0368	22370.0508	16	40	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	148
22370.0229	22370.0369	22370.0509	16	45	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	155
22370.0230	22370.0370	22370.0510	16	50	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	168
22370.0232	22370.0372	22370.0512	16	60	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	178
22370.0234	22370.0374	22370.0514	16	70	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	194
22370.0236	22370.0376	22370.0516	16	80	19,0	47,6	26,3	14,0	39,7	16,7	16	155	208
22370.0252	22370.0392	22370.0532	20	60	25,0	57,1	35,4	20,5	50,7	21,5	20	244	343
22370.0256	22370.0396	22370.0536	20	80	25,0	57,1	35,4	20,5	50,7	21,5	20	244	392
22370.0260	22370.0400	22370.0540	20	100	25,0	57,1	35,4	20,5	50,7	21,5	20	244	440
22370.0264	22370.0404	22370.0544	20	120	25,0	57,1	35,4	20,5	50,7	21,5	20	244	488

* Resistencia al cizallamiento similar a DIN 50141

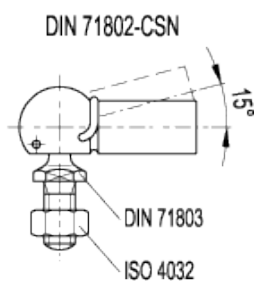
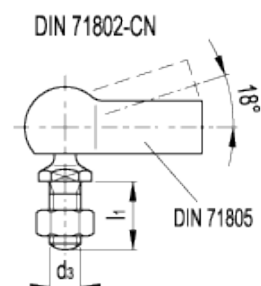
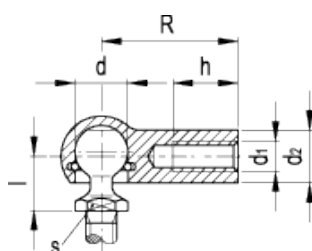


DIN 71802-NI

Rótulas angulares



INOX
Stainless Steel



Información técnica

Material

Acero inoxidable.

Vástago de la bola

Tipo DIN 71803, roscado.

- Modelo **CN**: sin paracaídas de seguridad.
- Modelo **CSN**: con paracaídas de seguridad.

Bola

Acero inoxidable, no endurecido, lubricado.

Montaje

Agujero standard roscado d1.
Las rótulas angulares DIN 71802 consisten en un asiento esférico DIN 71805 y un vástago esférico DIN 71803.

Otras ejecuciones standard disponibles

- Modelo **L**: agujero con roscado izquierdo (M5÷M12).
- Modelo **F**: agujero con roscado fino (M14).
- Modelo **FL**: agujero con roscado izquierdo (M14).

Ángulo de rotación

- Para modelo CSN: 15°.
- Para modelo CN 18°.

Accesorios bajo pedido

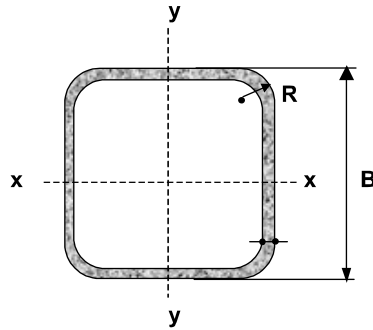
Las rótulas con de resistencia reducida, con asientos esféricos con juego y con las tapas **GN 710** para proteger el punto con la bola.

Instrucciones de montaje

La bola se monta empujándola a través de la arandela de retención. En caso de que la fuerza de retención entre la bola y el asiento no sea suficiente, la misma puede ser aumentada añadiendo un paracaídas de seguridad que puede ser fácilmente montado.

Elementos standard	Dimensiones principales									Fuerza de desacoplamiento mín. [N]	Peso [g]
Descripción	d H9/h9	d ₁	d ₂	d ₃	l	l ₁	R	h _{min}	s		
DIN 71802-8-M5-CN	8	M5	8	M5	9	10	22	10.5	7	30	15
DIN 71802-8-M5-CSN	8	M5	8	M5	9	10	22	10.5	7	30	15
DIN 71802-8-M5L-CN	8	M5L	8	M5	9	10	22	10.5	7	30	16
DIN 71802-8-M5L-CSN	8	M5L	8	M5	9	10	22	10.5	7	30	16
DIN 71802-10-M6-CN	10	M6	10	M6	11	12.5	25	11.5	8	40	25
DIN 71802-10-M6-CSN	10	M6	10	M6	11	12.5	25	11.5	8	40	25
DIN 71802-10-M6L-CN	10	M6L	10	M6	11	12.5	25	11.5	8	40	25
DIN 71802-10-M6L-CSN	10	M6L	10	M6	11	12.5	25	11.5	8	40	28
DIN 71802-13-M8-CN	13	M8	13	M8	13	16.5	30	14	11	60	55
DIN 71802-13-M8-CSN	13	M8	13	M8	13	16.5	30	14	11	60	55
DIN 71802-13-M8L-CN	13	M8L	13	M8	13	16.5	30	14	11	60	55
DIN 71802-13-M8L-CSN	13	M8L	13	M8	13	16.5	30	14	11	60	55
DIN 71802-16-M10-CN	16	M10	16	M10	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M10-CSN	16	M10	16	M10	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M10L-CN	16	M10L	16	M10	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M10L-CSN	16	M10L	16	M10	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M12-CN	16	M12	16	M12	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M12-CSN	16	M12	16	M12	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M12L-CN	16	M12L	16	M12	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-16-M12L-CSN	16	M12L	16	M12	16	20	35	15.5	13	80	100
DIN 71802-19-M14F-CN	19	M14F=M14x1.5	22	M14x1.5	20	28	45	21.5	16	100	220
DIN 71802-19-M14F-CSN	19	M14F=M14x1.5	22	M14x1.5	20	28	45	21.5	16	100	230
DIN 71802-19-M14FL-CN	19	M14FL=M14x1.5L	22	M14x1.5	20	28	45	21.5	16	100	230
DIN 71802-19-M14FL-CSN	19	M14FL=M14x1.5L	22	M14x1.5	20	28	45	21.5	16	100	230

Tubos de acero
Sección
Cuadrada
IRAM-IAS
U 500-218
U 500-2592

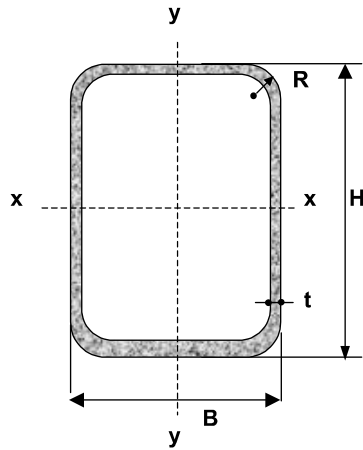


B = Ancho exterior
t = Espesor de pared
R = Radio de esquina exterior = 2,00 t
p = Área exterior por metro lineal
A = Sección bruta
g = Peso por metro lineal
I = Momento de Inercia
S = Módulo elástico resistente
r = Radio de giro
Z = Módulo plástico
J = Módulo de Torsión
C = Constante torsional

B [mm]	t [mm]	p [m ² /m]	Ag [cm ²]	g [Kg/m]	Ix=ly [cm ⁴]	Sx=Sy [cm ³]	rx=ry [cm]	Zx=Zy [cm ³]	J [cm ⁴]	C [cm ³]
15	0.70	0.058	0.388	0.304	0.130	0.173	0.579	0.206	0.203	0.285
	0.90	0.057	0.487	0.382	0.158	0.210	0.569	0.254	0.248	0.355
	1.25	0.056	0.647	0.508	0.197	0.263	0.552	0.327	0.315	0.465
20	0.90	0.077	0.667	0.523	0.399	0.399	0.773	0.473	0.622	0.654
	1.25	0.076	0.897	0.704	0.513	0.513	0.756	0.621	0.810	0.871
	1.60	0.075	1.112	0.873	0.607	0.607	0.739	0.752	0.968	1.068
25	0.90	0.097	0.847	0.665	0.809	0.647	0.977	0.759	1.253	1.043
	1.25	0.096	1.147	0.901	1.058	0.847	0.960	1.010	1.657	1.403
	1.60	0.095	1.432	1.124	1.274	1.019	0.943	1.237	2.013	1.736
	2.00	0.093	1.737	1.364	1.483	1.186	0.924	1.468	2.363	2.085
30	0.90	0.117	1.027	0.806	1.433	0.956	1.181	1.113	2.210	1.521
	1.25	0.116	1.397	1.097	1.895	1.263	1.165	1.492	2.949	2.059
	1.60	0.115	1.752	1.375	2.307	1.538	1.148	1.842	3.620	2.565
	2.00	0.113	2.137	1.678	2.720	1.813	1.128	2.208	4.304	3.105

B [mm]	t [mm]	p [m ² /m]	Ag [cm ²]	g [Kg/m]	Ix=ly [cm ⁴]	Sx=Sy [cm ³]	rx=ry [cm]	Zx=Zy [cm ³]	J [cm ⁴]	C [cm ³]
40	1.25	0.156	1.897	1.489	4.694	2.347	1.573	2.737	7.244	3.746
	1.60	0.155	2.392	1.877	5.791	2.895	1.556	3.412	8.999	4.703
	2.00	0.153	2.937	2.306	6.935	3.468	1.537	4.136	10.857	5.745
	2.50	0.151	3.589	2.817	8.209	4.104	1.512	4.971	12.958	6.971
50	1.60	0.195	3.032	2.380	11.698	4.679	1.964	5.462	18.064	7.480
	2.00	0.193	3.737	2.934	14.137	5.655	1.945	6.664	21.970	9.185
	2.50	0.191	4.589	3.602	16.931	6.773	1.921	8.078	26.507	11.221
	3.20	0.189	5.727	4.495	20.387	8.155	1.887	9.895	32.211	13.891
60	1.60	0.23	3.67	2.88	20.67	6.89	2.37	7.99	31.78	10.90
	2.00	0.23	4.54	3.56	25.13	8.38	2.35	9.79	38.84	13.43
	2.50	0.23	5.59	4.39	30.32	10.11	2.33	11.93	47.18	16.47
	3.20	0.23	7.01	5.50	36.91	12.30	2.30	14.74	57.92	20.52
	4.00	0.23	8.55	6.71	43.52	14.51	2.26	17.66	68.87	24.84
80	2.00	0.31	6.14	4.82	61.67	15.42	3.17	17.85	94.67	24.31
	2.50	0.31	7.59	5.96	75.10	18.78	3.15	21.90	115.90	29.97
	3.20	0.31	9.57	7.51	92.65	23.16	3.11	27.30	143.98	37.62
	4.00	0.31	11.75	9.22	110.96	27.74	3.07	33.09	173.72	45.96
	4.76	0.30	13.74	10.79	126.70	31.67	3.04	38.22	199.62	53.48
90	2.50	0.35	8.59	6.74	108.50	24.11	3.55	28.01	166.95	38.22
	3.20	0.35	10.85	8.51	134.42	29.87	3.52	35.02	208.17	48.09
	4.00	0.35	13.35	10.48	161.80	35.96	3.48	42.60	252.30	58.92
	4.76	0.34	15.65	12.28	185.67	41.26	3.44	49.39	291.27	68.75
	6.35	0.34	20.21	15.86	229.17	50.93	3.37	62.30	363.45	87.88
100	3.20	0.39	12.13	9.52	187.17	37.43	3.93	43.70	289.03	59.84
	4.00	0.39	14.95	11.73	226.20	45.24	3.89	53.31	351.52	73.48
	4.76	0.38	17.55	13.78	260.58	52.12	3.85	61.98	407.25	85.94

Tubos de acero
Sección
Rectangular
IRAM-IAS
U 500-218
U 500-2592



B = Ancho exterior
t = Espesor de pared
R = Radio de esquina exterior = **2,00 t**
p = Área exterior por metro lineal
A = Sección bruta
g = Peso por metro lineal
I = Momento de Inercia
S = Módulo elástico resistente
r = Radio de giro
Z = Módulo plástico
J = Módulo de Torsión
C = Constante torsional

B	H	t	p	Ag	g	Ix	Sx	rx	Zx	Iy	Sy	ry	Zy	J	C
[mm]	[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
10	20	0.70	0.058	0.388	0.304	0.193	0.193	0.706	0.244	0.065	0.130	0.409	0.150	0.156	0.250
		0.90	0.057	0.487	0.382	0.234	0.234	0.694	0.301	0.078	0.156	0.400	0.184	0.189	0.310
15	25	0.90	0.077	0.667	0.523	0.547	0.438	0.906	0.542	0.247	0.329	0.609	0.381	0.539	0.609
		1.25	0.076	0.897	0.704	0.706	0.565	0.887	0.713	0.315	0.420	0.593	0.499	0.698	0.809
20	30	0.90	0.097	0.847	0.665	1.052	0.701	1.115	0.851	0.563	0.563	0.815	0.644	1.147	0.998
		1.25	0.096	1.147	0.901	1.378	0.919	1.096	1.132	0.733	0.733	0.799	0.856	1.512	1.340
		1.60	0.095	1.432	1.124	1.662	1.108	1.077	1.388	0.878	0.878	0.783	1.046	1.832	1.656

Reglamento CIRSOC 301-EL / 302-EL

- 38 -

Tablas de Perfiles

B	H	t	p	Ag	g	Ix	Sx	rx	Zx	Iy	Sy	ry	Zy	J	C
[mm]	[mm]	[mm]	[m ² /m]	[cm ²]	[Kg/m]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ³]	[cm ⁴]	[cm ³]
20	40	0.90	0.117	1.027	0.806	2.129	1.064	1.440	1.319	0.727	0.727	0.841	0.816	1.718	1.341
		1.25	0.116	1.397	1.097	2.817	1.408	1.420	1.769	0.953	0.953	0.826	1.090	2.276	1.809
		1.60	0.115	1.752	1.375	3.431	1.716	1.400	2.183	1.149	1.149	0.810	1.341	2.773	2.245
30	40	1.25	0.136	1.647	1.293	3.755	1.878	1.510	2.253	2.412	1.608	1.210	1.851	4.572	2.778
		1.60	0.135	2.072	1.626	4.611	2.306	1.492	2.798	2.952	1.968	1.194	2.296	5.646	3.474
		2.00	0.133	2.537	1.992	5.491	2.746	1.471	3.376	3.504	2.336	1.175	2.768	6.762	4.225
30	50	1.25	0.156	1.897	1.489	6.439	2.576	1.842	3.139	2.928	1.952	1.242	2.211	6.309	3.496
		1.60	0.155	2.392	1.877	7.950	3.180	1.823	3.914	3.598	2.398	1.226	2.751	7.816	4.383
		2.00	0.153	2.937	2.306	9.529	3.812	1.801	4.744	4.288	2.859	1.208	3.328	9.398	5.345
		2.50	0.151	3.589	2.817	11.291	4.516	1.774	5.703	5.045	3.363	1.186	3.989	11.166	6.471
30	60	1.60	0.175	2.712	2.129	12.484	4.161	2.146	5.189	4.243	2.829	1.251	3.205	10.081	5.292
		2.00	0.173	3.337	2.620	15.035	5.012	2.123	6.313	5.072	3.381	1.233	3.888	12.150	6.465
		2.50	0.171	4.089	3.210	17.923	5.974	2.094	7.622	5.990	3.993	1.210	4.677	14.484	7.846
30	70	1.60	0.195	3.032	2.380	18.373	5.249	2.462	6.625	4.888	3.259	1.270	3.660	12.411	6.200
		2.00	0.193	3.737	2.934	22.208	6.345	2.438	8.081	5.856	3.904	1.252	4.448	14.983	7.585
		2.50	0.191	4.589	3.602	26.597	7.599	2.407	9.792	6.935	4.624	1.229	5.364	17.900	9.221
40	50	1.60	0.175	2.712	2.129	9.824	3.930	1.903	4.688	6.970	3.485	1.603	4.027	12.667	5.932
		2.00	0.173	3.337	2.620	11.833	4.733	1.883	5.704	8.379	4.190	1.585	4.896	15.343	7.265
		2.50	0.171	4.089	3.210	14.111	5.644	1.858	6.890	9.967	4.983	1.561	5.909	18.412	8.846
40	60	1.60	0.195	3.032	2.380	15.212	5.071	2.240	6.124	8.150	4.075	1.640	4.641	16.552	7.160
		2.00	0.193	3.737	2.934	18.399	6.133	2.219	7.473	9.823	4.912	1.621	5.656	20.098	8.785
		2.50	0.191	4.589	3.602	22.055	7.352	2.192	9.060	11.725	5.862	1.598	6.846	24.197	10.721
		3.20	0.189	5.727	4.495	26.589	8.863	2.155	11.100	14.050	7.025	1.566	8.369	29.311	13.251

Reglamento CIRSOC 301-EL / 302-EL

- 39 -

Tablas de Perfiles