



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

PROYECTO FIN DE CARRERA

DISEÑO DE PLUMINES PARA CARRETILLAS MANIPULADORAS

Ingeniería Técnica Industrial, especialidad Mecánica

Universidad de Zaragoza

Autor: David del Barrio Porto

Director: Ramón Miralbés Buil

Marzo 2011



INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES.....	4
OBJETIVOS	5
CASOS DE CARGA Y CONDICIONES DE CONTORNO.....	6
ANÁLISIS VIGA CAJÓN CERRADO	7
NORMATIVA APLICADA.....	7
METODOLOGÍA DEL CÁLCULO	7
<i>Cargas inerciales</i>	10
<i>Cargas de viento</i>	11
<i>Coeficiente de seguridad</i>	12
CÁLCULO CASO 1	12
<i>Traslación</i>	12
<i>Rotación</i>	13
CÁLCULO CASO 2	17
<i>Traslación</i>	17
<i>Rotación</i>	18
CÁLCULO CASO 3	22
<i>Traslación</i>	22
<i>Rotación</i>	23
OBSERVACIONES TRAS EL CÁLCULO	27
MODELOS INICIALES.....	27
CAJÓN CERRADO.....	27
TUBULAR	28
ANÁLISIS MEF VIGA CAJÓN CERRADO Y MODIFICACIONES	29
MALLADO	29
IMPOSICIÓN CONDICIONES DE CONTORNO	30
<i>Fijación</i>	30
<i>Cargas</i>	31
<i>Análisis</i>	31
RESULTADOS MODELO PRELIMINAR.....	33
MODIFICACIÓN 1	34
MODIFICACIÓN 2	38
MODIFICACIÓN 3	38
MODIFICACIÓN 4	40
MODIFICACIÓN 5	41
MODIFICACIÓN 6	42
MODIFICACIÓN 7	43

MODIFICACIÓN 8	46
MODIFICACIÓN 9	46
RESUMEN DE FLECHAS MÁXIMAS	49
COMPARATIVA DE PESOS	49
MODELO FINAL VS INICIAL	50
ANÁLISIS MEF ESTRUCTURA TUBULAR Y MODIFICACIONES.....	51
MALLADO	51
IMPOSICIÓN CONDICIONES DE CONTORNO	51
<i>Fijación</i>	51
<i>Cargas</i>	52
<i>Análisis</i>	53
RESULTADOS MODELO PRELIMINAR	54
MODIFICACIÓN 1	57
MODIFICACIÓN 2	60
MODIFICACIÓN 3	62
RESUMEN DE FLECHAS MÁXIMAS	64
COMPARATIVA DE PESOS	64
MODELO FINAL VS INICIAL	65
CONCLUSIONES	65
A CERCA DE LAS MODIFICACIONES CAJÓN CERRADO	66
A CERCA DE LAS MODIFICACIONES TUBULAR	66
COMPARATIVA CAJÓN CERRADO VS TUBULAR	67
BIBLIOGRAFÍA Y CONSULTAS WEB	68
ANEXOS.....	69
PERFILES SECCIÓN HUECA CUADRADA	69
BARRAS	71
PLANOS	72

INTRODUCCIÓN

En este proyecto, que trata el diseño de plumines para carretillas manipuladoras, se plantean dos ideas diferentes para conseguir un mismo fin. Por un lado se piensa en la utilización de un perfil normalizado como estructura principal para soportar una carga, y por otro, en una estructura tubular que permita realizar la misma función.

Se desarrollarán ambos diseños a partir de un modelo preliminar que gracias al análisis con el método de los elementos finitos se irá modificando convenientemente hasta conseguir que la estructura planteada en origen cumpla los requisitos de resistencia y rigidez exigidos.

Una vez optimizado cada diseño se analizarán las diferencias entre ambos y las ventajas e inconvenientes de cada uno.

ANTECEDENTES

En el mercado se pueden encontrar diferentes tipos de plumines para la elevación de cargas.

Existen telescópicos, con brazo extensible accionado por cilindros hidráulicos;



Imagen 1: Plumín telescópico

Articulados, que pueden girar hacia los lados también con la ayuda de cilindros hidráulicos;



Imagen 2: Plumín articulado

Con cabrestante para desplazar verticalmente la carga suspendida;



Imagen 3: Plumín con cabrestante

Fijos, entre los que se encuentran los dos tipos que aquí vamos a analizar, de estructura tubular, y con viga de cajón cerrado.



Imagen 4: Plumín tubular

OBJETIVOS

Se pretenden optimizar los dos tipos de soluciones planteadas, desde el punto de vista de la economía de stocks, empleando chapas y tubos de los mismos espesores, intentando eliminar material de las zonas menos solicitadas mecánicamente, sin comprometer la seguridad del plumín, y teniendo la precaución de no eliminar material que a pesar de estar poco solicitado mecánicamente desempeñe una función importante en la aptitud al servicio del plumín o para el proceso de montaje del mismo.

Se escogerán materiales de listas normalizadas, como en el caso del perfil cuadrado del primer diseño, o los tubos del segundo, y de entre las opciones posibles, el primer criterio de elección será el del elemento con menor peso por unidad de longitud. La idea es la de obtener un elemento que en la medida de lo posible sea ligero, posea una buena maniobrabilidad y su precio no sea muy elevado.

Se seguirá la normativa UNE-1726 aplicable a “carretillas autopropulsadas de capacidad hasta 10.000 Kg y tractores industriales con un esfuerzo de hasta 20.000 N inclusive”, y UNE-58536 ya que es ahí donde se detallan las medidas de seguridad y estructurales que deben soportar sus accesorios y por lo tanto es donde se enmarca nuestro objeto de trabajo.

CASOS DE CARGA Y CONDICIONES DE CONTORNO

Las hipótesis de carga que se van a analizar son las que marca la normativa UNE-58536 “Reglas para el cálculo de las estructuras de las grúas móviles de uso general” con sus correspondientes coeficientes de mayoración y combinaciones que se detallan en el siguiente apartado “análisis”. Por nuestra parte la carga de utilización del plumín que estimaremos como máxima, serán 1000 Kg aplicados a una distancia de 1500 mm de la sujeción, y sustentados por un pasador soldado de 15 mm de diámetro.

En lo referente a la sujeción, las condiciones de contorno vienen impuestas por el modelo de carretilla manipuladora a la que se acoplarán los plumines, en nuestro caso se trata de la marca MANITOU - serie CG.

Radio de curvatura de la cara interior del gancho: 30mm

Radio del pasador del gancho: 27mm

Distancia entre ambos ejes: 310mm

Distancia pasador-cara frontal (interior): 63mm

Distancia entre ganchos: 800mm

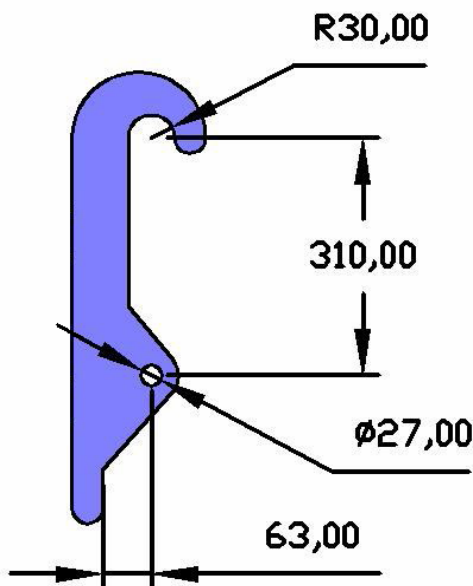


Fig. 1 restricciones enganche

ANÁLISIS VIGA CAJÓN CERRADO

Normativa aplicada

Existe la norma UNE-1726 “Carretillas autopropulsadas de capacidad hasta 10.000 Kg y tractores industriales con un esfuerzo de tracción al gancho de hasta 20.000 N inclusive”, en la que se detalla todas las medidas de seguridad y estructurales que debe soportar una carretilla autopropulsada y sus accesorios.

Respecto al apartado que es de interés en este proyecto (ap. 6.2), lo que indica la norma es:

“Los componentes estructurales de la carretilla y sus accesorios, deben soportar una carga estática de $1,33 Q_1$ y $1,33 Q_2$ durante quince minutos.

Q_1 es la carga nominal a la altura de elevación normalizada y a la distancia normalizada del centro de carga, de acuerdo con lo indicado en la placa de capacidades.

Q_2 es la capacidad real a la altura máxima de elevación de acuerdo con lo indicado en la placa de capacidades.

Como consecuencia del ensayo no debe ser visible ningún daño ni deformación permanente.”

Al observar esta normativa, se aprecia que es poco restrictiva y que, para un correcto dimensionamiento de nuestra estructura es necesario adoptar la normativa UNE- 58536: “Reglas para el cálculo de las estructuras de las grúas móviles de uso general” aplicado a grúas móviles montadas sobre neumáticos.

Metodología del cálculo

El primer diseño, que se basa en un perfil de sección cuadrada como principal sustentador de la carga, requiere buscar entre los perfiles comerciales uno adecuado a nuestras exigencias (ANEXO perfiles sección hueca cuadrada). Para ello se aborda el cálculo planteando el problema como el de una viga en voladizo empotrada en un extremo, teniendo en cuenta el peso propio del perfil y la carga de servicio. Se toman los datos del apartado anterior “casos de carga y condiciones de contorno” como enunciado del problema, teniendo en cuenta que la carga correspondiente al peso propio del perfil a priori no es un dato fijo conocido, pues depende de la sección que escojamos. Para salvar este

inconveniente a la hora de calcular los máximos esfuerzos en la barra, se crea una hoja EXCEL que facilita dicho cálculo. De la observación de los diagramas de esfuerzos podemos concluir que el punto más solicitado de la barra va a ser el que se encuentra en el empotramiento, por lo tanto será ahí donde habrá que fijarse a la hora de realizar los cálculos.

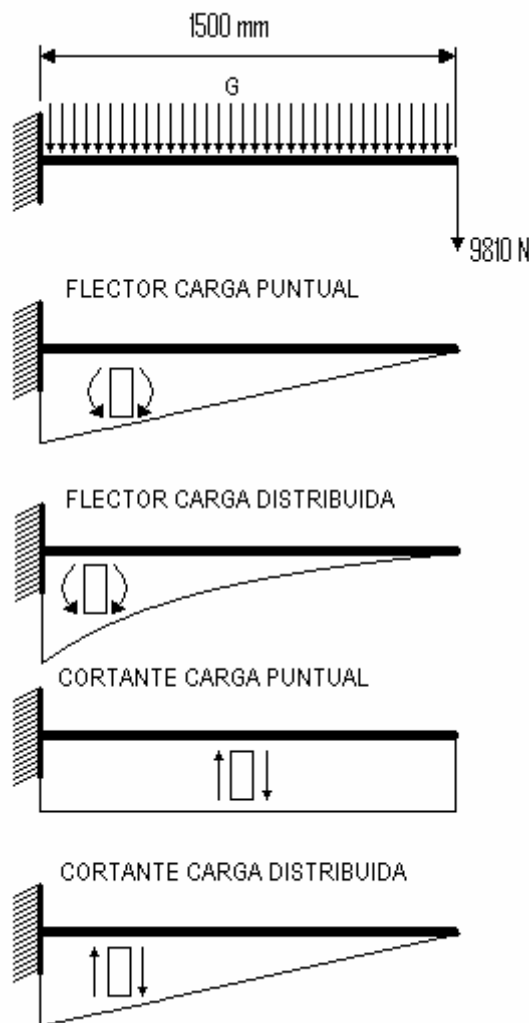


Fig. 2 Diagramas de esfuerzos

De esta manera se calcularán los 3 casos de carga que contempla la normativa y sus correspondientes movimientos en rotación y traslación.

Las fórmulas que utilizaremos son las siguientes:

Momento flector debido a la carga puntual →

$$M = \text{Carga} \cdot \text{Longitud voladizo} = 9810\text{N} \cdot 1500\text{mm} [\text{Nmm}]$$

Momento flector debido al peso propio →

$$M = (\text{Peso propio} \cdot \text{Longitud voladizo}^2)/2 = (G \cdot 1500^2)/2 [\text{Nmm}]$$

Fuerza inercial debida a la traslación-rotación →

$$F_{\text{inerc}} = \text{masa} \cdot \text{aceleración}_{(\text{trasl}; \text{rotac})} \text{ [N]} \quad (\text{eq. 1})$$

Fuerza del viento →

$$W = \text{Presión viento} \cdot \text{Superficie lateral} = 125 \text{ N/m}^2 \cdot \text{lateral sección} \cdot \text{long.viga}$$

Cortante →

$$V = \text{Peso barra} + \text{Carga puntual} = G \cdot 1500\text{mm} + 9810\text{N} \text{ [N]}$$

Tensión Equivalente de Von Mises →

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{eq. 2})$$

Tensión debida al momento flector →

$$\sigma = \text{Momento flector} / \text{Módulo resistente} = M / W \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{eq. 3})$$

Tensión debida al cortante →

$$\tau = \text{Cortante} / \text{Área sección} = V / \text{Área} \text{ [N/mm}^2\text{]} \quad (\text{eq. 4})$$

En función de si se está analizando la hipótesis de traslación o rotación, en cada caso de los tres de la normativa, las máximas tensiones en el empotramiento se obtendrán de diferente manera, como se ilustra en la siguiente imagen:

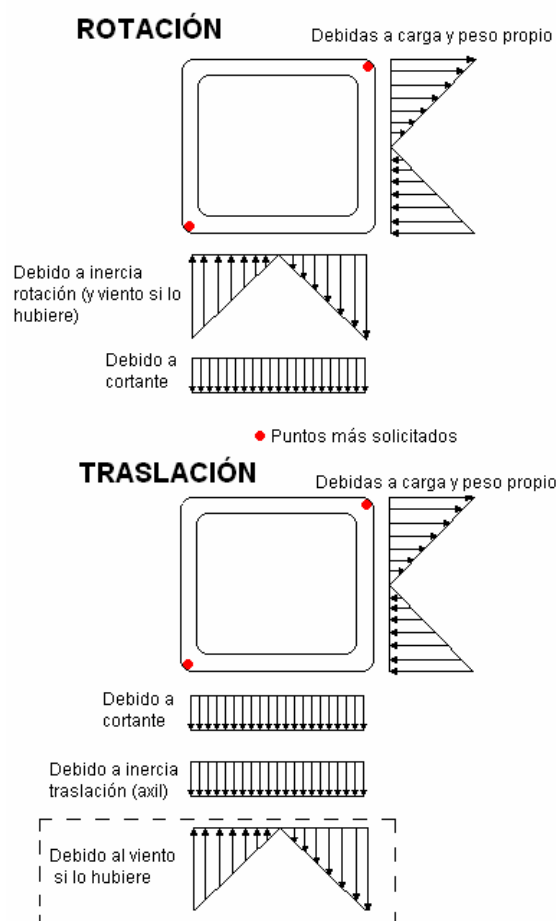


Fig. 3 Distribución de tensiones

Los tres casos de carga diferentes ponderan con diferentes coeficientes las distintas cargas, teniendo así en las expresiones que contemplar:

- El peso propio del plumín **G**
- La carga de servicio **F**
- Efectos dinámicos producidos por la elevación y el descenso de la carga en servicio **Φ**
- Fuerzas debidas a la inercia → Traslación **T**
→ Rotación **S**
- Cargas debidas al viento **W**

Para realizar los cálculos la normativa nos marca las siguientes expresiones;

Caso 1:

$$1,2 \cdot G + 1,35 \cdot \Phi \cdot F + 1,5 \cdot T$$

$$1,2 \cdot G + 1,35 \cdot \Phi \cdot F + 1,5 \cdot S$$

Caso 2:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot \Phi \cdot F + 1,35 \cdot T + 1,2 \cdot W$$

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot \Phi \cdot F + 1,35 \cdot S + 1,2 \cdot W$$

Caso 3:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot F + 1,35 \cdot T + 1,9 \cdot W$$

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot F + 1,35 \cdot S + 1,9 \cdot W$$

La expresión que permite calcular el valor del término Φ es:

$$\Phi = 1,1 + 0,13 \cdot V_h \text{ (m/s)} \quad \text{con } V_h < 1,5 \text{ m/s} \quad (\text{eq. 5})$$

Cargas inerciales

El cálculo de las fuerzas debidas a la inercia de la grúa, es difícil de calcular y depende de cada vehículo, de los frenos que lleve montado, del sistema hidráulico, etc.

Es por ello que para una correcta cuantificación de las mismas sería necesario un ensayo con acelerómetros, pero ya que ello no es siempre posible, se intentará adaptar la fórmula empleada para los factores dinámicos, a partir de las velocidades máximas recomendadas en la normativa de grúas UNE-58-507-77.

Así pues teniendo en cuenta cada movimiento por separado diferenciamos:

-Traslación: es la debida a la traslación de la grúa, especialmente en el proceso de frenado, que es donde la deceleración será máxima. El cálculo se realizará introduciendo una aceleración en dirección longitudinal al plumín. Para

conocer esta aceleración, sería conveniente conocer el tiempo mínimo de deceleración, pero al resultar desconocido lo estimaremos en un segundo. De esa forma, la máxima deceleración sería aproximadamente de 2.8 m/s^2 que es un valor razonable.

-**Rotación:** es la que se produce en carretillas giratorias cuando esta tiende a girar y su valor máximo ocurrirá con el máximo alcance de la máquina con el plumín. En este caso surgen dos tipos de aceleraciones tangenciales, por un lado la debida a la fuerza centrífuga, y por otro lado la que podría surgir por la aceleración o deceleración necesaria para alcanzar la velocidad de rotación o para parar, siendo este caso el que presenta una mayor deceleración. De esta forma:

$$a_{\text{centrif}} = v_{\text{tra}}^2 / r \quad (\text{eq. 6})$$

y que para el caso más desfavorable podría ser de 2.2 m/s^2 aunque variaría según la distancia de cada zona.

$$a_{\text{acel_fren.máx}} = (v_{\text{rot.máx}}/t_{\text{frenada}}) - a_{\text{centrif}} = (\Omega_{\text{rot}} \cdot r_{\text{alc.máx}}) / t_{\text{frenada}} - \Omega_{\text{rot}}^2 \cdot r_{\text{alc.máx}} \quad (\text{eq. 7})$$

$$a_{\text{acel_rot.máx}} = v_{\text{rot.máx}}/t_{\text{frenada}} \quad (\text{eq. 8})$$

y con un tiempo de frenada de 2 segundos , se obtiene que, la máxima deceleración en la rotación es de 3 m/s^2

Cargas de viento

En cuanto a las cargas de viento, se calcularán acordes a la norma UNE 53 -113 que establece que la fuerza que actúa sobre la cara incidente frente al viento en condiciones normales de funcionamiento (W) es :

$$P_{\text{viento,ele}} = P \cdot C_{f,\text{elemento}} \quad (\text{eq. 9})$$

siendo:

P_{viento} : la presión del viento por unidad que en nuestro caso se utilizará 125 N/m^2 (tabla 1 de la UNE 53-113)

$C_{f,\text{elemento}}$ depende de la forma del elemento sobre el que incida el aire y, en nuestro caso se referirá a todas las zonas de exposición para plumines de cajón cerrado a la forma del cajón (tabla 2 de la norma UNE 53-113). En el caso de celosías se emplearía 1.7 salvo que sea de perfil tubular.

Para introducir dicha carga, se colocará en dirección transversal al plumín en toda la sección incidente.

En relación a las fuerzas debidas a viento en tempestad, estos plumines no suelen estar diseñados para trabajar en estas situaciones ya que ante este tipo de

efectos climáticos no va a estar el plumín montado, pero por si fuera necesario, se calcularía utilizando un valor de P de 800 N/m^2 para alturas menores a 20 m o de 1100 N/m^2 para alturas entre 20 y 100 m.

Coeficiente de seguridad

Para el cálculo los criterios que se considerarán válidos en cuanto a resistencia, serán los que dicta la norma, la cual establece una tensión límite combinada (empleando el criterio de Von Mises)

$$\sigma_{V.M.m\acute{a}x} \leq \text{L\acute{i}mite_fluencia} / 1.11 \quad (\text{eq. 10})$$

En nuestro caso vamos a utilizar un acero cuyo límite elástico se encuentra en 355 MPa , por lo tanto la tensión que no deberemos sobrepasar en nuestro diseño es $355 / 1.11 = 320 \text{ MPa}$, valor que tendremos en cuenta a la hora de la selección del perfil en la tabla de acuerdo a la magnitud de las tensiones que se obtengan en el cálculo.

Cálculo caso 1

Traslación

La expresión que detalla las cargas a las que se somete nuestra estructura es la siguiente:

$$1,2 \cdot G + 1,35 \cdot \Phi \cdot F + 1,5 \cdot T$$

En la tabla Excel podemos establecer columnas con los datos que precisemos a cerca del perfil como son:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la traslación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración estimada que sufre (2.8 m/s^2), esta fuerza actuará sobre nuestra barra como esfuerzo axial.

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.2 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por los coeficientes 1.35 y 1.295 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

La casilla “combinación de esfuerzos” da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman el momento calculado en el paso anterior dividido entre el módulo resistente, y lo suma a la tensión producida por el esfuerzo axial entre el área de la sección.

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, en acuerdo a la expresión

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(eq. 2)

Rotación

La expresión que detalla las cargas a las que se somete nuestra estructura es la siguiente:

$$1,2 \cdot G + 1,35 \cdot \Phi \cdot F + 1,5 \cdot S$$

De manera idéntica al caso de traslación contamos con los datos del perfil:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la rotación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración

estimada que sufre (3m/s^2), esta fuerza actuará sobre nuestra barra creando un momento flector.

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.2 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por los coeficientes 1.35 y 1.295 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

También existirá un momento en el empotramiento debido a la inercia de rotación del plumín, este esfuerzo digamos que está “girado” 90 grados respecto del que crean peso propio + carga, hecho que hará que el punto más solicitado no se encuentre a lo largo de todo el borde superior y/o inferior de la sección sino en los vértices opuestos (tal como se indica en la figura 3). Su cálculo consiste en multiplicar la casilla “inercia rotación S” por la mitad de la longitud de la barra y por el coeficiente 1,5 que viene impuesto por la normativa.

La casilla “combinación de esfuerzos” nos da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman, los momentos calculados en los pasos inmediatamente anteriores, divididos cada uno de ellos entre sus módulos resistentes (que al tratarse de una sección cuadrada coinciden) y se suman ambos .

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, de acuerdo a la expresión

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2}$$

(eq. 2)

Lado perfil (mm)	Peso propio(Kg/m) G	Módulo resistente m ³	Area m ²	G (N/m)	Peso barra (N)	Carga (N)	Inercia traslacion T	Inercia Rotacion S
100	8,96	3,54E-05	1,14E-03	87,90	131,85	9810	2838	3040
100	11,73	4,53E-05	1,49E-03	115,07	172,61	9810	2849	3053
100	14,41	5,42E-05	1,84E-03	141,36	212,04	9810	2861	3065
100	16,98	6,23E-05	2,16E-03	166,57	249,86	9810	2871	3076
100	19,12	6,74E-05	2,44E-03	187,57	281,35	9810	2880	3086
110	9,9	4,33E-05	1,26E-03	97,12	145,68	9810	2842	3045
110	12,99	5,56E-05	1,65E-03	127,43	191,15	9810	2855	3058
110	15,98	6,69E-05	2,04E-03	156,76	235,15	9810	2867	3072
110	18,87	7,72E-05	2,40E-03	185,11	277,67	9810	2879	3085
110	21,32	8,42E-05	2,72E-03	209,15	313,72	9810	2890	3096
120	10,84	5,21E-05	1,38E-03	106,34	159,51	9810	2846	3049
120	14,25	6,71E-05	1,81E-03	139,79	209,69	9810	2860	3064
120	17,55	8,09E-05	2,24E-03	172,17	258,25	9810	2874	3079
120	20,75	9,37E-05	2,64E-03	203,56	305,34	9810	2887	3093
120	23,52	1,03E-04	3,00E-03	230,73	346,10	9810	2899	3106
125	11,31	5,67E-05	1,44E-03	110,95	166,43	9810	2848	3051
125	14,87	7,32E-05	1,89E-03	145,87	218,81	9810	2862	3067
125	18,33	8,84E-05	2,34E-03	179,82	269,73	9810	2877	3082
125	21,69	1,03E-04	2,76E-03	212,78	319,17	9810	2891	3098
125	24,62	1,13E-04	3,14E-03	241,52	362,28	9810	2903	3111
135	12,25	6,66E-05	1,56E-03	120,17	180,26	9810	2851	3055
135	16,13	8,62E-05	2,05E-03	158,24	237,35	9810	2868	3073
135	19,9	1,04E-04	2,54E-03	195,22	292,83	9810	2884	3090
135	23,58	1,21E-04	3,00E-03	231,32	346,98	9810	2899	3106
135	26,81	1,34E-04	3,42E-03	263,01	394,51	9810	2913	3121
140	16,76	9,31E-05	2,13E-03	164,42	246,62	9810	2870	3075

Tabla 1.1

MOMENTOS Y	MOMENTOS Z	AXIL	Combinación esfuerzos con T (N/m ²)	Combinación esfuerzos con S (N/m ²)	σ Mpa	CORTANTE (MPa)	VON MISES (Mpa)
25844	3420	4256	733585900	826447910	826	8,7	827
25881	3434	4274	574558869	647564129	648	6,7	648
25916	3448	4291	480322343	541576691	542	5,5	542
25950	3461	4307	418596706	472167838	472	4,7	472
25979	3472	4320	387157457	436886359	437	4,1	437
25857	3425	4262	600117522	675784171	676	7,9	676
25898	3441	4282	468202984	527477413	527	6,0	528
25937	3456	4301	389812708	439357678	439	4,9	439
25975	3471	4319	338309618	381473416	381	4,2	382
26008	3483	4334	310441143	350205233	350	3,7	350
25869	3430	4268	499999663	562791698	563	7,2	563
25914	3447	4290	388854729	437902450	438	5,5	438
25958	3464	4311	322752776	363635756	364	4,5	364
26000	3480	4331	279152541	314658429	315	3,8	315
26037	3494	4348	254483381	286987909	287	3,4	287
25875	3432	4271	459157738	516705564	517	6,9	517
25922	3450	4294	356591206	401485907	401	5,3	402
25968	3468	4315	295539742	332911646	333	4,3	333
26013	3485	4337	255352308	287781033	288	3,7	288
26052	3500	4355	232137782	261746612	262	3,2	262
25888	3437	4277	391211701	440047228	440	6,4	440
25939	3457	4302	303081107	341097407	341	4,9	341
25989	3476	4325	250643050	282229772	282	4,0	282
26038	3494	4349	215927176	243263214	243	3,4	243
26081	3511	4369	195910069	220830467	221	3,0	221
25947	3460	4306	280752058	315901894	316	4,7	316

Tabla 1.2

Cálculo caso 2

Traslación

La expresión que detalla las cargas a las que se somete la estructura es la siguiente:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot \Phi \cdot F + 1,35 \cdot T + 1,2 \cdot W$$

En la tabla Excel podemos establecer columnas con los datos que se precisen a cerca del perfil, como son:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la traslación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración estimada que sufre (2.8m/s^2), esta fuerza actuará sobre la barra como esfuerzo axial.

Se sigue con el cálculo de la fuerza ejercida por el viento, que se obtiene multiplicando el valor de su presión (que viene recogida en la normativa, y es de 125 N/m^2) por la superficie expuesta a la misma, que es la longitud de la barra por el lado del perfil (ajustando las unidades adecuadamente).

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.09 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por los coeficientes 1.2 y 1.295 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

Hay también un momento producido por la carga debida al viento, y este se calcula como el producto de la casilla “viento” por la mitad de la longitud de la viga, y mayorada según la expresión de la normativa para este supuesto por el valor 1,2.

La casilla “combinación de esfuerzos” nos da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman los momentos calculados anteriormente (debidos al peso propio, carga, y viento) dividido entre el módulo resistente, y lo suma a la tensión producida por el esfuerzo axial (fruto de la inercia trasnacional) entre el área de la sección.

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, en acuerdo a la expresión

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{eq. 2})$$

Rotación

La expresión que detalla las cargas a las que se somete nuestra estructura es la siguiente:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot \Phi \cdot F + 1,35 \cdot S + 1,2 \cdot W$$

De manera idéntica al caso de traslación contamos con los datos del perfil:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la rotación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración estimada que sufre (3m/s^2), esta fuerza actuará sobre la barra creando un momento flector.

Se sigue con el cálculo de la fuerza ejercida por el viento, que se obtiene multiplicando el valor de su presión (que viene recogida en la normativa, y es de

125 N/m²) por la superficie expuesta a la misma, que es la longitud de la barra por el lado del perfil (ajustando las unidades adecuadamente).

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.09 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por los coeficientes 1.2 y 1.295 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

También existirá un momento en el empotramiento debido a la inercia de rotación del plumín, este esfuerzo digamos que está “girado” 90 grados respecto del que crean peso propio + carga, hecho que hará que el punto más solicitado no se encuentre a lo largo de todo el borde superior y/o inferior de la sección sino en los vértices opuestos (tal como se indica en la figura 3). Su cálculo consiste en multiplicar la casilla “inercia rotación S” por la mitad de la longitud de la barra y por el coeficiente 1,35 que viene impuesto por la normativa.

La casilla “combinación de esfuerzos” da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman, los momentos calculados en los pasos inmediatamente anteriores, divididos cada uno de ellos entre sus módulos resistentes (que al tratarse de una sección cuadrada coinciden) y se suman ambos, y aquí es donde se ha añadido el esfuerzo creado por el viento (fuerza del viento por la mitad de la longitud de la barra por el factor 1,2 según norma y todo ello dividido por el módulo resistente) .

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, de acuerdo a la expresión

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{eq. 2})$$

Lado perfil (mm)	Peso propio (Kg/m) G	Módulo resistente m ³	Area m ²	G (N/m)	Peso barra (N)	Carga (N)	Inercia traslacion T	Inercia Rotacion S	Viento (N) W
100	8,96	3,54E-05	1,14E-03	87,90	131,85	9810	2837,63	3040,32	18,75
100	11,73	4,53E-05	1,49E-03	115,07	172,61	9810	2849,27	3052,79	18,75
100	14,41	5,42E-05	1,84E-03	141,36	212,04	9810	2860,52	3064,85	18,75
100	16,98	6,23E-05	2,16E-03	166,57	249,86	9810	2871,32	3076,41	18,75
100	19,12	6,74E-05	2,44E-03	187,57	281,35	9810	2880,30	3086,04	18,75
110	9,9	4,33E-05	1,26E-03	97,12	145,68	9810	2841,58	3044,55	20,63
110	12,99	5,56E-05	1,65E-03	127,43	191,15	9810	2854,56	3058,46	20,63
110	15,98	6,69E-05	2,04E-03	156,76	235,15	9810	2867,12	3071,91	20,63
110	18,87	7,72E-05	2,40E-03	185,11	277,67	9810	2879,25	3084,92	20,63
110	21,32	8,42E-05	2,72E-03	209,15	313,72	9810	2889,54	3095,94	20,63
120	10,84	5,21E-05	1,38E-03	106,34	159,51	9810	2845,53	3048,78	22,50
120	14,25	6,71E-05	1,81E-03	139,79	209,69	9810	2859,85	3064,13	22,50
120	17,55	8,09E-05	2,24E-03	172,17	258,25	9810	2873,71	3078,98	22,50
120	20,75	9,37E-05	2,64E-03	203,56	305,34	9810	2887,15	3093,38	22,50
120	23,52	1,03E-04	3,00E-03	230,73	346,10	9810	2898,78	3105,84	22,50
125	11,31	5,67E-05	1,44E-03	110,95	166,43	9810	2847,50	3050,90	23,44
125	14,87	7,32E-05	1,89E-03	145,87	218,81	9810	2862,45	3066,92	23,44
125	18,33	8,84E-05	2,34E-03	179,82	269,73	9810	2876,99	3082,49	23,44
125	21,69	1,03E-04	2,76E-03	212,78	319,17	9810	2891,10	3097,61	23,44
125	24,62	1,13E-04	3,14E-03	241,52	362,28	9810	2903,40	3110,79	23,44
135	12,25	6,66E-05	1,56E-03	120,17	180,26	9810	2851,45	3055,13	25,31
135	16,13	8,62E-05	2,05E-03	158,24	237,35	9810	2867,75	3072,59	25,31
135	19,9	1,04E-04	2,54E-03	195,22	292,83	9810	2883,58	3089,55	25,31
135	23,58	1,21E-04	3,00E-03	231,32	346,98	9810	2899,04	3106,11	25,31
135	26,81	1,34E-04	3,42E-03	263,01	394,51	9810	2912,60	3120,65	25,31
140	16,76	9,31E-05	2,13E-03	164,42	246,62	9810	2870,39	3075,42	26,25
140	20,69	1,13E-04	2,64E-03	202,97	304,45	9810	2886,90	3093,11	26,25

Tabla.2.1

MOMENTOS Y	MOMENTOS Z	AXIL	Combinación esfuerzos con T (N/m ²)	Combinación esfuerzos con S (N/m ²)	σ Mpa	CORTANTE (MPa)	VON MISES (Mpa)
22974,89	3095,20	3830,80	652659532	736235341	736	8,71	736
23008,22	3107,82	3846,51	511190251	576894986	577	6,68	577
23040,46	3120,03	3861,70	427358837	482487751	482	5,46	483
23071,37	3131,74	3876,28	372449190	420663208	421	4,65	421
23097,11	3141,49	3888,41	344483044	389239056	389	4,14	389
22986,20	3101,17	3836,13	533962595	602062579	602	7,90	602
23023,37	3115,25	3853,65	416603060	469950046	470	6,04	470
23059,34	3128,87	3870,61	346862636	391453109	391	4,93	392
23094,11	3142,04	3886,99	301043058	339890476	340	4,20	340
23123,58	3153,20	3900,88	276251043	312038724	312	3,73	312
22997,51	3107,14	3841,46	444921084	501433916	501	7,22	502
23038,53	3122,68	3860,80	346031654	390174603	390	5,52	390
23078,23	3137,71	3879,51	287218915	324013597	324	4,50	324
23116,72	3152,29	3897,65	248426968	280382267	280	3,83	280
23150,04	3164,91	3913,36	226479230	255733305	256	3,39	256
23003,16	3110,12	3844,13	408596391	460389434	460	6,92	461
23045,99	3126,35	3864,31	317335803	357741034	358	5,29	358
23087,61	3142,11	3883,93	263014470	296649183	297	4,32	297
23128,03	3157,42	3902,98	227257551	256443404	256	3,67	257
23163,28	3170,77	3919,60	206603118	233251065	233	3,24	233
23014,47	3116,10	3849,46	348163375	392115349	392	6,40	392
23061,15	3133,77	3871,46	269741232	303955902	304	4,89	304
23106,50	3150,95	3892,83	223080073	251508122	252	3,98	252
23150,77	3167,72	3913,70	192189028	216791462	217	3,38	217
23189,62	3182,43	3932,01	174378026	196806385	197	2,99	197
23068,72	3137,49	3875,03	249879944	281514796	282	4,71	282
23116,00	3155,39	3897,31	206435534	232696142	233	3,84	233

Tabla2.2

Cálculo caso 3

Traslación

La expresión que detalla las cargas a las que se somete la estructura es la siguiente:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot F + 1,35 \cdot T + 1,9 \cdot W$$

En la tabla Excel podemos establecer columnas con los datos que precisemos a cerca del perfil como son:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la traslación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración estimada que sufre (2.8m/s^2), esta fuerza actuará sobre la barra como esfuerzo axial.

Se sigue con el cálculo de la fuerza ejercida por el viento, que se obtiene multiplicando el valor de su presión (que viene recogida en la normativa, y es de 125 N/m^2) por la superficie expuesta a la misma, que es la longitud de la barra por el lado del perfil (ajustando las unidades adecuadamente).

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.09 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por el coeficiente 1.2 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

Hay también un momento producido por la carga debida al viento, y este se calcula como el producto de la casilla “viento” por la mitad de la longitud de la

viga, y mayorada según la expresión de la normativa para este supuesto por el valor 1,9.

La casilla “combinación de esfuerzos” nos da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman los momentos calculados anteriormente (debidos al peso propio, carga, y viento) dividido entre el módulo resistente, y lo suma a la tensión producida por el esfuerzo axial (fruto de la inercia trasnacional) entre el área de la sección.

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, en acuerdo a la expresión

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{eq. 2})$$

Rotación

La expresión que nos detalla las cargas a las que se somete nuestra estructura es la siguiente:

$$1,09 \cdot G + 1,2 \cdot F + 1,35 \cdot S + 1,9 \cdot W$$

De manera idéntica al caso de traslación contamos con los datos del perfil:

- Lado del perfil
- Peso propio por unidad de longitud
- Módulo resistente
- Área de la sección

Se calcula el peso de la barra multiplicando el valor de la casilla del peso propio por la longitud de la barra (1,5 m).

Se calcula la fuerza debida a la inercia en la rotación sumando la masa de la barra y la masa suspendida en el extremo y multiplicando dicho valor por la aceleración estimada que sufre (3m/s^2), esta fuerza actuará sobre nuestra barra creando un momento flector.

Se sigue con el cálculo de la fuerza ejercida por el viento, que se obtiene multiplicando el valor de su presión (que viene recogida en la normativa, y es de 125 N/m^2) por la superficie expuesta a la misma, que es la longitud de la barra por el lado del perfil (ajustando las unidades adecuadamente).

Después se aborda el cálculo del momento en el empotramiento como superposición del creado por el peso propio de la barra, y el de la carga en el extremo. El del peso propio se obtiene multiplicando la casilla con el peso de la barra por la mitad de la longitud de la misma, y este valor se multiplica por un factor de 1.09 como la normativa indica. El término correspondiente a la carga se obtendrá multiplicando el valor de la casilla “carga” por la longitud total de la barra y a su vez multiplicando por el coeficiente 1.2 según indica la norma. Ambos momentos se suman, pues actúan superpuestos en el mismo sentido.

También existirá un momento en el empotramiento debido a la inercia de rotación del plumín, este esfuerzo digamos que está “girado” 90 grados respecto del que crean peso propio + carga, hecho que hará que el punto más solicitado no se encuentre a lo largo de todo el borde superior y/o inferior de la sección sino en los vértices opuestos (tal como se indica en la figura 3). Su cálculo consiste en multiplicar la casilla “inercia rotación S” por la mitad de la longitud de la barra y por el coeficiente 1,35 que viene impuesto por la normativa.

La casilla “combinación de esfuerzos” da idea de la tensión normal en el punto más solicitado, y las operaciones que lleva a cabo para el cálculo toman, los momentos calculados en los pasos inmediatamente anteriores, divididos cada uno de ellos entre sus módulos resistentes (que al tratarse de una sección cuadrada coinciden) y se suman ambos, y aquí es donde se ha añadido el esfuerzo creado por el viento (fuerza del viento por la mitad de la longitud de la barra por el factor 1,9 según norma y todo ello dividido por el módulo resistente) .

El cortante se calcula sumando el peso de la barra y la carga y dividiendo esta suma por el área de la sección.

Finalmente se aplica el criterio de Von Mises y se calcula la tensión equivalente, de acuerdo a la expresión

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2} \quad (\text{eq. 2})$$

Lado perfil (mm)	Peso propio(Kg/m) G	Módulo resistente m ³	Area m ²	G (N/m)	Peso barra (N)	Carga (N)	Inercia traslación T	Inercia Rotación S	Viento (N) W
100	8,96	3,54E-05	1,14E-03	87,90	131,85	9810	2837,63	3040,32	18,75
100	11,73	4,53E-05	1,49E-03	115,07	172,61	9810	2849,27	3052,79	18,75
100	14,41	5,42E-05	1,84E-03	141,36	212,04	9810	2860,52	3064,85	18,75
100	16,98	6,23E-05	2,16E-03	166,57	249,86	9810	2871,32	3076,41	18,75
100	19,12	6,74E-05	2,44E-03	187,57	281,35	9810	2880,30	3086,04	18,75
110	9,9	4,33E-05	1,26E-03	97,12	145,68	9810	2841,58	3044,55	20,63
110	12,99	5,56E-05	1,65E-03	127,43	191,15	9810	2854,56	3058,46	20,63
110	15,98	6,69E-05	2,04E-03	156,76	235,15	9810	2867,12	3071,91	20,63
110	18,87	7,72E-05	2,40E-03	185,11	277,67	9810	2879,25	3084,92	20,63
110	21,32	8,42E-05	2,72E-03	209,15	313,72	9810	2889,54	3095,94	20,63
120	10,84	5,21E-05	1,38E-03	106,34	159,51	9810	2845,53	3048,78	22,50
120	14,25	6,71E-05	1,81E-03	139,79	209,69	9810	2859,85	3064,13	22,50
120	17,55	8,09E-05	2,24E-03	172,17	258,25	9810	2873,71	3078,98	22,50
120	20,75	9,37E-05	2,64E-03	203,56	305,34	9810	2887,15	3093,38	22,50
120	23,52	1,03E-04	3,00E-03	230,73	346,10	9810	2898,78	3105,84	22,50
125	11,31	5,67E-05	1,44E-03	110,95	166,43	9810	2847,50	3050,90	23,44
125	14,87	7,32E-05	1,89E-03	145,87	218,81	9810	2862,45	3066,92	23,44
125	18,33	8,84E-05	2,34E-03	179,82	269,73	9810	2876,99	3082,49	23,44
125	21,69	1,03E-04	2,76E-03	212,78	319,17	9810	2891,10	3097,61	23,44
125	24,62	1,13E-04	3,14E-03	241,52	362,28	9810	2903,40	3110,79	23,44
135	12,25	6,66E-05	1,56E-03	120,17	180,26	9810	2851,45	3055,13	25,31
135	16,13	8,62E-05	2,05E-03	158,24	237,35	9810	2867,75	3072,59	25,31
135	19,9	1,04E-04	2,54E-03	195,22	292,83	9810	2883,58	3089,55	25,31
135	23,58	1,21E-04	3,00E-03	231,32	346,98	9810	2899,04	3106,11	25,31
135	26,81	1,34E-04	3,42E-03	263,01	394,51	9810	2912,60	3120,65	25,31
140	16,76	9,31E-05	2,13E-03	164,42	246,62	9810	2870,39	3075,42	26,25
140	20,69	1,13E-04	2,64E-03	202,97	304,45	9810	2886,90	3093,11	26,25
140	24,52	1,32E-04	3,12E-03	240,54	360,81	9810	2902,98	3110,34	26,25

Tabla3.1

MOMENTOS Y	MOMENTOS Z	AXIL	Combinación esfuerzos con T (N/m ²)	Combinación esfuerzos con S (N/m ²)	Mpa	CORTANTE (MPa)	VON MISES (Mpa)
17765,78	3105,04	3830,80	505829082	589404891	589	8,71	590
17799,11	3117,66	3846,51	396340102	462044836	462	6,68	462
17831,35	3129,87	3861,70	331466800	386595714	387	5,46	387
17862,26	3141,58	3876,28	288980475	337194493	337	4,65	337
17888,00	3151,33	3888,41	267354039	312110051	312	4,14	312
17777,09	3112,00	3836,13	413993015	482093000	482	7,90	482
17814,26	3126,08	3853,65	323142401	376489387	376	6,04	377
17850,23	3139,70	3870,61	269160366	313750839	314	4,93	314
17885,00	3152,87	3886,99	233699078	272546495	273	4,20	273
17914,47	3164,03	3900,88	214521060	250308741	250	3,73	250
17788,40	3118,95	3841,46	345088247	401601079	402	7,22	402
17829,42	3134,49	3860,80	268517896	312660844	313	5,52	313
17869,12	3149,52	3879,51	222983375	259778057	260	4,50	260
17907,61	3164,10	3897,65	192953625	224908924	225	3,83	225
17940,93	3176,73	3913,36	175970994	205225069	205	3,39	205
17794,05	3122,43	3844,13	316974294	368767338	369	6,92	369
17836,88	3138,65	3864,31	246302379	286707610	287	5,29	287
17878,50	3154,41	3883,93	204240377	237875090	238	4,32	238
17918,92	3169,72	3902,98	176557012	205742865	206	3,67	206
17954,17	3183,07	3919,60	160572956	187220903	187	3,24	187
17805,36	3129,38	3849,46	270194874	314146847	314	6,40	314
17852,04	3147,06	3871,46	209450899	243665568	244	4,89	244
17897,39	3164,24	3892,83	173311673	201739722	202	3,98	202
17941,66	3181,01	3913,70	149389844	173992278	174	3,38	174
17980,51	3195,72	3932,01	135603243	158031602	158	2,99	158
17859,61	3151,27	3875,03	194070203	225705056	226	4,71	226
17906,89	3169,18	3897,31	160418450	186679058	187	3,84	187
17952,96	3186,63	3919,03	138063672	160757332	161	3,26	161

Tabla3.2

Observaciones tras el cálculo

Una vez creadas las tablas Excel que nos ayudan a agilizar los cálculos iterativos para la selección de un perfil preliminar, se observa que el caso más desfavorable de los tres calculados es el número uno, y dentro de este mismo el subapartado de rotación, que da lugar a las mayores tensiones. Fijándose en un perfil concreto, de entre los que se encuentran en las tablas anteriormente expuestas para cada caso de carga, se observa que la tensión equivalente de Von Mises es mayor en el caso 1.

Situados pues en la primera tabla, que se hace con los datos dispuestos en el anexo de perfiles de sección hueca cuadrada, se han señalado con números verdes los perfiles que cumplen las exigencias por el criterio de resistencia, y con sombreado azul aquellos que son particularmente adecuados por características como:

- El más compacto (120x120x6) cuya $\sigma = 315$ Mpa
- El más ligero (140x140x4) cuya $\sigma = 316$ Mpa
- Intermedios en ligereza y volumen (125x125x7) cuya $\sigma = 262$ Mpa
(135x135x5) cuya $\sigma = 282$ Mpa

Se ha elegido de entre estos el de 135x135x5mm porque no se encuentra tan cerca del límite de tensión como los dos primeros que se nombran. Y entre los dos intermedios es el más ligero, y su tensión equivalente de Von Mises (282 MPa) está razonablemente ajustada al límite máximo según la norma (320 MPa).

MODELOS INICIALES

Los dos tipos de plumines planteados, inicialmente, como base para su posterior desarrollo, se diseñaron en función de los parámetros obtenidos en el cálculo anterior.

El diseño de ambas tipologías fue realizado en MSC.PATRAN 2005, creando grupos diferentes para cada parte del conjunto.

Cajón cerrado

Las medidas del enganche son tomadas de las condiciones de contorno impuestas por la propia máquina a la que se va a acoplar.

Y la medida del agujero de la punta situado a un metro y medio de la base es de diámetro de 15 mm y sería sobre el cual se soldaría un pasador sobre el que colgar la carga mediante cualquier tipo de enganche de los que existen en el mercado.

El material elegido para todo el plumín ha sido acero S355.

Los grupos creados fueron los cuatro siguientes que en la tabla se detallan:

PIEZA	ESPESOR (mm)	PESO (Kg)
Enganche	20	13.65
Chapa trasera	10	29.5
Tirantes	5	7.87
Perfil	5	28.8

Tabla 4

Aquí se muestra el modelo preliminar del plumín con viga de cajón cerrado:

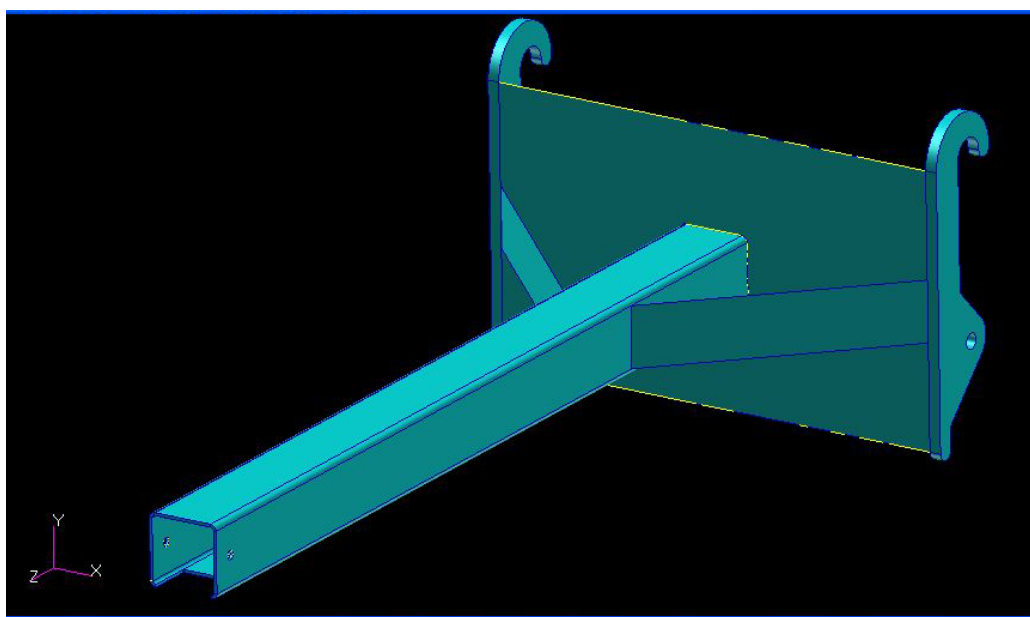


Fig. 4 Diseño preliminar Plumín cajón cerrado

Tubular

Se conserva del modelo de cajón cerrado, el diseño preliminar de los enganches y la chapa trasera. Los otros dos nuevos grupos creados son las barras que conforman el entramado estructural principal, y la chapa del extremo, sobre la cual se han practicado unos agujeros en los que de manera análoga al caso anterior se soldaría el pasador sustentador de la carga del plumín.

Las barras utilizadas son todas de la misma sección, (atendiendo al criterio de economía de stockaje) y son de diámetro 48,3 mm y espesor 3 mm, de acero S355.

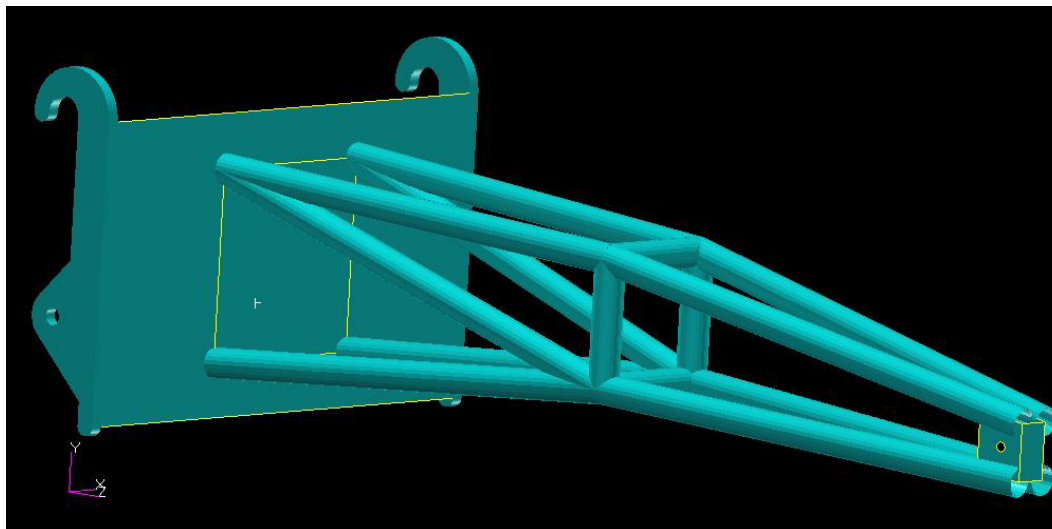


Fig. 5 Diseño preliminar Plumin tubular

ANÁLISIS MEF VIGA CAJÓN CERRADO Y MODIFICACIONES

Mallado

Se ha utilizado MSC. PATRAN 2005 para la discretización de la geometría.

Para el primer abordaje del mallado del modelo, se busca que el total de la estructura se componga de 60000 a 70000 elementos, tipo SHELL Quad4, para lo cual utilizando la herramienta de PATRAN “Show-attributes-area”, se suma el área total del modelo preliminar ($\approx 1,31 \text{ m}^2$) y se divide para 65000 elementos, de esta manera se obtiene la superficie que debería tener un elemento, y como vamos a elegir elementos cuadrados en tanto que la geometría nos lo permita, hallando la raíz cuadrada conocemos el tamaño del lado del elemento que se utilizará ($\approx 4.5 \text{ mm}$).

En las superficies superior e inferior del perfil, así como en sus aristas redondeadas, en los tirantes, y en la chapa posterior, se utilizara IsoMesh para la discretización, no pudiendo ser así en las demás regiones, tales como enganches y

caras laterales del perfil, que por su geometría particular, contenedora de agujeros precisa del uso de la herramienta PAVER.

Con el recurso de las Mesh Seeds se logra dar continuidad a la malla en cada una de las diferentes caras de una misma pieza (perfil) y en las uniones entre piezas pertenecientes a distintos grupos.

Una vez la malla se ha completado y se han asignado adecuadamente las diferentes propiedades de elemento a cada pieza, se renumeran nodos y elementos, se eliminan los duplicados, y verificamos el contorno del conjunto para observar si todo está correcto.

Imposición condiciones de contorno

Fijación

En los enganches se fijan las zonas que irían en contacto con la carretilla manipuladora, esto es, la cara interior del arco superior, y el círculo donde se alojarían los pasadores (véase fig 6).

Quedan impedidos los desplazamientos y giros en todos los ejes.

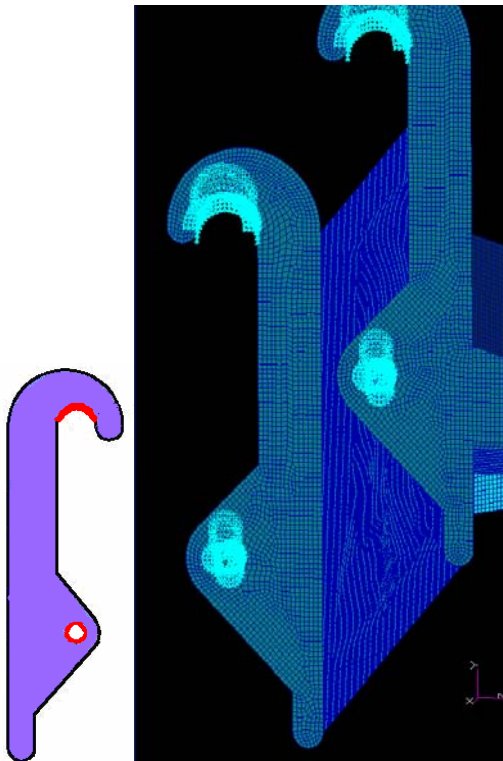


Fig. 6 Imposición condiciones contorno en el enganche

Cargas

En los nodos que hay en los agujeros del extremo de la barra (24 en total) se debe aplicar el total de la carga suspendida en el plumín quedando señalada por las flechas amarillas que representan la fuerza vertical descendente hecha por el peso y que se puede apreciar en la siguiente imagen.

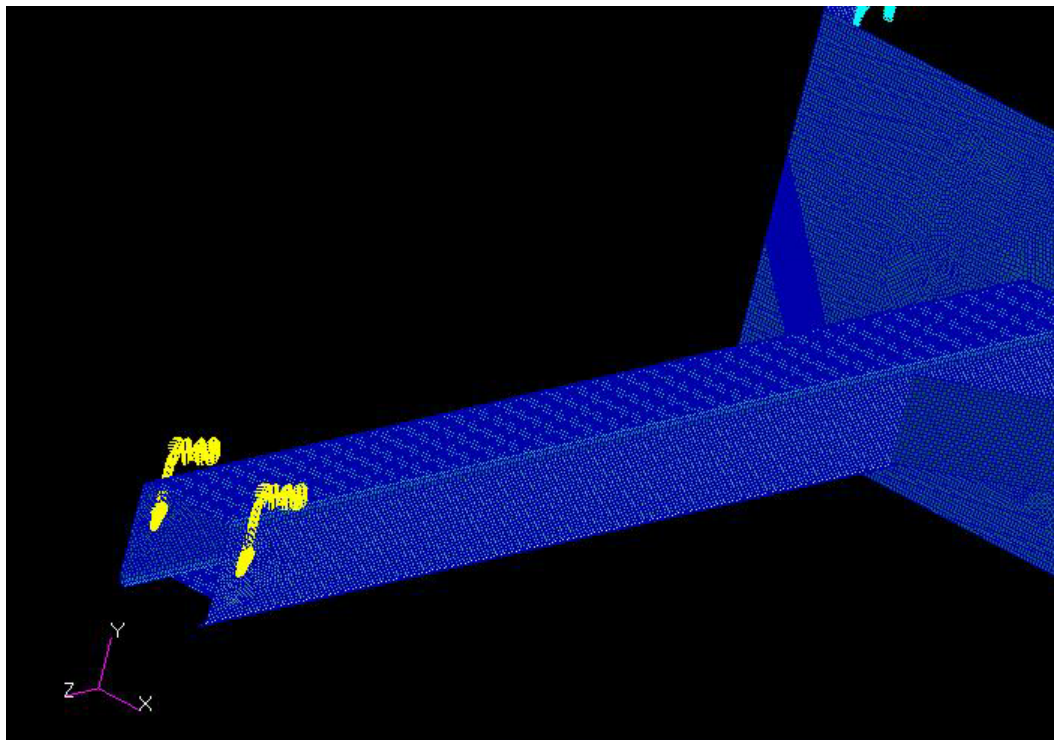


Fig. 7 Imposición carga de servicio

Análisis

Una vez que la estructura tiene impuestas las cargas y las condiciones de contorno, y se ha llevado a cabo la discretización correspondiente, procedemos a crear, mediante el botón “Análisis”, el archivo de texto (extensión .inp) que permitirá analizar con ABAQUS el problema. Y será en este archivo .inp donde se introducirán las aceleraciones bajo las que estará sometida la estructura, bien sea la de la gravedad (en todos los casos), como las aceleraciones debidas a la traslación, o rotación como en cada caso sea preciso. Se introducirán en cada archivo sometido al análisis estas cargas según corresponda ya que el hacer este paso en PATRAN supondría una carga de cálculo muy grande para los ordenadores con los que se trabaja, y de este modo se consigue agilizar el cálculo, pues al no ser PATRAN sino ABAQUS el motor de cálculo a utilizar para la

resolución de los problemas, el tiempo empleado en hacerlo de esa otra manera sería improductivo.

Después de haber modificado convenientemente el archivo .inp, se abre ABAQUS Command, y especificando la ruta en la que se encuentra el archivo que se pretende calcular, se lanza el programa para que cree los archivos necesarios para que con “ABAQUS Viewer” podamos visualizar los resultados finales.

Se habrá creado un archivo con el mismo nombre que el que nosotros hemos lanzado a calcular pero con la extensión .odb, y será este el archivo que para ver los resultados, abramos con el postprocesador de ABAQUS.

ABAQUS permite conocer la flecha de nuestra estructura, así como el estado tensional al que están sometidas todas y cada una de las piezas que forman el conjunto, y las puede mostrar por separado, según los grupos que se hayan creado en el preproceso del problema. Una escala de colores con su correspondiente leyenda nos indica el valor de la tensión de cada punto, y de este modo podemos decidir mejoras posibles para los posteriores rediseños.

Como primer paso se tomará el análisis del modelo preliminar sometido a cada uno de los tres casos con sus correspondientes supuestos de rotación y traslación, y en la siguiente tabla se reflejan para cada una de las piezas que conforman el plumín sus tensiones máximas (según el criterio de Von Mises) en cada caso.

σ_{VM}	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	Rotación	Traslación	Rotación	Traslación	Rotación	Traslación
Enganche	388	330	350	354	303	305
Trasera	416	420	388	387	276	276
Tirantes	1800	1504	1337	1344	1099	1015
Perfil	615	613	551	433	498	426

Tabla 5

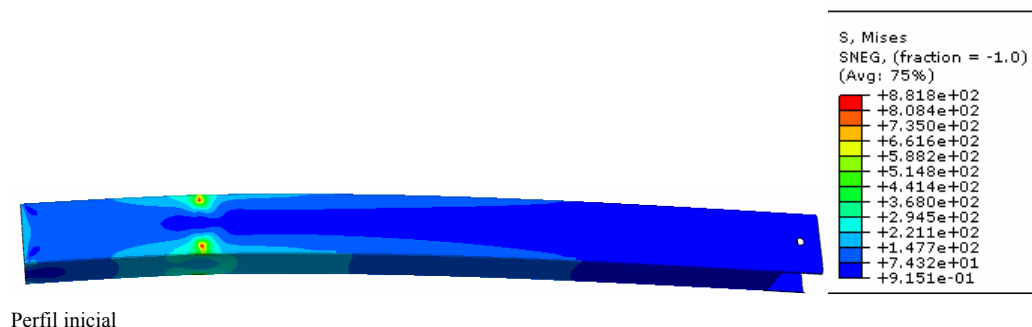
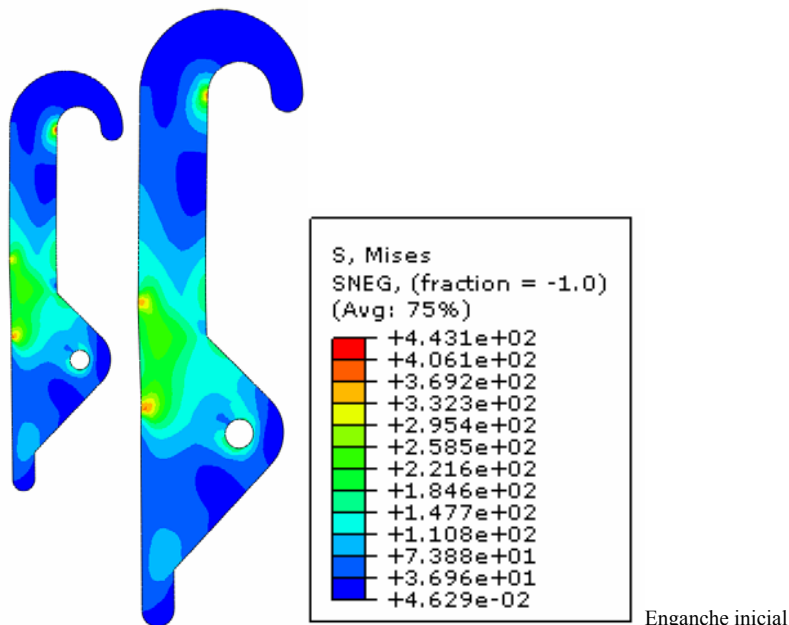
Se confirma, como sucedía al analizar los resultados calculados con Excel en el apartado de análisis, que el supuesto más desfavorable para la estructura es el “Caso 1, Rotación”, y es por eso que en lo sucesivo y hasta conseguir un diseño lo suficientemente mejorado, el caso de cargas que se analizará en las etapas de optimización de la estructura será el de éste supuesto. Una vez que el diseño satisfaga las exigencias resolviéndose con las cargas del caso 1 en rotación, se

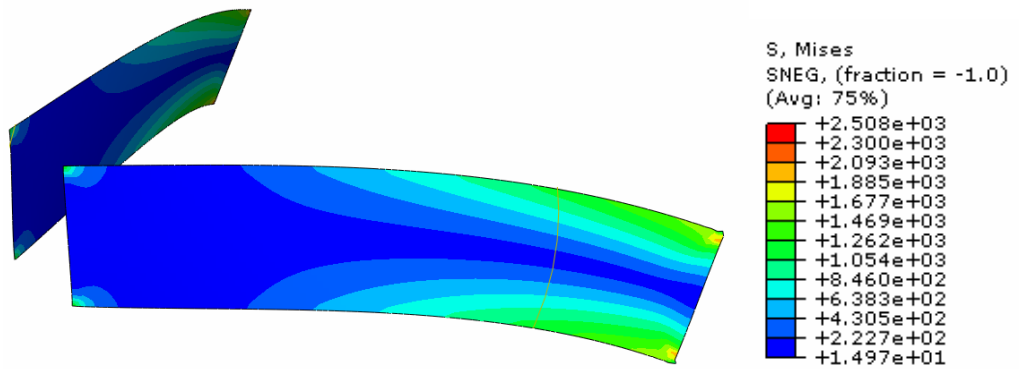
añadirán los demás casos de carga para que quede asegurado que la normativa se cumple al completo.

Resultados modelo preliminar

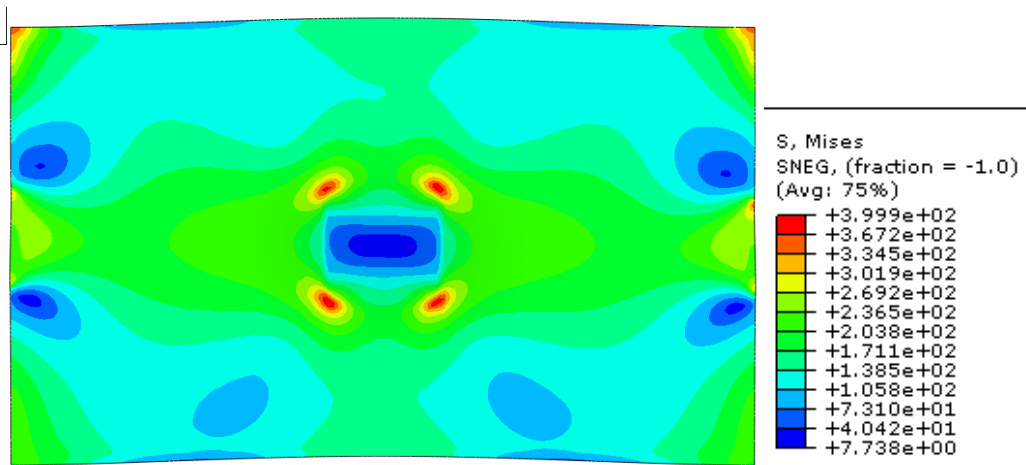
Se muestra a continuación la representación gráfica que ofrece Abaqus para cada una de las piezas junto con su leyenda. Cabe advertir, que en ocasiones, algunos resultados muy localizados son producto de concentraciones de tensiones debidas al método de cálculo de los elementos finitos, y en esos casos la lectura que se debe hacer no es la que se obtiene en ese punto específico cuyo pico es máximo, sino la de la zona de alrededor de éste.

Flecha máxima = 67 mm





Tirantes iniciales



Chapa trasera inicial

A la vista de las imágenes llaman la atención los puntos de concentración de tensiones que se dan en las uniones de los tirantes con la chapa trasera-enganches, y los tirantes con el perfil. También destacan las altas tensiones del perfil en su unión con la chapa trasera, así como las esquinas superiores de la misma.

También se aprecia que en los tirantes una amplia zona está muy poco solicitada, lo que hace pensar que su diseño se podría mejorar cambiando su geometría.

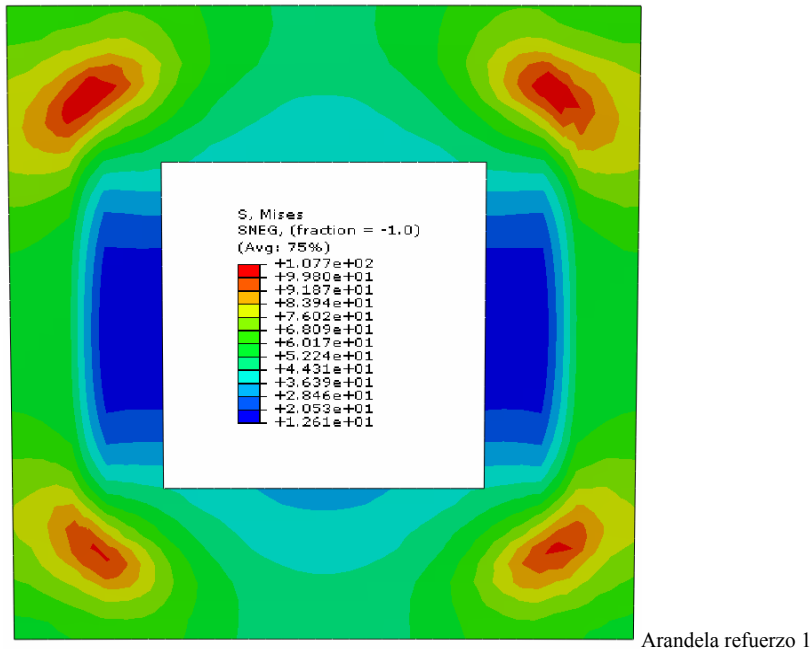
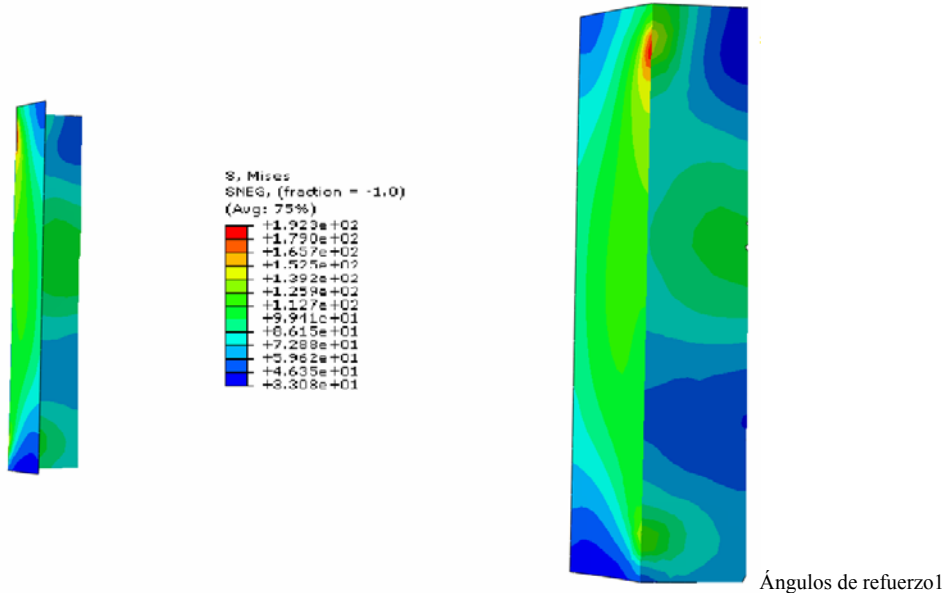
Modificación 1

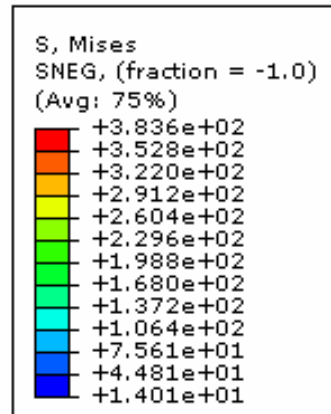
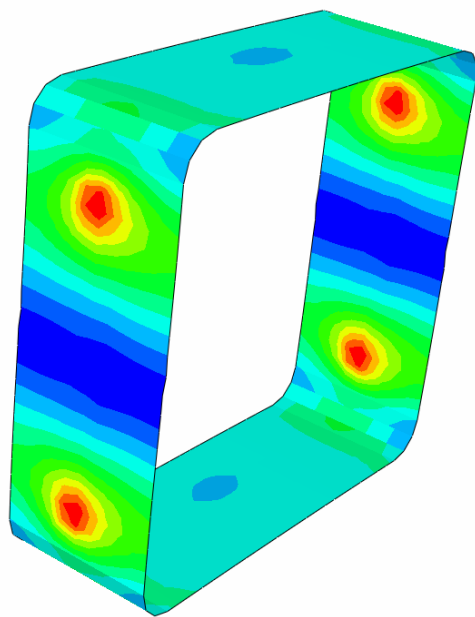
Como solución a los problemas de resistencia del modelo preliminar, se decide diseñar una serie de refuerzos que contribuyan a aliviar el estado tensional del plumín en las zonas que más sufren. Un collarín para la unión de tirantes-perfil, unos ánuos para la unión de tirantes-chapa trasera-enganches, y una arandela para la unión chapa trasera-perfil.

Y para la mejora de los tirantes, se ha diseñado una geometría que reduzca el material en la zona menos solicitada según los resultados del modelo preliminar (zona azul) y aumente conforme se aproxima a la parte con mayores tensiones.

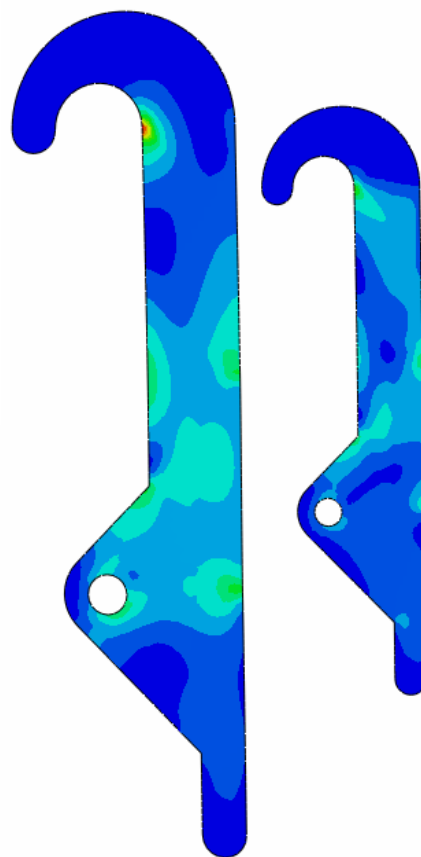
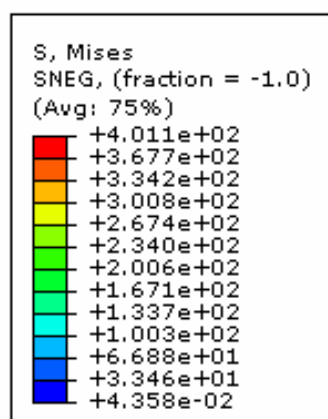
Los resultados de estas reformas son los detallados a continuación:

Flecha máxima = 66 mm

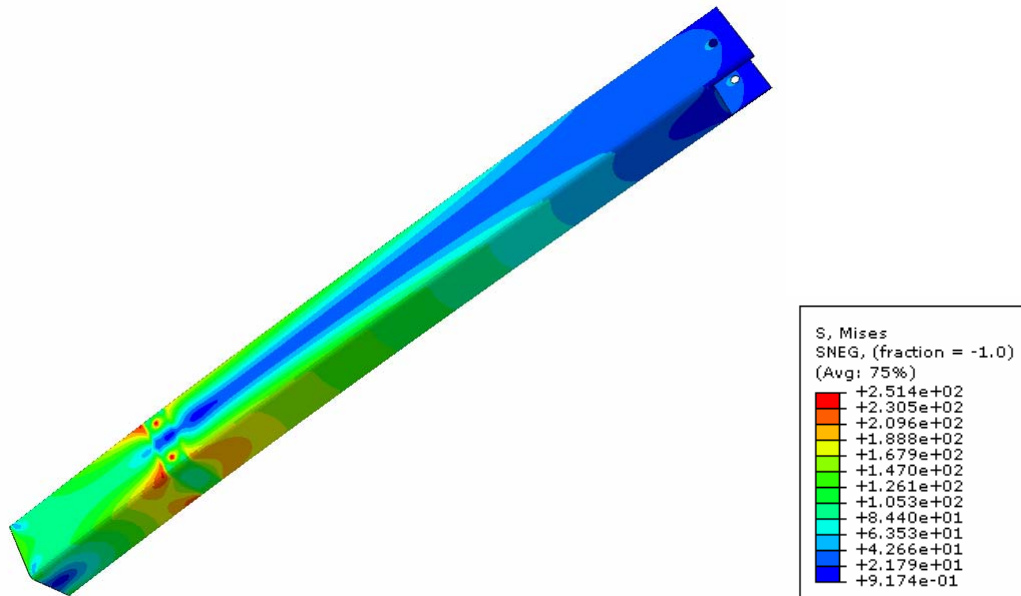




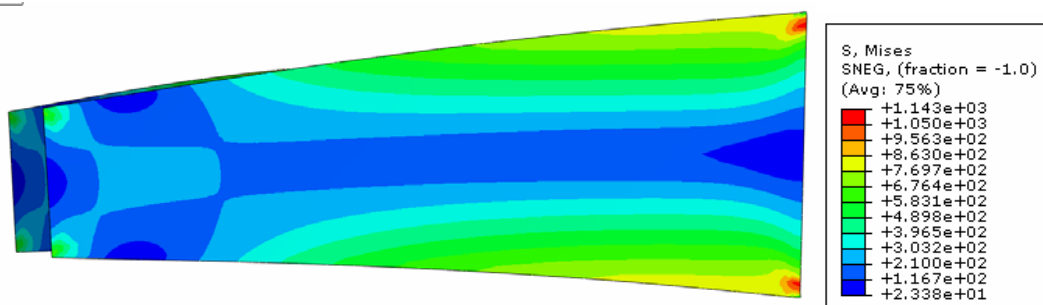
Collarín refuerzo1



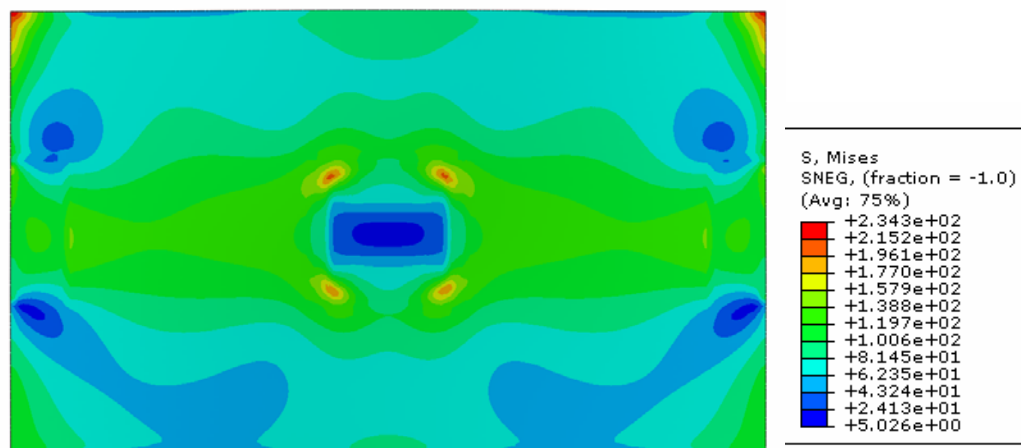
Enganche refuerzo1



Perfil tras la modificación 1



Tirantes tras la modificación 1

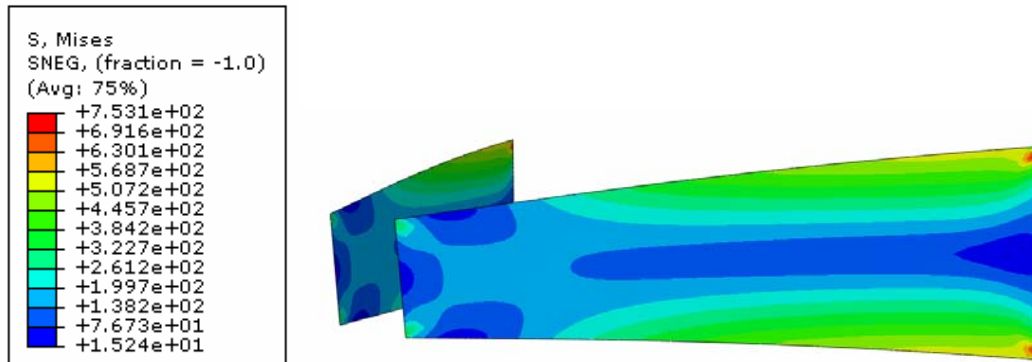


Chapa trasera tras la modificación 1

Modificación 2

Los tirantes son ahora las piezas críticas del conjunto por lo que se procede a aumentar su espesor a 8 mm.

Flecha máxima = 65 mm



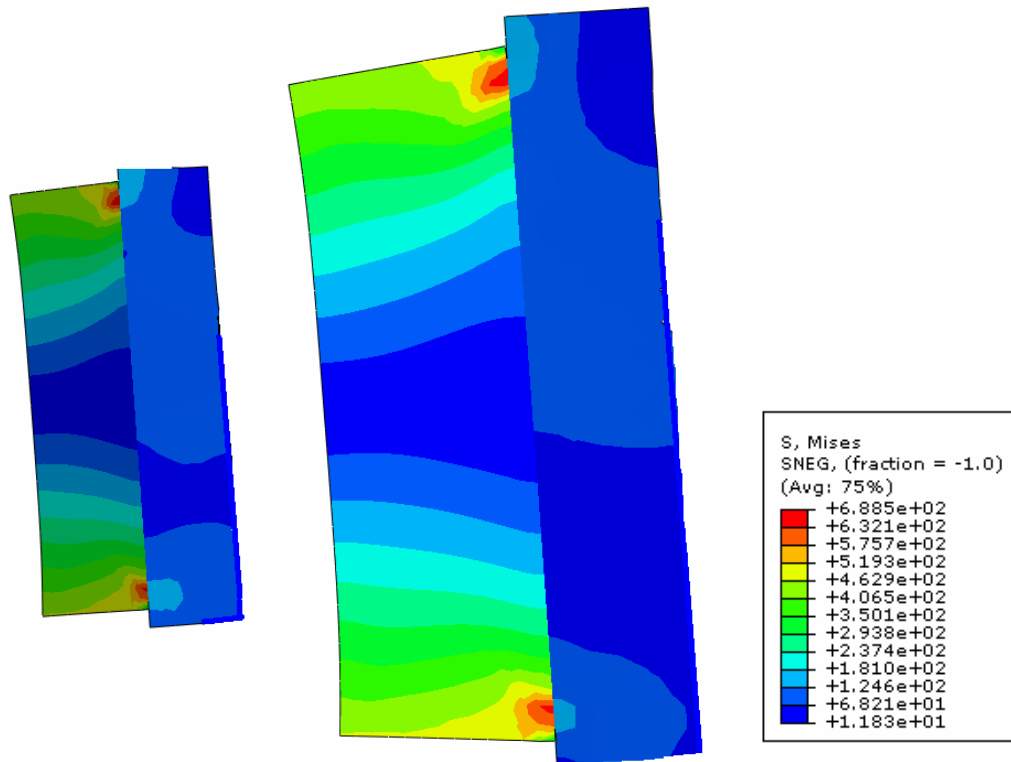
Tirantes tras la modificación 2

Modificación 3

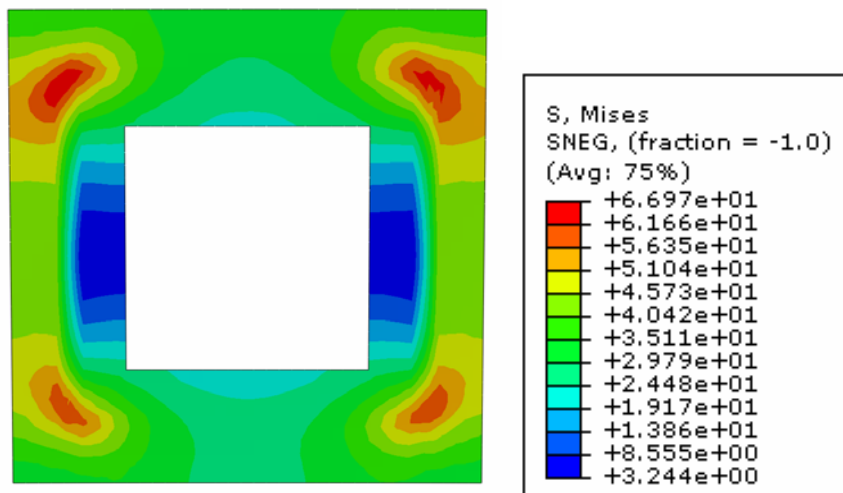
Los tirantes no han llegado a cumplir los requerimientos exigidos de resistencia por lo que se decide ensancharlos más, volviendo a utilizar la chapa de 5 mm que se planteó en origen, y hacer que el refuerzo en ángulo recto que se situaba soldado sobre la chapa trasera y el enganche, ahora se suelde sobre los tirantes y el enganche pasando a tener ahora un ángulo de 45° en lugar de 90°.

Como otras piezas han quedado más aliviadas con la anterior modificación, se procede a rebajar en 1 mm de espesor el perfil (que pasa a ser de 4 mm), y la arandela también se rebaja pasando a tener un espesor de 3 mm.

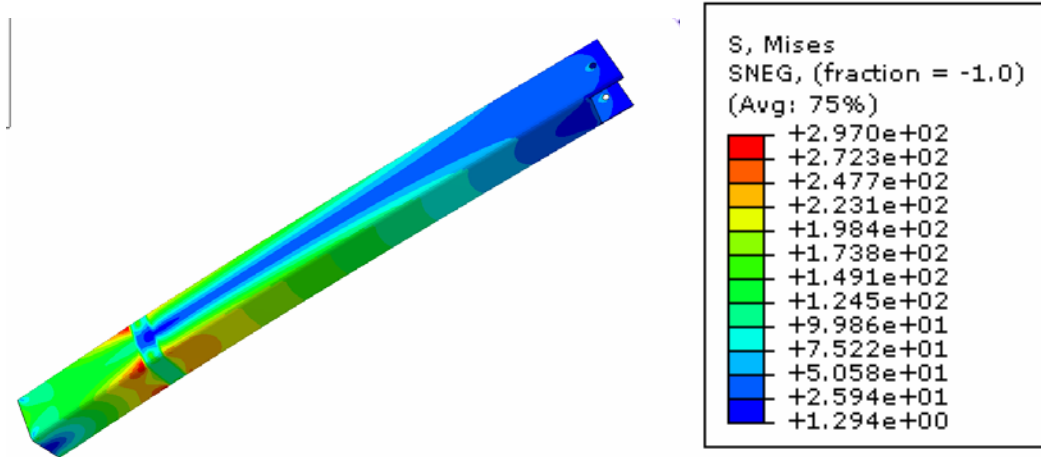
Flecha máxima = 38 mm



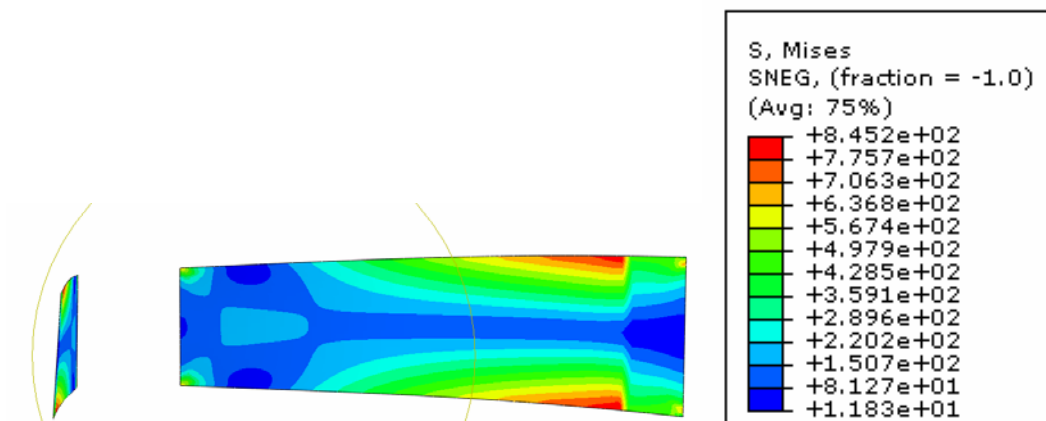
Ángulos de refuerzo tras la modificación 3



Arandela de refuerzo tras la modificación 3



Perfil tras la modificación 3

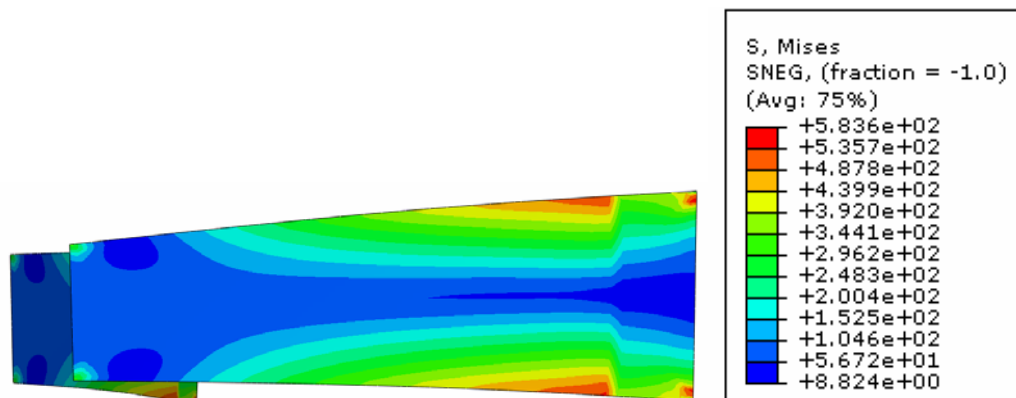


Tirantes tras la modificación 3

Modificación 4

Los tirantes continúan resultando insuficientes para resistir la carga, procediendo a aumentar su espesor hasta 8 mm los resultados conseguidos son los siguientes:

Flecha máxima = 31 mm

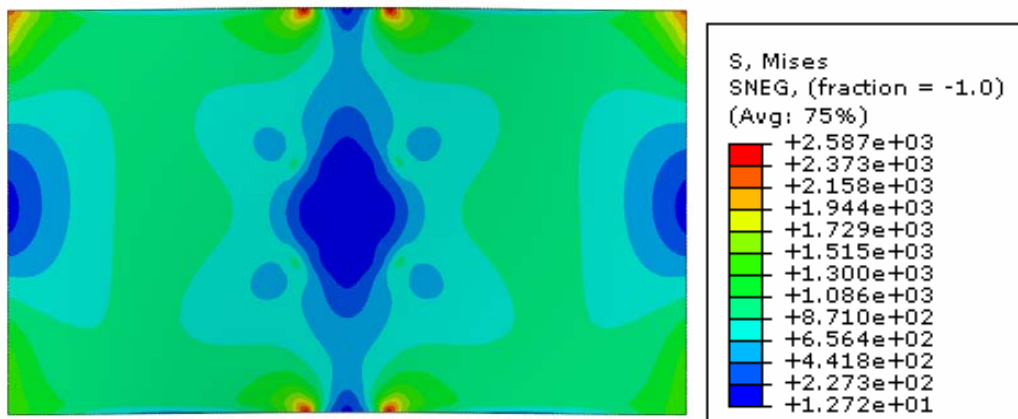


Tirantes tras la modificación 4

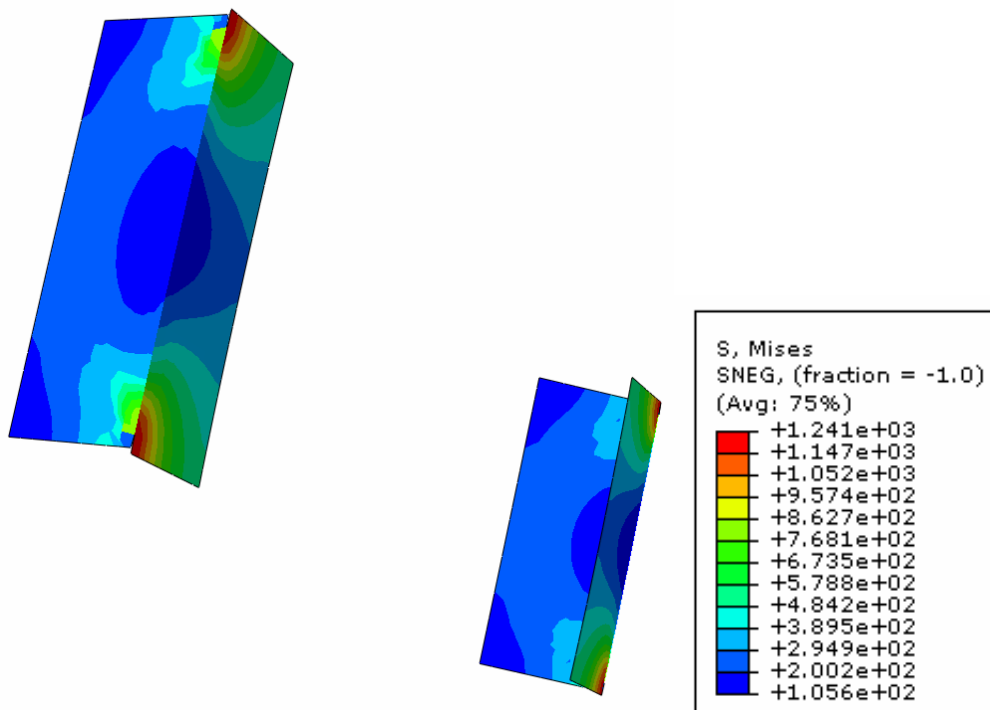
Modificación 5

Se contempla la posibilidad de que colocando los tirantes girados 90 ° y sujetando el perfil por las caras superior e inferior (en lugar de las laterales), estos elementos soporten mejor el esfuerzo. Por lo tanto se diseña esa modificación, añadiéndole también los correspondientes refuerzos en ángulo, y se obtienen estos resultados:

Flecha máxima = 289 mm



Chapa trasera tras la modificación 5

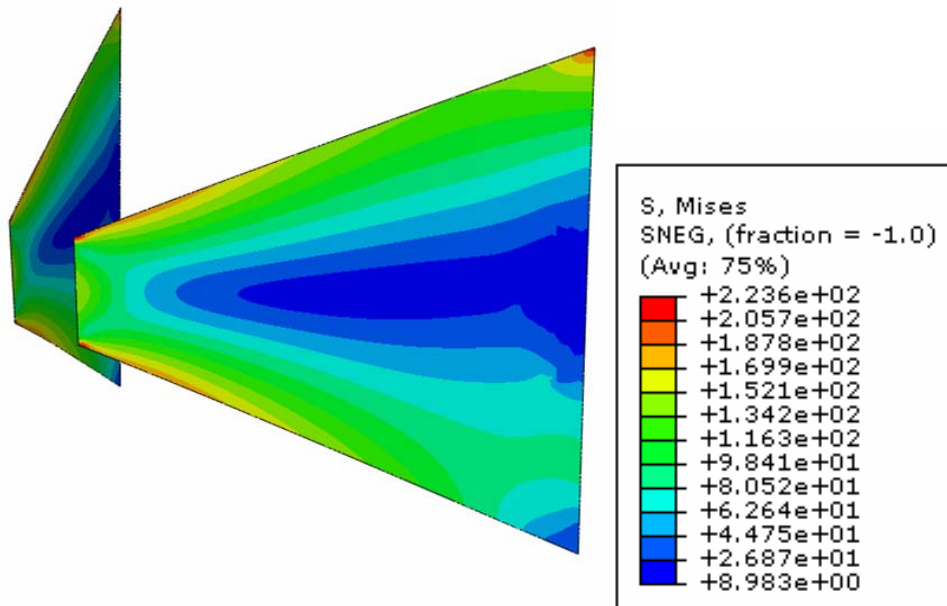


Ángulos de refuerzo tras la modificación 5

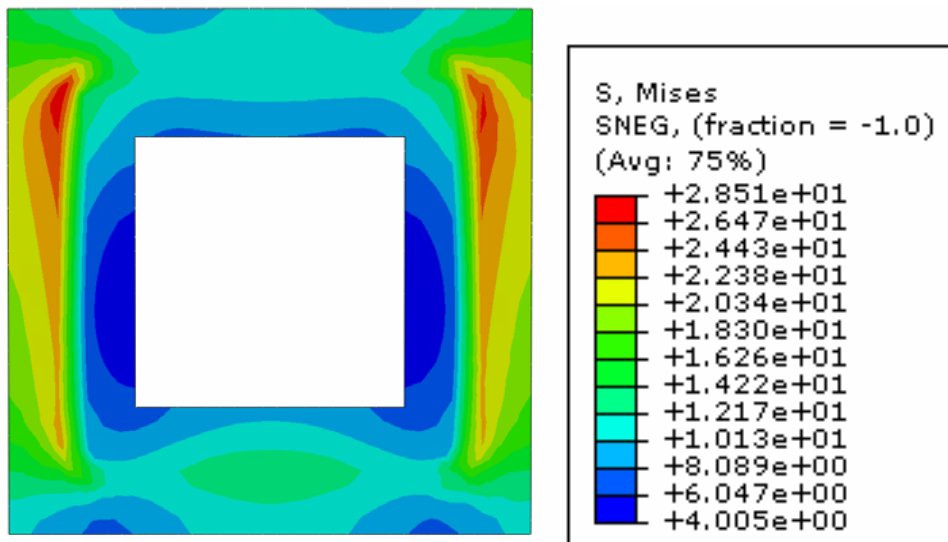
Modificación 6

La anterior solución no satisface las expectativas y se retoma el diseño anterior con la modificación de la geometría de los tirantes, a los que se diseña para que tengan la misma altura que la chapa trasera (470mm).

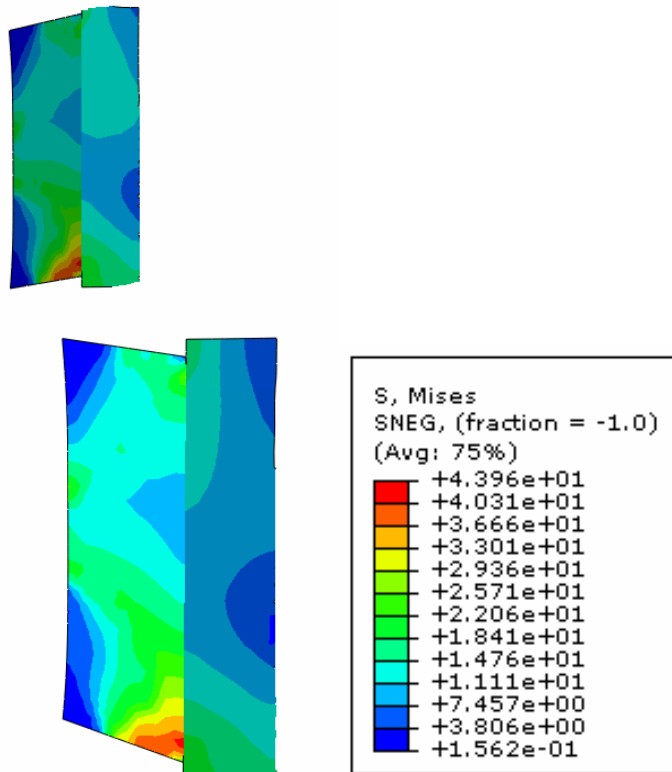
Flecha máxima = 15.7



Tirantes tras la modificación 6



Arandela de refuerzo tras la modificación 6

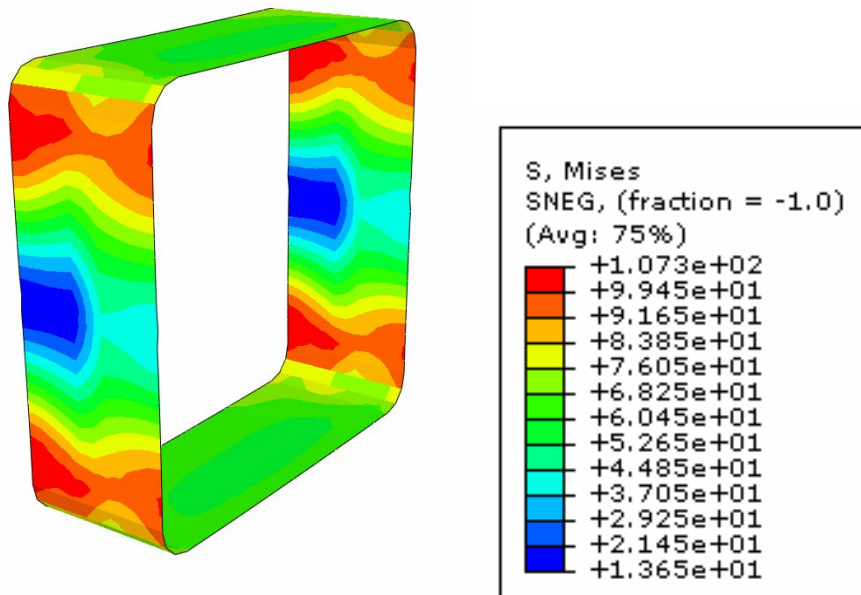


Ángulos de refuerzo tras la modificación 6

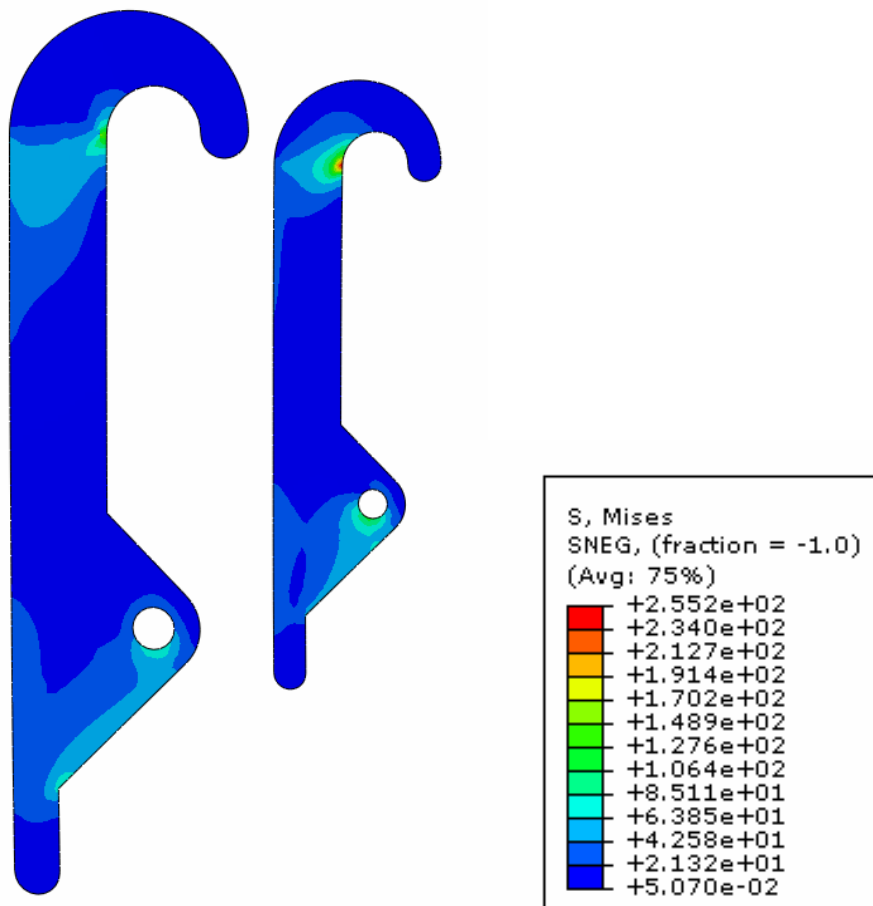
Modificación 7

De la observación de los resultados de la modificación 6 se concluye que con la presente geometría de los tirantes, es posible prescindir de los refuerzos de los ángulos y arandela.

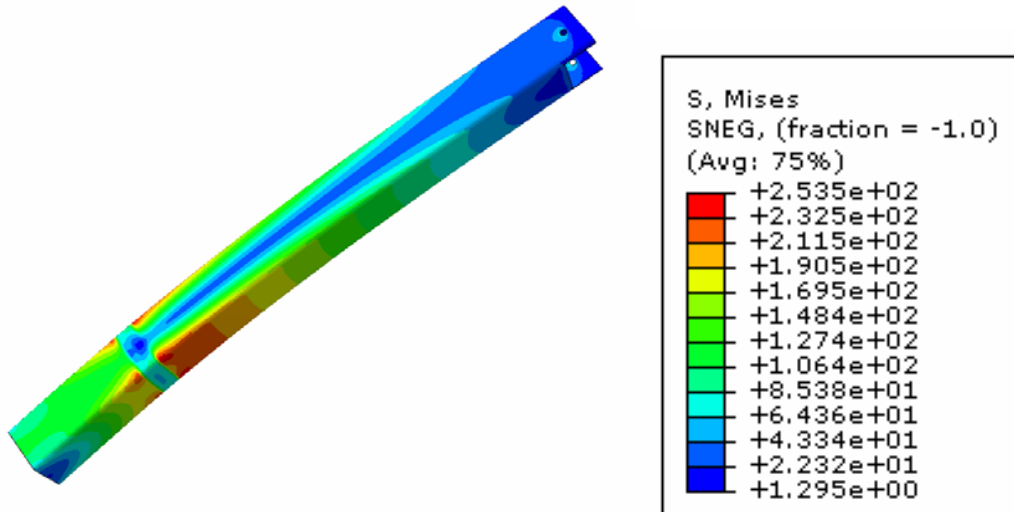
Flecha máxima = 16.45 mm



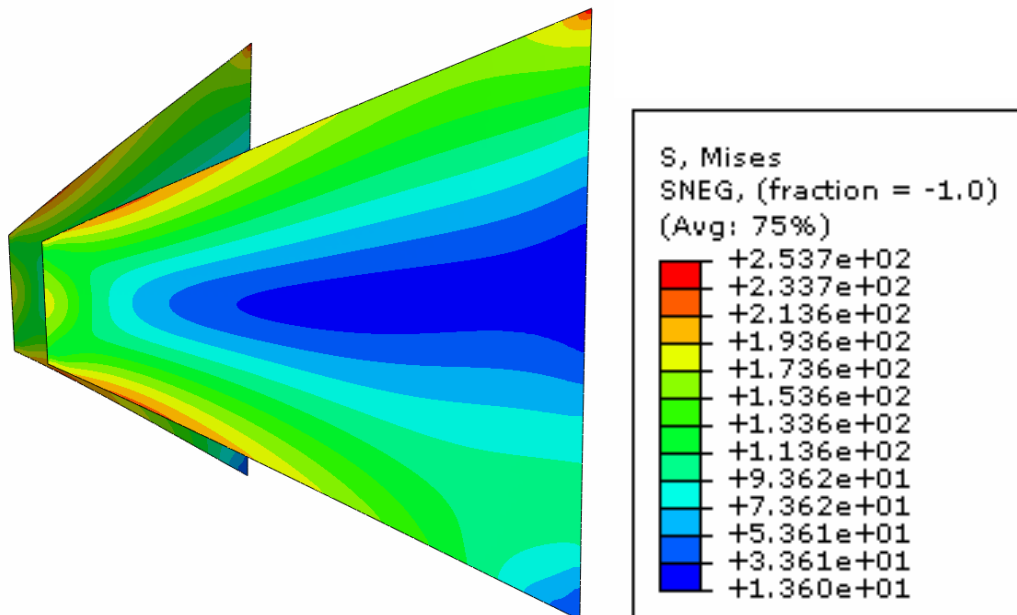
Collarín tras la modificación 7



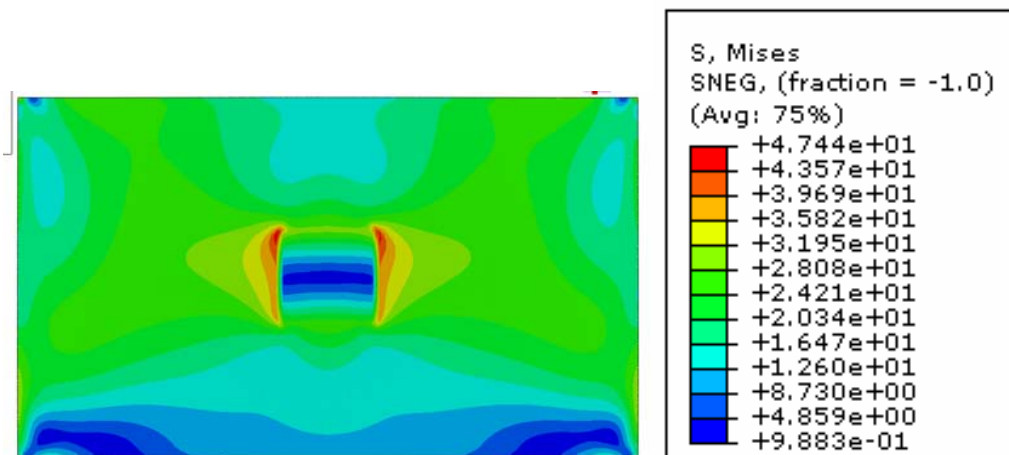
Enganches tras la modificación 7



Perfil tras la modificación 7



Tirantes tras la modificación 7

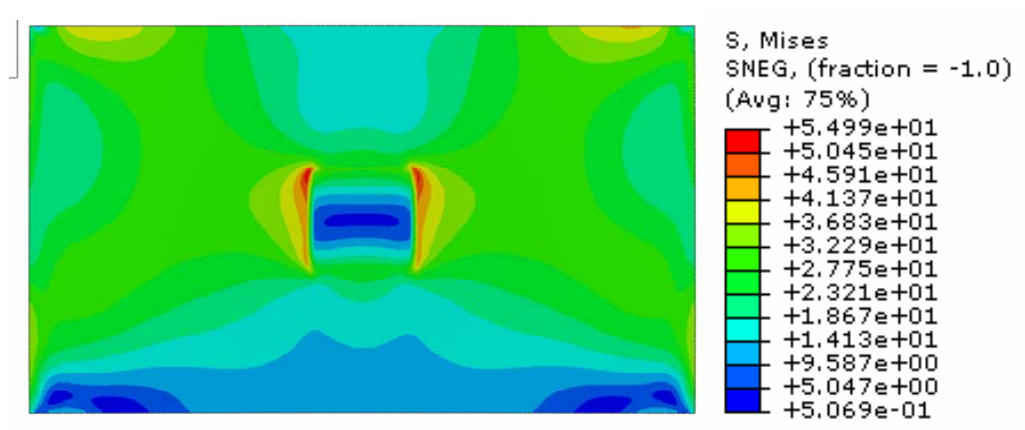


Chapa trasera tras la modificación 7

Modificación 8

Se puede continuar rebajando piezas que ahora están dimensionadas con un margen de seguridad demasiado amplio. Por lo tanto la chapa trasera la haremos de 8 mm de espesor, el collarín de 4 mm de espesor, y los enganches de 15 mm.

Flecha máxima = 16.86 mm

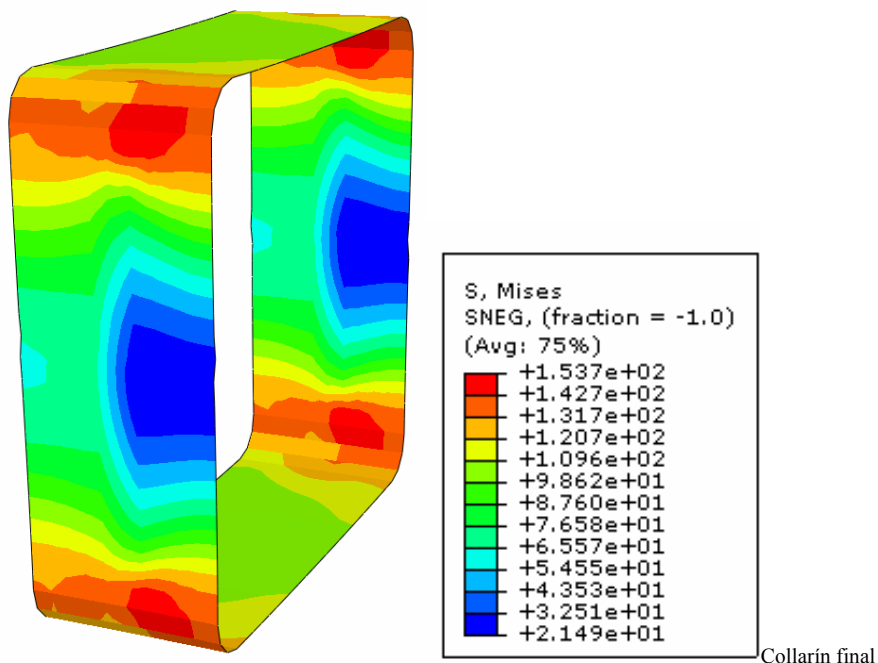


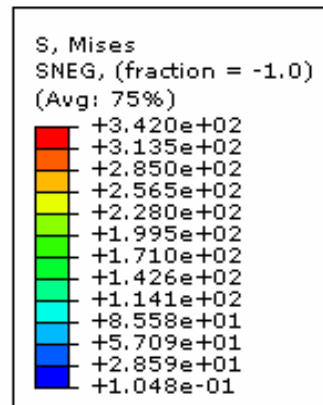
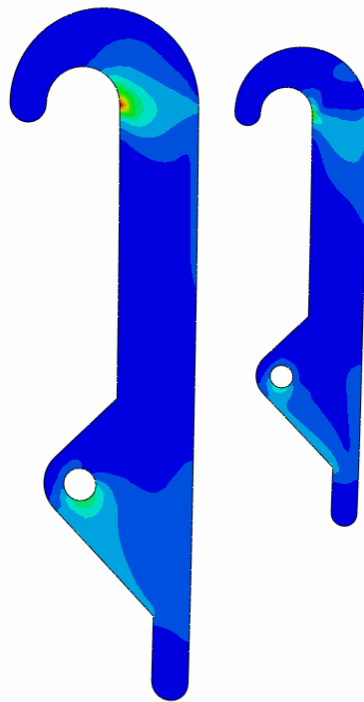
Chapa trasera tras la modificación 8

Modificación 9

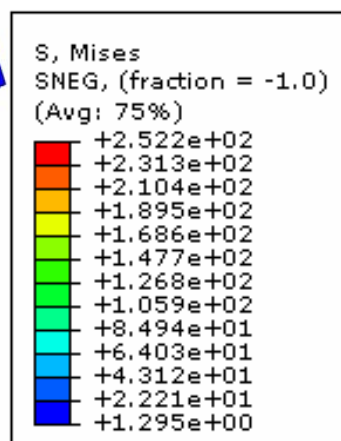
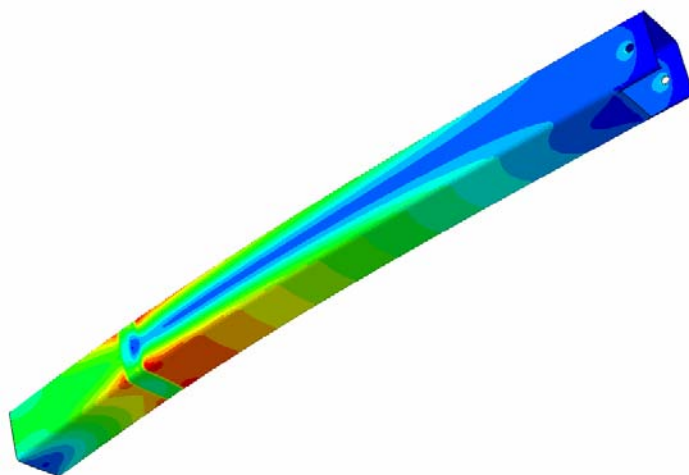
Aún se puede ajustar la chapa trasera, así que se utilizará chapa de 5 mm para construirla, obteniendo el siguiente resultado:

Flecha máxima = 17.1 mm

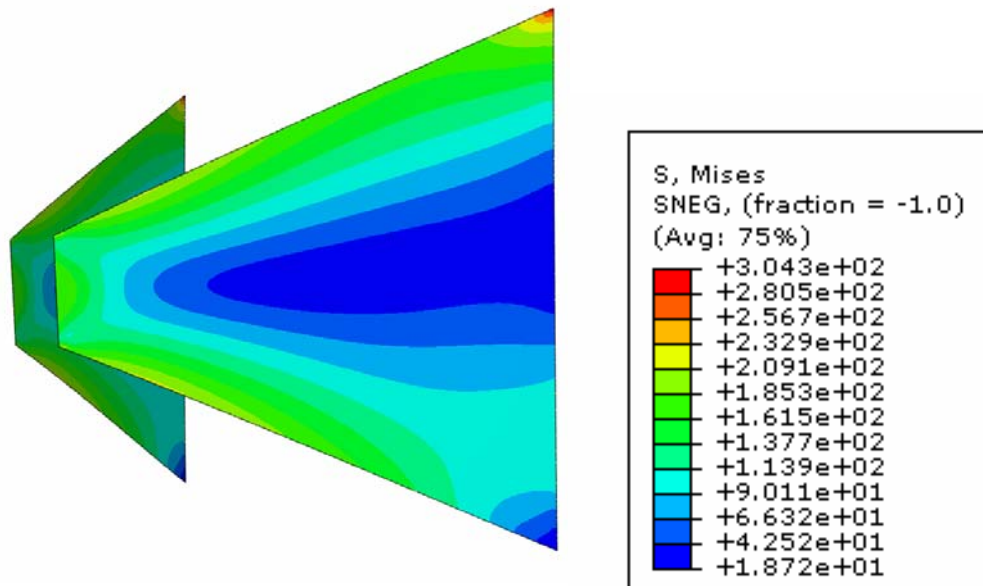




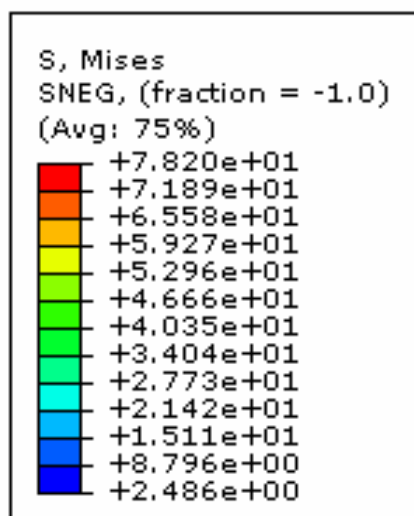
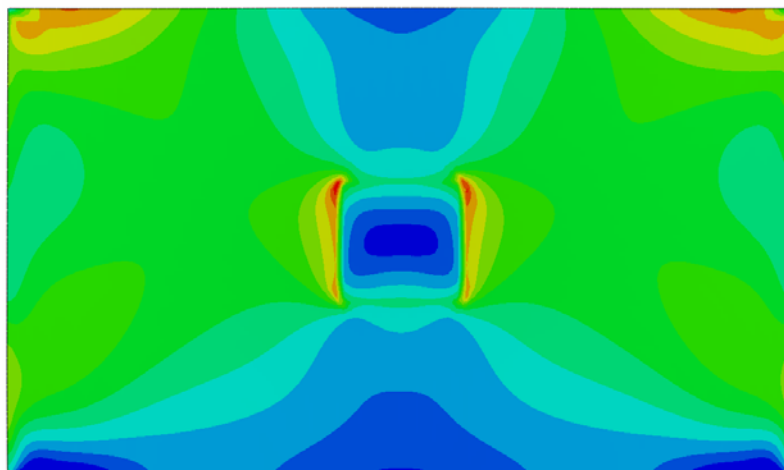
Enganches finales



Perfil final



Tirantes finales



Chapa trasera final

Resumen de Flechas máximas

Tabla 6

	Flecha máxima (mm)
Diseño Preliminar	67
Modificación 1	66
Modificación 2	65
Modificación 3	38
Modificación 4	31
Modificación 5	289
Modificación 6	15.7
Modificación 7	16.45
Modificación 8	16.86
Modificación 9	17.1

Comparativa de Pesos

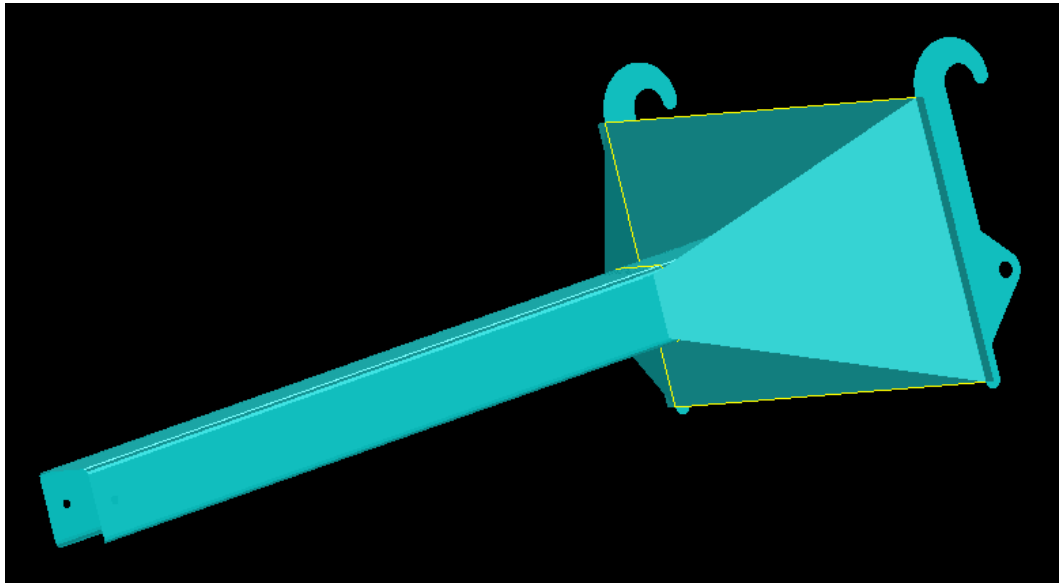
Masa (Kg)	Tirantes	Enganche	Perfil	Trasera	Collarín	Conjunto
Preliminar	7.87	13.65	28.8	29.5	-	79.82
Final	8.62	9.47	23.04	14.76	0.681	56.25

Tabla 7

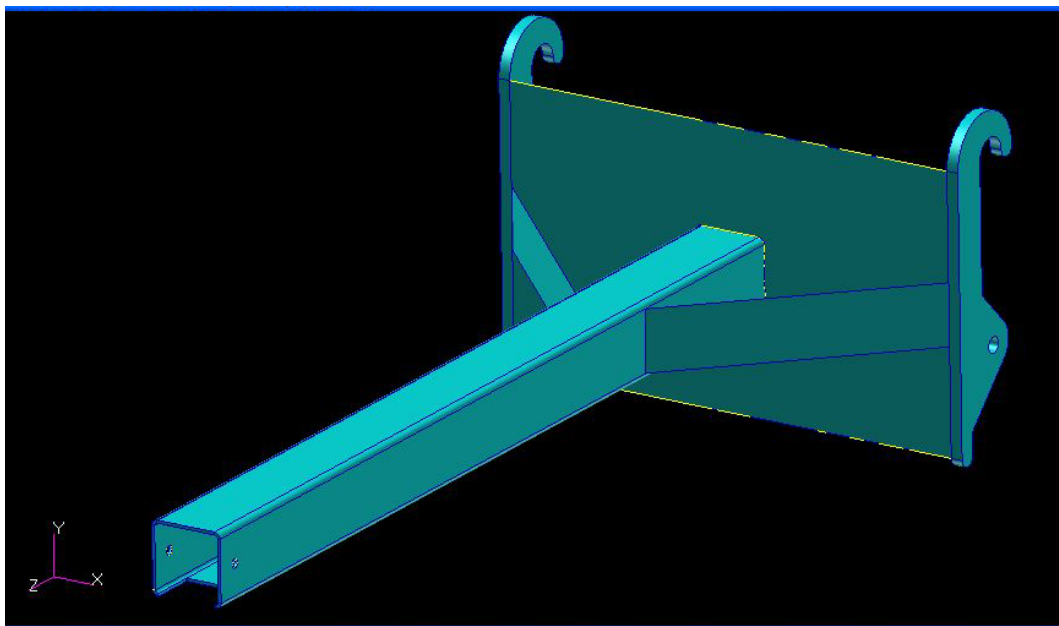
Hay una disminución de 23.57 kg.

El porcentaje final de ahorro en peso global es del 29.5 %

Modelo Final Vs Inicial



Modelo final



(Abajo) modelo inicial

ANÁLISIS MEF ESTRUCTURA TUBULAR Y MODIFICACIONES

Mallado

Se ha utilizado MSC. PATRAN 2005 para la discretización de la geometría.

Para el mallado del modelo, se mantiene la misma discretización que en el caso del plumín de cajón cerrado, pues la pieza de la chapa trasera y los enganches son los mismos, por lo tanto se trazará una malla tipo SHELL Quad4, para lo que se utiliza la herramienta de PATRAN IsoMesh (caso de la chapa trasera), y PAVER (para los enganches y la chapa de la punta).

Con el recurso de las Mesh Seeds se logra dar continuidad a la malla en cada una de las diferentes caras de una misma pieza (perfil) y en las uniones entre piezas pertenecientes a distintos grupos.

El modelado de las barras de la estructura tubular, creado también con PATRAN se ha llevado a cabo dibujándolas como líneas rectas que a la hora de discretizar se han contemplado como elementos de tipo 1-D bar, y cuyas propiedades se han elegido como las de una tubería, asignándole su correspondiente material (acero S355) diámetro exterior y espesor. Se ha estimado que con diez elementos por barra el resultado arrojado podría ser suficiente y satisfactorio.

Imposición condiciones de contorno

Fijación

En los enganches se fijan las zonas que irían en contacto con la carretilla manipuladora, esto es, la cara interior del arco superior, y el círculo donde se alojarían los pasadores (véase fig 8).

Quedan impedidos los desplazamientos y giros en todos los ejes.

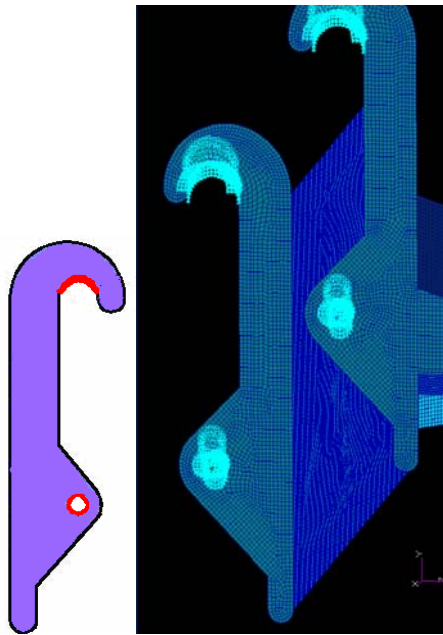


Fig. 8 Imposición condiciones contorno en el enganche

Cargas

En los nodos que hay en los agujeros del extremo de la barra (16 en total) se debe aplicar el total de la carga suspendida en el plumín quedando señalada por las flechas amarillas que representan la fuerza vertical descendente hecha por el peso y que se puede apreciar en la siguiente imagen (flechas amarillas).

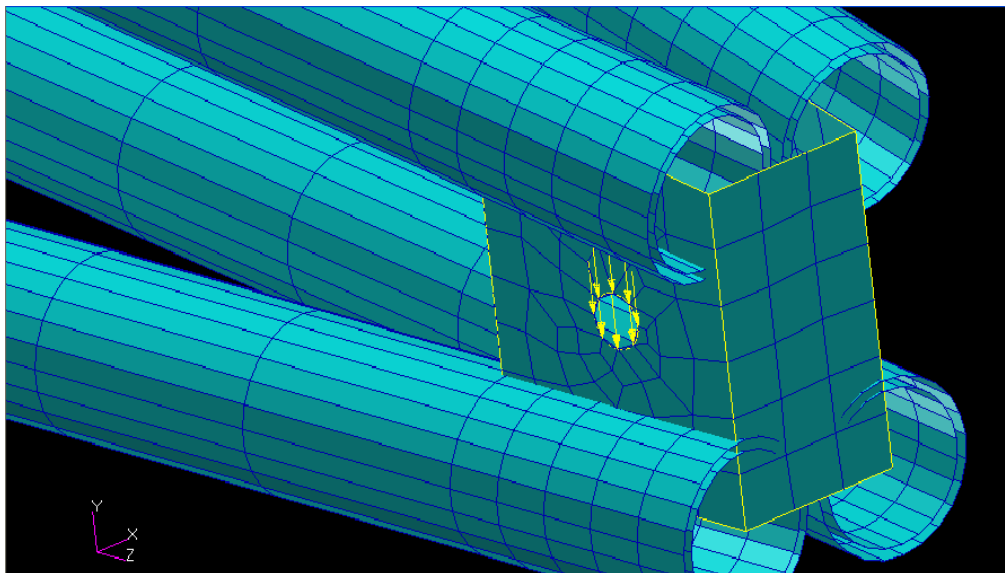


Fig 9 Imposición Carga de servicio

Análisis

Una vez que la estructura tiene impuestas las cargas y las condiciones de contorno, y se ha llevado a cabo la discretización correspondiente, se procede a crear, mediante el botón “Análisis”, el archivo de texto (extensión .inp) que nos permitirá analizar con ABAQUS el problema. Y será en este archivo .txt donde nosotros introduciremos las aceleraciones bajo las que estará sometida la estructura, bien sea la de la gravedad (en todos los casos), como las aceleraciones debidas a la traslación, o rotación como en cada situación se precise. Se introducirán en cada archivo sometido al análisis estas cargas según corresponda ya que el hacer este paso en PATRAN supondría una carga de cálculo muy grande para los ordenadores con los que se trabaja, y de este modo conseguimos agilizar el cálculo, pues al no ser PATRAN sino ABAQUS el motor de cálculo a utilizar para la resolución de nuestros problemas, el tiempo empleado en hacerlo de esa otra manera sería improductivo.

Después de haber modificado convenientemente el archivo .inp, se abre ABAQUS command, y especificando la ruta en la que se encuentra el archivo que se pretende calcular, se lanza el programa para que cree los archivos necesarios para que con “ABAQUS viewer” se puedan visualizar los resultados finales.

Se habrá creado un archivo con el mismo nombre que el que nosotros hemos lanzado a calcular pero con la extensión .odb, y será este el archivo que para ver los resultados, abramos con el postprocesador Abaqus.

ABAQUS permite conocer la flecha de nuestra estructura, así como el estado tensional al que están sometidas todas y cada una de las piezas que forman el conjunto, y las puede mostrar por separado, según los grupos que se hayan creado en el preproceso del problema. Una escala de colores con su correspondiente leyenda indica el valor de la tensión de cada punto, y de este modo se pueden decidir mejoras posibles para los posteriores rediseños.

Como primer paso se tomará el análisis del modelo preliminar sometido a cada uno de los tres casos con sus correspondientes supuestos de rotación y traslación, y en la siguiente tabla se reflejan para cada una de las piezas que conforman el plumín sus tensiones máximas (según el criterio de Von Mises) en cada caso.

σ_{VM}	CASO 1		CASO 2		CASO 3	
	Rotación	Traslación	Rotación	Traslación	Rotación	Traslación
Enganche	527	474	405	402	354	347
Trasera	2720	2613	2513	2347	1968	1959
Barras	68	67	60	60	46	46
Punta	330	320	294	294	228	228

Tabla 8

Se confirma, como sucedía en el diseño con viga de cajón cerrado que el supuesto más desfavorable para la estructura es el “Caso 1, Rotación”, y es por eso que en lo sucesivo y hasta conseguir un diseño lo suficientemente mejorado, el caso de cargas que se analizará en las etapas de optimización de la estructura será el de éste supuesto. Una vez que el diseño satisfaga las exigencias resolviéndose con las cargas del caso 1 en rotación, se añadirán los demás casos de carga para que quede asegurado que la normativa se cumple al completo.

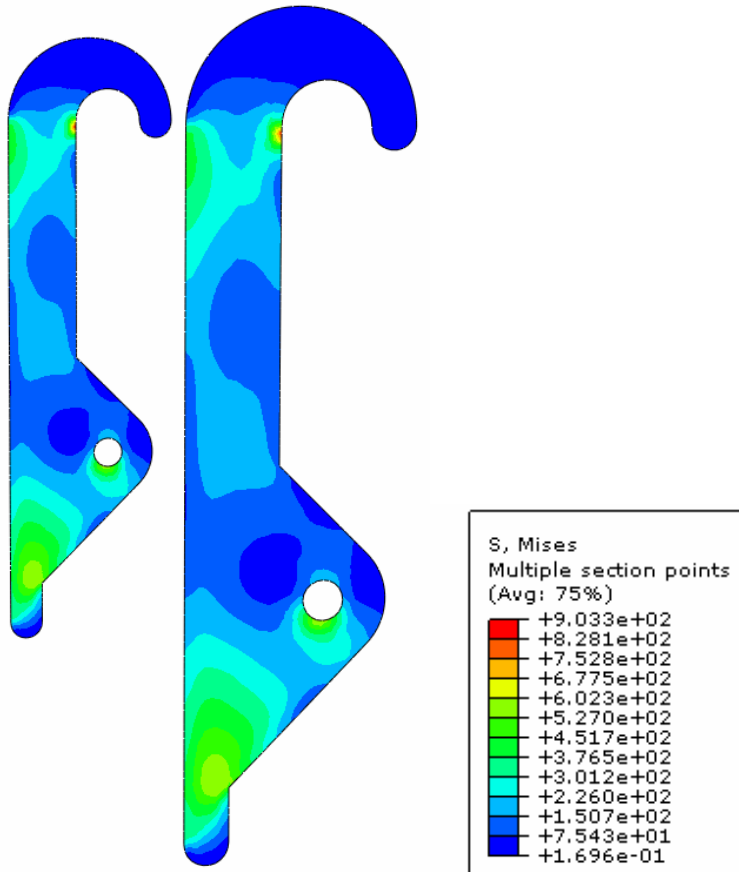
Resultados modelo preliminar

Se muestra a continuación la representación gráfica que ofrece ABAQUS para cada una de las piezas junto con su leyenda. Cabe advertir, que en ocasiones, algunos resultados muy localizados son producto de concentraciones de tensiones debidas al método de cálculo de los elementos finitos, y en esos casos la lectura que se debe hacer no es la que se obtiene en ese punto específico cuyo pico es máximo, sino la de la zona de alrededor de éste.

Son evidentes los problemas que presenta este diseño, por un lado de manera muy clara respecto a su aptitud al servicio (ya que la flecha máxima en la punta es de 175 mm), y por otro las zonas que superan con creces el máximo valor de tensión equivalente de Von Mises.

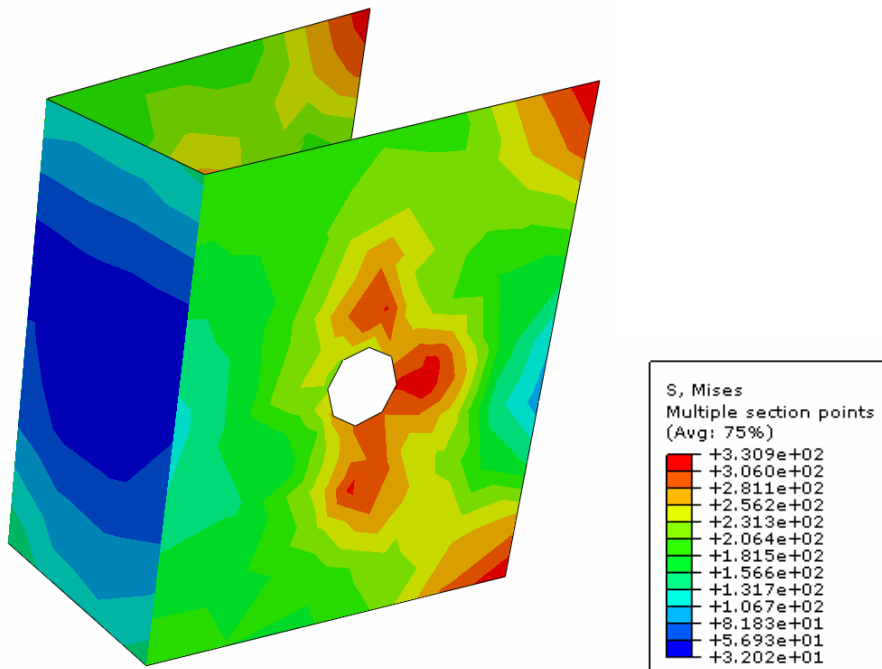
Sobre estas zonas habrá que actuar en primera instancia, y son:

- En el enganche, las zonas de fijación al brazo de la carretilla manipuladora, tanto en la parte superior como inferior.



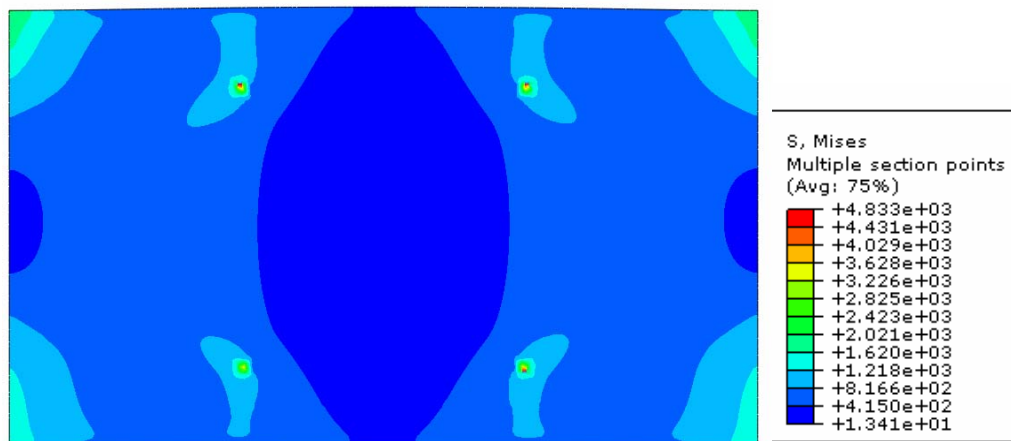
Enganches modelo inicial

- En la punta las caras laterales.



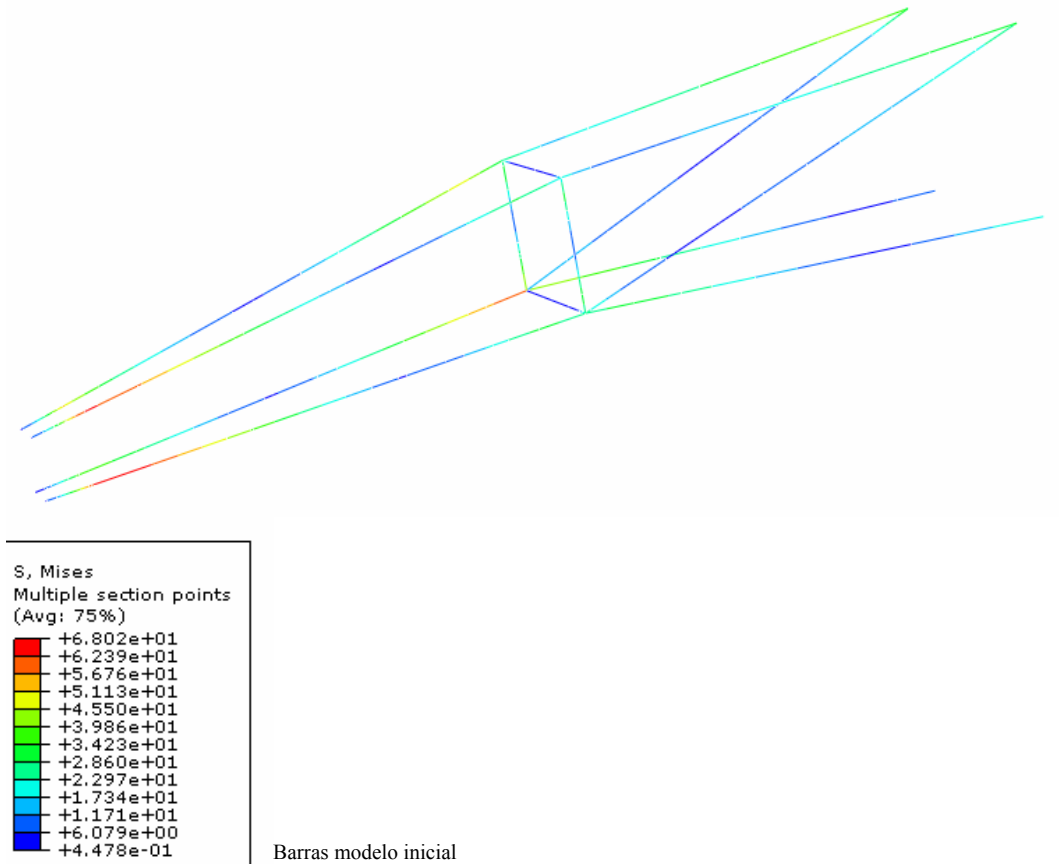
Chapa modelo inicial

- En la chapa trasera en todo su conjunto.



Chapa trasera modelo inicial

Flecha máxima = 175 mm



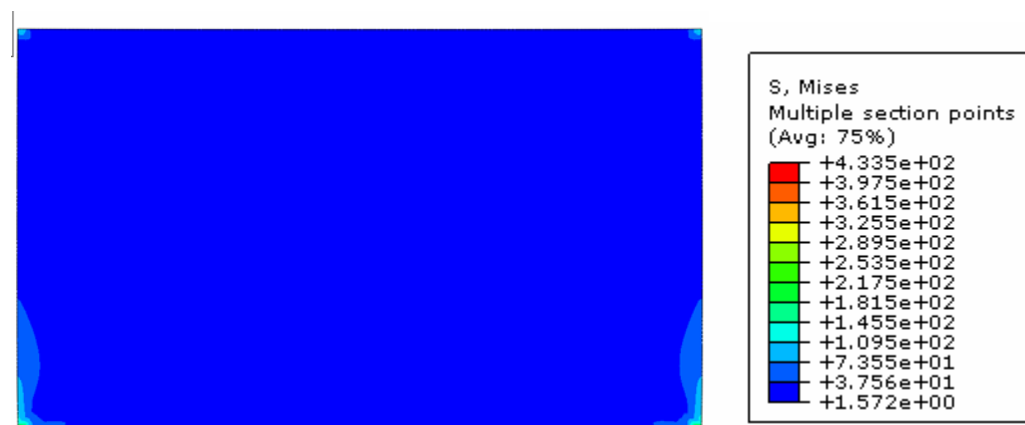
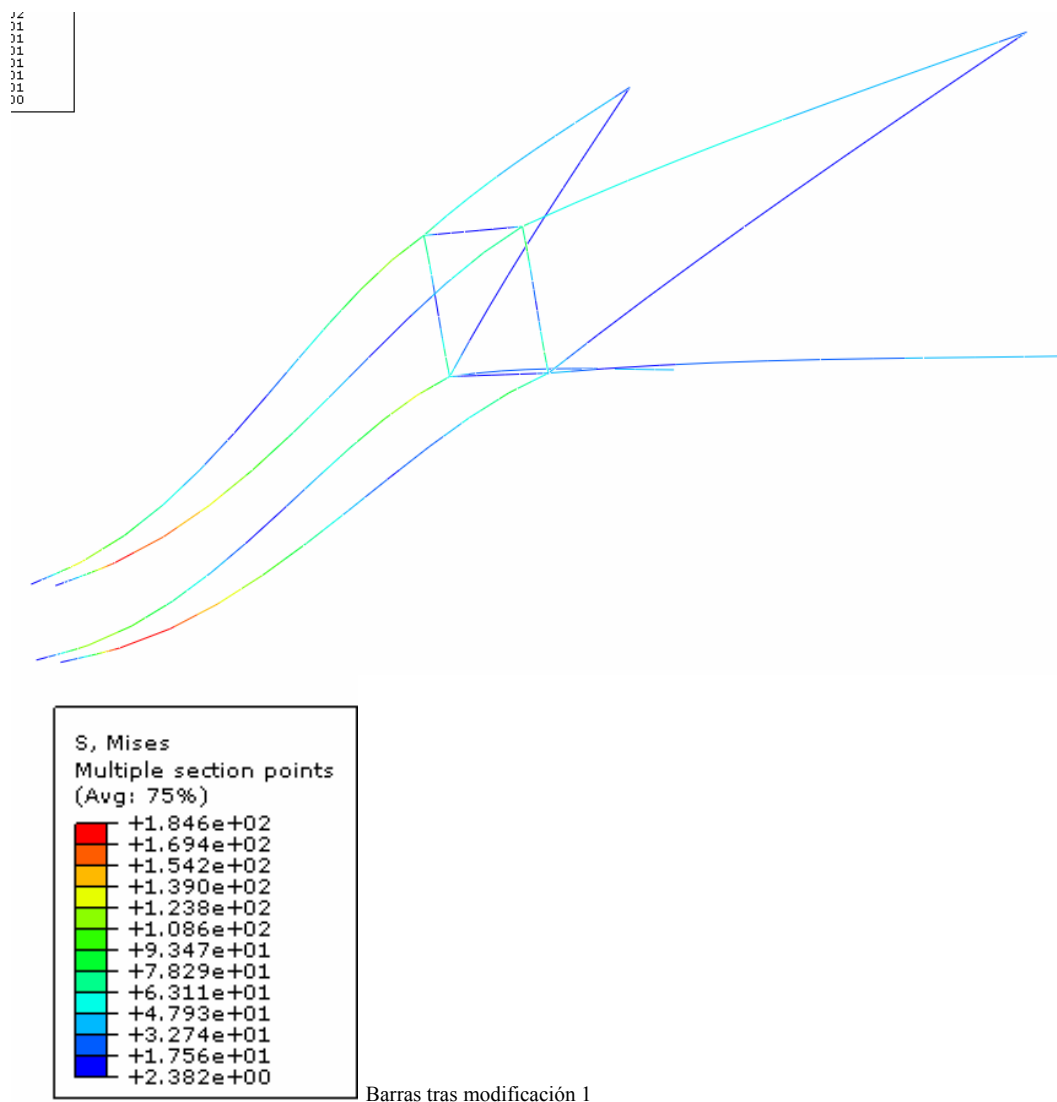
Modificación 1

Ya que las barras están muy poco solicitadas, se escogerán otras de menor diámetro (33.7 mm, espesor = 3 mm).

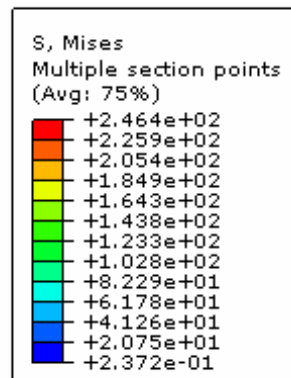
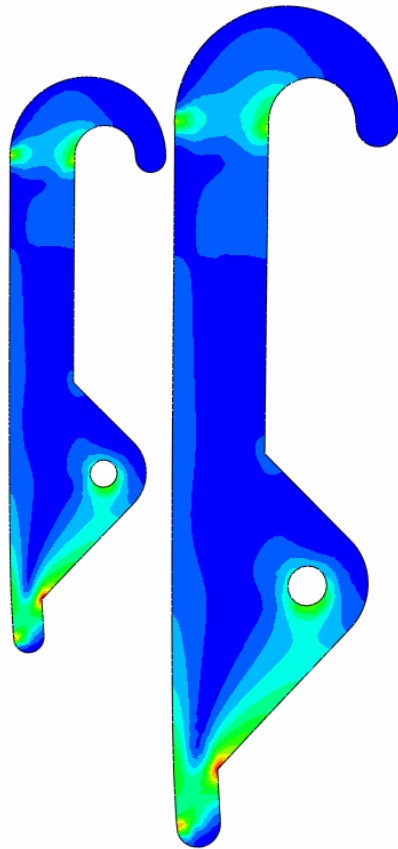
Para solucionar los problemas de rigidez y resistencia de la chapa trasera se opta por unir las barras en lugar de a la zona central de la misma a los extremos para que cuenten con los enganches como elemento rigidizador.

Y para que la chapa de la punta aumente su resistencia decidimos tomar un espesor mayor (5 mm).

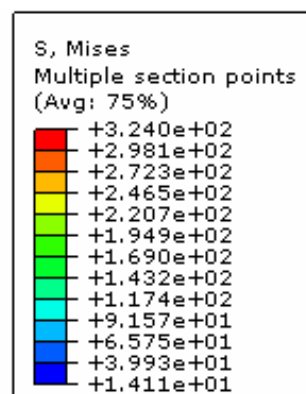
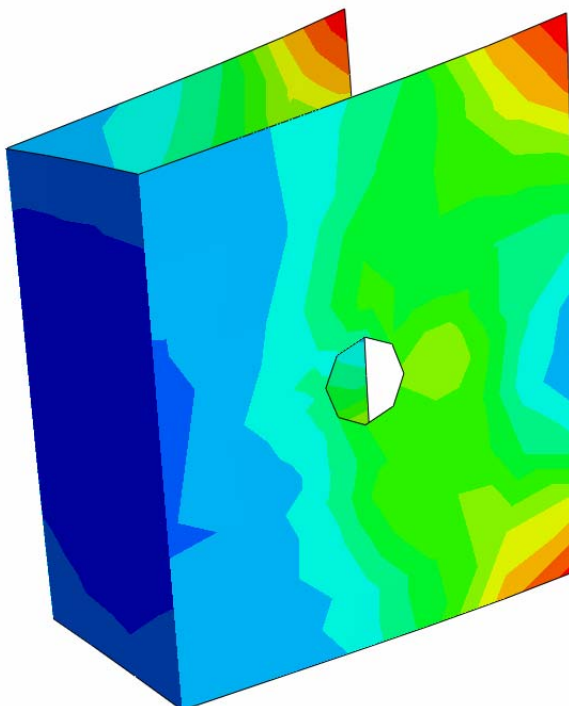
Flecha máxima = 10.9 mm



Chapa trasera tras modificación 1



Enganches tras modificación 1



Chapa de la punta tras modificación 1

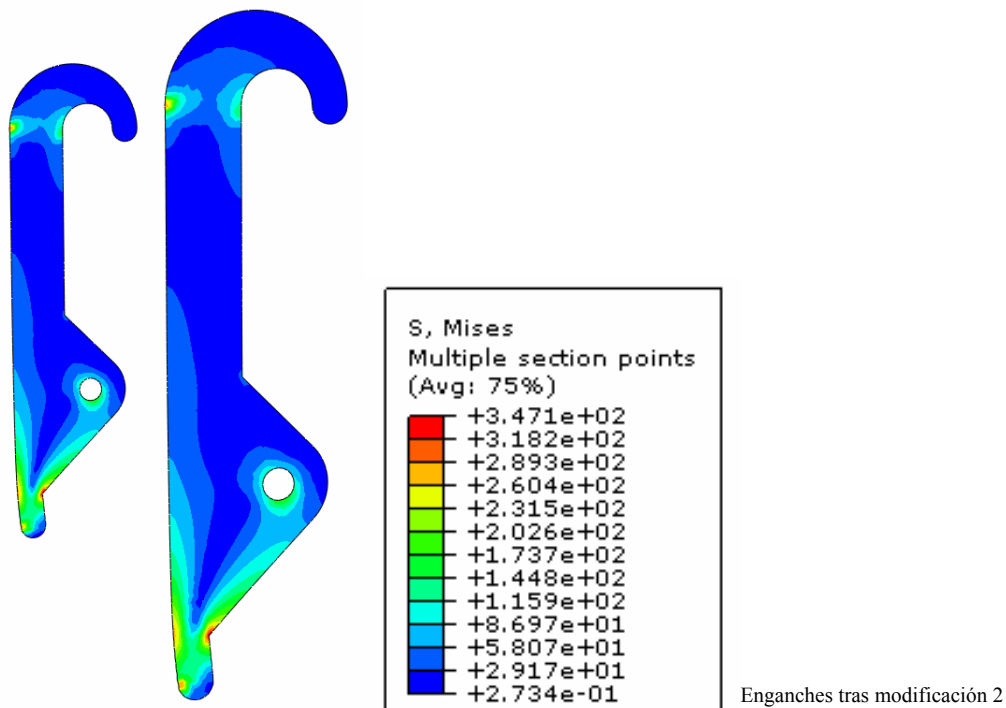
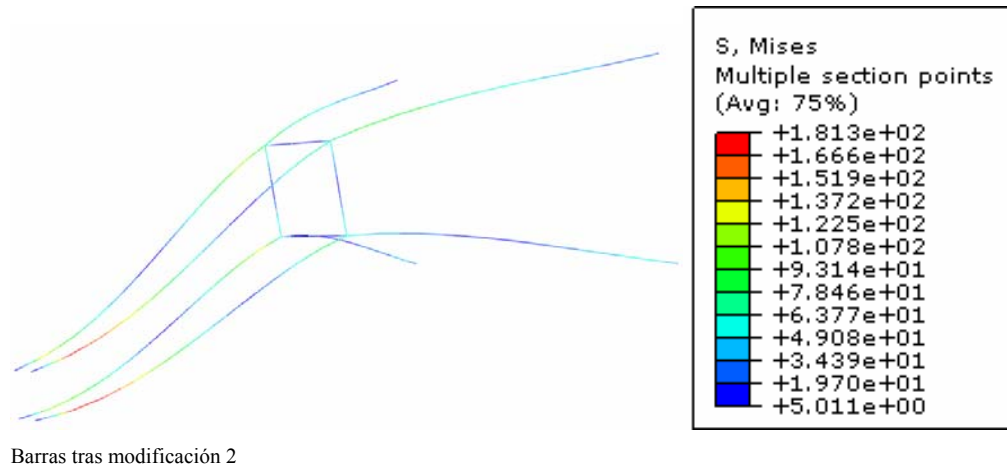
Modificación 2

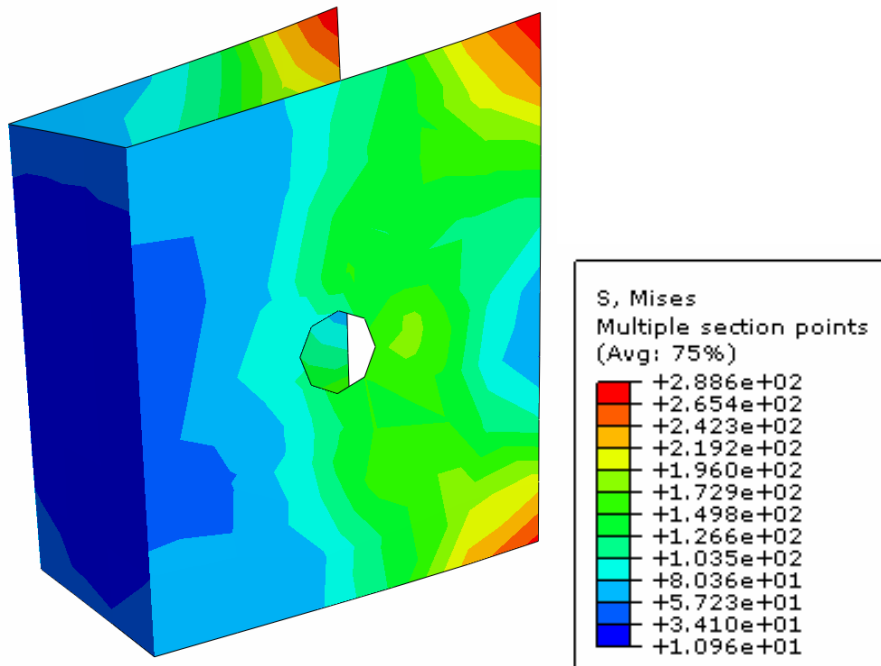
Ya que las barras trabajan muy por debajo de su límite, se eliminan las dos oblicuas que forman parte del cuerpo más cercano a la chapa trasera.

A la chapa de la punta se le da 1 mm más de espesor pasando a ser de 6 mm.

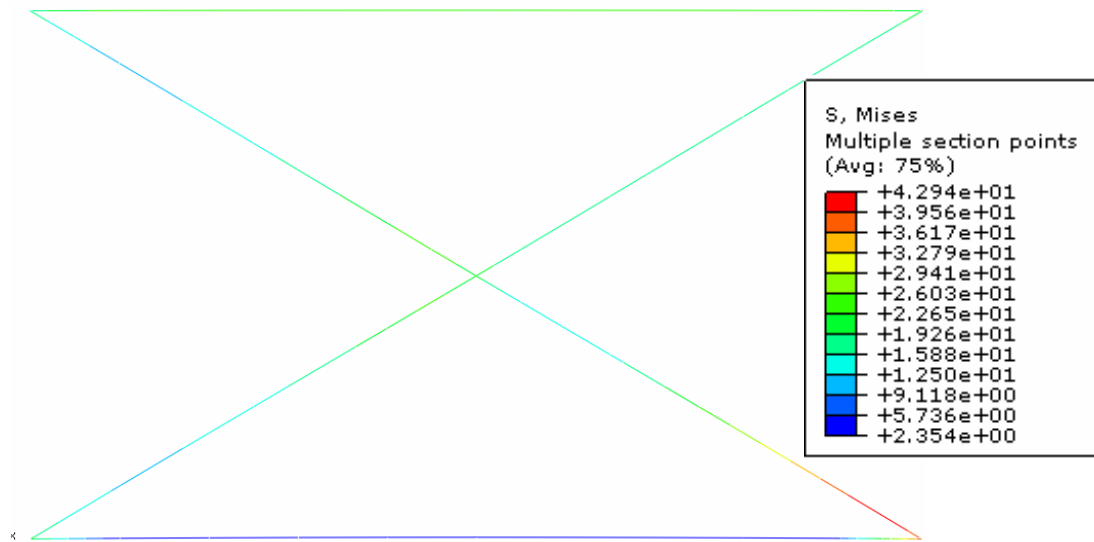
Y la chapa trasera que ya apenas está sometida a tensiones se sustituye por un entramado de barras.

Flecha máxima = 11.66 mm





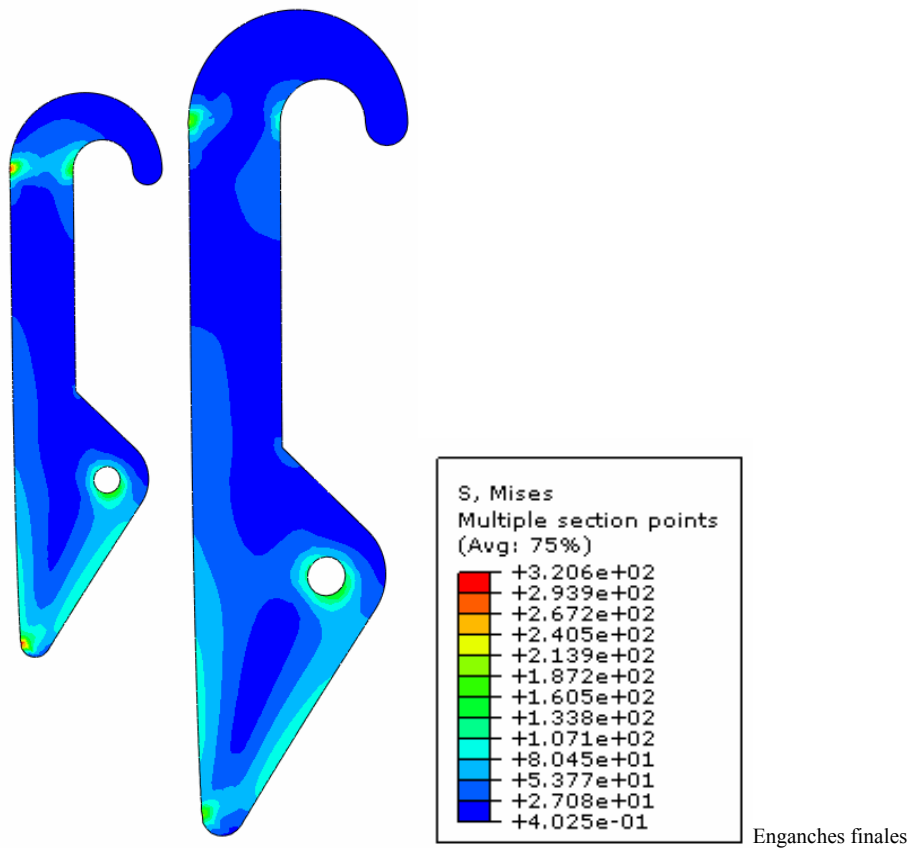
Chapa de la punta tras modificación 2



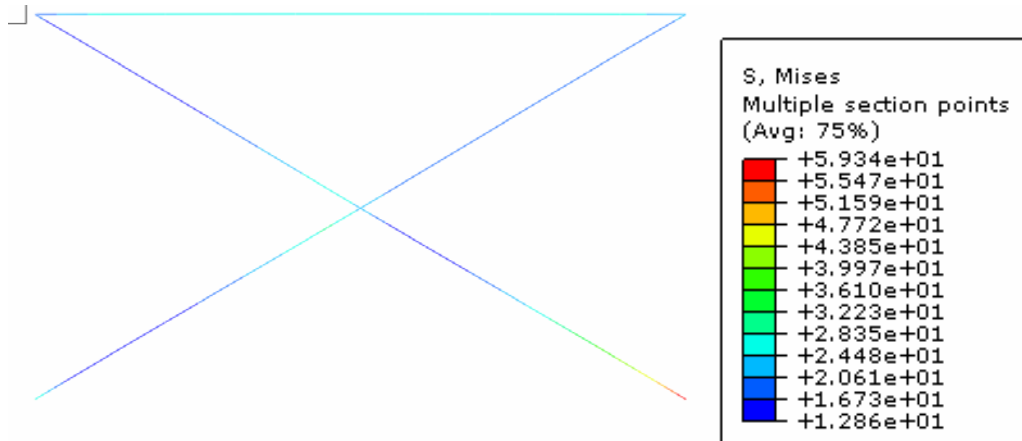
Sustitución de la chapa trasera , modificación 2

Modificación 3

Para reducir la concentración de tensiones existente en la parte inferior de los enganches, rediseñamos la orejeta, en orden a suavizar los cambios de geometría al eliminar el ángulo existente.

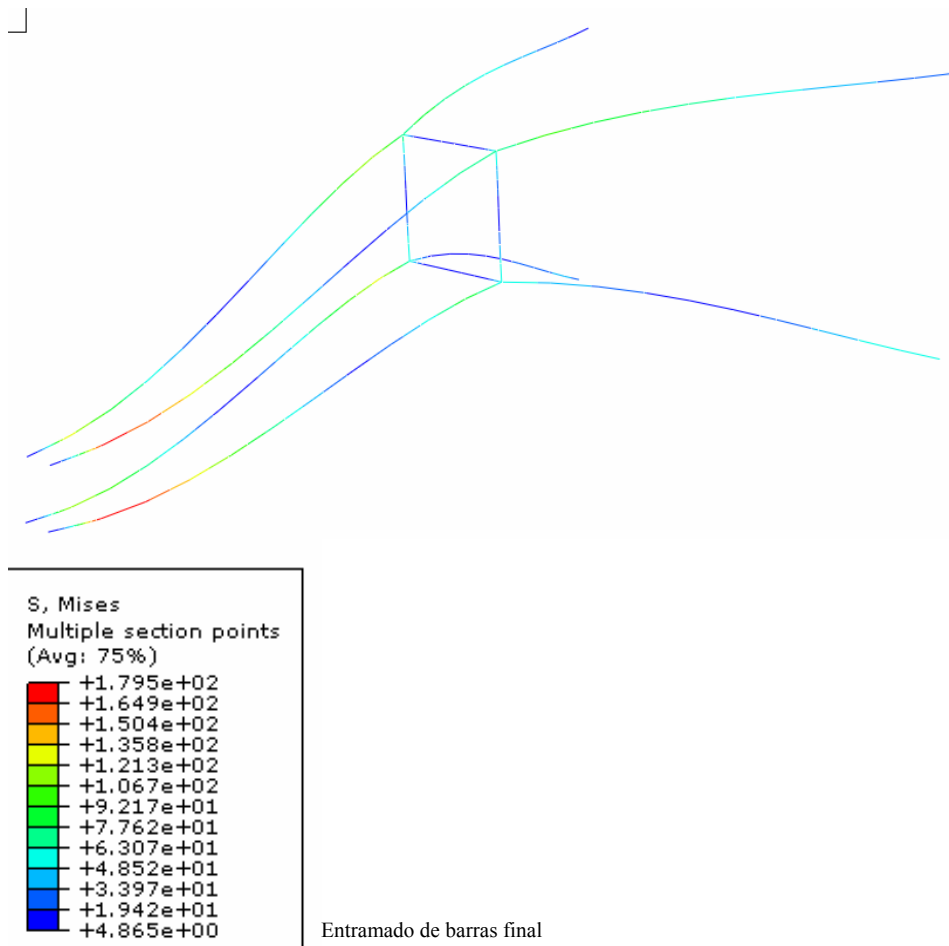


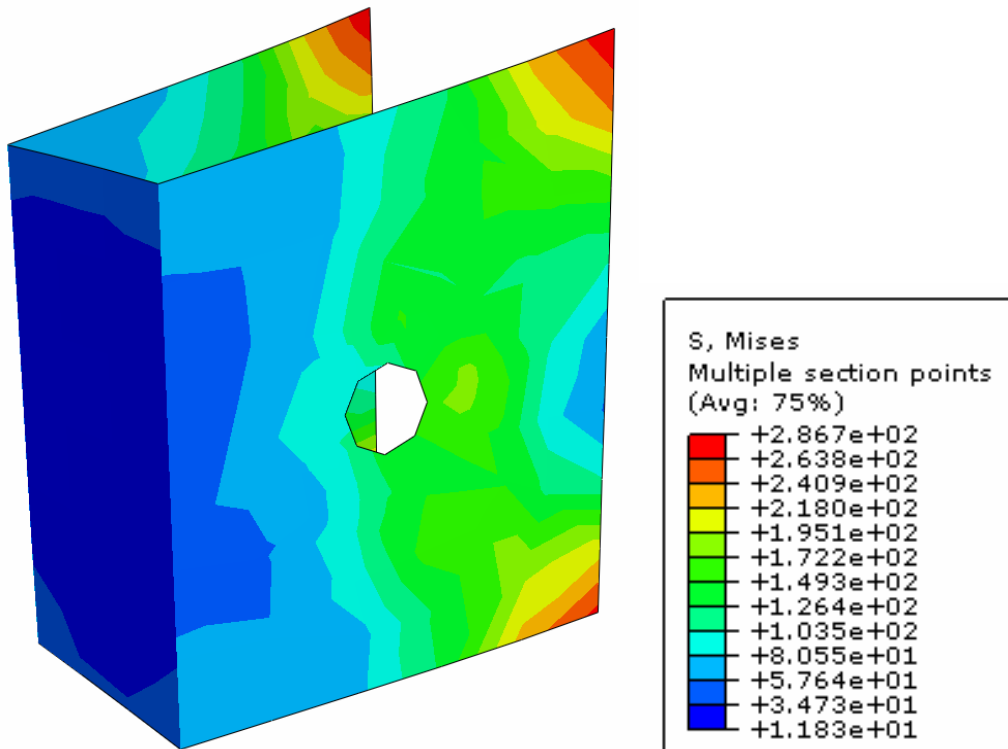
Como el entramado de barras que sustituye a la primitiva chapa trasera sigue pudiendo soportar las solicitaciones con comodidad, se prescinde de la barra situada en la parte baja.



Unión entre enganches final

Flecha máxima = 11 mm





Chapa de la punta final

Resumen de Flechas máximas

	Flecha máxima (mm)
Diseño Preliminar	175
Modificación 1	10.9
Modificación 2	11.66
Modificación 3	11

Tabla 9

Comparativa de Pesos

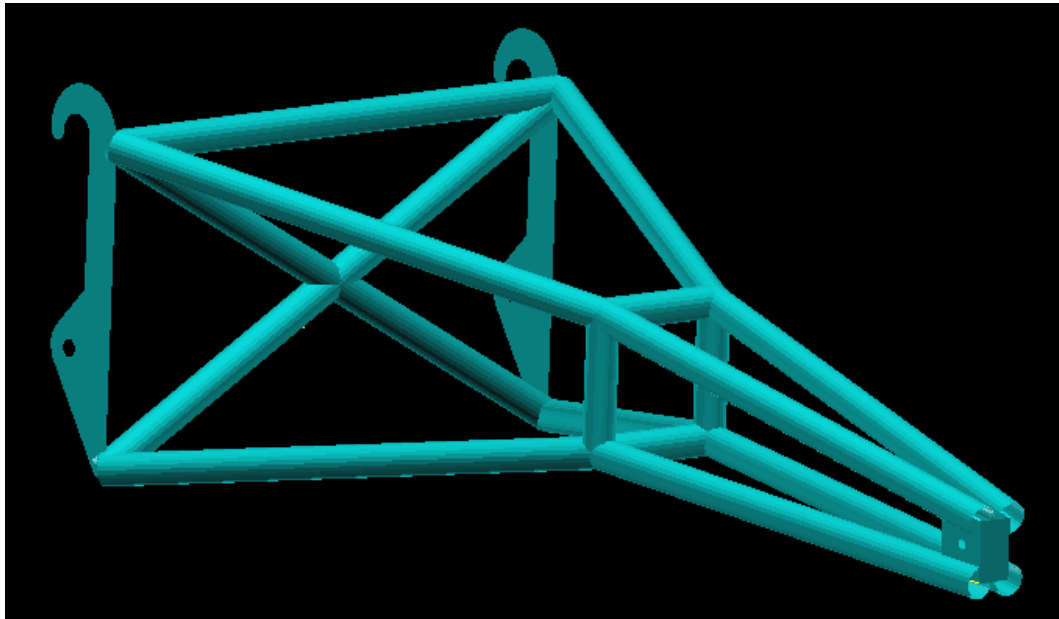
Masa (Kg)	Barras	Enganche	Punta	Trasera	Conjunto
Preliminar	28.8	13.65	0.464	29.52	72.46
Final	22.55	14.28	0.929	4.2	41.93

Tabla 10

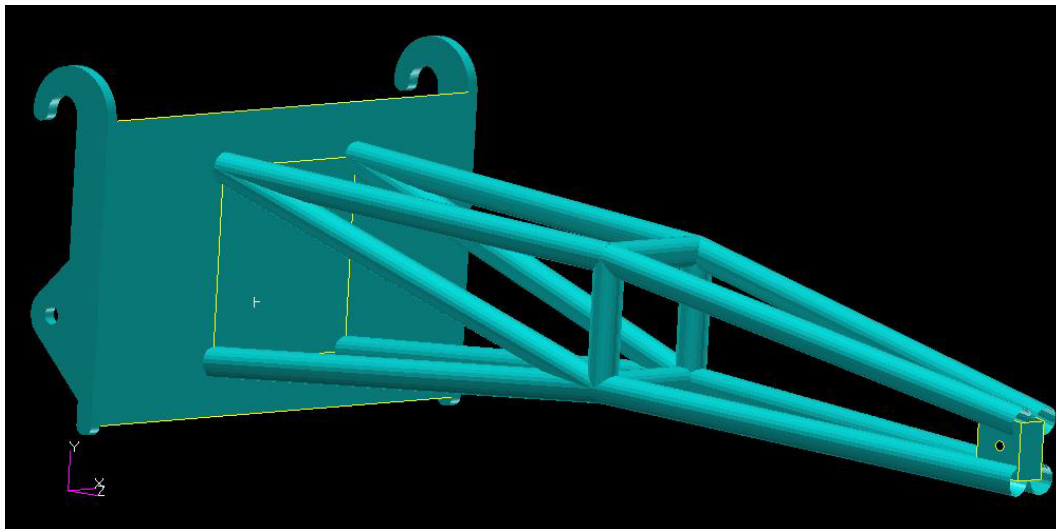
Hay una disminución de 30.53 kg.

El porcentaje final de ahorro en peso global es del 42.1 %

Modelo Final Vs Inicial



Modelo final



Modelo inicial

CONCLUSIONES

A cerca de las modificaciones Cajón Cerrado

A tenor de la diferencia de pesos entre los modelos inicial y final (23.57 Kg) se hace notable que una estructura no va a ser más resistente por reforzarla mucho a base de aportar material, sino por colocar el material en las zonas adecuadas, esto es, el factor “diseño” marca la diferencia a la hora de conseguir unas buenas características de resistencia y ligereza. Por ejemplo, al modificar la orientación de los tirantes en la estructura, la flecha varía enormemente ya que la forma de la estructura no ofrece la misma rigidez en todos los ejes. En consecuencia habrá que tener muy en cuenta para optimizar una geometría, la responsabilidad que tienen las piezas que se piensen sustituir, y si el nuevo elemento a introducir va a mejorar realmente las características, prestando especial atención a cual es la forma en que mejor trabaja.

A cerca de las modificaciones Tubular

De lo observado en la evolución del modelo tubular, se desprende que para unir las barras al elemento de unión con la carretilla manipuladora, es preciso contar con unos elementos rigidizadores que sean capaces soportar los esfuerzos que dichas barras transmiten. Con la superficie que tenía en origen la chapa trasera, y el tamaño que ocupaban las barras, la concentración de tensiones producida era altísima, es como si toda la carga se estuviera soportando de cuatro puntos. Si comparamos esta superficie de contacto

$$2.89 \text{ cm}^2/\text{barra} \cdot 4\text{barras} = 11.56 \text{ cm}^2$$

con la que hay en el modelo de cajón cerrado:

$$\text{tirantes} \rightarrow 2 \cdot (47\text{cm} \cdot 0.5\text{cm}) = 47 \text{ cm}^2;$$

$$\text{perfil} \rightarrow 12.5\text{cm}/\text{lado} \cdot 4\text{lados} \cdot 0.4\text{cm} = 20\text{cm}^2;$$

$$\text{en total } 47 + 20 = 67 \text{ cm}^2 ;$$

observamos que es $67 / 11.56 = 5.79$ veces menor. Si tenemos en cuenta que además, en la zona de unión no había elemento rigidizador alguno sino la chapa lisa, parece evidente que las tensiones en la chapa trasera sean tan elevadas. Este hecho también hace comprender que la flecha fuera tan grande en esas condiciones.

Al corregir la geometría de las barras haciéndolas llegar hasta los enganches, se añade a estos últimos la función de elemento rigidizador que antes faltaba. Y la chapa trasera pierde su responsabilidad en cuanto a resistencia en el diseño, si bien sigue haciendo falta un elemento que otorgue al montaje estabilidad (de ahí que se sustituya por barras).

Comparativa Cajón cerrado Vs Tubular

Tabla 11

Masa (Kg)	Preliminar	Final	Aligeramiento
Cajón cerrado	79.82	56.25	23.57
Tubular	72.46	41.93	30.53

La diferencia de peso entre ambas estructuras es de 14.32 Kg, siendo la más ligera la estructura tubular.

Si bien la estructura tubular es más ligera, la de cajón cerrado es más sencilla de fabricar, no precisa de dobladora de tubos ni de hacer las soldaduras en ángulo para los tubos, proceso que requiere un proceso de corte en los tubos más esmerado que el precisado por las chapas rectas que se utilizan en el otro modelo.

La maniobrabilidad de ambas va a ser muy similar trabajando en entornos amplios, pero para moverse en lugares estrechos (por ejemplo almacenes con torretas de palets), el plumín de cajón cerrado aún teniendo la misma longitud que el tubular ocupa un volumen menor, véase la parte central en donde el tubular tiene una “sección” de 200 mm de lado, el de cajón cerrado tiene 125 mm, y no presenta el inconveniente de que al aproximarnos al amarre la sección vaya en aumento.

Bibliografía y consultas web

- MSC PATRAN Reference Manual, F.E.M. Modeling Theory Manual, MSC Software., 2001
- ELASTICIDAD Y RESISTENCIA DE MATERIALES, Apuntes de la asignatura 2º Curso de Ingeniería Técnica Industrial Especialidad Mecánica
- DISEÑO DE MÁQUINAS, Apuntes de la asignatura 3^{er} Curso de Ingeniería Técnica Industrial Especialidad Mecánica

<http://www.constructalia.com>

<http://www.katiak.com>

<http://www.mssoftware.com>

ANEXOS

Perfiles sección hueca cuadrada

SECCIÓN HUECA CUADRADA

I → momento de inercia en los planos yy/zz.
W_{el} → módulo resistente elástico en los planos yy/zz.
W_{pl,z} → módulo resistente plástico en los planos yy/zz.
iy → radio de giro en los planos yy/zz.
Av → área de cortante.
It → módulo de torsión.
B y H → dimensiones de los lados.
e → espesor.
r₀ → radio nominal exterior
r₁ → radio nominal interior.

Perfil	HxB (mm)	Peso (kg/m)	Dimensiones (mm)						Propiedades de la sección						Clases de secciones				Resistencia de las secciones										
			e (mm)			r ₀ (mm)			r ₁ (mm)			ejes y-y-z			compr.			flexión simple yy/zz			compresión/tracción (N _{Ed} ≤ N _{Re,Ed}) (kN)			flex. plástica M _{pl,Ed} o elástica (M _{el,Ed}) eje y-y/z (kNm)			Cortante (V _{el,Ed}) (kN)		
			G	B	H	r ₀	n	e	A (mm ²)	I (mm ⁴)	W _{el} (mm ³)	W _{pl} (mm ³)	i (mm)	A _v (mm ²)	C _t (mm ³)	I _t (mm ⁴)	S 235	S 275	S 355	S 235	S 275	S 355	S 235	S 275	S 355	S 235	S 275	S 355	
50x50	50x50	2,5	3,60	50	50	5	2,5	2,5	453,90	16,94	6,78	8,07	19,22	225,0	10,22	27,53	1	1	1	1	102,7	120,2	155,2	1,81	2,11	2,73	29,07	34,02	43,92
50x50	50x50	3	4,25	50	50	6	3	3,0	540,82	19,47	7,79	9,39	18,97	254,0	11,76	32,13	1	1	1	1	121,0	141,6	182,8	2,10	2,46	3,17	34,11	39,92	51,53
50x50	50x50	4	5,45	50	50	8	4	4,0	694,80	23,74	9,49	11,73	18,48	335,0	14,43	40,42	1	1	1	1	155,5	182,0	234,9	2,63	3,07	3,97	43,42	50,81	65,59
50x50	50x50	5	6,56	50	50	10	5	5,0	833,62	27,04	10,92	13,70	17,99	400,0	16,56	47,45	1	1	1	1	187,0	218,9	282,5	3,07	3,59	4,63	51,59	60,48	78,08
80x80	80x80	2	3,56	80	80	4	2	2,0	453,70	25,14	8,38	9,79	23,54	224,0	12,99	39,79	1	1	1	2	101,5	118,8	153,4	2,19	2,56	3,31	26,84	33,87	43,72
80x80	80x80	3	5,19	80	80	6	3	3,0	660,82	35,13	11,71	13,95	23,06	324,0	17,65	57,09	1	1	1	1	147,9	173,1	223,4	3,12	3,65	4,72	41,87	48,99	63,24
80x80	80x80	4	6,71	80	80	8	4	4,0	854,80	43,55	14,52	17,64	22,57	415,0	21,97	72,64	1	1	1	1	191,3	223,9	289,0	3,95	4,62	5,96	53,75	62,90	81,20
80x80	80x80	5	8,13	80	80	10	5	5,0	1035,62	50,49	16,83	20,88	22,08	500,0	25,61	86,42	1	1	1	1	231,8	271,2	350,1	4,67	5,47	7,06	64,61	75,61	97,60
70x70	70x70	2	4,19	70	70	4	2	2,0	533,70	40,73	11,64	13,52	27,62	264,0	17,48	63,96	1	1	2	3	119,4	139,8	180,4	3,03	3,05	4,57	34,11	39,92	51,53
70x70	70x70	3	6,13	70	70	6	3	3,0	760,62	57,53	16,44	19,42	27,14	384,0	24,74	92,42	1	1	1	1	174,8	204,5	264,0	4,35	5,09	6,56	49,62	58,05	74,96
70x70	70x70	4	7,97	70	70	8	4	4,0	1014,80	72,12	20,61	24,76	26,66	496,0	31,11	118,5	1	1	1	1	227,1	265,8	343,1	5,54	6,48	8,37	64,09	75,00	96,82
70x70	70x70	5	9,70	70	70	10	5	5,0	1235,62	84,63	24,18	29,56	26,17	600,0	36,65	142,2	1	1	1	1	276,5	323,6	417,8	6,62	7,74	9,99	77,53	90,73	117,1
75x75	75x75	2	4,50	75	75	4	2	2,0	573,70	50,49	13,46	15,61	29,67	284,0	20,22	79,05	2	2	1	2	126,4	150,3	194,0	3,49	0,00	5,28	36,70	42,94	56,44
75x75	75x75	3	6,60	75	75	6	3	3,0	840,82	71,62	19,10	22,49	29,19	414,0	28,73	114,5	1	1	1	1	188,2	220,2	284,3	5,03	5,99	7,50	53,80	62,90	80,81
75x75	75x75	4	8,59	75	75	8	4	4,0	1094,80	90,19	24,05	28,76	28,70	536,0	36,28	147,3	1	1	1	1	245,0	286,7	370,1	6,44	7,53	9,72	69,26	81,05	104,6
75x75	75x75	5	10,48	75	75	10	5	5,0	1335,62	106,3	28,35	34,46	28,21	650,0	42,92	177,4	1	1	1	1	298,9	349,8	451,5	7,71	9,02	11,65	83,99	98,29	126,9
80x80	80x80	2	4,82	80	80	4	2	2,0	613,70	61,70	15,42	17,85	31,71	304,0	23,16	96,34	2	3	1	4	137,4	160,7	207,5	3,99	0	6,03	39,28	45,97	59,34
80x80	80x80	3	7,07	80	80	6	3	3,0	900,82	87,84	21,96	25,78	31,23	444,0	33,02	139,9	1	1	1	1	201,6	255,9	304,5	5,77	6,75	8,72	57,37	67,14	86,67
80x80	80x80	4	9,22	80	80	8	4	4,0	1174,80	111,0	27,76	33,07	30,74	576,0	41,84	180,4	1	1	1	1	263,9	307,7	397,2	7,40	8,66	11,18	74,43	87,10	112,4
80x80	80x80	5	11,27	80	80	10	5	5,0	1485,62	131,44	32,86	39,74	30,26	700,0	49,68	217,8	1	1	1	1	321,3	376,0	465,4	8,89	10,41	13,43	90,45	105,8	136,6
80x80	80x80	6	13,21	80	80	12	6	6,0	1683,29	149,2	37,29	45,79	29,77	816,0	56,59	252,1	1	1	1	1	376,7	440,9	559,1	10,25	11,99	15,48	105,4	123,4	159,3
90x90	90x90	2	5,45	90	90	4	2	2,0	693,70	88,86	19,75	22,78	35,79	344,0	29,64	138,1	3	1	4	1	155,3	181,7	0	5,10	6,70	44,45	52,02	67,15	

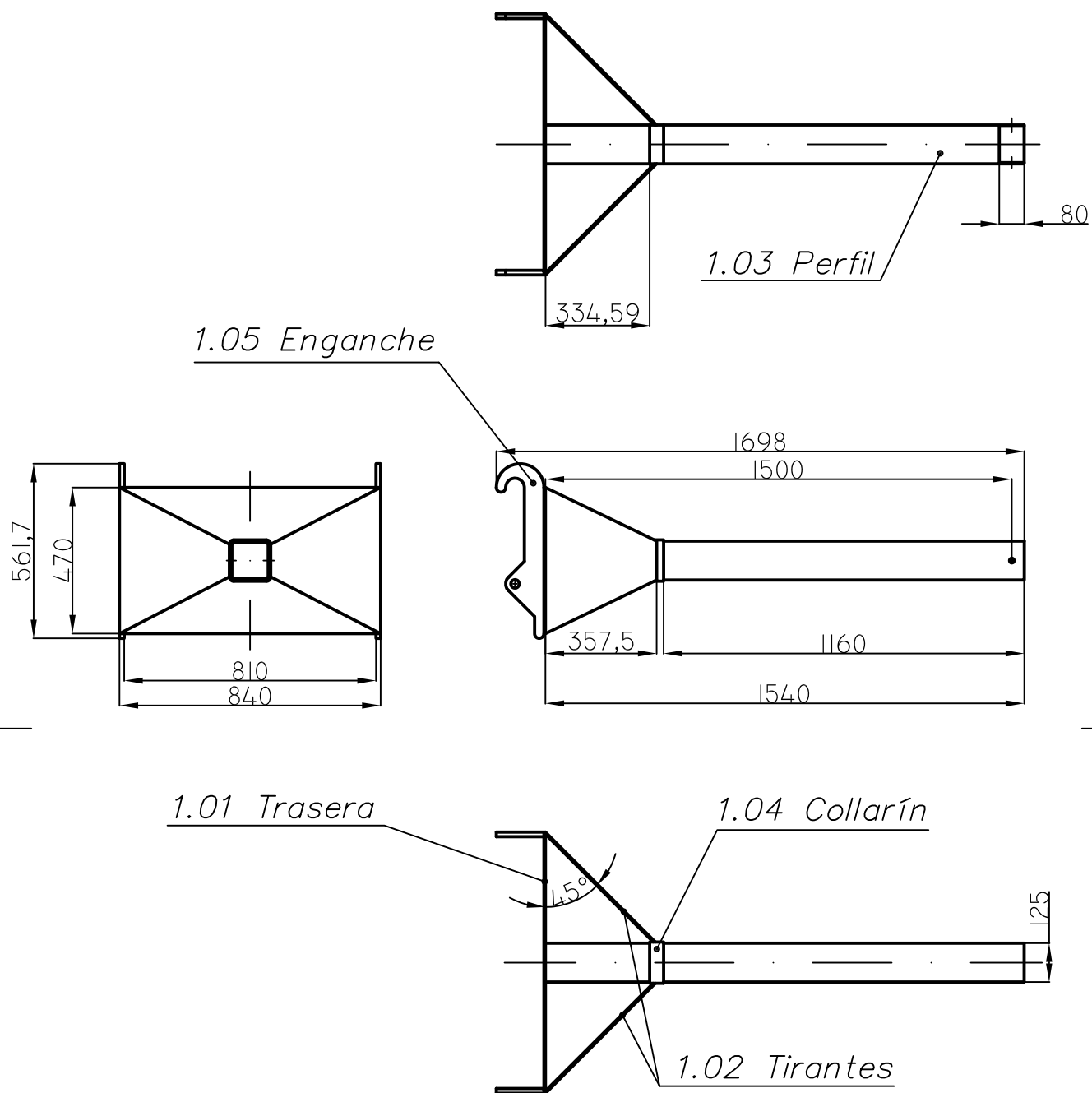
Perfil	Peso e (mm)	Dimensiones (mm)						Área secc. Transv. (mm ²)	Propiedades de la sección						Clases de secciones				Resistencia de las secciones																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		B	H	r ₀	r _i	e	ejes y-y/z-z						Flexión simple y/yzz				compresión			compresión /tracción (N _{red} ≤ M _{ed}) (kN)			flex. plástica M _{pl,ed} o elástica (M _{ed} /W _{el}) eje y-y/z-z (kNm)	Cortante (V _{ed} /W _{el}) (kN)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
							I *10 ⁴ (mm ⁴)		W _{el} *10 ³ (mm ³)	W _{pl} *10 ³ (mm ³)	i (mm)	A _v (mm ²)	C _x *10 ³ (mm ³)	I _x *10 ⁴ (mm ⁴)	S 235	S 275	S 355	S 235	S 275	S 355	S 235	S 275			S 355																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
HxB (mm)	G (kg/m)	3	8,01	90	90	6	3	3,0	1020,82	127,3	26,29	33,04	35,31	504,0	42,51	201,4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1</

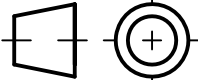

Barras

Díámetro exterior	Espesor	Masa por unidad de longitud	Área de la sección transversal	Momento de inercia de flexión	Radio de giro	Módulo de flexión elástico	Módulo de flexión plástico	Momento de inercia de torsión	Módulo de torsión	Área superficial por metro lineal	Longitud nominal por tonelada
D	T	M	A	I	i	W _e	W _p	I _t	C _t	A _s	m
mm	mm	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm	cm ³	cm ³	cm ⁴	cm ³	m ² /m	m
21.3	2.0	0.95	1.21	0.571	0.686	0.536	0.748	1.14	1.07	0.0669	1050
	2.5	1.16	1.48	0.664	0.671	0.623	0.889	1.33	1.25		863
	3.0	1.35	1.72	0.741	0.656	0.696	1.01	1.48	1.39		739
26.9	2.0	1.23	1.56	1.22	0.883	0.907	1.24	2.44	1.81	0.0845	814
	2.5	1.5	1.92	1.44	0.867	1.07	1.49	2.88	2.14		665
	3.0	1.77	2.25	1.63	0.852	1.21	1.72	3.27	2.43		566
33.7	2.0	1.56	1.99	2.51	1.12	1.49	2.01	5.02	2.98	0.106	640
	2.5	1.92	2.45	3.00	1.11	1.78	2.44	6.00	3.56		520
	3.0	2.27	2.89	3.44	1.09	2.04	2.84	6.88	4.08		440
42.4	2.0	1.99	2.54	5.19	1.43	2.45	3.27	10.4	4.90	0.133	502
	2.5	2.46	3.13	6.26	1.41	2.95	3.99	12.5	5.91		407
	3.0	2.91	3.71	7.25	1.40	3.42	4.67	14.5	6.84		343
48.3	4.0	3.79	4.83	8.99	1.36	4.24	5.92	18.0	8.48	0.152	264
	2.0	2.28	2.91	7.81	1.64	3.23	4.29	15.6	6.47		438
	2.5	2.82	3.60	9.46	1.62	3.92	5.25	18.9	7.83		354
60.3	3.0	3.35	4.27	11.0	1.61	4.55	6.17	22.0	9.11	0.189	298
	4.0	4.37	5.57	13.8	1.57	5.70	7.87	27.5	11.4		229
	5.0	5.34	6.80	16.2	1.54	6.69	9.42	32.3	13.4		187
76.1	2.0	2.88	3.66	15.6	2.06	5.17	6.80	31.2	10.3	0.239	348
	2.5	3.56	4.54	19.0	2.05	6.30	8.36	38.0	12.6		281
	3.0	4.24	5.40	22.2	2.03	7.37	9.86	44.4	14.7		236
88.9	4.0	5.55	7.07	28.2	2.00	9.34	12.7	56.3	18.7	0.279	180
	5.0	6.82	8.69	33.5	1.96	11.1	15.3	67.0	22.2		147
	2.0	3.65	4.66	32.0	2.62	8.40	11.0	64.0	16.8		274
101.6	2.5	4.54	5.78	39.2	2.60	10.3	13.5	78.4	20.6	0.319	220
	3.0	5.41	6.89	46.1	2.59	12.1	16.0	92.2	24.2		185
	4.0	7.11	9.06	59.1	2.55	15.5	20.8	118	31.0		141
114.3	5.0	8.77	11.2	70.9	2.52	18.6	25.3	142	37.3	0.359	114
	6.0	10.4	13.2	81.8	2.49	21.5	29.6	164	43.0		96.4
	6.3	10.8	13.8	84.8	2.48	22.3	30.8	170	44.6		92.2
127	2.0	4.29	5.46	51.6	3.07	11.6	15.1	103	23.2	0.279	233
	2.5	5.33	6.79	63.4	3.06	14.3	18.7	127	28.5		188
	3.0	6.36	8.10	74.8	3.04	16.8	22.1	150	33.6		157
141.3	4.0	8.38	10.7	96.3	3.00	21.7	28.9	193	43.3	0.319	119
	5.0	10.3	13.2	116	2.97	26.2	35.2	233	52.4		96.7
	6.0	12.3	15.6	135	2.94	30.4	41.3	270	60.7		81.5
152.4	6.3	12.8	16.3	140	2.93	31.5	43.1	280	63.1	0.359	77.9
	2.0	4.91	6.26	77.6	3.52	15.3	19.8	155	30.6		204
	2.5	6.11	7.78	95.6	3.50	18.8	24.6	191	37.6		164
165.1	3.0	7.29	9.29	113	3.49	22.3	29.2	226	44.5	0.319	137
	4.0	9.63	12.3	146	3.45	28.8	38.1	293	57.6		104
	5.0	11.9	15.2	177	3.42	34.9	46.7	355	69.9		84.0
177.8	6.0	14.1	18.0	207	3.39	40.7	54.9	413	81.4	0.359	70.7
	6.3	14.8	18.9	215	3.38	42.3	57.3	430	84.7		67.5
	2.5	6.89	8.78	137	3.95	24.0	31.3	275	48.0		145
190.5	3.0	8.23	10.5	163	3.94	28.4	37.2	325	56.9	0.359	121
	4.0	10.9	13.9	211	3.90	36.9	48.7	422	73.9		91.9
	5.0	13.5	17.2	257	3.87	45.0	59.8	514	89.9		74.2
203.2	6.0	16.0	20.4	300	3.83	52.5	70.4	600	105	0.359	62.4
	6.3	16.8	21.4	313	3.82	54.7	73.6	625	109		59.6
	8.0	21.0	26.7	379	3.77	66.4	90.6	759	133		47.7

Calidades: S 275 JOH y S 355 J2H

PLANOS

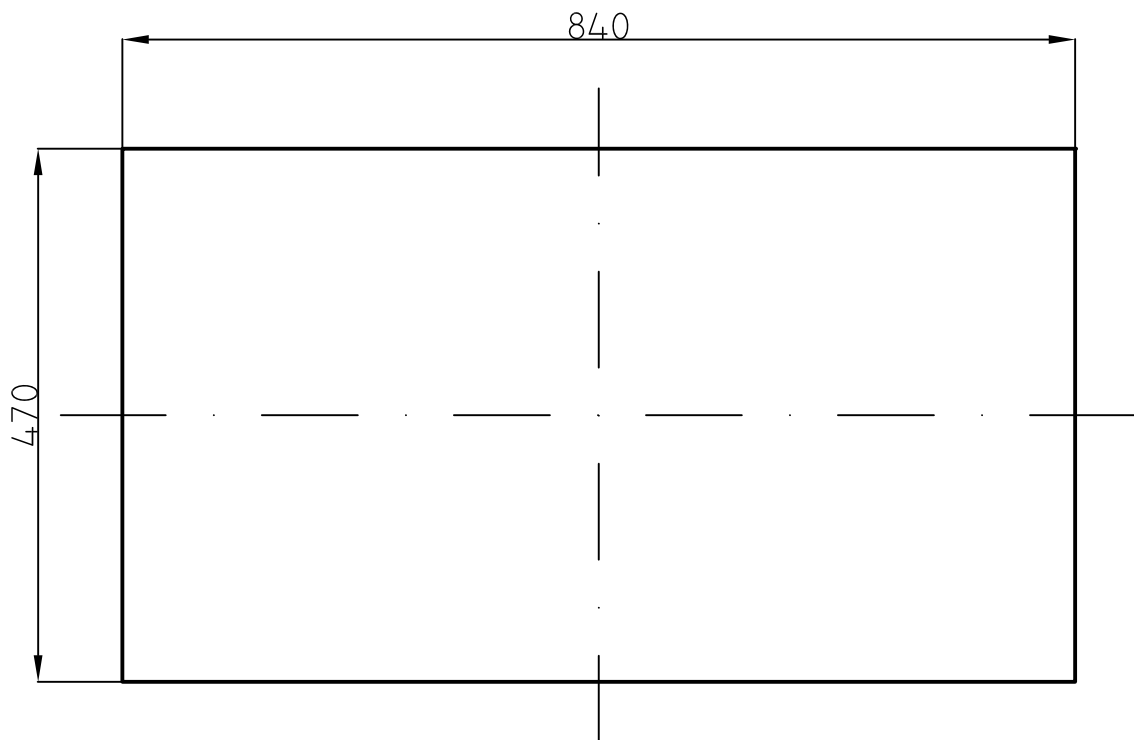


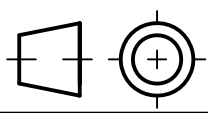

Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
1:20	CAJÓN CERRADO			
	Título			
	CAJÓN CERRADO			Conjunto nº 1.00
				Plano nº 1.00

1.05	2	Enganche		S355 e=15mm	
1.04	1	Collarín		S355 e=4mm	
1.03	1	Perfil		S355 125x125x4x1500	
1.02	2	Tirantes		S355 e=5mm	
1.01	1	Trasera		S355 e=5mm	
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas	
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma		
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto			
Escala	Conjunto				
	Título				Conjunto nº 1.00
	CAJÓN CERRADO				Plano nº 1.00 Lista

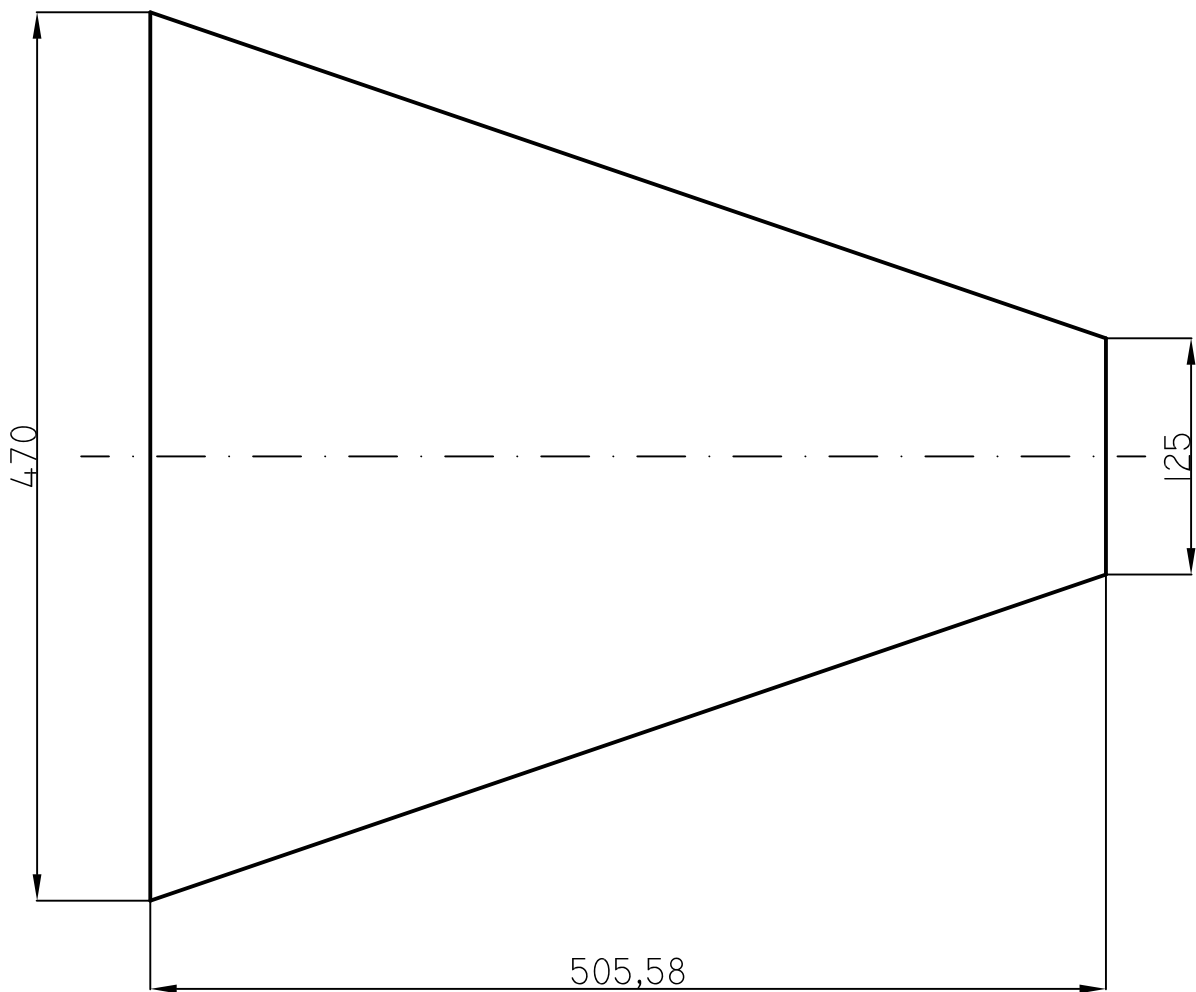
En todas las superficies 

Espesor = 5mm

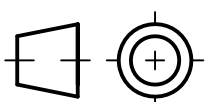



1.01	1	Trasera		S355 e=5mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto	CAJÓN CERRADO		
3: 20	Título	TRASERA		
			Conjunto nº	1.00
			Plano nº	1.01

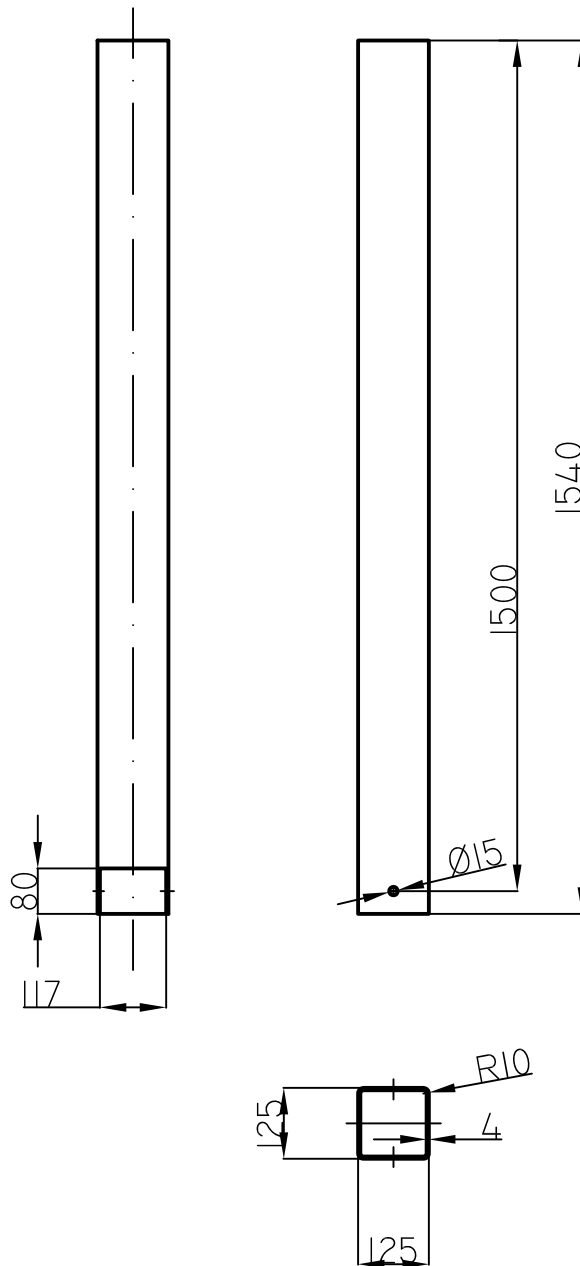
Espesor = 5mm

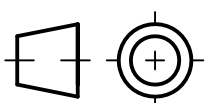



En todas las superficies 

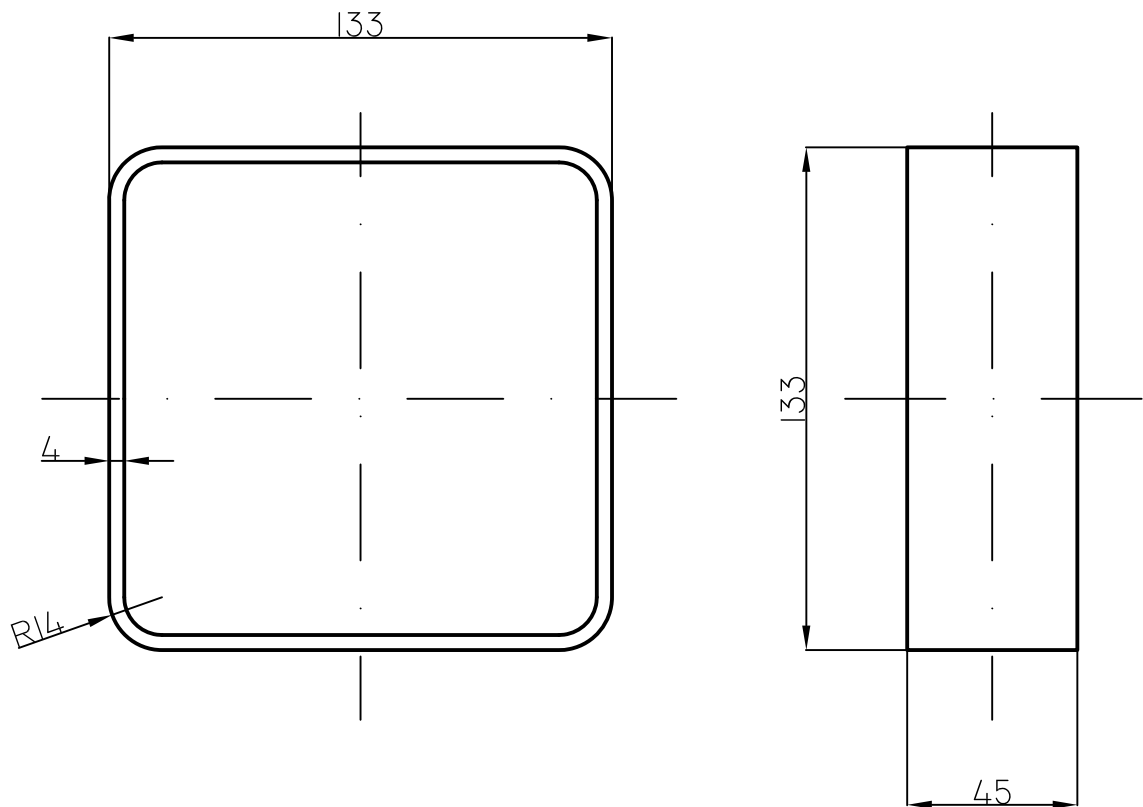
1.02	2	Tirantes		S355 e=5mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 1: 4	Conjunto			
	CAJÓN CERRADO			
	Título			
	TIRANTE			
			Conjunto nº	1.00
			Plano nº	1.02

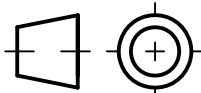

En todas las superficies 



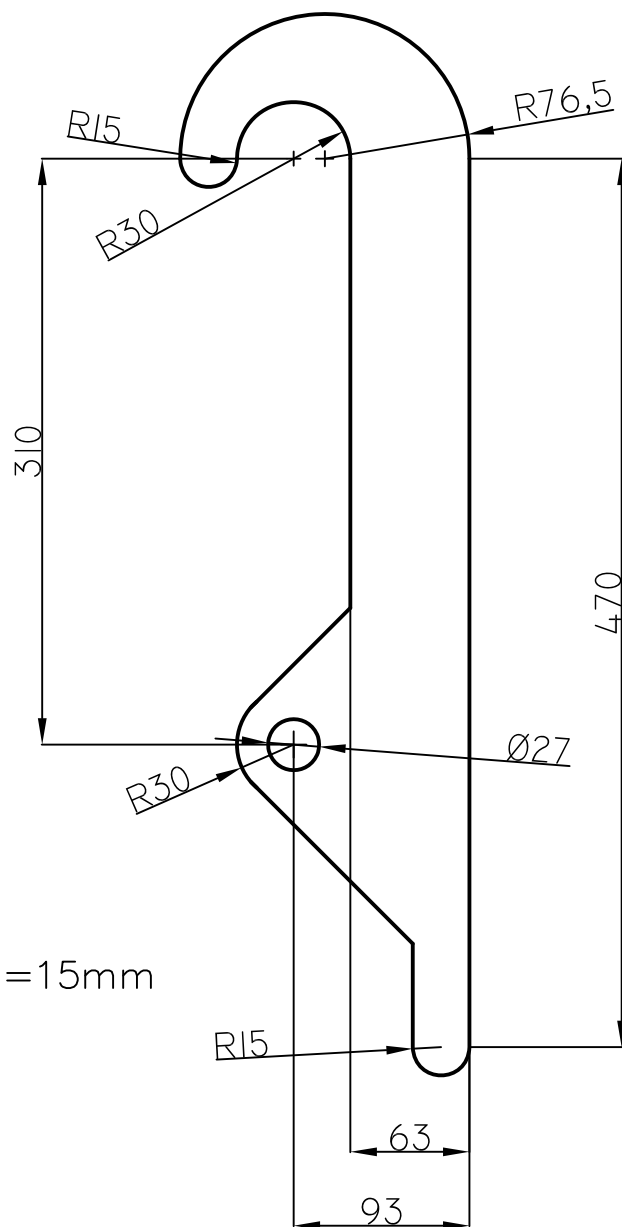
1.03	1	Perfil		S355 125x125x4x1500
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 3: 40	Conjunto	CAJÓN CERRADO		
	Título	PERFIL		
				Conjunto nº
			Plano nº	1.03

En todas las superficies $\nabla \frac{N9}{}$

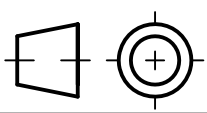



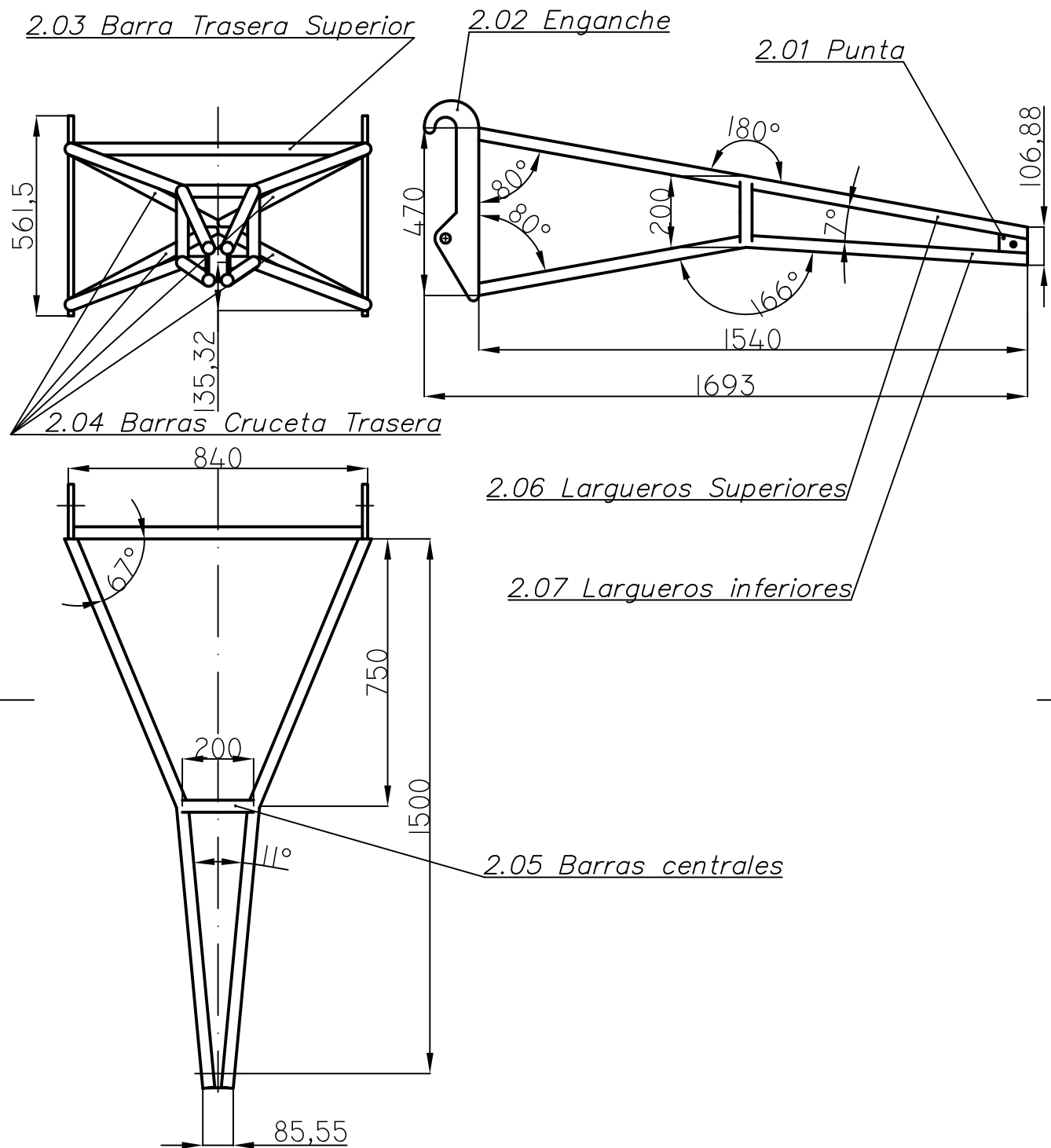
1.04	1	Collarín		S355 e=4mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 1:2	Conjunto	CAJÓN CERRADO		
	Título	COLLARÍN		
		Conjunto nº	1.00	
			Plano nº	1.04

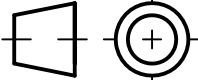

En todas las superficies 




Espesor = 15mm

1.05	2	Enganche		S355 e=15mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
	CAJÓN CERRADO			
	Título			
1: 4	ENGANCHE		Conjunto nº 1.00	
			Plano nº 1.05	



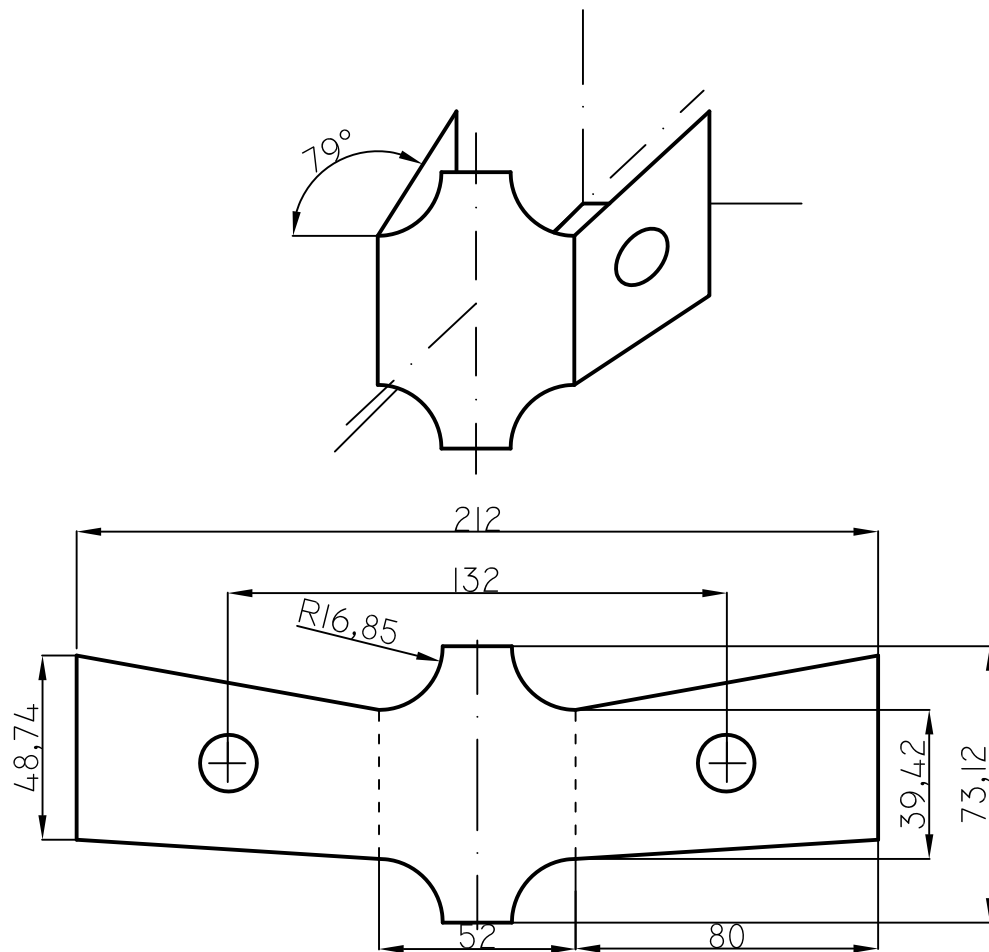
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
	TUBULAR			
	Título			
3: 50		TUBULAR	Conjunto nº 2.00	
			Plano nº 2.00	

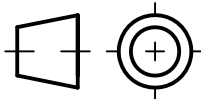

2.07	2	Largueros Inferiores		S355 $\varnothing 33.7$ e=3mm
2.06	2	Largueros Superiores		S355 $\varnothing 33.7$ e=3mm
2.05	4	Barras Centrales		S355 $\varnothing 33.7$ e=3mm
2.04	4	Barras Cruceta Trasera		S355 $\varnothing 33.7$ e=3mm
2.03	1	Barra Trasera Superior		S355 $\varnothing 33.7$ e=3mm
2.02	2	Enganche		S355 e=15mm
2.01	1	Punta		S355 e=6mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
	TUBULAR			
	Título			
	TUBULAR			Conjunto nº 2.00
				Plano nº 2.00 Lista

En todas las superficies 

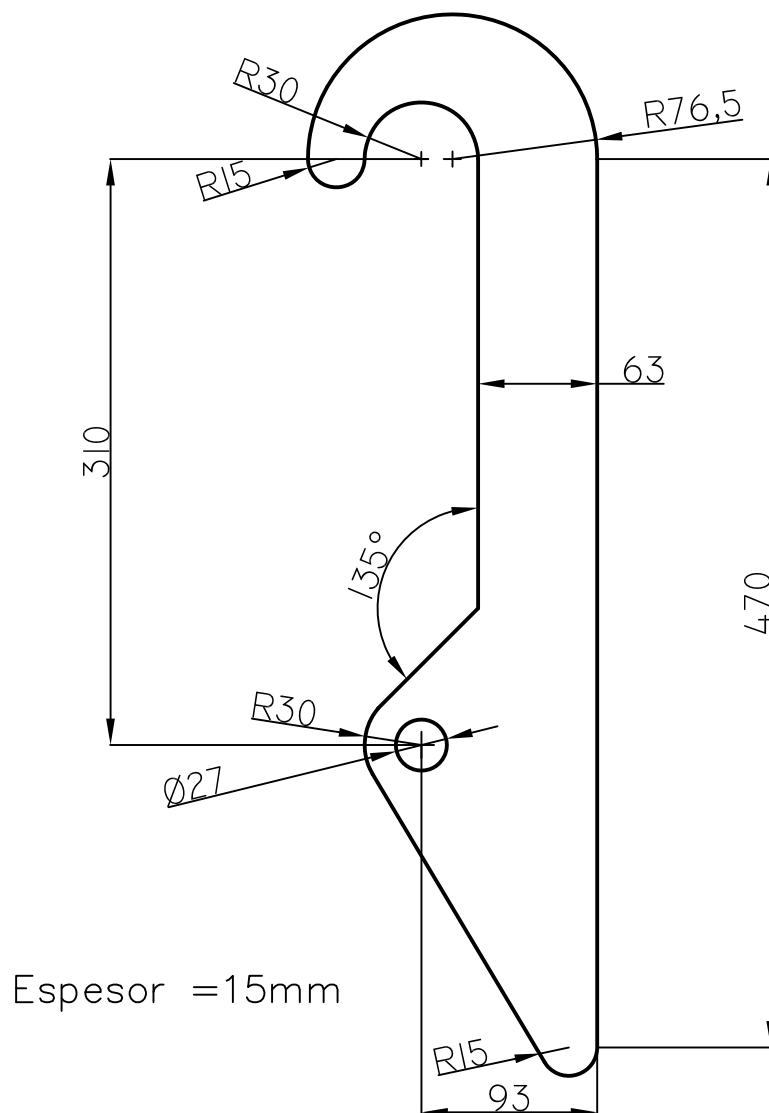
Espesor = 6mm

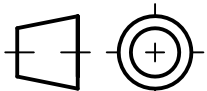

Doblar a 79° por líneas de trazos



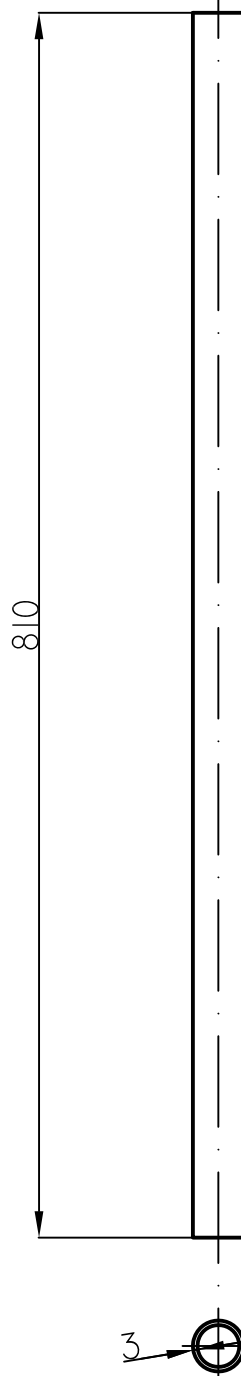
2.01	1	Punta		S355 e=6mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto	TUBULAR		
1:2	Título			
		Conjunto nº		2.00
		Plano nº		2.01

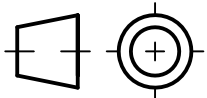

En todas las superficies 



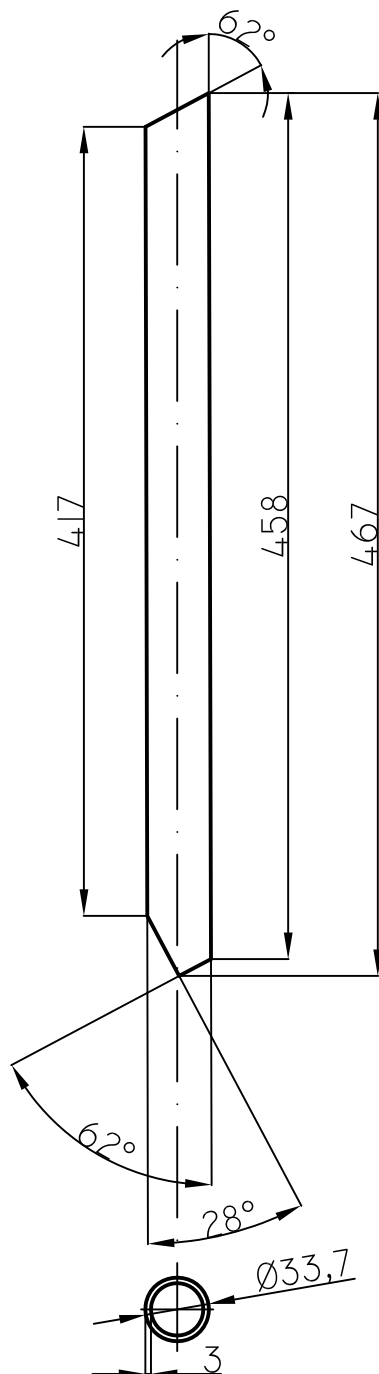
2.02	2	Enganche		S355 e=15mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 1: 4	Conjunto	TUBULAR		
	Título	ENGANCHE		
			Conjunto nº	
			Plano nº	2.02

En todas las superficies 



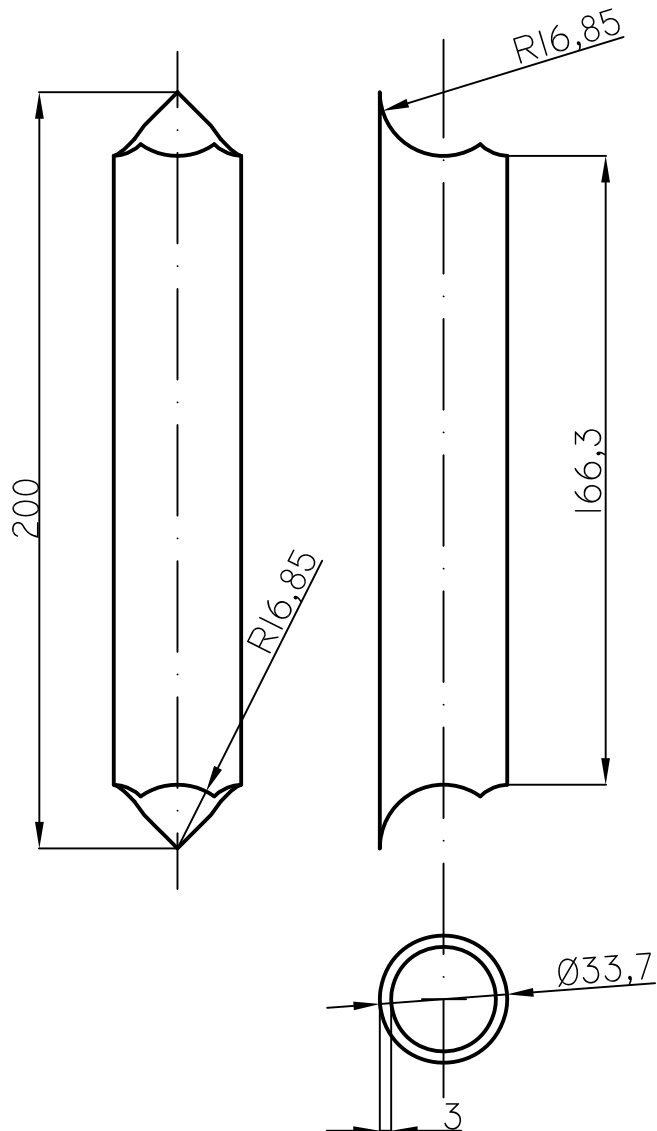
2.03	1	Barra Tasera Superior		S355 ø33.7 e=3mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 1:5	Conjunto TUBULAR		 Conjunto nº 2.00 Plano nº 2.03	
	Título BARRA TRASERA SUPERIOR			

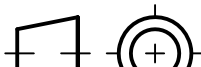

En todas las superficies $\nabla \frac{N9}{}$

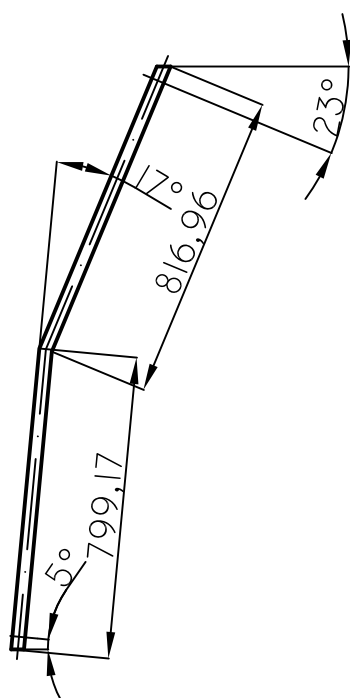


2.04	4	Barras Cruceta Trasera		S355 ø33.7 e=3mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto	TUBULAR		
	Título	BARRAS CRUCETA TRASERA		
	1: 4			
			Conjunto nº	2.00
			Plano nº	2.04

En todas las superficies $\nabla \frac{N9}{}$

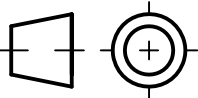



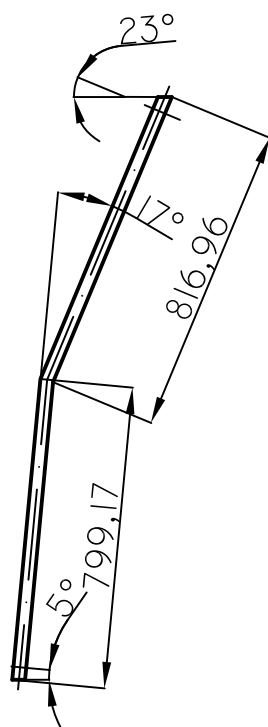
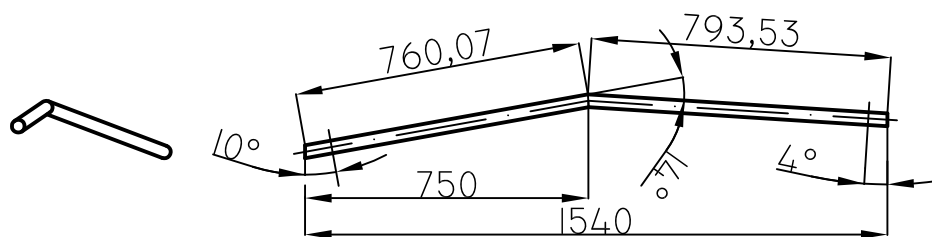
2.05	4	Barras Centrales		S355 ø33.7 e=3mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala 1:2	Conjunto	TUBULAR		
	Título	BARRAS CENTRALES		
				Conjunto nº
			Plano nº	2.05



En todas las superficies $\nabla \frac{N9}{\quad}$

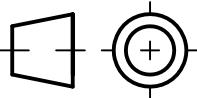

Tubo $\phi_{ext} 33.7$
 $e = 3mm$

2.06	2	Largueros Superiores		S355 ø33.7 e=3mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
	TUBULAR			
	Título			
1:20	LARGUEROS SUPERIORES		Conjunto nº	2.00
			Plano nº	2.06



En todas las superficies 

Tubo $\phi_{ext} 33.7$
 $e = 3mm$

2.07	2	Largueros Inferiores		S355 ø33.7 e=3mm
Marca	Nº piezas	Designación y observaciones	Norma	Material y medidas
	Fecha	Nombre y Apellidos	Firma	
Dibujado	17/02/2011	David del Barrio Porto		
Escala	Conjunto			
	TUBULAR			
	Título			
1:20	LARGUEROS INFERIORES		Conjunto nº 2.00	
			Plano nº 2.07	