



Universidad
Zaragoza

Anexos

Autor

Jorge Yagüe Pérez

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura 2017

Índice

ANEXO 1: CÁLCULOS ANALÍTICOS

1- Cálculo peso de la plataforma	4
2- Cálculo de las reacciones en el brazo telescópico	5
3- Prediseño perfiles pluma.....	6
4- Cálculo de reacciones, diagramas de solido libre	8
4.1- Cuadrilátero recogido con brazo telescópico extendido en posición baja, ejes globales	8
4.1.1- Cuadrilátero recogido con brazo telescópico extendido en posición baja, ejes locales	13
4.2- Cuadrilátero en movimiento con brazo telescópico extendido en posición horizontal, ejes globales	14
4.2.1- Cuadrilátero en movimiento con brazo telescópico extendido en posición horizontal, ejes locales	20
4.3- Cuadrilátero abierto con brazo telescópico extendido en posición alta, ejes globales	23
4.3.1- Cuadrilátero abierto con brazo telescópico extendido en posición alta, ejes locales.....	24
4.4- Resultados diagramas solidos libres.....	25
5- Cálculo del centro de gravedad del brazo telescópico HJI.....	29
6- Diagramas de esfuerzo	30
7- Calculo de área y modulo resistente de perfiles no continuos:.....	38
8- Cálculo pasadores, espesores pletinas y anchuras	44
8.1- Cálculo de pasadores.....	44
8.2- Cálculo espesores de los perfiles, pletinas y orejetas	45
8.3- Cálculo de anchuras de las pletinas y orejetas	47
8.4- Cálculo a flexión compuesta.....	48
9- Cálculo a flexión de los perfiles	54
9.1- Flexión perfiles continuos	54
9.2- Flexión perfiles no continuos	55
9.3- Cálculo longitud pletina perfil BD	56
10- Soldaduras.....	58

ANEXO 2: SOLIDWORKS

1- Análisis estático SolidWorks.....	75
2- Estudio a fatiga.....	118
2.1- Curvas S-N	118



Anexo 1

Autor

Jorge Yagüe Pérez

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco José

Escuela de Ingeniería y Arquitectura 2017



1- Cálculo peso de la plataforma

La plataforma se compone de 4 partes principales: plancha de acero, una barandilla, un brazo que permite la articulación, y el conjunto de articulaciones y uniones. A continuación se realiza un cálculo aproximado del peso de cada uno de ellos:

Partes:

- **Plancha de acero estriada:**

$$0.76 \times 1.83 = 1.4 \text{ m}^2$$

$$= 42.784 \text{ kg}$$

Catalogo: 30.56 kg/m^2

- **Barandilla:**

$$3 \times (2 \times 0.76 + 2 \times 1.83) + 8 \times 1.1 = 24.34 \text{ m}$$

$$= 35.05 \text{ kg}$$

Catalogo: sección 30x2 mm $\rightarrow 1.758 \text{ m}^2 \rightarrow 1.44 \text{ kg/m}$

- **Brazo:**

1 metro

$$= 0.0126 \text{ m}^3 \rightarrow 98.91 \text{ kg}$$

Sección: 0.0126 m^2

- **Articulación y piezas de unión:**

Aproximación a **60 kg**

$$\text{Total: } 236.744 \text{ kg} \rightarrow 237 \text{ kg}$$

2- Cálculo de las reacciones en el brazo telescópico

En primer lugar se muestra un croquis de la plataforma y su unión al brazo telescópico. El cálculo se realiza para la situación más desfavorable, es decir, donde más par realiza el peso de la estructura.

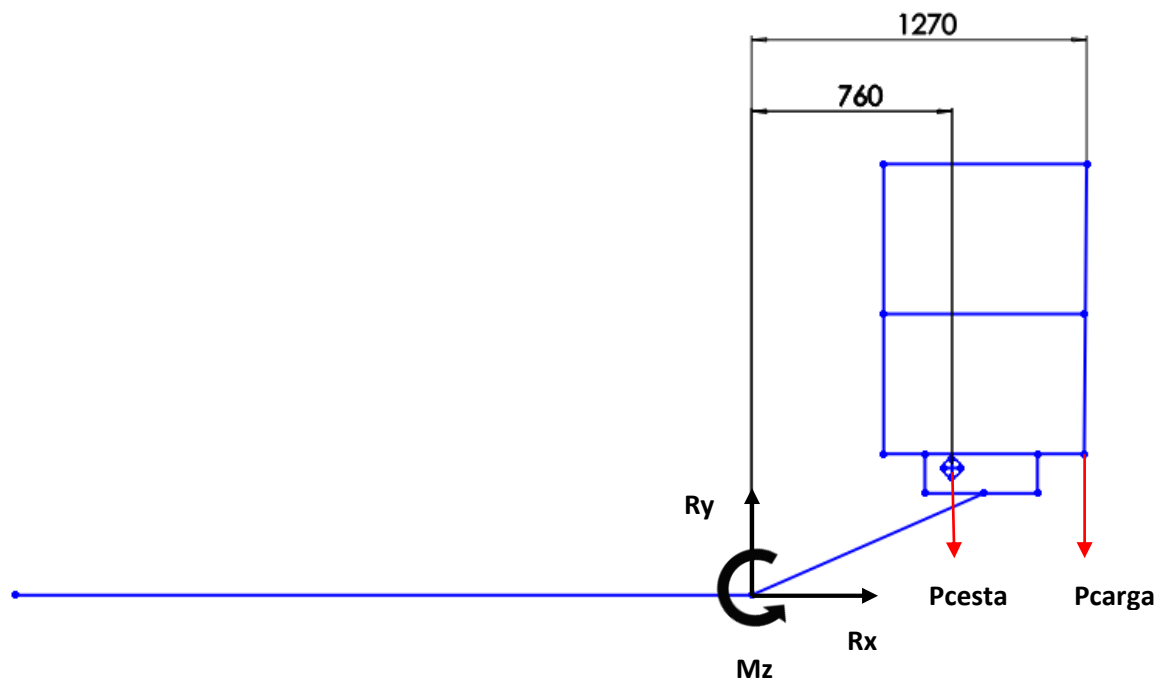


Figura (2.1). Cálculo de las reacciones en el brazo telescópico

El centro de gravedad está desplazado respecto del centro geométrico debido a la forma geométrica de la propia máquina Genie Z-45/25. Las medidas son aproximaciones para poder calcular un peso de la carga soportada y las reacciones que éstas provocan, en ningún caso son exactas.

Calculamos las reacciones:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_x = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_y = P_{cesta} + P_{carga} = (237 + 230) \times 9.8 = 4576.6 \text{ N}$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow M_z = P_{cesta} \times 9.8 \times 0.76 + P_{carga} \times 9.8 \times 1.27 = 4627.756 \text{ Nm}$$

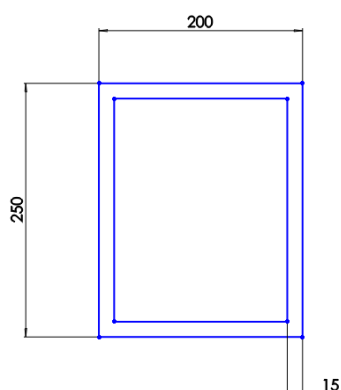
3- Prediseño perfiles pluma

El acero empleado en la estructura es el S355JR y las barras son todos tubos cuadrados o rectangulares. Las barras que forman el cuadrilátero van de dos en dos, HF con BD y GEL con AC, y todas ellas son perfiles catalogados. Las barras que forman el brazo telescópico (HJ y JI) son perfiles a medida.

Para la obtención del peso nos hemos basado en perfiles comerciales o aproximaciones de los mismos para obtener los kilogramos por metro cúbico, o bien los kilogramos por metro lineal de perfil.

Procedemos al cálculo del peso de cada una de ellas:

- Barra HJ:



Longitud = 3.55 m

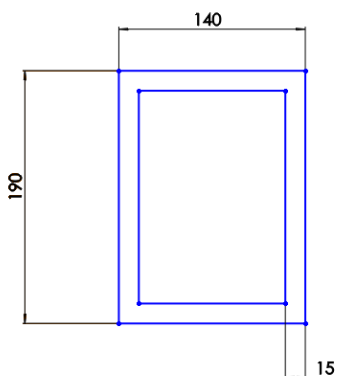
Sección = $(0.25 \times 0.2) - (0.22 \times 0.17) = 0.0126 \text{ m}^2$

Volumen = $0.0126 \text{ m}^2 \times 3.55 \text{ m} = 0.04473 \text{ m}^3$

Peso HJ = $7850 \text{ Kg/m}^3 \times 0.04473 \text{ m}^3 = 351.1305 \text{ Kg} = \mathbf{3441.0789 \text{ N}}$

Figura (3.1). Prediseño perfiles pluma

- Barra JI:



Longitud = $2.53 + 0.8 \text{ (seguridad)} \text{ m} = 3.33 \text{ m}$

Sección = $(0.19 \times 0.14) - (0.16 \times 0.11) = 0.009 \text{ m}^2$

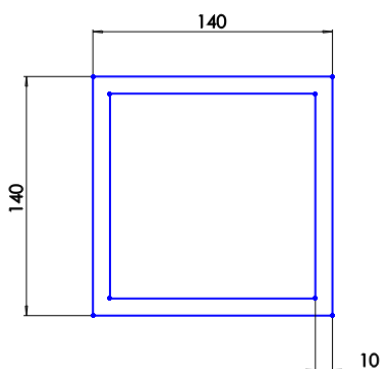
Volumen = $0.009 \text{ m}^2 \times 3.33 \text{ m} = 0.02997 \text{ m}^3$

Peso JI = $7850 \text{ Kg/m}^3 \times 0.02997 \text{ m}^3 = 235.2645 \text{ Kg} = \mathbf{2305.5921 \text{ N}}$

Figura (3.2). Prediseño perfiles pluma

La posición más desfavorable de la barra HJI es cuando está en su máxima extensión. La longitud es de 6.08 m, pero a la barra interior JI se le da un longitud extra de 80 cm dentro de la cavidad de la barra HJ para permitir su unión y su deslizamiento.

- Barras GEL y AC:



Longitud GEL = 3.18 m

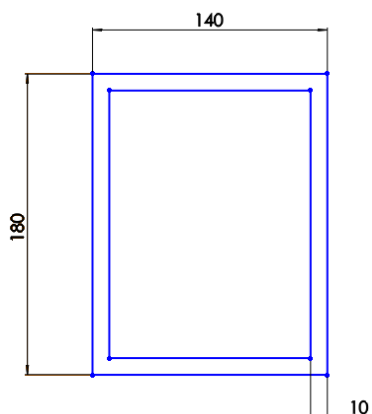
Longitud AC = 3.04 m

Peso GEL = 39.73 Kg/m x 3.18 m = 126.3414 Kg = **1238.14572 N**

Peso AC = 39.73 Kg/m x 3.04 m = 120.7792 Kg = **1183.6362 N**

Figura (3.3). Prediseño perfiles pluma

- Barras HF y BD:



Longitud HF = 3.04 m

Longitud BD = 3.04 m

Peso HF = 39.73 Kg/m x 3.04 m = 131.2064 Kg = **1285.8227 N**

Peso BD = 39.73 Kg/m x 3.04 m = 131.2064 Kg = **1285.8227 N**

Figura (3.4). Prediseño perfiles pluma

4- Cálculo de reacciones, diagramas de sólido libre

4.1- Cuadrilátero recogido con brazo telescópico extendido en posición baja, ejes globales

Barra HJI:

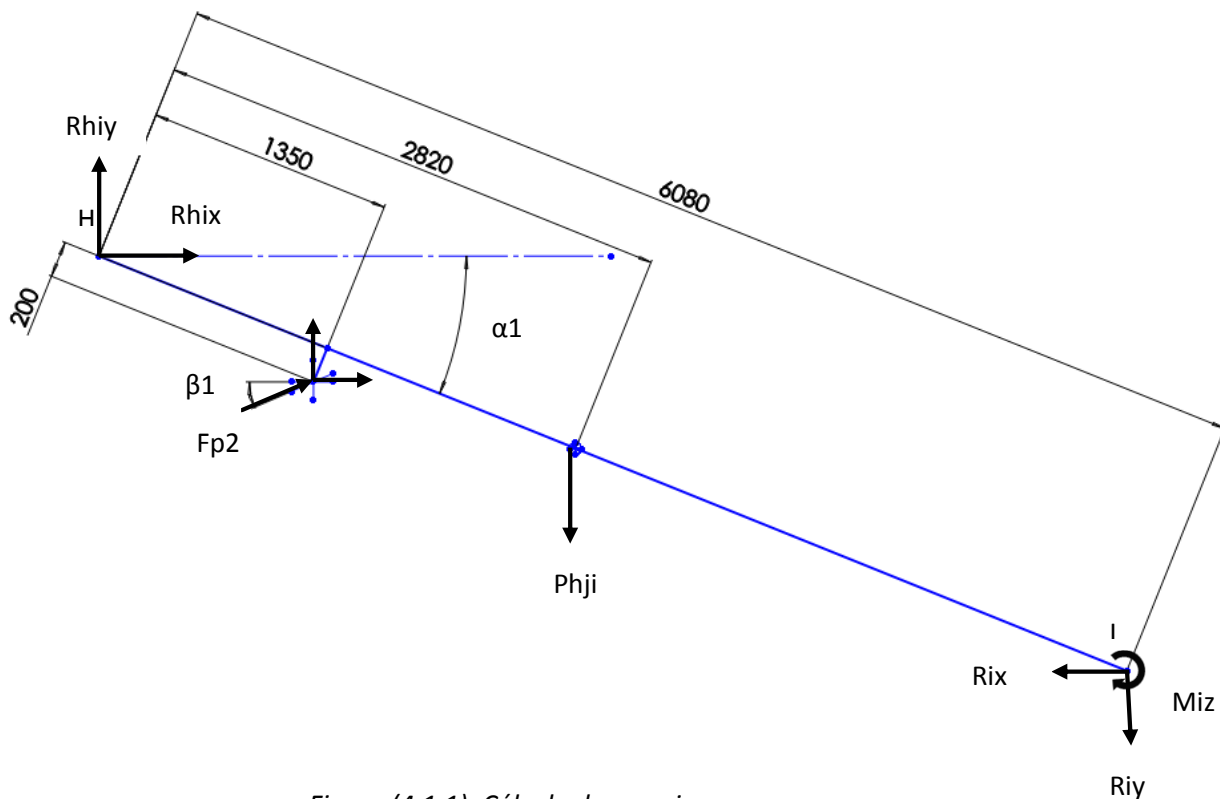


Figura (4.1.1). Cálculo de reacciones

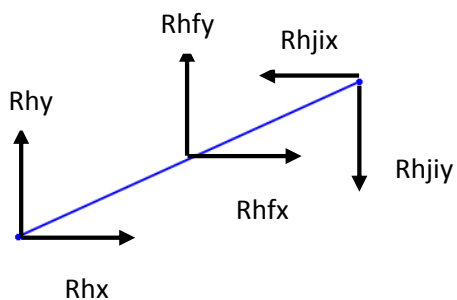
$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{hix} + F_{p2} \times \cos(\beta_1) - R_{ix} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{hiy} + F_{p2} \times \sin(\beta_1) - R_{iy} - Ph_{ji} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{p2} \times \sin(\beta_1) \times [(1.35 \times \cos(\alpha_1) - (0.2 \times \cos(90 - \alpha_1)))] + F_{p2} \times \cos(\beta_1) \times [(1.35 \times \sin(\alpha_1) - (0.2 \times \sin(90 - \alpha_1)))] - Ph_{ji} \times 2.82 \times \cos(\alpha_1) - R_{ix} \times 6.08 \times \sin(\alpha_1) - R_{iy} \times 6.08 \times \cos(\alpha_1) - M_{iz} = 0$$

$$Ph_{ji} = Ph_j + P_{ji} = 3441.0789 + 2305.5921 \text{ N}$$

Pasador H:

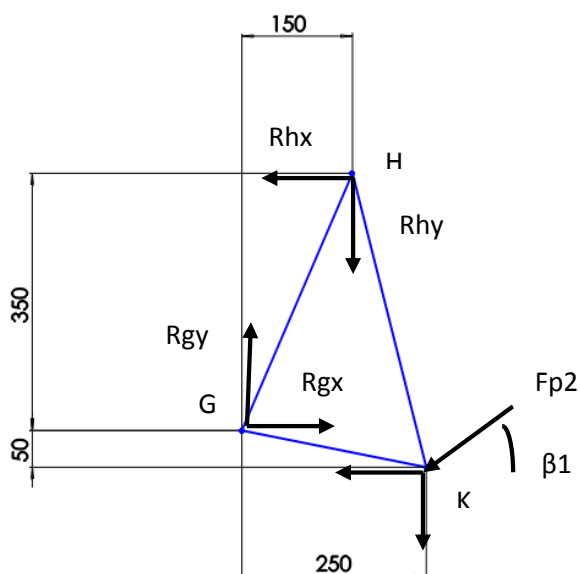


$$\sum F_x = 0 \rightarrow -Rhix + Rhfx + Rhx = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -Rhiy + Rhfy + Rhy = 0$$

Figura (4.1.2). Cálculo de reacciones

Caja unión HGK:



$$\sum F_x = 0 \rightarrow -Rhix + Rgx - Fp2 \times \cos(\beta1) = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -Rhiy + Rgy - Fp2 \times \sin(\beta1) = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow Rhix \times 0.35 - Rhiy \times 0.15 - Fp2 \times \cos(\beta1) \times 0.05 - Fp2 \times \sin(\beta1) \times 0.25 = 0$$

Figura (4.1.3). Cálculo de reacciones

Barra GEL:

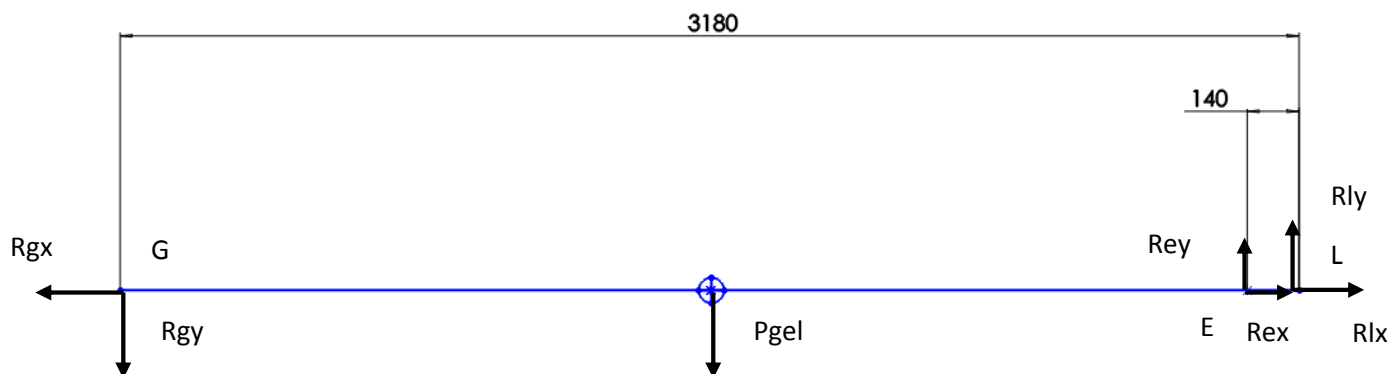


Figura (4.1.4). Cálculo de reacciones

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{gx} + R_{ex} + R_{lx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{gy} + R_{ey} + R_{ly} - P_{gel} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{ey} \times 3.04 + R_{ly} \times (3.04 + 0.14) - P_{gel} \times (3.04 + 0.14)/2 = 0$$

$$P_{gel} = 1238.1457 \text{ N}$$

Barra HF:

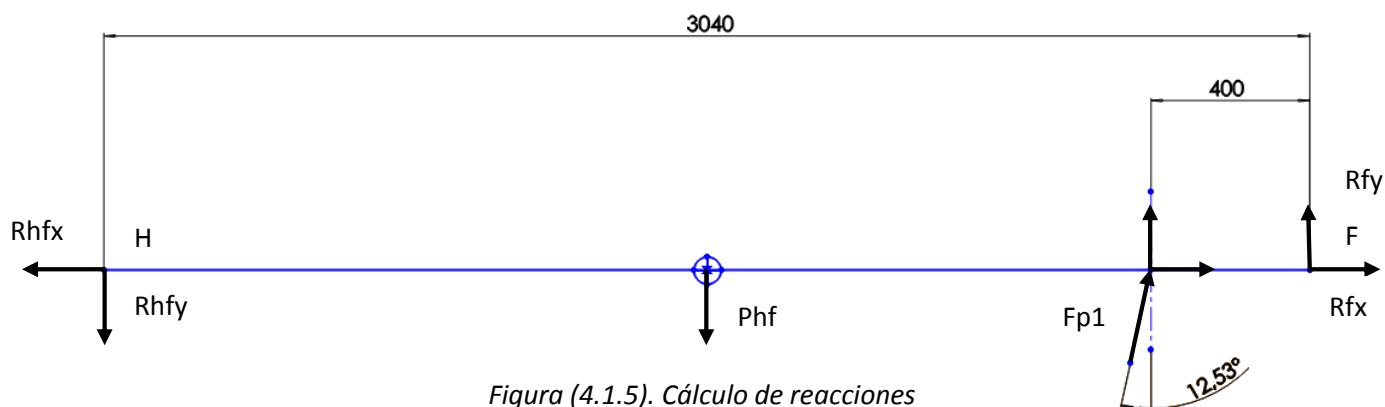


Figura (4.1.5). Cálculo de reacciones

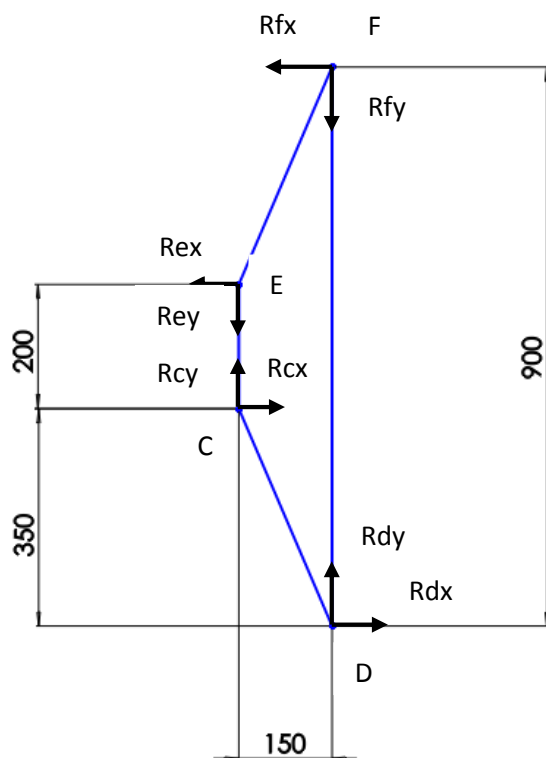
$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{hfx} + F_{p1} \times \sin(12.53) + R_{fx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{hfy} + F_{p1} \times \cos(12.53) + R_{fy} - P_{hf} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow F_{p1} \times \cos(12.53) \times (3.04 + 0.4) + R_{fy} \times 3.04 - P_{hf} \times (3.04/2) = 0$$

$$P_{hf} = 1285.8227 \text{ N}$$

Chapa unión EFCD:



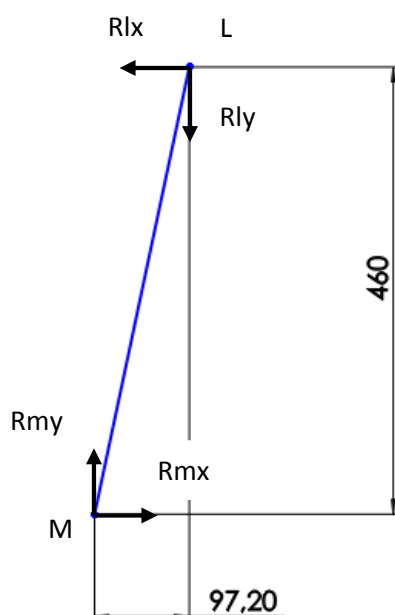
$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{ex} - R_{fx} + R_{cx} + R_{dx} = 0$$

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

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{ex} \times 0.2 + R_{fx} \times 0.5 - R_{fy} \times 0.15 + R_{dy} \times 0.15 + R_{dx} \times 0.35 = 0$$

Figura (4.1.6). Cálculo de reacciones

Barra LM:



$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{lx} + R_{mx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{ly} + R_{my} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{lx} \times 0.46 - R_{ly} \times 0.0972 = 0$$

Figura (4.1.6). Cálculo de reacciones

Barra AC:

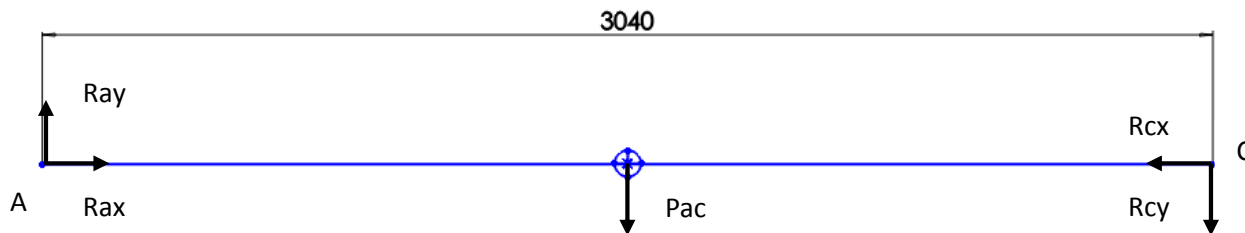


Figura (4.1.7). Cálculo de reacciones

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{ax} - R_{cx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{ay} - R_{cy} - P_{ac} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -P_{ac} \times (3.04/2) - R_{cy} \times 3.04 = 0$$

$$P_{ac} = 1183.6362 \text{ N}$$

Barra BD:

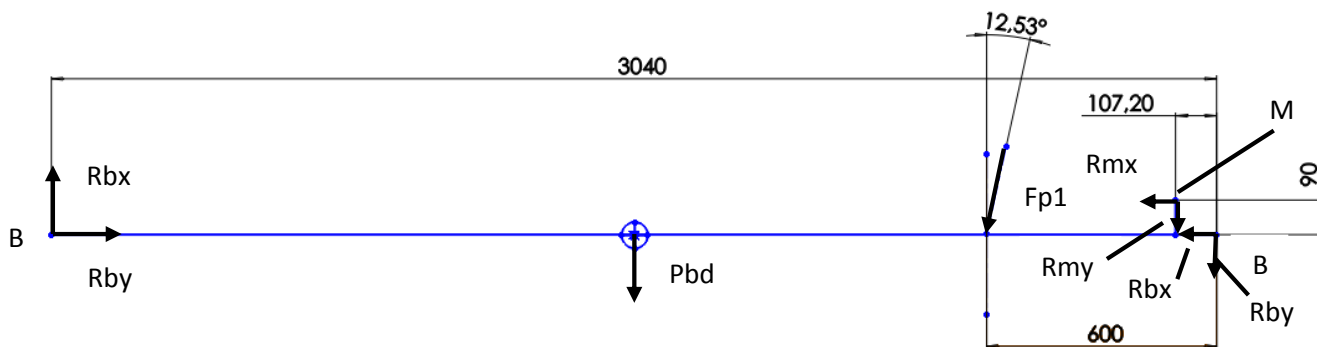


Figura (4.1.8). Cálculo de reacciones

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{bx} - F_{p1} \times \sin(12.53) - R_{mx} - R_{dx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{by} - P_{bd} - F_{p1} \times \cos(12.53) - R_{my} - R_{dy} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -P_{bd} \times (3.04/2) - F_{p1} \times \cos(12.53) \times (3.04 - 0.6) + R_{mx} \times 0.09 - R_{my} \times (3.04 - 0.1072) - R_{dy} \times 3.04 = 0$$

$$P_{bd} = 1285.8227 \text{ N}$$

4.1.1- Cuadrilátero recogido con brazo telescópico extendido en posición baja, ejes locales

Barra HJI:

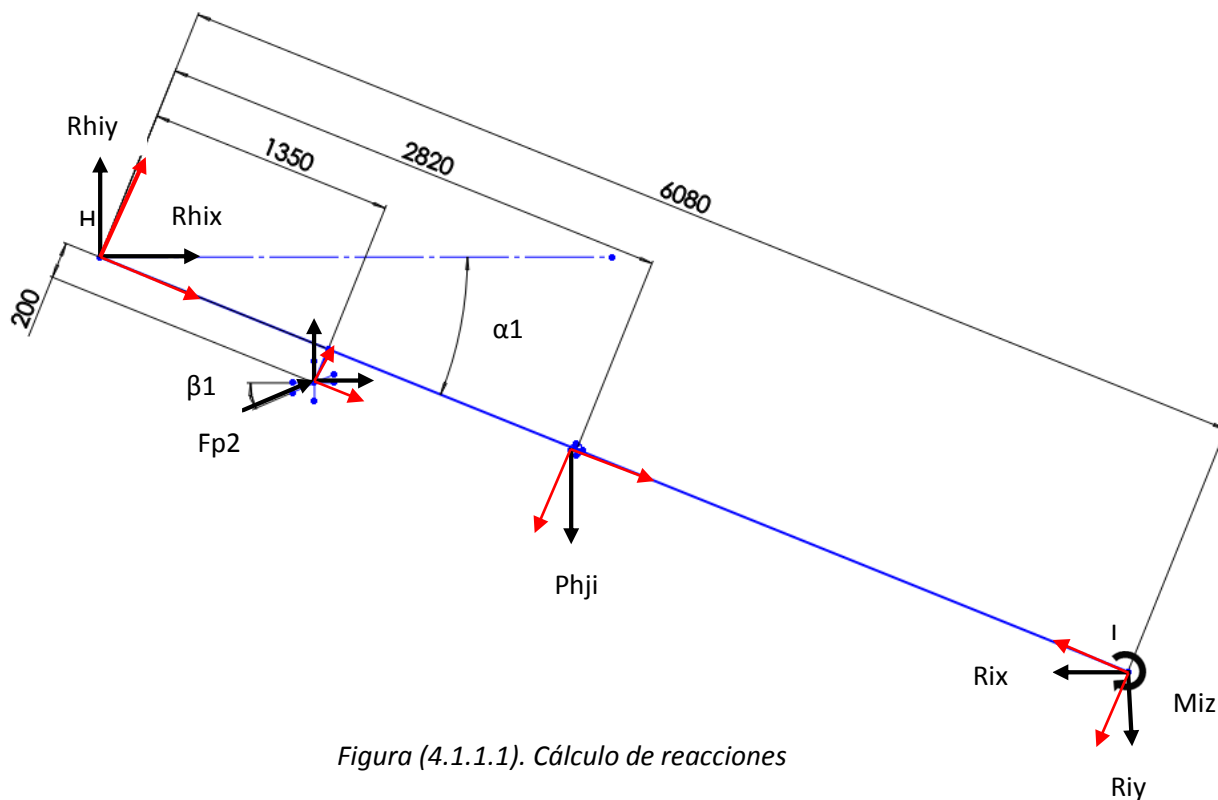


Figura (4.1.1.1). Cálculo de reacciones

$$R_{hix}' = R_{hix} \times \cos(\alpha_1) - R_{hiy} \times \sin(\alpha_1)$$

$$R_{hiy}' = R_{hix} \times \sin(\alpha_1) + R_{hiy} \times \cos(\alpha_1)$$

$$P_{hjix}' = P_{hji} \times \sin(\alpha_1)$$

$$P_{hjiy}' = P_{hji} \times \cos(\alpha_1)$$

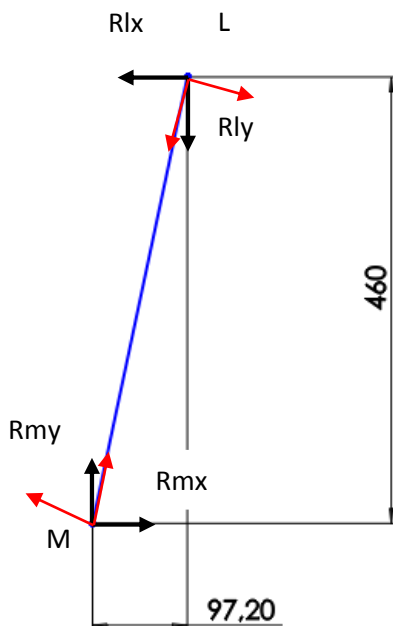
$$F_{p2x}' = F_{p2} \times \cos(\beta_1) \times \cos(\alpha_1) - F_{p2} \times \sin(\beta_1) \times \sin(\alpha_1)$$

$$F_{p2y}' = -F_{p2} \times \cos(\beta_1) \times \sin(\alpha_1) + F_{p2} \times \sin(\beta_1) \times \cos(\alpha_1)$$

$$R_{ix}' = R_{ix} \times \cos(\alpha_1) - R_{iy} \times \sin(\alpha_1)$$

$$R_{iy}' = R_{ix} \times \sin(\alpha_1) + R_{iy} \times \cos(\alpha_1)$$

Barra LM:



$$Rlx' = Rlx \times \sin(11.94) + Rly \times \cos(11.94)$$

$$Rly' = -Rlx \times \cos(11.94) + Rly \times \sin(11.94)$$

$$Rmx' = Rmx \times \sin(11.94) + Rmy \times \cos(11.94)$$

$$Rmy' = -Rmx \times \cos(11.94) + Rmy \times \sin(11.94)$$

$$\text{Arctg} = 97.20/460 = 11.94 \text{ grados}$$

Figura (4.1.1.2). Cálculo de reacciones

4.2- Cuadrilátero en movimiento con brazo telescópico extendido en posición horizontal, ejes globales

Barra HJI:

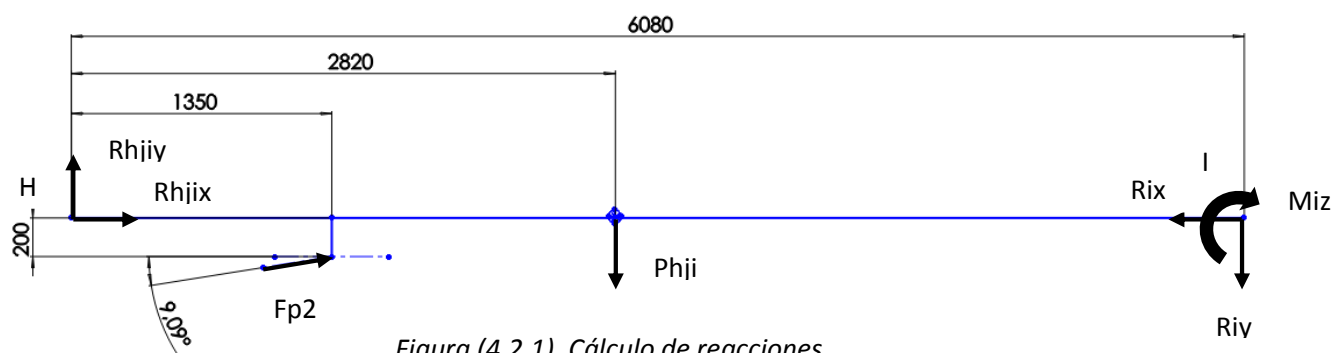


Figura (4.2.1). Cálculo de reacciones

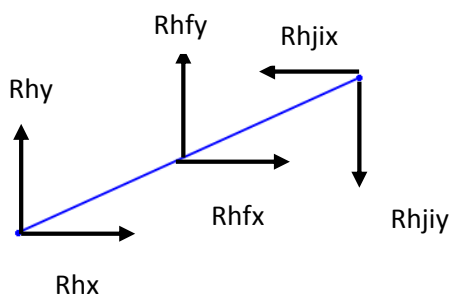
$$\sum Fx = 0 \Rightarrow Rhjix + Fp2 \times \cos(9.09) - Rix = 0$$

$$\sum Fy = 0 \Rightarrow Rhjiy + Fp2 \times \sin(9.09) - Phji - Riy = 0$$

$$\sum Mz = 0 \Rightarrow Fp2 \times \cos(9.09) \times 0.2 + Fp2 \times \sin(9.09) \times 1.35 - Phji \times 2.82 - Riy \times 6.08 - Miz = 0$$

$$Phji = Phj + Pji = 3441.0789 + 2305.5921 \text{ N}$$

Pasador H:

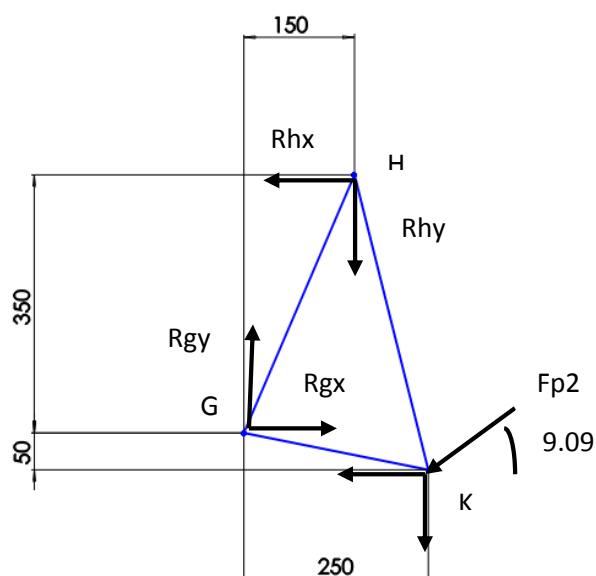


$$\sum F_x = 0 \rightarrow -Rhix + Rhfx + Rhx = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -Rh iy + Rhfy + Rhy = 0$$

Figura (4.2.2). Cálculo de reacciones

Caja unión HGK:



$$\sum F_x = 0 \rightarrow -Rhx + Rgx - Fp2 \times \cos(9.09) = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -Rhy + Rgy - Fp2 \times \sin(9.09) = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow Rhx \times 0.35 - Rhy \times 0.15 - Fp2 \times \cos(9.09) \times 0.05 - Fp2 \times \sin(9.09) \times 0.25 = 0$$

Figura (4.2.3). Cálculo de reacciones

Barra GEL:

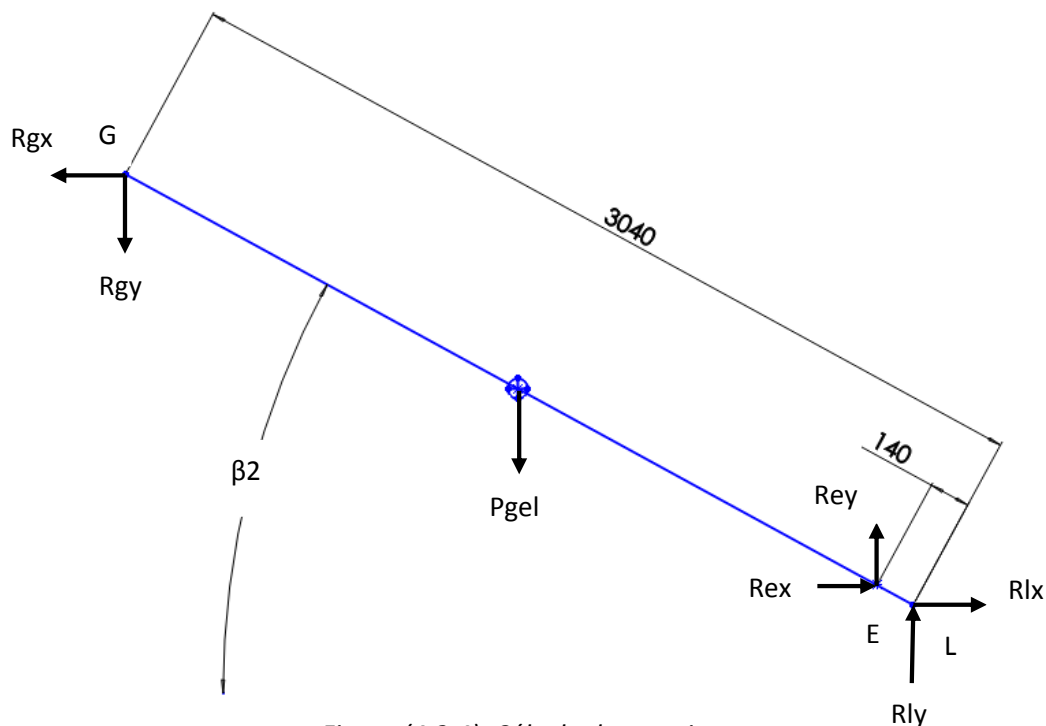


Figura (4.2.4). Cálculo de reacciones

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{gx} + R_{ex} + R_{lx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{gy} + R_{ey} + R_{ly} - P_{gel} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow P_{gel} \times (3.04 + 0.14)/2 \times \cos(\beta_2) + R_{ey} \times 3.04 \times \cos(\beta_2) + R_{ex} \times 3.04 \times \sin(\beta_2) + R_{ly} \times (3.04 + 0.14) \times \cos(\beta_2) + R_{ly} \times (3.04 + 0.14) \times \sin(\beta_2) = 0$$

$$P_{gel} = 1238.1457 \text{ N}$$

Barra HF:

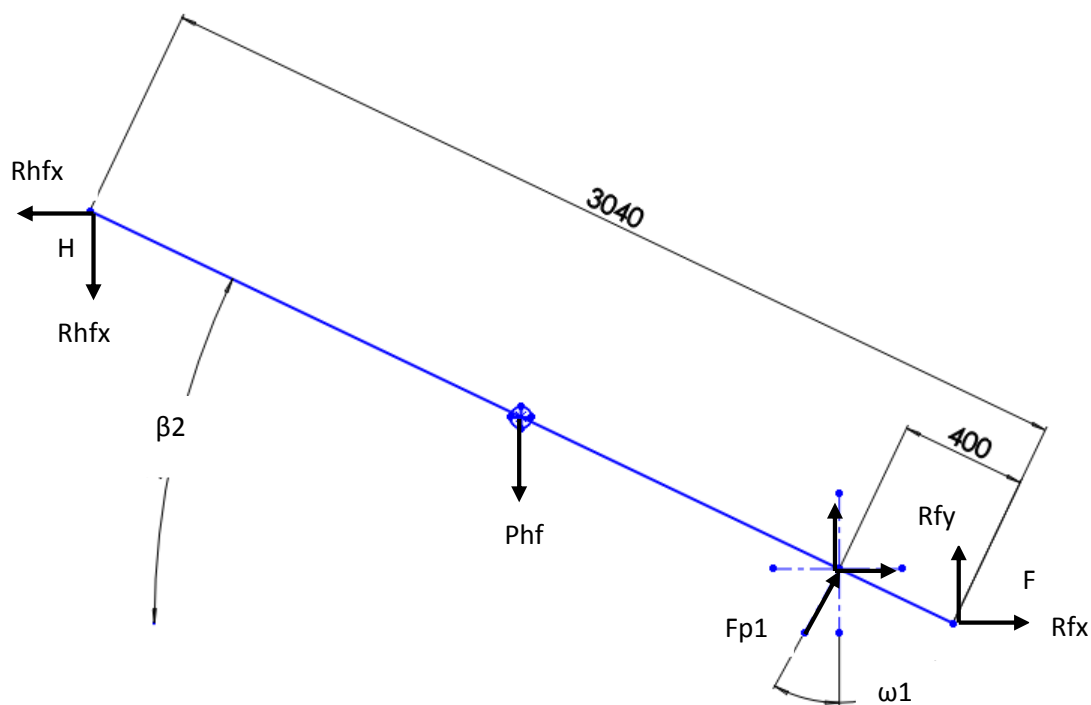


Figura (4.2.5). Cálculo de reacciones

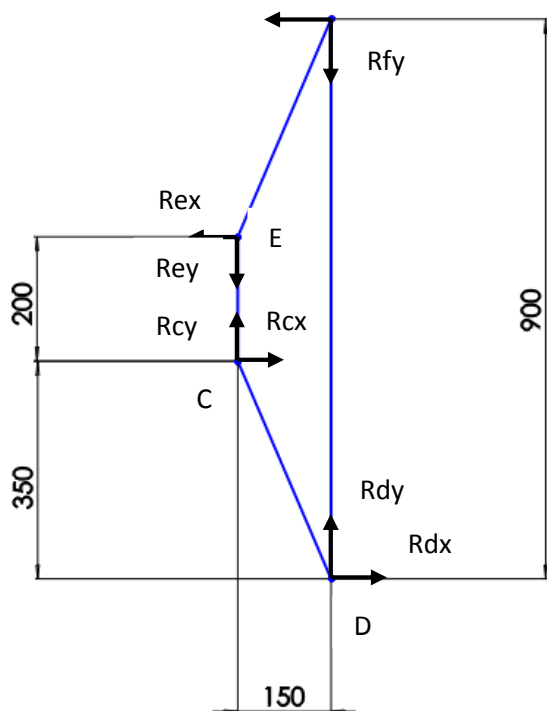
$$\sum F_x = 0 \rightarrow -Rh_{fx} + F_{p1} \times \sin(\omega_1) + R_{fx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -Rh_{fy} + F_{p1} \times \cos(\omega_1) + R_{fy} - Ph_f = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -Ph_f + F_{p1} \times \cos(\beta_2) + F_{p1} \times \sin(\omega_1) \times (3.04 - 0.4) \times \sin(\beta_2) + F_{p1} \times \cos(\omega_1) \times (3.04 - 0.4) \times \cos(\beta_2) + R_{fy} \times 3.04 \times \cos(\beta_2) + R_{fx} \times 3.04 \times \sin(\beta_2) = 0$$

$$Ph_f = 1285.8227 \text{ N}$$

Chapa unión EFCD:



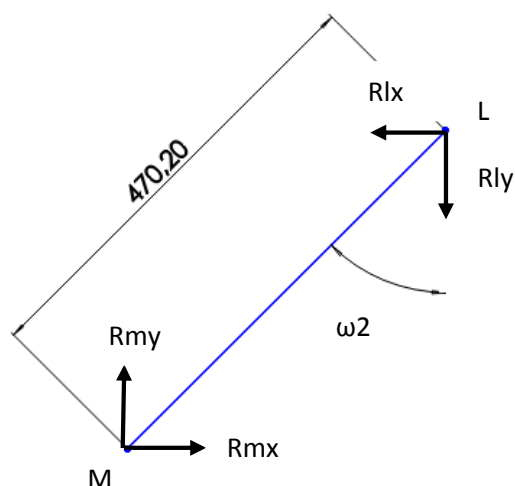
$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{ex} - R_{fx} + R_{cx} + R_{dx} = 0$$

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

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{ex} \times 0.2 + R_{fx} \times 0.5 - R_{fy} \times 0.15 + R_{dy} \times 0.15 + R_{dx} \times 0.35 = 0$$

Figura (4.2.6). Cálculo de reacciones

Barra LM:



$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{lx} + R_{mx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{ly} + R_{my} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{lx} \times 0.4702 \times \cos(\omega_2) - R_{ly} \times 0.4702 \times \sin(\omega_2) = 0$$

Figura (4.2.7). Cálculo de reacciones

Barra AC:

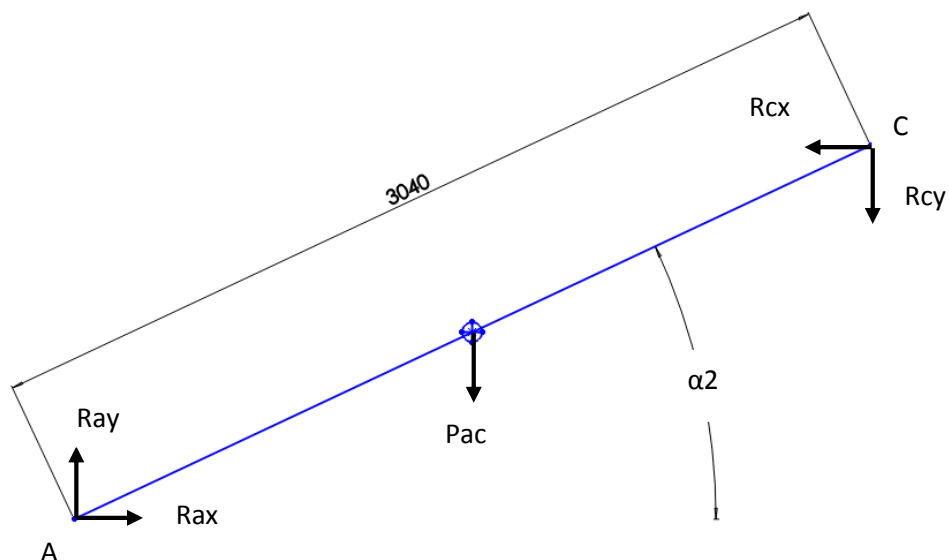


Figura (4.2.8). Cálculo de reacciones

$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{ax} - R_{cx} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{ay} - R_{cy} - P_{ac} = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow -P_{ac} \times 3.04/2 \times \cos(\alpha_2) + R_{cx} \times 3.04 \times \sin(\alpha_2) - R_{cy} \times 3.04 \times \cos(\alpha_2) = 0$$

$$P_{ac} = 1183.6362 \text{ N}$$

Barra BD:

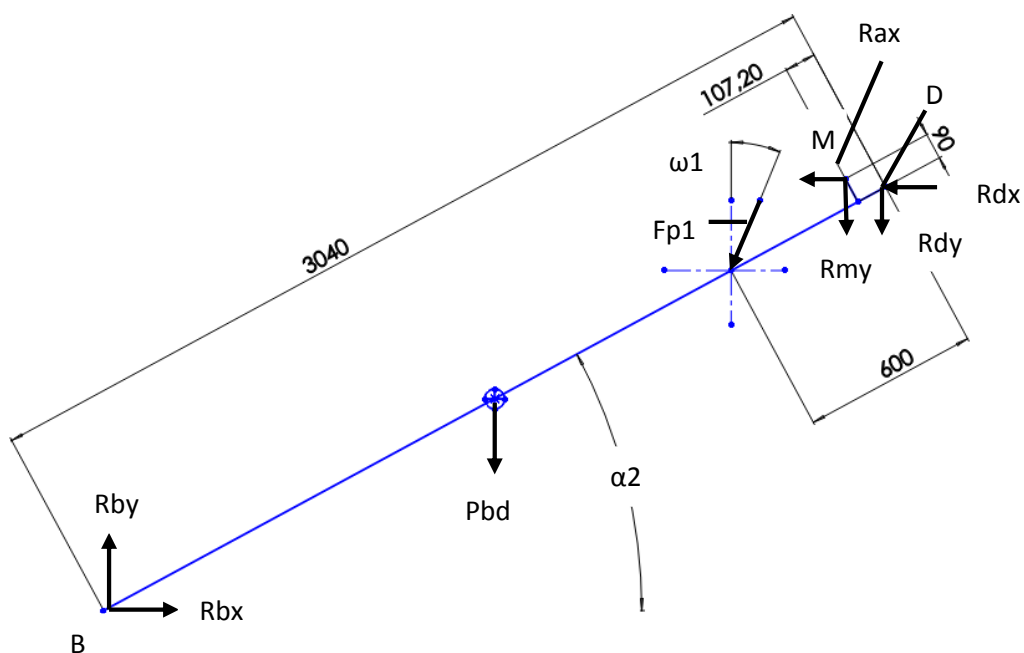


Figura (4.2.9). Cálculo de reacciones

Barra HF:

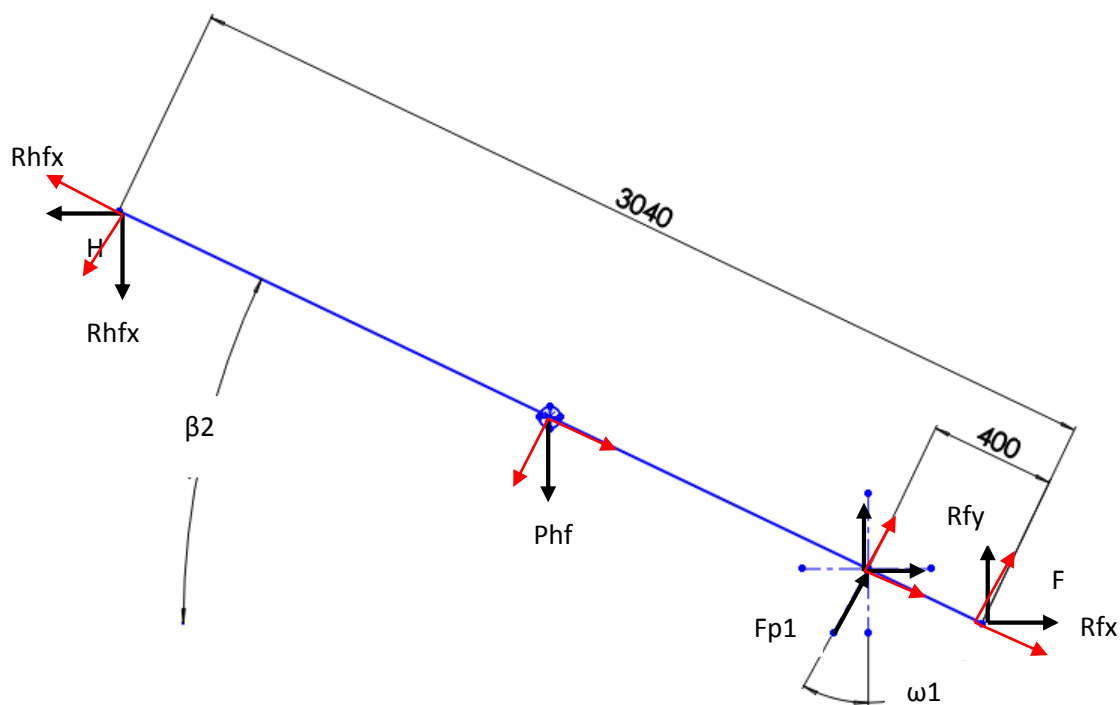


Figura (4.2.1.2). Cálculo de reacciones

$$R_{hfx}' = R_{hfx} \times \cos(\beta_2) - R_{hfy} \times \sin(\beta_2)$$

$$R_{fx}' = R_{fx} \times \cos(\beta_2) - R_{fy} \times \sin(\beta_2)$$

$$R_{hfy}' = R_{hfx} \times \sin(\beta_2) + R_{hfy} \times \cos(\beta_2)$$

$$R_{fy}' = R_{fx} \times \sin(\beta_2) + R_{fy} \times \cos(\beta_2)$$

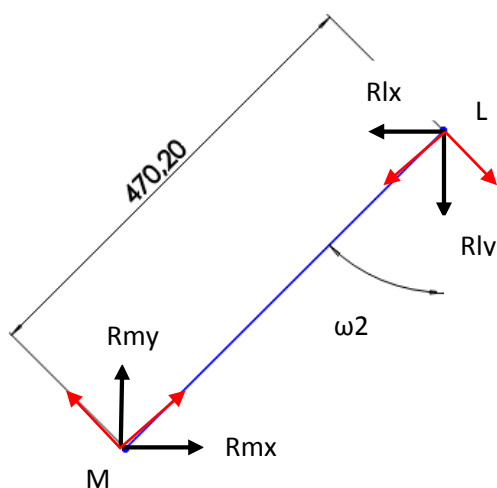
$$F_{p1x}' = F_{p1} \times \sin(\omega_1) \times \cos(\beta_2) - F_{p1} \times \cos(\omega_1) \times \sin(\beta_2)$$

$$P_{hfx}' = P_{hf} \times \sin(\beta_2)$$

$$F_{p1y}' = F_{p1} \times \sin(\omega_1) \times \sin(\beta_2) + F_{p1} \times \cos(\omega_1) \times \cos(\beta_2)$$

$$P_{hfy}' = P_{hf} \times \cos(\beta_2)$$

Barra LM:



$$R_{lx}' = R_{lx} \times \sin(\omega_2) + R_{ly} \times \cos(\omega_2)$$

$$R_{ly}' = -R_{lx} \times \cos(\omega_2) + R_{ly} \times \sin(\omega_2)$$

$$R_{mx}' = R_{mx} \times \sin(\omega_2) + R_{my} \times \cos(\omega_2)$$

$$R_{my}' = -R_{mx} \times \cos(\omega_2) + R_{my} \times \sin(\omega_2)$$

Figura (4.2.1.3). Cálculo de reacciones

Barra AC:

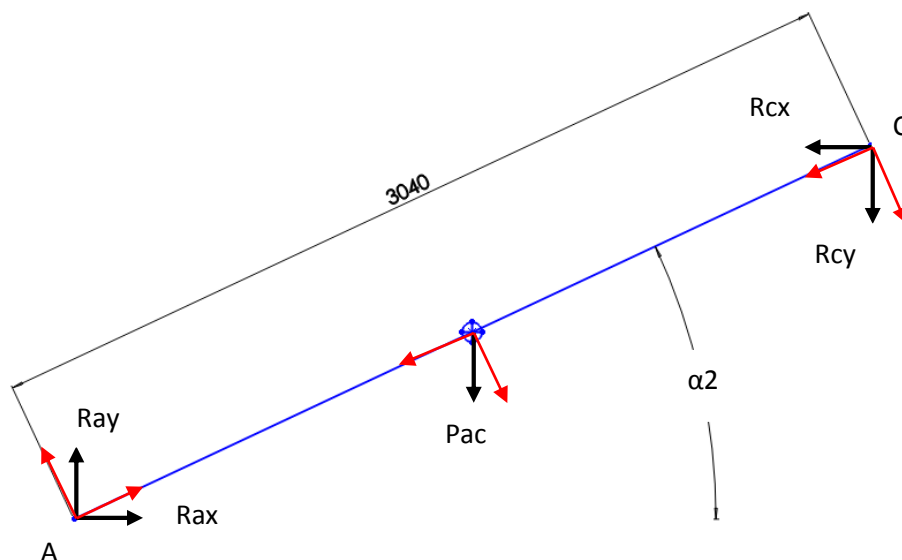


Figura (4.2.1.4). Cálculo de reacciones

$$Rax' = Rax \times \cos(\alpha2) + Ray \times \sin(\alpha2)$$

$$Rcx' = Rcx \times \cos(\alpha2) + Rcy \times \sin(\alpha2)$$

$$Ray' = -Rax \times \sin(\alpha2) + Ray \times \cos(\alpha2)$$

$$Rcy' = -Rcx \times \sin(\alpha2) + Rcy \times \cos(\alpha2)$$

$$Pacx' = Pac \times \sin(\alpha2)$$

$$Pacy' = Pac \times \cos(\alpha2)$$

Barra BD:

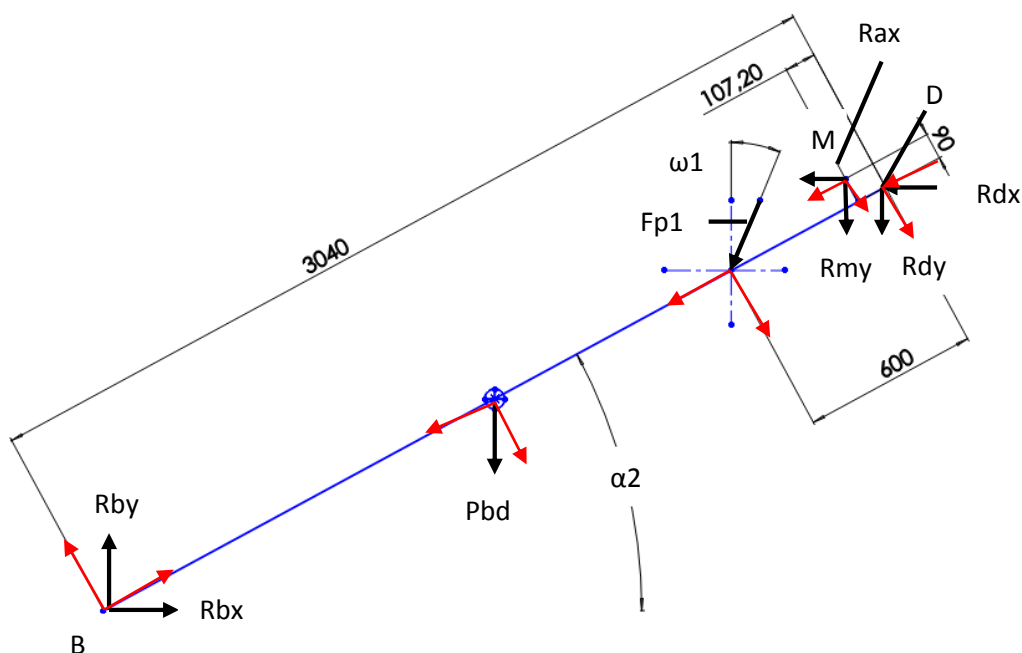


Figura (4.2.1.5). Cálculo de reacciones

$$Rbx' = Rbx \times \cos(\alpha_2) + Rby \times \sin(\alpha_2)$$

$$Rby' = -Rbx \times \sin(\alpha_2) + Rby \times \cos(\alpha_2)$$

$$Rdx' = Rdx \times \cos(\alpha_2) + Rdy \times \sin(\alpha_2)$$

$$Rdy' = -Rdx \times \sin(\alpha_2) + Rdy \times \cos(\alpha_2)$$

$$Rmx' = Rmx \times \cos(\alpha_2) + Rmy \times \sin(\alpha_2)$$

$$Rmy' = -Rmx \times \sin(\alpha_2) + Rmy \times \cos(\alpha_2)$$

$$Fp1x' = Fp1 \times \sin(\omega_2) \times \cos(\alpha_2) + Fp1 \times \cos(\omega_2) \times \sin(\alpha_2)$$

$$Fp1y' = -Fp1 \times \sin(\omega_2) \times \sin(\alpha_2) + Fp1 \times \cos(\omega_2) \times \cos(\alpha_2)$$

$$Pbdx' = Pbd \times \sin(\alpha_2)$$

$$Pbdy' = Pbd \times \cos(\alpha_2)$$

4.3- Cuadrilátero abierto con brazo telescópico extendido en posición alta, ejes globales

Barra HJI:

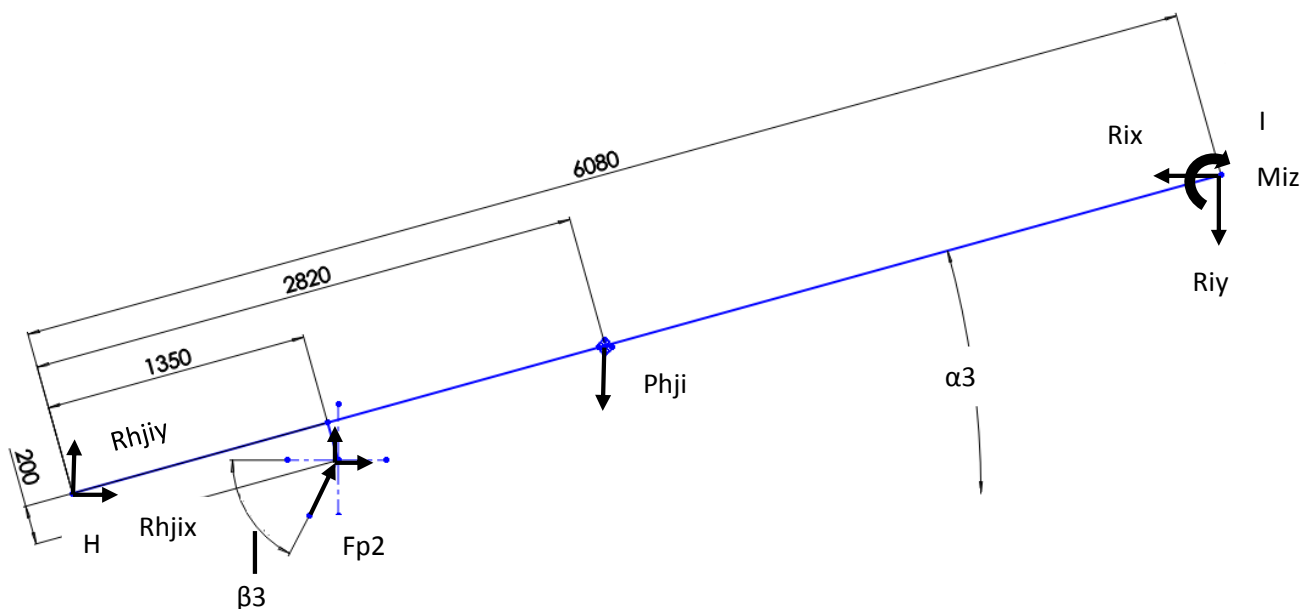


Figura (4.3.1). Cálculo de reacciones

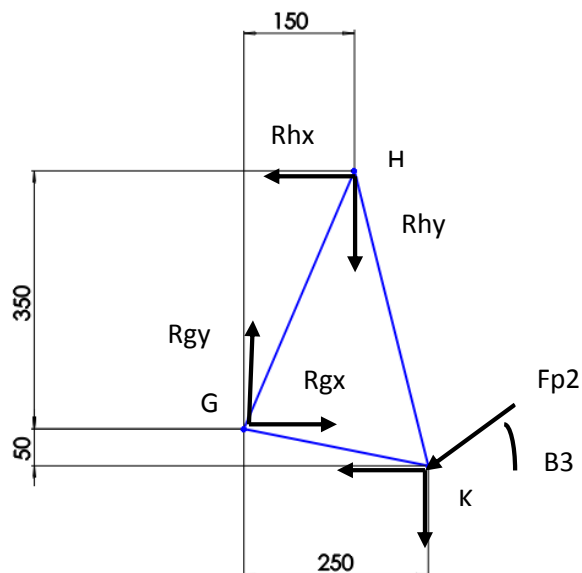
$$\sum Fx = 0 \Rightarrow Rhjix + Fp2 \times \cos(\beta_3) - Rix = 0$$

$$\sum Fy = 0 \Rightarrow Rhjiy + Fp2 \times \sin(\beta_3) - Riy - Phji = 0$$

$$\sum Mz = 0 \Rightarrow Fp2 \times \sin(\beta_3) \times [1.35 \times \cos(\alpha_3) + 0.2 \times \sin(\alpha_3)] - Fp2 \times \cos(\beta_3) \times [1.35 \times \sin(\alpha_3) + 0.2 \times \cos(\alpha_3)] - Phji \times 2.82 \times \cos(\alpha_3) + Rix \times 6.08 \times \sin(\alpha_3) - Riy \times 6.08 \times \cos(\alpha_3) - Miz = 0$$

$$Phji = Phj + Pji = 3441.0789 + 2305.5921 \text{ N}$$

Caja unión HGK:



$$\sum F_x = 0 \rightarrow -R_{hx} + R_{gx} - F_{p2} \times \cos(\beta_3) = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -R_{hy} + R_{gy} - F_{p2} \times \sin(\beta_3) = 0$$

$$\sum M_z = 0 \rightarrow R_{hx} \times 0.35 - R_{hy} \times 0.15 - F_{p2} \times \cos(\beta_3) \times 0.05 - F_{p2} \times \sin(\beta_3) \times 0.25 = 0$$

Figura (4.3.2). Cálculo de reacciones

Las ecuaciones del resto de barras y componentes son las mismas que en caso anterior en su mayor estado de extensión, es decir, $\alpha_2 = 60$.

4.3.1- Cuadrilátero abierto con brazo telescópico extendido en posición alta, ejes locales

Barra HJI:

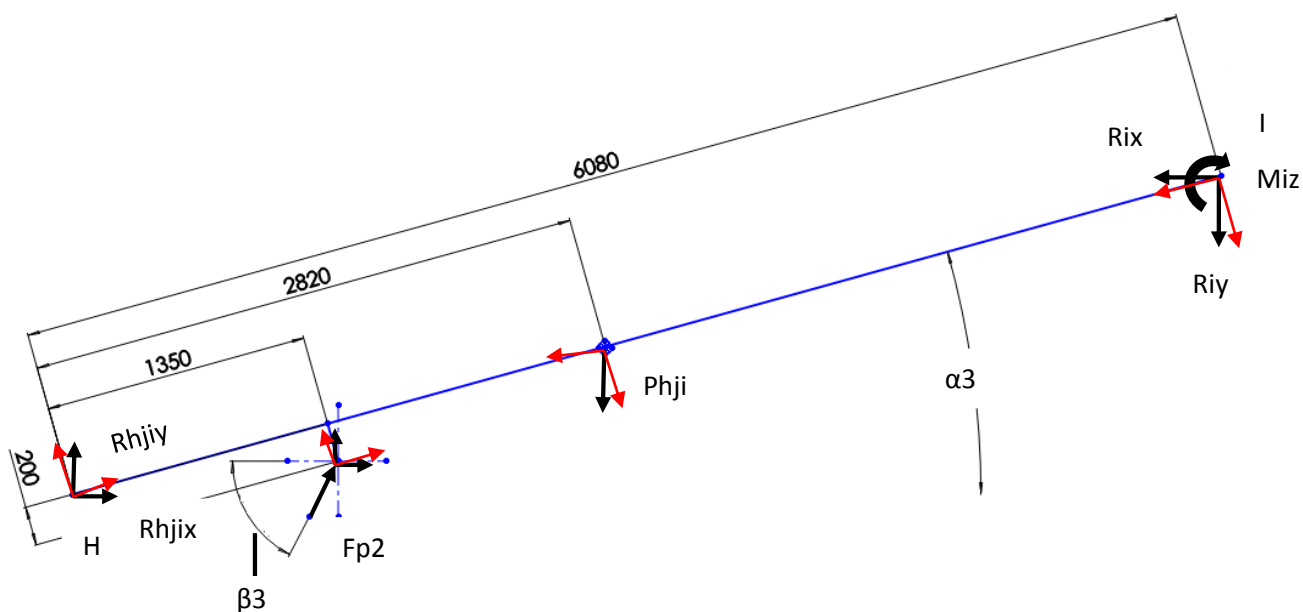


Figura (4.3.1.1). Cálculo de reacciones

$$Rhjix' = Rhjix \times \cos(\alpha_3) + Rhjiy \times \sin(\alpha_3)$$

$$Rix' = Rix \times \cos(\alpha_3) + Riyy \times \sin(\alpha_3)$$

$$Rhjiy' = -Rhjix \times \sin(\alpha_3) + Rhjiy \times \cos(\alpha_3)$$

$$Riy' = -Rix \times \sin(\alpha_3) + Riyy \times \cos(\alpha_3)$$

$$Fp2x' = Fp2 \times \cos(\beta_3) \times \cos(\alpha_3) + Fp2 \times \sin(\beta_3) \times \sin(\alpha_3)$$

$$Rdx' = Rdx \times \cos(\alpha_2) + Rdy \times \sin(\alpha_2)$$

$$Fp2y' = -Fp2 \times \cos(\beta_3) \times \sin(\alpha_3) + Fp2 \times \sin(\beta_3) \times \cos(\alpha_3)$$

$$Rdy' = -Rdx \times \sin(\alpha_2) + Rdy \times \cos(\alpha_2)$$

4.4- Resultados diagramas solidos libres

Una vez calculadas las ecuaciones de cada barra en sus distintas situaciones, calculas el valor de cada una de las reacciones en todos los puntos del sistema con el programa EES. El cálculo se realiza tanto en ejes globales como en ejes locales.

A continuación se muestra una tabla donde se recogen todos los resultados del sistema de cada uno de los componentes. Los resultados mostrados son en ejes locales, debido a que son los datos usados posteriormente para los diagramas de esfuerzo de los perfiles.

Resultados:

Barra HJI

Situación	Rhjix	Rhjiy	Fp2x	Fp2y	Phjix	Phjiy	Rix	Riy	Miz
-22	-135256.048	-4632.228	131388.883	14203.883	2152.741	5328.221	-1714.425	4243.35	4627.756
-14	-125510.82	-6834.114	123013.394	16850.739	1390.246	5575.97	-1107.18	4440.655	4627.756
-7	-119289.857	-8068.151	118031.767	18314.474	700.343	5703.836	-557.747	4542.487	4627.756
0	-116970.861	-8391.487	116970.861	18714.758	0	5746.671	0	4576.6	4627.756
15	-112024.18	-7968.898	114696.039	17940.412	-1487.348	5550.858	1184.511	4420.656	4627.756
30	-107043.515	-6110.885	112205.15	15051.1	-2873.336	4976.763	2288.3	3963.452	4627.756
45	-100222.625	-3261.944	107522.28	10561.599	-4063.51	4063.51	3236.145	3236.145	4627.756
60	-89379.805	-8.306	98320.02	5169.941	-4976.763	2873.335	3963.452	2288.3	4627.756
72	-75053.493	2256.817	84871.507	933.249	-5465.409	1775.819	4352.605	1414.247	4627.756

Tabla (4.4.1). Cálculo de reacciones

Caja unión HGK:

Situación	Rhx	Rhy	Rgx	Rgy	Fp2(resultante)
-22	8190.744	36813.593	135333.231	763.982	132154.403
-14	14129.859	14173.416	137565.792	763.982	124162.162
-7	18466.13	-3029.524	137850.078	763.982	119444.204
0	22384.618	-17950.776	139355.479	763.982	118458.535
20	4063.077	-60701.037	121033.939	-41986.279	118458.535
40	-14823.687	-104770.153	102147.175	-86055.395	118458.535
60	-48400.299	-183115.582	68570.562	-164400.823	118458.535
15	-39696.356	-206364.059	66448.19	-159349.431	116090.654
30	-29403.454	-213719.065	60243.505	-144581.853	113210.12
45	-18216.195	-204521.494	50345.358	-121023.581	108039.752
60	-7248.149	-178027.595	37434.558	-90294.987	98455.852
72	200.125	-142989.413	25539.288	-61983.423	84876.638

Tabla (4.4.2). Cálculo de reacciones

Barra GEL:

Situación	Rgx	Rgy	Pgelx	Pgely	Rex	Rey	Rlx	Rly
-22	135333.231	763.982	0	1238.146	141552.967	31415.107	-6219.736	-29412.979
-14	137565.792	763.982	0	1238.146	143785.528	31415.107	-6219.736	-29412.979
-7	137850.078	763.982	0	1238.146	144069.814	31415.107	-6219.736	-29412.979
0	139355.479	763.982	0	1238.146	145575.215	31415.107	-6219.736	-29412.979
20	128109.563	41.381	406.164	1169.63	126532.9	14223.59	1170.499	-13012.579
40	133564.617	-263.316	795.865	948.475	130580.16	4790.923	2188.592	-4105.765
60	178127.306	-464.112	1141.485	479.602	186946.987	-5095.066	-9961.165	5110.555
15	172648.161	-464.112	1141.485	479.602	181467.842	-5095.066	-9961.165	5110.555
30	156630.064	-464.112	1141.485	479.602	165449.745	-5095.066	-9961.165	5110.555
45	131076.874	-464.112	1141.485	479.602	139896.555	-5095.066	-9961.165	5110.555
60	97746.179	-464.112	1141.485	479.602	106565.86	-5095.066	-9961.165	5110.555
72	67037.188	-464.112	1141.485	479.602	75856.869	-5095.066	-9961.165	5110.555

Tabla (4.4.3). Cálculo de reacciones

Barra HF:

Situación	Rhfx	Rhfy	Phfx	Phfy	Fp1x	Fp1y	Rfx	Rfy
-22	-135333.231	9559.289	0	1285.823	17232.076	77536.721	-152565.307	-66691.61
-14	-137565.792	9559.289	0	1285.823	17232.076	77536.721	-154797.868	-66691.61
-7	-137850.078	9559.289	0	1285.823	17232.076	77536.721	-155082.154	-66691.61
0	-139355.479	9559.289	0	1285.823	17232.076	77536.721	-156587.555	-66691.61
20	-131496.034	9710.632	421.804	1214.669	-14675.257	78416.543	-117142.581	-67491.242
40	-140200.288	8171.4	826.511	984.997	-44967.385	65845.633	-96059.414	-56689.235
60	-187644.648	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-119832.987	-30849.595
15	-182165.503	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-114353.841	-30849.595
30	-166147.405	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-98335.744	-30849.595
45	-140594.215	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-72782.554	-30849.595
60	-107263.52	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-39451.859	-30849.595
72	-76554.529	4462.879	1185.44	498.069	-68997.101	35810.543	-8742.868	-30849.595

Tabla (4.4.4). Cálculo de reacciones

Chapa unión EFCD:

Situación	Rex	Rey	Rcx	Rcy	Rfx	Rfy	Rdx	Rdy
-22	141552.967	31415.107	-156153.159	-591.818	-152565.307	-66691.61	145140.189	-34684.685
-14	143785.528	31415.107	-158358.721	-591.818	-154797.868	-66691.61	147373.381	-34684.685
-7	144069.814	31415.107	-158670.007	-591.818	-155082.154	-66691.61	147657.667	-34684.685
0	145575.215	31415.107	-160175.407	-591.818	-156587.555	-66691.61	149163.067	-34684.685
20	124196.889	-28071.658	-136973.663	-50446.156	-132894.717	-25295.941	128275.834	-2921.443
40	103109.751	-80265.251	-114030.416	-96274.702	-110024.918	18319.329	107115.249	34328.78
60	67717.488	-174325.78	-92141.56	-160185.692	-74859.057	98527.985	84999.991	84387.897
15	65595.115	-169274.387	-89680.883	-155923.675	-72736.684	93476.593	82539.315	80125.88
30	59390.431	-154506.81	-82487.179	-143463.812	-66532	78709.015	75345.61	67666.017
45	49492.284	-130948.538	-71011.277	-123586.966	-56633.853	55150.743	63869.708	47789.171
60	36581.484	-100219.944	-56042.509	-97660.298	-43723.053	24422.149	48900.94	21862.503
72	24686.213	-71908.38	-42251.145	-73772.952	-31827.782	-3889.415	35109.576	-2024.842

Tabla (4.4.5). Cálculo de reacciones

Barra LM:

Situación	Rmx	Rmy	Rlx	Rly
-22	-30063.407	0	-30063.407	0
-14	-30063.407	0	-30063.407	0
-7	-30063.407	0	-30063.407	0
0	-30063.407	0	-30063.407	0
20	-13065.116	0	-13065.116	0
40	-4652.659	0	-4652.659	0
60	11195.651	0	11195.651	0
15	11195.651	0	11195.651	0
30	11195.651	0	11195.651	0
45	11195.651	0	11195.651	0
60	11195.651	0	11195.651	0
72	11195.651	0	11195.651	0

Tabla (4.4.6). Cálculo de reacciones

Barra AC:

Situación	Rax	Ray	Pacx	Pacy	Rcx	Rcy
-22	-156153.159	591.818	0	1183.636	-156153.159	-591.818
-14	-158358.721	591.818	0	1183.636	-158358.721	-591.818
-7	-158670.007	591.818	0	1183.636	-158670.007	-591.818
0	-160175.407	591.818	0	1183.636	-160175.407	-591.818
20	-145561.914	556.127	404.827	1112.254	-145966.742	-556.127
40	-148475.725	453.359	760.827	906.718	-149236.552	-453.359
60	-183770.599	295.909	1025.059	591.818	-184795.658	-295.909
15	-178849.246	295.909	1025.059	591.818	-179874.305	-295.909
30	-164461.836	295.909	1025.059	591.818	-165486.895	-295.909
45	-141510.032	295.909	1025.059	591.818	-142535.091	-295.909
60	-111572.494	295.909	1025.059	591.818	-112597.553	-295.909
72	-83989.764	295.909	1025.059	591.818	-85014.823	-295.909

Tabla (4.4.7). Cálculo de reacciones

Barra BD:

Situación	Rbx	Rby	Pbdx	Pbdy	Fp1x	Fp1y	Rmx	Rmy	Rdx	Rdy
-22	156153.159	14724.88	0	1285.823	17232.076	77536.721	-6219.736	-29412.98	145140.189	-34684.69
-14	158385.721	14724.88	0	1285.823	17232.076	77536.721	-6219.736	-29412.98	147373.381	-34684.69
-7	158670.007	14724.88	0	1285.823	17232.076	77536.721	-6219.736	-29412.98	147657.667	-34684.69
0	160175.407	14724.88	0	1285.823	17232.076	77536.721	-6219.736	-29412.98	149163.067	-34684.69
20	150800.534	13836.861	439.777	1208.278	38127.905	70076.959	-7307.811	-10830.18	119540.662	-46618.18
40	158321.109	11279.912	826.511	984.997	57036.788	55718.201	-3663.344	-2868.301	104121.155	-42554.99
60	197035.249	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	115582.057	-31418.21
15	192113.896	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	110660.704	-31418.21
30	177726.486	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	96273.294	-31418.21
45	154774.682	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	73321.49	-31418.21
60	124837.145	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	43383.952	-31418.21
72	97254.414	7362.44	1113.555	642.911	70245.569	33294.968	10094.068	4842.767	15801.222	-31418.21

Tabla (4.4.8). Cálculo de reacciones

5- Cálculo del centro de gravedad del brazo telescópico HJ

Como sabemos el brazo telescópico tiene dos partes, las barras HJ y JI. La barra JI se desliza por el interior de la barra HJ (se pueden ver los perfiles en el Anexo 1.3). Los perfiles tienen una holgura debido al material plástico que permite su deslizamiento, cuyo estudio se encuentra en la Memoria.

Las barras HJ y Ji tienen un peso de 3441.087 y 2305.5921 Newton respectivamente. Las longitudes son de 3.55 metros para el perfil HJ y de 3.33 metros para el perfil JI. La composición de ambas perfiles formando el brazo telescópico es de 6.08 metros, lo que da lugar a 80 centímetros de inclusión de la barra JI dentro de HJ.

Sabiendo esto el cálculo del C.D.G es el siguiente:

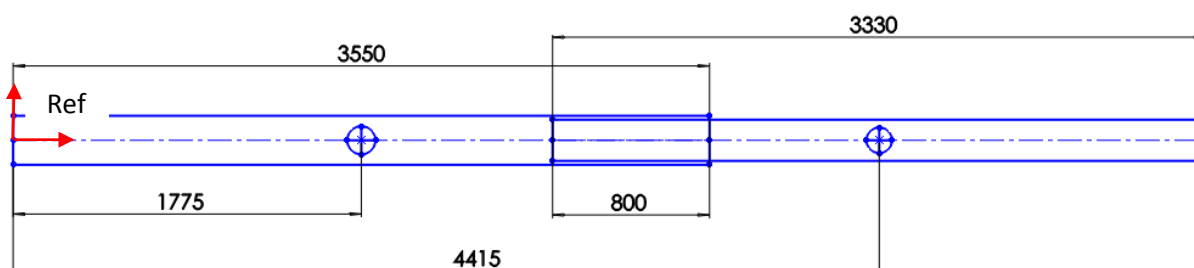


Figura (5.1). Cálculo del centro de gravedad

Teniendo como referencia el extremo izquierdo del brazo, la posición del C.D.G es:

$$Rcdg = \frac{1750 \times 3441.087 + 4415 \times 2305.5921}{3441.0789 + 2305.5921} = 2819.21 \text{ mm}$$

6- Diagramas de esfuerzo

Barra HJI:

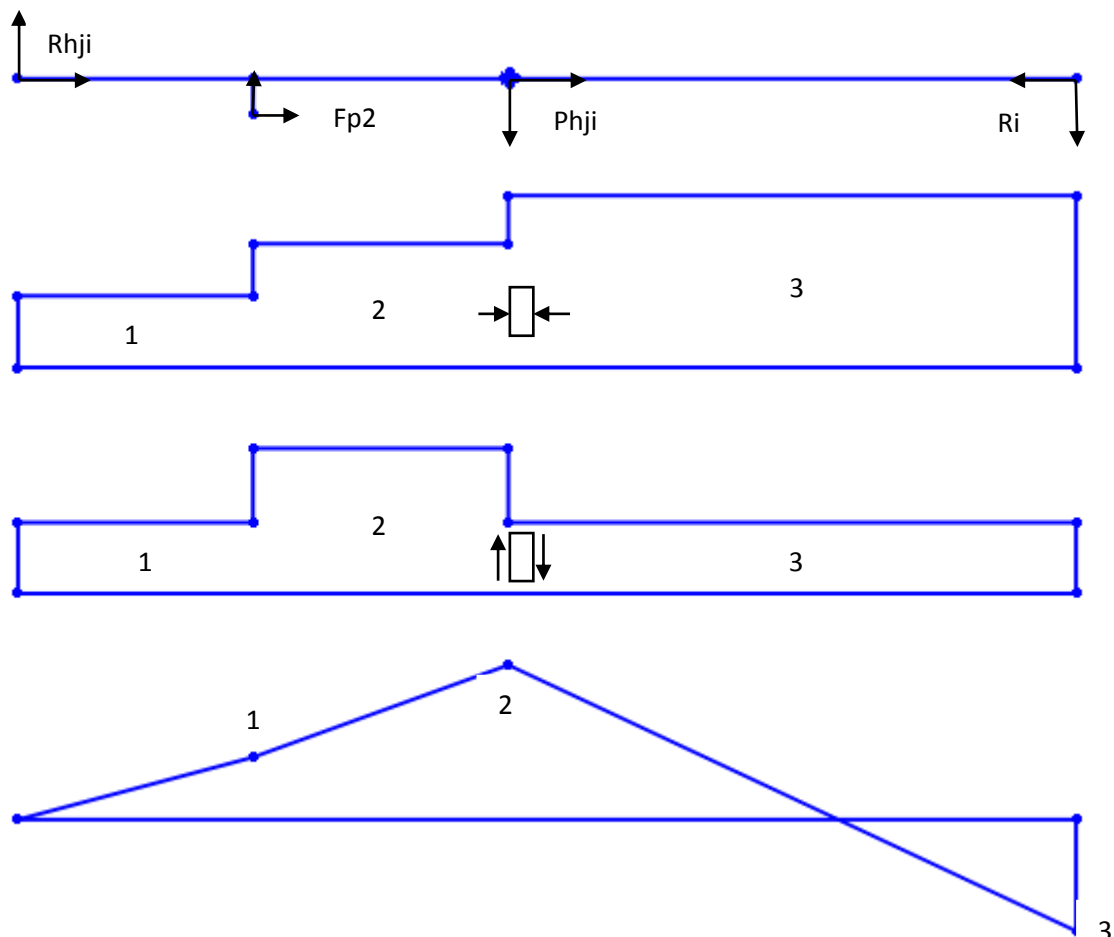


Figura (6.1). Diagramas de esfuerzo

- **Axil**

$$N1 = R_{hjix}$$

$$N2 = R_{hjix} + F_{p2x}$$

$$N3 = R_{hjix} + F_{p2x} + Ph_{jix} = R_{ix}$$
- **Cortante**

$$T1 = R_{hjiy}$$

$$T2 = R_{hjiy} + F_{p2y}$$

$$T3 = R_{hji} + F_{p2y} + Ph_{jiy} = R_{iy}$$
- **Momento flector**

$$M1 = R_{hji} \times 1.35$$

$$M2 = R_{hji} \times 2.82 + F_{p2y} \times (2.82 - 1.35) - F_{p2x} \times 0.2$$

$$M3 = M_{iz}$$

Resultados:

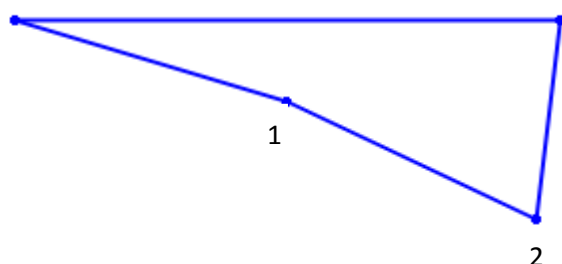
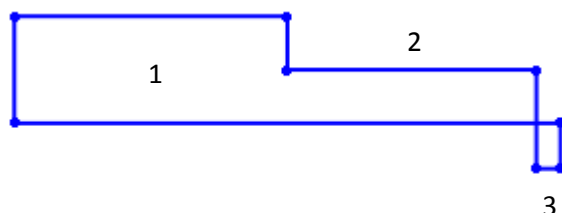
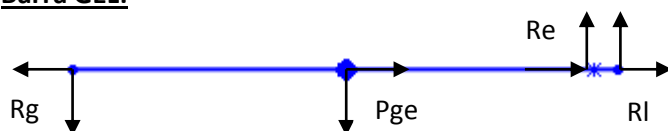
Solo se mostraran los resultados de los axiles y los momentos flectores, puesto que para el punto más desfavorable del perfil, que está en su extremo superior o inferior, la tensión cortante es nula.

Los resultados de los axiles son en Newton y los momentos en Nm.

Situación	N1	N2	N3	M1	M2	M3
-22	-135256.048	-3867.165	-1714.424	-6253.5078	-18460.9516	-4627.35671
-14	-125510.82	-2497.426	-1107.18	-9226.0539	-19104.294	-4627.75865
-7	-119289.857	-1258.09	-557.747	-10892.0039	-19436.2624	-4627.75482
0	-116970.861	0	0	-11328.5075	-19547.4713	-4627.75528
15	-112024.18	2671.859	4159.207	-10758.0123	-19039.0945	-4627.75596
30	-107043.515	5161.635	8034.971	-8249.69475	-17548.6087	-4627.75518
45	-100222.625	7299.655	11363.165	-4403.6244	-15177.5876	-4627.75485
60	-89379.805	8940.215	13916.978	-11.2131	-12087.6137	-4627.75565
72	-75053.493	9818.014	15283.423	3046.70295	-9238.20143	-4627.75621

Tabla (6.1). Diagramas de esfuerzo

Barra GEL:



- **Axil**
 $N1 = Rgx$
 $N2 = Rgx - Pgelx$
 $N3 = Rgx - Pgelx - Rex = RIx$
- **Cortante**
 $T1 = Rgy$
 $T2 = Rgy + Pgely$
 $T3 = Rgy + Pgely - Rey = RIy$
- **Momento flector**
 $M1 = Rgy \times (3.04 + 0.14)/2$
 $M2 = Rgy \times 3.04 + Pgely \times [3.04 - (3.04 + 0.14)/2]$

Figura (6.2). Diagramas de esfuerzo

Resultados:

Solo se mostraran los resultados de los axiles y los momentos flectores, puesto que para el punto más desfavorable del perfil, que está en su extremo superior o inferior, la tensión cortante es nula.

Los resultados de los axiles son en Newton y los momentos en Nm.

Situación	N1	N2	N3	M1	M2
-22	135333.231	135333.231	-6219.736	1214.73138	4117.81698
-14	137565.792	137565.792	-6219.736	1214.73138	4117.81698
-7	137850.078	137850.078	-6219.736	1214.73138	4117.81698
0	139355.479	139355.479	-6219.736	1214.73138	4117.81698
20	128109.563	127703.399	1170.499	65.79579	1821.76174
40	133564.617	132768.752	2188.592	-418.67244	574.80811
60	178127.306	176985.821	-9961.166	-737.93808	-715.47758
15	172648.161	171506.676	-9961.166	-737.93808	-715.47758
30	156630.064	155488.579	-9961.166	-737.93808	-715.47758
45	131076.874	129935.389	-9961.166	-737.93808	-715.47758
60	97746.179	96604.694	-9961.166	-737.93808	-715.47758
72	67037.188	65895.703	-9961.166	-737.93808	-715.47758

Tabla (6.2). Diagramas de esfuerzo

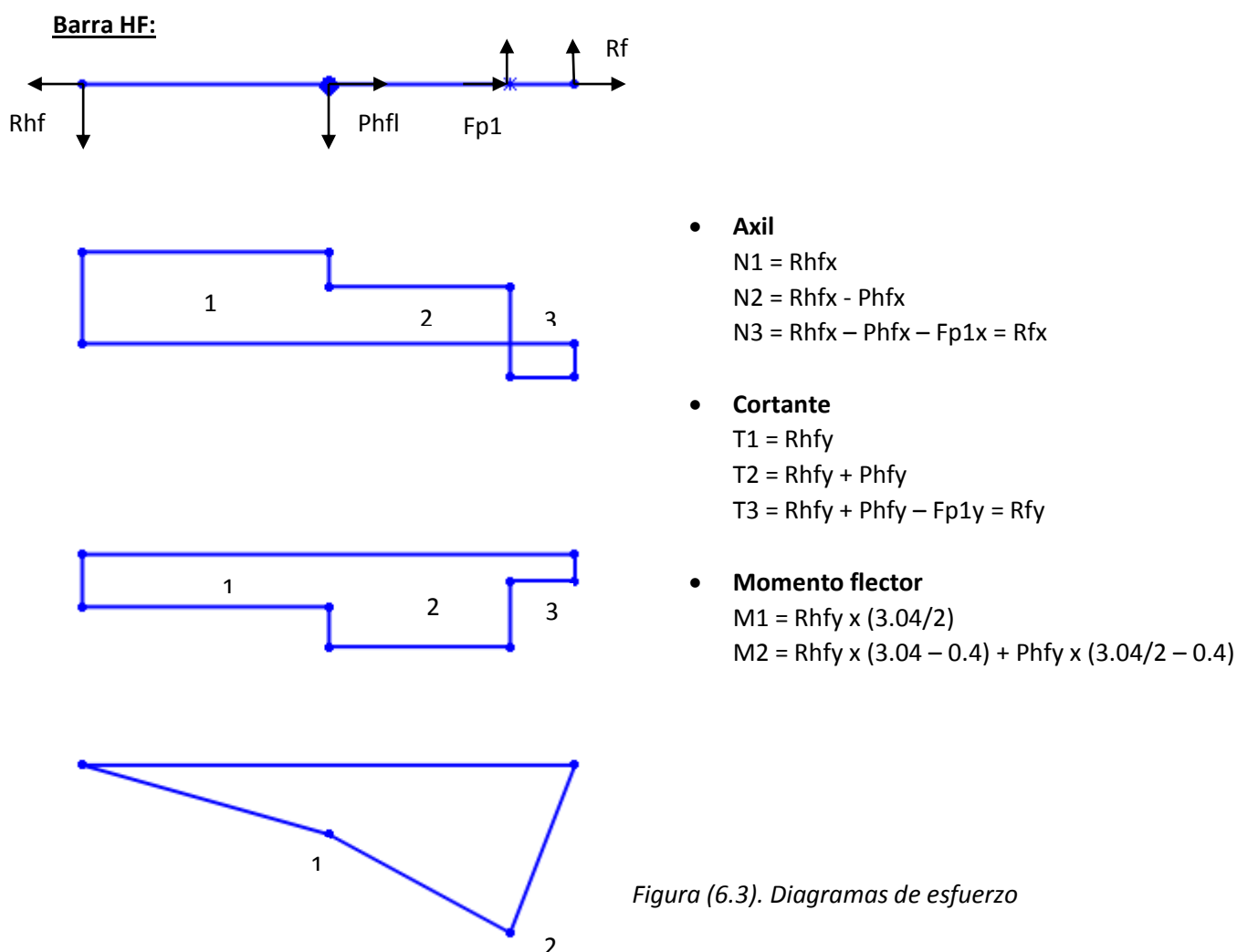


Figura (6.3). Diagramas de esfuerzo

Resultados:

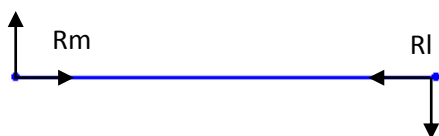
Solo se mostraran los resultados de los axiles y los momentos flectores, puesto que para el punto más desfavorable del perfil, que está en su extremo superior o inferior, la tensión cortante es nula.

Los resultados de los axiles son en Newton y los momentos en Nm.

Situación	N1	N2	N3	M1	M2
-22	-135333.231	-135333.231	-152565.307	14530.1193	26676.6447
-14	-137565.792	-137565.792	-154797.868	14530.1193	26676.6447
-7	-137850.078	-137850.078	-155082.154	14530.1193	26676.6447
0	-139355.479	-139355.479	-156587.555	14530.1193	26676.6447
20	-131496.034	-131917.838	-117242.581	14760.1606	26996.4978
40	-140200.288	-141026.799	-96059.414	12420.528	22675.6926
60	-187644.648	-188830.088	-119832.987	6783.57608	12339.8378
15	-182165.503	-183350.943	-114353.842	6783.57608	12339.8378
30	-166147.405	-167332.845	-98335.744	6783.57608	12339.8378
45	-140594.215	-141779.655	-72782.554	6783.57608	12339.8378
60	-107263.52	-108448.96	-39451.859	6783.57608	12339.8378
72	-76554.529	-77739.969	-8742.868	6783.57608	12339.8378

Tabla (6.3). Diagramas de esfuerzo

Barra LM:



La barra LM solo está sometida a tracción, por tanto no tiene momento flector.

- **Axil**
 $N1 = Rmx = Rlx$
- **Cortante**
 $T1 = Rmy = Rly$

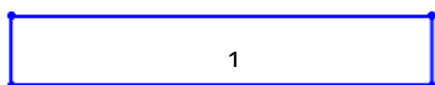


Figura (6.4). Diagramas de esfuerzo

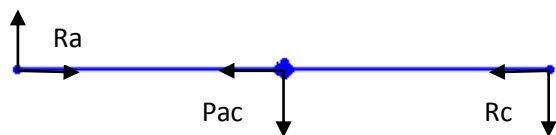
Resultados:

Los resultados de los axiles son en Newton.

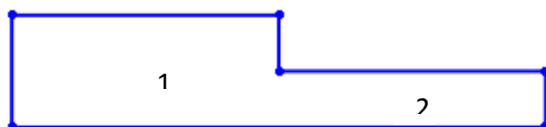
Situación	N1
-22	-30063.407
-14	-30063.407
-7	-30063.407
0	-30063.407
20	-13065.116
40	-4652.659
60	11195.651
15	11195.651
30	11195.651
45	11195.651
60	11195.651
72	11195.651

Tabla (6.4). Diagramas de esfuerzo

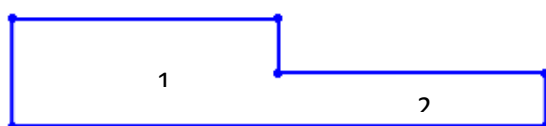
Barra AC:



- **Axil**
 $N1 = Rax$
 $N2 = Rax - Pacx$



- **Cortante**
 $T1 = Ray$
 $T2 = Ray - Pacy$



- **Momento flector**
 $M1 = Ray \times (3.04/2)$

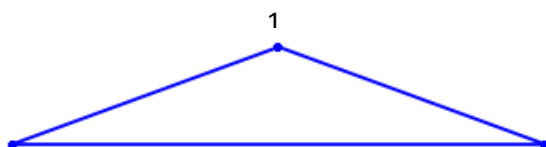


Figura (6.5). Diagramas de esfuerzo

Resultados:

Solo se mostraran los resultados de los axiles y los momentos flectores, puesto que para el punto más desfavorable del perfil, que está en su extremo superior o inferior, la tensión cortante es nula.

Los resultados de los axiles son en Newton y los momentos en Nm.

Situación	N1	N2	M1
-22	-156153.159	-156153.159	899.56336
-14	-158358.721	-158358.721	899.56336
-7	-158670.007	-158670.007	899.56336
0	-160175.407	-160175.407	899.56336
20	-145561.914	-145966.741	845.31304
40	-148475.725	-149236.552	689.10568
60	-183770.599	-184795.658	449.78168
15	-178849.246	-179874.305	449.78168
30	-164461.836	-165486.895	449.78168
45	-141510.032	-142535.091	449.78168
60	-111572.494	-112597.553	449.78168
72	-83989.764	-85014.823	449.78168

Tabla (6.5). Diagramas de esfuerzo

Barra BD:

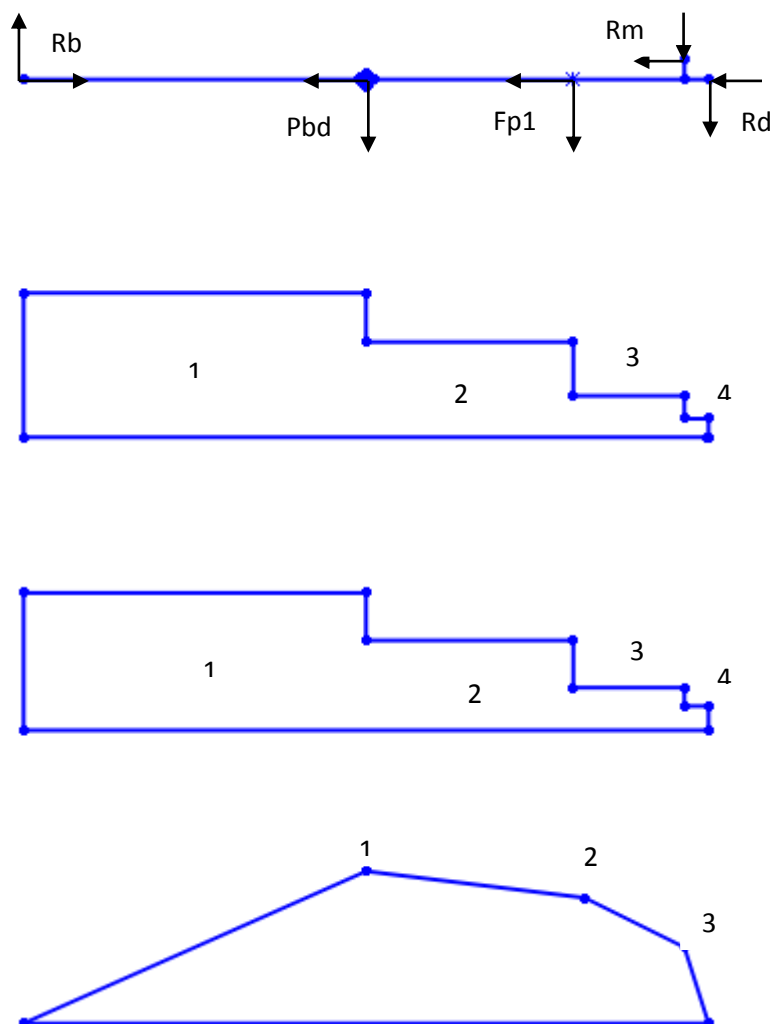


Figura (6.6). Diagramas de esfuerzo

- **Axil**

$$N1 = Rbx$$

$$N2 = Rbx - Pbdx$$

$$N3 = Rbx - Pbdx - Fp1x$$

$$N4 = Rbx - Pbdx - Fp1x - Rmx$$

- **Cortante**

$$T1 = Rby$$

$$T2 = Rby - Pbdy$$

$$T3 = Rby - Pbdy - Fp1y$$

$$T4 = Rby - Pbdy - Fp1y - Rmy$$

- **Momento flector**

$$M1 = Rby \times (3.04/2)$$

$$M2 = Rby \times (3.04 - 0.6) - Pbdy \times [(3.04/2) - 0.6]$$

$$M3 = Rby \times (3.04 - 0.1072) - Pbdy \times [(3.04/2) - 0.1072] - Fp1y \times (0.6 - 0.1071)$$

Resultados:

Solo se mostraran los resultados de los axiles y los momentos flectores, puesto que para el punto más desfavorable del perfil, que está en su extremo superior o inferior, la tensión cortante es nula.

Los resultados de los axiles son en Newton y los momentos en Nm.

Situación	N1	N2	N3	N4	M1	M2	M3
-22	156153.159	156153.159	138921.083	145140.819	22381.8176	34745.75	3158.42122
-14	158385.721	158385.721	141153.645	147373.381	22381.8176	34745.75	3158.42122
-7	158670.007	158670.007	141437.931	147657.667	22381.8176	34745.75	3158.42122
0	160175.407	160175.407	142943.331	149163.067	22381.8176	34745.75	3158.42122
20	150800.534	150360.757	112232.852	119540.663	21032.0287	32650.3251	4339.76539
40	158321.109	157494.598	100457.81	104121.154	17145.4662	26616.788	4232.1927
60	197035.249	195921.694	125676.125	115582.057	11190.9088	17372.8755	4276.49914
15	192113.896	191000.341	120754.772	110660.704	11190.9088	17372.8755	4276.49914
30	177726.486	176612.931	106367.362	96273.294	11190.9088	17372.8755	4276.49914
45	154774.682	153661.127	83415.558	73321.49	11190.9088	17372.8755	4276.49914
60	124837.145	123723.59	53478.021	43383.953	11190.9088	17372.8755	4276.49914
72	97254.414	96140.859	25895.29	15801.222	11190.9088	17372.8755	4276.49914

Tabla (6.6). Diagramas de esfuerzo

Nota: los dibujos de los diagramas de esfuerzos no son más que una representación. Los diagramas no tienen por qué ajustarse a la realidad, debido a la cantidad de casos y ángulos estudiados.

7- Cálculo del área y modulo resistente de perfiles no continuos:

Perfil BD:

El perfil BD está compuesto por dos perfiles, un perfil rectangular de medidas 180x140x10 mm, cuya longitud es de 2686.4 mm, y un perfil especial en U de dimensiones 180x160x10 mm que va soldado por fuera del perfil cuadrado.

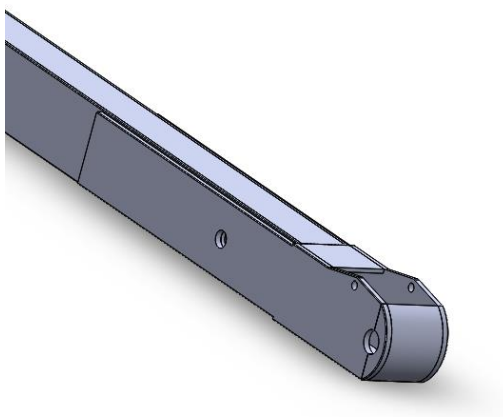


Figura (7.1). Cálculo área y modulo resistente

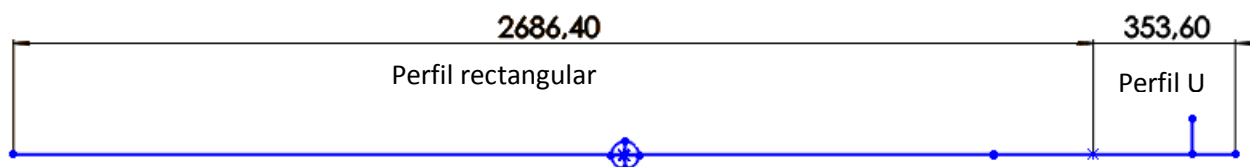


Figura (7.2). Cálculo área y modulo resistente

Aunque el perfil no sea continua en U, se tomara de tal forma para los cálculos.

El estudio se dividirá en estudiar la Zona1 (perfil rectangular) y Zona2 (perfil en U):

Zona1:

$$W_z = \frac{I_z}{y}$$

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b - 2e) \times (h - 2e)^3}{12}$$

$$y = h/2$$

$$A = b \times h - (b - 2 \times e) \times (h - 2 \times e)$$

Siendo:

$$b = 140 \text{ mm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$e = 10 \text{ mm}$$

Entonces:

$$I_z = 27080000 \text{ mm}^4$$

$$W_z = 300888.8889 \text{ mm}^3$$

$$A = 6000 \text{ mm}^2$$

Zona2:

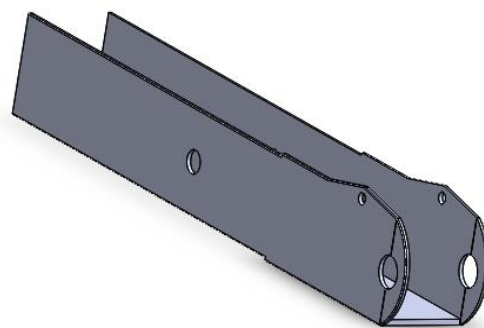


Figura (7.3). Cálculo área y modulo resistente

Perfil:

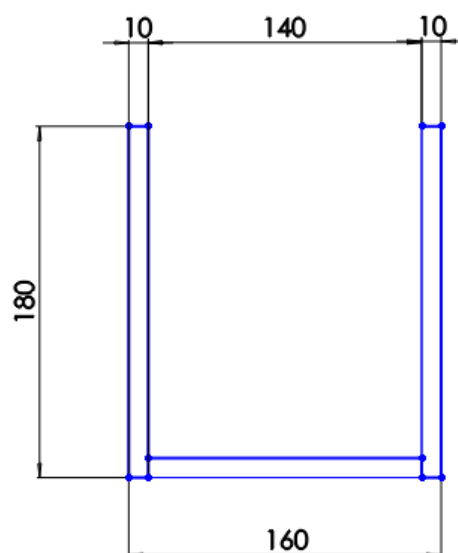


Figura (7.4). Cálculo área y modulo resistente

Suponemos perfil constante en U. Calculamos en primer lugar el centro de gravedad del perfil:

Dibujo del centro de gravedad:

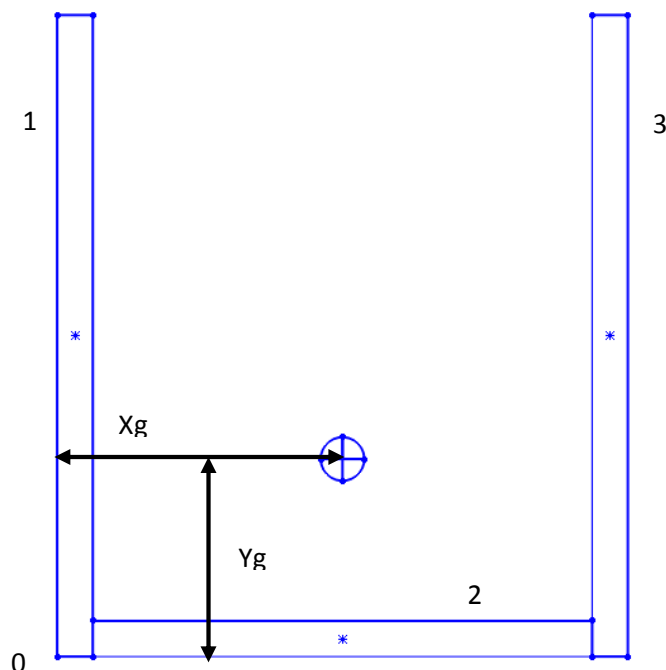


Figura (7.5). Cálculo área y modulo resistente

$$X_g = \frac{(180 \times 10) \times \frac{10}{2} + (140 \times 10) \times \frac{160}{2} + (180 \times 10) \times 155}{2 \times (180 \times 10) + (140 \times 10)}$$

$$Y_g = \frac{(180 \times 10) \times \frac{180}{2} + (140 \times 10) \times \frac{10}{2} + (180 \times 10) \times \frac{180}{2}}{2 \times (180 \times 10) + (140 \times 10)}$$

Valores a de área:

$$A_{total} = (180 \times 10) + (180 \times 10) + (140 \times 10) = 5000 \text{ mm}^2$$

$$I_{x1} = \frac{10 \times 180^3}{12} + (10 \times 180) \times \left(\frac{180}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{x2} = \frac{140 \times 10^3}{12} + (140 \times 10) \times \left(\frac{10}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{x3} = \frac{10 \times 180^3}{12} + (10 \times 180) \times \left(\frac{180}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3} = 17014466.667 \text{ mm}^4$$

$$W_z = \frac{I_{total}}{y_{max}} = \frac{I_{total}}{180/2} = 189049.63 \text{ mm}^3$$

Perfil HJI:

El brazo telescópico HJI se compone como ya sabemos del perfil HJ y JI. el perfil HJ es un perfil especial que se compone de un perfil rectangular de 250x200x15 mm y un perfil en U de las mismas dimensiones, se trata de un perfil continuo. El perfil JI es rectangular de dimensiones 190x140x15 mm

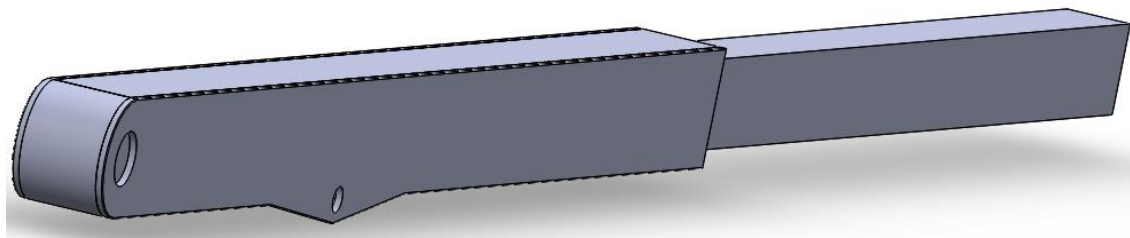


Figura (7.6). Cálculo área y modulo resistente

Por tanto el perfil completo HJI se divide en tres zonas distintas:

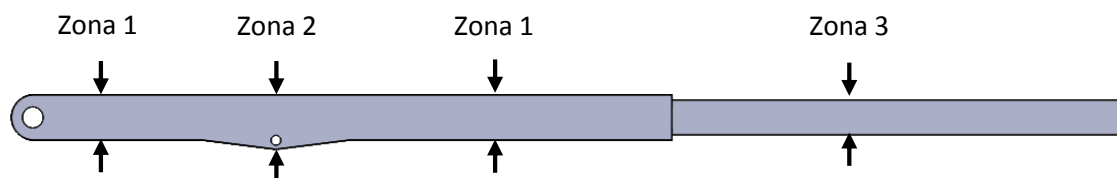


Figura (7.7). Cálculo área y modulo resistente

Zona1: perfil rectangular 250x200x15 mm

$$W_z = \frac{I_z}{y}$$

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b - 2e) \times (h - 2e)^3}{12}$$

$$y = h/2$$

$$A = b \times h - (b - 2e) \times (h - 2e)$$

Siendo:

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$e = 15 \text{ mm}$$

Entonces:

$$W_z = 1095700 \text{ mm}^3$$

$$A = 12600 \text{ mm}^2$$

Zona2: perfil en U

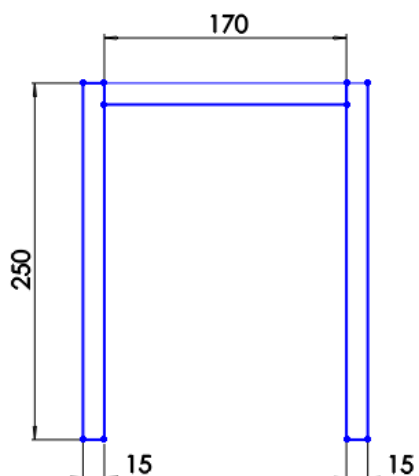


Figura (7.8). Cálculo área y modulo resistente

Suposición de perfil constante para el cálculo. Calculamos el centro de gravedad del perfil:

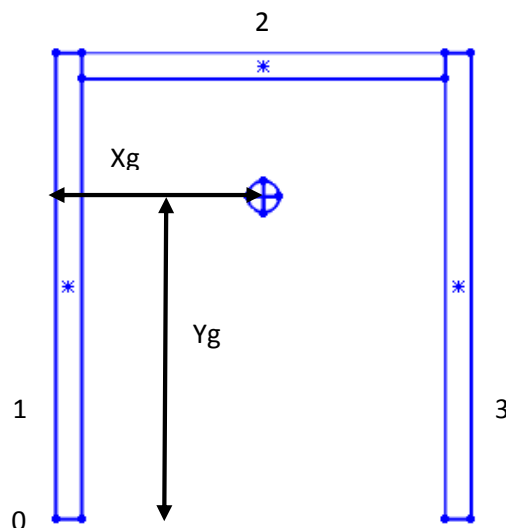


Figura (7.9). Cálculo área y modulo resistente

$$X_g = \frac{(250 \times 15) \times \frac{15}{2} + (170 \times 15) \times \frac{200}{2} + (250 \times 15) \times 185}{2 \times (250 \times 15) + (170 \times 15)}$$

$$Y_g = \frac{(250 \times 15) \times \frac{250}{2} + (170 \times 15) \times 235 + (250 \times 15) \times \frac{250}{2}}{2 \times (250 \times 15) + (170 \times 15)}$$

Valores a de área:

$$A_{total} = (250 \times 15) + (250 \times 15) + (170 \times 15) = 10050 \text{ mm}^2$$

$$I_{x1} = \frac{15 \times 250^3}{12} + (15 \times 250) \times \left(\frac{250}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{x2} = \frac{170 \times 15^3}{12} + (170 \times 15) \times \left(250 - \frac{15}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{x3} = \frac{15 \times 250^3}{12} + (15 \times 250) \times \left(\frac{250}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{total} = I_{x1} + I_{x2} + I_{x3}$$

$$W_z = \frac{I_{total}}{y_{max}} = \frac{I_{total}}{180/2} = 523290.858 \text{ mm}^3$$

Zona3: perfil rectangular 190x140x15 mm

$$W_z = \frac{I_z}{y}$$

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b - 2e) \times (h - 2e)^3}{12}$$

$$y = h/2$$

$$A = b \times h - (b - 2 \times e) \times (h - 2 \times e)$$

Siendo:

$$b = 190 \text{ mm}$$

$$h = 140 \text{ mm}$$

$$e = 15 \text{ mm}$$

Entonces:

$$W_z = 447105.263 \text{ mm}^3$$

$$A = 90000 \text{ mm}^2$$

8- Cálculo pasadores, espesores pletinas y anchuras

El primer paso para calcular las distintas magnitudes estudiadas en este apartado es calcular la fuerza resultante en los puntos a estudiar, en los puntos de los pasadores, representados en las figuras descriptivas de la estructura.

Calculo fuerza resultante:

$$F_{\text{resultante}} = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Las reacciones en “x” e “y” las encontraremos en el análisis estático de la estructura (Anexo 1.4)

De todas las resultantes obtenidas escogemos la de mayor magnitud puesto que es más restrictiva

8.1- Cálculo de pasadores

Tensión de cortante directo:

$$\tau = F_{\text{resultante}} / (n^{\circ} \text{ planos} \times A) \rightarrow \text{el } n^{\circ} \text{ de planos son 2 en todos los casos}$$

Y aplicamos el coeficiente de seguridad:

$$C_{SF} = \tau_{\text{pasador}} / \tau_{\text{max}} = \frac{\sigma_{\text{fluencia}} / 2}{\tau_{\text{max}}} = 3$$

$$\tau_{\text{max}} = \frac{355/2}{3} = 59.1667 \text{ MPa}$$

A continuación se mostrara una tabla con todos los resultados de todos los pasadores, a excepción del pasador H, cuyo estudio se hará en el cálculo a flexión compuesta:

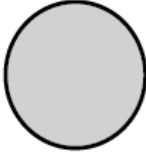
PASADOR	FUERZA RESULTANTE (N)	DIAMETRO PASADOR REAL (mm)	DIAMETRO PASADOR ESCOGIDO (mm)
A	183770.8372	44.467	45
C	184795.895	44.59	45
B	197172.754	46.06	48
PASADOR FP1 BARRA BD Y HF	79777.9254	29.29	30
M	30063.407	17.985	20
D	153142.574	40.59	48
G	178127.9106	43.78	45
E	187016.405	44.6	45
L	30063.407	17.985	20
F	170198.217	42.7936	45
PASADOR FP2 BARRA HJI Y CAJA HGK (PUNTO K)	132154.416	37.7	45

Tabla (8.1.1). Cálculo de pasadores

Estos son los resultados de los pasadores de cada punto. Podemos ver como se han calculado el diámetro del pasador real y después aproximamos a un valor que el proveedor nos pueda vender.

Tablas catálogo del proveedor:

PERFIL REDONDO
Suministrados en barras de 6 m. Otras longitudes bajo pedido.



DIÁMETRO mm	PESO kg/m	SECCIÓN cm ²	DIÁMETRO mm	PESO kg/m	SECCIÓN cm ²
6	0,23	0,28	75	36,07	44,17
8	0,41	0,50	80	41,04	50,26
10	0,64	0,79	85	46,23	56,72
12	0,92	1,13	90	51,95	63,61
14	1,26	1,54	95	57,87	70,88
16	1,64	2,01	100	64,17	78,54
18	2,08	2,54	105	70,69	86,59
20	2,57	3,14	110	77,58	95,03
22	3,10	3,80	115	84,80	103,87
25	4,00	4,91	120	92,33	113,09
26	4,34	5,31	125	100,18	122,72
30	5,77	7,07	130	108,37	132,73
32	6,56	8,04	135	116,85	143,14
35	7,92	9,62	140	125,67	153,93
38	9,26	11,34	145	134,87	165,13
40	10,26	12,57	150	144,27	176,71
42	11,32	13,85	155	154,02	188,69
45	13,28	15,90	160	164,11	201,06
48	14,78	18,09	165	174,62	213,72
50	16,03	19,63	170	185,33	226,98
52	17,34	21,24	175	196,35	240,41
58	21,57	26,42	180	207,79	254,47
60	23,09	28,27	185	219,44	268,67
62	24,65	30,18	190	231,50	283,52
65	27,09	33,18	195	243,78	298,50
70	31,42	38,48	200	256,46	314,16

Figura (8.1.1). Cálculo de pasadores

8.2- Cálculo espesores de los perfiles, pletinas y orejetas

Del mismo modo lo primero es obtener las fuerzas resultantes en cada uno de los puntos donde se alojan los pasadores. Las fuerzas resultantes son las mismas que en caso anterior.

La tensión de aplastamiento se define como:

$$\sigma_{\text{aplastamiento}} = F / (d \cdot e)$$

d → diámetro del casquillo (para el espesor de los perfiles)

d = d_pasador + 2 x 2.5 (el espesor del casquillo es de 2.5 mm)

d → diámetro del pasador (para el espesor de pletinas y orejetas, las cuales no tienen casquillo en su interior)

e → es la longitud de la superficie de contacto con el pasador, el espesor del perfil/pletina/orejeta

e = espesor x 2 (se multiplica por 2 debido a que el pasador cruza el perfil de lado a lado)

Aplicamos el coeficiente de seguridad

$$\tau_{\max} = \sigma_{\text{aplastamiento}}/2$$

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{fluencia}}/C_{\text{SF}} \rightarrow \frac{355/2}{3} = 59.1667 \text{ MPa}$$

$$\text{Siendo: } \tau_{\text{fluencia}} = \sigma_{\text{fluencia}}/2$$

De nuevo mostraremos una tabla donde se recogen todos Los resultados. En ella diferenciaremos entre espesores de los perfiles, los cuales llevan casquillo en su interior, y espesores de pletinas y orejetas, que no llevan casquillo en su interior.

PUNTO	PIEZA	FUERZA RESULTANTE (N)	DIAMETRO DE CALCULO (mm)	ESPESOR REAL (mm)	ESPESOR APROXIMADO (mm)
A	PERFIL	183770.8372	45+2x2.5 = 50	15.53	16
	OREJETA		45	17.255	18
C	PERFIL	184798.895	45+2x2.5 = 50	15.62	16
	PLETINA EFCD		45	17.3517	18
B	PERFIL	197172.754	48+2x2.5 = 53	15.72	16
	OREJETA		48	17.38	18
PASADOR FP1 BARRA BD Y HF	PERFIL	79777.9254	30+2x2.5 = 35	9.631	10
M	PERFIL BARRA LM	30063.407	20+2x2.5 = 25	5.081	6
	PERFIL ESPECIAL BARRA BD		20	6.351	7
D	PERFIL	153142.574	48+2x2.5 = 53	11.16	12
	PLETINA EFCD		48	13.48	14
G	PERFIL	178127.9106	45+2x2.5 = 50	15.05	16
	PLETINA HGK		45	16.73	17
E	PERFIL	187016.405	45+2x2.5 = 50	15.8	16
	PLETINA EFCD		45	17.56	18
L	PERFIL BARRA LM	30063.407	20+2x2.5 = 25	5.081	6
	PLETINA UNION LM-GEL		20	6.351	7
H BARRA HF	PERFIL	187697.712	90+2x2.5 = 95	8.348	9
	PLETINA HGK	141084.027	90	6.624	7
F	PERFIL	170198.217	45+2x2.5 = 50	14.38	15
	PLETINA EFCD		45	15.98	16
H BARRA HJI	PERFIL	135335.347	90+2x2.5 = 95	6.019	7
	PLETINA HGK	141084.027	90	6.624	7
PASADOR FP2 BARRA HJI	PERFIL HJI	132154.413	45+2x2.5 = 50	11.17	12
	PLETINA HGK		45	12.41	13

Tabla (8.2.1). Cálculo de espesores

En la tabla se han incluido los espesores de los perfiles y pletinas debidos al pasador H. El cálculo de este pasador se calculará en el anexo siguiente (Anexo 1.9). Del mismo modo podremos ver de dónde sale la fuerza resultante con la cual se calcula el espesor de la pletina HGK.

8.3- Cálculo de anchuras de las pletinas y orejetas

Siguiendo la misma dinámica que en los dos apartados anteriores partimos de las fuerzas resultantes de cada uno de los puntos estudiados.

Halladas sus fuerzas resultantes aplicamos el cálculo a tracción para determinar las magnitudes requeridas de los distintos elementos:

$\sigma_{\text{traccion}} = F / (A \times 2) \rightarrow$ el área es por 2 debido a que hay dos pletinas/orejetas, una por cada lado del perfil)

$$A_{\text{anchura}} = (b - d_{\text{pasador}}) \times e$$

$b \rightarrow$ es la dimensión de la altura/anchura alrededor del centro del agujero para que no falle.

$e \rightarrow$ es el espesor del perfil obtenido en el cálculo anterior.

$$\tau_{\text{max}} = \sigma_{\text{traccion}} / 2$$

$$\tau_{\text{max}} = \tau_{\text{fluencia}} / C_{\text{sf}}$$

$$\text{Siendo: } \tau_{\text{fluencia}} = \sigma_{\text{fluencia}} / 2$$

Los resultados se recogen en la siguiente tabla:

PUNTO	PIEZA	FUERZA RESULTANTE (N)	ANCHURA REAL (mm)	ANCHURA APROXIMADA (mm)
A	OREJETA	183770.8372	88.138	90
C	PLETINA EFCD	184795.895	88.379	90
B	OREJETA	197172.754	91.85	92
M	PLETINA PERFIL ESPECIAL	30063.407	38.15	40
D	PLETINA EFCD	153142.574	83.95	90
G	CAJA HGK	178127.9106	89.27	90
E	PLETINA EFCD	187016.405	88.9	90
L	PLETINA UNION LM-GEL	30063.407	38.15	40
H	CAJA HGK	141084.027	135.9	140
F	PLETINA EFCD	170198.217	84.95	85
K	CAJA HGK	132154.413	77.85	80
FP2 BARRA HJI	PLETINA PERFIL ESPECIAL	132154.413	77.85	80

Tabla (8.3.1). Cálculo de anchuras

Se han incluido de nuevo dimensiones provenientes del cálculo del pasador H. En el *Anexo 1.8.4* veremos su valor y el cálculo de su fuerza resultante.

8.4- Cálculo a flexión compuesta

Aplicaremos el cálculo a flexión al pasador H, el cual es el más solicitado y articula dos barras (HJI y HF) con respecto a la caja o pletina HGK.

En primer lugar hallaremos las fuerzas resultantes máximas de cada una de las barras que articula. Las fuerzas resultante se sacan de las reacciones “x” e “y” del análisis estático.

Fuerza resultante H barra HF = 187697.712 N → pluma abierta 60° y brazo telescópico horizontal

Fuerza resultante H barra HJI = 135335.247 N → pluma recogida y brazo telescópico a -22°

Una vez que sabemos que fuerzas son las más restrictivas debemos descomponerlas en sus ejes “x” e “y”:

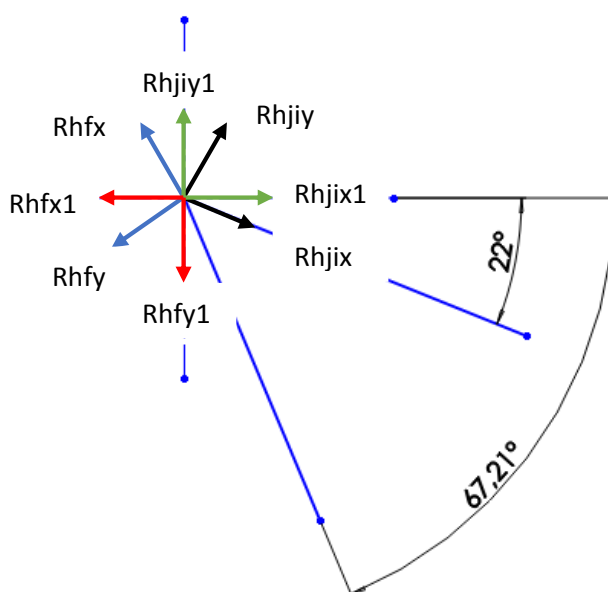


Figura (8.4.1). Cálculo de flexión

Las reacciones están en los ejes locales, tal como se calcularon en el análisis estático. Ahora debemos pasarlas a ejes globales “X” e “Y”, tal y como están representadas en la figura anterior:

$$Rhfx = -187644.648 \text{ N}$$

$$Rhjix = -135256.048 \text{ N}$$

$$Rhfy = 4462.879 \text{ N}$$

$$Rhjiy = -4632.228 \text{ N}$$

Las pasamos a ejes globales:

$$Rhfx1 = Rhfx \times \cos(67.21) + Rhfy \times \sin(67.21) = -68570.568 \text{ N}$$

$$Rhfy1 = -Rhfx \times \sin(67.21) + Rhfy \times \cos(67.21) = 174724.092 \text{ N}$$

$$Rhjix1 = Rhjix \times \cos(22) + Rhjiy \times \sin(22) = -127142.487 \text{ N}$$

$$Rhjiy1 = -Rhjix \times \sin(22) + Rhjiy \times \cos(22) = 46372.882 \text{ N}$$

Calculamos la fuerza resultante de las cuatro fuerzas, en ejes locales, para los anexos anterior donde obtenemos espesores y anchuras:

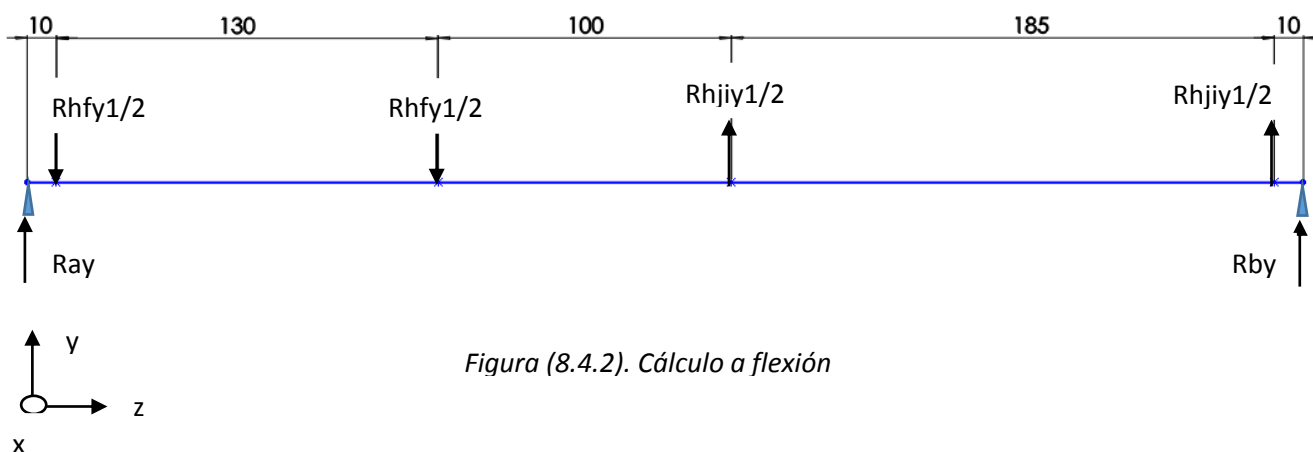
$$F_{\text{resultante}} = \sqrt{(68570.568 - 127142.487)^2 + (-174724.092 + 46372.882)^2} = 141084.0275 \text{ N}$$

Ahora que tenemos las reacciones más restrictivas, es decir, la peor situación en la que se puede encontrar el pasador H, debemos hallar las reacciones de la pletina o caja HGK donde se apoya dicho pasador. Para ello trabajaremos en dos planos, separando las reacciones de "x" y de "y".

Las reacciones de las barras se dividirán en dos, una por cada pared que apoya en el pasador y debido a su pequeño espesor en comparación con el resto de magnitudes se comportaran como fuerzas puntuales. Las fuerzas puntuales se colocaran en el centro del espesor.

Las medidas de las figuras representan espacios para casquillos de separación, las medidas de los perfiles y las distancias entre perfiles. Todo calculado para que entren sin problema todos los elementos.

Plano yz:



Ecuaciones estáticas:

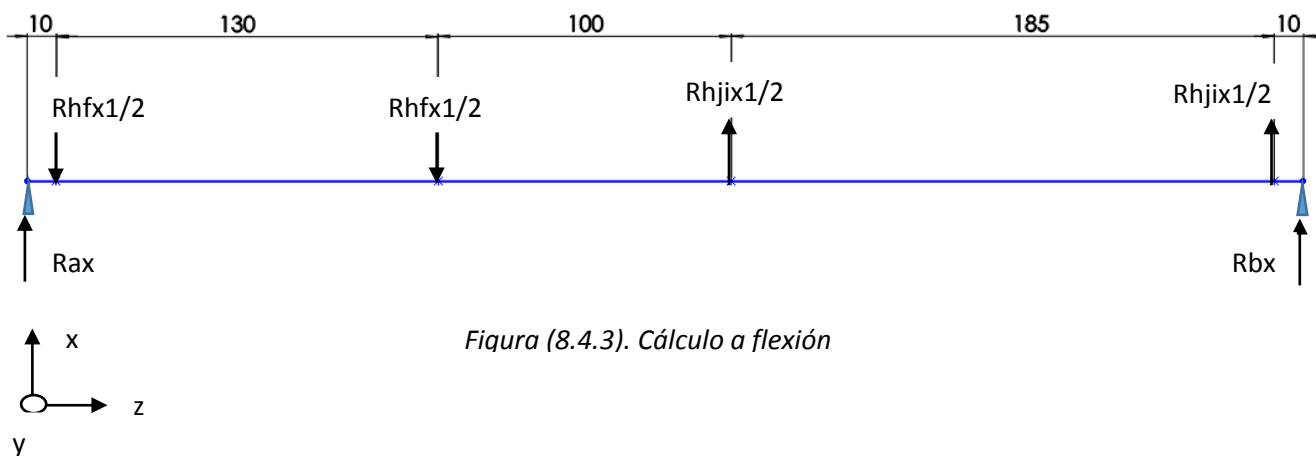
$$\sum Fy = 0 \rightarrow Ray + Rby - 2 \times (Rhfy1/2) + 2 \times (Rhjiy/2) = 0$$

$$\sum Max = 0 \rightarrow -(Rhfy1/2) \times 10 - (Rhfy1/2) \times 140 + (Rhjiy1/2) \times 240 + (Rhjiy1/2) \times 425 + Rby \times 435 = 0$$

$$Ray = 133672.307 \text{ N}$$

$$Rby = -5321.094 \text{ N}$$

Plano xz:



Ecuaciones estáticas:

$$\sum Fy = 0 \rightarrow Rax + Rbx - 2 \times (Rhfx1/2) + 2 \times (Rhjix/2) = 0$$

$$\sum Max = 0 \rightarrow -(Rhfx1/2) \times 10 - (Rhfx1/2) \times 140 + (Rhjix1/2) \times 240 + (Rhjix1/2) \times 425 + Rbx \times 435 = 0$$

$$Rax = -26789.19 \text{ N}$$

$$Rbx = 85361.114 \text{ N}$$

Diagramas de esfuerzo:

Plano yz:

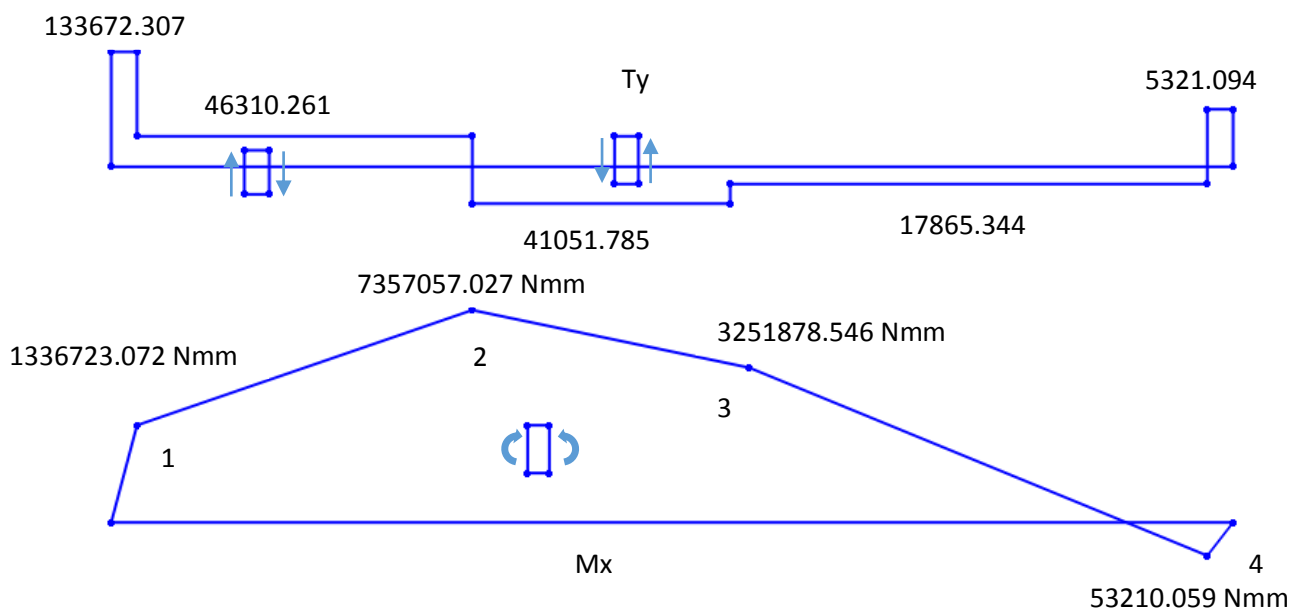


Figura (8.4.4). Cálculo a flexión

Plano xz

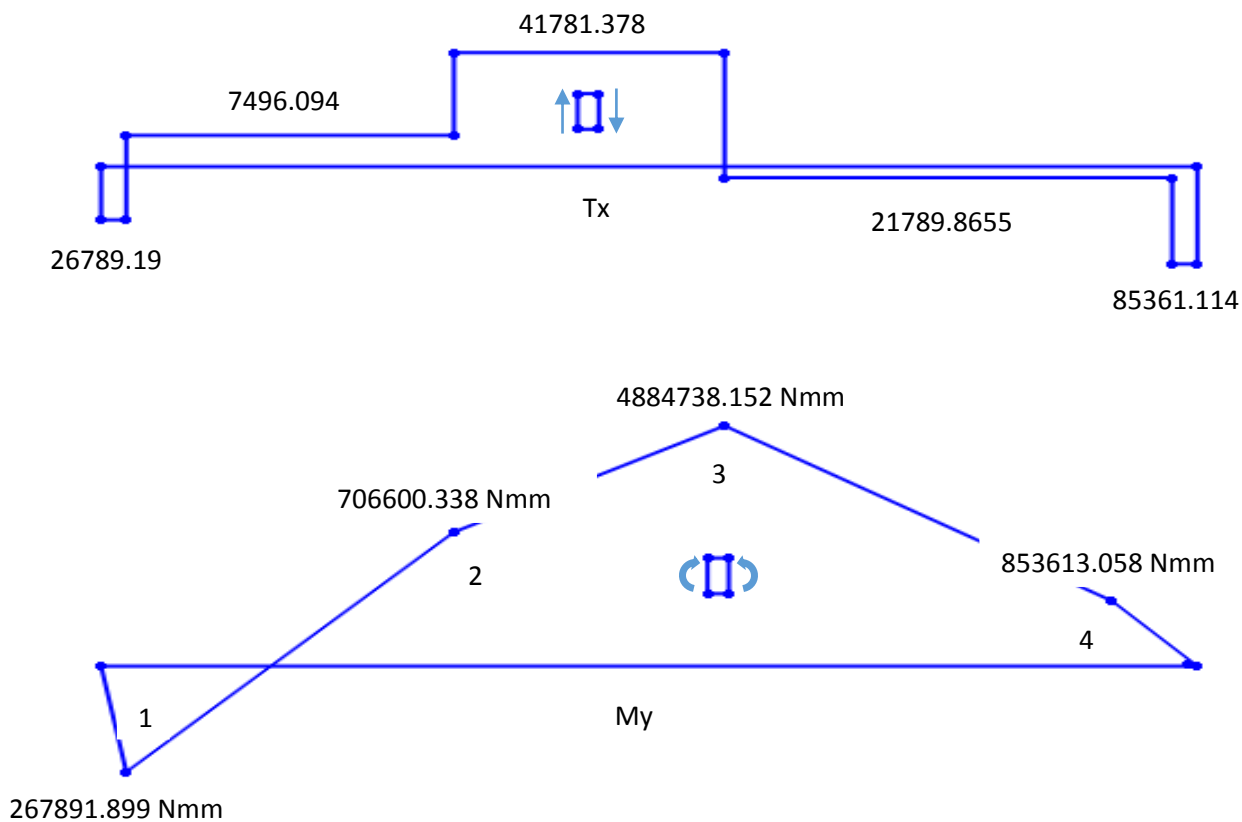


Figura (8.4.5). Cálculo a flexión

Calculamos las resultantes de los momentos flectores y los cortantes en ambos planos:

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad T = \sqrt{T_x^2 + T_y^2}$$

$$M1 = \sqrt{1336723.072^2 + 267891.899^2} = 1363302.842 \text{ Nmm}$$

$$M2 = \sqrt{7357057.027^2 + 706600.338^2} = 7390911.455 \text{ Nmm}$$

$$M3 = \sqrt{3251878.546^2 + 4884738.152^2} = 5868166.740 \text{ Nmm}$$

$$M4 = \sqrt{53210.059^2 + 853613.058^2} = 855269.878 \text{ Nmm}$$

$$T1 = \sqrt{133672.304^2 + 26789.19^2} = 136330.284 \text{ N}$$

$$T2 = \sqrt{46310.261^2 + 41781.378^2} = 62372.46 \text{ N}$$

$$T3 = \sqrt{41051.785^2 + 41781.378^2} = 58574.163 \text{ N}$$

$$T1 = \sqrt{17865.344^2 + 85361.144^2} = 87210.609 \text{ N}$$

El mayor momento es M2, mientras que el mayor cortante es T1.

Vemos la sección del pasador y sus puntos más críticos debidos a momento y a cortante:

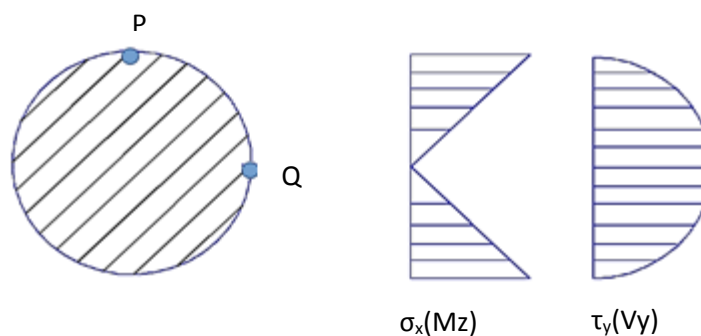


Figura (8.4.6). Cálculo a flexión

Valores de área:

$$A = \frac{d^2 \times \pi}{4} (\text{mm}^2)$$

$$I_x = I_y = d^4 \times \frac{\pi}{64} (\text{mm}^4)$$

Tensiones máximas:

$$\sigma_{\max}(M) = \frac{M_{\max}}{I_x} \times R_{\max}$$

$$\tau_{\max} = \sigma_x/2 \text{ (punto P)}$$

$$R_{\max} = d/2$$

→ Teoría Cortante máximo:

$$\tau_{\max}(T) = \frac{4}{3} \times \frac{T_{\max}}{A}$$

$$\tau_{\max} = \tau \text{ (punto Q)}$$

Coefficiente de seguridad:

$$C_{SF} = \frac{\tau_{fluencia}}{\tau_{\max}} = \frac{355/2}{\tau_{\max}} = 3$$

Entonces:

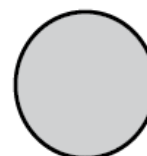
$$d(M_{x,z}) = 86 \text{ mm}$$

$$d(T) = 62.5 \text{ mm}$$

El diámetro más restrictivo es el debido al momento flector, por tanto nos quedamos con el valor de **86** mm de diámetro, cuyo valor se redondea a **90** mm por catálogo.

PERFIL REDONDO

Suministrados en barras de 6 m. Otras longitudes bajo pedido.



DIÁMETRO	PESO	SECCIÓN	DIÁMETRO	PESO	SECCIÓN
mm	kg/m	cm²	mm	kg/m	cm²
6	0,23	0,28	75	36,07	44,17
8	0,41	0,50	80	41,04	50,26
10	0,64	0,79	85	46,23	56,72
12	0,92	1,13	90	51,95	63,61
14	1,26	1,54	95	57,87	70,88
16	1,64	2,01	100	64,17	78,54
18	2,08	2,54	105	70,69	86,59
20	2,57	3,14	110	77,58	95,03
22	3,10	3,80	115	84,80	103,87
25	4,00	4,91	120	92,33	113,09
26	4,34	5,31	125	100,18	122,72
30	5,77	7,07	130	108,37	132,73
32	6,56	8,04	135	116,85	143,14
35	7,92	9,62	140	125,67	153,93
38	9,26	11,34	145	134,87	165,13
40	10,26	12,57	150	144,27	176,71
42	11,32	13,85	155	154,02	188,69
45	13,28	15,90	160	164,11	201,06
48	14,78	18,09	165	174,62	213,72
50	16,03	19,63	170	185,33	226,98
52	17,34	21,24	175	196,35	240,41
58	21,57	26,42	180	207,79	254,47
60	23,09	28,27	185	219,44	268,67
62	24,65	30,18	190	231,50	283,52
65	27,09	33,18	195	243,78	298,50
70	31,42	38,48	200	256,46	314,16

Figura (8.4.7). Cálculo a flexión

9- Cálculo a flexión de los perfiles

9.1- Flexión perfiles continuos

Tensión del punto más crítico del perfil:

$$\sigma = \frac{Mz}{W_z} + \frac{Nx}{A}$$

$$W_z = \frac{I_z}{y}$$

$$I_z = \frac{b \times h^3}{12} - \frac{(b - 2e) \times (h - 2e)^3}{12}$$

$$y = h/2$$

$$\tau_{\max} = \sigma/2$$

$$\tau_{\max} = \tau_{\text{fluencia}}/C_{SF}$$

$$\tau_{\text{fluencia}} = \sigma_{\text{fluencia}}/2 = 355/2$$

Se recogen en tablas los datos y resultados de cada uno de los perfiles estudiados en este apartado.

Recordamos que las tensiones máximas de cada perfil se estudiaron en el apartado 5.2 de la Memoria y sabiendo la tensión y en qué punto se da, podemos saber el axil y momento que lo producen.

Perfil AC:

SECCION	σ_{\max} (MPa)	PUNTO MAS DESFAVORABLE	N_{\max} (N)	M_{\max} (Nmm)	ESPESOR PERFIL (mm)
140 x 140	37.6746	Punto 1 (punto medio)	184795.658	449781.68	3.005

Tabla (9.1.1). Cálculo a flexión

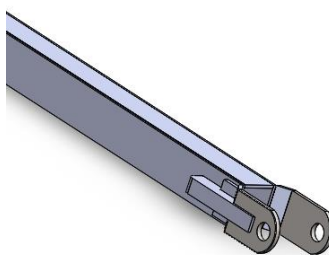


Figura (9.1.1). Cálculo a flexión

Aunque al perfil AC tenga un perfil distinto en la articulación C, se ha estudiado como un perfil continuo puesto que en los extremos los momentos disminuyen y casi no influyen.

Perfil GEL:

SECCION	σ_{MAX} (MPa)	PUNTO MAS DESFAVORABLE	N_{MAX} (N)	M_{MAX} (Nmm)	ESPESOR PERFIL (mm)
140 x 140	43.36342	Punto 2 (articulación E)	139355.479	4117816.98	3.597

Tabla (9.1.2). Cálculo a flexión

Barra LM:

No tiene momento flector, por tanto su espesor se calculó con el aplastamiento producido por el axil.
Anexo 1.8.2.

Perfil HF:

SECCION	σ_{MAX} (MPa)	PUNTO MAS DESFAVORABLE	N_{MAX} (N)	M_{MAX} (Nmm)	ESPESOR PERFIL (mm)
180 x 140	114.75738	Punto 2 (punto Fp1)	156587.555	26676644.7	9.645

Tabla (9.1.3). Cálculo a flexión

9.2- Flexión perfiles no continuos

Los perfiles no continuos son HJI y BD, los cuales tienen formas especiales para permitir la articulación de barras y cilindros hidráulicos.

El modo de operar es el mismo que en el apartado anterior, la única diferencia son las distintas zonas de estudio debido a las diferentes áreas y módulos resistentes que se dan en los perfiles.

Las tensiones máximas de cada perfil se estudiaron en el Anexo 1.7 y sabiendo la tensión y en qué punto se da, podemos saber el axil y momento que lo producen.

Perfil BD:

ZONA	SECCION	σ_{MAX} (MPa)	PUNTO MAS DESFAVORABLE	N_{MAX} (N)	M_{MAX} (Nmm)	ESPESOR PERFIL (mm)
1	180 x 140	142.172914	Punto 2 (punto Fp1)	160175.407	34745750	12.51
2	180 x 160 (U)	46.863826	Punto 3 (articulación M)	119540.663	4339765.39	3.902

Tabla (9.2.1). Cálculo a flexión

Perfil HJI:

ZONA	SECCION	σ_{MAX} (MPa)	PUNTO MAS DESFAVORABLE	N_{MAX} (N)	M_{MAX} (Nmm)	ESPESOR PERFIL (mm)
1	250 x 200	17.8401673	Punto 2 (centro de gravedad HJI)	0	19547417.3	2.405
2	250 x 200 (U)	33.2874782	Punto 1 (punto Fp29)	116970.861	11328507.5	4.418
3	190 x 140	12.0486429	Punto 3 (articulación I)	15283.423	4627756.21	1.231

Tabla (9.2.2). Cálculo a flexión

9.3- Cálculo longitud pletina perfil BD

Calculamos la pletina que necesitamos poner a solape para alcanzar el espesor de la barra para cumplir la flexión compuesta.

Tensión máxima permitida:

$$\sigma_{MAX} = 2 \times \tau_{MAX} = 2 \times 59.1667 \text{ MPa}$$

Con los datos de los diagramas de esfuerzo podemos obtener las tensiones producidas por el axil y el momento flector de cada uno de los puntos. Los resultados muestran que las tensiones que sobrepasan este valor máximo son los puntos 1 y 2 (punto medio y articulación M).

Rb	Pbd	Fp1	Rm	Rd
26.0255265	100.411183	141.502539	45.7350001	29.0281638
26.3976202	100.783277	141.874633	46.1815125	29.4746762
26.4450012	100.830658	141.922014	46.2383697	29.5315334
26.6959012	101.081558	142.172914	46.5394497	29.8326134
25.1334223	95.0330746	133.573023	46.8638262	23.9081326
26.3868515	83.369568	114.709621	43.2109062	20.8242308
32.8392082	70.0320365	90.3921235	45.7374509	23.1164114
32.0189827	69.211811	89.571898	44.7531803	22.1321408
29.621081	66.8139094	87.1739964	41.8756983	19.2546588
25.7957803	62.9886087	83.3486957	37.2853375	14.664298
20.8061908	57.9990192	78.3591062	31.2978301	8.6767906
16.209069	53.4018974	73.7619844	25.7812839	3.1602444

Tabla (9.3.1). Cálculo longitud pletina

Cada se tensión se calcula con su área y modulo correspondiente.

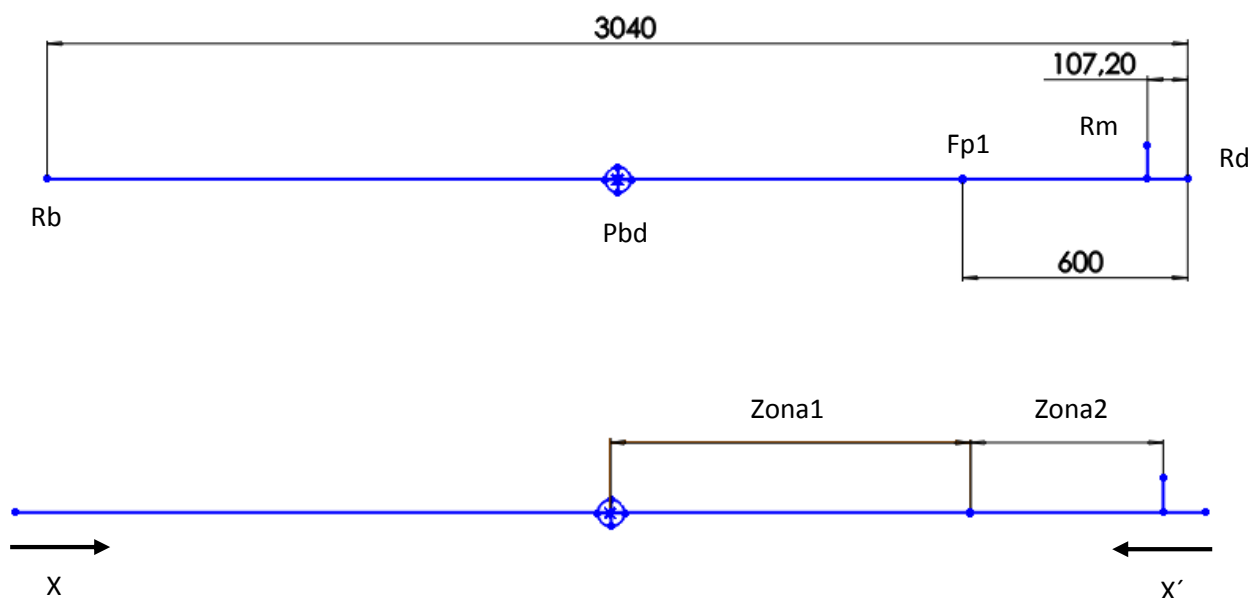


Figura (9.3.1). Cálculo longitud pletina

Zona1:

$$N = Rbx - Pbdx = 160175.407 \text{ N (axil máximo posible)}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} = 118.334 \rightarrow Mz_{\max} = 2.757 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$Mz_{\max} = Rby \times X - Pbdy \times \left(X - \frac{3040}{2}\right) \rightarrow X = 1906 \text{ mm}$$

Siendo $Rby = 14724.88 \text{ N}$ y $Pbdy = 1285.823 \text{ N}$ (situación de máximo valor)

Los datos se obtienen del diagrama de sólido libre **anexo**.

Zona2:

$$N = Rbx - Pbdx - Fp1x = 142943.331 \text{ N (axil máximo posible)}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{Nx}{A} + \frac{Mz}{Wz} = 118.334 \rightarrow Mz_{\max} = 2.844 \times 10^7 \text{ Nmm}$$

$$Mz_{\max} = Rby \times (3040 - X') - Pbdy \times \left(\frac{3040}{2} - X'\right) - Fp1y \times (600 - X') \rightarrow X' = 501 \text{ mm}$$

Siendo $Rby = 14724.88 \text{ N}$ y $Pbdy = 1285.823 \text{ N}$ y $Fp1y = 77536.721 \text{ N}$ (situación de máximo valor)

Los datos se obtienen del diagrama de sólido libre Anexo 1.4.

En conclusión, la pletina tendrá las siguientes medidas:

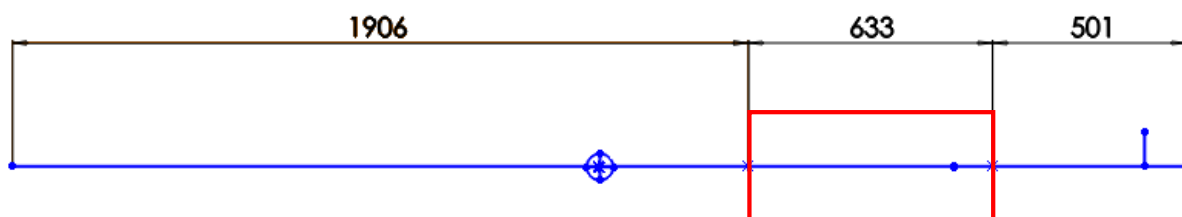


Figura (9.3.2). Cálculo longitud pletina

10- Soldaduras

Perfil GEL:

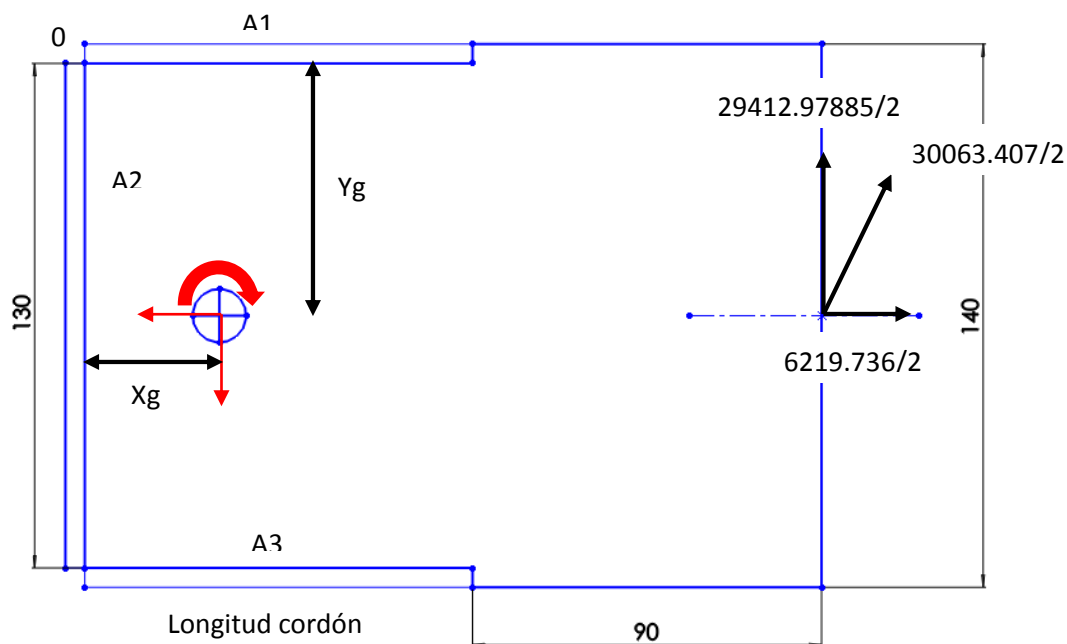


Figura (10.1). Soldadura

La garganta tiene un valor de 5 mm.

La fuerza máxima es de 30063.407 N, la cual se divide en dos ya que disponemos de dos pletinas. Se descomponen en los ejes X e Y. El ángulo es de 11.94° respecto de la vertical.

CdG cordones de soldadura:

$$Y_g = \frac{(L \times 5) \times 2.5 + (130 \times 5) \times (-65) + (L \times 5) \times (-132.5)}{2 \times (L \times 5) + (130 \times 5)}$$

$$X_g = \frac{(L \times 5) \times \frac{L}{2} + (130 \times 5) \times (-2.5) + (L \times 5) \times \frac{L}{2}}{2 \times (L \times 5) + (130 \times 5)}$$

Valores de área:

$$A_{total} = (L \times 5) + (130 \times 5) + (L \times 5)$$

$$I_o = I_{xg} + I_{yg}$$

$$I_{xg} = I_{xgA1} + I_{xgA2} + I_{xgA3}$$

$$I_{xgA1} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times (Y_g + 2.5)^2$$

$$I_{xgA2} = \frac{5 \times 130^3}{12} + (130 \times 5) \times \left(-\frac{130}{2} - Y_g\right)^2$$

$$I_{xgA3} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times \left(-(130 + 2.5) - Y_g\right)^2$$

$$I_{yg} = I_{ygA1} + I_{ygA2} + I_{ygA3}$$

$$I_{ygA1} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - X_g\right)^2$$

$$I_{ygA2} = \frac{130 \times 5^3}{12} + (130 \times 5) \times (X_g + 2.5)^2$$

$$I_{ygA3} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - X_g\right)^2$$

Tensiones en cordones:

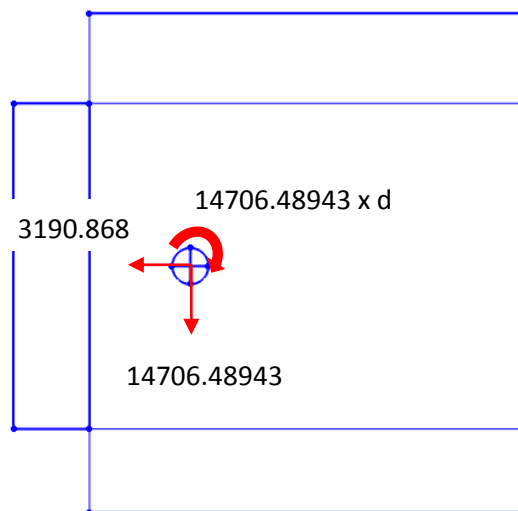


Figura (10.2). Soldadura

$$d = 90 + L - X_g$$

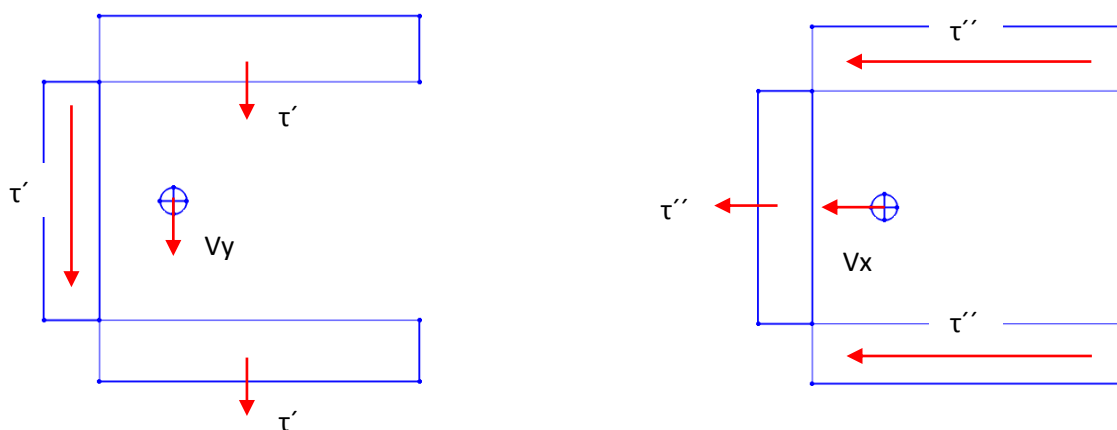


Figura (10.3). Soldadura

$$\tau' = V_y / A_{\text{total}} = 14706.48943 / A_t$$

$$\tau'' = V_x / A_{\text{total}} = 3109.868 / A_t$$

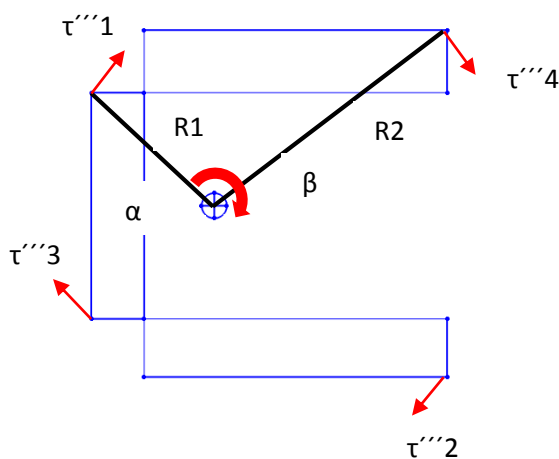


Figura (10.4). Soldadura

$$\tau'''1 = \frac{Mx}{I_o} \times R1$$

$$R1 = \sqrt{(Xg + 5)^2 + Yg^2}$$

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{Yg}{Xg + 5}$$

$$\tau'''1 = \tau'''3$$

$$\tau'''2 = \frac{Mx}{I_o} \times R2$$

$$R2 = \sqrt{(L - Xg)^2 + (130 + 5 - Yg)^2}$$

$$tg(\beta) = \frac{130 + 5 - Yg}{L - Xg}$$

$$\tau'''2 = \tau'''4$$

Resultantes: el punto más desfavorable es el 2

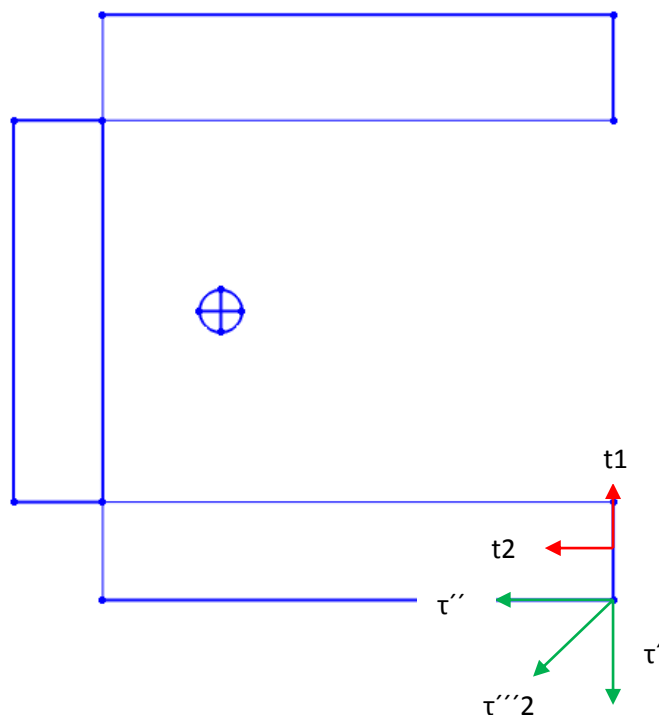


Figura (10.5). Soldadura

Punto 2:

$$t1 = -\tau' - \tau'''2 \times \cos(\beta)$$

$$t = \tau'' + \tau'''2 \times \sin(\beta)$$

Tensiones de las secciones de la garganta:

$$\sigma = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau1 = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau2 = t2$$

Y aplicamos Von Mises y el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times (\tau1^2 + \tau2^2)}$$

$$C_{SF}=3$$

$$Csf = \frac{355}{\sigma_{eq}}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones, la longitud del cordón es de **19 mm**. El cordón es excesivamente pequeño. Se debe al cordón vertical, ya que posiblemente con un solo cordón vertical aguantaría las tensiones.

Debido a esto volveremos a resolver esta soldadura pero suprimiendo el cordón vertical:

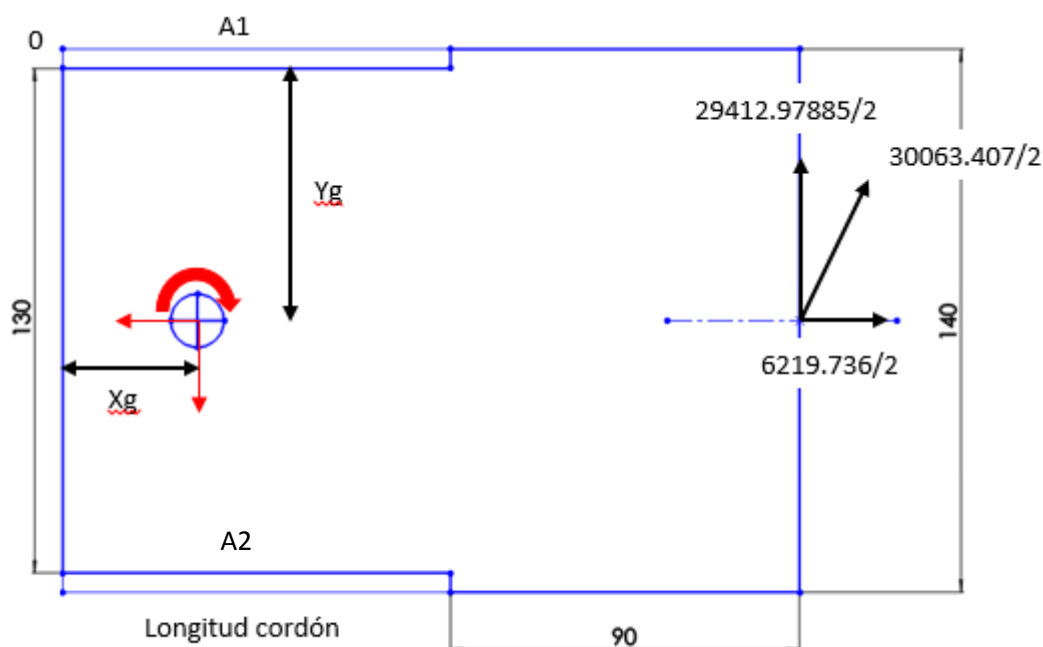


Figura (10.6). Soldadura

CdG cordones de soldadura:

$$Yg = \frac{(L \times 5) \times 2.5 + (L \times 5) \times (-132.5)}{2 \times (L \times 5)}$$

$$Xg = \frac{(L \times 5) \times \frac{L}{2} + (L \times 5) \times \frac{L}{2}}{2 \times (L \times 5)}$$

Valores de área:

$$A_{total} = (L \times 5) + (L \times 5)$$

$$I_o = I_{xg} + I_{yg}$$

$$I_{xg} = I_{xgA1} + I_{xgA2}$$

$$I_{xgA1} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times (Yg + 2.5)^2$$

$$I_{xgA2} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times (-(130 + 2.5) - Yg)^2$$

$$I_{yg} = I_{ygA1} + I_{ygA2}$$

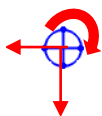
$$I_{ygA1} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - Xg\right)^2$$

$$I_{ygA3} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - Xg\right)^2$$

Tensiones en cordones:



$$3190.868 \quad 14706.48943 \times d$$



$$14706.48943$$



$$d = 90 + L - Xg$$



$$\tau'$$

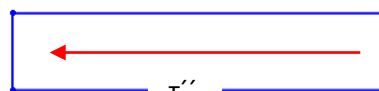


$$V_y$$



$$\tau'$$

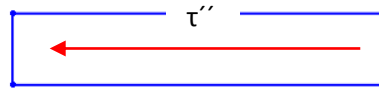
$$\tau' = V_y / A_{total} = 14706.48943 / A_t$$



$$\tau''$$



$$V_x$$



$$\tau''$$

$$\tau'' = V_x / A_{total} = 3109.868 / A_t$$

Figura (10.7). Soldadura

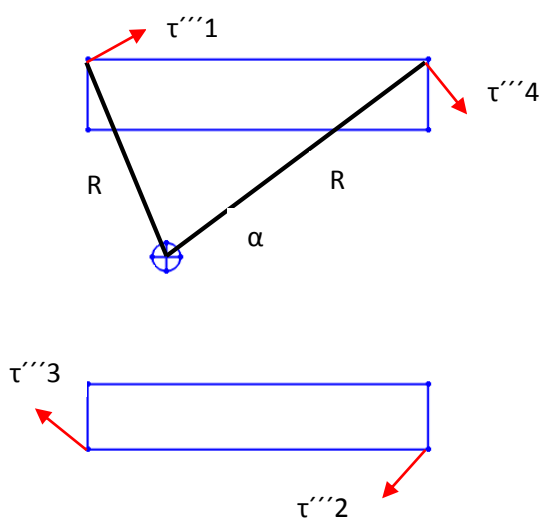


Figura (10.8). Soldadura

$$\tau'''1 = \frac{Mx}{I_o} \times R$$

$$R = \sqrt{(Xg)^2 + (-Yg - 2.5)^2}$$

$$tg(\alpha) = \frac{Yg + 2.5}{Xg}$$

$$\tau'''1 = \tau'''2 = \tau'''3 = \tau'''4$$

El centro de gravedad se encuentra en el centro geométrico.

Resultantes: el punto más desfavorable es el 2

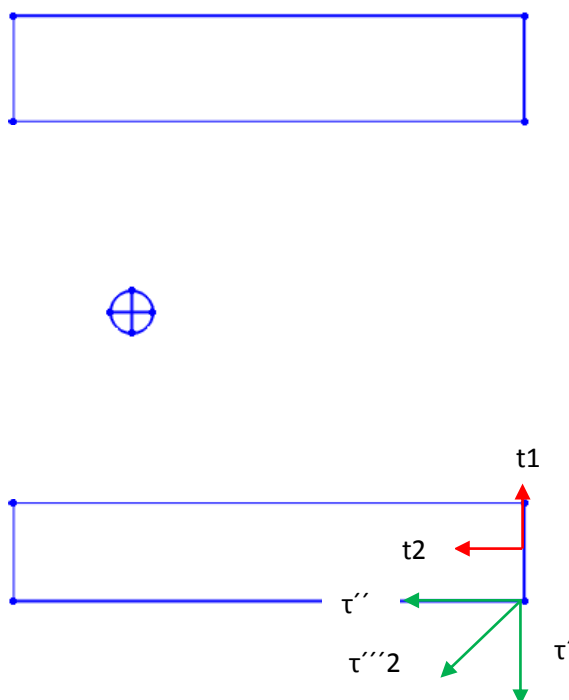


Figura (10.9). Soldadura

Punto 2:

$$t1 = -\tau' - \tau'''2 \times \cos(\alpha)$$

$$t = \tau'' + \tau'''2 \times \sin(\alpha)$$

Tensiones de las secciones de la garganta:

$$\sigma = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau1 = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau2 = t2$$

Y aplicamos Von Mises y el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times (\tau1^2 + \tau2^2)}$$

$$C_{SF} = 3$$

$$C_{sf} = \frac{355}{\sigma_{eq}}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones sale una longitud de cordón de aproximadamente **50 mm**. Este valor es mucho más razonable aunque pequeño. Las fuerzas no son excesivamente grandes y el cordón aguanta sin problemas en esta unión.

Perfil BD:

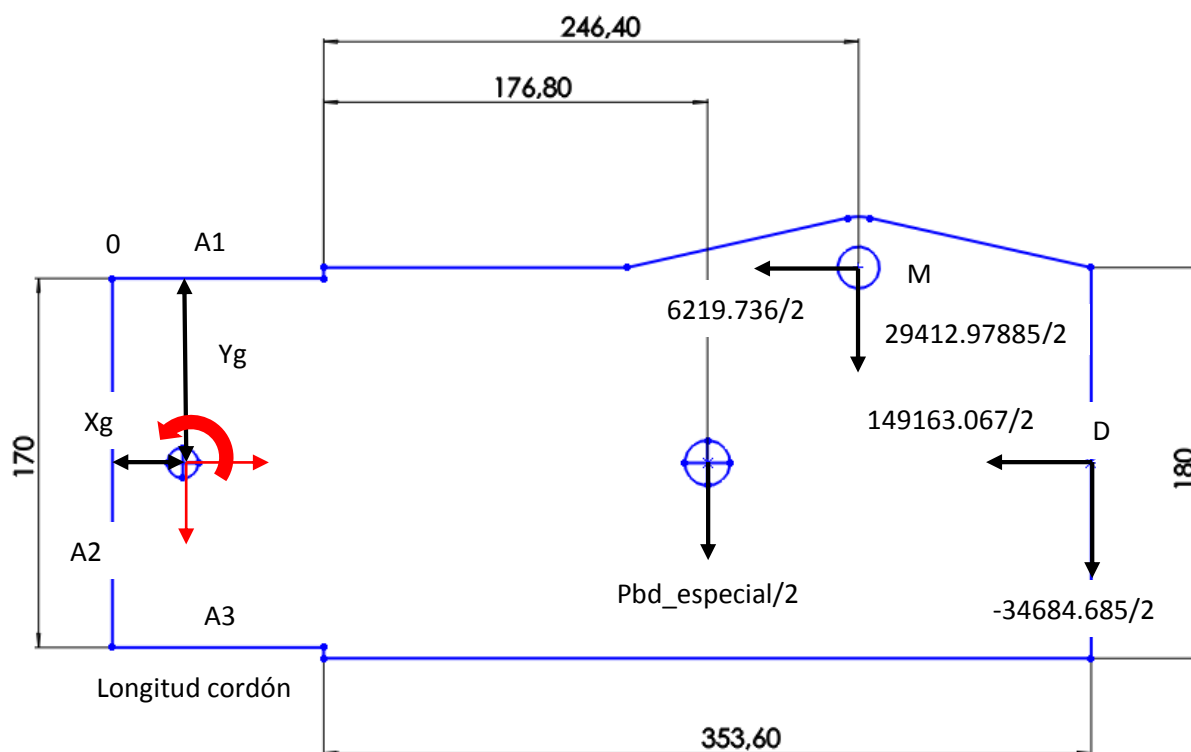


Figura (10.10). Soldadura

La fuerza en la articulación M es de **30063.407 N** con un ángulo de 11.94° respecto de la vertical. Las fuerzas del punto D son la descomposición de la máxima resultante de dicho punto.

La garganta tiene un valor de **5 mm**. El espesor del perfil es de **7 mm**, tal y como se acordó en el apartado 9.4.2 de la memoria, en vez de **10 mm**.

Las fuerzas máximas son las expuestas en el dibujo. Las fuerzas están descompuestas en los ejes X e Y.

Procedemos a calcular del peso de este perfil especial ya que su longitud no es despreciable y su peso influirá:

$$Vol_{BD_{especial}} = 353.6 \times A = 1237600 \text{ mm}^3 = 1.2376 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$A = (180 \times 7) + (180 \times 7) + (140 \times 7) = 3500 \text{ mm}^2$$

$$Pbd_{especial} = 1.2376 \times 10^{-3} \times 7850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = 8.821516 \text{ Kg} = 88.215 \text{ N}$$

Este peso es aproximado.

CdG cordones de soldadura:

$$Yg = \frac{(L \times 5) \times 2.5 + (170 \times 5) \times \left(-\frac{170}{2}\right) + (L \times 5) \times (-172.5)}{2 \times (L \times 5) + (170 \times 5)}$$

$$Xg = \frac{(L \times 5) \times \frac{L}{2} + (170 \times 5) \times (-2.5) + (L \times 5) \times \frac{L}{2}}{2 \times (L \times 5) + (170 \times 5)}$$

Valores de área:

$$A_{total} = (L \times 5) + (170 \times 5) + (L \times 5)$$

$$I_o = I_{xg} + I_{yg}$$

$$I_{xg} = I_{xgA1} + I_{xgA2} + I_{xgA3}$$

$$I_{xgA1} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times (Yg + 2.5)^2$$

$$I_{xgA2} = \frac{5 \times 170^3}{12} + (170 \times 5) \times \left(-\frac{170}{2} - Yg\right)^2$$

$$I_{xgA3} = \frac{L \times 5^3}{12} + (L \times 5) \times \left(-(170 + 2.5) - Yg\right)^2$$

$$I_{yg} = I_{ygA1} + I_{ygA2} + I_{ygA3}$$

$$I_{ygA1} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - Xg\right)^2$$

$$I_{ygA2} = \frac{170 \times 5^3}{12} + (170 \times 5) \times (Xg + 2.5)^2$$

$$I_{ygA3} = \frac{5 \times L^3}{12} + (L \times 5) \times \left(\frac{L}{2} - Xg\right)^2$$

Haciendo un sumatorio en el centro de gravedad de los ejes X, Y y Z obtenemos las tensiones en los cordones:

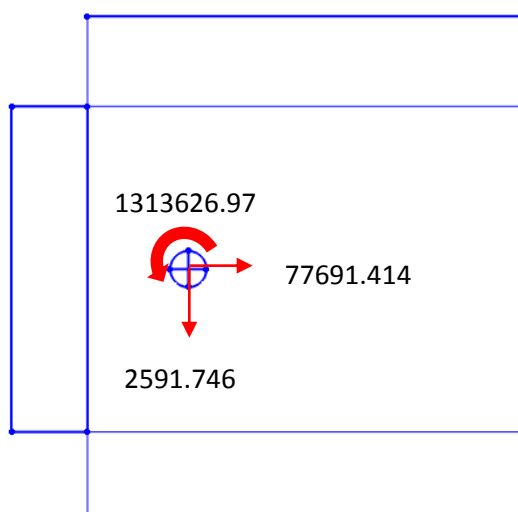
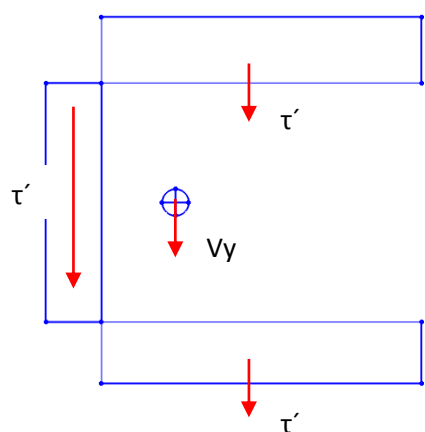
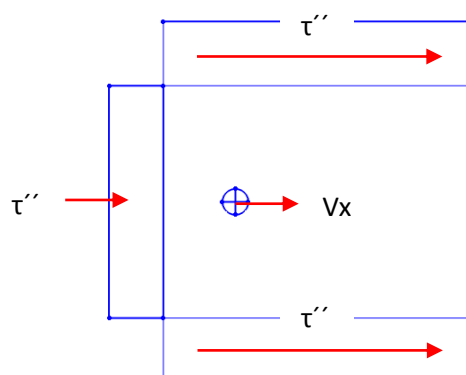


Figura (10.11). Soldadura



$$\tau' = V_y / A_{total}$$



$$\tau'' = V_x / A_{total}$$

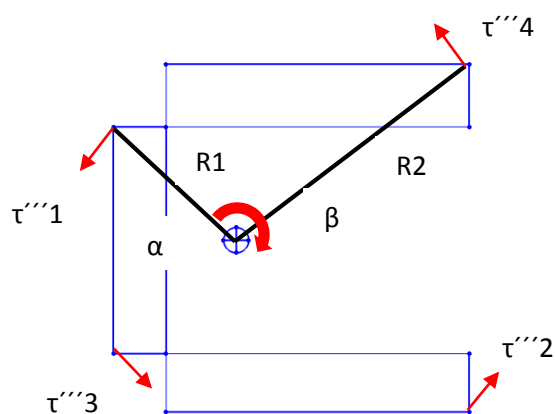


Figura (10.12). Soldadura

$$\tau'''1 = \frac{Mx}{Io} \times R1$$

$$R1 = \sqrt{(Xg + 5)^2 + Yg^2}$$

$$\text{sen}(\alpha) = \frac{-Yg}{R1}$$

$$\tau'''1 = \tau'''3$$

$$\tau'''2 = \frac{Mx}{Io} \times R2$$

$$R2 = \sqrt{(L - Xg)^2 + (-(170 + 5) - Yg)^2}$$

$$\cos(\beta) = \frac{L - Xg}{R2}$$

$$\tau'''2 = \tau'''4$$

Resultantes: el punto más desfavorable es el 3

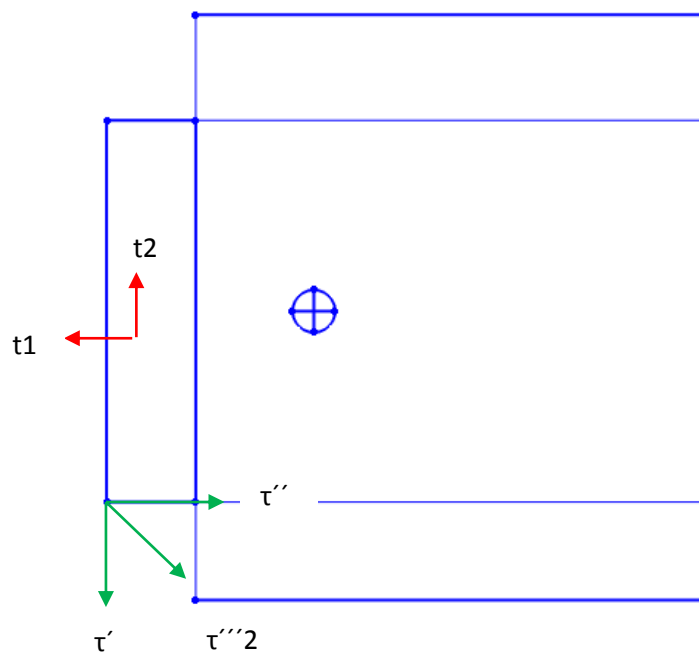


Figura (10.13). Soldadura

Punto 3:

$$t1 = -\tau' - \tau'''3 \times \text{sen}(\alpha)$$

$$t2 = -\tau' - \tau'''3 \times \cos(\alpha)$$

Tensiones de las secciones de la garganta:

$$\sigma = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau1 = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau2 = t2$$

Y aplicamos Von Mises y el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times (\tau1^2 + \tau2^2)}$$

$$C_{SF} = 3$$

$$C_{sf} = \frac{355}{\sigma_{eq}}$$

Resolviendo las ecuaciones obtenemos una longitud de cordón de aproximadamente **45 mm**. En este caso si disponemos de cordón vertical y hace que el horizontal sea pequeño.

Perfil AC:

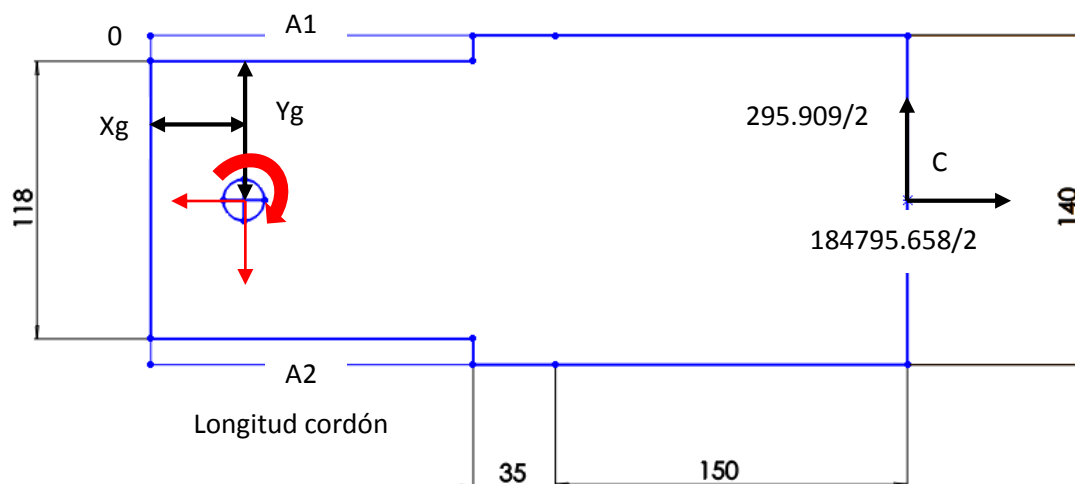


Figura (10.14). Soldadura

La fuerza resultante máxima es de 184795.895 N y la descomponemos en ambos ejes teniendo en cuenta el ángulo de incidencia del diagrama de sólido libre.

La garganta es de 11 mm, el espesor del perfil es de 16 mm.

CdG cordones de soldadura:

$$Yg = \frac{(L \times 11) \times \frac{11}{2} + (L \times 11) \times (-118 - \frac{11}{2})}{2 \times (L \times 11)}$$

$$Xg = \frac{(L \times 11) \times \frac{L}{2} + (L \times 11) \times \frac{L}{2}}{2 \times (L \times 11)}$$

Valores de área:

$$A_{total} = (L \times 11) + (L \times 11)$$

$$I_o = I_{xg} + I_{yg}$$

$$I_{xg} = I_{xgA1} + I_{xgA2}$$

$$I_{xgA1} = \frac{L \times 11^3}{12} + (L \times 11) \times (Yg + \frac{11}{2})^2$$

$$I_{xgA2} = \frac{L \times 11^3}{12} + (L \times 11) \times (-\left(118 + \frac{11}{2}\right) - Yg)^2$$

$$I_{yg} = I_{ygA1} + I_{ygA2}$$

$$I_{ygA1} = \frac{11 \times L^3}{12} + (L \times 11) \times (\frac{L}{2} - Xg)^2$$

$$I_{ygA3} = \frac{11 \times L^3}{12} + (L \times 11) \times (\frac{L}{2} - Xg)^2$$

Tensiones en cordones:

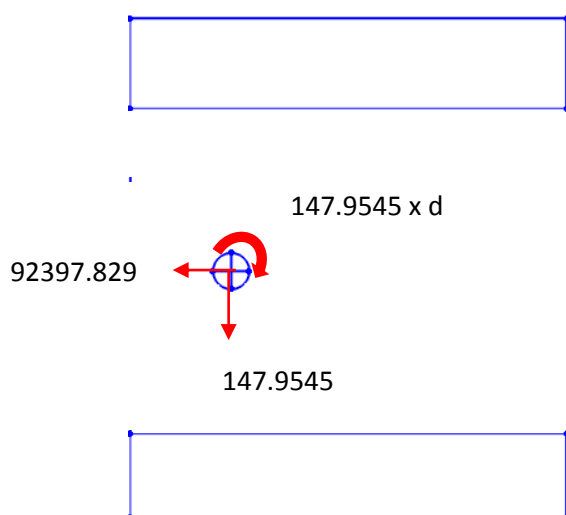


Figura (10.15). Soldadura

$$d = 35 + 150 + L - Xg$$

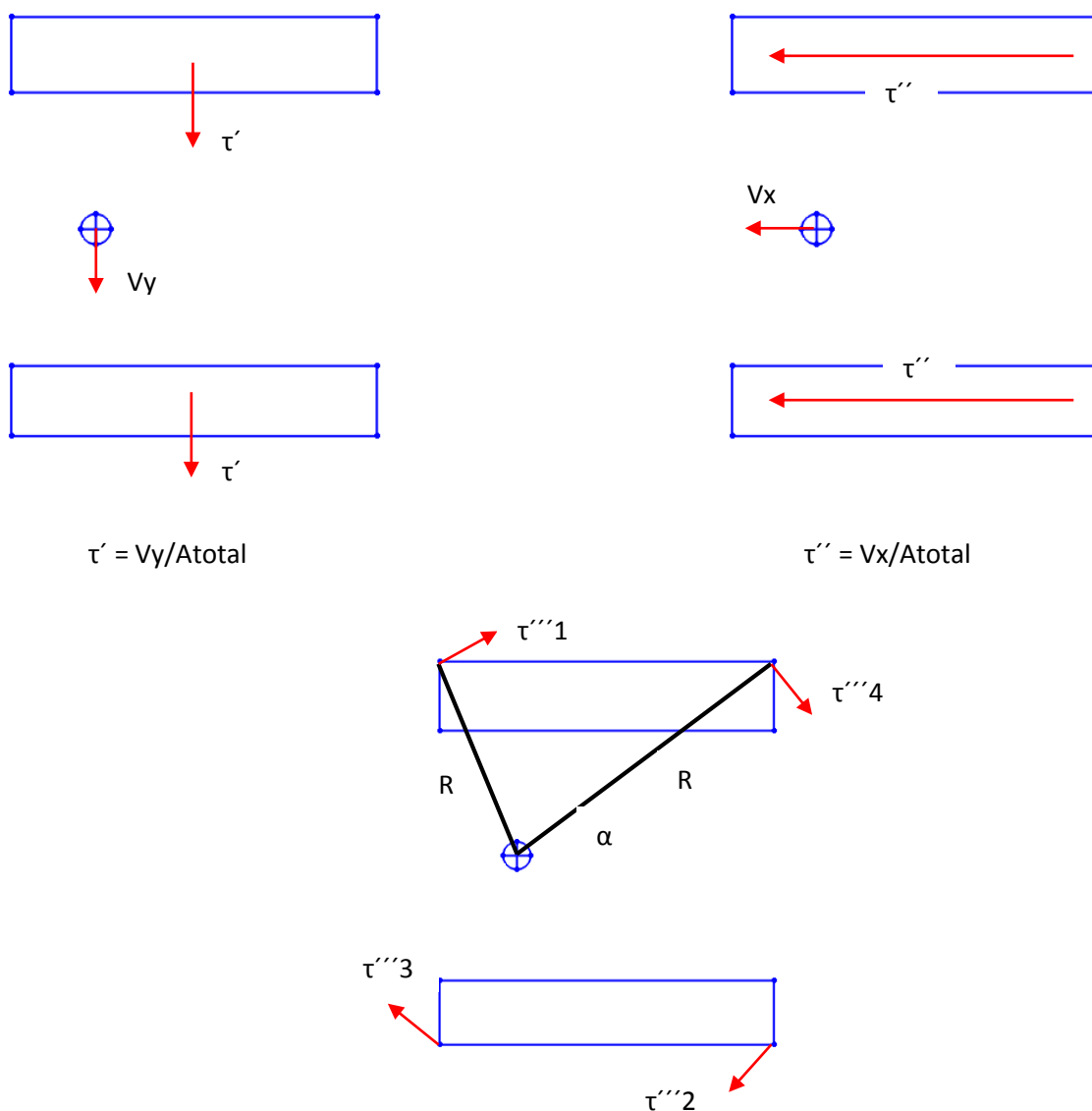


Figura (10.16). Soldadura

$$\tau'''1 = \frac{Mx}{I_o} \times R$$

$$R = \sqrt{(Xg)^2 + \left(-Yg - \frac{11}{2}\right)^2}$$

$$tg(\alpha) = \frac{Yg + \frac{11}{2}}{Xg}$$

$$\tau'''1 = \tau'''2 = \tau'''3 = \tau'''4$$

El centro de gravedad se encuentra en el centro geométrico.

Resultantes: el punto más desfavorable es el 2

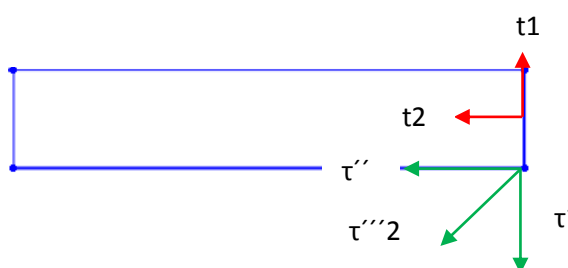


Figura (10.17). Soldadura

Punto 2:

$$t1 = -\tau' - \tau'''2 \times \cos(\alpha)$$

$$t = \tau'' + \tau'''2 \times \sin(\alpha)$$

Tensiones de las secciones de la garganta:

$$\sigma = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau1 = \frac{t1}{\sqrt{2}}$$

$$\tau2 = t2$$

Y aplicamos Von Mises y el coeficiente de seguridad:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times (\tau1^2 + \tau2^2)}$$

$$C_{SF} = 3$$

$$C_{sf} = \frac{355}{\sigma_{eq}}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones sale una longitud de cordón de aproximadamente **62mm**.



Anexo 2

Autor

Jorge Yagüe Pérez

Director/es

Javier Óscar Abad Blasco

Escuela de Ingeniería y Arquitectura 2017

1- Análisis estático SolidWorks

Perfil HJI:

Además del material del acero, también se ha metido las guías de teflón para permitir el deslizamiento del brazo.

Dichas características son:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	735.75	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.45	N/D
Módulo cortante		N/mm ²
Densidad de masa	2320	kg/m ³
Límite de tracción	7.58	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	7.58	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica		W/(m·K)

Las tensiones máximas de todos los puntos estudiados del perfil HJI se dan en la posición más baja, con el cuadrilátero recogido y el brazo a -22°.

La malla es una malla por defecto del programa, no se da ningún parámetro en especial.

- Von Mises:

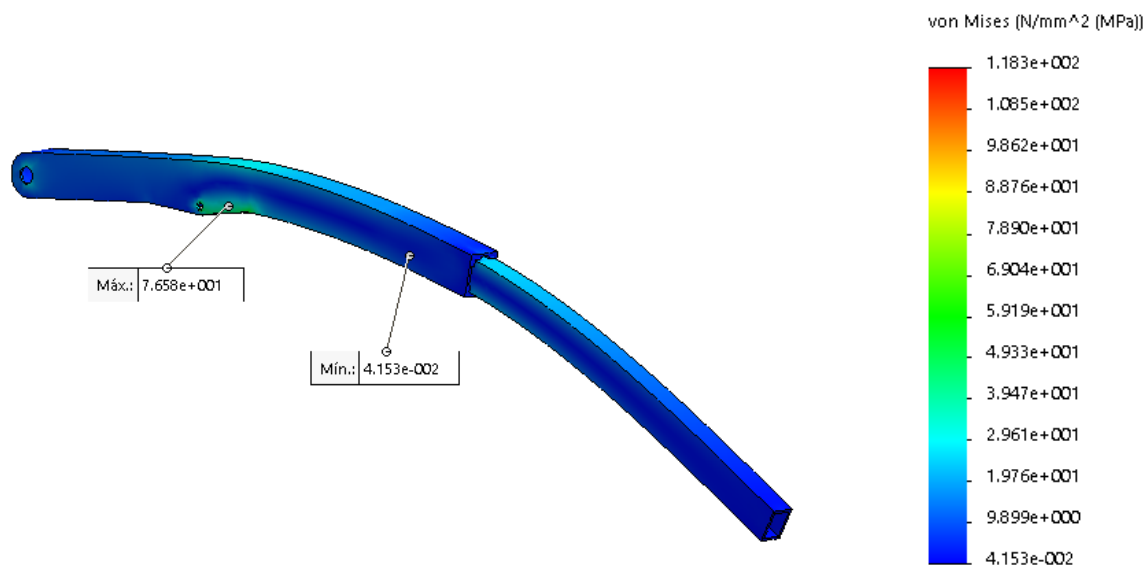


Figura (1.1). Análisis estático SolidWorks

- Coeficiente de seguridad:

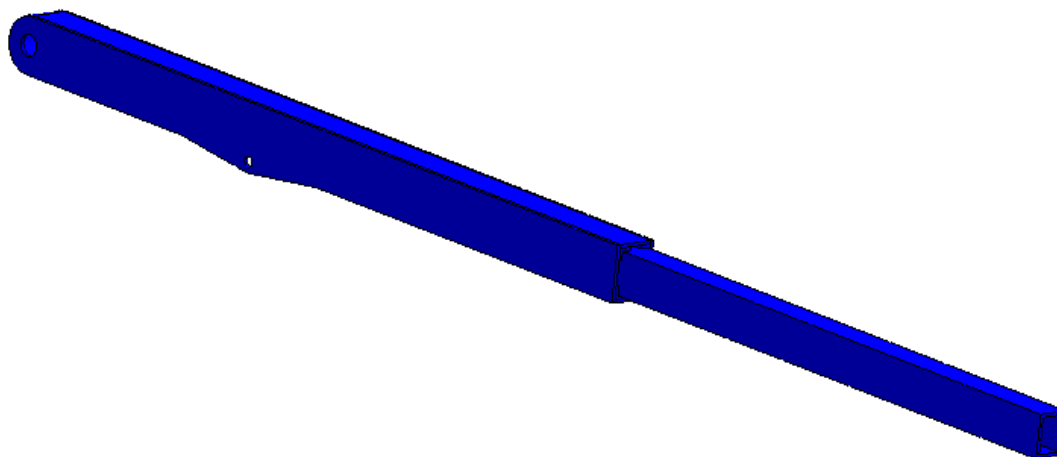


Figura (1.2). Análisis estático SolidWorks

- Desplazamiento máximo:

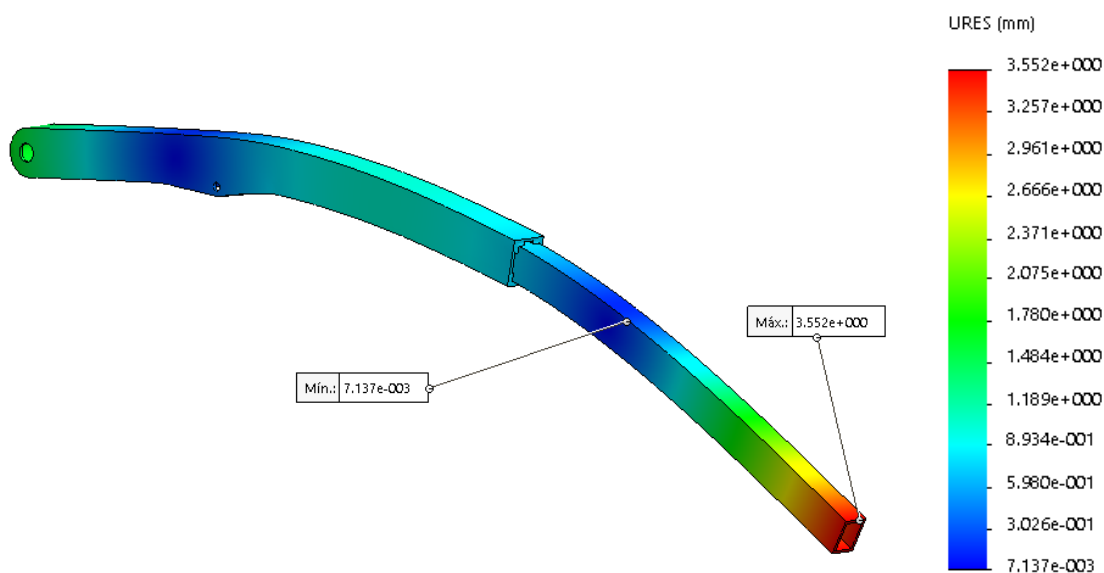


Figura (1.3). Análisis estático SolidWorks

Observamos que se cumplen los tres requisitos estudiados, con una tensión máxima de **76.58 MPa**, se cumple el coeficiente de seguridad en toda la estructura, y su desplazamiento máximo es de **3.552 mm**.

Perfil HF:

Las posiciones donde se dan las tensiones, máximas son:

- Cuadrilátero abierto 60º con el brazo telescópico en posición horizontal: Punto H
- Cuadrilátero cerrado (0º) y brazo telescópico en posición horizontal: Puntos FP1 y F

Malla por defecto.

Primera posición:

- Von Mises:

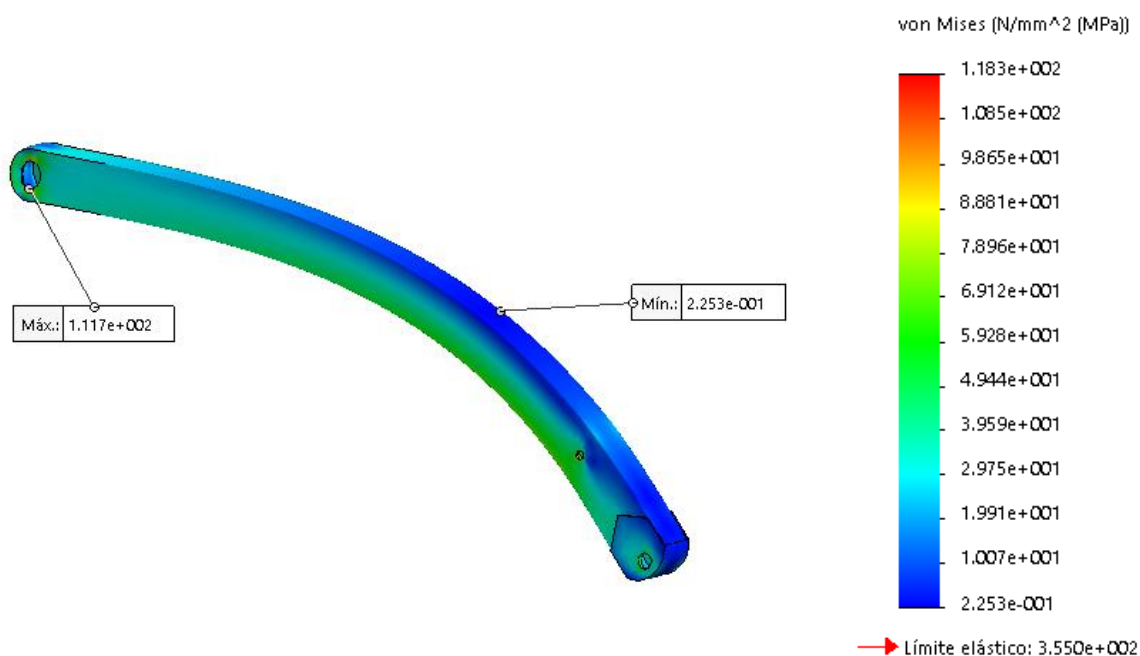


Figura (1.4). Análisis estático SolidWorks

- Coeficiente de seguridad:

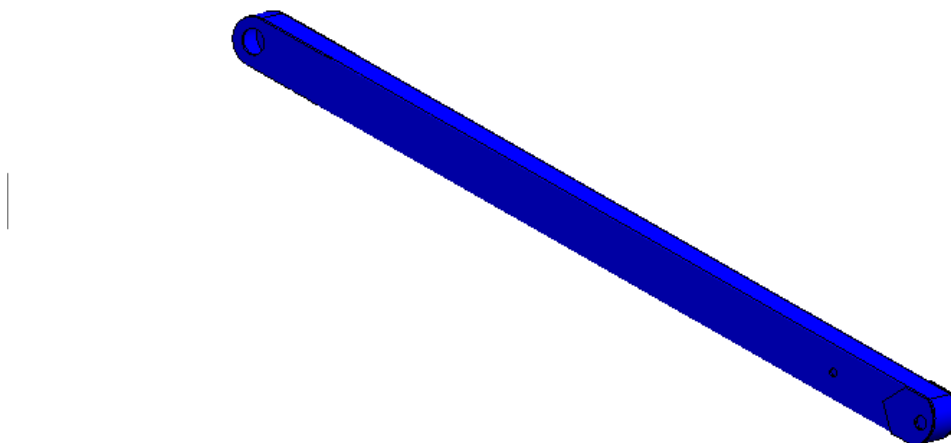


Figura (1.5). Análisis estático SolidWorks

- Desplazamiento máximo:

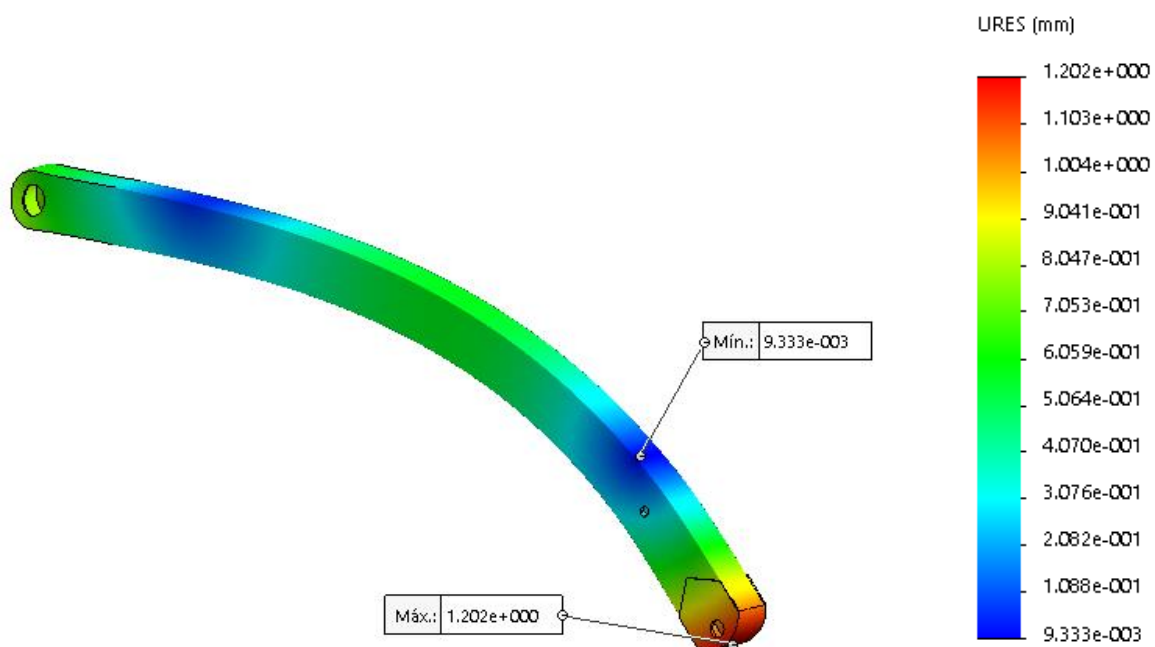


Figura (1.6). Análisis estático SolidWorks

Segunda posición:

- Von Mises:

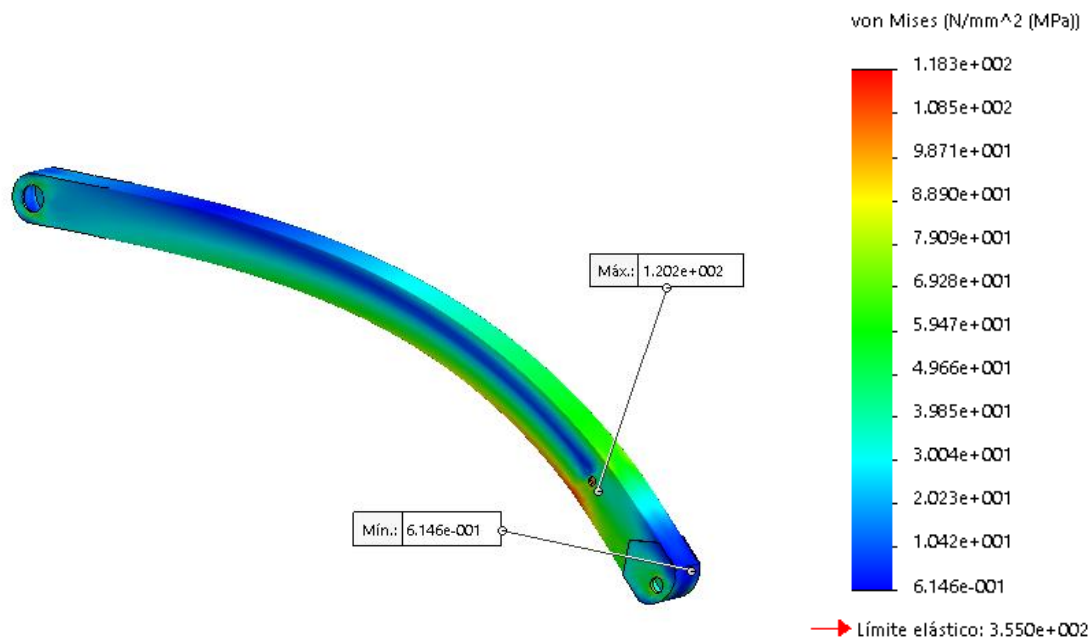


Figura (1.7). Análisis estático SolidWorks

Hay una zona donde la tensión de Von Mises no cumple. Se supera en **2 MPa** el máximo de 118.33 MPa.

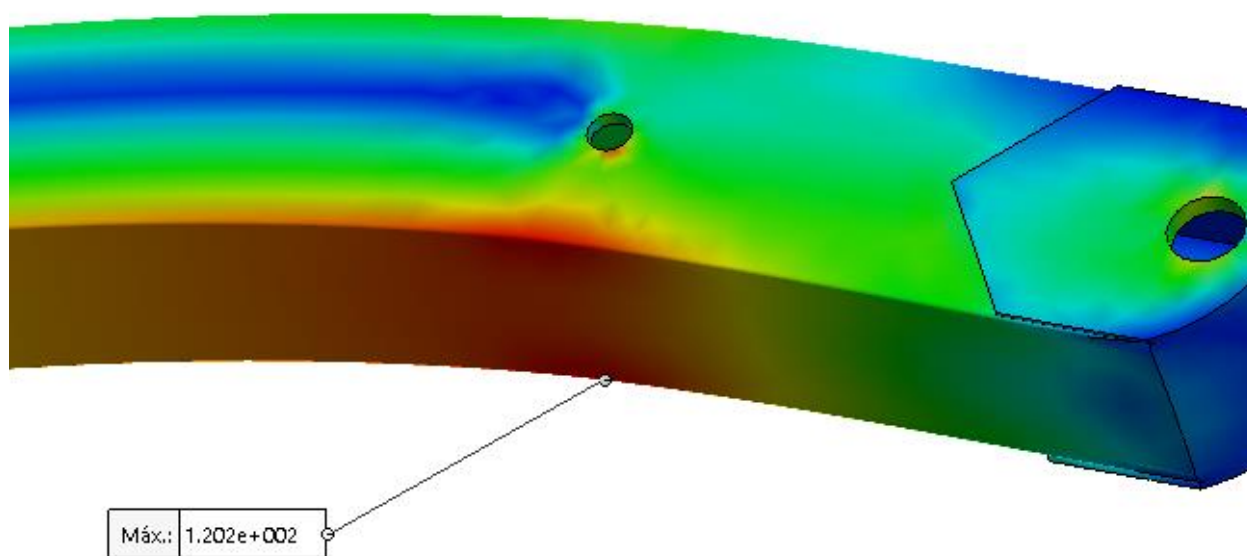


Figura (1.8). Análisis estático SolidWorks

Esta zona crítica se encuentra justo debajo del pasador FP1. No debería ser un problema y este máximo es muy puntual, no se extiende en una gran zona donde sí tendríamos problemas.

Veamos el coeficiente de seguridad para determinar una acción.

- Coeficiente de seguridad:

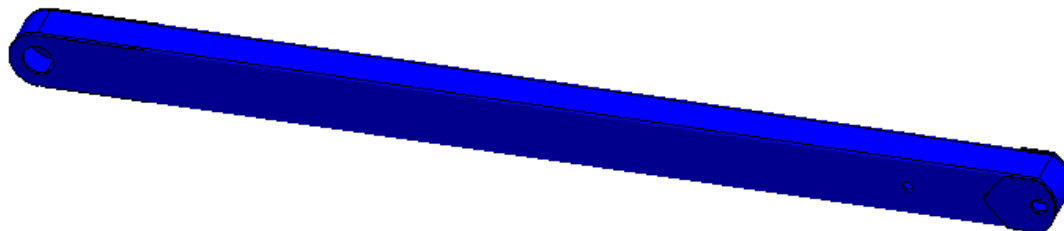


Figura (1.9). Análisis estático SolidWorks

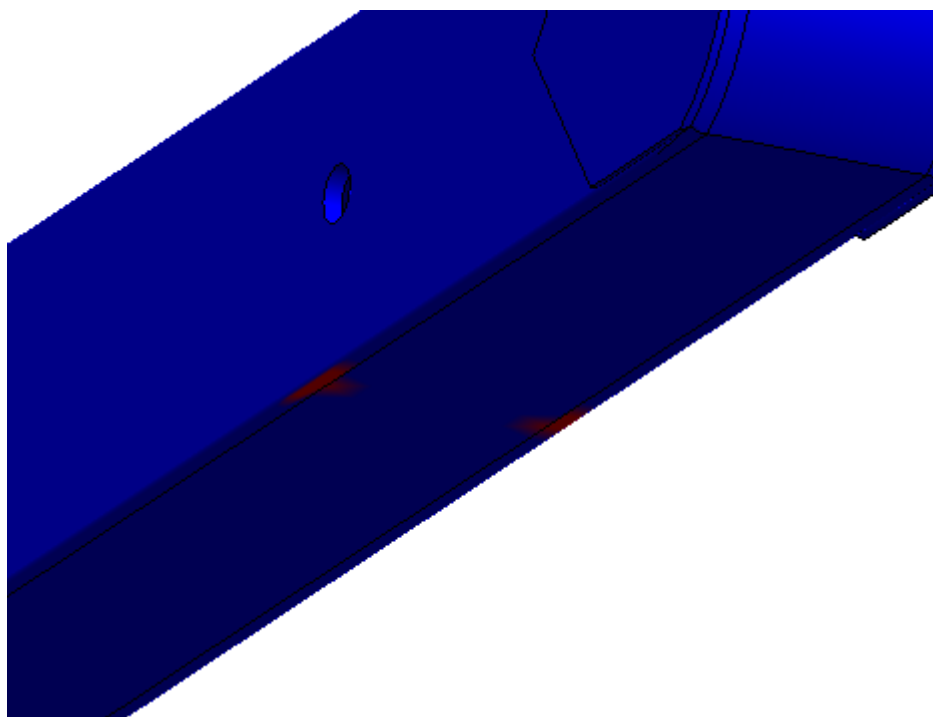


Figura (1.10). Análisis estático SolidWorks

Es una zona muy puntual, no emprendemos ninguna acción de rediseño. En cualquier caso el coeficiente de seguridad sigue siendo alto y cercano al valor 3.

- Desplazamiento máximo:

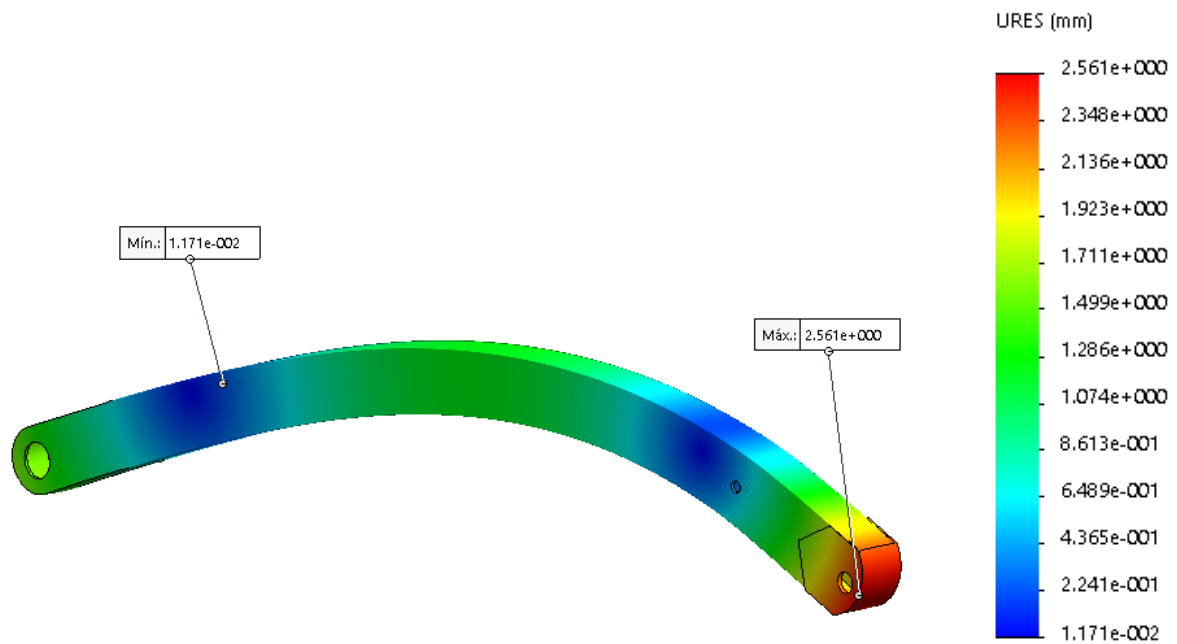


Figura (1.11). Análisis estático SolidWorks

A pesar de la tensión máxima dada en la segunda posición, se cumplen todos los requisitos. Esa tensión producida bajo el pasador FP1 no requiere un rediseño puesto que es muy puntual y no debería dar problemas de fiabilidad ante el fallo de la estructura.

Perfil GEL:

Las posiciones donde se dan las tensiones, máximas son:

- Cuadrilátero abierto 60º con el brazo telescópico en posición horizontal: Puntos G y E
- Cuadrilátero cerrado (0º) y brazo telescópico en posición horizontal: Punto L

Malla por defecto.

Primera posición:

- Von Mises:

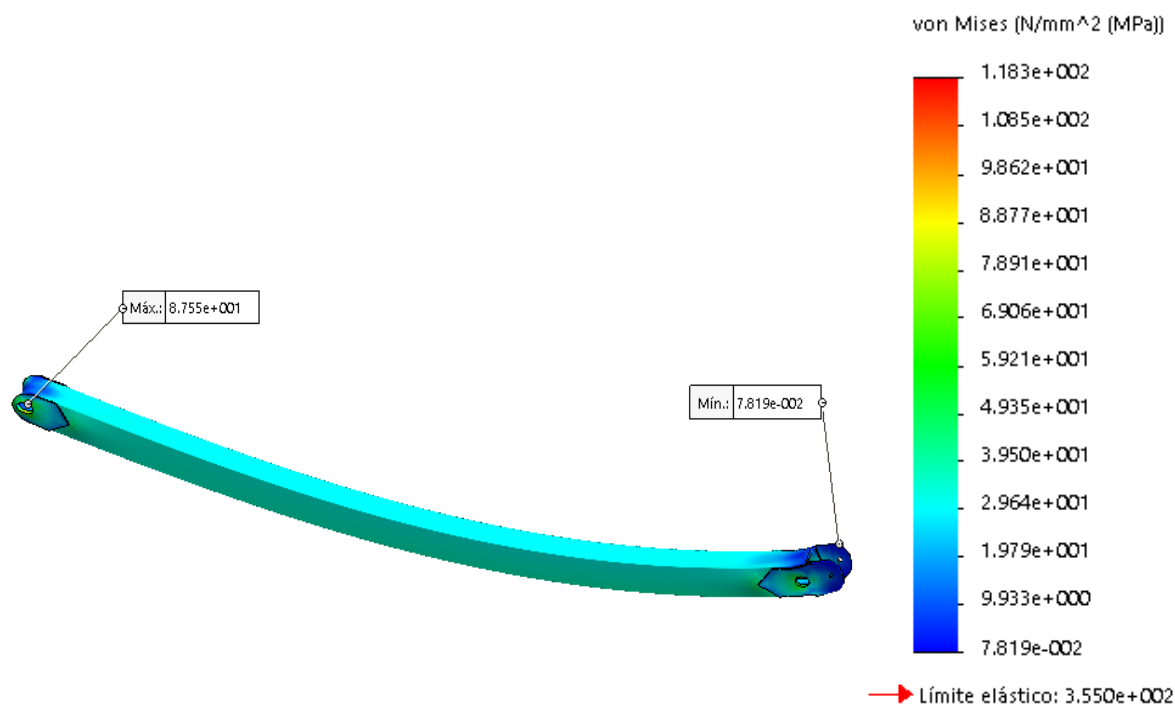


Figura (1.12). Análisis estático SolidWorks

- Coeficiente de seguridad:

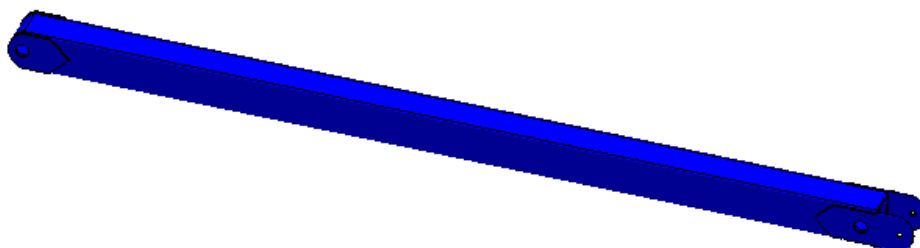


Figura (1.13). Análisis estático SolidWorks

- Desplazamiento máximo:

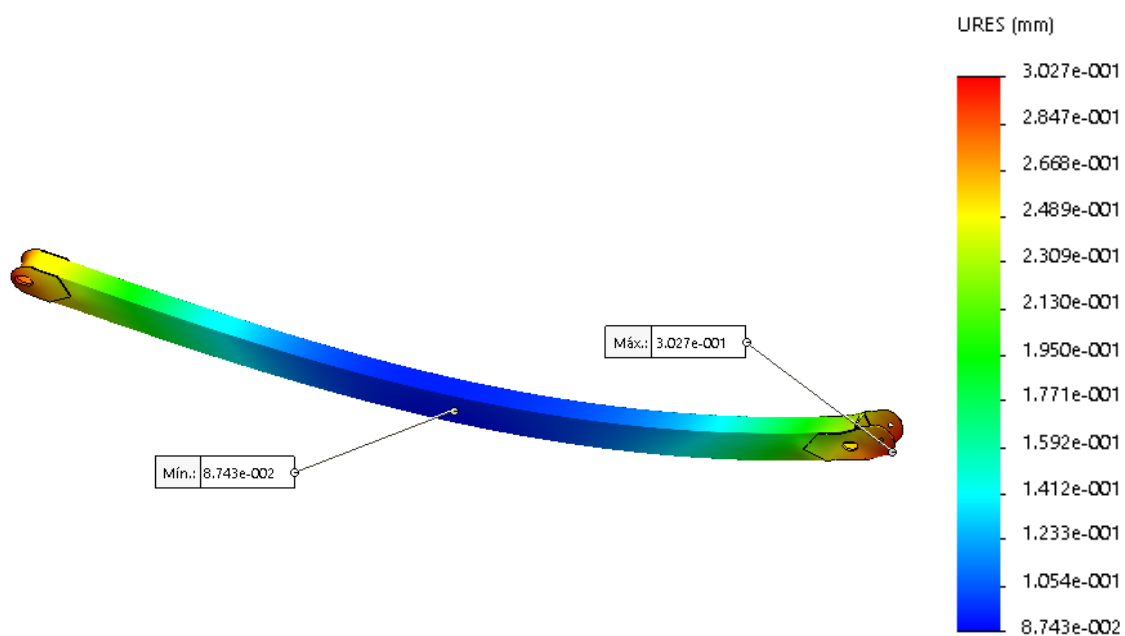


Figura (1.14). Análisis estático SolidWorks

Segunda posición:

- Von Mises:

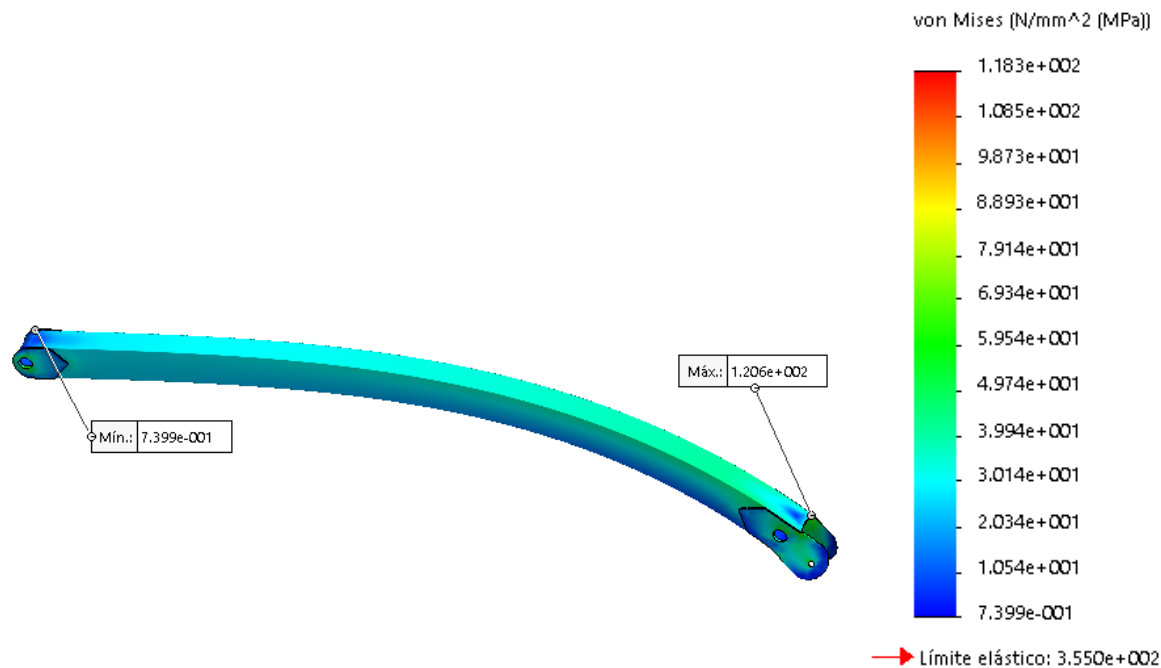


Figura (1.15). Análisis estático SolidWorks

Se pasa del máximo de 118.033 MPa. Este máximo de **120.6 MPa** se da puntualmente en una zona donde falta material por el cordón de soldadura:

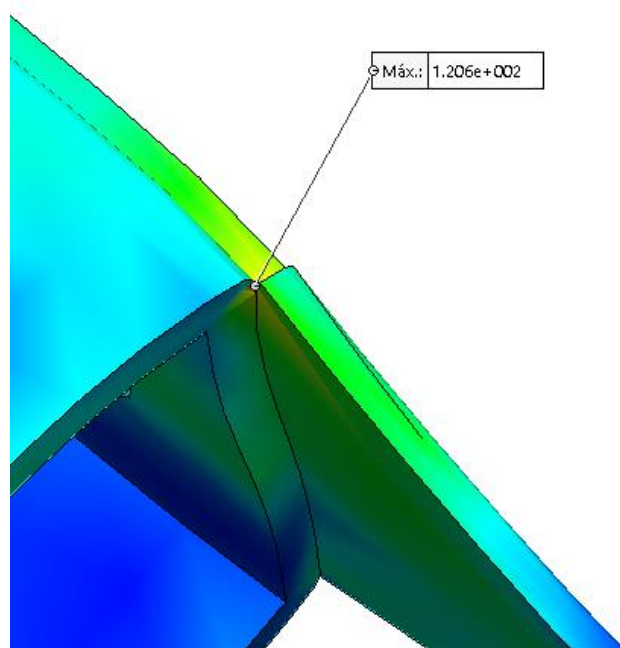


Figura (1.16). Análisis estático SolidWorks

No se tendrá en cuenta este máximo debido a la zona tan puntual, donde falta material.

- Coeficiente de seguridad:

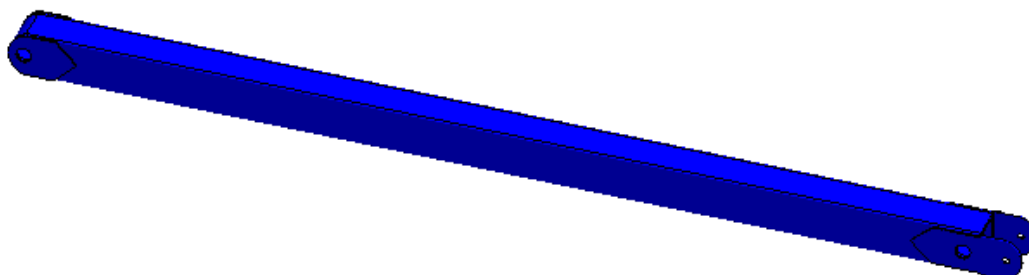


Figura (1.17). Análisis estático SolidWorks

- Desplazamiento máximo:

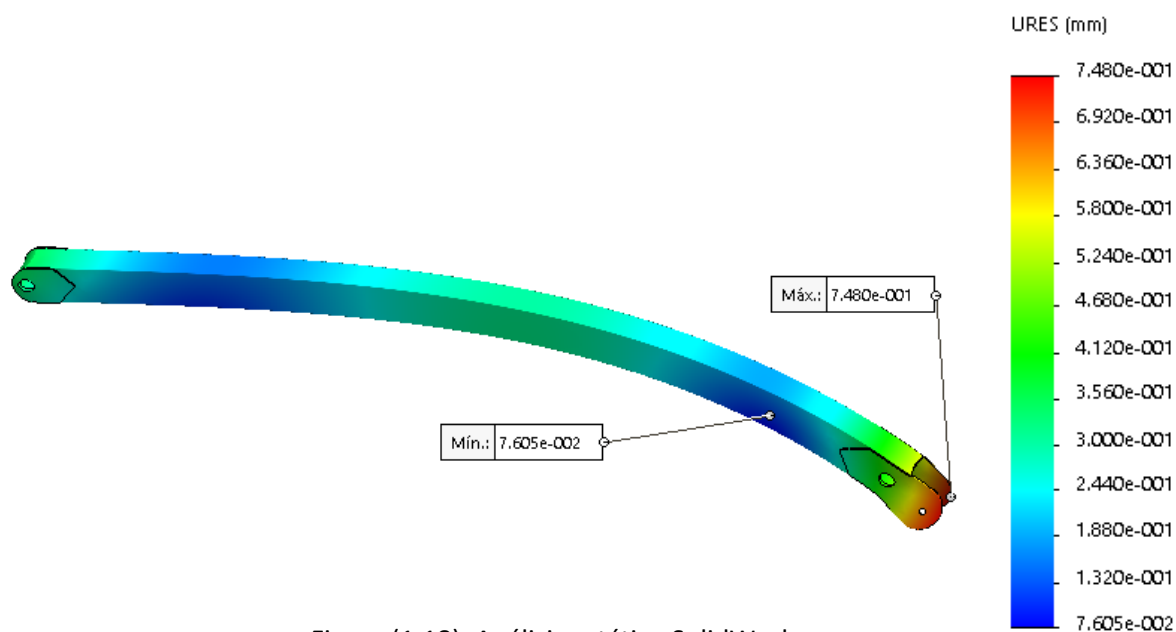


Figura (1.18). Análisis estático SolidWorks

El perfil GEL cumple todos los requisitos en ambas posiciones, con tensiones máximas de **87.55** y **120.6 MPa**, siendo esta última desestimada, y con desplazamientos máximos de **0.3027** y **0.748 mm**. Ambas posiciones cumplen con el coeficiente de seguridad mínimo de **3**.

Barra LM:

La barra LM solo está sometida a fuerzas axiales y recordemos que su máxima tensión es de 30063.407 N.

Se usa una malla por defecto.

- Von Mises:

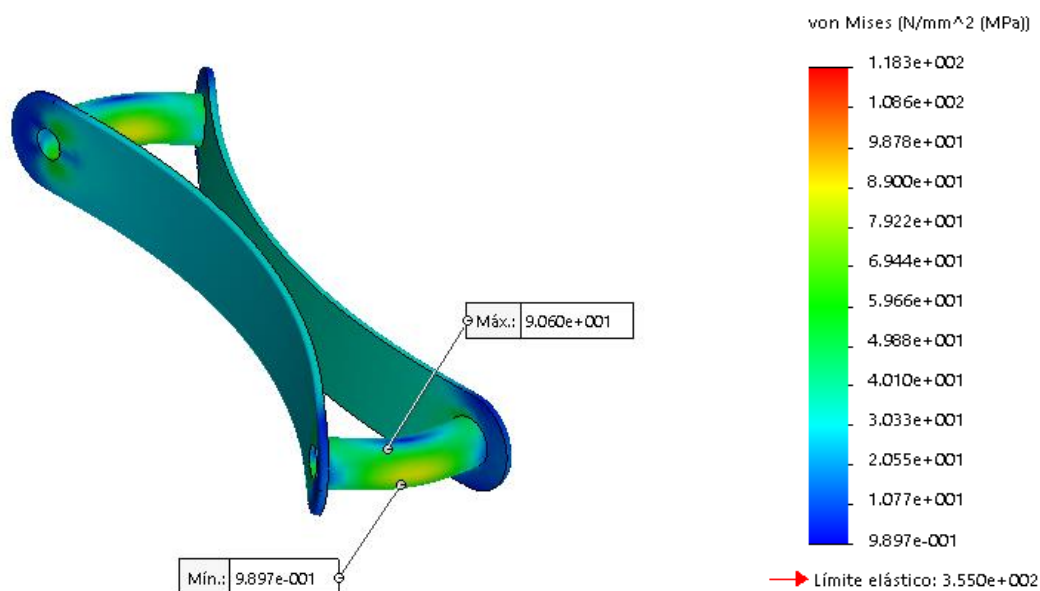


Figura (1.19). Análisis estático SolidWorks

- Coeficiente de seguridad:

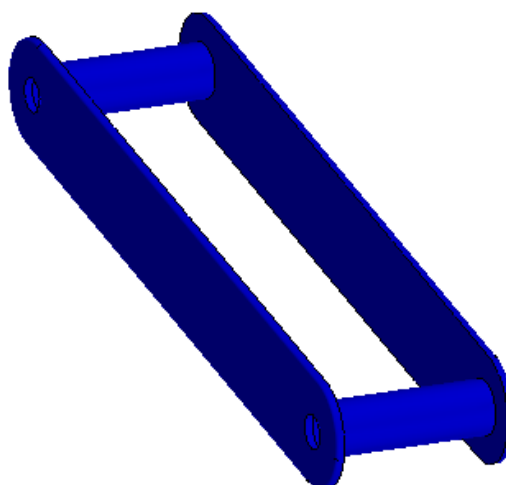


Figura (1.20). Análisis estático SolidWorks

- Desplazamiento máximo:

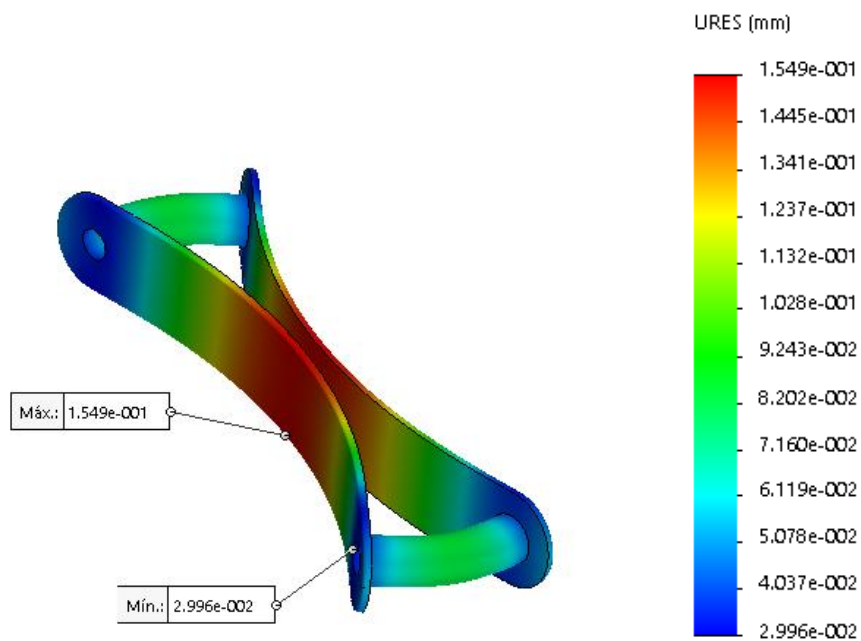


Figura (1.21). Análisis estático SolidWorks

El diseño de la barra LM es correcto y cumple con los requisitos.

Perfil AC:

Solo hay una posición de estudio ya que para ambos puntos, se dan sus máximos en la misma posición:

- Cuadrilátero abierto 60° y brazo telescópico en posición horizontal: Puntos A y C

Se usa la malla por defecto del programa.

- Von Mises:

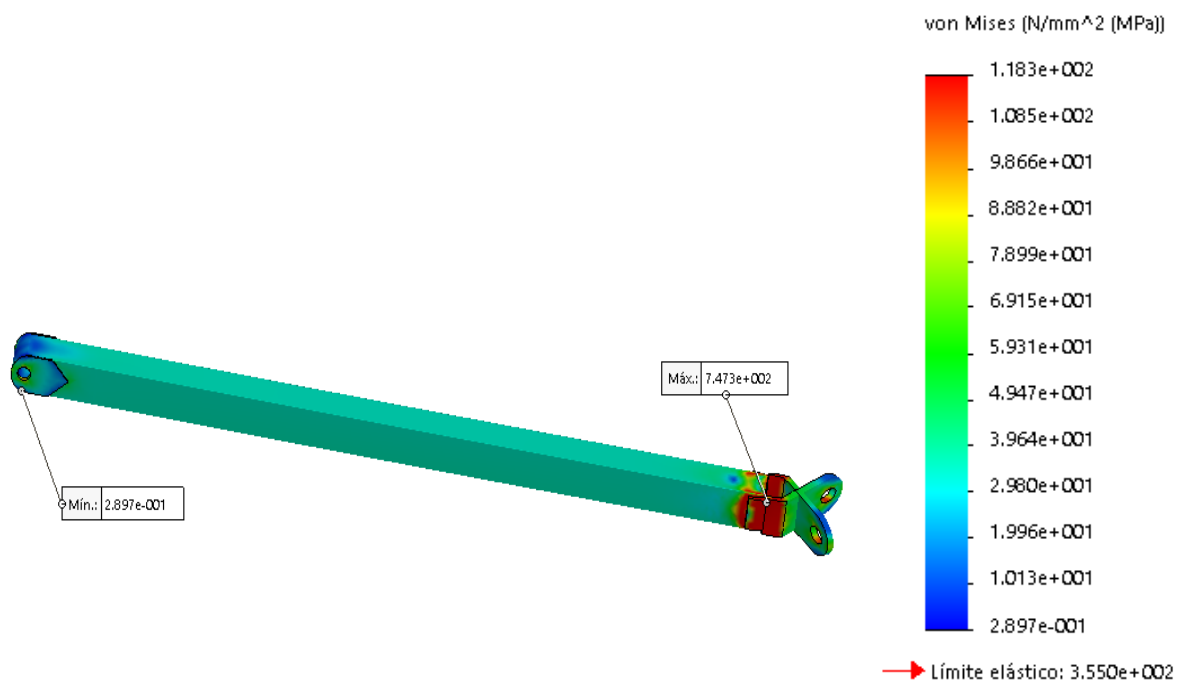


Figura (1.22). Análisis estático SolidWorks

Podemos ver que se producen tensiones en el punto C mayores a 743 MPa. No hay que decir que la pieza no es válida y debemos encontrar un nuevo diseño que satisfaga nuestras necesidades y cumpla los requisitos.

Se ha realizado un nuevo diseño con un refuerzo en la zona de la articulación:

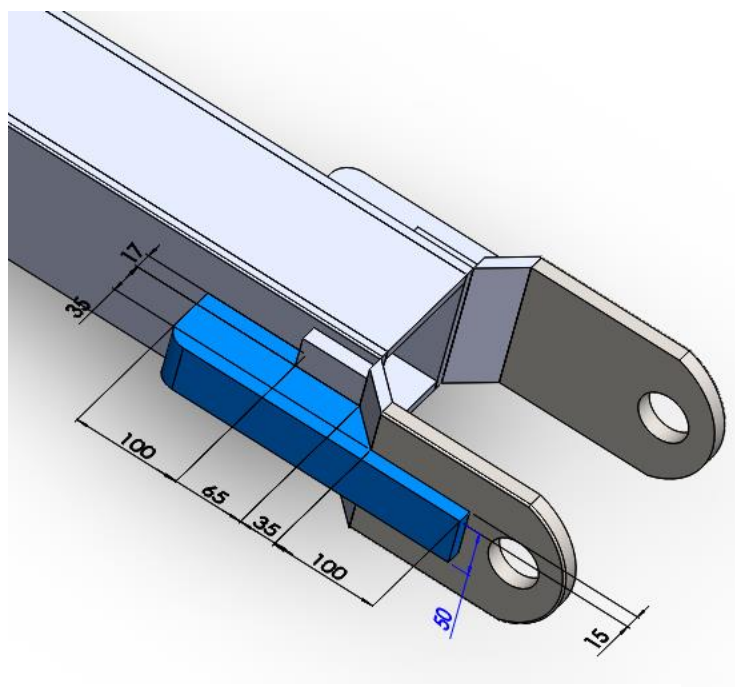


Figura (1.23). Análisis estático SolidWorks

Además de este refuerzo se han aumentado los espesores de la pletina:

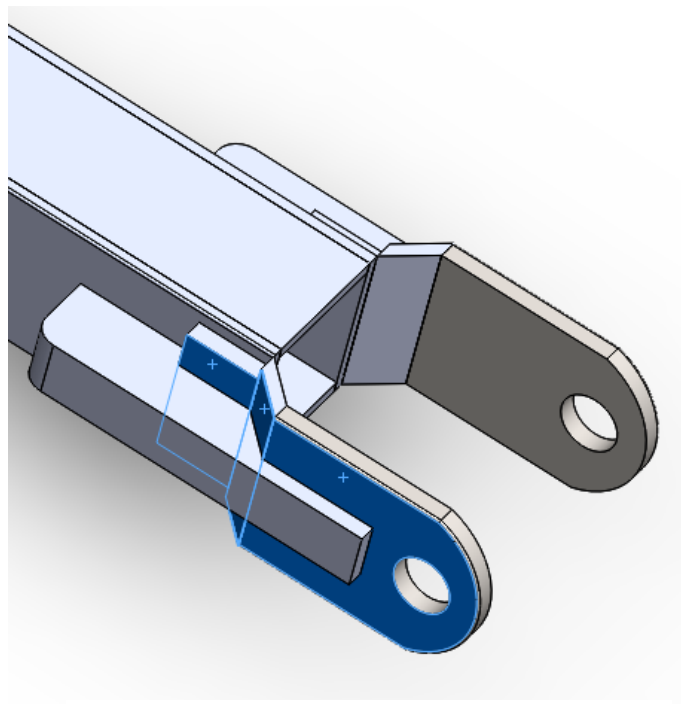


Figura (1.24). Análisis estático SolidWorks

Antes teníamos un espesor de **16 mm** y ahora hemos aumentado hasta los **17 mm**. El cambio puede parecer insignificante pero observando datos es una gran mejora.

Realizamos de nuevo los estudios de tensión, coeficiente y desplazamientos máximos:

- Von Mises:

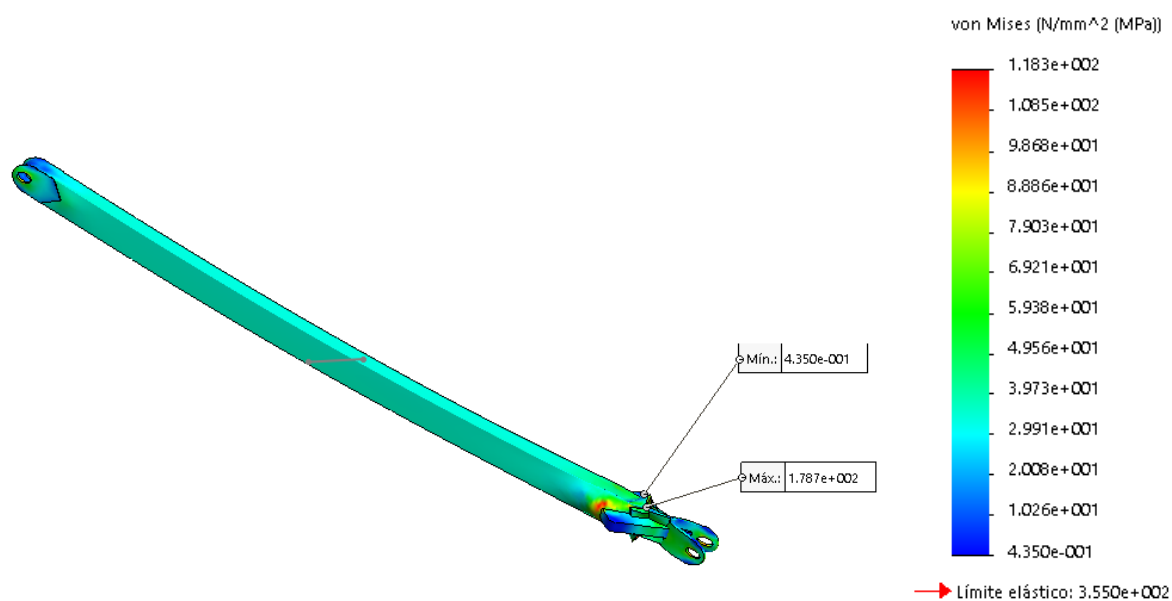


Figura (1.25). Análisis estático SolidWorks

De nuevo sobrepasa el límite marcado de 118 MPa, pero veamos donde se da el máximo:

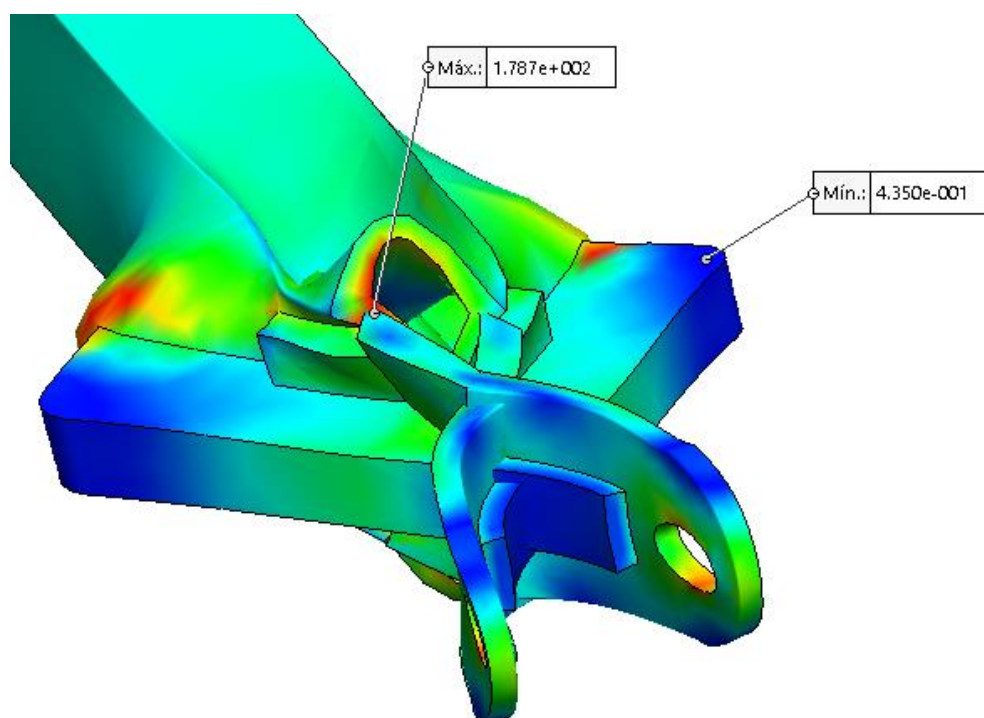


Figura (1.26). Análisis estático SolidWorks

Es una zona muy puntual, despreciable en nuestro estudio. Vemos en el estudio del área del coeficiente de seguridad para corroborar nuestra teoría.

- Coeficiente de seguridad:

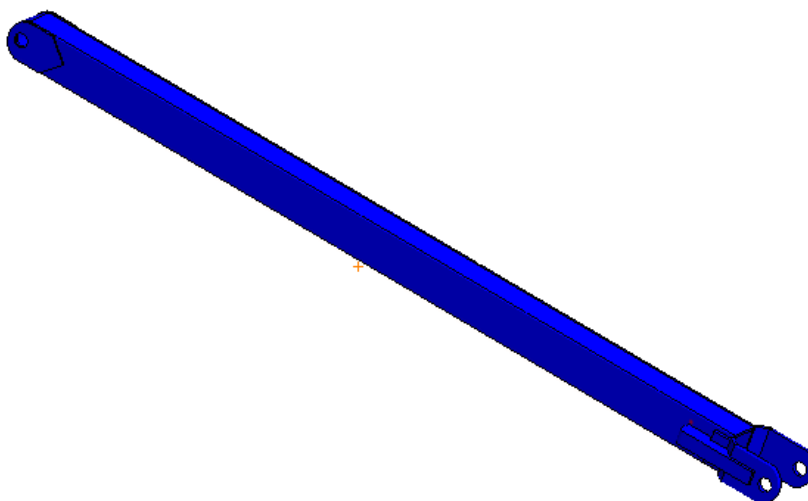


Figura (1.27). Análisis estático SolidWorks

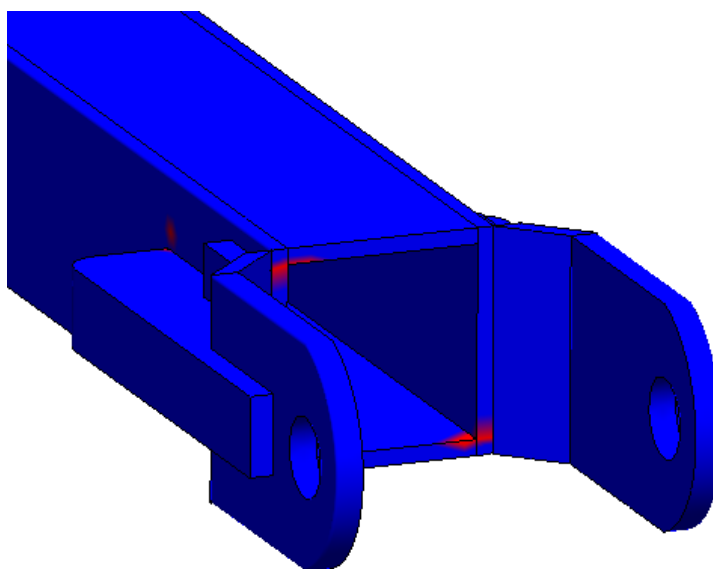


Figura (1.28). Análisis estático SolidWorks

Vemos las zonas puntuales del perfil donde el coeficiente baja de 3. Son pequeños puntos que no deberían afectar a la estructura. Incluso en la fabricación del componente pueden aparecer redondeos que mitiguen esas tensiones máximas.

- Desplazamientos máximos:

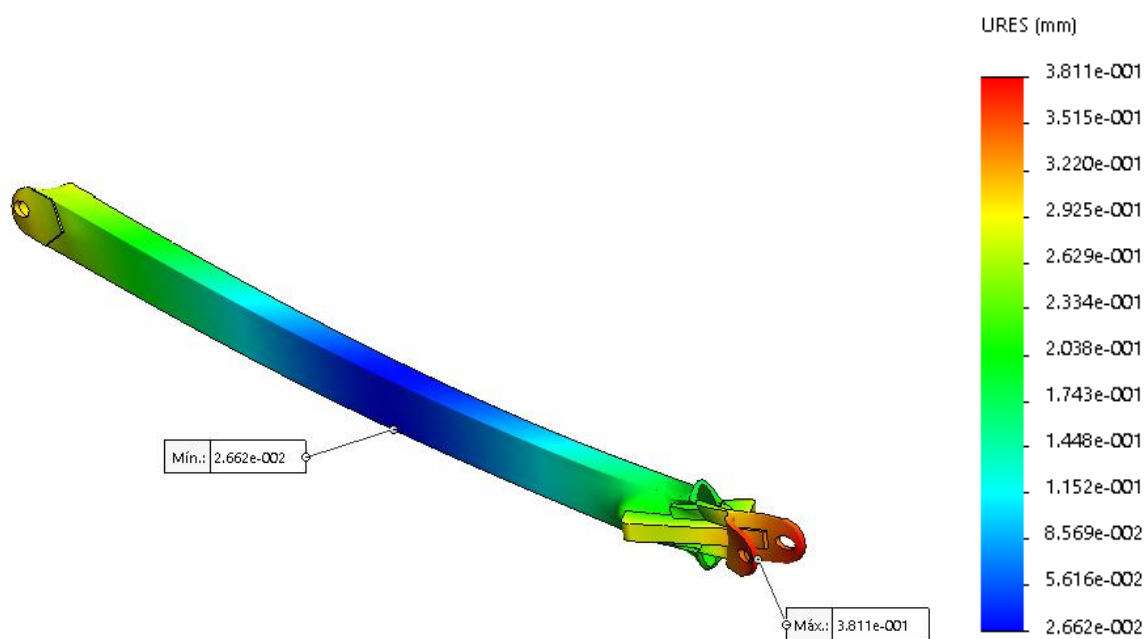


Figura (1.29). Análisis estático SolidWorks

Obtenemos un desplazamiento máximo de **0.38 mm**. Más que aceptable este desplazamiento.

Perfil BD:

El perfil BD es seguramente el perfil más comprometido, con el diseño más estudiado y con mayores puntos de estudio.

Tenemos tres posiciones donde se dan máximas tensiones en distintos puntos:

- Cuadrilátero abierto 60° con brazo telescópico en posición horizontal: Punto B
- Cuadrilátero abierto 20° con brazo telescópico en posición horizontal: Punto FP1
- Cuadrilátero cerrado (0°) con brazo telescópico en posición horizontal: Punto D

Primera posición:

- Von Mises:

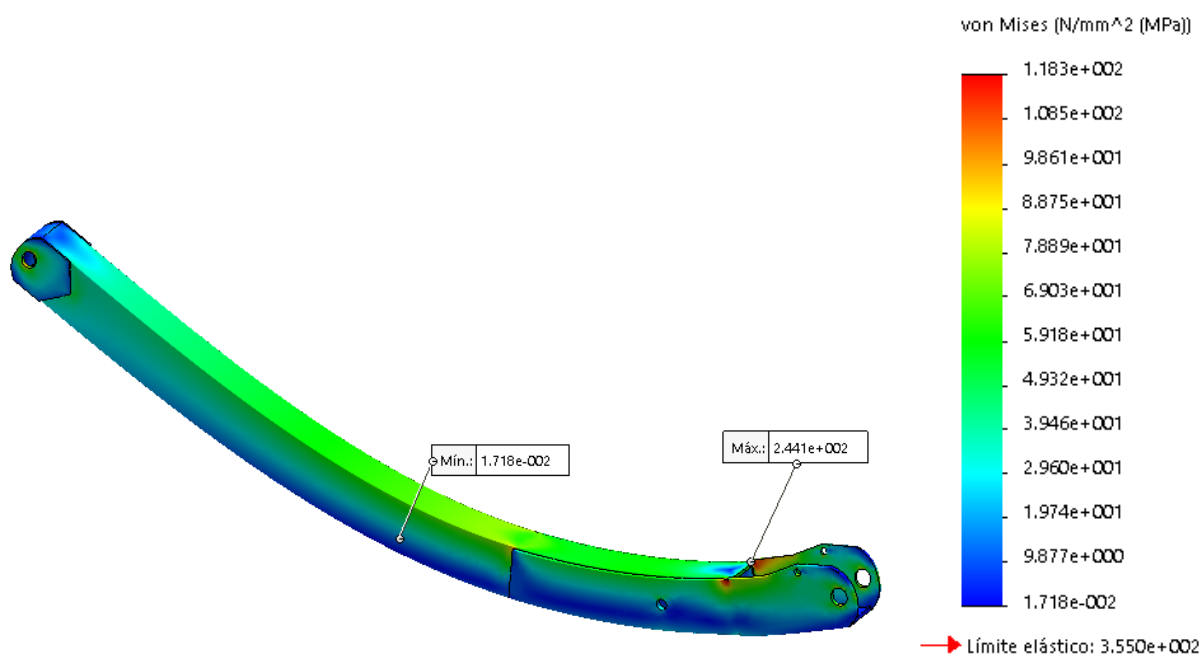


Figura (1.30). Análisis estático SolidWorks

Se supera la tensión máxima impuesta por el coeficiente de seguridad. Vamos a ver si es algo puntual de esta posición o se repite y debemos tomar acciones.

Segunda posición:

- Von Mises:

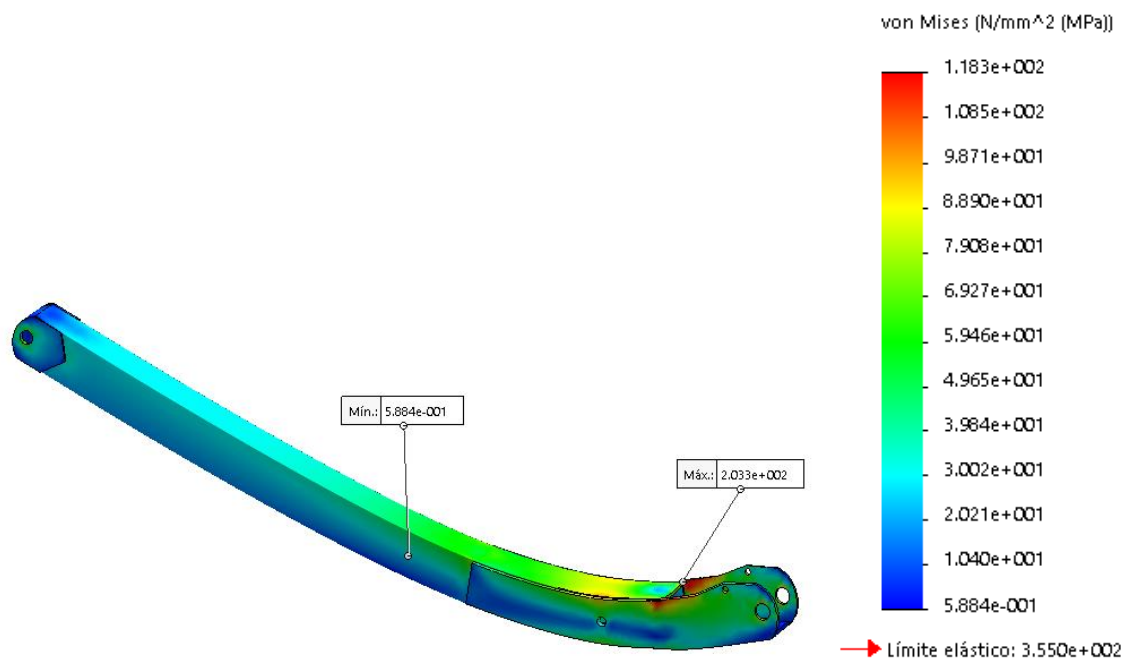


Figura (1.31). Análisis estático SolidWorks

Tercera posición:

- Von Mises:

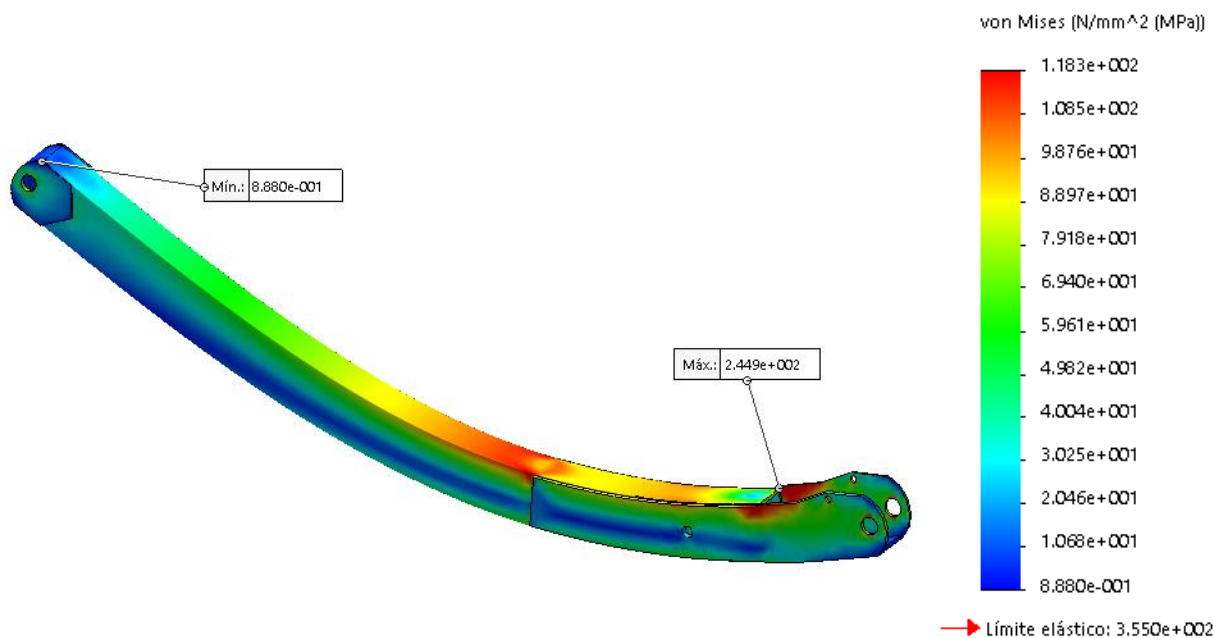


Figura (1.32). Análisis estático SolidWorks

Vemos como se repite ese pico de tensión en la misma zona, cerca de la soldadura del perfil rectangular con el perfil en U.

Para reducir esas tensiones vamos a rediseñar esa zona:

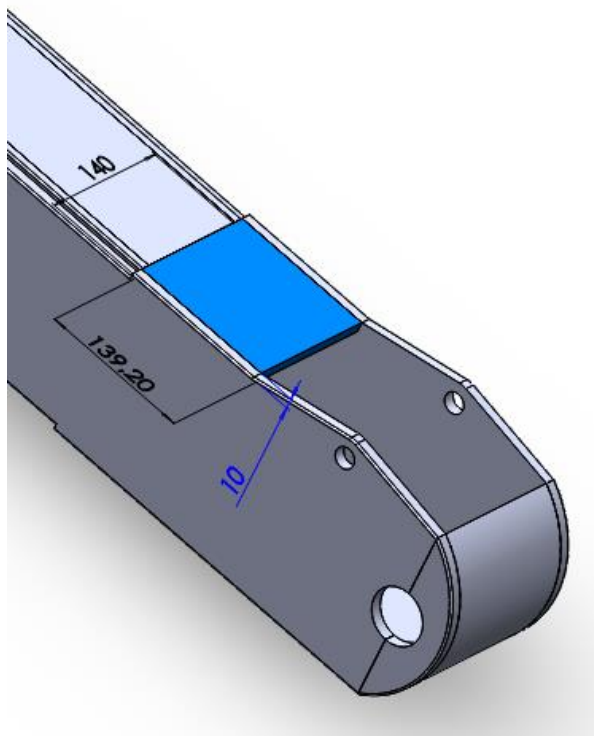


Figura (1.33). Análisis estático SolidWorks

Nos hemos limitado a poner un pequeño refuerzo, tapando parte del perfil en U para reducir las tensiones. Las dimensiones del mismo se pueden ver en la imagen superior.

De nuevo realizaremos los estudios.

Primera posición:

- Von Mises:

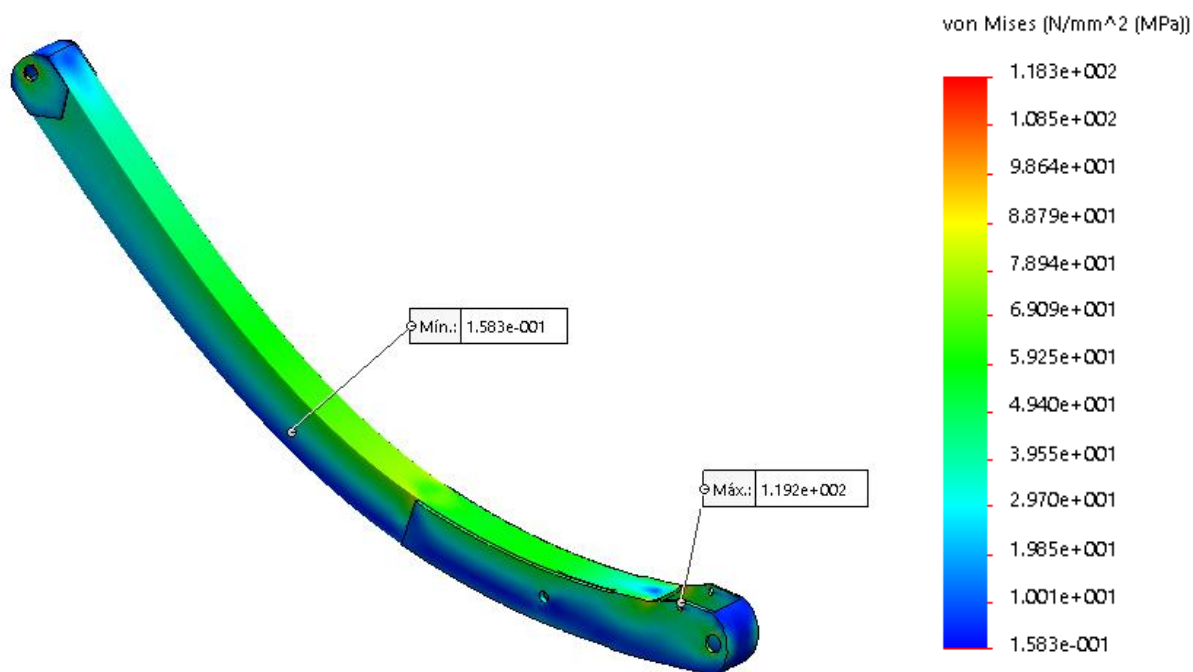


Figura (1.34). Análisis estático SolidWorks

No es preocupante la tensión máxima de **119.2 MPa**. Este pico se da en el interior del pasador M, y cuyo valor no preocupa, además no se aleja apenas de los **118 MPa**.

- Coeficiente de seguridad:

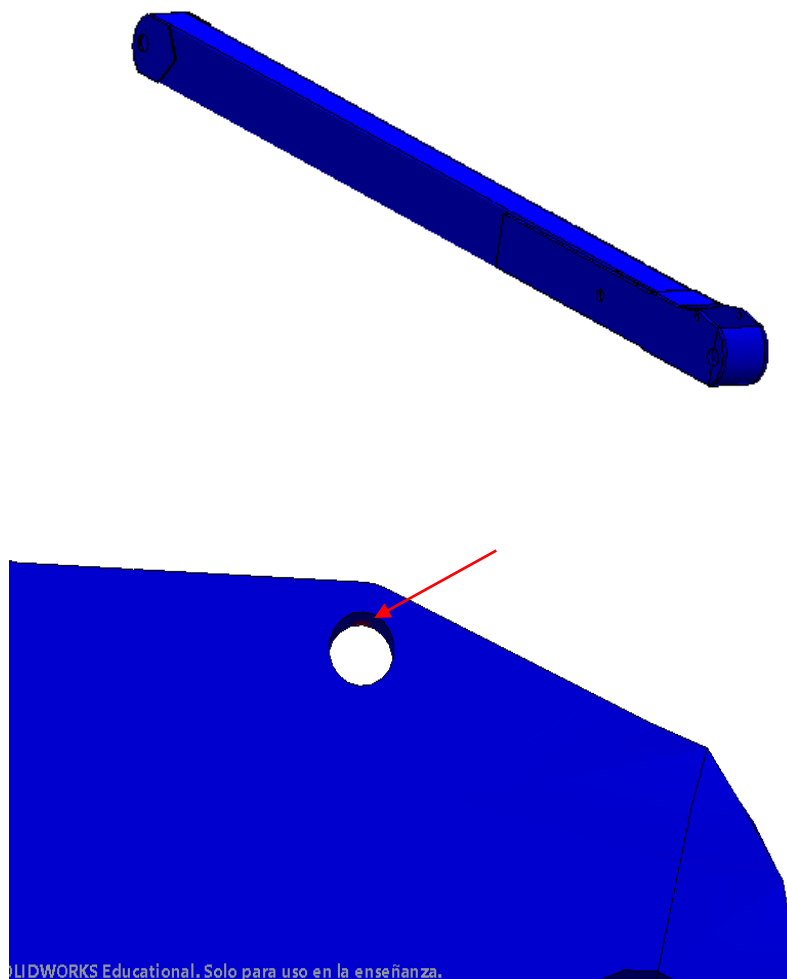


Figura (1.35). Análisis estático SolidWorks

Tan solo hay una pequeña área por debajo del coeficiente de valor 3 en la zona interior del pasador M. totalmente despreciable.

- Desplazamiento máximo:

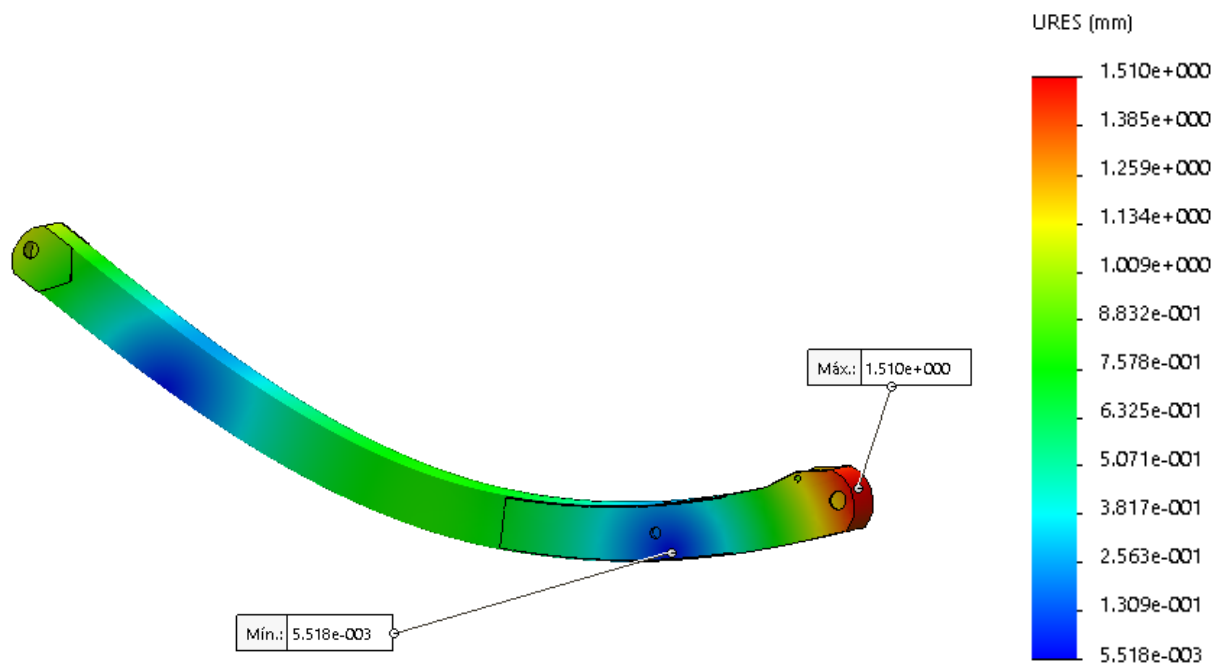


Figura (1.36). Análisis estático SolidWorks

Desplazamiento de **1.51 mm**, valor aceptable para el diseño.

Segunda posición:

- Von Mises:

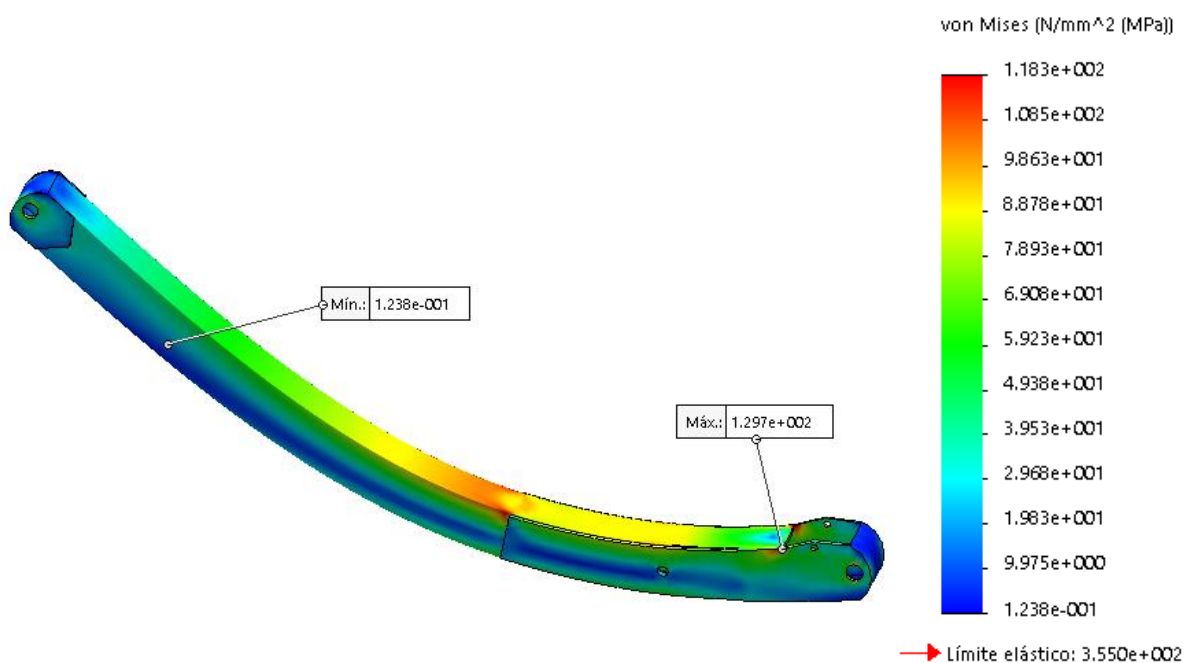


Figura (1.37). Análisis estático SolidWorks

Seguimos teniendo picos de tensión en las zonas próximas a la soldadura. El hecho de poner esa placa ha reducido considerablemente el pico de tensión, obteniendo ahora **129.7 MPa**. No es un valor alarmante y podemos despreciarlo debido a su área tan puntual.

- Coeficiente de seguridad:

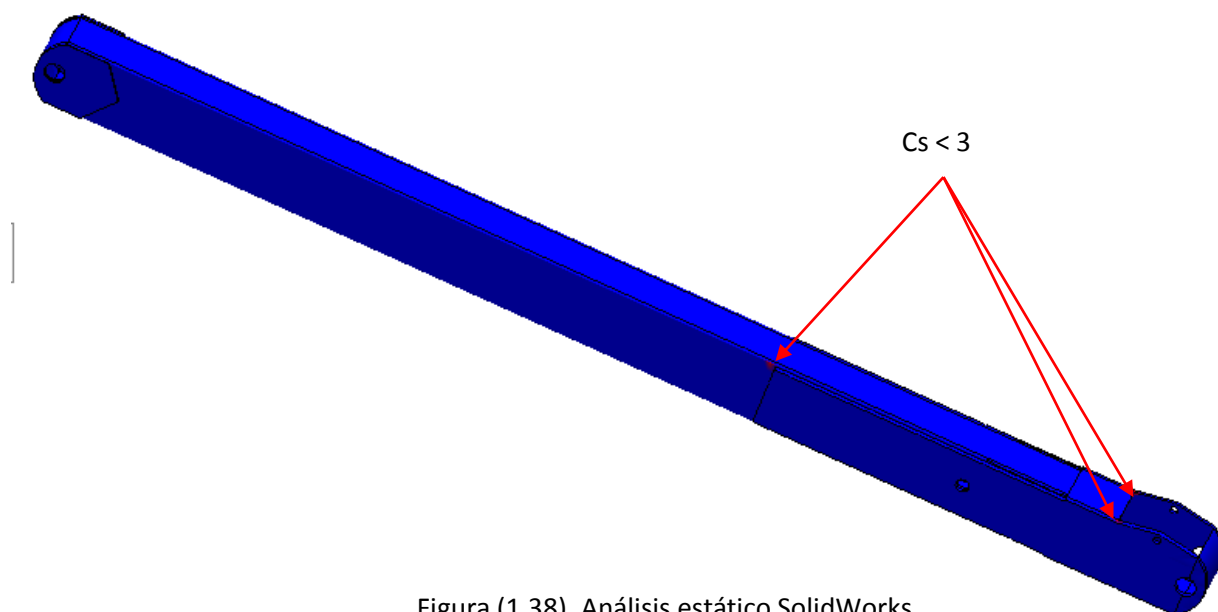


Figura (1.38). Análisis estático SolidWorks

Pequeñas zonas donde el coeficiente baja del valor 3. El diseño sigue siendo bueno.

- Desplazamiento máximos:

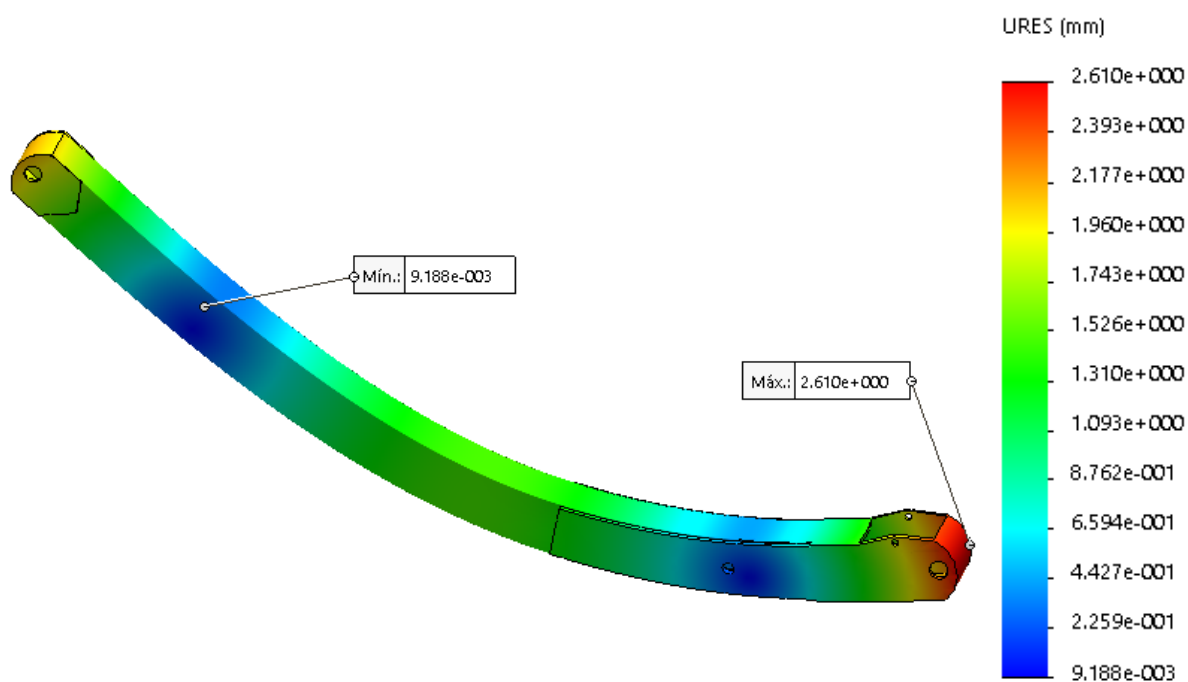


Figura (1.39). Análisis estático SolidWorks

Tercera posición:

- Von Mises:

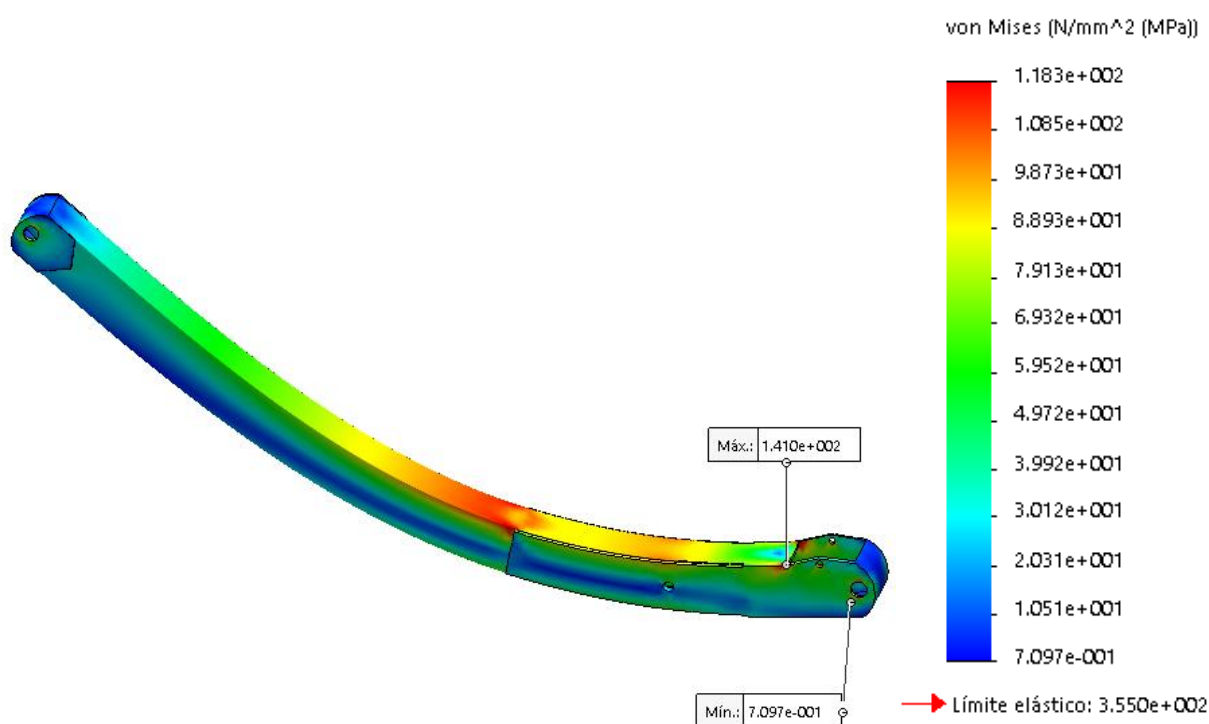


Figura (1.40). Análisis estático SolidWorks

Del mismo modo que en la posición estudiada anterior, volvemos a tener un pico de tensión en la misma zona cerca de la soldadura. Vuelve a ser una zona puntual y no se tiene en cuenta. Además su valor ta solo es **20 MPa** mayor que el impuesto como límite.

- Coeficiente de seguridad:

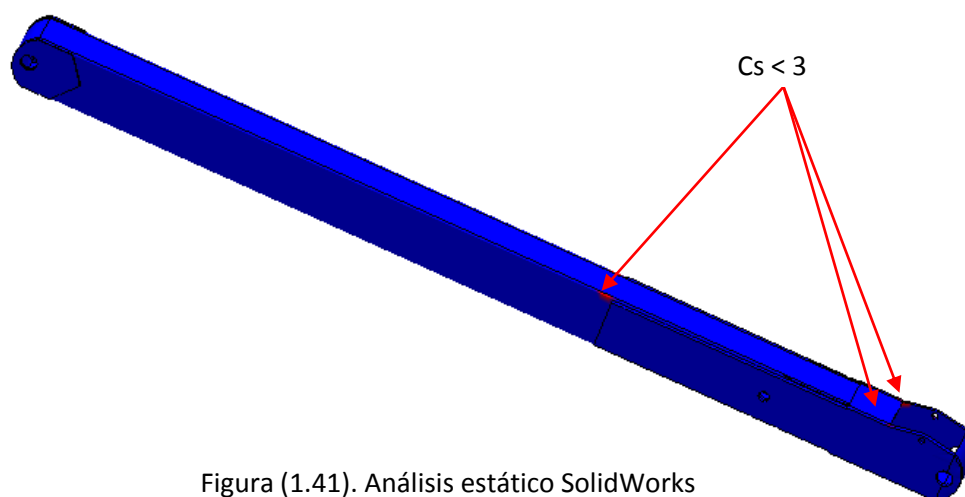


Figura (1.41). Análisis estático SolidWorks

De nuevo pequeñas áreas con un coeficiente menor que podemos despreciar.

- Desplazamiento máximo:

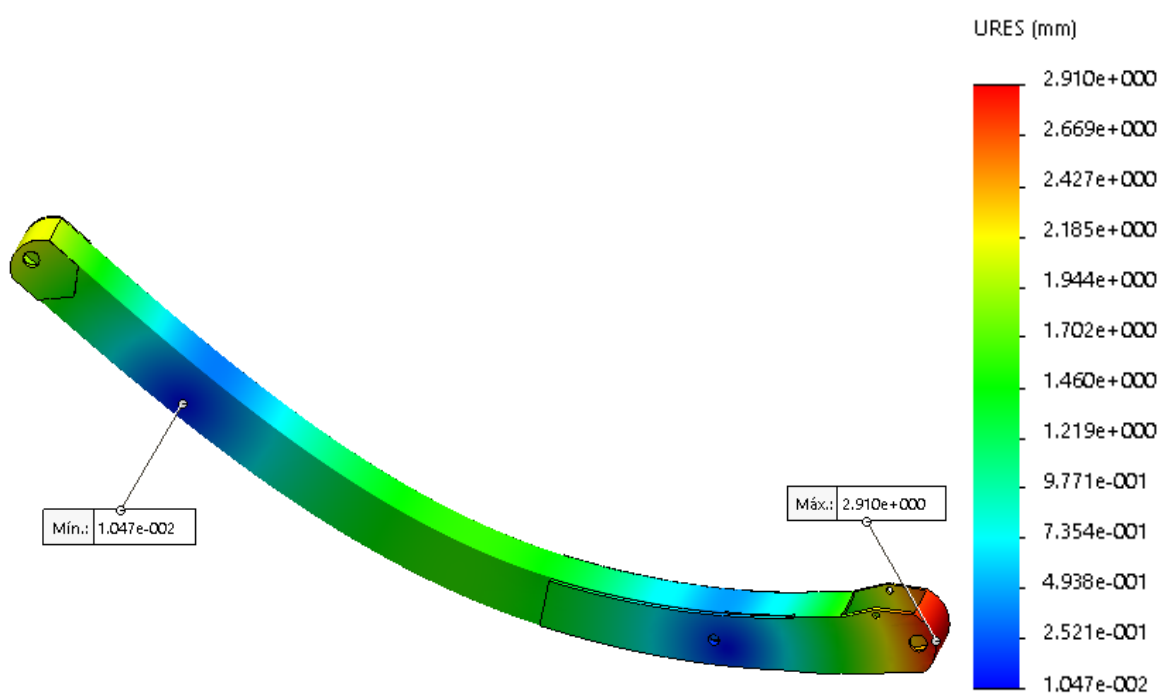


Figura (1.42). Análisis estático SolidWorks

Con un desplazamiento máximo de **2.91 mm** es diseño es totalmente aceptable.

Pletina EFDC:

Las posiciones donde se dan las tensiones, máximas son:

- Cuadrilátero abierto 60º con el brazo telescópico en posición horizontal: Punto E y C
- Cuadrilátero cerrado (0º) y brazo telescópico en posición horizontal: Puntos D y F

Se usa una malla por defecto en toda la pieza excepto en los orificios de los pasadores. La razón es el espesor de la pletina. A menor espesor de pieza en el modelo más errores pueden cometer la malla, por tanto se ha creado una malla a parte para los 8 orificios para ser más exactos los cálculos.

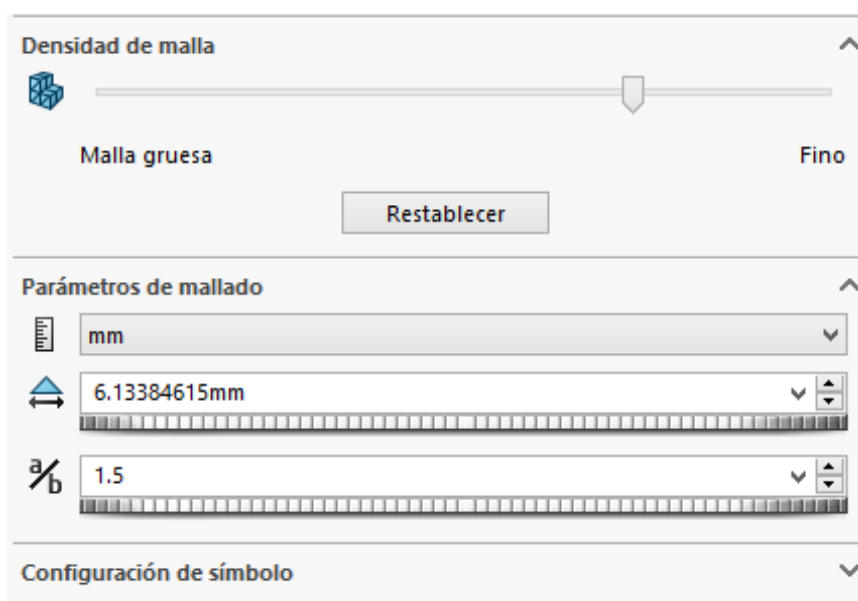
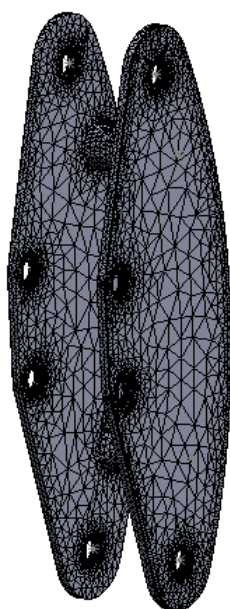


Figura (1.43). Análisis estático SolidWorks

Primera posición:

- Von Mises:

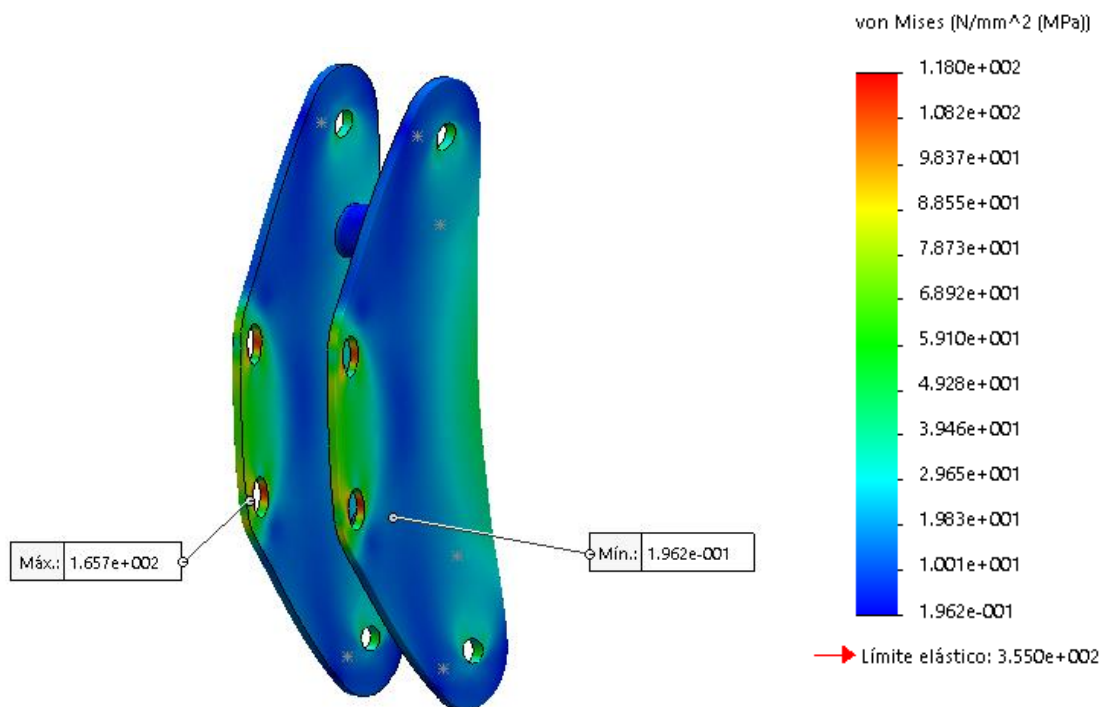


Figura (1.44). Análisis estático SolidWorks

Obtenemos una tensión máxima en uno de los orificios de **165.7 MPa**. Su valor es alto y no pasa desapercibido.

Ante tal resultado optaremos por rediseñar la pletina aumentando su espesor, ya que la geometría de todo la estructura nos lo permite.

Rediseño:

Hemos reducido la longitud de los tubos interiores de **174 a 170 mm**, aumentando el espesor de las pletinas de **18 a 20 mm**, obteniendo así la misma anchura exterior:

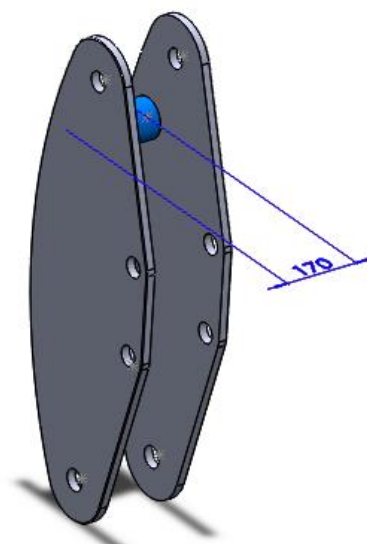


Figura (1.45). Análisis estático SolidWorks

Realizamos de nuevo el análisis estático.

Primera posición:

- Von Mises:

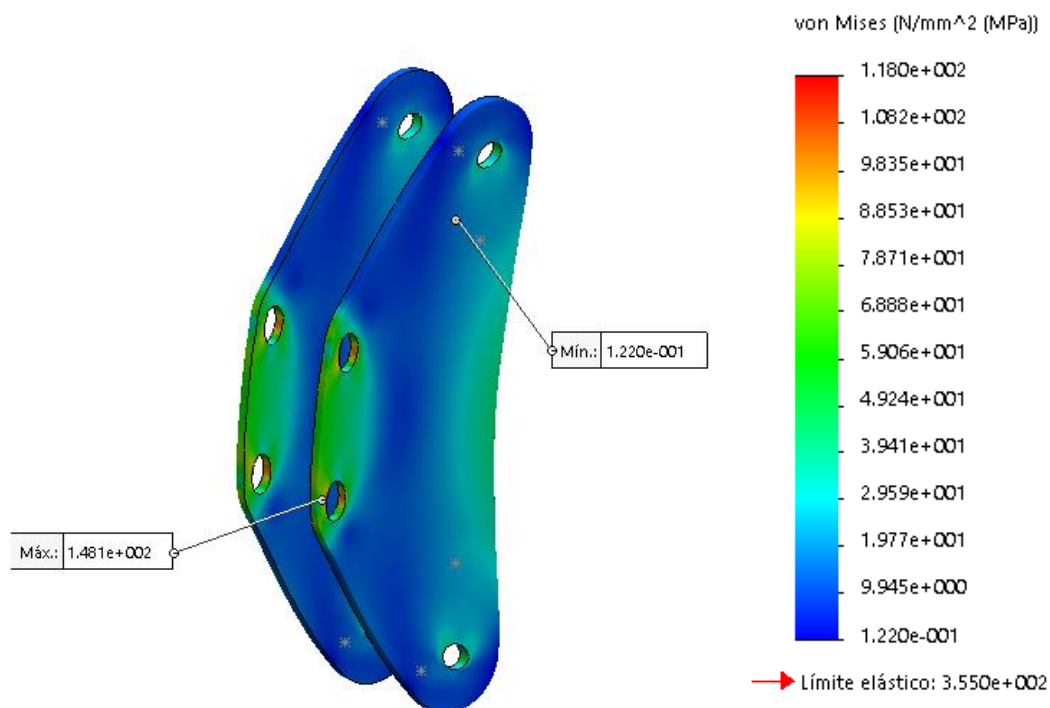


Figura (1.46). Análisis estático SolidWorks

Obtenemos de nuevo una tensión que pasa el límite. El valor ahora es de **148.1 MPa**. Se da en una zona puntual. Habrá que valorar los datos.

- Coeficiente de seguridad:

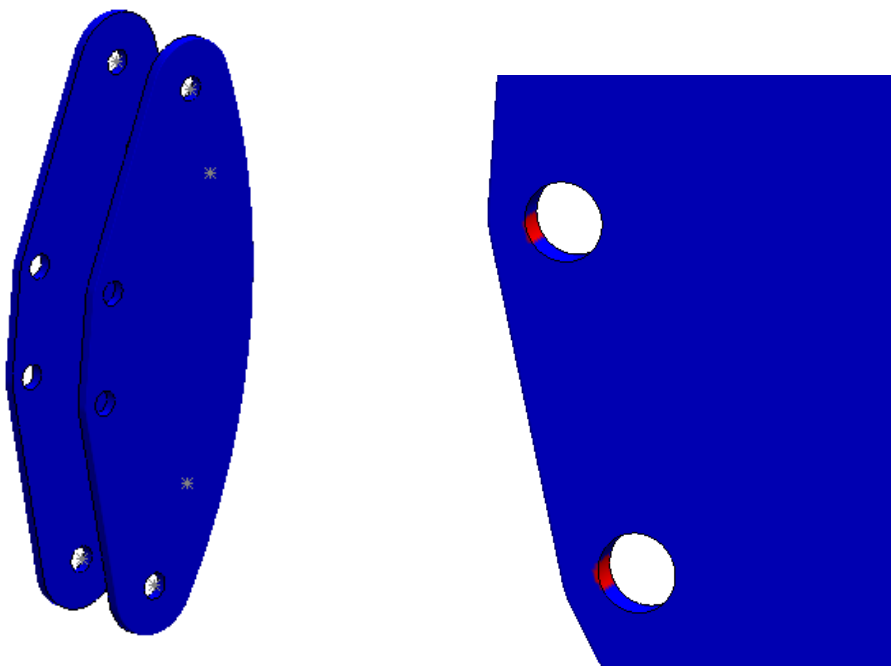


Figura (1.47). Análisis estático SolidWorks

Como en el análisis de tensiones, las zonas más castigadas son los orificios de los pasadores. Zonas muy puntuales, cuyos resultados se valoraran y se tomaran medidas.

- Desplazamiento máximo:

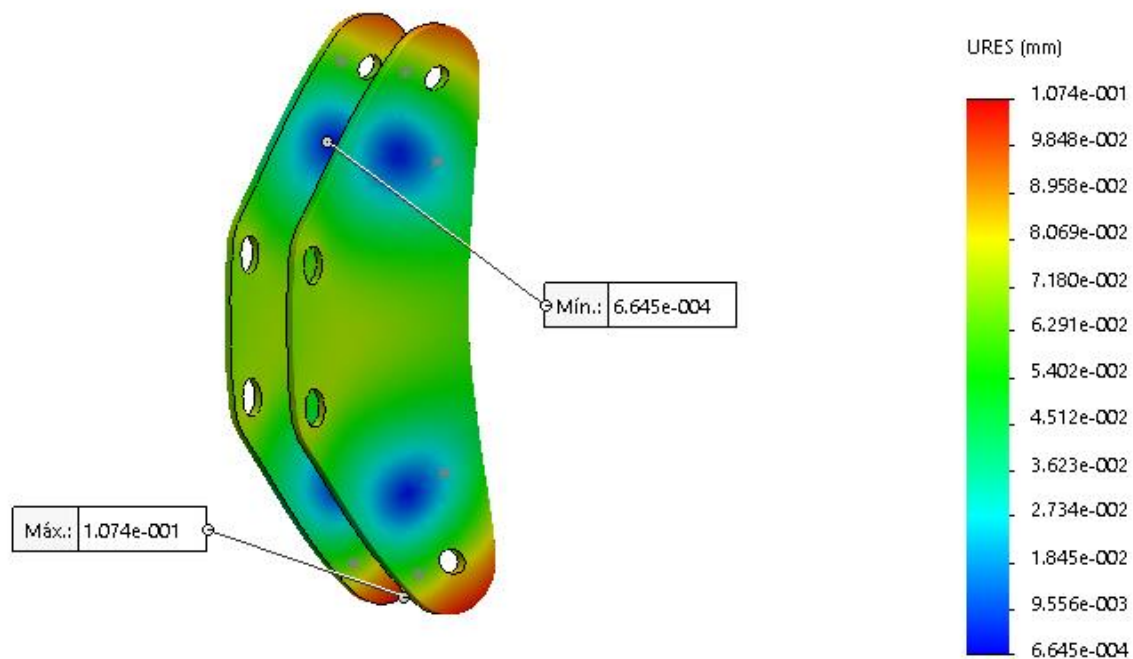


Figura (1.48). Análisis estático SolidWorks

Desplazamiento máximo de **0.1074 mm**. El desplazamiento es favorable.

Segunda posición:

- Von Mises:

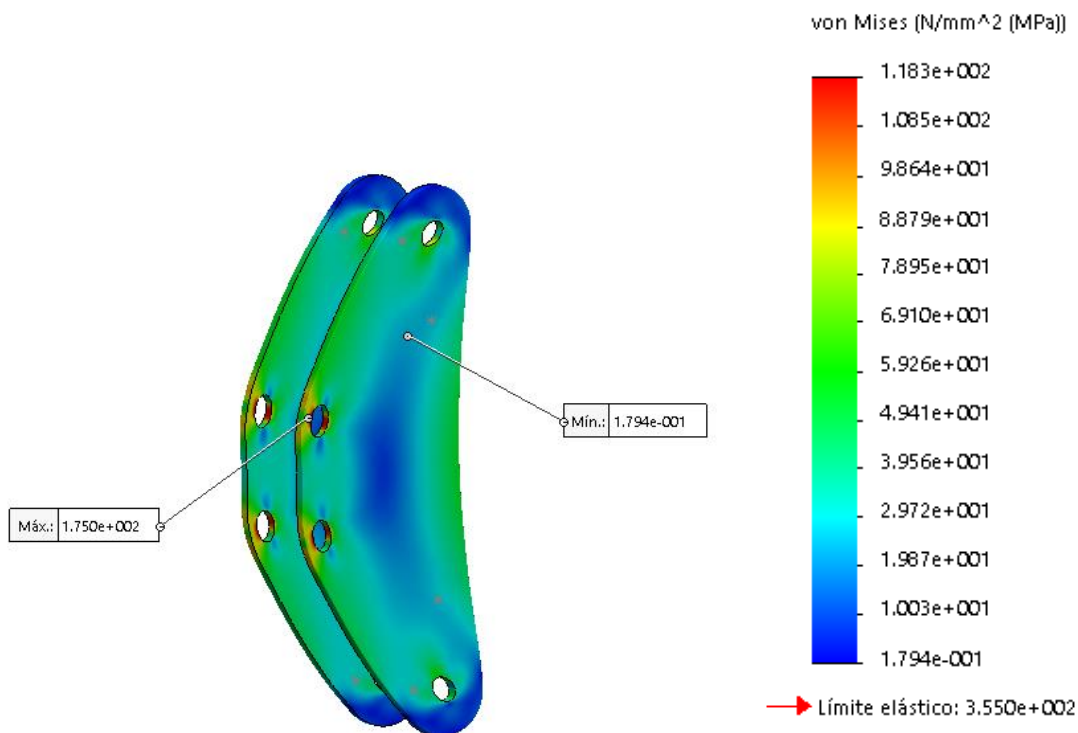


Figura (1.49). Análisis estático SolidWorks

La tensión máxima aun es mayor que en la posición anterior. Su valor es de **175 MPa** y no es un valor que pase por alto. Veamos qué zonas afecta al coeficiente de seguridad.

- Coeficiente de seguridad:

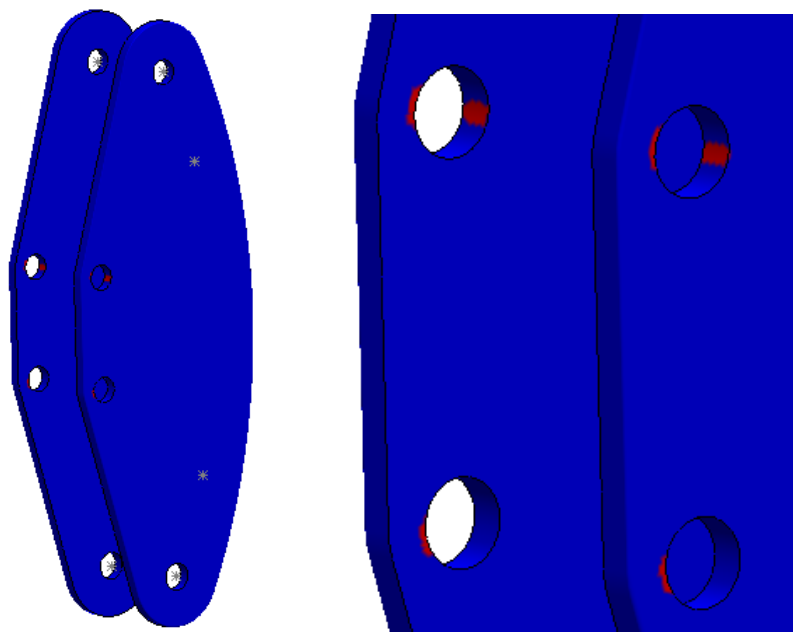


Figura (1.50). Análisis estático SolidWorks

Las zonas son las mismas, los agujeros pasantes.

- Desplazamiento máximo:

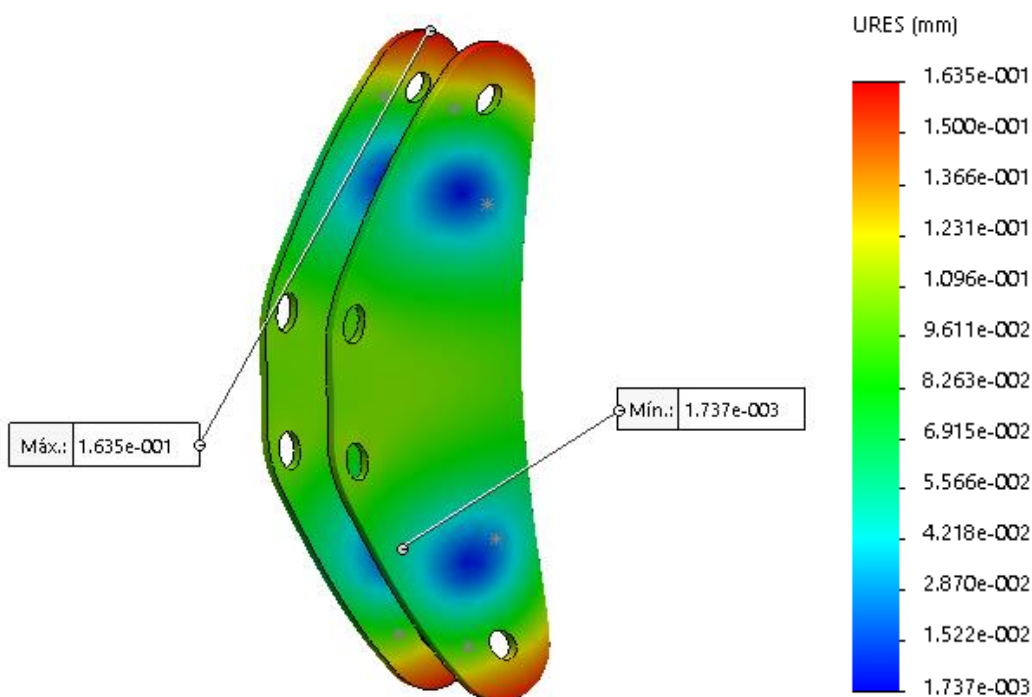


Figura (1.51). Análisis estático SolidWorks

El desplazamiento máximo tiene un valor de **0.1635 mm**. El diseño en este sentido es bueno.

En la memoria se recogen todos los datos de esta pieza. Con todos ellos se decidirá qué hacer con el modelo.

Pletina o caja HGK:

Las posiciones donde se dan las tensiones, máximas son:

- Cuadrilátero abierto 60º con el brazo telescópico con un ángulo de 30º: Punto H
- Cuadrilátero abierto 60º con el brazo telescópico en posición horizontal: Punto G
- Cuadrilátero cerrado (0º) con el brazo telescópico en su posición más baja (-22º): Punto K

Se usa una malla por defecto en toda la pieza excepto en los orificios de los pasadores, del mismo modo que en la pletina EFDC. La razón es el espesor de la pletina. A menor espesor de pieza en el modelo más errores pueden cometer la malla, por tanto se ha creado una malla a parte para los 6 orificios para ser más exactos los cálculos.

Parámetros de malla:

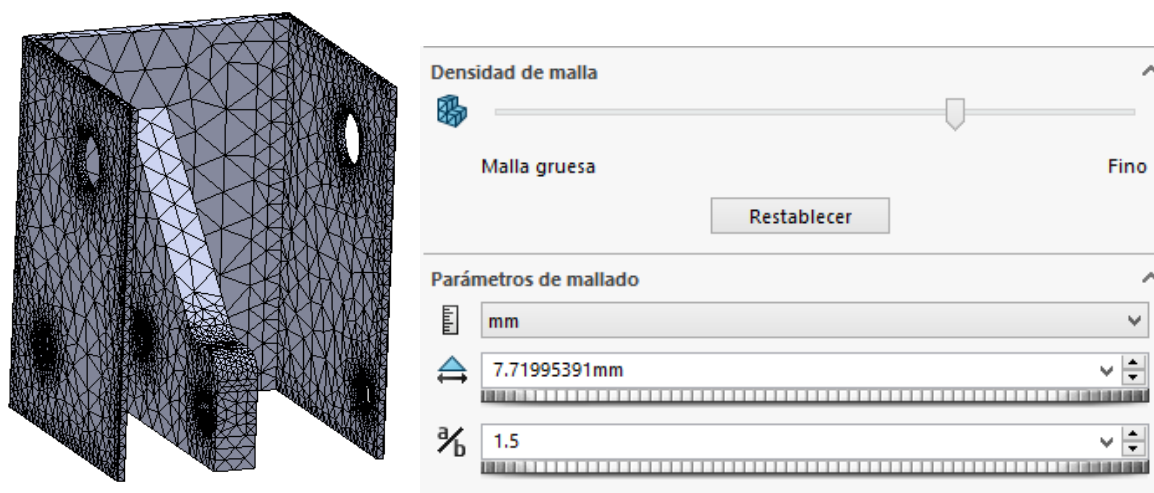


Figura (1.52). Análisis estático SolidWorks

Análisis de la primera posición:

- Von Mises:

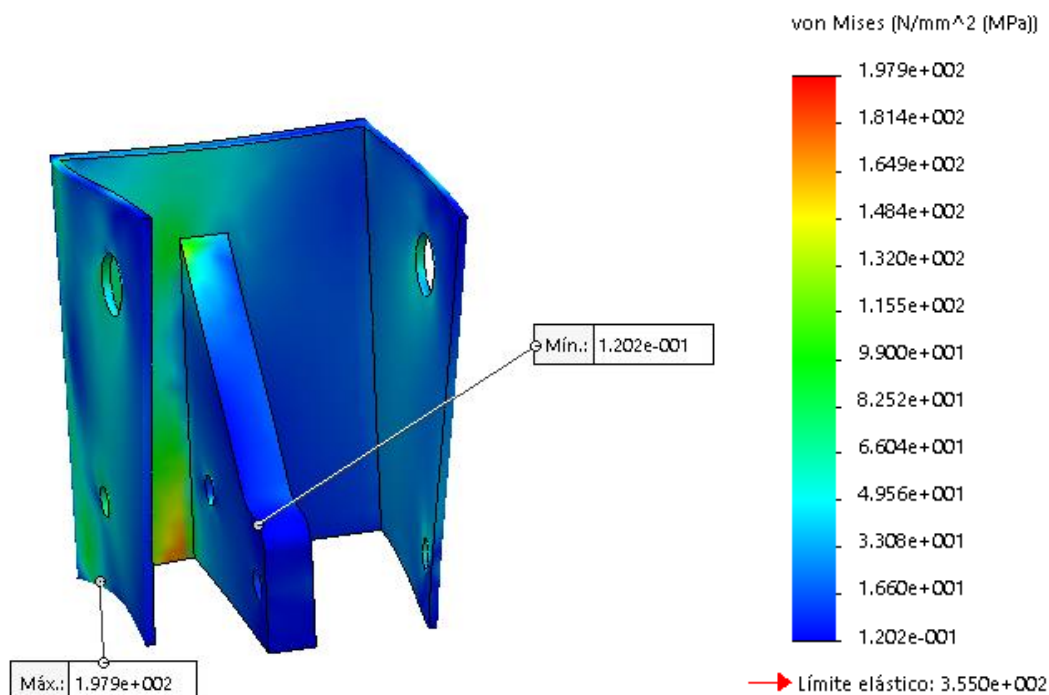


Figura (1.53). Análisis estático SolidWorks

El pico de tensión es de **197.9 MPa**, casi los **200 MPa**. Este valor casi supera en **100 MPa** el límite impuesto. El diseño de la pieza queda totalmente rechazado.

Podemos ver las áreas de coeficiente de seguridad.

- Coeficiente de seguridad:

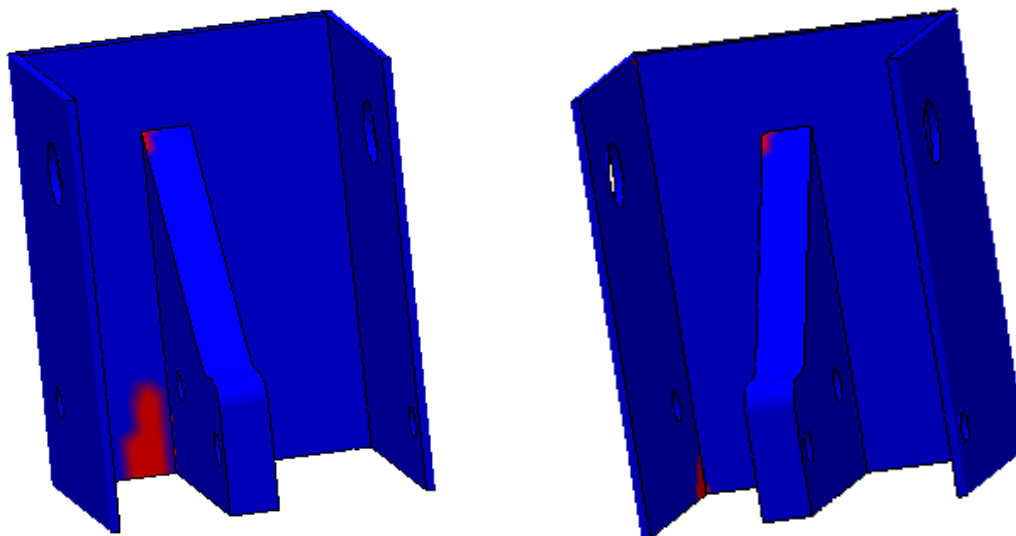


Figura (1.54). Análisis estático SolidWorks

Las áreas son extensas y no se centran en un punto en concreto que puedo obviarse. Como se ha dicho antes la pieza debe ser rediseñada.

Rediseño de la pieza:

Las altas tensiones puede que se deban a una alta flexión de las paredes laterales. La solución a este problema es aumentar dicho espesor. Las paredes laterales pasan a tener **25 mm** de espesor en vez de **13 mm**.

Realizamos en análisis estático al nuevo diseño:

Primera posición:

- Von Mises:

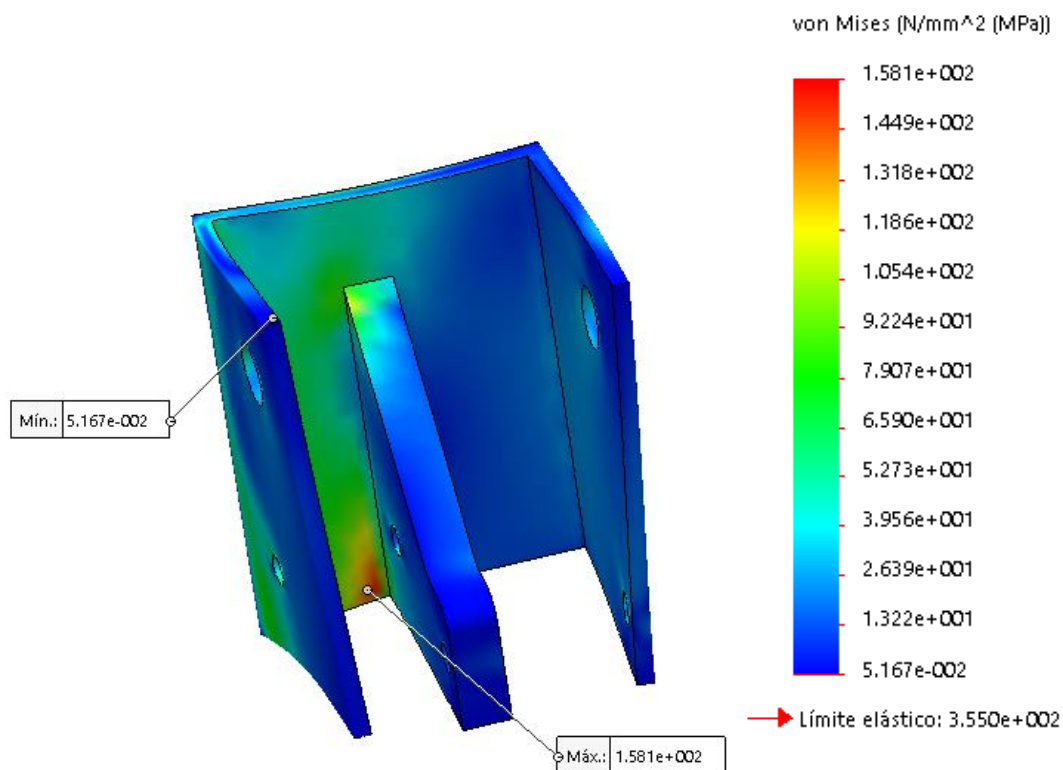


Figura (1.55). Análisis estático SolidWorks

Se supera la tensión de nuevo. Por más que aumentamos el espesor no conseguimos bajar mucho más que este valor de **158 MPa**. Pasa lo mismo que con la pletina EFDC.

- Coeficiente de seguridad:

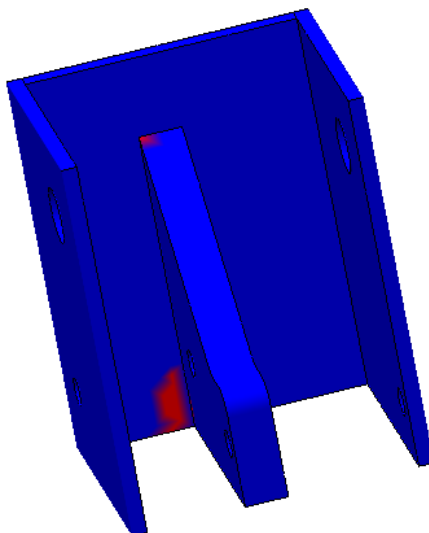


Figura (1.56). Análisis estático SolidWorks

Vemos un área menos extensa pero que debemos analizar.

- Desplazamiento máximo:

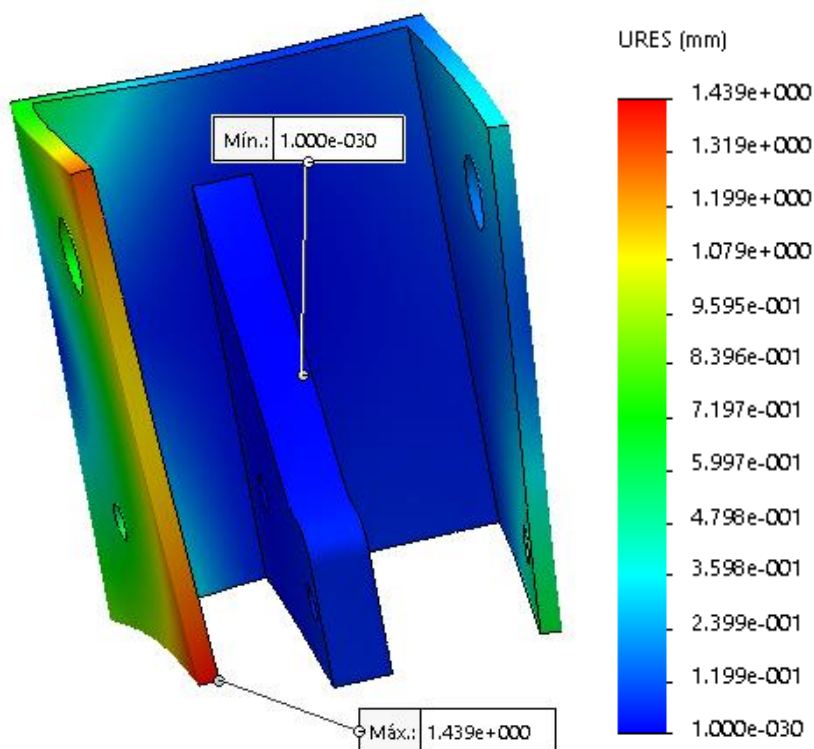


Figura (1.57). Análisis estático SolidWorks

Desplazamiento de **1.44 mm**.

Segunda posición:

- Von Mises:

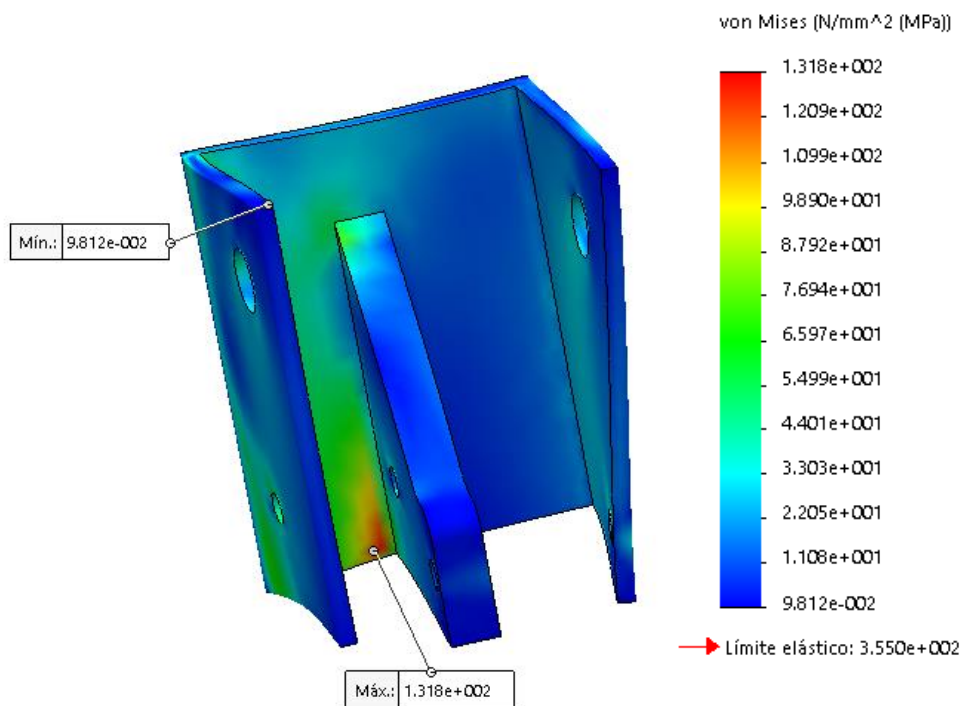


Figura (1.58). Análisis estático SolidWorks

En esta posición el máximo se reduce a **131.8 MPa**. Aunque este valor sea menor, nuestro estudio siempre se centra en el peor caso y será la primera posición nuestra referencia.

- Coeficiente de seguridad:

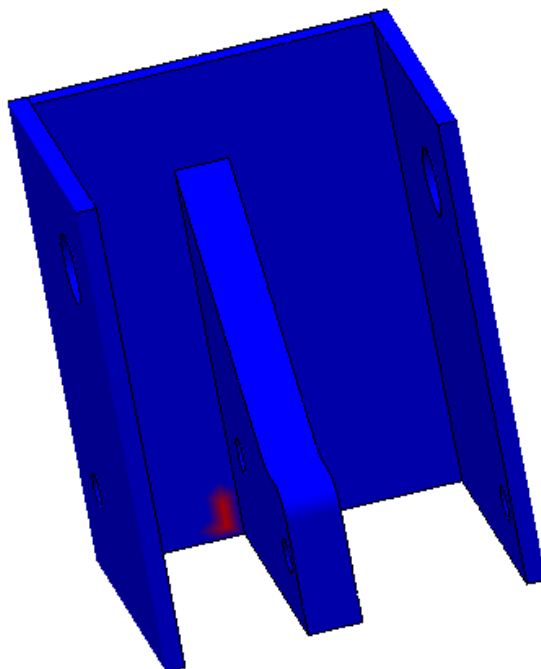


Figura (1.59). Análisis estático SolidWorks

Al igual que el máximo de tensión, el área de menor coeficiente de seguridad disminuye.

- Desplazamiento máximo:

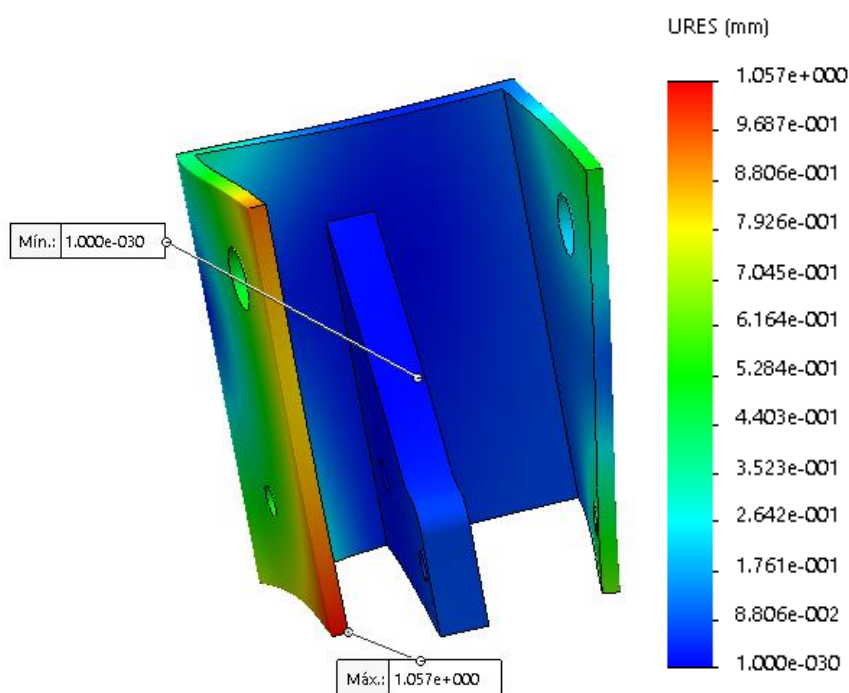


Figura (1.60). Análisis estático SolidWorks

Desplazamiento máximo de valor **1.057 mm**.

Tercera posición:

- Von Mises:

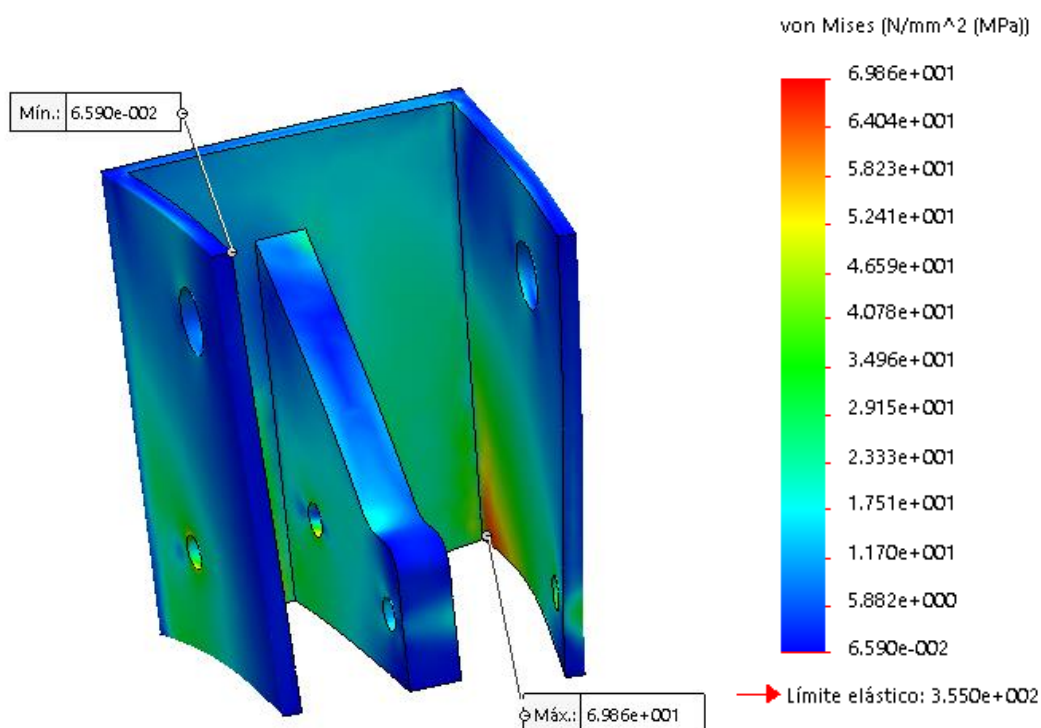


Figura (1.61). Análisis estático SolidWorks

Como vemos ahora la zona más afectada es distinta a las otras dos posiciones. Además su valor máximo tiene una tensión de **68.6 MPa**, valor que no sobrepasa nuestro límite.

- Coeficiente de seguridad:

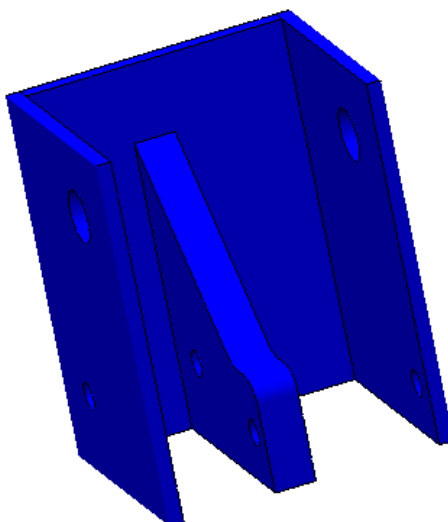


Figura (1.62). Análisis estático SolidWorks

La pieza cumple en toda su estructura con el coeficiente de seguridad en esta posición.

- Desplazamiento máximo:

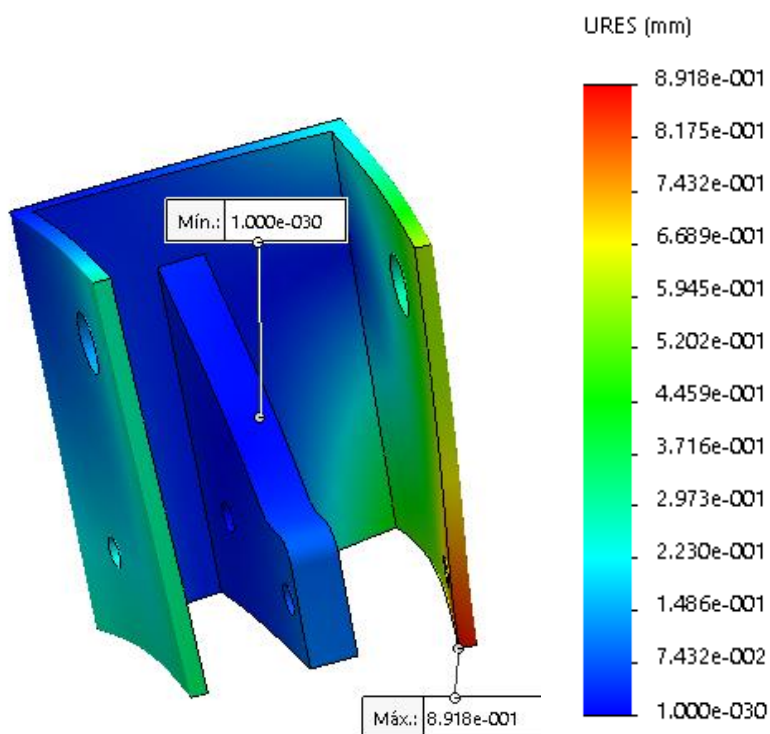


Figura (1.62). Análisis estático SolidWorks

Desplazamiento imperceptible con un valor de **0.982 mm**.

Todos los datos obtenidos de la pieza se recogen y analizan en la memoria.

2- Estudio a fatiga

2.1- Curvas S-N

Procedemos al cálculo de las curvas S-N a nivel componente de cada pieza. Ambas piezas son del mismo material (acero S355JR) y por tanto tienen el mismo límite a tracción.

La fórmula para el cálculo de la curva S-N es la siguiente:

$$\sigma = A \cdot (2N)^B$$

$$A = \frac{(S_{10^3})^2}{S_e} \quad B = \frac{\log(\frac{S_e}{S_{10^3}})}{3}$$

Debemos calcular la corrección del límite de fatiga de alto ciclo:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{te}}{k_f}$$

$$S_{10^3} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{t10^3}}{k_f}$$

Donde:

S_e es límite a fatiga del componente

S_{te} es el límite a fatiga de la probeta.

S_{10^3} es la tensión da fatiga del componente a 1000 ciclos.

S_{t10^3} es la tensión de fatiga de la probeta a 1000 ciclos.

k es un factor corrector del límite a fatiga, cuyo valor es el producto de todos los factores.

Curva a nivel componente de la pletina EFDC: modelo “vida total”

$$R_m(S355JR) = 450 \text{ MPa}$$

$$S_{te} = 0.5 \cdot R_m = 225$$

$$S_{t10^3} = 0.9 \cdot R_m = 405$$

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{te}}{k_f}$$

$$S_{10^3} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{t10^3}}{k_f}$$

Coefficientes:

$$K_a \text{ (factor de superficie)} = 0.893$$

$$K_a = a R_m^b$$

Dónde: $a = 1058$ y $b = -0.085$ (valores de acabado rectificado)

$$K_b \text{ (factor de tamaño)} = 0.877$$

$$K_b = 1.189 \times d_e^{-0.097}$$

$$d_e = 0.808 \times (h \times b)^{0.5} \quad (h = 45; b = 18) \text{ (secciones rectangulares de área } hb)$$

$$K_c \text{ (factor de confiabilidad)} = 0.814 \text{ (99\%)}$$

$$K_d \text{ (factor de temperatura)} = 1 \text{ (Tª ambiente)}$$

$$K_e \text{ (factor de efectos varios)} = 1 \text{ (no se dice nada)}$$

$$K_{car} \text{ (factor de carga)} = 1 \text{ (trabaja a flexión)}$$

$$K_f \text{ (factor de concentradores de esfuerzos)} = 1.3634$$

$$K_f = 1 + q \times (K_t - 1)$$

$$q = 1 / [1 + (a)^{0.5} \times (r)^{0.5}]$$

$$(a)^{0.5} = 0.47 ; r = 22.5$$

$$K_t = 1.4$$

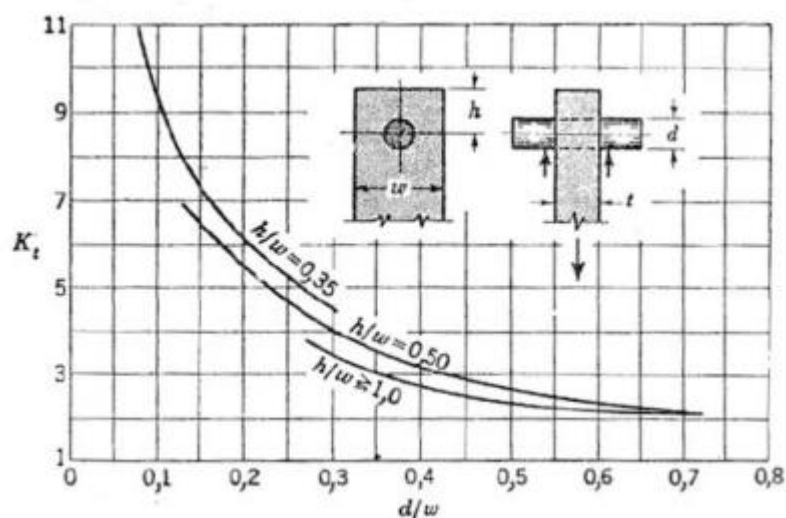


Figura (2.1.1). Estudio fatiga SolidWorks

Siendo: **h = 90; d = 45; w = 90** (valores de distancia de centro de agujero a su extremo; diámetro de agujero; anchura)

Entonces:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{re}}{k_f} = 109.880349$$

$$S_{10^3} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{10^3}}{k_f} = 252.546575$$

Por tanto la ecuación de la curva S-N:

$$\sigma = A \cdot (2N)^B = 580.447487(2N)^{-0.12047382}$$

$$A = \frac{(S_{10^3})^2}{S_e} = 580.447487$$

$$B = \frac{\log\left(\frac{S_e}{S_{10^3}}\right)}{3} = -0.12047382$$

Si damos valores de ciclos (2N), queda la siguiente tabla:

EFDC	
2N(ciclos)	Tensión (MPa)
5000	208.033798
7500	198.115982
10000	191.367272
15000	182.244017
20000	176.035976
25000	171.366652
50000	157.637697
100000	145.008629
200000	133.391334
300000	127.032027
400000	122.704752
500000	119.45003
600000	116.854918
700000	114.704818
800000	112.874321
900000	111.28397
1000000	109.880349

Tabla (2.1.1). Estudio fatiga SolidWorks

Repetimos el cálculo para la pletina HGK:

$$R_m(S355JR) = 450 \text{ MPa}$$

$$S'_e = 0.5 \cdot R_m = 225$$

$$S'_{10^3} = 0.9 \cdot R_m = 405$$

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S'_e}{k_f}$$

$$S_{10^3} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S'_{10^3}}{k_f}$$

Coeficientes:

$$K_a \text{ (factor de superficie)} = 0.893$$

$$K_a = a R_m^b$$

Dónde: $a = 1058$ y $b = -0.085$ (valores de acabado rectificado)

$$K_b \text{ (factor de tamaño)} = 0.877$$

$$K_b = 1.189 \times d_e^{-0.097}$$

$d_e = 0.808 \times (h \times b)^{0.5}$ ($h = 57$; $b = 25$) (secciones rectangulares de área hb)

$$K_c \text{ (factor de confiabilidad)} = 0.814 \text{ (99\%)}$$

$$K_d \text{ (factor de temperatura)} = 1 \text{ (T}^\circ\text{ ambiente)}$$

$$K_e \text{ (factor de efectos varios)} = 1 \text{ (no se dice nada)}$$

$$K_{car} \text{ (factor de carga)} = 1 \text{ (trabaja a flexión)}$$

$$K_f \text{ (factor de concentradores de esfuerzos)} = 1.4549$$

$$K_f = 1 + q \times (K_t - 1)$$

$$q = 1 / [1 + (a)^{0.5} \times (r)^{0.5}]$$

$$(a)^{0.5} = 0.47 ; r = 22.5$$

$$K_t = 1.5$$

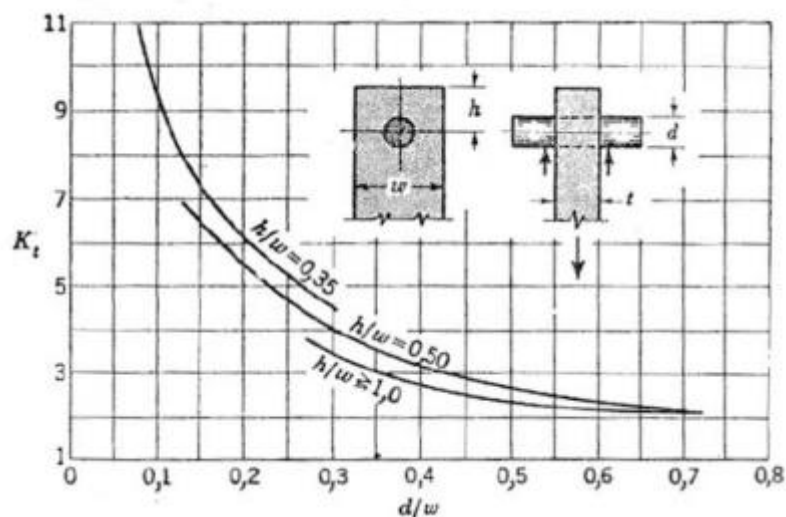


Figura (2.1.2). Estudio fatiga SolidWorks

Siendo: $h = 90$; $d = 45$; $w = 90$ (valores de distancia de centro de agujero a su extremo; diámetro de agujero; anchura)

Entonces:

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{10^3}}{k_f} = 100.210703$$

$$S_{10^3} = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_{car} \cdot \frac{S_{10^3}}{k_f} = 236.663688$$

Por tanto la ecuación de la curva S-N:

$$\sigma = A \cdot (2N)^B = 558.919355(2N)^{-0.12440584}$$

$$A = \frac{(S_{10^3})^2}{S_e} = 558.919355$$

$$B = \frac{\log\left(\frac{S_e}{S_{10^3}}\right)}{3} = -0.12440584$$

Si damos valores de ciclos (2N), queda la siguiente tabla:

HGK	
2N(ciclos)	Tension (Mpa)
5000	193.720543
7500	184.191208
10000	177.715697
15000	168.973658
20000	163.033142
25000	158.569526
50000	145.468794
100000	133.450421
200000	122.424985
300000	116.40276
400000	112.31045
500000	109.235549
600000	106.785771
700000	104.757425
800000	103.031561
900000	101.532857
1000000	100.210703

Tabla (2.1.2). Estudio fatiga SolidWorks

Nota: todos los valores de los factores correctores están sacados de tablas de factores que afectan a la vida fatiga de alto ciclo.

Una vez halladas las curvas S-N de cada pieza, debemos meter sus datos en SolidWorks, aplicando dichas curvas al material de los sólidos.

La pieza EFDC tiene dos posiciones de estudio, por tanto debemos hacer dos estudios a fatiga, uno por cada análisis estático. De igual forma para HGK que tiene tres posiciones de estudio.

Realizamos los estudios a fatiga de ambas piezas en SW:

EFDC:

Suceso 1: primera posición

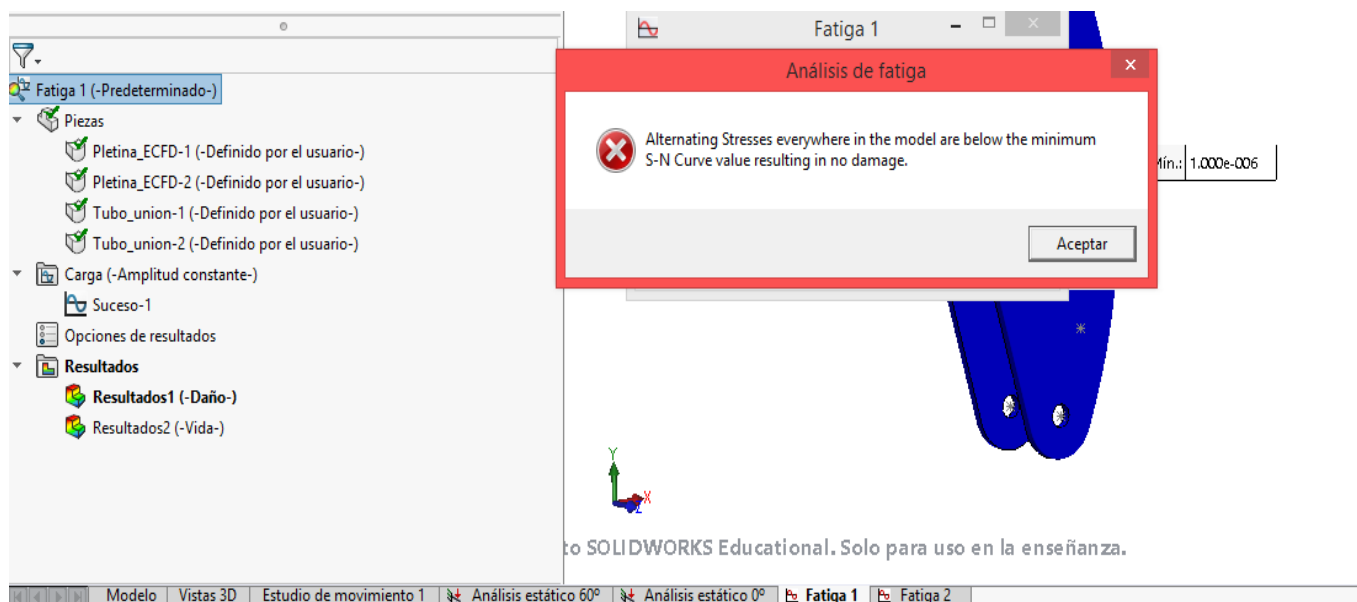


Figura (2.1.3). Estudio fatiga SolidWorks

Suceso 2: segunda posición

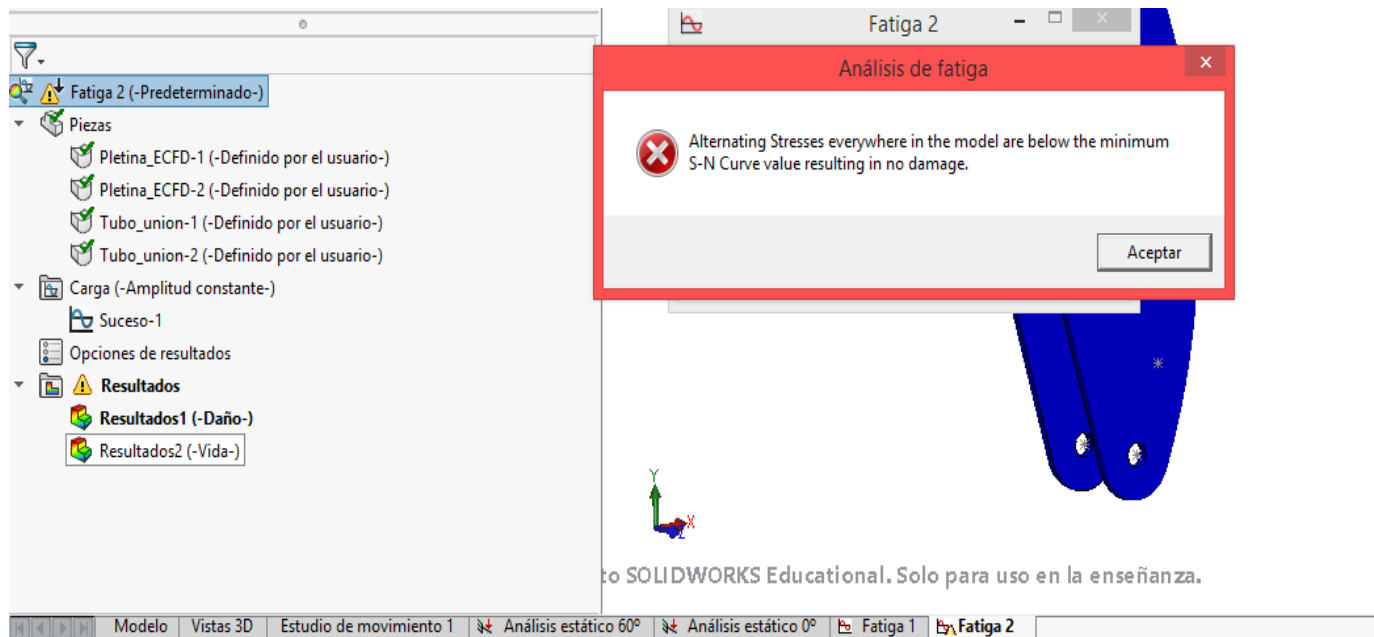


Figura (2.1.4). Estudio fatiga SolidWorks

El programa nos dice que el estrés de la pieza está por debajo del mínimo de la curva S-N. Es decir que no sufre daños.

HGK:

Suceso 1: primera posición

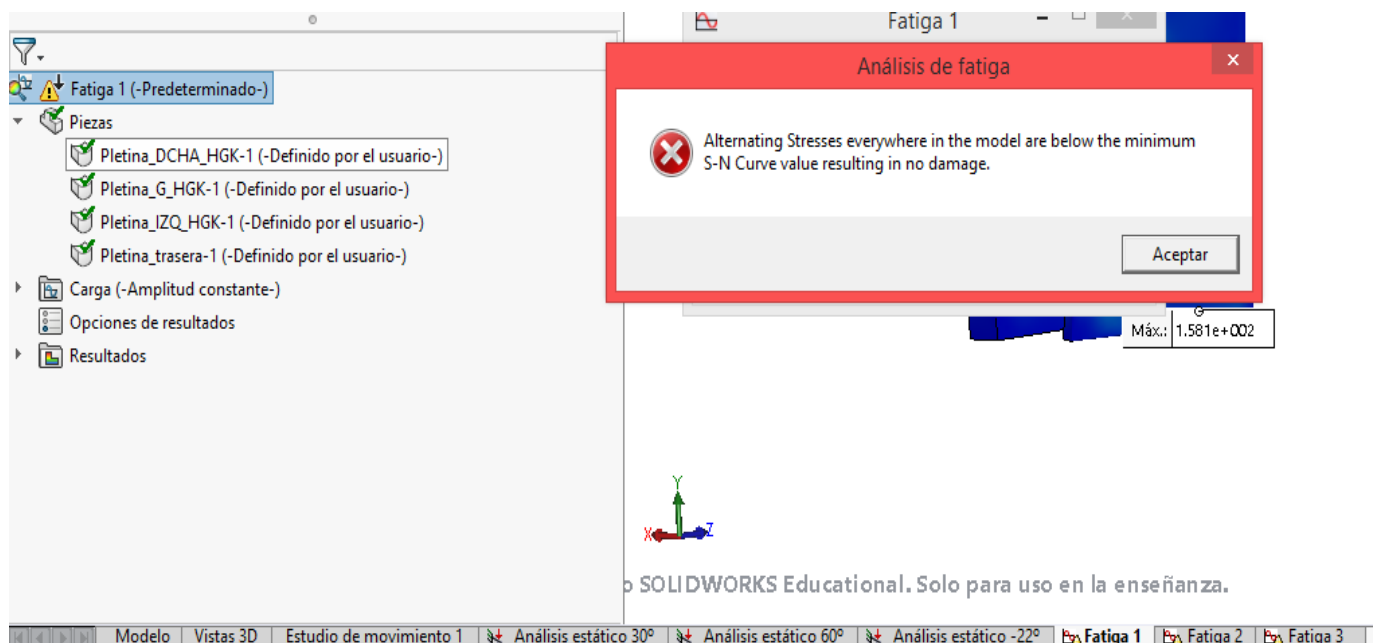


Figura (2.1.5). Estudio fatiga SolidWorks

Suceso 2: segunda posición

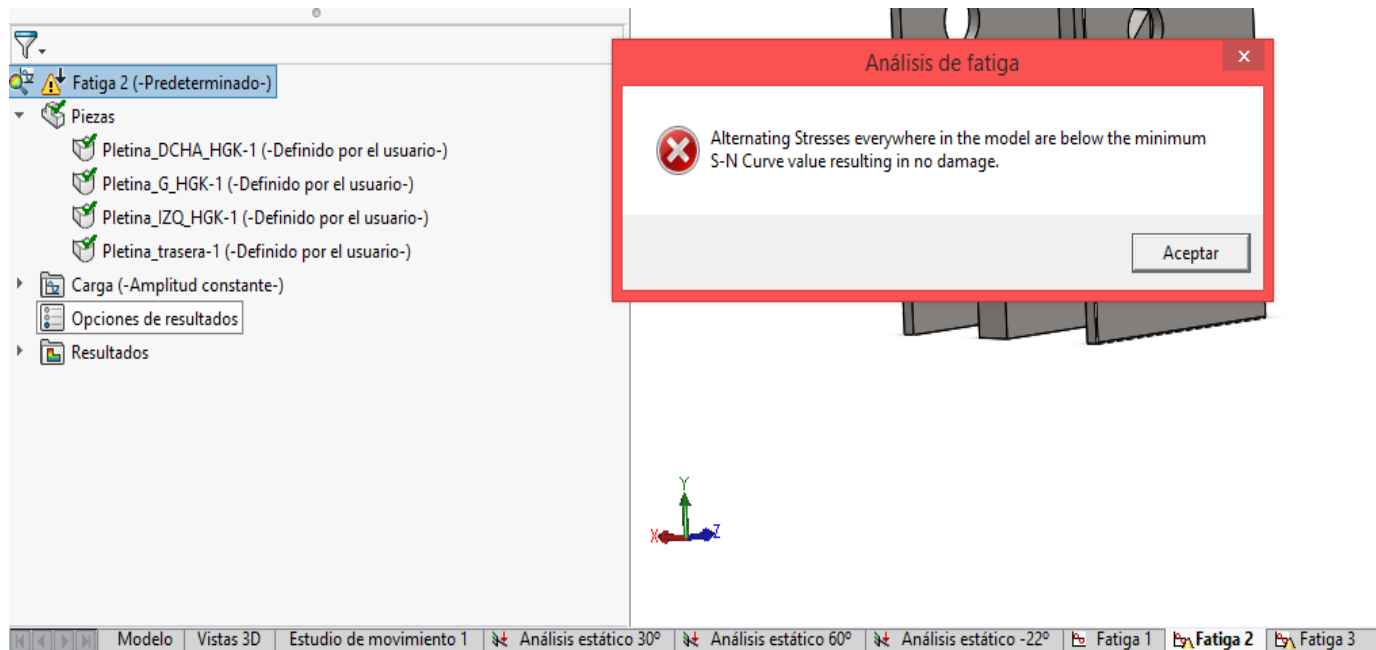


Figura (2.1.6). Estudio fatiga SolidWorks

Suceso 3: tercera posición

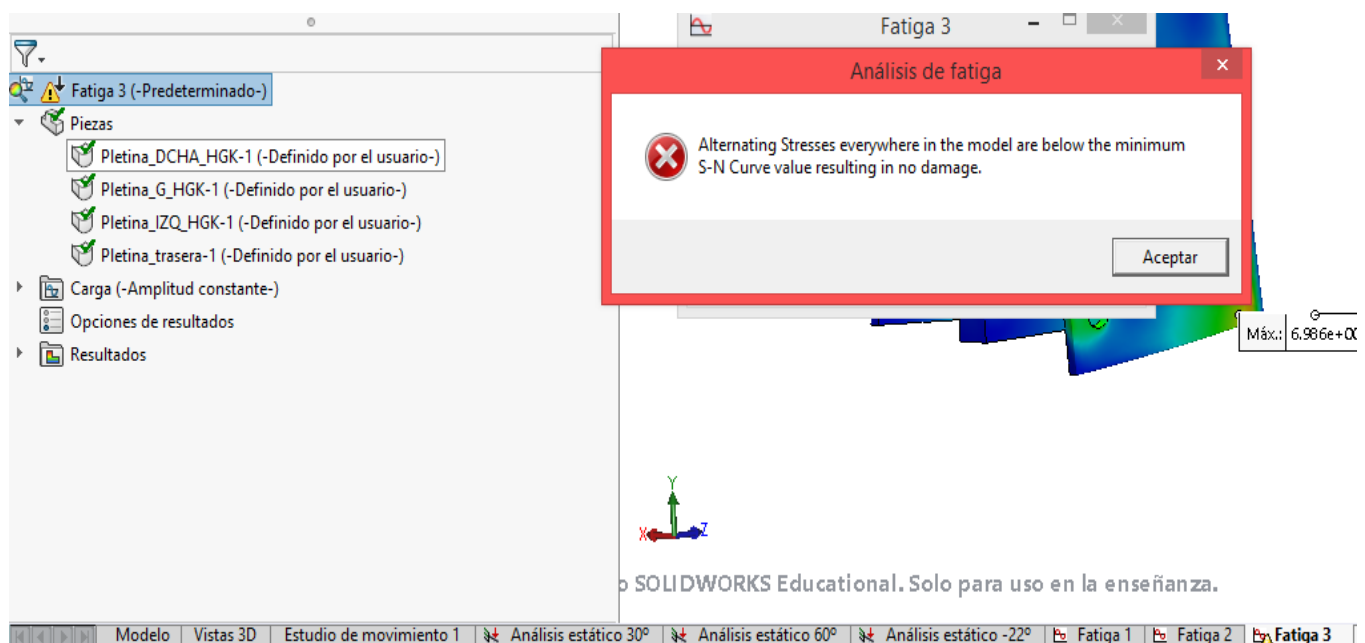


Figura (2.1.7). Estudio fatiga SolidWorks

Como en la pieza EFDC, el programa que la pieza no está lo suficientemente estresada como para que el programa muestre daños, que se encuentra por debajo de la curva S-N.