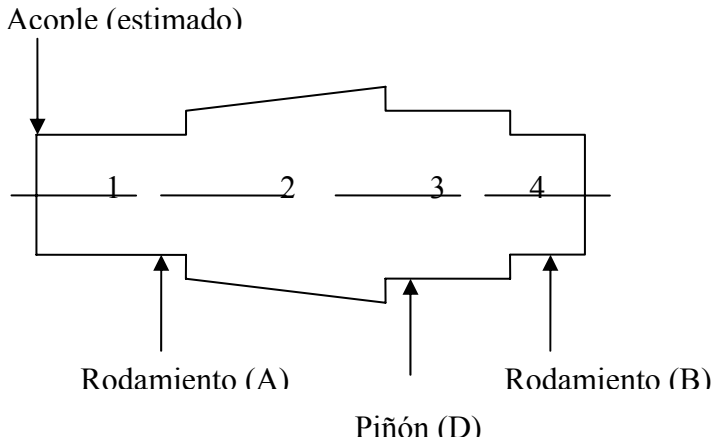


CÁLCULO DE EJE QUE SOPORTA PIÑÓN

Procedemos a continuación a realizar el cálculo resistivo (estática, fatiga, torsión, deflexión) del eje que sostiene al piñón, acompañado del cálculo de la cuña que une al eje con el piñón y los rodamientos que sostienen al eje. El procedimiento de cálculo se realizó en hoja de cálculo de forma iterativa, procurando que el valor de diámetro y escalonamiento seleccionado sea conveniente para el rodamiento seleccionado, y la cuña estudiada. Se obvia la iteración y se coloca el resultado final. Para el cálculo del eje se considero la masa del mismo.

Se proyecta un eje de la siguiente forma:



Para el diámetro mas pequeño del eje, que serán los que van a estar introducidos en los rodamientos, se proyecta un diámetro de:

d	0,13	m
---	------	---

Y Se estima una altura de escalonamiento que están en función de la geometría del rodamiento a seleccionar, próximamente se hará mención de él, el valor del escalonamiento es:

escalon	0,009	m
---------	-------	---

Quiere decir que el diámetro donde va a estar el piñón, tendrá un diámetro de:

d eje piñón	0,139	m
-------------	-------	---

Teniendo estos valores podemos determinar los pesos de los distintos sectores del eje:

densidad	7850	kg/m ³
----------	------	-------------------

Peso de un cilindro:

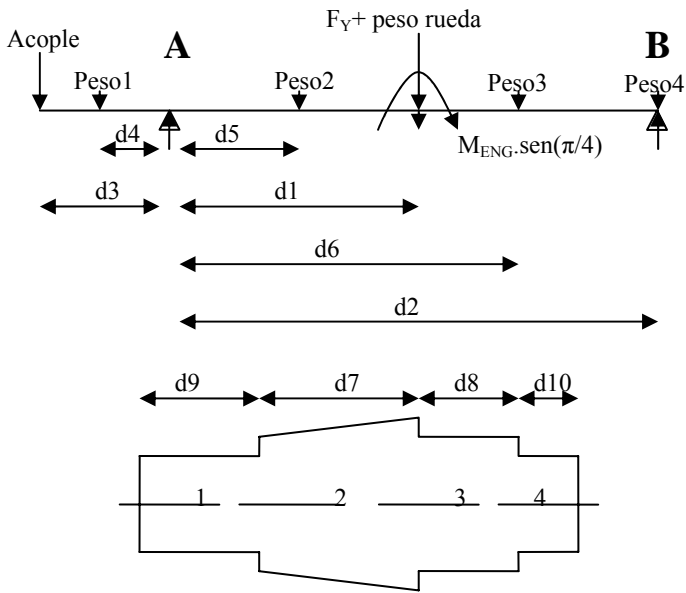
$$Peso_{cil} = \frac{\pi}{4} D^2 L \rho g$$

peso 1	159,2931	N
peso 2	-30,3521	N
peso 3	203,1255	N
peso 4	60,7042	N

Además, se estima un valor del peso del acople, que en próximo informe tendrá que verificarse, se estima en esta entrega solo de forma ilustrativa:

Peso acople	84,9333	N
-------------	---------	---

Para facilitar la introducción de ecuaciones, se referirán todas las distancias de estudio, para la sumatoria de fuerzas, momentos, deflexión, etc., a la sección donde se encuentra el rodamiento, a continuación se ilustra mejor:



Los valores que se estiman para las distancias son las siguientes:

distancia1	0,1	m	distancia4	0,052	m	distancia7	-0,026	m
distancia2	0,2	m	distancia5	0,013	m	distancia8	0,174	m
distancia3	0,13	m	distancia6	0,161	m	distancia9	0,156	m

distancia10	0,052	m
-------------	-------	---

El eje resultaría de una longitud de:

longitud eje	0,356	m
--------------	-------	---

Determinemos los valores de fuerzas con su componente en X y Y, siendo X positivo saliendo de la pagina, Y positivo hacia arriba y Z positivo hacia la izquierda:

$$F_x = (F_{RADIAL} - F_{TANGENCIAL}) \cdot \cos(\pi / 4)$$

F _x	-1968,1083	N
----------------	------------	---

$$F_y = (-F_{RADIAL} - F_{TANGENCIAL}) \cdot \cos(\pi / 4)$$

F _y	-3735,8624	N
----------------	------------	---

Mientras que la fuerza axial es igual a la fuerza Z:

F _z	859,8358	N
----------------	----------	---

Haciendo sumatoria de momentos en el punto A respecto al plano YZ y despejando la reacción B_y, escribiremos PESO como 'p', para facilitar la escritura:

$$B_y = \frac{p_2 \cdot d_5 + p_3 \cdot d_6 - p_1 \cdot d_4 - p_{ACOPLE} \cdot d_3 - F_y \cdot d_1}{d_2} + p_4$$

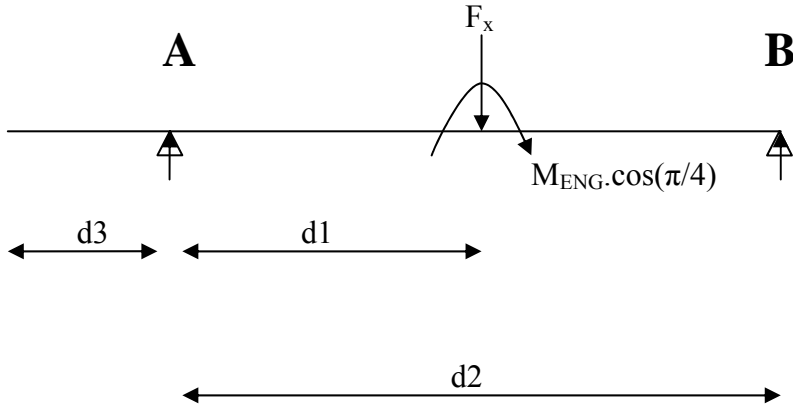
B _y	7048,5188	N
----------------	-----------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_y = p1 + p2 + p3 + p4 + p_{ACOPLE} - F_y - B_y$$

Ay	587,0212	N
----	----------	---

Procedemos análogamente con el plano XZ, aunque las fuerzas que actúan son:



Haciendo sumatoria de momentos en el punto A respecto al plano XZ y despejando la reacción Bx:

$$B_x = \frac{F_x \cdot d1}{d2}$$

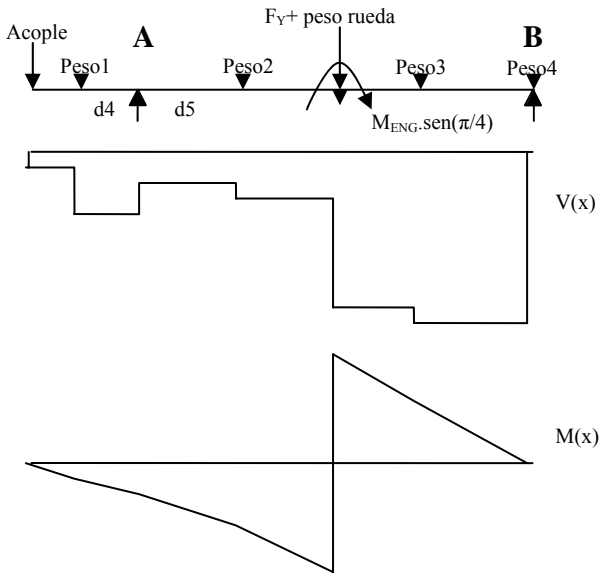
Bx	5713,1508	N
----	-----------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_x = -F_x - B_x$$

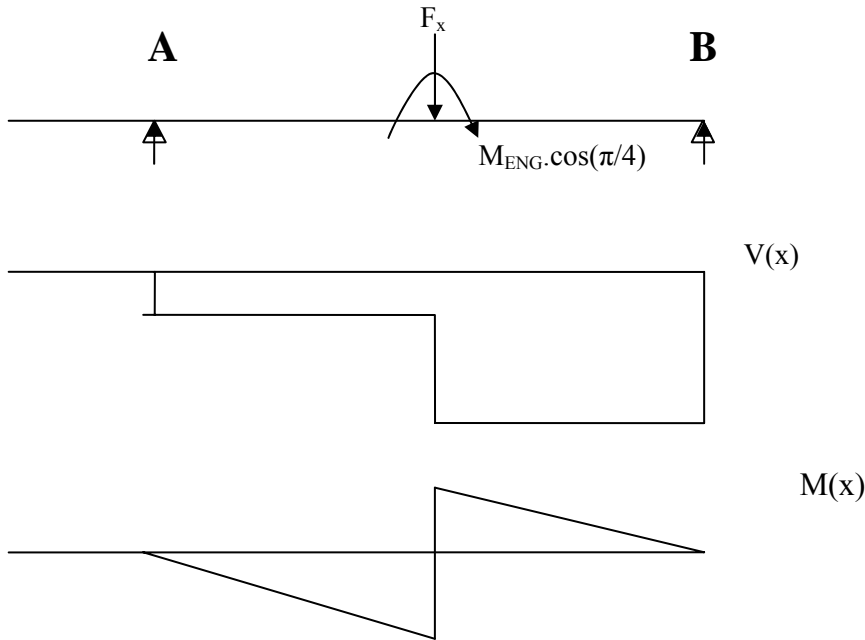
Ax	-3745,0425	N
----	------------	---

Resolvemos los diagramas de fuerzas y diagrama de momentos para el plano YZ



-84,9333	-244,2264	342,7948	373,1469	-6784,6891	-6987,8146	0	V(x)
-6,6248	-19,3246	-14,8682	17,5955	686,3908031	272,5248	0	M(x)

Resolvemos los diagramas de fuerzas y diagrama de momentos para el plano XZ



-3745,0425	-5713,1508	0	V(x)
-374,5043	571,3150814	0	M(x)

Teniendo los valores de los momentos y las fuerzas vayamos a realizar el CÁLCULO estático para comprobar que el diámetro seleccionado es conveniente:

Utilizaremos TEORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO, sin embargo, a diferencia de los cálculos anteriores, la expresión se escribió en función del diámetro del eje, y como siempre, calcularemos el factor de seguridad:

$$\frac{1}{n_s} = \frac{4}{\pi D^2 S_y} \sqrt{\left(\frac{8M}{D} + F_{AXIAL}\right)^2 + \left(\frac{8T}{d}\right)^2}$$

El valor del momento torsor, que se CÁLCULO en la sección del CREMALLERA, es:

T	1216,4547	N
---	-----------	---

El valor de M que aparece en la ecuación es el valor absoluto entre los momentos de los dos planos:

$$M = \sqrt{M_{xz} + M_{yz}}$$

Se utilizará un acero con las siguientes características:

Material S_y	3,70E+08	Pa	DIN 1,0503
Materia S_u	6,30E+08	Pa	
E	2,11E+11	Pa	

A continuación se colocan los valores calculados:

Seccion	Myz	Mxz	M	T	d	1/ns	ns
1 ROD	-14,8682	571,3151	571,5085	1216,4547	0,13	1,69E-02	59,1142
2 ROD	272,5248	571,3151	632,9855	0	0,13	8,11E-03	123,3547
3 CENTR	17,5955	571,3151	571,5860	1216,4547	0,139	1,38E-02	72,2371
4 RUED	686,3908	571,3151	893,0472	1216,4547	0,139	1,56E-02	64,2667

El diseño satisface el criterio estático.

Vayamos a comprobar el diseño utilizando criterio de fatiga. Para ello iremos a usar una deducción de la LÍNEA DE SODERBERG, agregándole a ella el efecto de una fuerza axial (HAMROCK):

$$\frac{1}{n_s} = \frac{1}{S_Y} \sqrt{\left(\sigma_M + \frac{S_Y}{S_E} K_f \sigma_A\right)^2 + \left(\tau_M + \frac{S_Y}{S_E} K_{fs} \tau_A\right)^2}$$

$$\sigma_M = \frac{4}{\pi D^2} \cdot \left(\frac{8M}{D} + P\right) \quad \sigma_A = 1,2\sigma_M \quad \tau_M = \frac{16T}{\pi D^3} \quad \tau_A = \frac{16T}{\pi D^3}$$

Por presencia de fuerza axial, el valor del esfuerzo de fatiga:

$$S_E' = 0,45 S_U$$

El concentrador de esfuerzo para cuando hay presencia de chavetero, en el caso del acople y de la rueda dentada, lo estimamos utilizando el mismo procedimiento utilizado para el molino, aunque este posee menos discontinuidades que el anterior, se utilizará un valor de:

Kf	1,32
----	------

Kfs	1,16
-----	------

Para la sección 1, se obtuvo lo siguiente:

Seccion 1					
σ_m	2714455,6046	N	σ_a	3244390,786	N
τ_m	2819914,7579	N	τ_a	3383897,709	N
Superficie	0,9		D/d	1,1	
Tamaño	1,4942		r/d	0,027	
Diversos	0,5		Kc	1,4	
Temperatura	1		q	0,8	
			Kf	1,32	
Axial	0,45		Kcs	1,2	
Se	1,91E+08		Kfs	1,16	
d	0,13				
1/ns	6,38E-02				
ns	15,6709				

Para la sección 2:

Seccion 2					
σ_m	2999480,4667	N	σ_a	3586420,62	N
τ_m	0	N	τ_a	0	N
Superficie	0,9		D/d	1,1	
Tamaño	1,4942		r/d	0,027	

Diversos	0,5		Kc	1,4	
Temperatura	1		q	0,8	
			Kf	1,32	
Axial	0,45		Kcs	1,2	
Se	1,91E+08		Kfs	1,16	
d	0,13				
1/ns	3,29E-02				
ns	30,3574				

Para la sección 3:

Seccion 3					
σ_m	2224552,6657	N	σ_a	2658130,691	N
τ_m	2306862	N	τ_a	2768234,537	N
Superficie	0,9				
Tamaño	1,4831				
Diversos	0,5				
Temperatura	1				
			Kf	1	
Axial	0,45		Kfs	1	
Se	1,89E+08				
d	0,139				
1/ns	4,61E-02				
ns	21,7105				

Para la sección 4:

Seccion 4					
σ_m	3443778,8144	N	σ_a	4121202,07	N
τ_m	2306862	N	τ_a	2768234,537	N
Superficie	0,9				
Tamaño	1,4831				
Diversos	0,5				
Temperatura	1				
			Kf	1	
Axial	0,45		Kfs	1	
Se	6,34E+10				
d	0,139				
1/ns	5,20E-02				
ns	19,2163				

Obteniéndose así valores favorables de fatiga, el diámetro asumido es conveniente:

Hagamos a continuación la verificación del ángulo de torsión del eje:

Debemos saber que:

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad J = \frac{\pi D^4}{32}$$

G	7,50E+10	Pa
---	----------	----

Para cada sección tomaremos como valor de longitudes, las distancias d7, d8, d9, d10. Es importante mencionar que la torsión no afecta la d8. La torsión se da entre la rueda y el acople.

Para la sección A:

Seccion A			
L	0,156	J	2,80E-05
G	7,50E+10	Pa	
θ	9,02E-05		

Para la sección C:

Seccion C			
L	-0,026	J	3,66E-05
G	7,50E+10		
θ	-1,15E-05		

Para la sección D:

Seccion D			
L	0,174	J	3,66E-05
G	7,50E+10		
θ	7,70E-05		

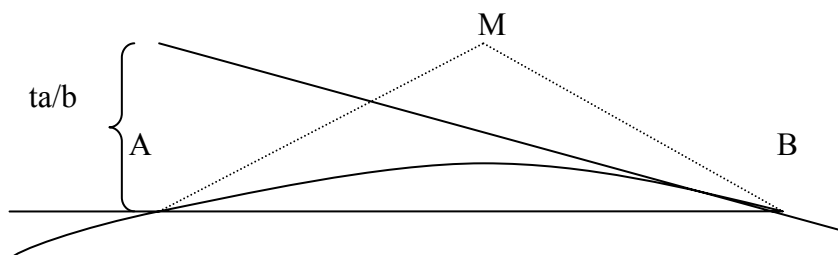
Resultando en total un ángulo de torsión:

θ total	1,56E-04	rad
----------------	----------	-----

Para el cálculo de deflexión, por simplicidad y por exceso se considerara el diámetro menor para el eje y el valor máximo absoluto de momentos:

d	0,13	m
---	------	---

M	571,5860	N.m
---	----------	-----



El diagrama M/EI es de la siguiente forma:

Determinemos el desplazamiento vertical de la viga, mediante el método de área-momento.

$$t_{B/A} = \int_A^B \frac{M}{EI} dx$$

$$\theta = \frac{t_{B/A}}{d2}$$

Procedamos a calcular:

$$t_{B/A} = \left(\frac{2}{3} d1\right) \cdot \frac{1}{2} \frac{M}{EI} \cdot d1 + \left(d1 + \frac{1}{3}(d2 - d1)\right) \cdot \frac{1}{2} \frac{M}{EI} \cdot (d2 - d1)$$

Resultando:

M/EI	1,93E-04	m ⁽⁻¹⁾
------	----------	-------------------

ta/b	1,93E-06	m
------	----------	---

θ	9,66E-06	rad
----------	----------	-----

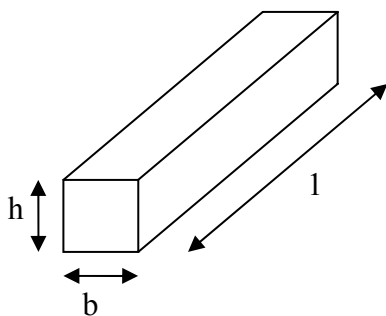
Al ser pequeño, es seguro para los rodamientos, que va a sostener el eje.

La rueda dentada va a estar vinculado al eje mediante una cuña. Por ello nos regiremos por la norma DIN 6886 de cuñas.

Diámetro (mm)		Espesor (mm)	Altura (mm)	Longitudes (mm)	
Desde	Hasta	b	h	Desde	hasta
130	150	36	20	100	400

Tomamos el valor de espesor y altura que se recomienda. Para la longitud tomaremos la mínima.

La forma de la cuña es de la siguiente forma:



Comprobaremos la cuña a esfuerzo cortante y a esfuerzo normal:

b	0,036	m
h	0,02	m
l	0,1	m

$$F = \frac{T}{d/2}$$

$$A_{CORTANTE} = bl$$

$$A_{NORMAL} = \frac{lh}{2}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{NORMAL}}$$

$$\tau = \frac{F}{A_{CORTANTE}}$$

Realizando los cálculos, se obtiene lo siguiente:

F	17502,9448	N
---	------------	---

τ	4,86E+06	Pa
--------	----------	----

σ	1,75E+07	Pa
----------	----------	----

Verificando factores de seguridad:

$$n_s = \frac{0,4S_y}{\tau} \qquad n_s = \frac{0,9S_y}{\sigma}$$

Se obtienen como resultado:

Para el esfuerzo cortante:

ns	14,3976
----	---------

Para el esfuerzo normal:

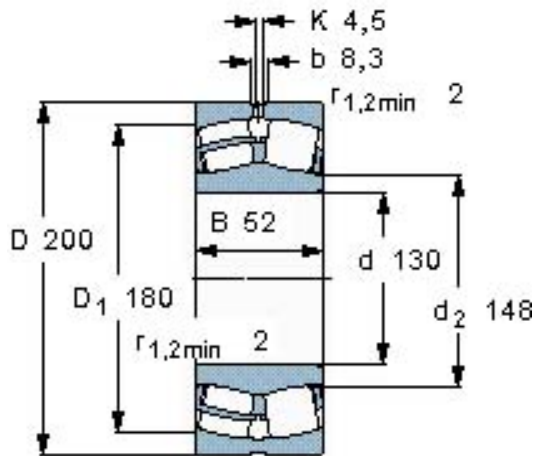
ns	8,9985
----	--------

Revisando el catálogo interactivo del fabricante de rodamientos SKF, se seleccionó el siguiente rodamiento:

23026 CC/W33

El cual posee las siguientes características:

d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C _D (kN)	P _U (kN)	r/min	r/min (max)	masa (kg)
130	200	52	430	610	62	2800	3600	6



Considerando que cada rodamiento va a estar sometido a una carga radial de:

Fr rodam B	9,0731	kN
------------	--------	----

Además a una carga axial:

Fa piñon	859,8358	N
----------	----------	---

Utilizando este valor para el cálculo de parámetros de vida, obtenemos:

Cargas de rodamiento equivalentes y tiempo básico de vida			
C (kN)	430		
Cd (kN)	610		
Fr (kN)	1,8587		
Fa (kN)	0,7799		
e	0,23	L10 (Mrev)	3,51E+06
X	0,67	Xo	1
Y	4,4	Yo	2,8
P (kN)	4,68	Po (kN)	4,04

Considerando una temperatura de trabajo de 70°C, se obtiene de la calculadora de SKF que la viscosidad recomendada de trabajo a una velocidad de:

ω	107,6909	rev/min.
----------	----------	----------

Viscosidad requerida a temperatura de operación v_1 (mm^2/s)	62
Viscosidad requerida a temperatura de referencia para lubricante con VI=95 para obtener $\kappa=1$ a temperatura de operación (mm^2/s)	273

Seleccionando una grasa LGEP 2, con una viscosidad de $195\text{mm}^2/\text{s}$, obtengo los siguientes valores:

viscosidad operativa (mm^2/s)	103
κ (v/v1)	1,18

Considerando el factor de contaminación η_c en el caso más crítico. Debido a que la entrada y salida de material se encuentran descubiertas y es probable que haya flujo de polvo en el rodamiento. Por ello:

η_c	0
----------	---

Obteniéndose como resultado lo siguiente:

L10	3,50E+06	L10h	5,40E+08
askf	0,761		
L10m	3,50E+05	L10mh	5,40E+07
Método a23 para comparacion			
a23	6,19E-01		
L10a	2,17E+06	L10ah	3,30E+08

Se observa que nuestros rodamientos tendrán una fina “infinita” con un valor de $2 \cdot 10^7$ horas.

Para revisar las copias de CÁLCULO en el catálogo interactivo, revisar los anexos.

SELECCIÓN DE RODAMIENTO Y CÁLCULO DE VIDA

El eje sostén del molino posee un diámetro exterior de 0,71m.

Revisando el catálogo interactivo del fabricante de rodamientos SKF, se seleccionó el siguiente rodamiento:

249/710 CAK30/W33

El cual posee las siguientes características:

d (mm)	D (mm)	B (mm)	C (kN)	C_D (kN)	P_U (kN)	r/min	r/min (max)	masa (kg)
710	950	243	6800	15600	930	300	500	475

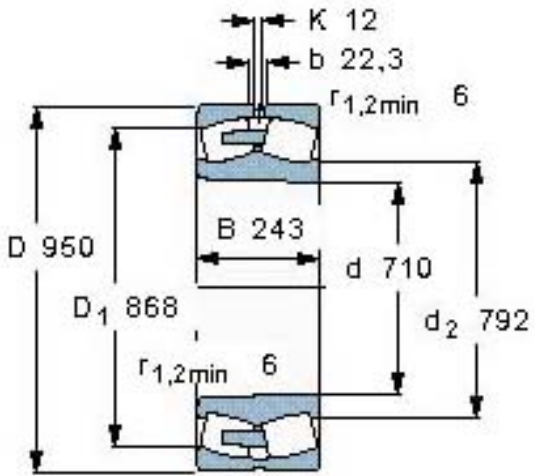
Considerando que cada rodamiento va a estar sometido a una carga radial de:

Vpropio	21290,04236	N
---------	-------------	---

Además a una carga axial:

Fuerza axial	779,9774	N
--------------	----------	---

Utilizando este valor para el cálculo de parámetros de vida, obtenemos:



Cargas de rodamiento equivalentes y tiempo básico de vida			
C (kN)	6800		
Cd (kN)	15600		
Fr (kN)	21,29		
Fa (kN)	0,78		
e	0,22	L10 (Mrev)	1,50E+08
X	1	X _o	1
Y	3	Y _o	2,8
P (kN)	23,6	P _o (kN)	23,5

Considerando una temperatura de trabajo de 70°C, se obtiene de la calculadora de SKF que la viscosidad recomendada de trabajo a una velocidad de:

Cs(90%)	2,8193	rad/s
---------	--------	-------

Igual a:

26,9227371	rev/min.
------------	----------

Es de:

Viscosidad requerida a temperatura de operación v1 (mm ² /s)	87	Seleccionando una grasa LGEM 2, con una viscosidad de 510mm ² /s, obtengo los siguientes valores:
Viscosidad requerida a temperatura de referencia para lubricante con VI=95 para obtener κ=1 a temperatura de operación (mm ² /s)	415	

viscosidad operativa (mm ² /s)	103
κ (v/v1)	1,18

Considerando el factor de contaminación η_c en el caso más crítico. Debido a que la entrada y salida de material se encuentran descubiertas y es probable que haya flujo de polvo en el rodamiento. Por ello:

η _c	0
----------------	---

Obteniéndose como resultado lo siguiente:

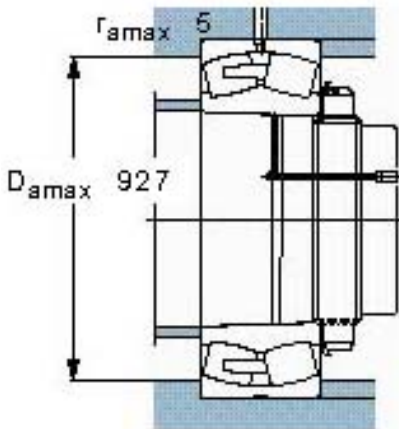
L10	1,50E+08	L10h	9,70E+10
askf	0,1		
L10m	1,50E+07	L10mh	9,70E+09
Método a23 para comparación			
a23	1,12E+00		
L10a	1,70E+08	L10ah	1,00E+11

Se observa que nuestros rodamientos tendrán una fina “infinita” con un valor de $9,7 \cdot 10^9$ horas.

Para revisar las copias de CÁLCULO en el catálogo interactivo, revisar los anexos.

PROPOSICIÓN DE SOPORTE DE RODAMIENTO O CHUMACERA

Debido al gran tamaño del rodamiento, y a la no existencia de soportes estandarizados, se propone un soporte el cual pueda albergar al rodamiento y garantizar el paso de lubricante por el rodamiento.

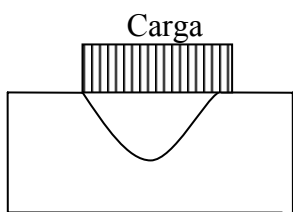


Por ello se toman los valores mostrados en la figura para dimensionar internamente el soporte de rodamiento y chumacera.

El soporte al estar dividido en dos partes facilita su ensamble al instalar la zona inferior del soporte de rodamiento a la estructura mediante tornillos, para luego colocar sobre ella la zona superior del soporte mediante tornillos.

En los anexos se muestra la forma propuesta de la chumacera. Dividida en dos partes como se menciono anteriormente.

La chumacera, especialmente la parte inferior tendrá que soportar la mitad del peso de todo el conjunto (la otra mitad la recibe la otra chumacera), y por ello tendrá que considerarse el esfuerzo de aplastamiento que se produce en el área proyectada de la misma:



Chumacera

Se selecciona para la elaboración de la chumacera, el siguiente material:
HIERRO MOLDEADO ASTM A27-58

Su	4,83E+08	Pa
Sy	2,48E+08	Pa

Determinando el esfuerzo de aplastamiento sobre el área proyectada:

$$A_{\text{areaprojectada}} = D_{\text{RODAM}} \cdot \text{Espesor}_{\text{RODAM}}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{\text{areaprojectada}}}$$

El valor de la fuerza a considerar sería, el peso del rodamiento, junto con la mitad del peso de todo el molino:

Fuerza normal	31685,563	N
---------------	-----------	---

El valor del área proyectada es:

Areaproy	0,23085	m ²
----------	---------	----------------

El valor del esfuerzo resultante en el área proyectada:

σ	137256,067	Pa
----------	------------	----

Obteniendo el factor de seguridad:

$$n_s = \frac{0,9S_y}{\sigma}$$

ns	1,63E+03
----	----------

La chumacera no sufrirá problemas de aplastamiento.

Para los tornillos que van a mantener unido el soporte, se propone utilizar tornillos MC con las siguientes características:

d cresta (mm)	paso p (mm)	área esfuerzo tensión (mm ²)
16	2	157
d cresta (m)	paso p (m)	área esfuerzo tensión (m ²)
0,016	0,002	0,000157

Con un material de tornillos:

ACERO PARA TORNILLOS		DIN 1,0044
Sy	205000000	Pa
Su	540000000	Pa

Siguiendo las recomendaciones de la GUIA DE ESTRUCTURAS METALICAS (CARLOS HERRERA) determinamos un distanciamiento al borde y distanciamiento entre los tornillos.

La distancia al borde esta entre 2 a 3 veces el diámetro de cresta:

dist mínima borde	0,032	m
dist máxima borde	0,048	m

Se seleccionó una distancia de 0,04m

Igualmente, para la distancia entre tornillos se recomienda un valor entre 1,5 a 8 veces el valor de diámetro de cresta:

dist mínima torn	0,024	m
dist máxima torn	0,128	m

Se seleccionó una distancia de 0,107m para un número de tornillos de:

numero	4
--------	---

Los tornillos estarían sometidos a una fuerza normal obtenida previamente:

Fuerza normal anterior	21290,0424	N
------------------------	------------	---

Sumado al peso de la zona superior de la chumacera, que según SOLID EDGE tiene un peso de:

PESO ALTA	4190,1076	N
-----------	-----------	---

Obteniendo así un valor de fuerza normal de:

Fuerza normal	25480,1076	N
---------------	------------	---

$$\sigma = \frac{\text{Fuerza_normal}}{\text{Area_esfuerzo.numero}}$$

σ	40573419,7	Pa
----------	------------	----

Comprobando el esfuerzo normal:

$$n_s = \frac{0,9 \cdot S_y}{\sigma}$$

ns	4,5473
----	--------

Calculemos el esfuerzo cortante:

Con una fuerza de corte de:

Fuerza corte	2141,9397	N
--------------	-----------	---

$$\tau = \frac{\text{Fuerza_cortante}}{\text{Area_esfuerzo.numero}}$$

Siendo el área de esfuerzo:

0,000157

Y el número es: 4

τ	3410732,09	Pa
--------	------------	----

Comprobando el esfuerzo cortante:

$$n_s = \frac{0,4 \cdot S_y}{\tau}$$

ns	24,0418
----	---------

Calculando el estado de esfuerzo biaxial y comprobando a ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO.

PARA UN ESFUERZO BIAxIAL		
σ_1	40858138,9	Pa
σ_3	-284719,12	Pa

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

ns	4,9826
----	--------

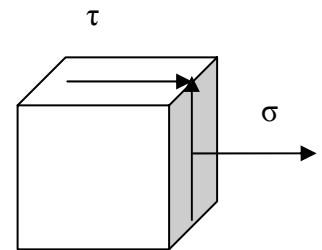
Satisface.

Teniendo asegurada la chumacera, es necesario garantizar que los tornillos que la sujetan a la estructura van a soportar los esfuerzos, tanto los que soportaron los tornillos previos, como también el peso del propio rodamiento y de la chumacera.

Utilizando el mismo tipo de tornillo anterior, pero aumentando el número de tornillos a:

numero	6
--------	---

De la distancia al borde tomaremos la distancia máxima de 0,048m



De la distancia entre tornillos utilizaremos 0,102m

Comprobando el esfuerzo normal:

Además de la fuerza normal calculada anteriormente, hay que sumarle la masa de la parte inferior de la chumacera, que afecta los tornillos:

PESO BAJA	5657,9418	N
-----------	-----------	---

Obteniendo un valor nuevo de fuerza normal de:

Fuerza normal	31138,0494	N
---------------	------------	---

Determinemos el valor de esfuerzo normal para el numero de tornillos de esta configuración:

σ	33055254,1	Pa
----------	------------	----

Verificando el esfuerzo normal:

ns	5,5816
----	--------

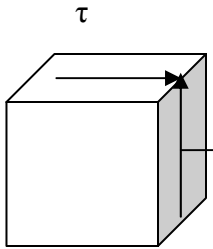
Para el esfuerzo cortante, utilizamos el valor de fuerza cortante anterior, pero con la nueva área resistente:

τ	2273821,39	Pa
--------	------------	----

Haciendo la verificación:

ns	36,0626
----	---------

Buscando los valores de esfuerzos principales y verificando por ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO:



PARA UN ESFUERZO BIAXIAL		
σ_1	33210933,7	Pa
σ_3	-155679,565	Pa

ns	6,1439
----	--------

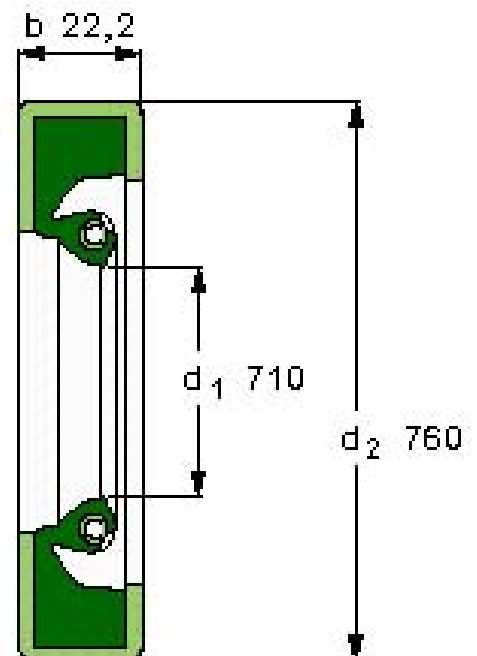
Teniendo ya propuesta la chumacera a utilizar es necesario seleccionar un sello que evite la salida de lubricante de la chumacera, como también la entrada de agentes externos que afecten el rodamiento o el eje.

Se propone utilizar un sello para eje radial CR de la empresa fabricante SKF, que posee las siguientes características:

Designación:

CR 710x760x22.2 HDS2 D

d1 (mm)	d2 (mm)	b (mm)
710	760	22,2

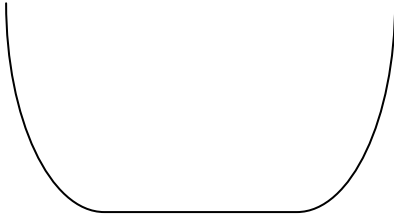


CÁLCULO DE TOLVA DE ENTRADA

Para el cálculo de tolva es necesario tomar en cuenta la dimensión del diámetro interno de entrada del material al molino. Igualmente es necesario considerar el ángulo de reposo del material, que para el baño

electrolítico es de 43° aproximadamente. Igualmente es necesario considerar el tamaño del material para que este pueda pasar por la tolva sin restricciones.

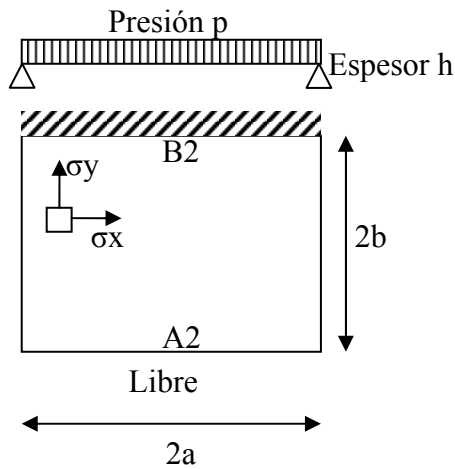
Para la tolva consideraremos un ángulo de inclinación de 45°. Una sección transversal de la siguiente forma:



Se considera usar acero DIN 1.1121 con las siguientes propiedades mecánicas:

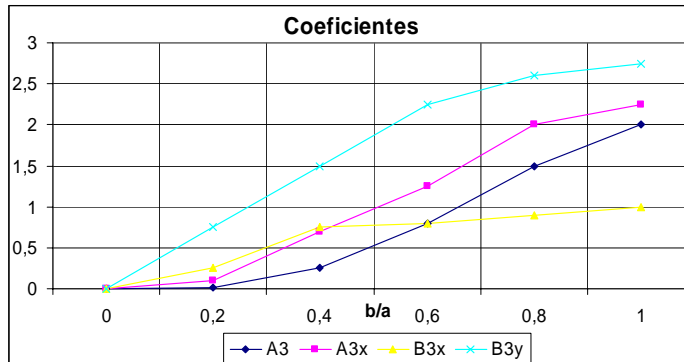
Sy	2,95E+08	Pa
Su	4,90E+08	Pa

Para el cálculo resistivo de la tolva, haremos el estudio considerando la tolva como una placa plana rectangular, empotrada en un lado, apoyada en dos lados y libre en un lado. Para ello el Manual del Ingeniero HÜTTE nos sirve de referencia:



La presión p que actúa en la tolva la consideraremos la fuerza de la masa permanente dividida entre el área donde actúa. El área sería el perímetro de la sección (2a) multiplicada por la longitud de la tolva (2b):

2a	0,7	m
2b	0,9093	m
b/a	1,2991	



Observando la grafica tenemos:

A3	2
A3x	2,25
B3x	0,9
B3y	2,75

$$P = \frac{\text{masa}_{\text{permanente}} \cdot g + \text{peso}_{\text{tolva}}}{2a \cdot 2b}$$

Peso tolva	1639,1382	N
------------	-----------	---

Obtenida en Solid Edge:

P	32933,7291	Pa
---	------------	----

Y le asignaremos un valor al espesor de la tolva:

espesor tolva h	0,015	m
-----------------	-------	---

Para el punto A3:

$$\sigma_x = A_{3x} p \frac{b^2}{h^2}$$

σ_x	68082086,7	Pa
------------	------------	----

Los esfuerzos principales para el punto A3:

σ_1	68082086,7	Pa
σ_2	0	Pa
σ_3	0	Pa

Para el punto B3:

$$\sigma_x = B_{3x} p \frac{b^2}{h^2}$$

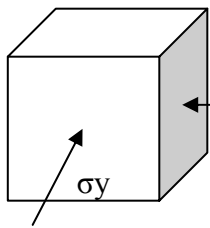
σ_x	27232834,7	Pa
------------	------------	----

$$\sigma_x = B_{3y} p \frac{b^2}{h^2}$$

σ_y	83211439,3	Pa
------------	------------	----

Los esfuerzos principales para el punto B3:

σ_1	27232834,7	Pa
σ_2	83211439,3	Pa
σ_3	0	Pa



El CÁLCULO de la flecha:

Tomando un valor de E:

E	2,00E+11	Pa
---	----------	----

$$FLECHA = A_3 \frac{pb^4}{Eh^3}$$

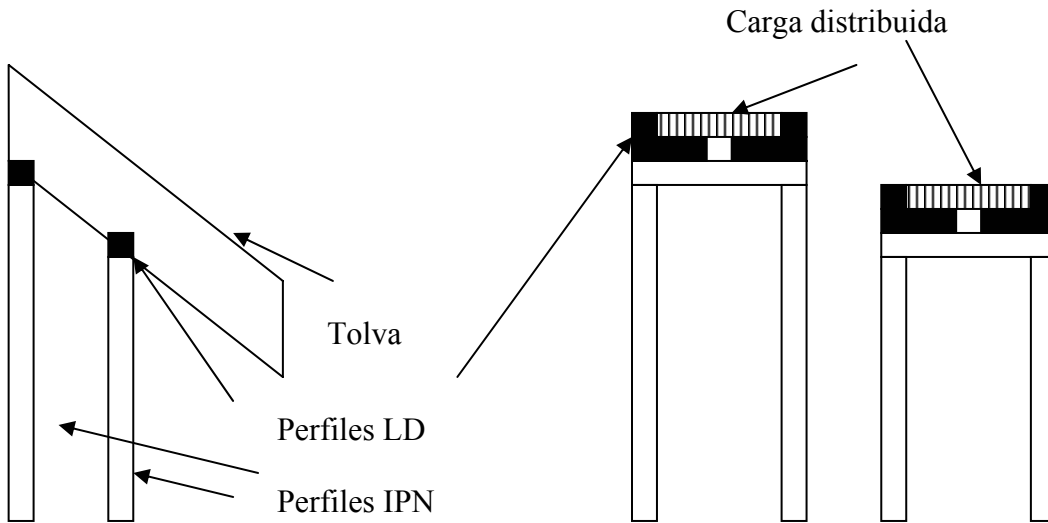
FLECHA	4,17E-03	m
--------	----------	---

Verificando la tolva mediante TEORÍA DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

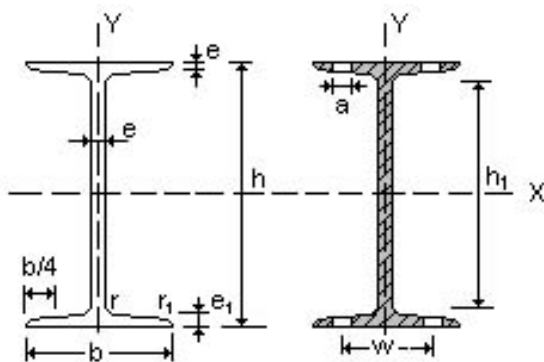
ns	16,1570
----	---------

Esta tolva va a estar tener soldados perfiles LD, los cuales Irán atornillados a las estructuras que Irán a sostener la tolva de entrada, para el pórtico (estructura) se podrá usar un perfil IPN. Para la soldadura, se soldaran una porción en la parte inferior de la tolva y el la zona lateral. Para los tornillos se podrá usar cualquier tipo de tornillo que se utilizo en cálculos anteriores. La soldadura y tornillos se calcularan a corte. Mientras que la estructura se determinaran los momentos actuantes mediante el Método de Cross y luego se verificaran esfuerzos principales en la misma. Serán dos estructuras con dos alturas diferentes:



Procedamos al cálculo de la estructura:

Se selecciona un perfil IPN 80 para el pórtico, realizando el CÁLCULO para el pórtico grande tenemos los siguientes datos:



A = Área de la sección
 I_x = Momento de inercia de la sección, respecto a X.
 $W_x = 2I_x : h$. Módulo resistente de la sección, respecto a X.
 $i_x = (I_x : A)^{1/2}$. Radio de giro de la sección, respecto a X.

La inercia del perfil es:

I_I	7,78E-07	m^4
-------	----------	-------

La longitud L_1 de la viga horizontal, debe ser mayor al tamaño de la tolva y del espacio que ocupe la viga LD, se selecciona una longitud:

L_1	0,4	m
-------	-----	---

La tolva, según SolidEdge tiene un peso de:

peso tolva	1639,1382	N
------------	-----------	---

La fuerza que actuaría sobre cada pódico sería la semisuma de la masa permanente y del peso de la tolva:

Fuerza	3269,5691	N
--------	-----------	---

El peso por unidad de longitud de la viga es:

peso/long	58,31	N/m
-----------	-------	-----

Obteniendo así una fuerza distribuida a lo largo de la viga, cuyo valor es:

Fuerza dist	8232,2328	N/m
-------------	-----------	-----

El valor de momento máximo para una viga doblemente empotrada es:

$$M_{MAX} = \frac{Fuerza_dist.Ll^2}{12}$$

Mmax	109,763103	N.m
------	------------	-----

Procedamos a calcular la rigidez y coeficientes de reparto de las vigas:

Rigidez:

$$k = \frac{I}{L}$$

k1	1,95E-06	m ³
----	----------	----------------

k2	4,78E-07	m ³
----	----------	----------------

Coefficiente de reparto:

$$r_i = \frac{k_i}{\sum k_n}$$

r1	8,03E-01
----	----------

r2	1,97E-01
----	----------

Procedamos a realizar el cálculo de Cross, se puede aplicar simetría en esta situación. Se realizo en una hoja de cálculo y se colocaran los resultados parciales, a continuación:

15,4609096
-0,0001517
0,00037801
-0,00094194
0,00234717
-0,0058488
0,01457436
-0,03631717
0,09049708
-0,22550547
0,56192663
-1,40023894
3,48919056
-8,69455231
21,6655521
1,97E-01
8,03E-01
-109,7631

	88,0976
	44,0488
	-35,3542
	-17,6771
	14,1879
	7,0940
	-5,6937
	-2,8469
	2,2849
	1,1425
	-0,9170
	-0,4585
	0,3680
	0,1840
	-0,1477
	-0,0738
	0,0593
	0,0296
	-0,0238
10,8327761	-0,0119
-4,34727615	0,0095
1,74459528	0,0048
-0,70011947	-0,0038
0,28096332	-0,0019
-0,11275273	0,0015
0,04524854	0,0008
-0,01815859	-0,0006
7,72527624	-15,5483

Se obtiene un valor de momento máximo para la viga horizontal de:

Mmax1	15,4609	N.m
-------	---------	-----

Calculando esfuerzo normal:

$$\sigma = \frac{M_{MAX1}}{W_x}$$

σ	792867,158	Pa
----------	------------	----

Calculando esfuerzo cortante, usando datos de la viga:

e1	3,90E-03	m
e	5,90E-03	m
h	8,00E-02	m
b	4,20E-02	m

$$Q = \bar{y}' A'$$

$$Q = e \left(\frac{h}{2} - e_1 \right) \frac{\left(\frac{h}{2} - e_1 \right)}{2} + e_1 b \left(\left(\frac{h}{2} - e_1 \right) + \frac{e_1}{2} \right)$$

Q	1,01E-05	m ³
---	----------	----------------

Siendo la fuerza máxima que actúa en la viga:

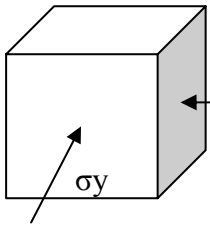
$$F_{MAX} = \frac{Fuerza \cdot dist.L1}{2}$$

Fmax	1646,4466	N
------	-----------	---

$$\tau = \frac{F_{MAX} Q}{I.e}$$

τ	3614513,5	Pa
--------	-----------	----

PARA UN ESFUERZO BIAXIAL		
σ_1	4032622,16	Pa
σ_3	-3239755	Pa



Utilizando acero estructural con las siguientes características:

Acero estructural	DIN 1,0035	
Sy	1,75E+08	Pa
Su	2,90E+08	Pa

Comprobando por ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO

$$n_s = \frac{S_Y}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

ns	24,0637
----	---------

Para la viga vertical la verificaremos a pandeo, según norma DIN 4140, citada por CARLOS HERRERA en ESTRUCTURAS METÁLICAS:

Para una viga empotrada y libre:

$$L_p = 2.L$$

Lp	3,253	m
----	-------	---

La longitud de pandeo:

$$\lambda = \frac{L_p}{i}$$

λ	101,6563
-----------	----------

Para el CÁLCULO del valor OMEGA:

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\omega = 0,5 + 0,65 \frac{S_Y}{\sigma_E} + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \frac{S_Y}{\sigma_E}\right)^2 - \frac{S_Y}{\sigma_E}}$$

Teniendo como datos:

E	2,00E+11	Pa
---	----------	----

Acero estructural	DIN 1,0035	
Sy	1,75E+08	Pa

Su	2,90E+08	Pa
----	----------	----

σ_e	1,91E+08	Pa
ω	1,6284	

El valor de esfuerzo normal es:

$$\sigma = \omega \left(\frac{F}{A} + \frac{M}{W_x} \right)$$

σ	4182163,59	Pa
----------	------------	----

Verificando:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma}$$

ns	41,8444
----	---------

Terminada la estructura de la viga, procedamos a calcular la soldadura que une el perfil LD con la tolva de entrada:

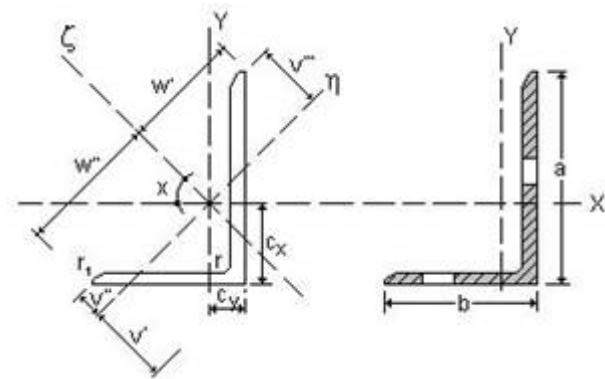
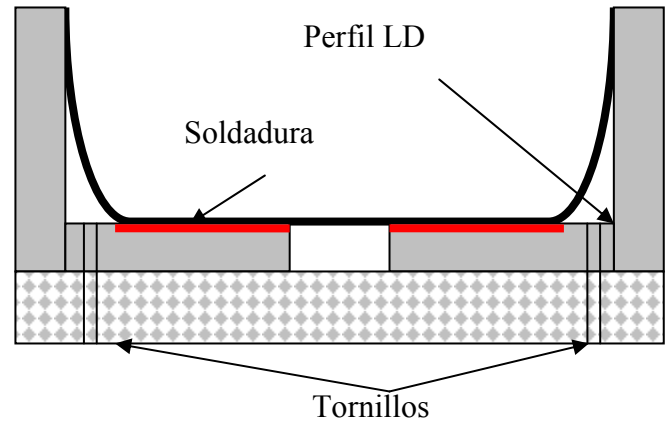
La fuerza de corte que es una componente de la fuerza total que sostiene la estructura, considerando un ángulo de $\pi/4$.

$$Fuerza_corte = Fuerza \cdot \cos(\pi/4)$$

Fuerza corte	2311,93448	N
--------------	------------	---

La suma de los dos cordones es de:

long cordón	0,1	m
-------------	-----	---



Utilizaremos un espesor de cordón:

espesor	0,0024	m
---------	--------	---

Como la fuerza es paralela a la longitud del cordón, se considera estudiar el esfuerzo cortante en la garganta de la soldadura:

$$\tau = \frac{Fuerza_corte}{long_cordon \cdot espesor \cdot \cos(\pi/4)}$$

τ	9633060,34	Pa
--------	------------	----

Calculando el factor de seguridad:

$$n_s = \frac{0,4S_y}{\tau}$$

PARA UNA ELECTRODO XL610 WEST ARCO (AWS E-6010)		
Su	43,5	kgf/mm ²
Su	426300000	Pa
Sy	36,5	kgf/mm ²
Sy	357700000	Pa

ns	14,8530
----	---------

Las vigas LD van a sujetarse al pórtico con tornillos MC de las siguientes características:

TIPO DE TORNILLO		
d cresta (mm)	paso p (mm)	área esfuerzo tensión (mm ²)
12	1,75	84,3
d cresta (m)	paso p (m)	área esfuerzo tensión (m ²)
0,012	0,00175	0,0000843

Se utilizará un número de:

numero	2
--------	---

Estos van a ser calculados a corte y esfuerzo normal:

$$\tau = \frac{\text{Fuerza}_{\text{corte}}}{\text{numero} \cdot \text{Area}_{\text{resist}}}$$

τ	13712541,4	Pa
--------	------------	----

Para un factor de seguridad:

$$n_s = \frac{0,4S_y}{\tau}$$

ns	5,97992725
----	------------

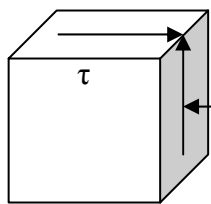
$$\sigma = \frac{\text{Fuerza}_{\text{max}}}{\text{numero} \cdot \text{Area}_{\text{resist}}}$$

σ	9820620,11	Pa
----------	------------	----

Para un factor de seguridad:

$$n_s = \frac{0,9S_y}{\sigma}$$

ns	18,787001
----	-----------



PARA UN ESFUERZO BIAXIAL		
σ_1	1,95E+07	Pa
σ_3	-9,65E+06	Pa

Comprobando por ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO:

$$n_s = \frac{S_y}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

ns	7,04E+00
----	----------