



Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una grúa tipo pluma de 2.000
kg de capacidad

Design and calculation for jib type crane with 2.000
kg of capacity

Anexo I. Cálculo de la nave

Autor

Isabel Ciria Aylagas

Director

Paula Canalís Martínez

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza.
Noviembre 2017



ÍNDICE

| | | |
|-----|------------------------------------------------------|----|
| 1. | Introducción | 2 |
| 2. | Características de la nave..... | 2 |
| 3. | Acciones | 2 |
| 3.1 | Acciones permanentes. Peso propio..... | 2 |
| 3.2 | Acciones variables. Sobrecarga de uso. | 3 |
| 3.3 | Acciones variables. Viento. | 3 |
| 3.4 | Acciones variables. Nieve..... | 8 |
| 4. | Cálculo de un pórtico intermedio..... | 9 |
| 4.1 | Cálculo del pórtico teniendo en cuenta la grúa. | 9 |
| 4.2 | Cálculo del pórtico sin tener en cuenta la grúa..... | 14 |
| 5. | Conclusión | 17 |



1. INTRODUCCIÓN

En este anexo se van a analizar las cargas que afectan a la nave industrial, donde se quiere fijar la pluma de estudio, y se realizará el cálculo resistente de la misma para comprobar que es capaz de soportar los esfuerzos provocados por el pescante sin que se produzca fallo.

Este cálculo se realiza de acuerdo al Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación (DS-SE-AE).

2. CARACTERÍSTICAS DE LA NAVE

La nave objeto de análisis tiene las siguientes características en cuanto a sus dimensiones y estructura:

- Dimensión de planta: 36,52 x 18,4 m → Superficie total: 671,97 m²
- Pendiente cubierta 30 %
- Altura al alero de cubierta: 6,50 m desde zapata
- Estructura metálica
- Cubierta metálica tipo “sándwich” de 4 cm de espesor, con aislamiento
- Muro almacenamiento de cereales, de hormigón armado y 2,70 m de altura

3. ACCIONES

Afectan a la nave tanto acciones permanentes como variables. Las acciones permanentes consideradas son el peso propio de los elementos que se sustentan sobre los pórticos, mientras que las variables son la carga de viento, la de nieve y la sobrecarga de uso.

Todas estas acciones se definen y calculan a continuación.

3.1 Acciones permanentes. Peso propio.

El peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, cerramientos y elementos separadores, tabiquería, revestimientos rellenos y equipo fijo. En este caso únicamente se va a considerar el peso de las correas que forman la cubierta el cerramiento.

La cubierta está formada por panel “sándwich” de chapa de acero con aislamiento de espuma de poliuretano de 40 mm de espesor total y 40 kg/m³. La carga que produce sobre un pórtico intermedio será:

$$q_{CP,panel} = 40 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,04 m \cdot 6 m \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 94,176 N/m$$

Las correas son tipo ZF 200x2,5 con un peso de 7,47 kg/m. Cada alero de la cubierta soporta el peso de 7 correas separadas 1,5 m entre sí. En el diagrama de sólido libre del pórtico se



observarían 7 cargas puntuales del mismo valor separadas a la misma distancia sobre cada alero, por lo que la carga distribuida resultante de las correas es:

$$q_{CP,correas} = \frac{7,47 \text{ kg/m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 7 \text{ correas}}{9 \text{ m}} = 341.977 \text{ N/m}$$

Por lo tanto, la carga permanente total que afecta a la estructura es la suma de la carga de los paneles y la de las correas y es igual a:

$$q_{CP} = 436,153 \text{ N/m}$$

3.2 Acciones variables. Sobrecarga de uso.

La sobrecarga de uso es todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de su uso. El valor se obtendrá de la tabla 1 del Documento Básico de Acciones en la Edificación, donde se muestran las diferentes categorías de uso. Para este caso, la sobrecarga de uso es igual a 0,4 kN/m² ya que la cubierta es accesible únicamente para su conservación y tiene una inclinación inferior a 20º.

Tabla 1. Valores característicos de las sobrecargas de uso.

| Categoría de uso | | Subcategorías de uso | | Carga uniforme [kN/m ²] | Carga concentrada [kN] |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|
| A | Zonas residenciales | A1 | Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles | 2 | 2 |
| | | A2 | Trasteros | 3 | 2 |
| B | Zonas administrativas | | | 2 | 2 |
| C | Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D) | C1 | Zonas con mesas y sillas | 3 | 4 |
| | | C2 | Zonas con asientos fijos | 4 | 4 |
| | | C3 | Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc. | 5 | 4 |
| | | C4 | Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas | 5 | 7 |
| | | C5 | Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc) | 5 | 4 |
| D | Zonas comerciales | D1 | Locales comerciales | 5 | 4 |
| | | D2 | Supermercados, hipermercados o grandes superficies | 5 | 7 |
| E | Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN) | | | 2 | 20 ⁽¹⁾ |
| F | Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾ | | | 1 | 2 |
| G | Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾ | G1 ⁽⁷⁾ | Cubiertas con inclinación inferior a 20º | 1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾ | 2 |
| | | | Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾ | 0,4 ⁽⁴⁾ | 1 |
| | | G2 | Cubiertas con inclinación superior a 40º | 0 | 2 |

3.3 Acciones variables. Viento.

La acción del viento sobre la estructura se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Donde q_b Presión dinámica del viento



c_e Coeficiente de exposición

c_p Coeficiente eólico o de presión

El valor de la presión dinámica del viento y de los coeficientes de exposición y de presión dependen principalmente de dónde se sitúe la nave dentro del mapa español, de la aspereza del terreno y de la apertura de huecos de la estructura.

Sabiendo que la nave se sitúa en Tardajos de Duero, Soria, en un terreno rural llano sin obstáculos y que la suma de huecos de la estructura es menor al 30 % del total, se procede al cálculo.

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de la figura 1. El de la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m², 0,45 kN/m² y 0,52 kN/m² para las zonas A, B y C de dicho mapa.



Figura 1. Valor básico de la velocidad del viento.

Por lo que el valor de q_b que se toma en el cálculo es de 0,42 kN/m².

El valor de c_e es variable con la altura del punto considerado, en función del grado de espereza del entorno donde se ubique, como se ve en la tabla 2.

Tabla 2. Valores del coeficiente de exposición c_e .

| Grado de aspereza del entorno | Altura del punto considerado (m) | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 | 18 | 24 | 30 |
| I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,4 | 3,5 | 3,7 |
| II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia | 2,1 | 2,5 | 2,7 | 2,9 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,5 |
| III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas | 1,6 | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 2,6 | 2,7 | 2,9 | 3,1 |
| IV Zona urbana en general, industrial o forestal | 1,3 | 1,4 | 1,7 | 1,9 | 2,1 | 2,2 | 2,4 | 2,6 |
| V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,4 | 1,5 | 1,6 | 1,9 | 2,0 |



Puesto que las fachadas laterales tienen una altura de 6 m y la altura de la cubierta es de 8,7 m se toman los siguientes valores para el cálculo de cada una:

$$\begin{array}{ll} c_e \text{ fachada lateral} & \rightarrow 2,5 \\ c_e \text{ cubierta} & \rightarrow 2,68 \end{array}$$

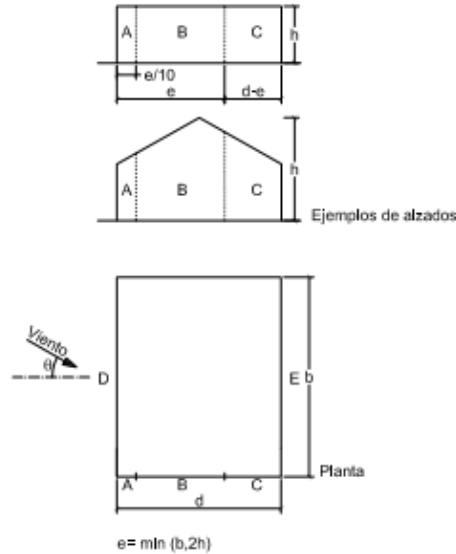
El valor del coeficiente eólico depende de la forma y orientación de la superficie respecto al viento. En el Documento Básico de Seguridad Estructural se muestran diversas formas de construcciones y sus respectivos coeficientes de presión.

Puesto que se quiere estudiar la resistencia de los pilares de la nave, para el cálculo se toma la dirección del viento perpendicular a la fachada lateral, ya que además es la situación más desfavorable.

Parámetros verticales

Por un lado, se calculan las cargas que actúan sobre las paredes de la nave a partir de los coeficientes de presión dados en el DB-SE-AE y las características de la nave.

Tabla 3. Parámetros verticales.



| A (m ²) | h/d | Zona (según figura), -45° < θ < 45° | | | | |
|------------------------|-------------|-------------------------------------|------|------|-----|------|
| | | A | B | C | D | E |
| ≥ 10 | 5 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,8 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | $\leq 0,25$ | " | " | | 0,7 | -0,3 |
| 5 | 5 | -1,3 | -0,9 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | $\leq 0,25$ | " | " | " | 0,8 | -0,3 |
| 2 | 5 | -1,3 | -1,0 | -0,5 | 0,9 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | $\leq 0,25$ | " | " | " | 0,7 | -0,3 |
| ≤ 1 | 5 | -1,4 | -1,1 | -0,5 | 1,0 | -0,7 |
| | 1 | " | " | " | " | -0,5 |
| | $\leq 0,25$ | " | " | " | " | -0,3 |

Los parámetros de la nave necesarios para el cálculo se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Principales parámetros de la nave.

| | |
|----------|----------|
| h | 8,7 m |
| h_1 | 6 m |
| d | 18 m |
| b | 36 m |
| α | 16.699 ° |

A partir de estos valores se puede calcular la esbeltez y el valor de e, para después realizar el cálculo de las cargas como se muestra a continuación:



$$\text{Esbeltez: } \frac{h}{d} = \frac{8,7}{18} = 0,485 \approx 0,5$$

$$e = \min(b, 2h) = 2 \cdot h = 17,4$$

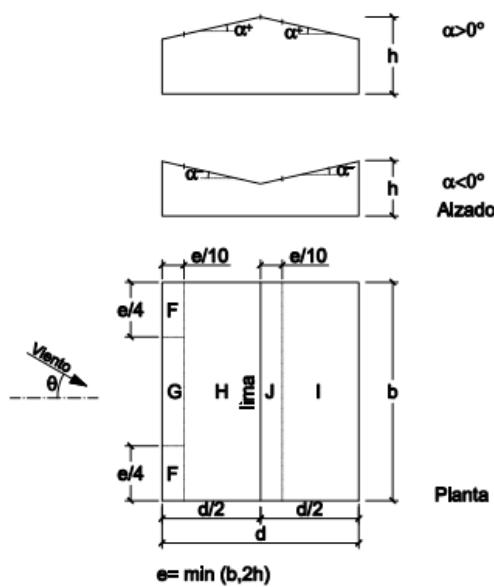
Tabla 5. Resultados de parámetros verticales.

| Área de las zonas (m ²) | | A | B | C | D | E |
|-------------------------------------|------|---------|---------|--------|-------|--------|
| 10,8941 | | 10,8941 | 117,752 | 3,654 | 216 | 216 |
| h/d | 1 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,8 | -0,5 |
| | 0,25 | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,7 | -0,3 |
| Cp | | -1,2 | -0,8 | -0,5 | 0,731 | -0,362 |
| Cp*Ce | | -3 | -2 | -1,25 | 1,828 | -0,906 |
| q(kN/m ²) | | -1,26 | -0,84 | -0,525 | 0,768 | -0,380 |

Cubierta

Por otro lado, se calculan las cargas que actúan sobre la cubierta. En este caso, la acción del viento puede ser de presión o de succión, porque se calculan las dos posibilidades.

Tabla 6. Cubierta a dos aguas. Dirección del viento -45° ≤ θ ≥ 45°.





| Pendiente de la cubierta α | A (m^2) | Zona (según figura) | | | | |
|-----------------------------------|-------------|---------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | F | G | H | I | J |
| -45° | ≥ 10 | -0,6 | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -1 |
| | ≤ 1 | -0,6 | -0,6 | -0,8 | -0,7 | -1,5 |
| -30° | ≥ 10 | -1,1 | -0,8 | -0,8 | -0,6 | -0,8 |
| | ≤ 1 | -2 | -1,5 | -0,8 | -0,6 | -1,4 |
| -15° | ≥ 10 | -2,5 | -1,3 | -0,9 | -0,5 | -0,7 |
| | ≤ 1 | -2,8 | -2 | -1,2 | -0,5 | -1,2 |
| -5° | ≥ 10 | -2,3 | -1,2 | -0,8 | 0,2 | 0,2 |
| | ≤ 1 | -2,5 | -2 | -1,2 | 0,2 | 0,2 |
| 5° | ≥ 10 | -1,7 +0,0 | -1,2 +0,0 | -0,6 +0,0 | -0,6 | 0,2 -0,6 |
| | ≤ 1 | -2,5 +0,0 | -2 +0,0 | -1,2 +0,0 | -0,6 | 0,2 -0,6 |
| 15° | ≥ 10 | -0,9 0,2 | -0,8 0,2 | -0,3 0,2 | -0,4 +0,0 | -1 +0,0 |
| | ≤ 1 | -2 0,2 | -1,5 0,2 | -0,3 0,2 | -0,4 +0,0 | -1,5 +0,0 |
| 30° | ≥ 10 | -0,5 0,7 | -0,5 0,7 | -0,2 0,4 | -0,4 0 | -0,5 0 |
| | ≤ 1 | -1,5 0,7 | -1,5 0,7 | -0,2 0,4 | -0,4 0 | -0,5 0 |
| 45° | ≥ 10 | -0,0 0,7 | -0,0 0,7 | -0,0 0,6 | -0,2 +0,0 | -0,3 +0,0 |
| | ≤ 1 | -0,0 0,7 | -0,0 0,7 | -0,0 0,6 | -0,2 +0,0 | -0,3 +0,0 |
| 60° | ≥ 10 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | -0,2 | -0,3 |
| | ≤ 1 | 0,7 | 0,7 | 0,7 | -0,2 | -0,3 |
| 75° | ≥ 10 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | -0,2 | -0,3 |
| | ≤ 1 | 0,8 | 0,8 | 0,8 | -0,2 | -0,3 |

Con los datos de la nave, de esbeltez y del parámetro e, se calcula la acción del viento de presión y de succión.

- Succión

Tabla 7. Resultados de cálculo de cubierta. Succión.

| Área de las zonas (m^2) | | F | G | H | I | J |
|-----------------------------|----|--------|--------|---------|---------|-------|
| | | 15,138 | 47,502 | 275,626 | 275,626 | 62,64 |
| α | 30 | -0,5 | -0,5 | -0,2 | -0,4 | -0,5 |
| | 15 | -0,9 | -0,8 | -0,3 | -0,4 | -1 |
| Cp | | -0,85 | -0,77 | -0,29 | -0,40 | -0,94 |
| Cp*Ce | | -2,29 | -2,05 | -0,77 | -1,07 | -2,53 |
| q(kN/m^2) | | -0,96 | -0,86 | -0,32 | -0,45 | -1,06 |

Se calcula la media ponderada de cada lado de la cubierta:

$$\begin{array}{lll} \text{Barlovento} & \rightarrow & -0,429 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Sotavento} & \rightarrow & -0,563 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$



- Presión

Tabla 8. Resultados de cálculo de cubierta. Presión.

| Área de las zonas (m ²) | | F | G | H | I | J |
|-------------------------------------|----|--------|--------|---------|---------|-------|
| | | 15,138 | 47,502 | 275,626 | 275,626 | 62,64 |
| α | 30 | 0,7 | 0,7 | 0,4 | 0 | 0 |
| | 15 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0 | 0 |
| Cp | | 0,26 | 0,26 | 0,22 | 0,00 | 0,00 |
| Cp*Ce | | 0,69 | 0,69 | 0,60 | 0,00 | 0,00 |
| q(kN/m ²) | | 0,29 | 0,29 | 0,25 | 0,00 | 0,00 |

Se calcula la media ponderada de cada lado de la cubierta:

$$\begin{array}{ll} \text{Barlovento} & \rightarrow 0,258 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Sotavento} & \rightarrow 0 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Como se puede observar, es más desfavorable la situación en la que la acción del viento es de succión, así que se utilizarán dichos valores para los siguientes cálculos.

3.4 Acciones variables. Nieve.

La carga de nieve que actúa sobre la cubierta depende del clima del lugar donde esté situada la nave y de la forma de la cubierta. La situación de la nave pertenece a la zona climática invernal 3, con una exposición al viento normal y una altitud de 1.063 m.

Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$q_n = \mu \cdot s_k$$

Donde μ Coeficiente de forma de la cubierta

s_k Valor característico de la carga de nieve sobre el terreno horizontal

Siendo el coeficiente de forma de cubierta, μ , igual a 1 por no tener impedimento al desplazamiento de la nieve y por tener una inclinación de cubierta menor que 30º. Mientras que el valor característico de la carga de nieve, s_k , es igual a 0,9 por estar situada en Soria, como se puede ver en la siguiente tabla 9.



Tabla 9. Sobrecarga de nieve en capitales de provincia y ciudades autónomas.

| Capital | Altitud m | s_k kN/m ² | Capital | Altitud m | s_k kN/m ² | Capital | Altitud m | s_k kN/m ² |
|--------------------|-----------|-------------------------|-------------------|-----------|-------------------------|----------------------------|-----------|-------------------------|
| Albacete | 690 | 0,6 | Guadalajara | 680 | 0,6 | Pontevedra | 0 | 0,3 |
| Alicante / Alacant | 0 | 0,2 | Huelva | 470 | 0,2 | Salamanca | 780 | 0,5 |
| Almería | 1.130 | 0,2 | Huesca | 570 | 0,7 | SanSebas- tián/Donostia | 0 | 0,3 |
| Ávila | 180 | 1,0 | Jaén | 820 | 0,4 | Santander | 1.000 | 0,3 |
| Badajoz | 0 | 0,2 | León | 150 | 1,2 | Segovia | 10 | 0,7 |
| Barcelona | 0 | 0,4 | Lérida / Lleida | 380 | 0,5 | Sevilla | 1.090 | 0,9 |
| Bilbao / Bilbo | 860 | 0,3 | Logroño | 470 | 0,6 | Soria | 0 | 0,4 |
| Burgos | 440 | 0,6 | Lugo | 660 | 0,7 | Tarragona | 0 | 0,2 |
| Cáceres | 0 | 0,4 | Madrid | 0 | 0,6 | Tenerife | 950 | 0,2 |
| Cádiz | 0 | 0,2 | Málaga | 40 | 0,2 | Teruel | 550 | 0,9 |
| Castellón | 640 | 0,2 | Murcia | 130 | 0,2 | Toledo | 0 | 0,5 |
| Ciudad Real | 100 | 0,6 | Orense / Ourense | 230 | 0,4 | Valencia/València | 690 | 0,2 |
| Córdoba | 0 | 0,2 | Oviedo | 740 | 0,5 | Valladolid | 520 | 0,4 |
| Coruña / A Coruña | 1.010 | 0,3 | Palencia | 0 | 0,4 | Vitoria / Gasteiz | 650 | 0,7 |
| Cuenca | 70 | 1,0 | Palma de Mallorca | 0 | 0,2 | Zamora | 210 | 0,4 |
| Gerona / Girona | 690 | 0,4 | Palmas, Las | 0 | 0,2 | Zaragoza | 0 | 0,5 |
| Granada | 0,5 | | Pamplona/Iruña | 450 | 0,7 | Ceuta y Melilla | | 0,2 |

Por lo tanto el valor de la carga de nieve es:

$$q_n = 1 \cdot 0,9 = 0,9 \text{ kN/m}^2$$

4. CÁLCULO DE UN PÓRTICO INTERMEDIO

El valor de las cargas que actúan sobre los dos pórticos de las fachadas y las de los pórticos intermedios no tienen el mismo valor. En este apartado se analizan los esfuerzos que soporta un pórtico intermedio de la nave, puesto que, colocar la grúa en uno de ellos permite un ángulo de giro mayor que fijándola en el pórtico de las fachadas.

4.1 Cálculo del pórtico teniendo en cuenta la grúa.

Las cargas que afectan son las calculadas en el apartado anterior. A continuación, se muestran los diagramas de sólido libre para cada caso y seguidamente los esfuerzos que provocan todas las cargas permanentes y variables sobre el pórtico, además de las reacciones de la pluma al colocarla sobre uno de los pilares.



Peso propio

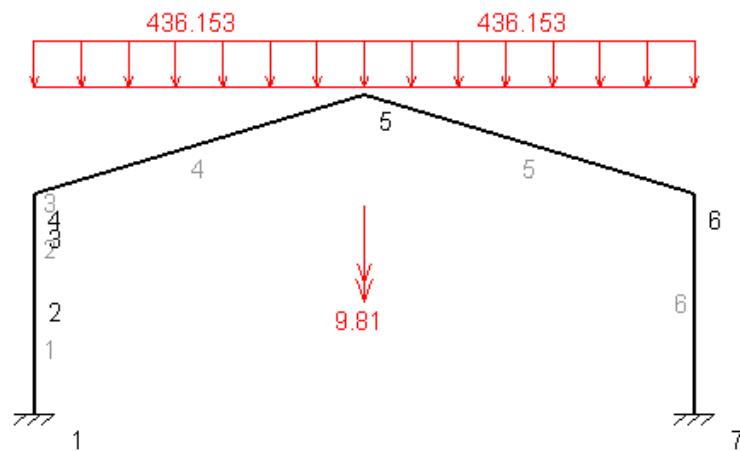


Figura 2. Representación carga de peso propio en MEFI.

Nieve

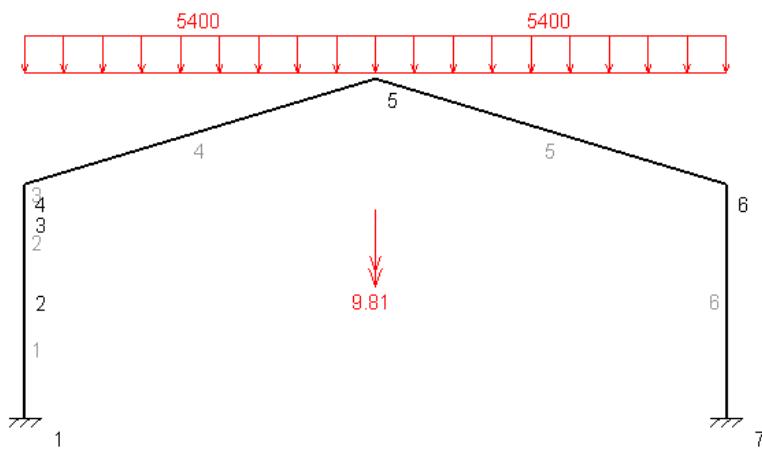


Figura 3. Representación carga de nieve en MEFI.

Viento

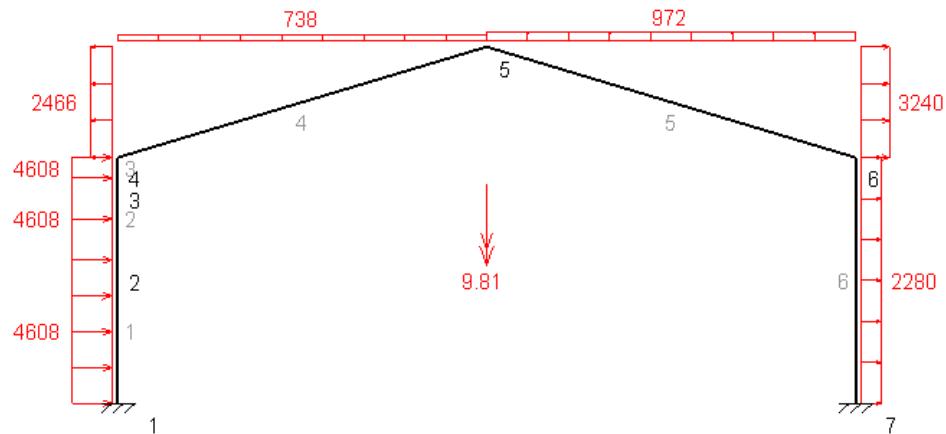


Figura 4. Representación carga de viento en MEFI.



Sobrecarga de uso

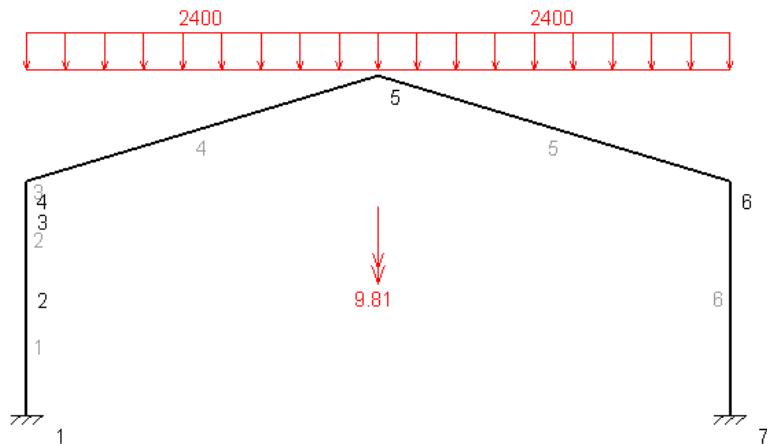


Figura 5. Representación de sobrecarga de uso en MEFI.

Pluma

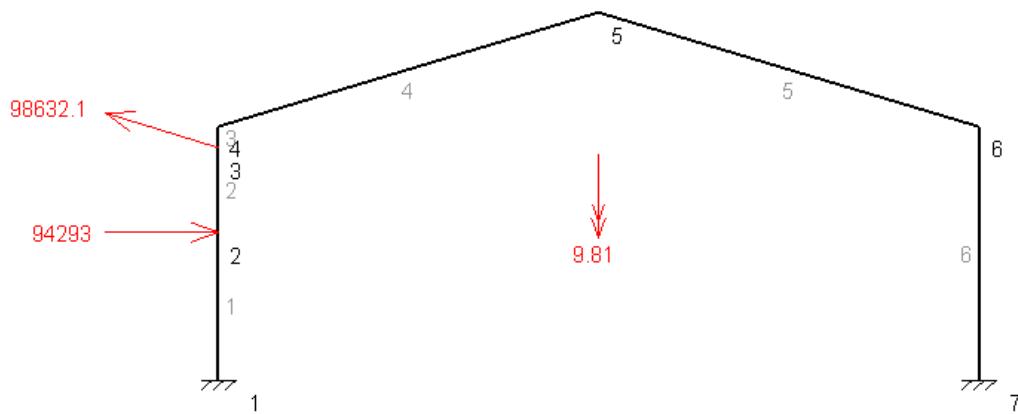


Figura 6. Representación carga producida por la pluma en MEFI.

Se calculan los diagramas de esfuerzos que originan las cargas al actuar a la vez sobre el pórtico. A continuación, se muestran los datos introducidos en MEFI para realizar el cálculo y los diagramas resultantes.



```

PARAMETROS
% par val
PP 436.153 %N/m
N 900*6 %N/m
V1 768*6 %N/m
V4 -380*6 %N/m
V2x -411*6 %N/m
V2y 123*6 %N/m
V3x 540*6 %N/m
V3y 162*6 %N/m
ss 400*6 %N/m
H1 94293 %N
H2 -94293 %N
V2 28933 %N

PUNTOS
% pto X Y
1 0 0
2 0 3.5
3 0 5.5
4 0 6
5 9 8.7
6 18 6
7 18 0

LINEAS
% lin tip pun
1 pol 1,2
2 POL 2,3
3 POL 3,4
4 pol 4,5
5 pol 5,6
6 POL 6,7

ELEMENTOS_LÍNEAS
% lin tip mat pro
1,2,3,6 RIG ACE HE320B
5,4 RIG ACE IPE360

DESPLAZAMIENTOS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est DX DY GZ
1,7 1 0.0 0.0 0.0

CARGAS_GRAVITATORIAS
% est ax aY
1 0.0 -9.81

CARGAS_GLOBALES_LÍNEAS
% lin est tipo px py
5,4 1 UNIFORME 0.0 -PP
5,4 1 UNIFORME 0.0 -N
1,2,3 1 UNIFORME V1 0.0
6 1 UNIFORME -V4 0.0
4 1 UNIFORME V2x V2y
5 1 UNIFORME V3x V3y
5,4 1 UNIFORME 0.0 -ss

CARGAS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est FX FY MZ
3 1 H2 V2 0.0
2 1 H1 0.0 0.0

```

Figura 7. Código del programa introducido en MEFI.

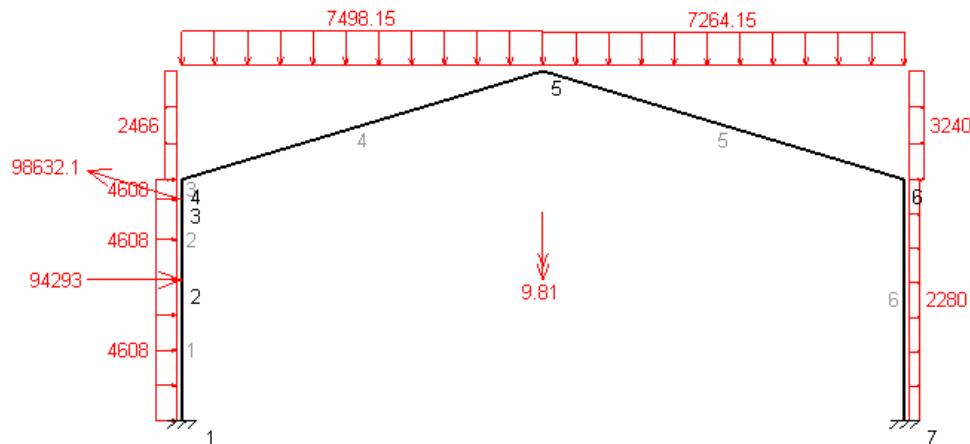


Figura 8. Representación de todas las cargas citadas anteriormente en MEFI.

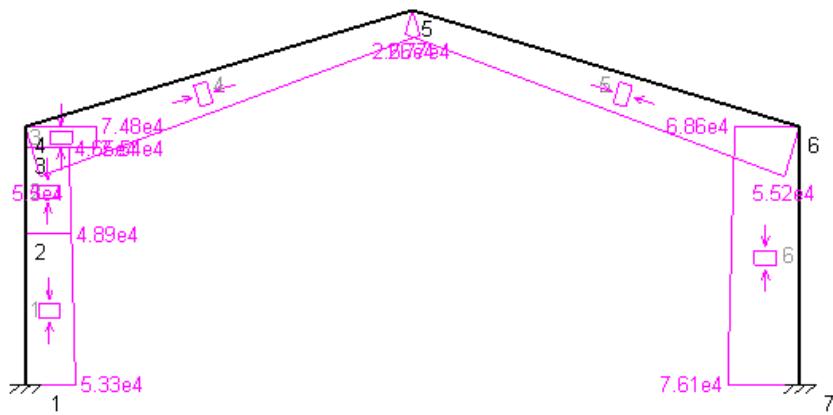


Figura 9. Diagrama de esfuerzos axiles.

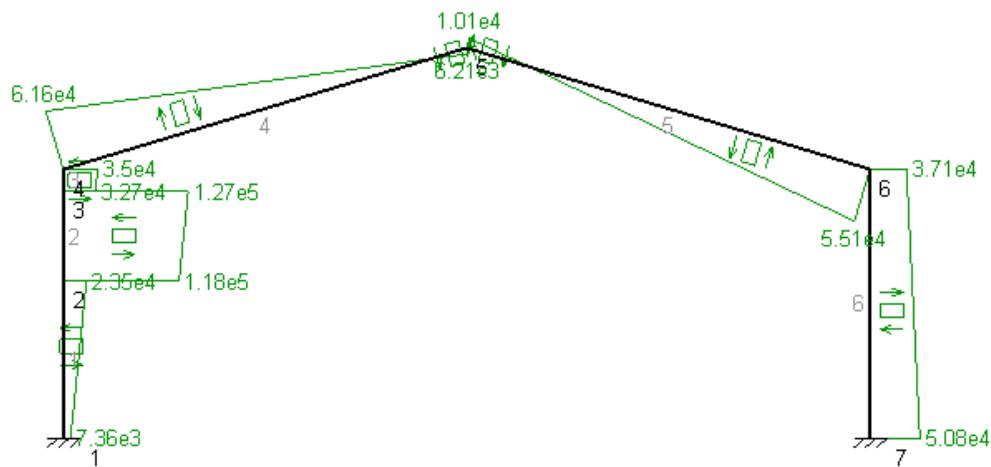


Figura 10. Diagrama de esfuerzos cortantes.

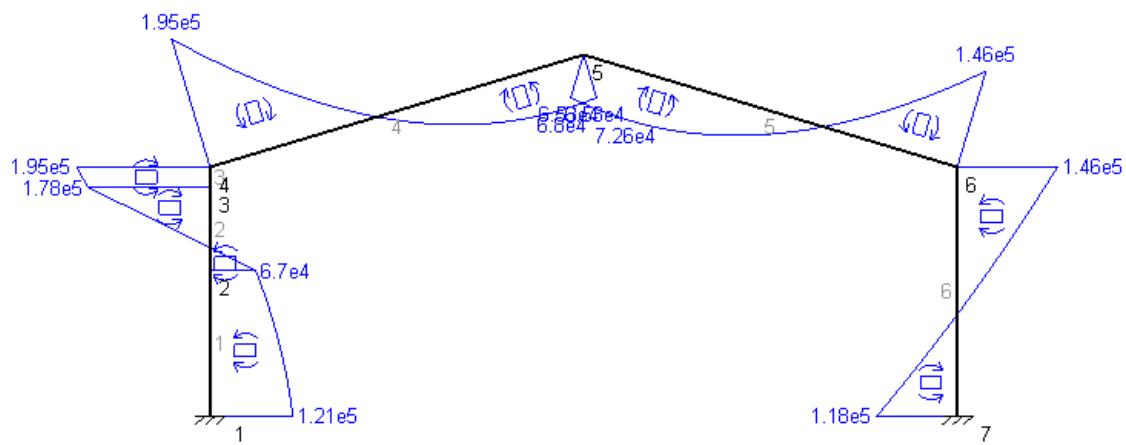


Figura 11. Diagrama de momentos flectores.

Además, en MEFI se puede obtener la sección más solicitada directamente, que se encuentra en una de las vigas de la cubierta, concretamente en la línea 5. Las tensiones producidas en esta sección se muestran en la figura 12.



Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises
Axil = -55015, cortante = 61556 y flector = -1.9475e5 (línea = 4, x = 0)
IPE360 : h = 360 mm, b = 170 mm, e = 8 mm y e1 = 12.7 mm

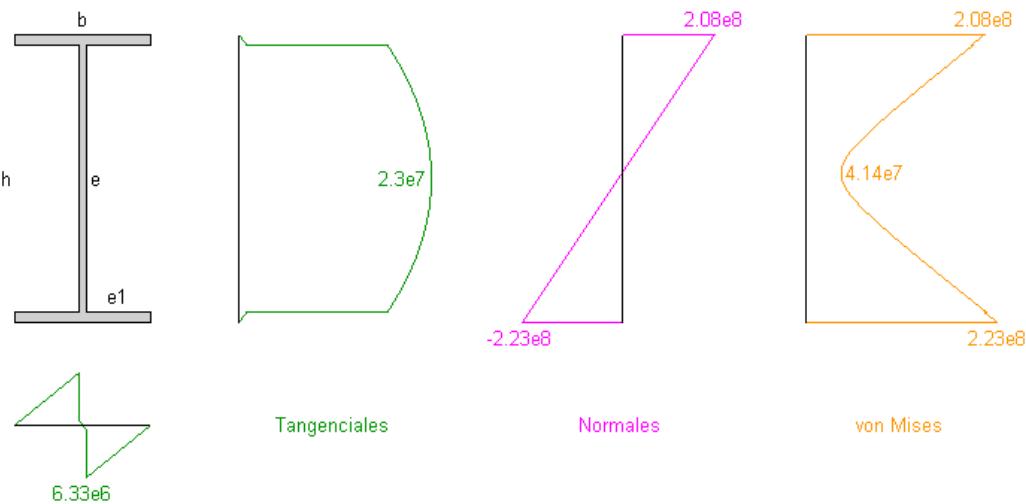


Figura 12. Tensiones tangenciales, normales y Von Mises en la sección más solicitada.

Se calcula el coeficiente de seguridad de la estructura a partir de la Teoría de Von Mises, utilizando en el cálculo la tensión dada por MEFI en dicha sección.

$$C_s = \frac{\sigma_F}{\sigma_{VM}} = \frac{275 \text{ MPa}}{223 \text{ MPa}} = 1,24$$

Se observa que el coeficiente de seguridad no es demasiado alto para ser una estructura de un tamaño considerable. Por esta razón, se realiza el cálculo del pórtico con las cargas variables y permanentes que afectan, pero sin tener en cuenta las que produce la grúa, para así, comparar si la fijación de la grúa es relevante para la estabilidad de la nave.

4.2 Cálculo del pórtico sin tener en cuenta la grúa

Como se ha hecho anteriormente, se muestran los datos del cálculo introducidos en MEFI, la representación de las cargas sobre el pórtico, los diagramas de esfuerzos y las tensiones en la sección más solicitada de la estructura.



```

PARAMETROS
% par val
PP 436.153 %N/m
N 900*6 %N/m
V1 768*6 %N/m
V4 -380*6 %N/m
V2x -411*6 %N/m
V2y 123*6 %N/m
V3x 540*6 %N/m
V3y 162*6 %N/m
SS 400*6 %N/m

ELEMENTOS_LÍNEAS
% lin tip mat pro
1,2,3,6 RIG ACE HE320B
5,4 RIG ACE IPE360

DESPLAZAMIENTOS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est DX DY GZ
1,7 1 0.0 0.0 0.0

CARGAS_GRAVITATORIAS
% est ax ay
1 0.0 -9.81

CARGAS_GLOBALES_LÍNEAS
% lin est tipo px py
5,4 1 UNIFORME 0.0 -PP
5,4 1 UNIFORME 0.0 -N
1,2,3 1 UNIFORME V1 0.0
6 1 UNIFORME -V4 0.0
4 1 UNIFORME V2x V2y
5 1 UNIFORME V3x V3y
5,4 1 UNIFORME 0.0 -SS

PUNTOS
% pto x y
1 0 0
2 0 3.5
3 0 5.5
4 0 6
5 9 8.7
6 18 6
7 18 0

LINEAS
% lin tip pun
1 pol 1,2
2 POL 2,3
3 POL 3,4
4 pol 4,5
5 pol 5,6
6 POL 6,7

```

Figura 13. Programa del cálculo en MEFI.

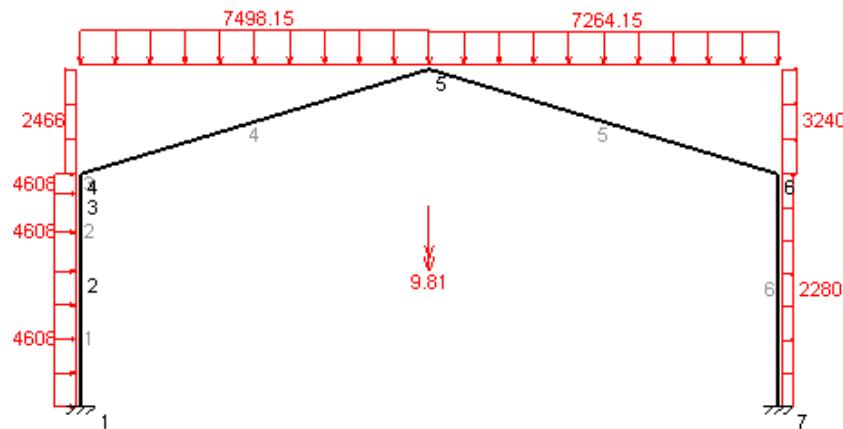


Figura 14. Representación de cargas permanentes y variables en MEFI.

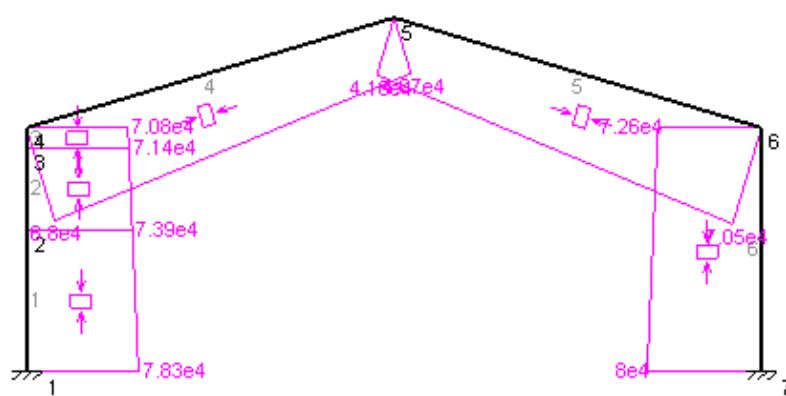


Figura 15. Diagrama de esfuerzos axiles.

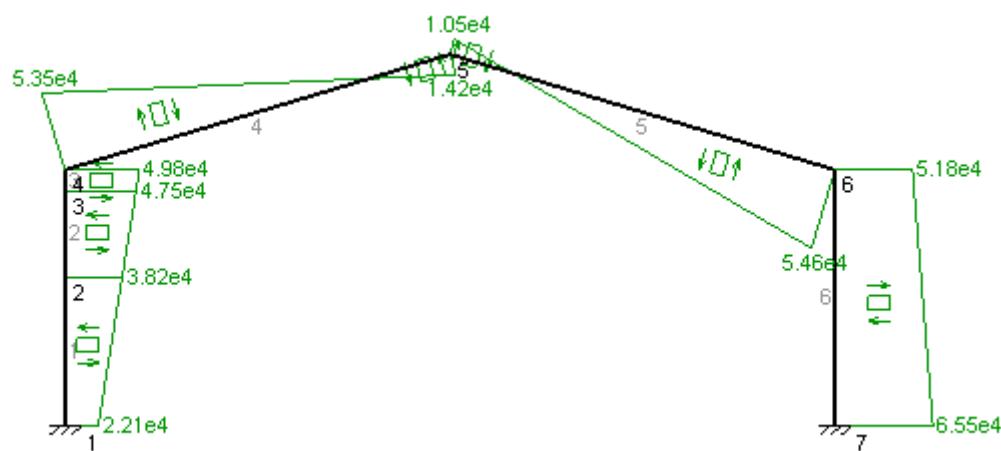


Figura 16. Diagrama de esfuerzos cortantes.

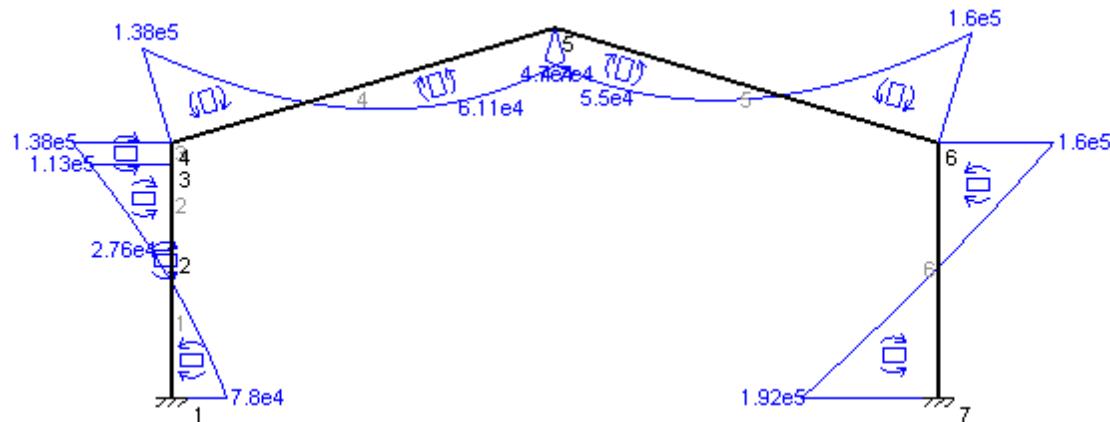


Figura 17. Diagrama de momentos flectores.



CARGAS PÓRTICO (estado 1)

Tensiones tangenciales, normales y equivalentes von Mises

Axil = -70513, cortante = -54607 y fletor = -1.6001e5 (línea = 5, x = 9.3963)

IPE360 h = 360 mm, b = 170 mm, e = 8 mm y e1 = 12.7 mm

MEFI

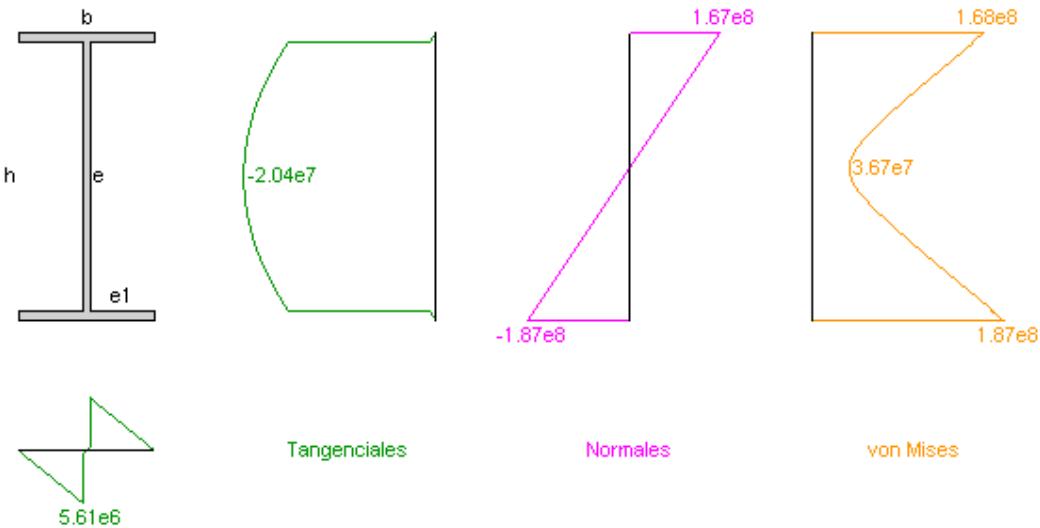


Figura 18. Distribución de tensiones tangenciales, normales y de Von Mises.

A continuación, se calcula el coeficiente de seguridad a partir de la tensión de Von Mises dada por MEFI en la sección más solicitada de la estructura.

$$C_s = \frac{\sigma_F}{\sigma_{VM}} = \frac{275 \text{ MPa}}{187 \text{ MPa}} = 1,47$$

5. CONCLUSIÓN

Se observa que el coeficiente de seguridad no sufre un aumento considerable al quitar las cargas de la pluma, por lo que cualquiera de los pórticos intermedios pueden soportar las cargas producidas por la grúa sin ocasionar fallo en la estructura.



Trabajo Fin de Grado

Diseño y cálculo de una grúa tipo pluma de 2.000
kg de capacidad

Design and calculation for jib type crane with 2.000
kg of capacity

Anexo II. Simulación en SolidWorks

Autor

Isabel Ciria Aylagas

Director

Paula Canalís Martínez

Escuela de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Zaragoza.
Noviembre 2017



ÍNDICE

| | | |
|-----|-------------------------------------------------------|---|
| 1. | Introducción | 2 |
| 2. | Simulación y análisis de la pluma | 3 |
| 2.1 | Procedimiento de la simulación | 3 |
| 2.2 | Modelado de la pluma según los cálculos teóricos..... | 4 |
| 2.3 | Rediseño de la pluma | 6 |
| 3. | Diseño y análisis de las consolas | 8 |



1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo, se va a realizar el modelado y simulación en SolidWorks de los elementos calculados a lo largo de este proyecto.

En primer lugar, se realiza el modelo 3D y la simulación estática de la pluma, teniendo en cuenta las dimensiones establecidas durante el cálculo, y así, analizar las tensiones y deformaciones que sufre. Para la simulación, la pluma está formada por barras y placas soldadas entre sí, formando una única pieza en lugar de un ensamblaje. A partir de los resultados de la simulación, y observando los puntos más desfavorables, se pueden introducir mejoras de diseño que favorezcan la resistencia de la pluma.

A continuación, se diseñan el resto de elementos que no han sido calculados, pero que son necesarios para la sujeción de la pluma o para su correcto funcionamiento. Uno de estos elementos son las consolas de fijación, parte importante de la grúa, ya que permiten el anclaje de la pluma al pilar además de alojar los rodamientos que permiten el giro.

Por último, se procede al correcto ensamblaje de todos los elementos que forman parte de la grúa de estudio, permitiendo una visión global de la misma.



2. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PLUMA

2.1 Procedimiento de la simulación

El elemento principal de la grúa es la pluma. Por ello, es lo primero que se ha modelado y se ha dibujado el 3D, teniendo en cuenta los parámetros y dimensiones tomados en el cálculo teórico.

La estructura de la pluma está formada por dos perfiles IPE 500 unidos entre sí mediante cordones de soldadura. Además, se añaden dos placas rectangulares de 15 mm de espesor al final de cada perfil para poder colocar elementos de fijación y darle rigidez a la estructura. Tiene como dimensiones totales 2 metros de alto y 8 metros de largo. El 3D se ha dibujado utilizando operaciones de extrusión, de tal forma que queda un único sólido.

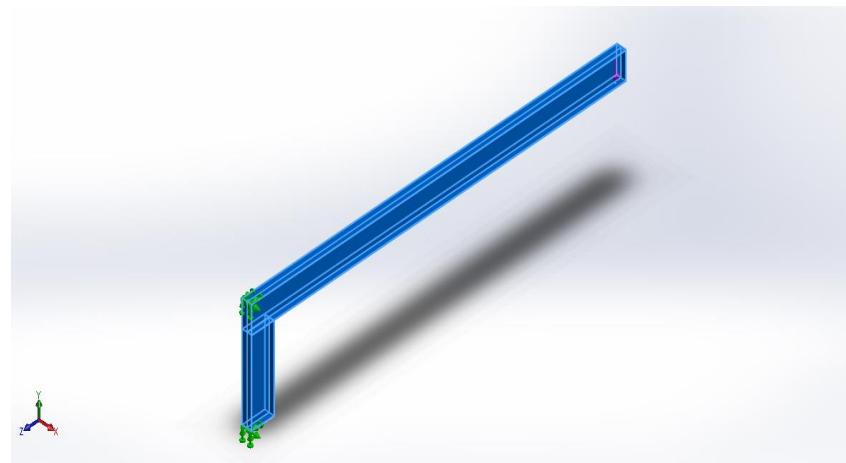


Figura 1. Diseño 3D de la pluma.

Se asigna el material de acero al carbono de construcción con sus propiedades correspondientes, las más importantes: límite elástico igual a 275 MPa, densidad de 7.850 kg/m³ y módulo elástico de 210 GPa.

A continuación, se procede a determinar las fijaciones de la pieza, las cargas y el mallado. Se determinan como puntos fijos las dos aristas exteriores del perfil vertical y se coloca una carga vertical de 22.700 N, correspondiente a la carga máxima más el peso del polipasto, a 100 milímetros del final de la pluma. Se muestran los puntos fijos y la carga en la figura 2. Se tiene en cuenta, además, la fuerza de la gravedad a lo largo de todo el cálculo.

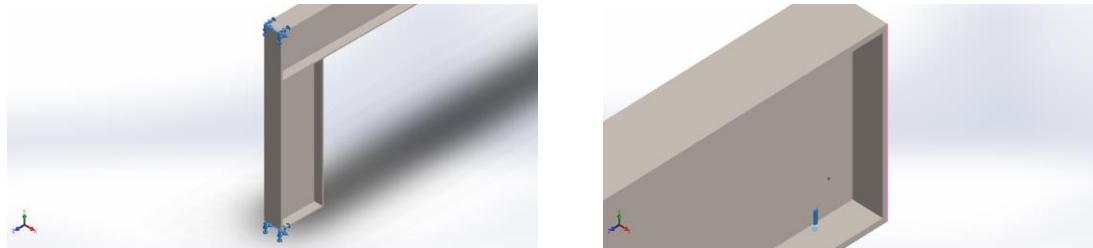


Figura 2. Sujeciones y cargas externas.



Antes de ejecutar la simulación, se determinan las características de la malla. Se utiliza un mallado estándar, con elementos de 70 milímetros de tamaño y una tolerancia de 3,5 milímetros. En total, la malla tiene 23.633 nodos y 11.468 elementos.

2.2 Modelado de la pluma según los cálculos teóricos

A continuación, se observan los resultados obtenidos de la simulación de la pluma, en las figuras 3, 4, 5 y 6.

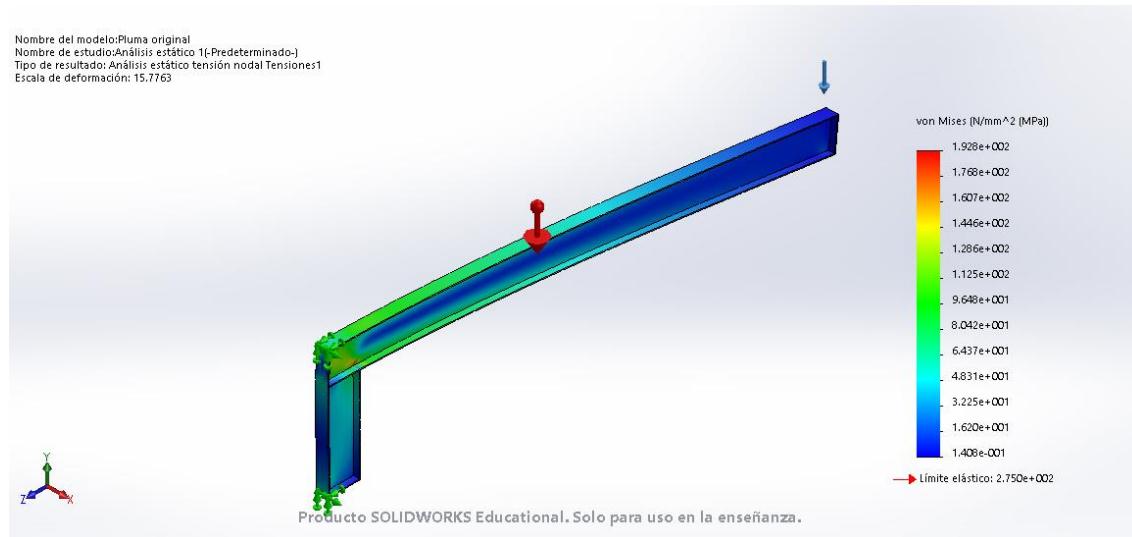


Figura 3. Distribución de tensión de Von Mises.

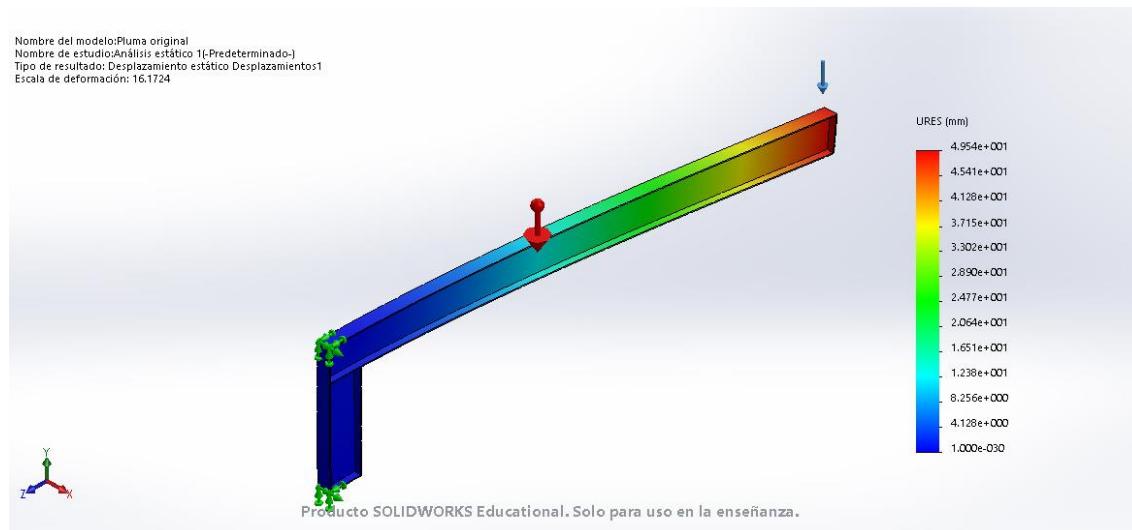


Figura 4. Desplazamientos resultantes.

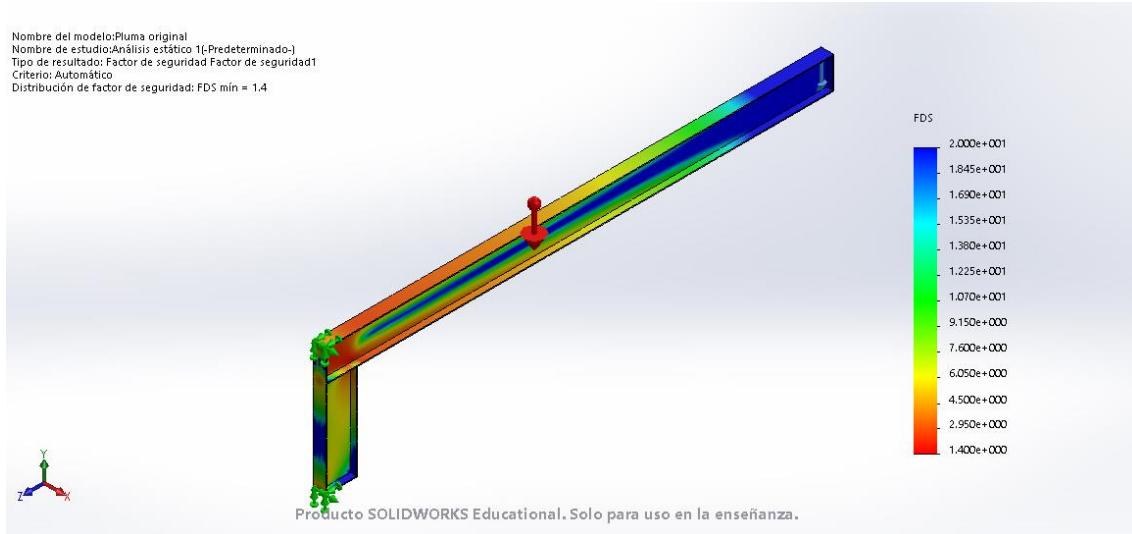


Figura 5. Factor de seguridad.

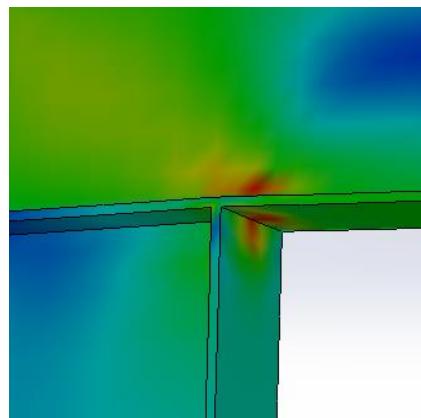


Figura 6. Concentración de tensiones en la zona de la escuadra.

A la hora de interpretar los resultados, se observa que las tensiones producidas, en toda la pluma, son menores que el límite elástico y que el desplazamiento máximo no es muy grande en comparación con las dimensiones de la pluma, concretamente de 6 mm/m. El desplazamiento máximo se produce en el extremo de la pluma, donde se aplica la carga, como cabe esperar.

También, se analiza el coeficiente de seguridad de la estructura, comprobando que hay zonas donde el coeficiente es menor de 2,5 como pasa en la zona entre la consola superior y la zona de soldadura que une ambos perfiles, mientras que el coeficiente va aumentando en dirección a los extremos de las barras. Se toma como límite superior un coeficiente igual a 20, pero en el extremo libre del perfil horizontal, el coeficiente de seguridad alcanza su valor máximo siendo casi 2.000.

En el punto donde se unen los dos perfiles formando una escuadra, se produce concentración de tensiones. Por esta razón se plantea redondear la escuadra o aumentar el ángulo con un nervio para que no sea un punto de concentración de tensiones y rompa por ese punto.

El pescante tiene una masa de 860,2 kilogramos.



2.3 Rediseño de la pluma

Como se ha comentado en el apartado anterior, es conveniente aumentar el ángulo que forman los perfiles para reducir la concentración de tensiones y deformaciones en ese punto. Se coloca un nervio en forma de perfil T con la intención de ampliar el ángulo entre un perfil y otro. El nervio tiene un ángulo de 25º respecto a la vertical.

Fijando los mismos apoyos, aplicando la misma carga sobre el extremo del brazo de la pluma, aplicando la fuerza de la gravedad y utilizando parámetros de malla similares a los del cálculo anterior, se observa que las tensiones en la intersección entre los dos perfiles disminuye, como la deformación en ese punto, afectando a una superficie menor y disminuyendo su valor. Además, el desplazamiento en el extremo de la viga se reduce, en este caso es de 4,375 mm/m.

Se observa que el coeficiente de seguridad mínimo aumenta y la zona donde se encuentra cambia, en este caso se sitúa en la zona de unión entre el perfil horizontal y la ménsula. Como ocurre en la simulación anterior, el valor del coeficiente aumenta hacia los extremos de los perfiles, pero esta vez toma un valor máximo de casi 2.200.

Con esta modificación del diseño, se consigue mejorar las características de la estructura, aumentando la resistencia de la pluma y asegurando la duración sin fallos a lo largo de la vida esperada.

Al introducir el nervio no aumenta en exceso la masa total del pescante, siendo ahora de 943,27 kilogramos.

Los resultados de esta simulación se muestran a continuación, figuras 7, 8, 9 y 10.

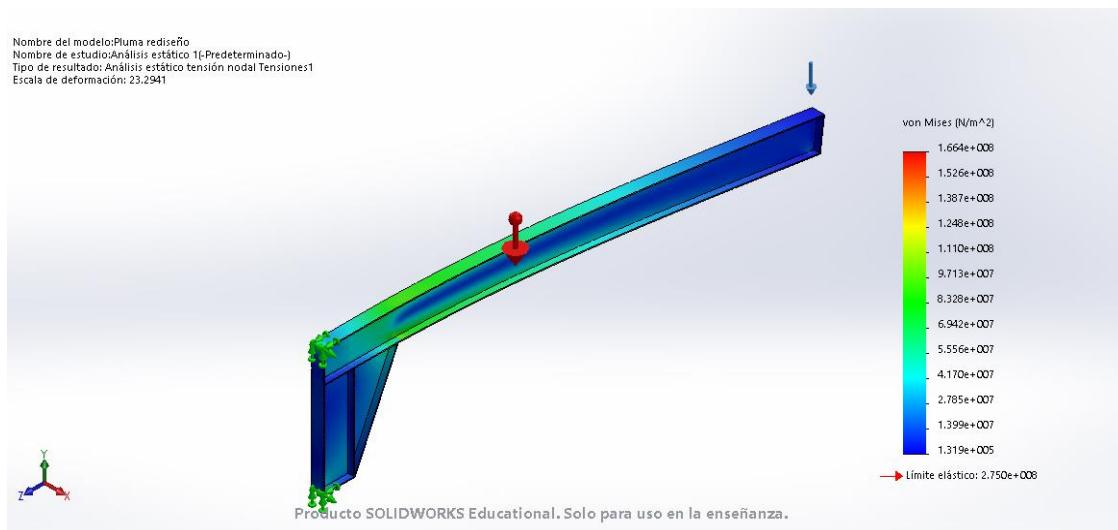


Figura 7. Distribución de tensión de Von Mises.

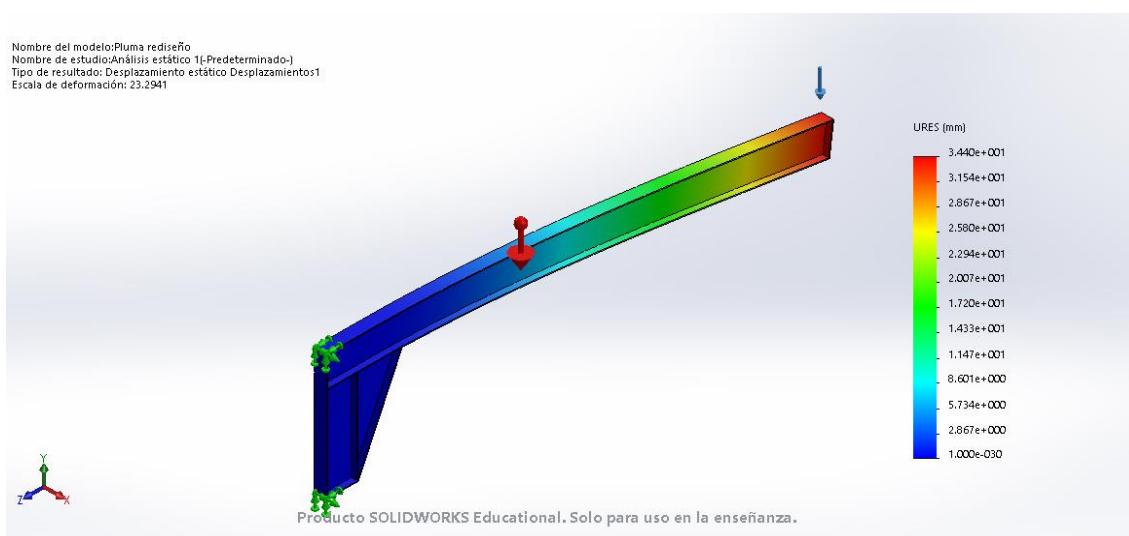


Figura 8. Desplazamientos resultantes.

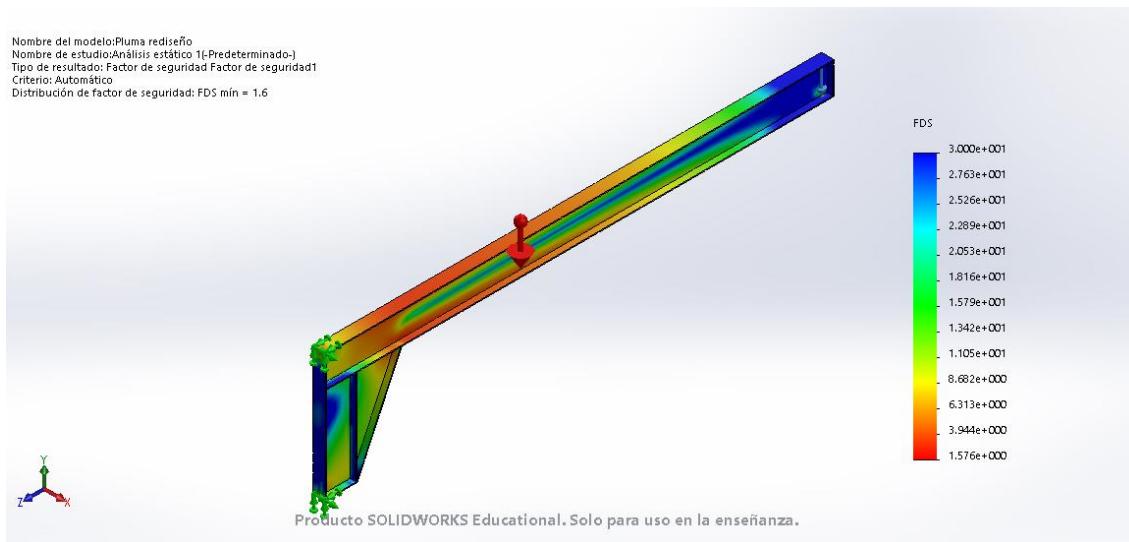


Figura 9. Coeficiente de seguridad.

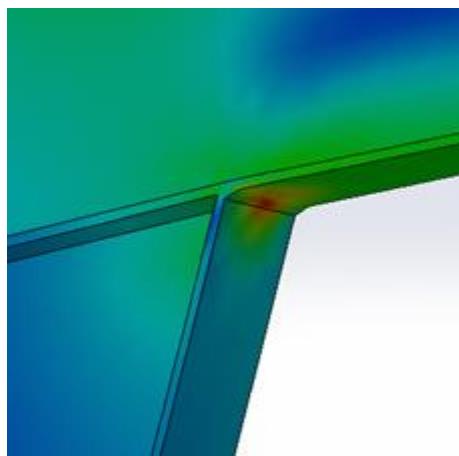


Figura 10. Concentración de tensiones entre los dos perfiles después de aumentar ángulo.



3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE LAS CONSOLAS

Las consolas de fijación de la son elementos que no se han calculado anteriormente. No existe un catálogo en el que este elemento aparezca normalizado, pues no se venden por separado, ya que cada fabricante tiene su diseño y se comercializa junto con la grúa. Dado que existen varios tipos de anclaje de pescantes a una pared o un pilar, los diseños de las consolas son muy variados.

La función de las consolas de fijación, además de anclar la pluma al medio de sujeción elegido, es la de alojar el rodamiento que va a permitir el giro.

El diseño de las consolas se hace en función tanto de los parámetros geométricos de los rodamientos como de las dimensiones del pescante. Puesto que los rodamientos elegidos para cada punto tienen dimensiones diferentes, se diseñan consolas con las mismas dimensiones generales, cambiando únicamente el alojamiento del rodamiento.

En primer lugar, se diseña la consola superior, pues es la que más cargas soporta. Si el diseño que se realiza es resistente, sin causar fallo que provoque la caída de la pluma, la consola inferior se diseñará con los mismos parámetros generales, modificando únicamente el alojamiento del rodamiento.

Se realiza utilizando operaciones de extrusión, corte, taladros y redondeos, principalmente, de forma que se simula como un único sólido. La consola está formada por chapas de acero al carbono de 20 milímetros de espesor todas ellas. Se han redondeado las aristas en forma de esquina para evitar concentración de tensiones o cortes a la hora de montarlas. La geometría del elemento de fijación se muestra en la figura 11.

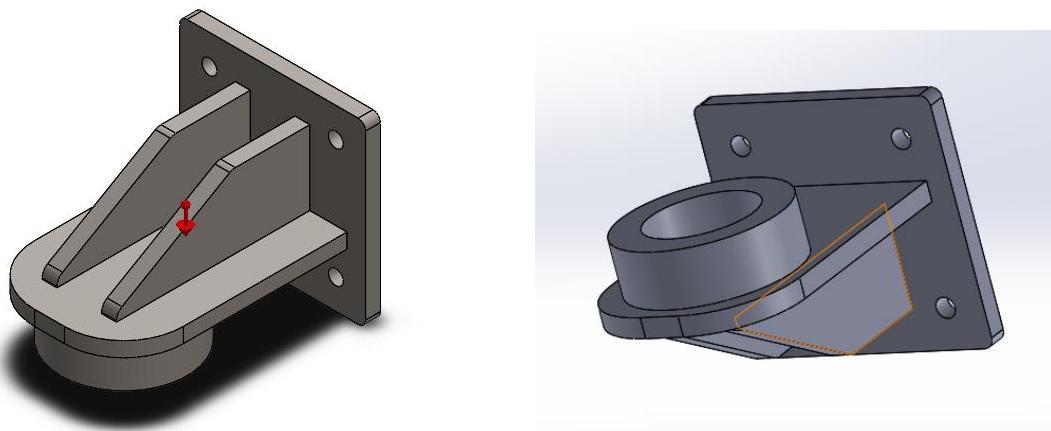


Figura 11. Diseño de la consola superior.

Se ha realizado la simulación teniendo en cuenta la fuerza de la gravedad y las reacciones calculadas en ese punto durante el cálculo de la pluma. Se toma la superficie que irá junto al pilar como superficie fija en el cálculo.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos, en las figuras 12, 13 y 14.

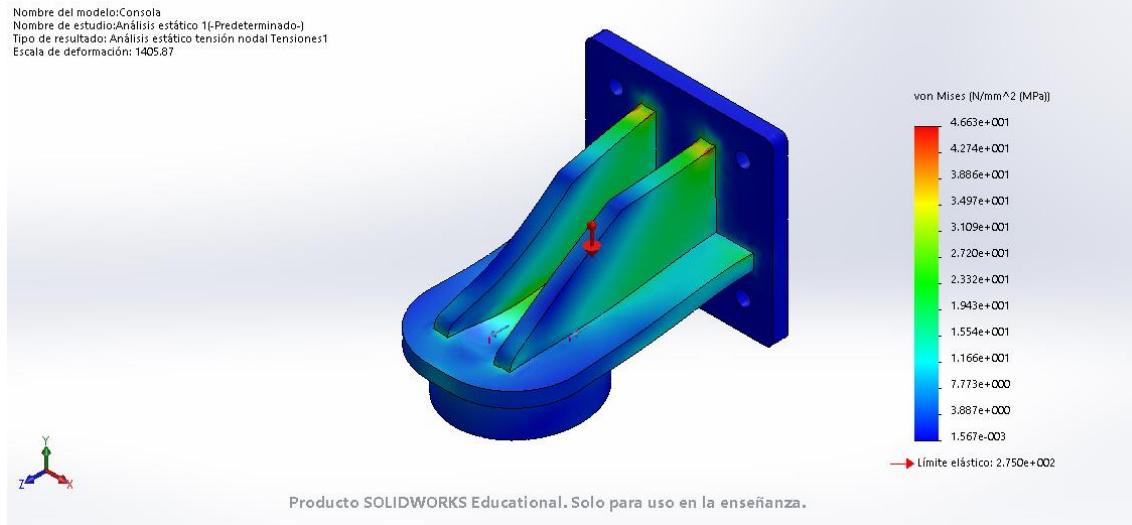


Figura 12. Distribución de tensiones de Von Mises.

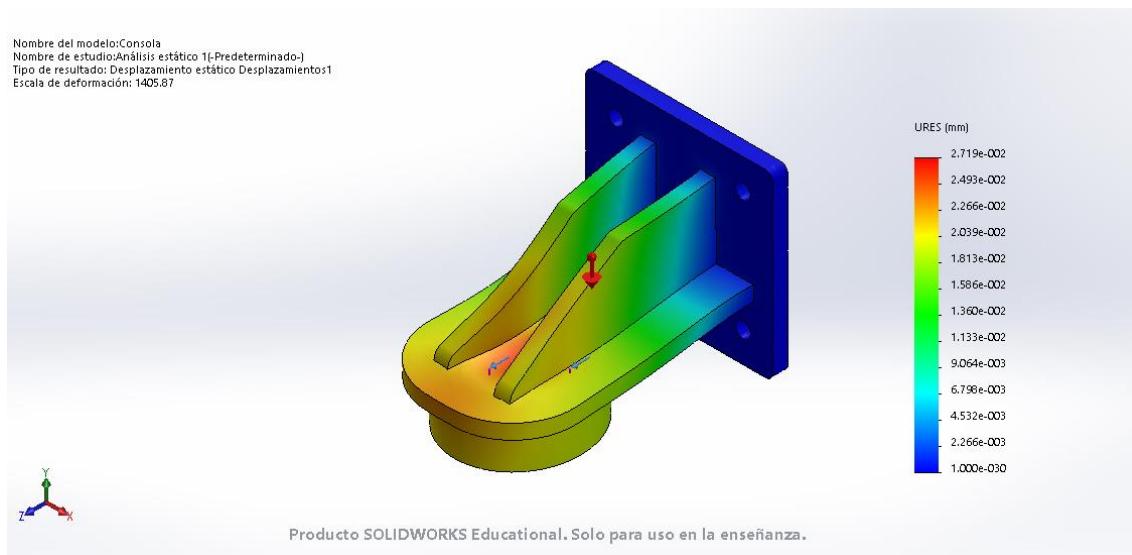


Figura 13. Desplazamientos resultantes.

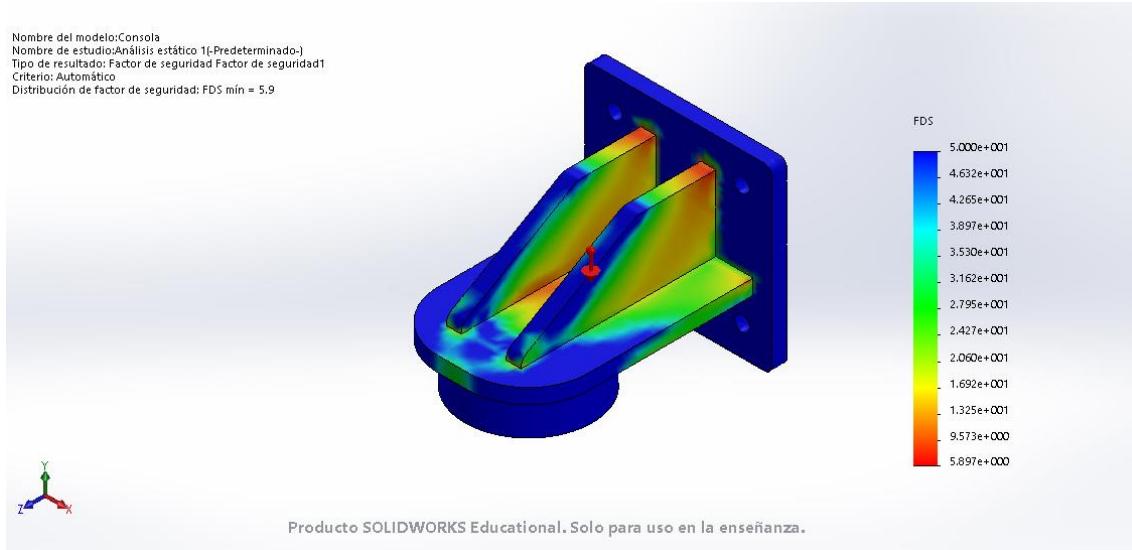


Figura 14. Factor de seguridad.

Se comprueba que el diseño es óptimo, las tensiones no son demasiado altas y los desplazamientos verticales son casi inapreciables. El factor de seguridad mínimo es de 5,9, en la zona de unión entre los nervios de la placa de anclaje, aumentando considerablemente a medida que nos alejamos de dicha placa.

La consola pesa 29,85 kg.

Por lo tanto, la consola inferior se diseñará de la misma forma, cambiando únicamente el alojamiento del rodamiento.