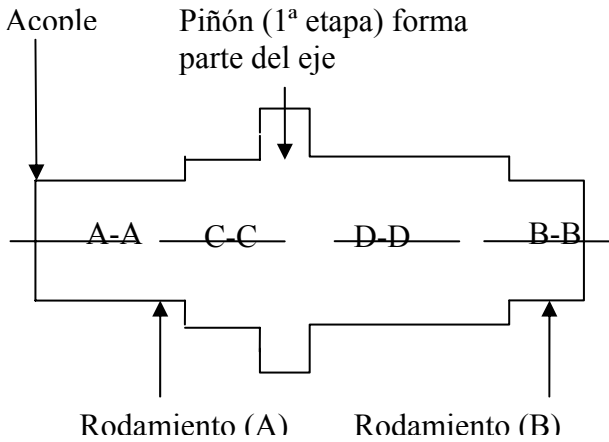


CALCULO RESISTIVO DE PRIMER EJE

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	0,05	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	0,00495	m
---------	---------	---

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

diámetro de:

d eje piñon	0,0599	m
-------------	--------	---

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

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

Peso de un cilindro:

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

P1	45,3155	N
P2	9,7556	N
P3	118,1506	N
P4	3,4742	N

Además, se tiene un peso de acople, que en futuro se tendrá por selección de acople:

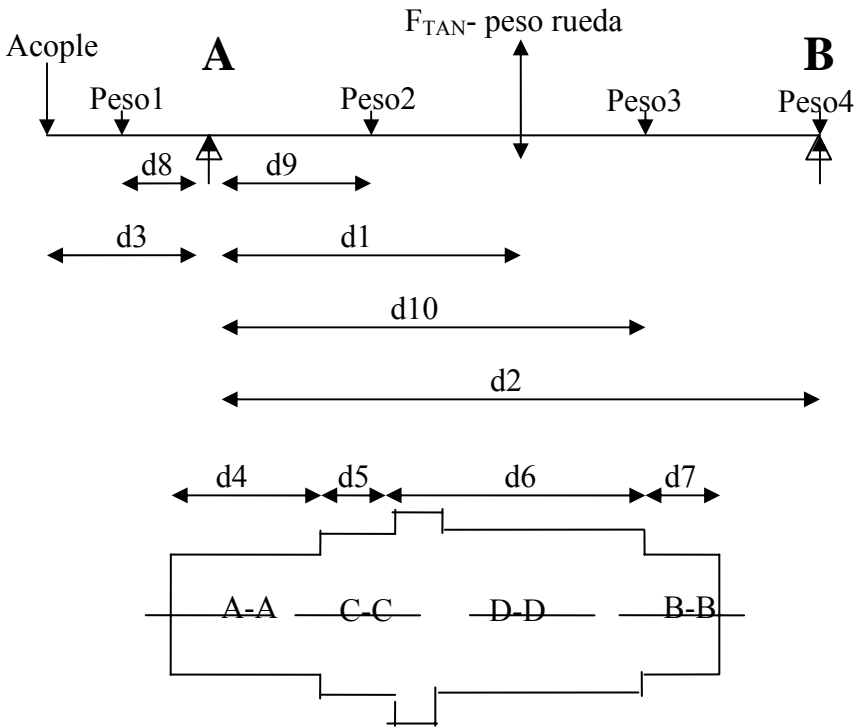
Pacop	98,9800	N
-------	---------	---

El peso del piñón que soporta el eje es:

W1	15,7364	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:

VISTA YZ



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

d1	0,0415	m	d2	0,613	m	d3	0,2885	m	d4	0,3	m	d5	0,045	m
d6	0,545	m	d7	0,023	m	d8	0,1615	m	d9	0,034	m	d10	0,329	m

La longitud interna del eje, i.e entre los bordes de los dos más cercanos de los dos rodamientos es de:

L interna	0,59	m
-----------	------	---

Con esto determinamos la dimensión interna de la carcasa del reductor.

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

$$B_Y = \frac{p2.d9 + (F_{TAN1} - W_1)d1 - p3.d10 - p1.d8 - p_{ACOPLE}.d3}{d2} + p4$$

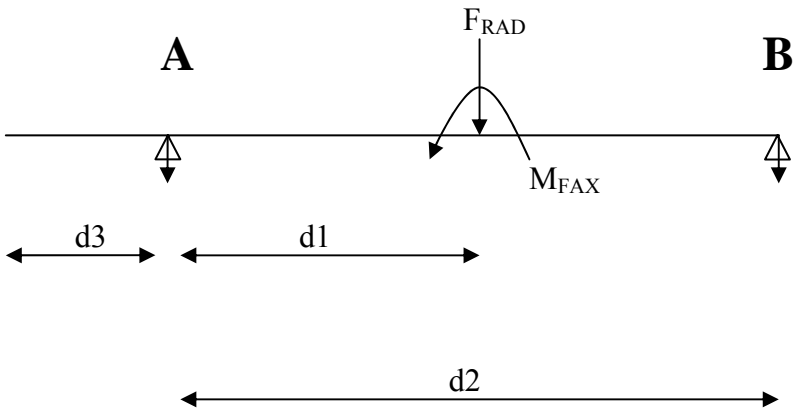
B_Y	2,0488	N
-------	--------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_Y = p1 + p2 + p3 + p4 + W_1 + p_{ACOPLE} - F_{TAN1} - B_Y$$

A_Y	172,3551	N
-------	----------	---

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



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

$$B_x = \frac{M_{FAX1} - F_{RAD1} \cdot d1}{d2}$$

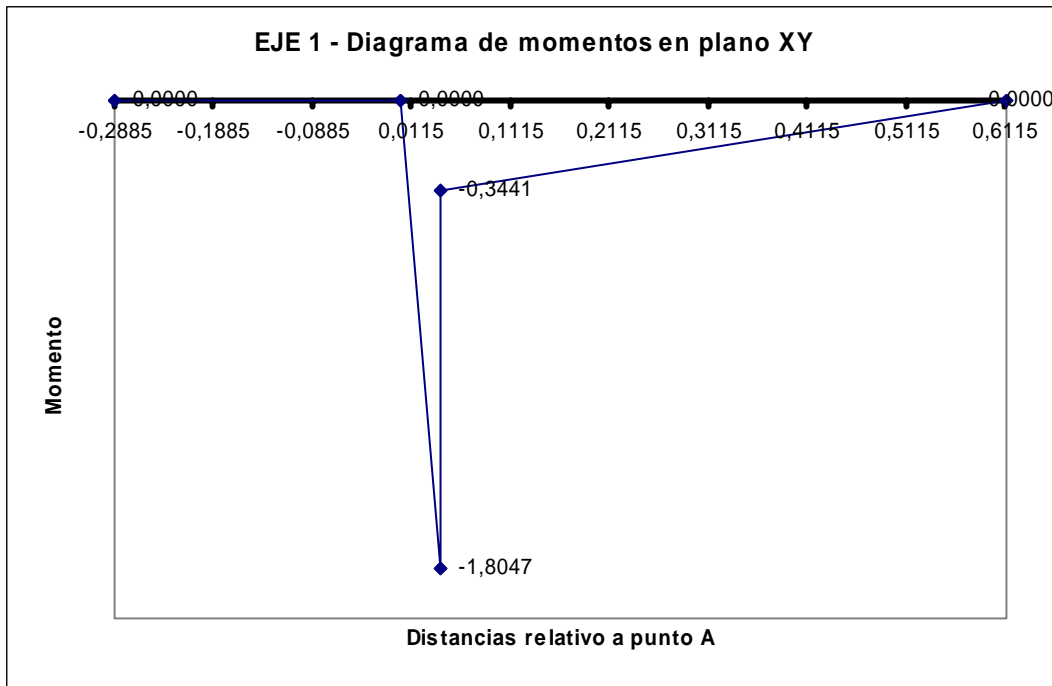
\$B_x\$	-0,6021	N
---------	---------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_y = -(F_{RAD1} + B_x)$$

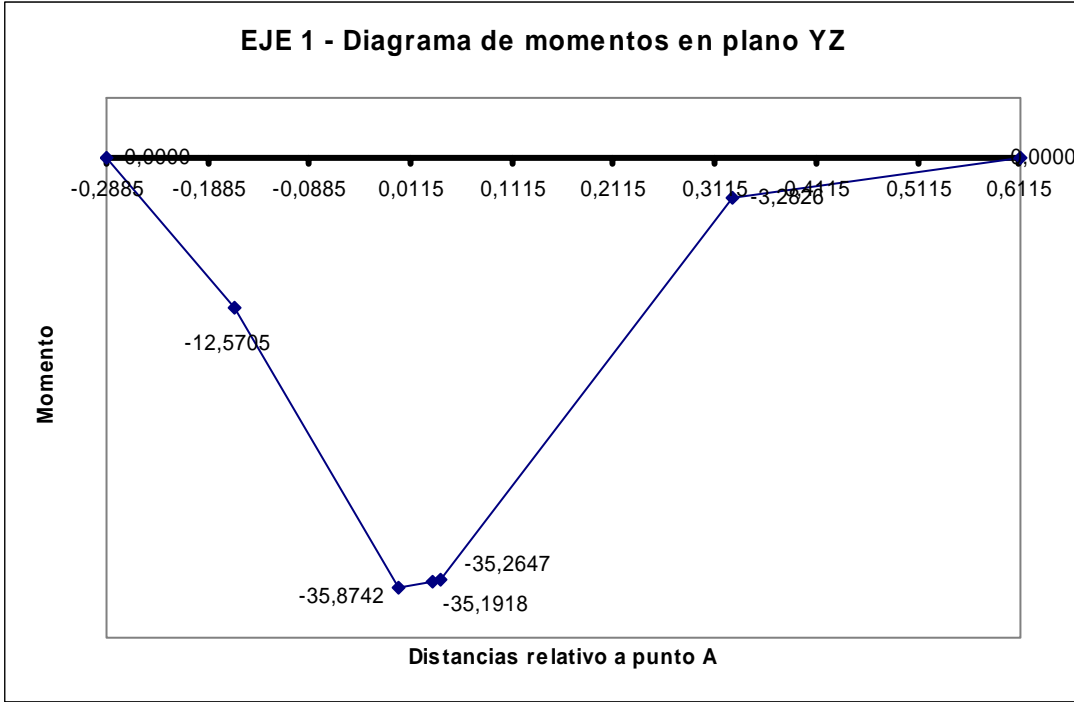
\$A_x\$	-43,4877	N
---------	----------	---

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



-43,4877	0,6021	0,0000	\$F(z)\$
-1,8047	0,0000		\$M(z)\$
-0,3441			

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



-98,9800	-144,2955	28,0596	18,3040	119,5759	1,4254	0,0000	F(z)
-12,57046	-35,8742	-34,9202	-34,7829	-0,4048	9,0E-15		V(z)

Teniendo los valores de los momentos y las fuerzas vamos 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 de resistencia de ruedas, es:

T	117,0082	N.m
---	----------	-----

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

$$M = \sqrt{M_{XZ} + M_{YZ}}$$

Debido a que la rueda va a estar tallada en el eje, el eje será del material que esta fabricada la rueda, es decir, de SCM 415. Su equivalencia a la norma DIN es, junto con sus características es:

Material Sy	4,40E+08	Pa	SCM 415
Materia Su	9,30E+08	Pa	DIN 1,7262

A continuación se colocan los valores calculados:

Seccion	Mxy	Myz	M	T	d	1/ns	ns
A-A	-1,8047	-12,5705	12,6994	117,0082	0,05	2,18E-02	45,8696
B-B	-0,3441	-0,4048	0,5313	0	0,05	1,35E-04	7424,6499
C-C	-1,8047	-34,9202	34,9668	117,0082	0,05990	1,32E-02	75,9805
D-D	-0,3441	-34,7829	34,7846	0,0000	0,05990	3,77E-03	265,1094

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):

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

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

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, 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
-----	------

El esfuerzo alterno (normal y cortante) se estima como 1,2 veces el esfuerzo medio

Para la sección A-A, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,05E+06	Pa	σ_a	1,26E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	4,77E+06	Pa	τ_a	5,72E+06	Pa
----------	----------	----	----------	----------	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,05	m
Tamaño	1,6630	Kcs	1,2	1/ns	6,45E-02	
Confiabilidad	1	q	0,8	ns	15,5020	
Temperatura	1	Kf	1,32			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	3,13E+08	Pa		

Para la sección B-B, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	5,93E+04	Pa	σ_a	6,79E+04	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	0	Pa	τ_a	0	Pa
----------	---	----	----------	---	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,05	m
Tamaño	1,6630	q	0,8	1/ns	4,21E-04	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	2375,5549	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	3,13E+08	Pa		

Para la sección C-C, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,67E+06	Pa	σ_a	2,00E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	2,77E+06	Pa	τ_a	3,33E+06	Pa
----------	----------	----	----------	----------	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,0599	m
Tamaño	1,6297	q	0,8	1/ns	3,97E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	25,1660	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	3,07E+08	Pa		

Para la sección D-D, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,66E+06	Pa	σ_a	1,99E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	0	Pa	τ_a	0	Pa
----------	---	----	----------	---	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,0599	m
Tamaño	1,6297	q	0,8	1/ns	1,23E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	81,1149	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	3,07E+08	Pa		

Obteniéndose así valores favorables de fatiga, todos los factores de seguridad ns fueron satisfactorios, 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 d4 y d5.

Para la sección A-A

L	0,3	m	J	6,1359E-07	Pa	G	7,50E+10	Pa	q	7,63E-04	rad
---	-----	---	---	------------	----	---	----------	----	---	----------	-----

Para la sección C-C

L	0,045	m	J	1,2639E-06	Pa	G	7,50E+10	Pa	q	5,55E-05	rad
---	-------	---	---	------------	----	---	----------	----	---	----------	-----

El ángulo de torsión total es

3,69E-05

rad igual a 0,0469°. Un valor mucho menor a 1° de torsión. Un valor aceptable.

A continuación se realizara el calculo de flechas de los sectores del eje donde esta ubicado el acople y la rueda dentada.

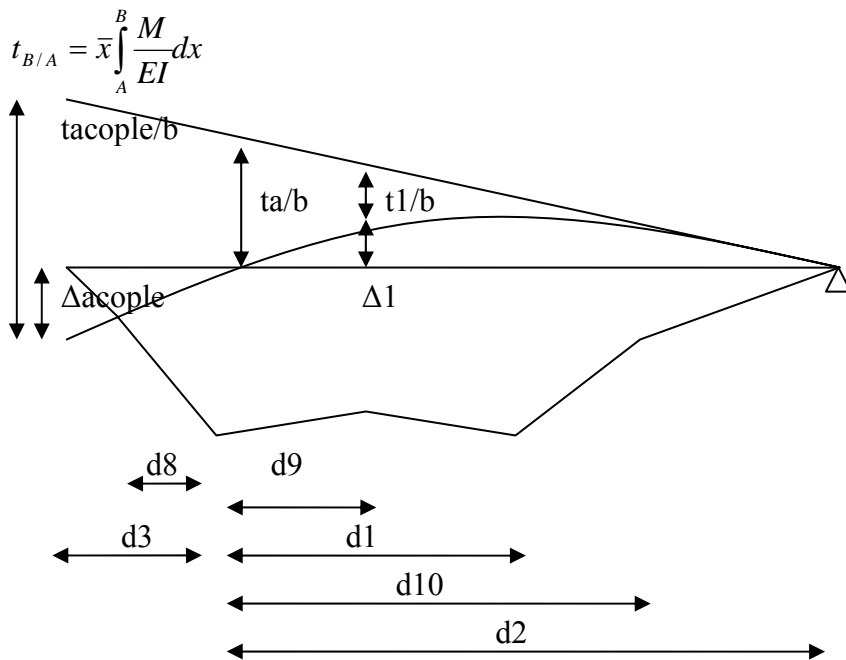
Por exceso se considerara el diámetro menor para todo el eje y se utilizara el método de área momento para su resolución.

Por lo anterior el valor de la inercia es: 3,068E-07m⁴

Para facilitar la escritura de las ecuaciones de crea una variable L, que es igual a M/EI, entonces:

Para el plano YZ:

L1	-1,94E-04	m ⁽⁻¹⁾	L2	-5,54E-04	m ⁽⁻¹⁾	L3	-5,39E-04	m ⁽⁻¹⁾
L4	-5,37E-04	m ⁽⁻¹⁾	L5	-6,25E-06	m ⁽⁻¹⁾			



$$t_{acople/b} = \frac{2}{3}(d3 - d8)(d3 - d8)\frac{L1}{2} + \left(d3 - d8\frac{1}{2}\right)d8.L1 + \left(d3 - d8\frac{2}{3}\right)d8\frac{L2 - L1}{2} +$$

$$\left(d3 + d9\frac{1}{2}\right)d9L3 + \left(d3 + d9\frac{1}{3}\right)d9\frac{L2 - L3}{2} + \left(d3 + d9 + (d1 - d9)\frac{1}{2}\right)(d1 - d9)L4 +$$

$$\left(d3 + d9 + (d1 - d9)\frac{1}{3}\right)(d1 - d9)\frac{L3 - L4}{2} + \left(d3 + d1 + (d10 - d1)\frac{1}{2}\right)(d10 - d1)L5 +$$

$$\left(d3 + d1 + (d10 - d1)\frac{1}{3}\right)(d10 - d1)\frac{L4 - L5}{2} + \left(d3 + d10 + (d2 - d10)\frac{1}{3}\right)(d2 - d10)\frac{L5}{2}$$

taco/b	-5,3804E-05	m
--------	-------------	---

$$t_{a/b} = \left(d9\frac{1}{2}\right)d9L3 + \left(d9\frac{1}{3}\right)d9\frac{L2 - L3}{2} + \left(d9 + (d1 - d9)\frac{1}{2}\right)(d1 - d9)L4 +$$

$$\left(d9 + (d1 - d9)\frac{1}{3}\right)(d1 - d9)\frac{L3 - L4}{2} + \left(d1 + (d10 - d1)\frac{1}{2}\right)(d10 - d1)L5 +$$

$$\left(d1 + (d10 - d1)\frac{1}{3}\right)(d10 - d1)\frac{L4 - L5}{2} + \left(d10 + (d2 - d10)\frac{1}{3}\right)(d2 - d10)\frac{L5}{2}$$

ta/b	-1,1660E-05	m
------	-------------	---

$$t_{1/b} = \left(d10 - d1\right)\frac{1}{2}(d10 - d1)L5 +$$

$$\left(d10 - d1\right)\frac{1}{3}(d10 - d1)\frac{L4 - L5}{2} + \left(d10 - d1 + (d2 - d10)\frac{1}{3}\right)(d2 - d10)\frac{L5}{2}$$

t1/b	-7,91E-06	m
------	-----------	---

Por relaciones trigonométricas:

$$\frac{t_{acop/b} - \Delta_{acop}}{d3 + d2} = \frac{t_{a/b}}{d2}$$

$$\Delta_{acop} = t_{acop/b} - \frac{d3 + d2}{d2}t_{a/b}$$

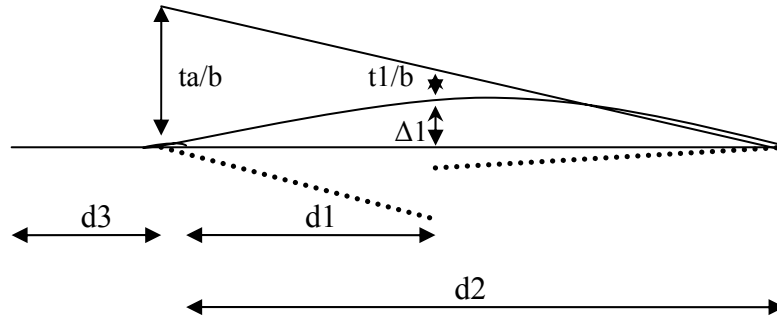
Δ_{acop}	-3,6656E-05	m
Δ_{acop}	-36,6559	μm

$$\frac{t_{1/b} + \Delta_1}{d2 - d1} = \frac{t_{a/b}}{d2}$$

$$\Delta_1 = \frac{d2 - d1}{d2}t_{a/b} - t_{1/b}$$

Δ_1	-2,9573E-06	m
Δ_1	-2,9573	μm

Para el plano XY:



L1	-2,79E-05	m ⁽⁻¹⁾	L2	-5,32E-06	m ⁽⁻¹⁾
----	-----------	-------------------	----	-----------	-------------------

$$t_{a/b} = \frac{2}{3} d_1 d_1 \frac{L1}{2} + \left(d_1 + (d_2 - d_1) \frac{1}{3} \right) (d_2 - d_1) \frac{L2}{2}$$

ta/b	-3,6842E-07	m
------	-------------	---

$$t_{a/b} = \left((d_2 - d_1) \frac{1}{3} \right) (d_2 - d_1) \frac{L2}{2}$$

t1/b	-2,8937E-07	m
------	-------------	---

Δ1	-5,4102E-08	m
Δ1	-0,0541	μm

Procedamos a la verificación de la cuña estimada para el acople:

La forma de la cuña es de la siguiente forma:

Comprobaremos la cuña a esfuerzo cortante y a esfuerzo normal:

b	0,014	m	h	0,009	m	l	0,03	m
---	-------	---	---	-------	---	---	------	---

$$F = \frac{T}{d/2} \quad A_{CORTANTE} = bl \quad A_{NORMAL} = \frac{lh}{2}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{NORMAL}} \quad \tau = \frac{F}{A_{CORTANTE}}$$

Para el material de las cuñas se tiene:

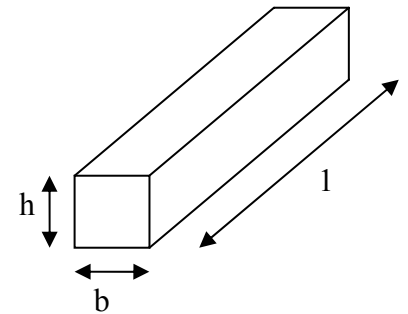
Acero estructural	DIN 1,0035	
Sy	1,75E+08	Pa
Su	2,90E+08	Pa

Realizando los cálculos, se obtiene lo siguiente:

F	4680,32973	N
---	------------	---

τ	11143642,2	Pa	ns	6,2816
---	------------	----	----	--------

σ	34669109,1	Pa	ns	4,5429
---	------------	----	----	--------



CALCULO RESISTIVO DEL SEGUNDO EJE

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	0,08	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	0,0074	m
---------	--------	---

Quiere decir que el diámetro donde va a estar el piñón, (que será igual para la corona de la segunda etapa, tendrá un diámetro de:

d eje corona	0,0947	m
--------------	--------	---

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

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

Peso de un cilindro:

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

P1	12,7608	N
P2	24,3836	N
P3	317,9217	N
P4	43,0519	N
P5	17,8813	N

El peso de la corona de la primera etapa que soporta el eje es:

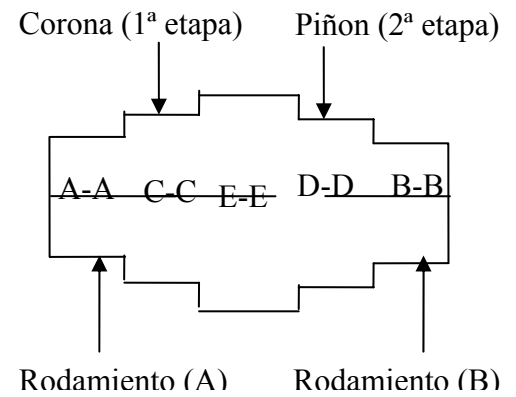
W2	98,3523	N
----	---------	---

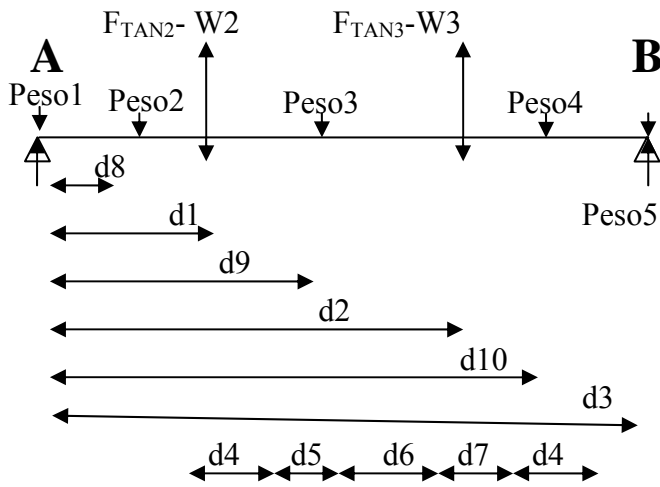
Mientras el peso del piñón de la segunda etapa que soporta el eje es:

W3	99,1617	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:

VISTA YZ





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

d1	0,0465	m	d2	0,5665	m	d3	0,623	m	d4	0,033	m
d5	0,045	m	d6	0,48	m	d7	0,065	m	d8	0,039	m
d9	0,3015	m	d10	0,574	m	d11	0,2226	m	d12	0,1329	m

La longitud interna del eje, i.e entre los bordes de los dos más cercanos de los dos rodamientos es de:

L interna	0,59	m
-----------	------	---

Con esto determinamos la dimensión interna de la carcasa del reductor.

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

$$B_y = \frac{p_2 \cdot d_8 + (F_{TAN2} - W_2) \cdot d_1 + p_3 \cdot d_9 + (F_{TAN3} + W_3) \cdot d_2 + p_4 \cdot d_{10}}{d_3} + p_5$$

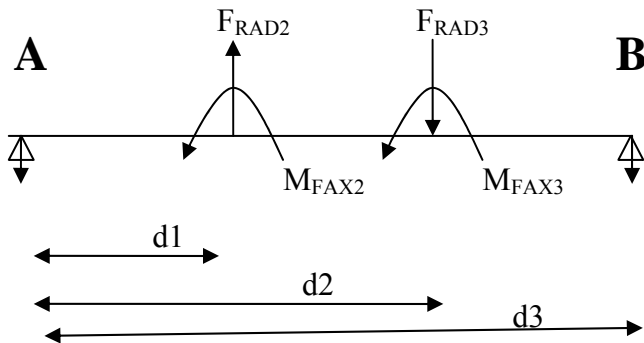
B _y	3059,3038	N
----------------	-----------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_y = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + W_2 + W_3 - F_{TAN2} + F_{TAN3} - B_y$$

A _y	-1728,1949	N
----------------	------------	---

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



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

$$B_x = \frac{-M_{FAX2} - M_{FAX3} + F_{RAD2} \cdot d1 - F_{RAD3} \cdot d2}{d3}$$

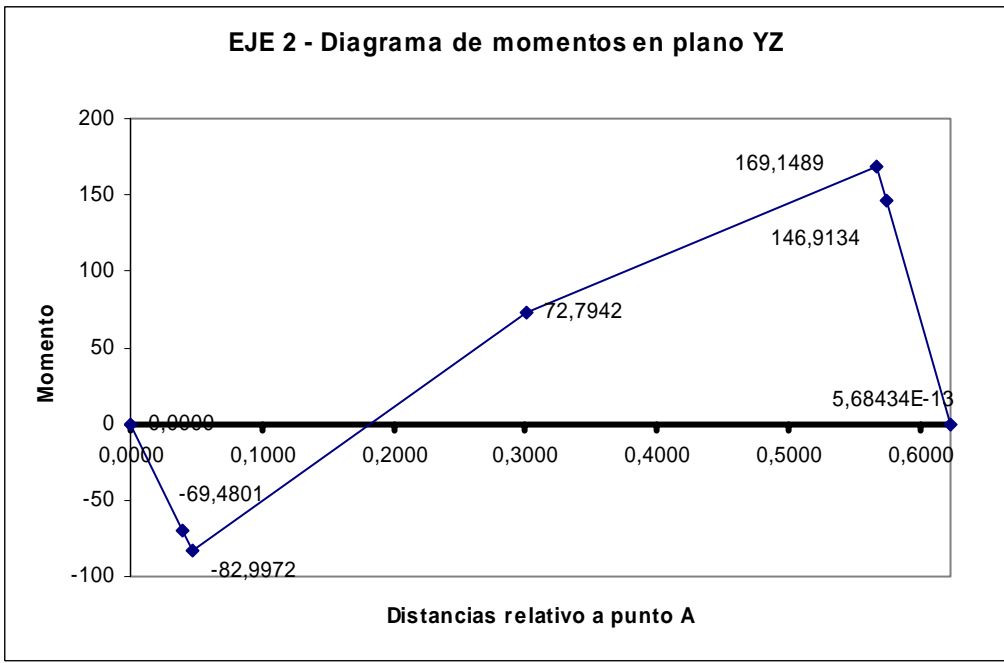
Bx	-1418,1406	N
----	------------	---

Realizando sumatoria de fuerzas en el plano YZ:

$$A_y = F_{RAD2} - F_{RAD3} - B_x$$

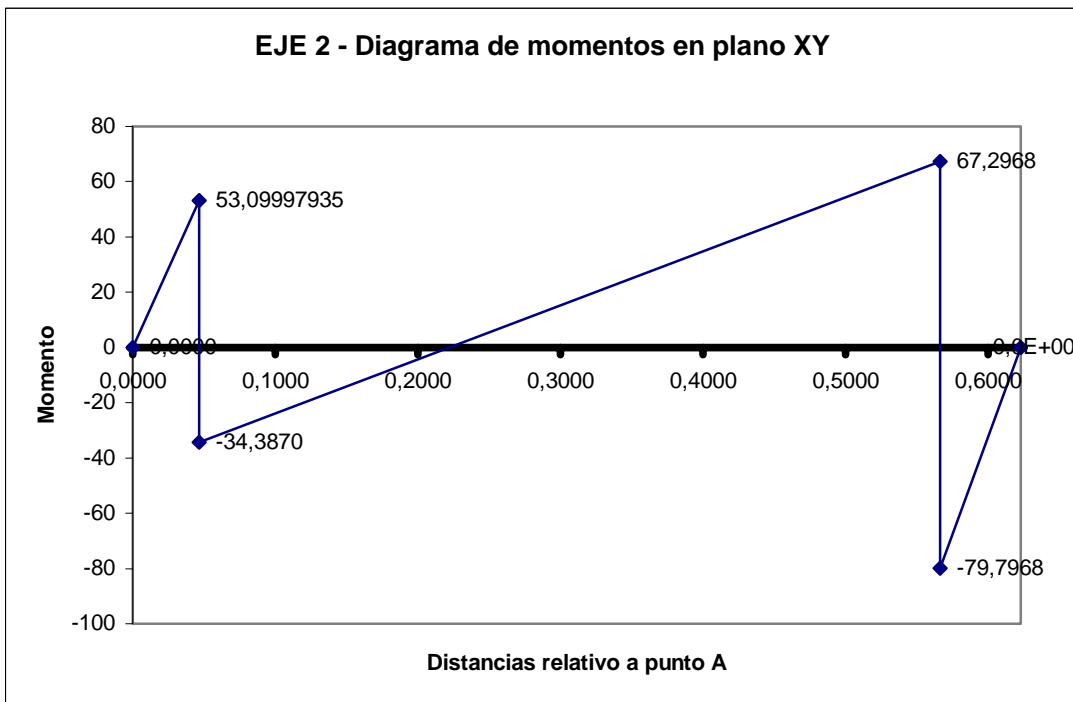
Ax	1147,7437	N
----	-----------	---

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



-1740,9558	-1765,3394	647,8924	329,9707	-2998,3706	-3041,4225	0,0000
-67,8973	-81,1373	84,0752	171,5175	149,0297	0	

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



1147,7437	201,3544	1418,1406	0,0000	F(z)
53,3700811	69,2377	0,0E+00		M(z)
-35,4665	-80,1249			

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 de resistencia de ruedas, es:

T	292,5206	N.m
---	----------	-----

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

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

El material a utilizar es el mismo utilizado para el eje que sostiene el piñón que engrana con la cremallera del molino:

Material Sy	3,70E+08	Pa	DIN 1,0503
Materia Su	6,30E+08	Pa	

A continuación se colocan los valores calculados:

Seccion	Mxy	Myz	M	T	d	1/ns	ns
A	-35,4665	-67,8973	76,6023	0	0,08	4,95E-03	202,1884

B	-80,1249	149,0297	169,2036	0	0,08	9,92E-03	100,7565
C	-35,4665	84,0752	91,2498	292,5206	0,09470	1,01E-02	98,7732
D	-80,1249	171,5175	189,3099	292,5206	0,09470	1,16E-02	86,0154
E	-80,1249	171,5175	189,3099	292,5206	0,10470	8,63E-03	115,8824

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):

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

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

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, 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
-----	------

El esfuerzo alterno (normal y cortante) se estima como 1,2 veces el esfuerzo medio

Para la sección A-A, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,83E+06	Pa	σ_a	2,13E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	0	Pa	τ_a	0	Pa
----------	---	----	----------	---	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,08	m
Tamaño	1,5777	q	0,8	1/ns	1,89E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	52,7824	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	2,01E+08	Pa		

Para la sección B-B, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	3,67E+06	Pa	σ_a	4,35E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	0	Pa	τ_a	0	Pa
----------	---	----	----------	---	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,08	m
Tamaño	1,5777	q	0,8	1/ns	3,84E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	26,0264	

Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	2,01E+08	Pa		

Para la sección C-C, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,31E+06	Pa	σ_a	1,53E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	1,7542E+06	Pa	τ_a	2,11E+06	Pa
----------	------------	----	----------	----------	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,0947	m
Tamaño	1,5482	q	0,8	1/ns	3,69E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	27,1144	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	1,98E+08	Pa		

Para la sección D-D, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	2,49E+06	Pa	σ_a	2,94E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	1,75E+06	Pa	τ_a	2,11E+06	Pa
----------	----------	----	----------	----------	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,0947	m
Tamaño	1,5482	q	0,8	1/ns	4,32E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	23,1442	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	1,98E+08	Pa		

Para la sección E-E, se obtuvo lo siguiente:

σ_m	1,86E+06	Pa	σ_a	2,19E+06	Pa
------------	----------	----	------------	----------	----

τ_m	1,30E+06	Pa	τ_a	1,56E+06	Pa
----------	----------	----	----------	----------	----

Superficie	0,9	Kc	1,4	d	0,1047	m
Tamaño	1,5309	q	0,8	1/ns	4,90E-02	
Confiabilidad	1	Kf	1,32	ns	20,4088	
Temperatura	1	Kcs	1,2			
Diversos	0,5	Kfs	1,16			
Axial	0,45	Se	1,15E+08	Pa		

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 d6 y las respectivas longitudes de las ruedas involucradas.

Para la sección C-C

L	0,015	m	J	4,02124E-06	Pa	G	7,50E+10	Pa	q	1,45E-05	rad
---	-------	---	---	-------------	----	---	----------	----	---	----------	-----

Para la sección D-D

L	0,025	m	J	7,89587E-06	Pa	G	7,50E+10	Pa	q	1,23E-05	rad
---	-------	---	---	-------------	----	---	----------	----	---	----------	-----

Para la sección E-E

L	0,48	m	J	1,17974E-05	Pa	G	7,50E+10	Pa	q	1,59E-04	rad
---	------	---	---	-------------	----	---	----------	----	---	----------	-----

El ángulo de torsión total es 1,86E-04rad igual a 0,0106°. Un valor mucho menor a 1° de torsión. Un valor aceptable.

A continuación se realizara el calculo de flechas de los sectores del eje donde esta ubicado el acople y la rueda dentada.

Por exceso se considerara el diámetro menor para todo el eje y se utilizara el método de área momento para su resolución.

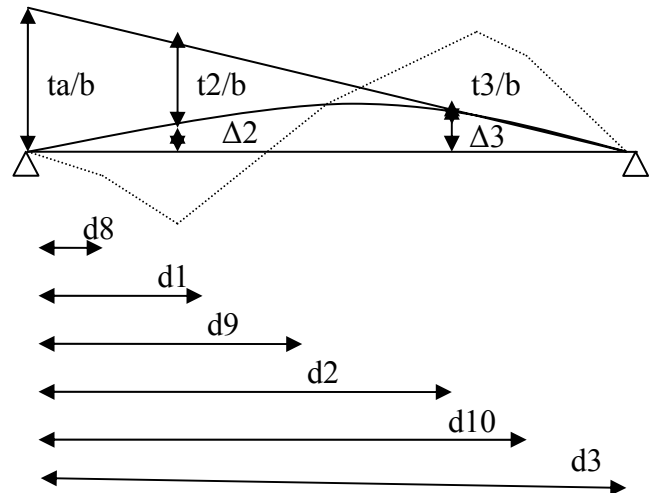
Por lo anterior el valor de la inercia es 2,0106E-06m⁴

Para facilitar la escritura de las ecuaciones de crea una variable L, que es igual a M/EI, entonces:

Para el plano YZ:

L1	-1,60E-04	m ⁽⁻¹⁾	L2	-1,91E-04	m ⁽⁻¹⁾	L3	1,98E-04	m ⁽⁻¹⁾
L4	4,04E-04	m ⁽⁻¹⁾	L5	3,51E-04	m ⁽⁻¹⁾			

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



$$\begin{aligned}
t_{a/b} = & \frac{2}{3}d8d8\frac{L1}{2} + \left(d8 + (d1-d8)\frac{1}{2}\right)(d1-d8).L1 + \left(d8 + (d1-d8)\frac{2}{3}\right)(d1-d8).\frac{L2-L1}{2} + \\
& \left(d1 + (d12-d1)\frac{1}{3}\right)(d12-d1).\frac{L2}{2} + \left(d12 + (d9-d12)\frac{2}{3}\right)(d9-d12).\frac{L3}{2} + \\
& + \left(d9 + (d2-d9)\frac{2}{3}\right)(d9-d12).\frac{L4-L3}{2} + \left(d9 + (d2-d9)\frac{1}{2}\right)(d2-d9).L3 + \\
& \left(d2 + (d10-d2)\frac{1}{3}\right)(d10-d2).\frac{L4-L5}{2} + \left(d2 + (d10-d2)\frac{1}{2}\right)(d10-d2).L5 \\
& \left(d10 + (d3-d10)\frac{1}{3}\right)(d3-d10).\frac{L5}{2}
\end{aligned}$$

ta/b	4,5887E-05	m
------	------------	---

$$\begin{aligned}
t_{2/b} = & \left((d12-d1)\frac{1}{3}\right)(d12-d1).\frac{L2}{2} + \left(d12-d1 + (d9-d12)\frac{2}{3}\right)(d9-d12).\frac{L3}{2} + \\
& + \left(d9-d1 + (d2-d9)\frac{2}{3}\right)(d9-d12).\frac{L4-L3}{2} + \left(d9-d1 + (d2-d9)\frac{1}{2}\right)(d2-d9).L3 + \\
& \left(d2-d1 + (d10-d2)\frac{1}{3}\right)(d10-d2).\frac{L4-L5}{2} + \left(d2-d1 + (d10-d2)\frac{1}{2}\right)(d10-d2).L5 \\
& \left(d10-d1 + (d3-d10)\frac{1}{3}\right)(d3-d10).\frac{L5}{2}
\end{aligned}$$

t2/b	4,1387E-05	m
------	------------	---

$$\begin{aligned}
t_{3/b} = & \left((d10-d2)\frac{1}{3}\right)(d10-d2).\frac{L4-L5}{2} + \left((d10-d2)\frac{1}{2}\right)(d10-d2).L5 \\
& \left(d10-d2 + (d3-d10)\frac{1}{3}\right)(d3-d10).\frac{L5}{2}
\end{aligned}$$

t3/b	2,15E-07	m
------	----------	---

Por relaciones trigonométricas:

$$\begin{aligned}
\frac{t_{2/b} + \Delta_1}{d3-d1} &= \frac{t_{a/b}}{d3} \\
\Delta_2 &= \frac{d3-d1}{d3}t_{a/b} - t_{2/b}
\end{aligned}$$

Δ_2	1,0743E-06	m
Δ_2	1,0743	μm

$$\begin{aligned}
\frac{t_{3/b} + \Delta_3}{d3-d2} &= \frac{t_{a/b}}{d3} \\
\Delta_3 &= \frac{d3-d2}{d3}t_{a/b} - t_{3/b}
\end{aligned}$$

Δ_3	3,9460E-06	m
Δ_3	3,9460	μm

Para el plano XY:

L1	1,26E-04	$\text{m}^{(-1)}$	L2	-8,36E-05	$\text{m}^{(-1)}$
L3	1,63E-04	$\text{m}^{(-1)}$	L4	-1,89E-04	$\text{m}^{(-1)}$

$$t_{a/b} = \frac{2}{3}d_1d_1\frac{L1}{2} + \left(d_1 + (d_{11} - d_1)\frac{1}{3}\right)(d_{11} - d_1)\frac{L2}{2} + \left(d_1 + (d_2 - d_{11})\frac{2}{3}\right)(d_2 - d_{11})\frac{L3}{2} + \left(d_2 + (d_3 - d_2)\frac{1}{3}\right)(d_3 - d_2)\frac{L4}{2}$$

ta/b	8,8726E-06	m
------	------------	---

$$t_{2/b} = \left((d_{11} - d_1)\frac{1}{3}\right)(d_{11} - d_1)\frac{L2}{2} + \left((d_2 - d_{11})\frac{2}{3}\right)(d_2 - d_{11})\frac{L3}{2} + \left(d_2 - d_1 + (d_3 - d_2)\frac{1}{3}\right)(d_3 - d_2)\frac{L4}{2}$$

t2/b	8,0676E-06	m
------	------------	---

$$t_{3/b} = \left((d_3 - d_2)\frac{1}{3}\right)(d_3 - d_2)\frac{L4}{2}$$

t3/b	-1,0048E-07	m
------	-------------	---

Por relaciones trigonométricas:

$$\frac{t_{2/b} + \Delta_1}{d_3 - d_1} = \frac{t_{a/b}}{d_3}$$

$$\Delta_2 = \frac{d_3 - d_1}{d_3} t_{a/b} - t_{2/b}$$

Δ_2	1,4274E-07	m
Δ_2	0,1427	μm

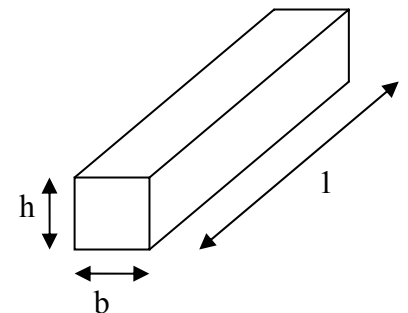
$$\frac{t_{3/b} + \Delta_3}{d_3 - d_2} = \frac{t_{a/b}}{d_3}$$

$$\Delta_3 = \frac{d_3 - d_2}{d_3} t_{a/b} - t_{3/b}$$

Δ_3	9,0514E-07	m
Δ_3	0,9051	μm

Procedamos a la verificación de la cuña estimada para el acople:

La forma de la cuña es de la siguiente forma:



Comprobaremos la cuña a esfuerzo cortante y a esfuerzo normal:

b	0,022	m	h	0,014	m	l	0,03	m
---	-------	---	---	-------	---	---	------	---

$$F = \frac{T}{d/2} \quad A_{CORTANTE} = bl \quad A_{NORMAL} = \frac{lh}{2}$$

$$\sigma = \frac{F}{A_{NORMAL}} \quad \tau = \frac{F}{A_{CORTANTE}}$$

El material para las cuñas es:

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

Realizando los cálculos, se obtiene lo siguiente:

F	6177,8376	N
---	-----------	---

τ	9360359,9351	Pa	ns	7,4783
--------	--------------	----	----	--------

σ	29418274,0819	Pa	ns	5,3538
----------	---------------	----	----	--------