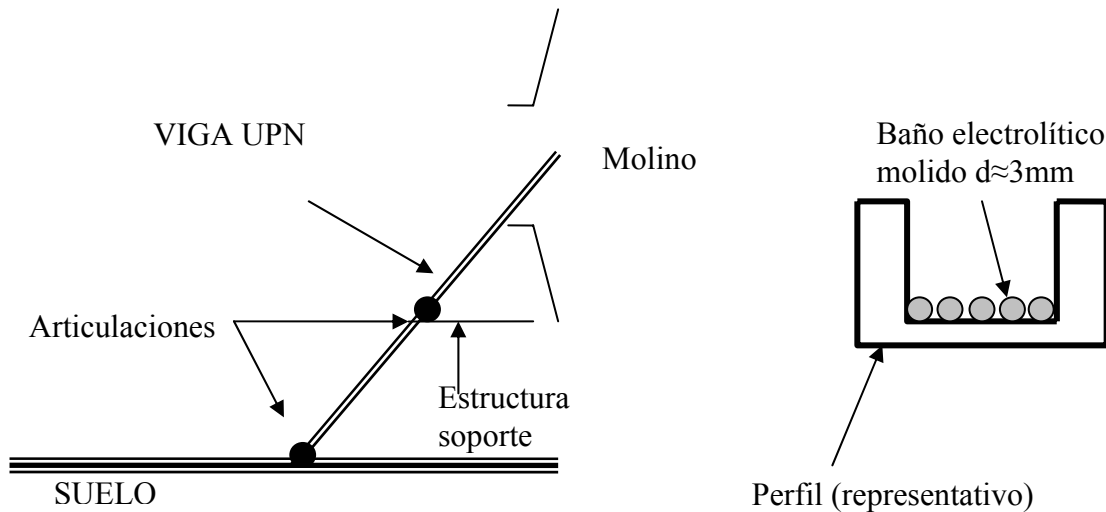


CÁLCULO DE TOLVA DE SALIDA

Se tiene como idea utilizar un perfil UPN que se introduzca con un ángulo superior al ángulo de reposo del material, dentro del molino hasta una cierta longitud, en promedio hasta una tercera parte de la longitud del molino.

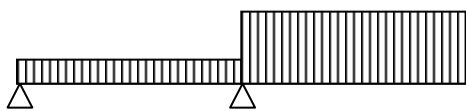
El perfil va a estar sostenido en su mitad, en un extremo de la estructura sostén del molino y reposara sobre tierra.

Se le realizara el CÁLCULO resistivo (incluyendo CÁLCULO de flecha) de la viga, considerando una carga asimétrica sobre su longitud, con 75% de la carga sobre su primera mitad y el resto en la segunda. El bosquejo es de la siguiente manera:

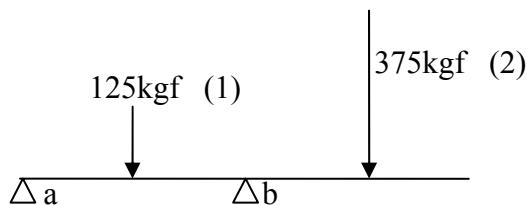


En los puntos donde esta sostenido la viga, los esfuerzos serán soportados por tornillos, los cuales serán calculados.

Para la tolva se tiene la siguiente distribución de esfuerzos:



Por simplicidad:



Como se observa en el dibujo se utiliza el valor de la carga permanente y se distribuye asimétricamente en la tolva de la siguiente manera, esto es porque la carga viene impactando la zona libre, mientras que la zona entre articulaciones el material se viene deslizando.

Se va a utilizar una viga con una longitud de:

Longitud	2,3333	m
----------	--------	---

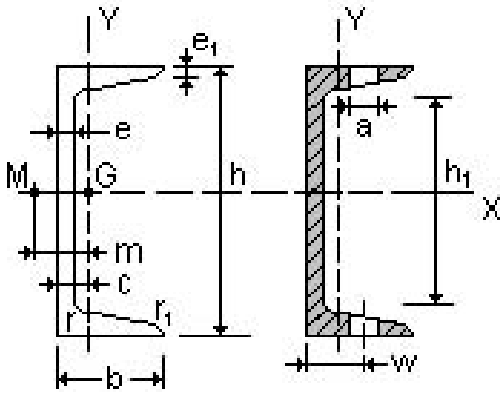
Siendo la distribución de soportes y cargas en la viga de la siguiente manera (valores en m):

0	0,5833	1,1667	1,75	2,3333
art (A)	carga (1)	art (B)	carga (2)	extremo

Utilizando el mismo acero para la construcción de la tolva de entrada, se tienen propiedades:

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

Para un perfil UPN 300, se tiene la siguiente información:



I	4,95E-06	m ⁴
---	----------	----------------

PESO VIGA	905,52	N
-----------	--------	---

El valor de la carga (1) y (2), se llevan a SI:

CARGA1	1432,76	N
CARGA2	4372,76	N

Procediendo a realizar los diagramas de fuerzas y momento se obtiene:

Fb	7275,52	N
Fa	-1470	N

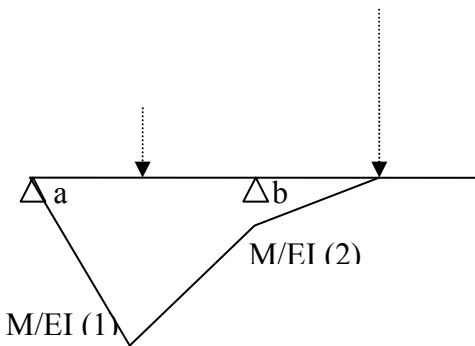
Resolviendo diagrama de momento:

Mb	-2550,7767	N.m
Ma	-8,58E+02	N.m

Para la obtención de la flecha en el extremo de la viga, obtenemos los valores M/EI en cada articulación:

M/EI (b)	-2,58E-03	m ⁽⁻¹⁾
M/EI (a)	-8,66E-04	m ⁽⁻¹⁾

El diagrama M/EI es de la siguiente forma:

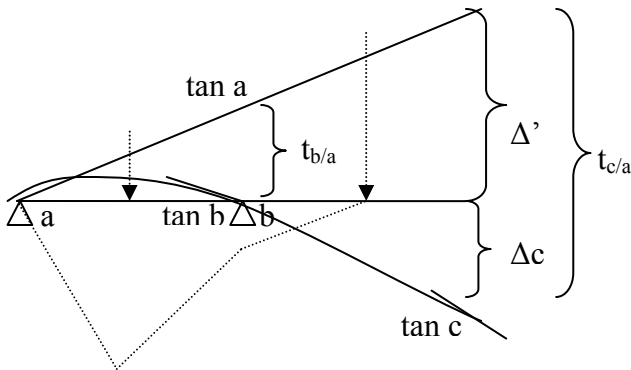


Determinemos el desplazamiento vertical de la viga, mediante el método de área-momento.

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

Para nuestro caso particular:

El valor objetivo que vamos a calcular es Δ_c . Para ello debemos determinar los valores $t_{b/a}$ y $t_{c/a}$, mediante la formula previa. Además por relación de triángulos semejantes:



$$\frac{t_{b/a}}{1m} = \frac{\Delta'}{2m} \quad \frac{t_{b/a}}{1m} = \frac{t_{c/a} - \Delta_c}{2m}$$

$$\Delta_c = t_{c/a} - 2t_{b/a}$$

Procedamos a calcular:

Para:

L1	L2	L3	L4
0,5833	1,1667	1,75	2,3333

$$t_{C/A} = \left(\frac{2}{3} \cdot L1\right) \cdot \left(\frac{L1 \frac{M}{EI_A}}{2}\right) + \left(L1 + \frac{L2-L1}{2}\right) \cdot \left((L2-L1) \cdot \frac{M}{EI_B}\right) \\ + \left(L1 + \frac{2}{3}(L2-L1)\right) \cdot \left((L2-L1) \cdot \left(\frac{M}{EI_A} - \frac{M}{EI_B}\right)\right) + \left(L2 + \frac{L3-L2}{3}\right) \cdot \left((L3-L2) \cdot \frac{M}{EI_B}\right)$$

t c/a	-2,05E-03	m
-------	-----------	---

$$t_{B/A} = \left(\frac{2}{3} \cdot L1\right) \cdot \left(\frac{L1 \frac{M}{EI_A}}{2}\right) + \left(L1 + \frac{L2-L1}{2}\right) \cdot \left((L2-L1) \cdot \frac{M}{EI_B}\right) \\ + \left(L1 + \frac{2}{3}(L2-L1)\right) \cdot \left((L2-L1) \cdot \left(\frac{M}{EI_A} - \frac{M}{EI_B}\right)\right)$$

t b/a	-1,46E-04	m
-------	-----------	---

El valor de desplazamiento del punto extremo es:

Δc	-1,76E-03	m
------------	-----------	---

Garantizando que la tolva no tenga contacto con la parte interna del molino, pues su contacto podría causar una falla generalizado en la maquina.

Estudiemos ahora el estado de esfuerzo de la viga:

Tomando el valor de Mb, máximo entre los dos momentos obtenidos y el valor de modulo resistente a tracción:

Mb	-2550,77667	N.m
----	-------------	-----

W	6,78E-05	m ³
---	----------	----------------

Obtenemos el valor de esfuerzo normal:

σ	-3,76E+07	Pa
----------	-----------	----

A continuación procedamos a calcular el valor de esfuerzo cortante máximo en la viga:

Considerando la mitad de la viga:

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

Y utilizando valores normalizados:

h	0,3	m
b	0,1	m
e	0,01	m
e1	0,016	m

Q	0,00031698	m ³
---	------------	----------------

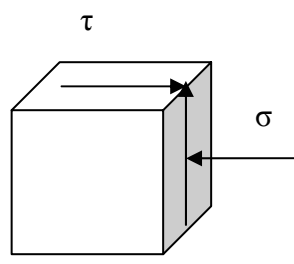
El valor de esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{F_B \cdot Q}{I \cdot e}$$

τ	2,80E+07	Pa
--------	----------	----

Verificando esfuerzos principales:

PARA UN ESFUERZO BIAIXIAL		
σ_1	1,49E+07	Pa
σ_3	-5,25E+07	Pa



Verificando por teoría de ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO:

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

ns	2,5939
----	--------

El estado de esfuerzo queda representado de la forma:

Para el cálculo de tornillos de la tolva de salida hay que considerar las fuerzas encontradas en los diagramas de fuerza. Se estudiaran a corte los tornillos:

Tomando el máximo valor de fuerza obtenido en las articulaciones:

Fb	7275,52	N
----	---------	---

Utilizando el mismo tipo de tornillo utilizado en los recubrimientos:

TIPO DE TORNILLO		MC (pag689)
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

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

El valor de esfuerzo cortante (DOBLE CORTANTE):

τ	23170445,9	Pa
--------	------------	----

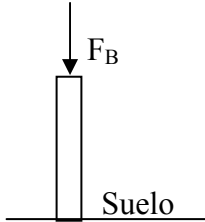
La comprobación del esfuerzo, mediante:

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

ns	3,5390
----	--------

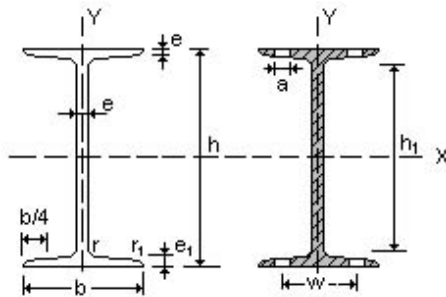
Satisface el diseño.

Procedamos a calcular el pórtico que sostiene la tolva de salida (perfil UPN). Se propone utilizar el mismo perfil utilizados en la tolva de entrada. Sin embargo la distribución de fuerzas es distinta:



Esto hace el cálculo mucho más simple que el CÁLCULO de la tolva de entrada:

Se utilizará una viga IPN 80 con las siguientes características:



W_x	1,95E-05	m^3
A	7,58E-04	m^2
I_x	7,78E-07	m^4
h	8,00E-02	m
i_x	3,20E-02	m

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 fuerza que actúa sobre la viga es F_B :

F_b	7275,52	N
-------	---------	---

Como el apoyo en la viga se produce de la forma como se muestra en la figura, se produce un momento, cuyo valor es:

$$M = \frac{F_B h}{2}$$

M	291,0208	N.m
-----	----------	-----

La longitud de la viga es de:

L	0,82	m
-----	------	---

Verifiquemos esta viga a pandeo, según norma DIN 4140, citada por CARLOS HERRERA en ESTRUCTURAS METÁLICAS:

Para una viga empotrada y libre:

$$L_p = 2.L$$

Lp	1,64	m
----	------	---

La longitud de pandeo:

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

λ	51,25
-----------	-------

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	751522524,3
ω	1,0889

El valor de esfuerzo normal es:

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

σ	26701567,34	Pa
----------	-------------	----

Verificando:

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

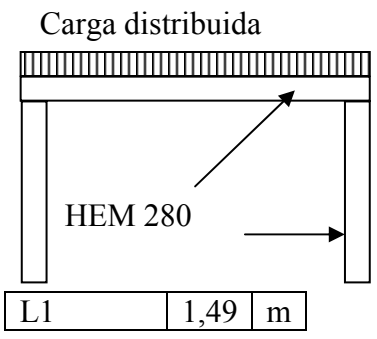
ns	6,5539
----	--------

CÁLCULO DE ESTRUCTURA DE SOPORTE DE CHUMACERAS

Como se había dicho anteriormente, se utilizará para la elaboración de la estructura perfiles HEM 280, esto es debido a que el largo del ala es de 288mm (0,288m) valor que satisface la profundidad de la chumacera, que es de 283mm (0,283m).

La viga será del mismo largo de la chumacera de 1490mm (1,490m), sostenida en los dos extremos por vigas de las mismas características.

Inicialmente, estudiaremos la viga, utilizando el Método de Cross para obtener la distribución de momentos en la viga superior que sostiene la chumacera como las dos vigas verticales. A continuación un bosquejo de cómo será la estructura:



Procedamos a realizar el “Cross” de la estructura.

Utilizando como datos:

Inercia de la viga:

I	3,95E-04	m ⁴
---	----------	----------------

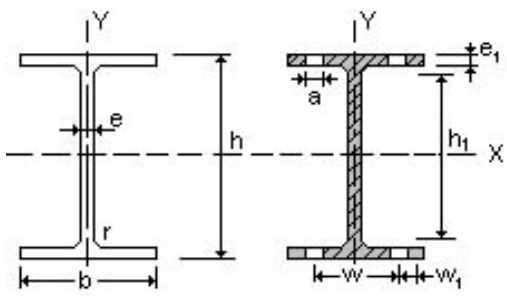
Longitud de viga horizontal:

L1	1,49	m
----	------	---

Longitud de viga vertical:

L2	0,51	m
----	------	---

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 fuerza actuante sobre la viga horizontal, producto del peso del molino, peso del rodamiento, peso de la chumacera, reacción de engranaje y otros elementos; dividido entre dos, pues la carga estará soportada por dos estructuras colocadas una en frente de la otra, cada una con una chumacera encima.

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

Además, el perfil tiene un peso por unidad de longitud:

peso/long	1852,2	N/m
-----------	--------	-----

Obteniendo así una fuerza distribuida en L1:

Fuerza dist	22750,2197	N/m
-------------	------------	-----

Además tenemos el modulo resistente de la sección:

W _x	2,55E-03	m ³
----------------	----------	----------------

Y el área del perfil:

A	2,40E-02	m ²
---	----------	----------------

Determinemos el momento máximo para una viga doblemente empotrada:

$$M_{MAX} = \frac{Fuerza_dist.L1^2}{12}$$

Mmax	4208,98024	N.m
------	------------	-----

Calculemos la rigidez de cada barra:

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

k1	2,65E-04	m ³
----	----------	----------------

k2	7,75E-04	m ³
----	----------	----------------

Para luego determinar los coeficientes de reparto:

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

r1	2,55E-01
----	----------

r2	7,45E-01
----	----------

A continuación se muestra en forma de tabla la resolución del Cross, como la estructura es simétrica, se resolvió solo media parte, aplicando todo el procedimiento que puede encontrarse en ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS de McCormac o en ESTRUCTURAS METALICAS de CARLOS HERRERA:

+2781,0998
-0,00171753
0,01347083
-0,10565355
0,82865527
-6,49925704
50,974565
-399,80051
3135,69028
7,45E-01
2,55E-01
-4208,9802
1073,2900
536,6450
-136,8445
-68,4222
17,4477
8,7238
-2,2246
-1,1123
0,2836
0,1418
-0,0362
-0,0181
0,0046
0,0023
-0,0006
1567,84514
-2781,0998
-199,900255
25,4872825
-3,24962852
0,41432764
-0,05282677
0,00673541
-0,00085877
1390,54991

Para el cálculo resistivo de la viga horizontal L1, se tiene un valor de momento máximo:

Mmax1	2781,09983	N.m
-------	------------	-----

El valor de esfuerzo normal es:

$$\sigma = \frac{M_{max1}}{W_x}$$

σ	1090627,38	Pa
----------	------------	----

Para el CÁLCULO de esfuerzo cortante requerimos los siguientes datos:

e1	3,30E-02	m
e	1,85E-02	m
h	3,10E-01	m
b	2,88E-01	m

El valor de Q

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

Se considera la mitad del área de la viga.

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

Q	1,45E-03	m ³
---	----------	----------------

La fuerza máxima cortante que actúa sobre la viga es:

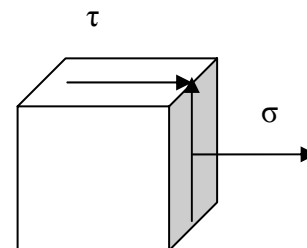
$$F_{MAX} = \frac{Fuerza_dist.L1}{2}$$

Fmax	16948,9137	N
------	------------	---

Y el valor de esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{Fuerza_max.Q}{I.e}$$

τ	3,37E+06	Pa
--------	----------	----



PARA UN ESFUERZO BIAxIAL		
σ_1	3,96E+06	Pa
σ_3	-2,87E+06	Pa

Usando como material para la viga:

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

Verificando por CORTANTE MÁXIMO:

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

ns	2,56E+01
----	----------

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

Para una viga empotrada y libre:

$$L_p = 2.L$$

Lp	1,02	m
----	------	---

El valor de radio de giro:

i	1,28E-01	m
---	----------	---

La longitud de pandeo:

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

λ	7,9688
-----------	--------

Por ser un valor menor a 20, no es necesario calcular a pandeo.

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{W}$$

σ	1,25E+06	Pa
----------	----------	----

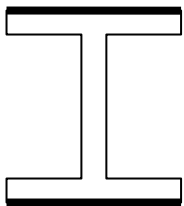
Acero estructural	DIN 1,0035
Sy	1,75E+08 Pa
Su	2,90E+08 Pa

Verificando:

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

ns	139,8959
----	----------

Ahora para el armado de las dos vigas L2 con la viga larga L1, colocaremos las dos vigas L2 en el suelo de forma vertical y sobre ellas se colocara L1. Se realizara soldadura en las alas de la viga para fijación. Van a tomarse en cuenta para el CÁLCULO de la soldadura las fuerzas de empuje que se producen en la estructura y que pueden son calculadas en el CROSS.



Observamos que para la viga pequeña se obtienen dos valores de momento en sus extremos:

Ma	1390,54991	N.m
----	------------	-----

Mb	2781,09983	N.m
----	------------	-----

Al realizar la suma algebraica:

Mom result	4171,64974	N.m
------------	------------	-----

Y dividiendo entre la longitud L2:

Fuerza empuje	8179,70538	N
---------------	------------	---

Esta fuerza de empuje afectara la soldadura.

Para el cálculo de soldadura, requerimos la longitud del cordón que es dos veces el valor de la longitud del patín o ala 'b':

long cordón	5,76E-01	m
-------------	----------	---

Se propone utilizar un espesor de cordón de:

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

Como tenemos en este caso una carga paralela, entonces obtenemos el valor del esfuerzo cortante:

$$\tau = \frac{\text{Fuerza_empuje}}{\text{sen}(\pi/4) \cdot \text{espesor} \cdot \text{long_cordon}}$$

τ	8,37E+06	Pa
--------	----------	----

Se propone utilizar un electrodo WestArco XL610 (E-6010) con las siguientes características:

Su	43,5	kgf/mm ²
Su	426300000	Pa
Sy	36,5	kgf/mm ²
Sy	357700000	Pa

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

ns	1,71E+01
----	----------

TUERCAS PARA TORNILLOS

Haciendo una revisión al anexo 2 de la NBE EA-95, encontramos tuercas normalizadas para los tornillos M12 y M16 que utilizamos a lo largo de todo el proyecto. Sus características son las siguientes:

Tipo	Dimensiones					Masa (kg)
	Diámetro nominal (mm)	Diámetro interior (mm)	Espesor (mm)	Medida entre aristas (mm)	Medida entre caras (mm)	
12	12	10,106	10	21,9	19	0,0159
16	16	13,835	13	27,7	24	0,0308

