



INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTROMECAÁNICA

AUTORA: DIANA CAROLINA BERMEO M.

TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
MOLINO DE MARTILLOS TRITURADOR DE
GRANOS PARA GRANJAS AVÍCOLAS

INTRODUCCIÓN

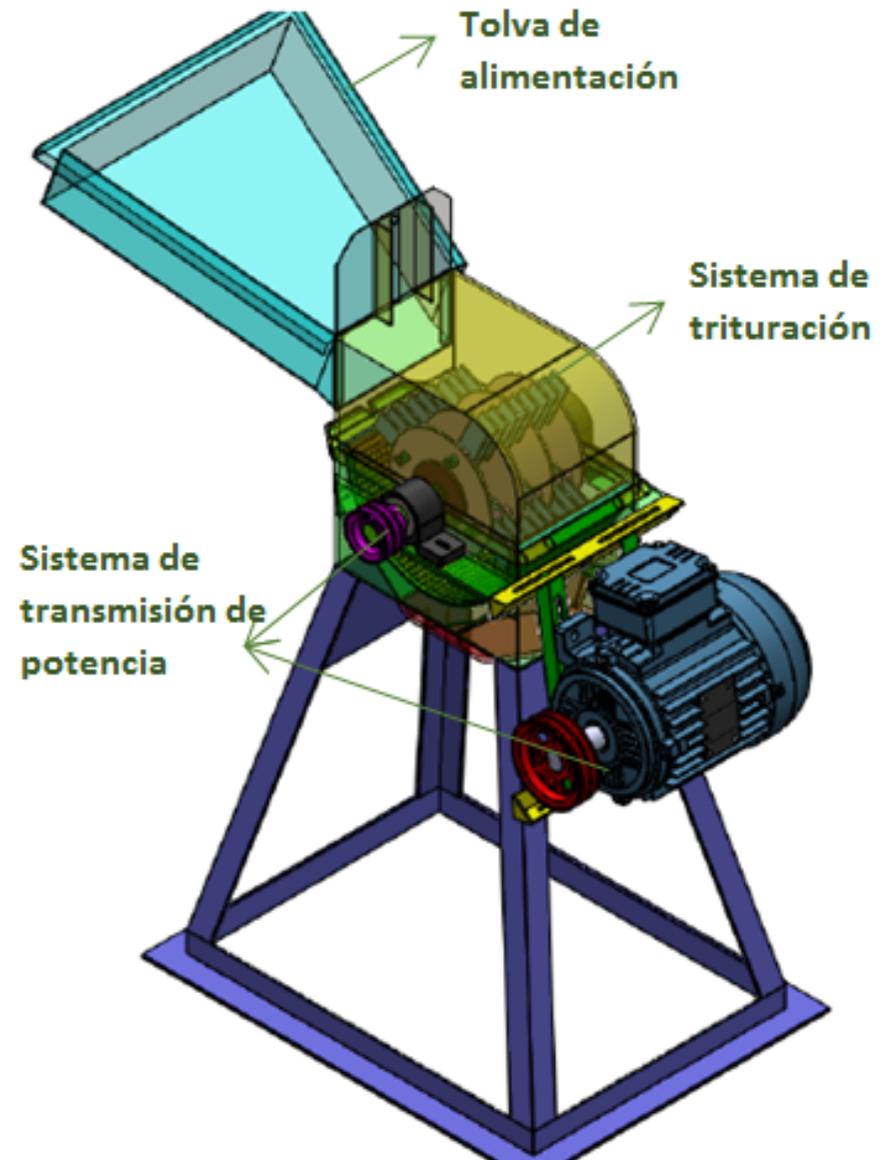
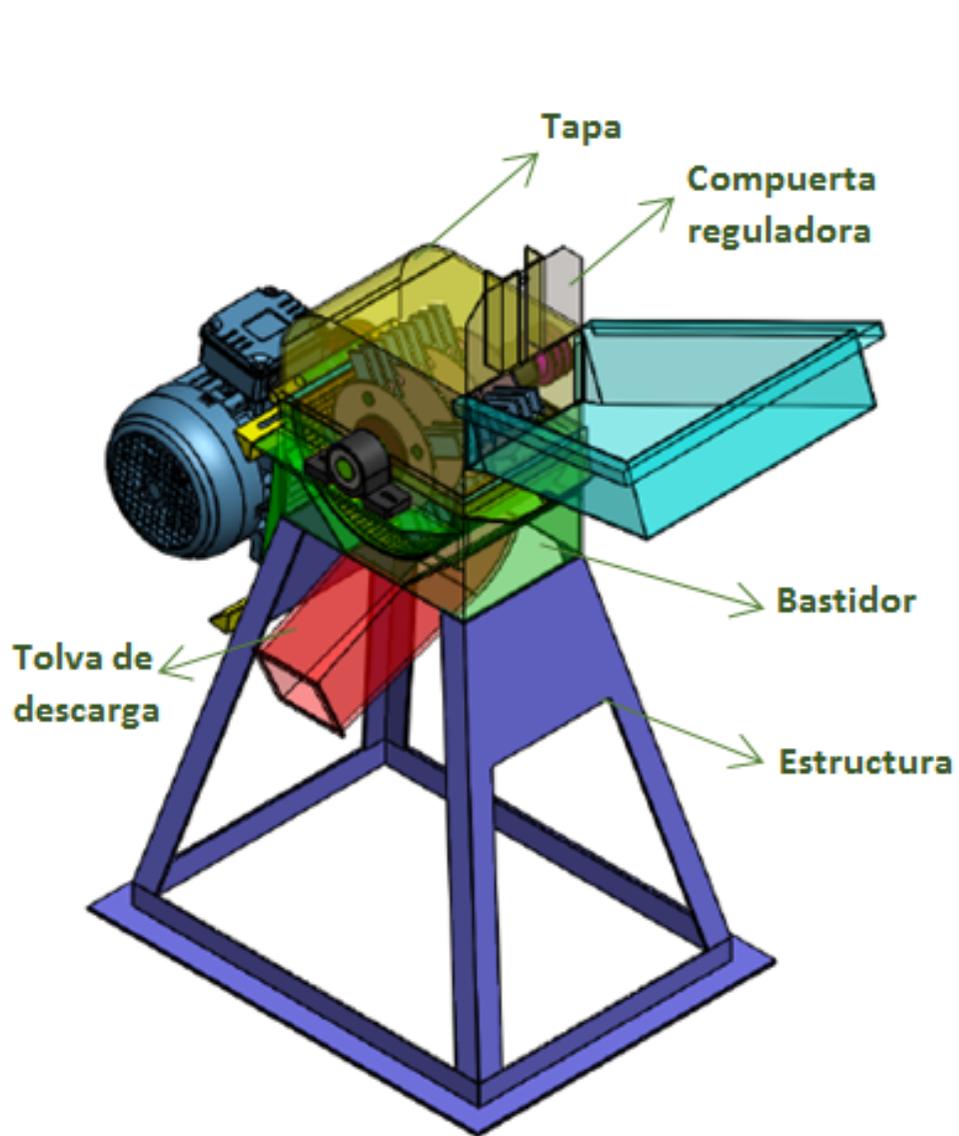
- El presente proyecto consiste en el diseño y construcción de un molino de tipo martillos, para triturar granos como: maíz duro (morochillo), trigo, soya, etc., para la alimentación de pollos camperos, que tenga una capacidad aproximada de 10 quintales por hora. La meta del diseño y construcción del molino de martillos, es reducir los valores de producción de las aves.

Molino de Martillos

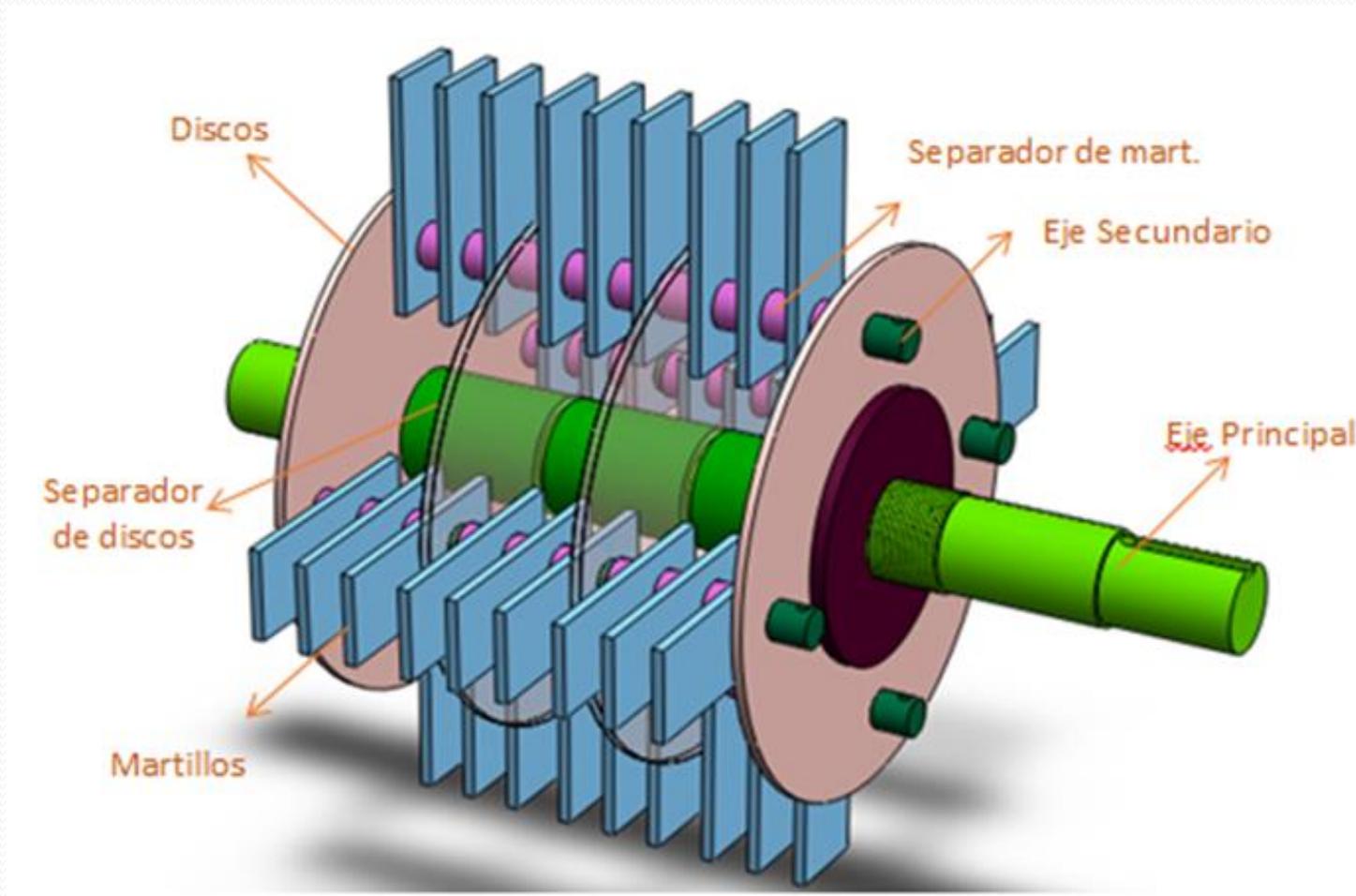
PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

- Por presencia de la fuerza centrífuga, los martillos se posicionan perpendicularmente en posición de trabajo, los martillos golpean el producto que se encuentra en el interior del molino, posteriormente choca contra la tapa del molino y nuevamente es golpeado por los martillos, este proceso ocurre sucesivamente hasta que el producto alcance un tamaño tal que pueda pasar por la criba o rejilla

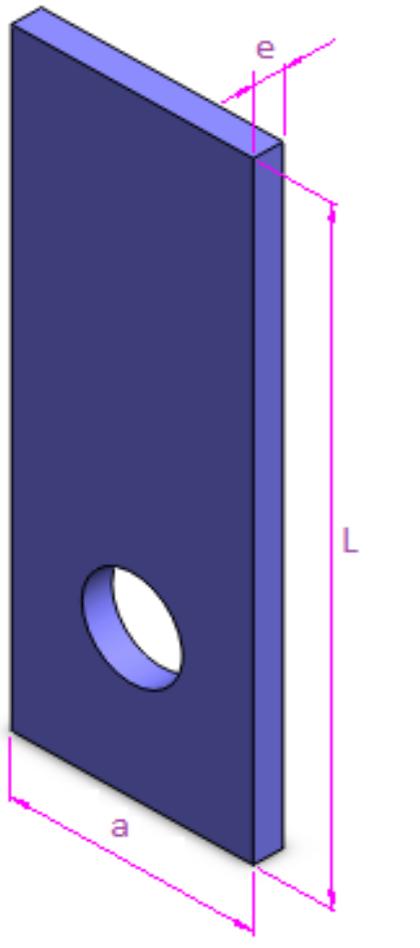
Partes del Molino



SISTEMA DE TRITURACIÓN



Diseño de la Herramienta de Percusión



$$m_m = \frac{F_c * 3}{\alpha * L} = 0,137 \text{ kg}$$

$$m_m = \rho * L * a * e$$

$$a = 3,7 \text{ cm}$$

DE MARTILLOS

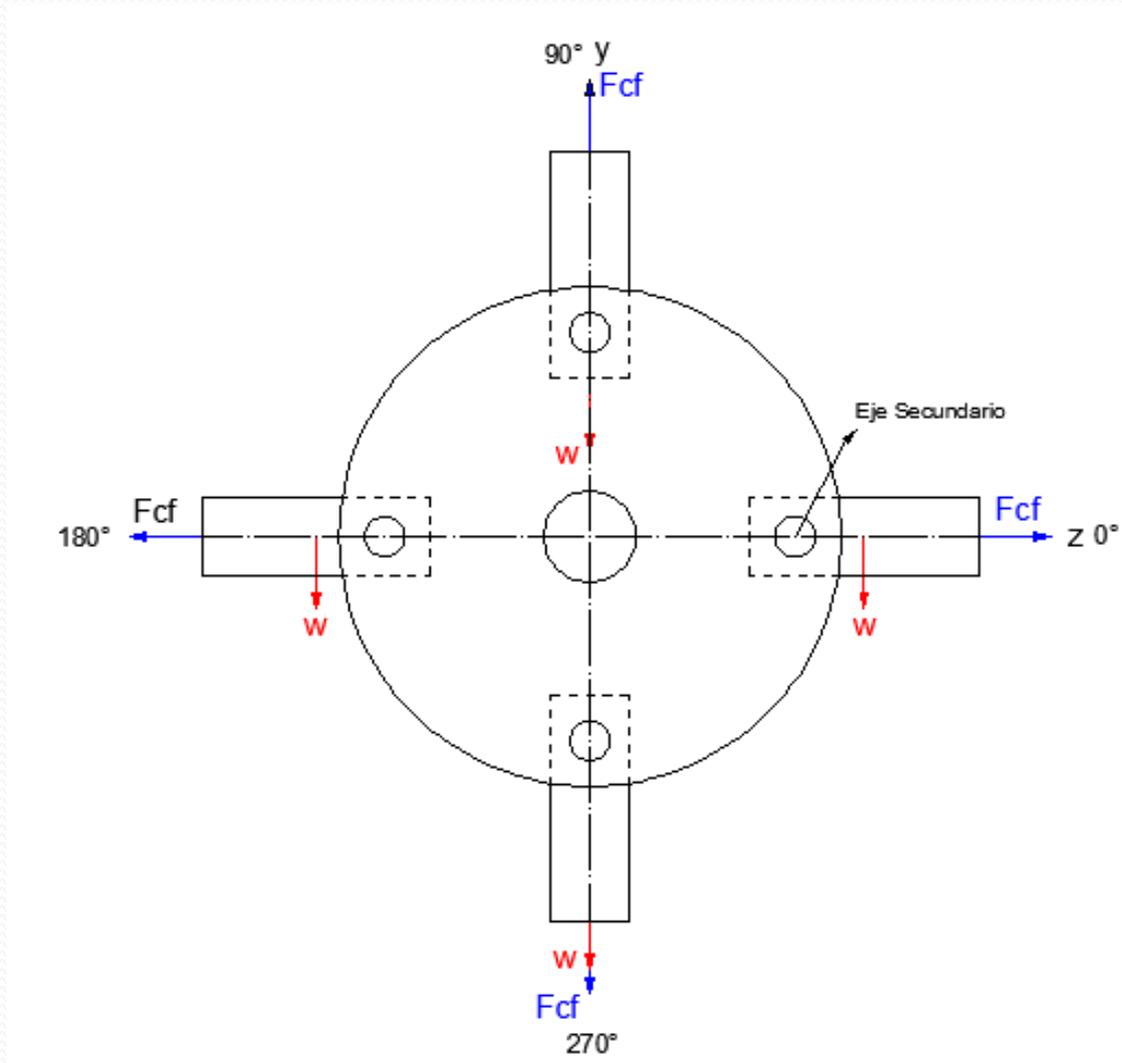
$$10 \frac{qq}{h} = 11 \frac{\text{granos}}{\text{rev}}$$

$$i = \frac{D}{d}$$

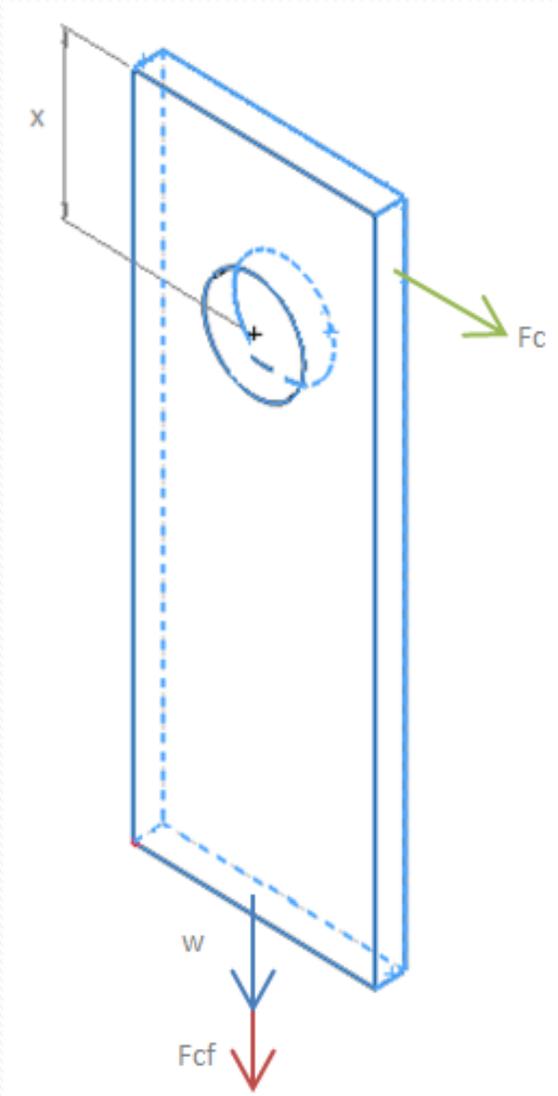
$$\# \text{ martillos} = 11 * 3 = 33 \text{ martillos}$$

$$\therefore 36 \text{ martillos}$$

Fuerzas Presentes en el Sistema de Trituración



Fuerzas en la Herramienta de Percusión



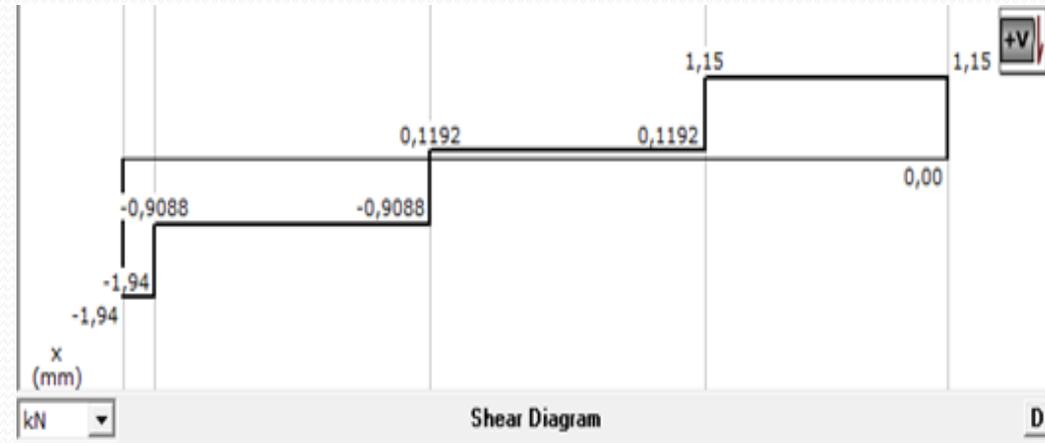
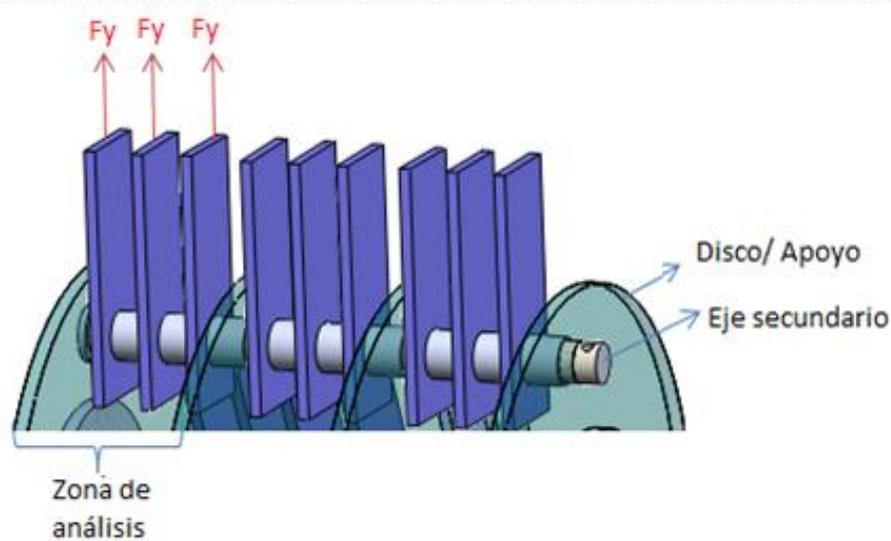
$$F_{cf} = \omega^2 * m_m * (L - x)$$

$$F_{cf} = 1027,62 \text{ N}$$

$$F_{y\ 270^\circ} = F_{cf} + w_m$$

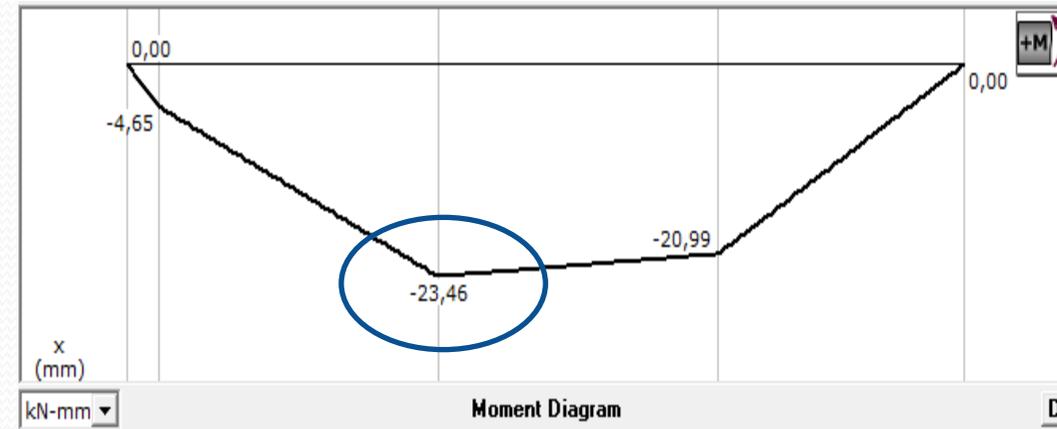
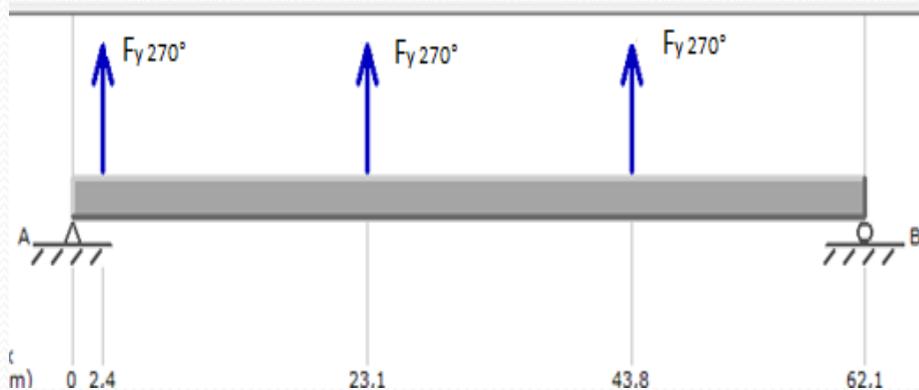
$$F_{y\ 270^\circ} = 1028,96 \text{ N}$$

Diseño del Eje Secundario



Diagramas de Fuerzas cortantes

Diagrama de Cuerpo libre MdSolids



Diagramas de Momentos

Para : $d = \frac{5}{8} \text{ in.}$

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}}}{S} = \frac{M_{\text{máx}} * 32}{\pi * d^3} = 60,58 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A} = \tau = 6,18 \text{ MPa}$$

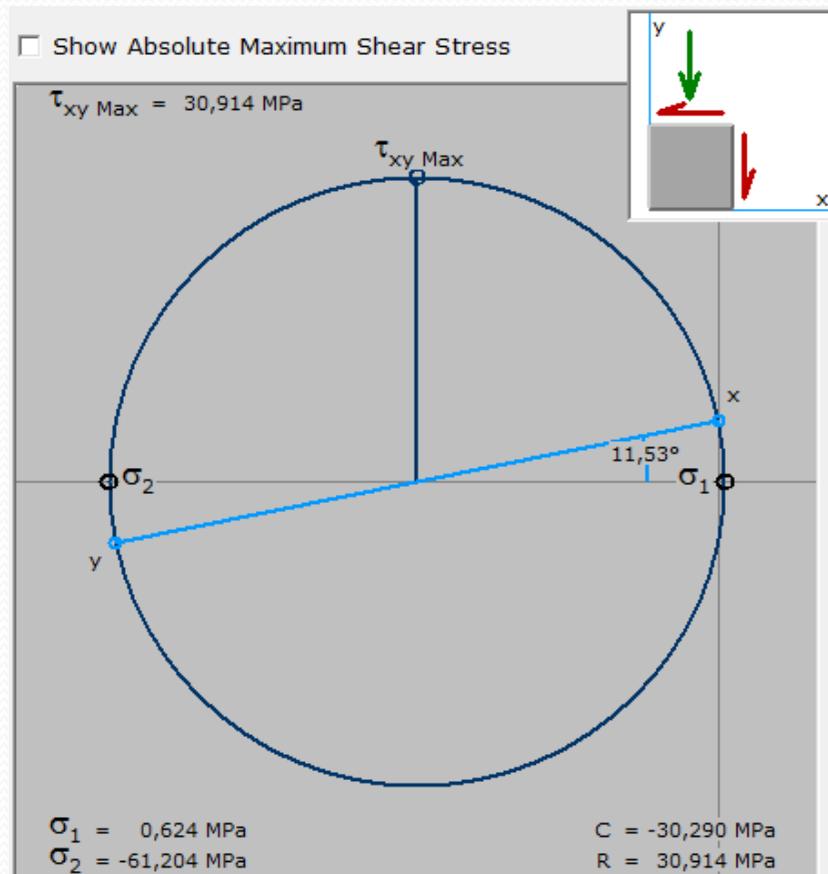
Método de energía de distorsión

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 * \sigma_2} = 60,89 \text{ MPa}$$

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

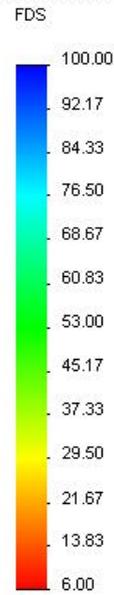
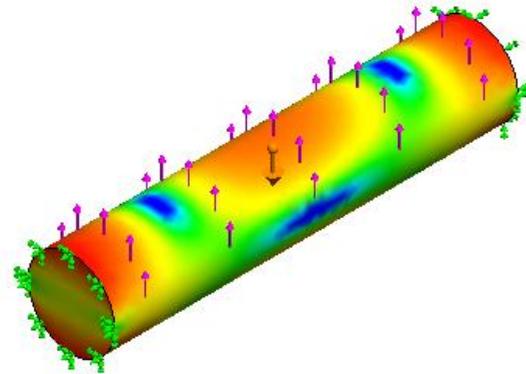
AISI 1018 $S_y = 370 \text{ Mpa}$

$$N = 6$$



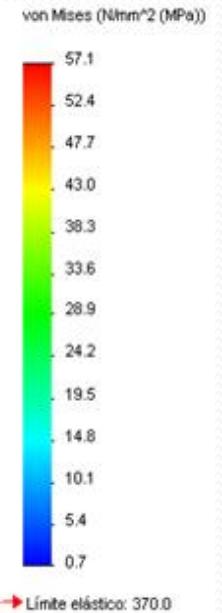
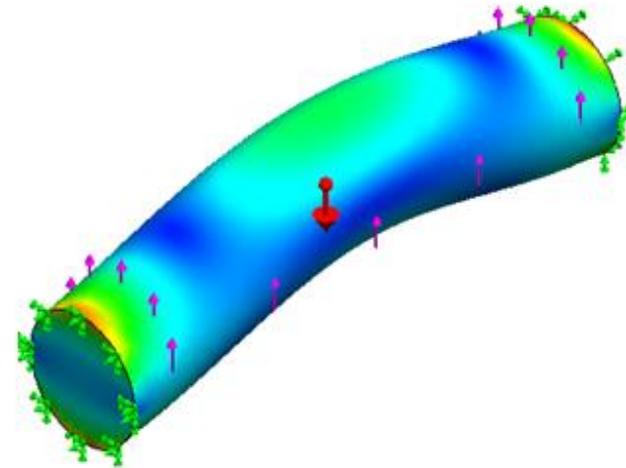
Análisis de Elementos Finitos

Nombre de modelo: eje de martillo chiquito
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6.5



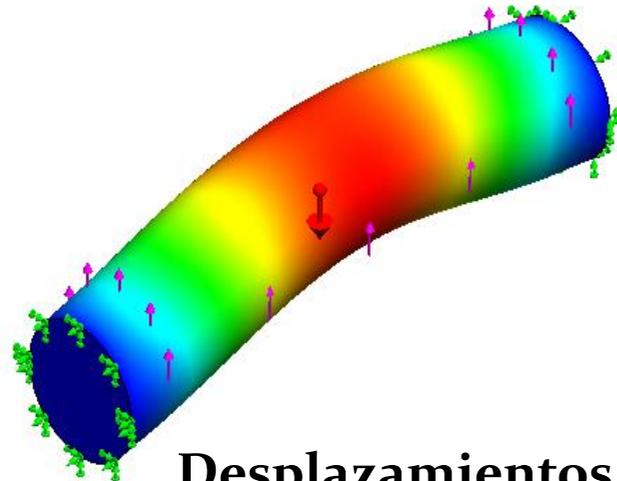
Factor de seguridad

Nombre de modelo: eje de martillo chiquito
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1004.82



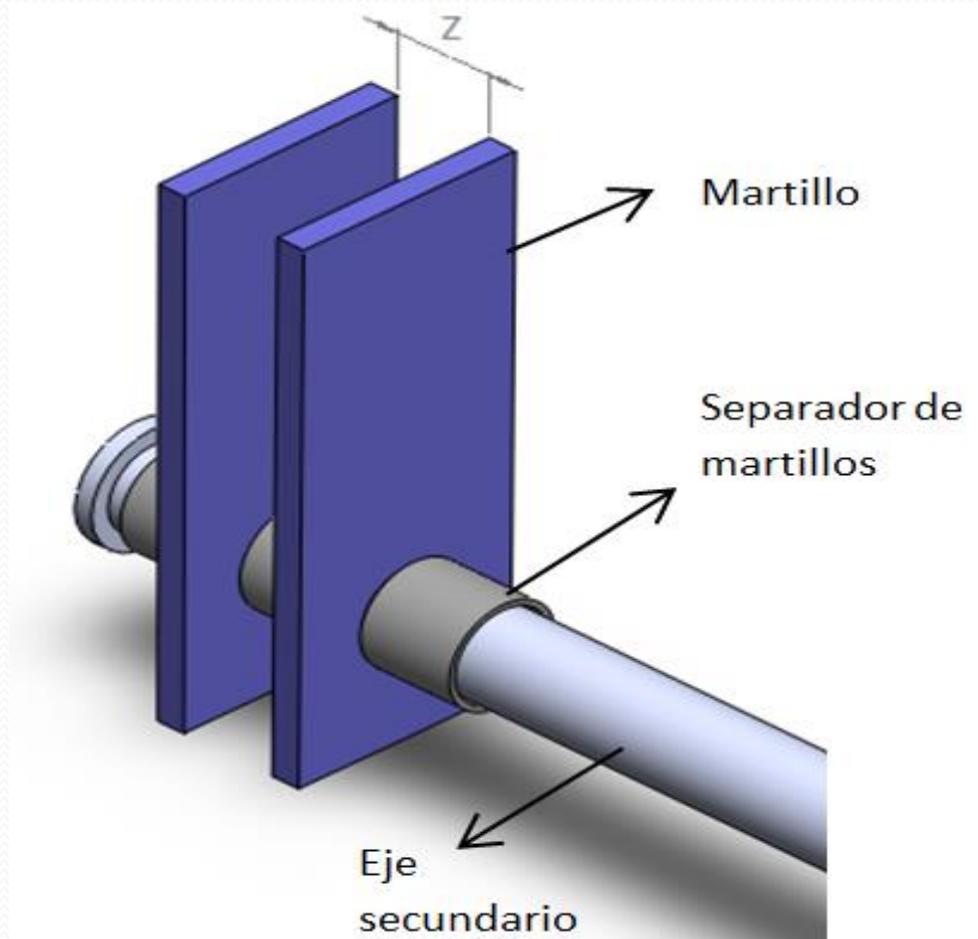
Tensiones de Von Mises

Nombre de modelo: eje de martillo chiquito
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 1004.82



Desplazamientos

Separadores de martillos

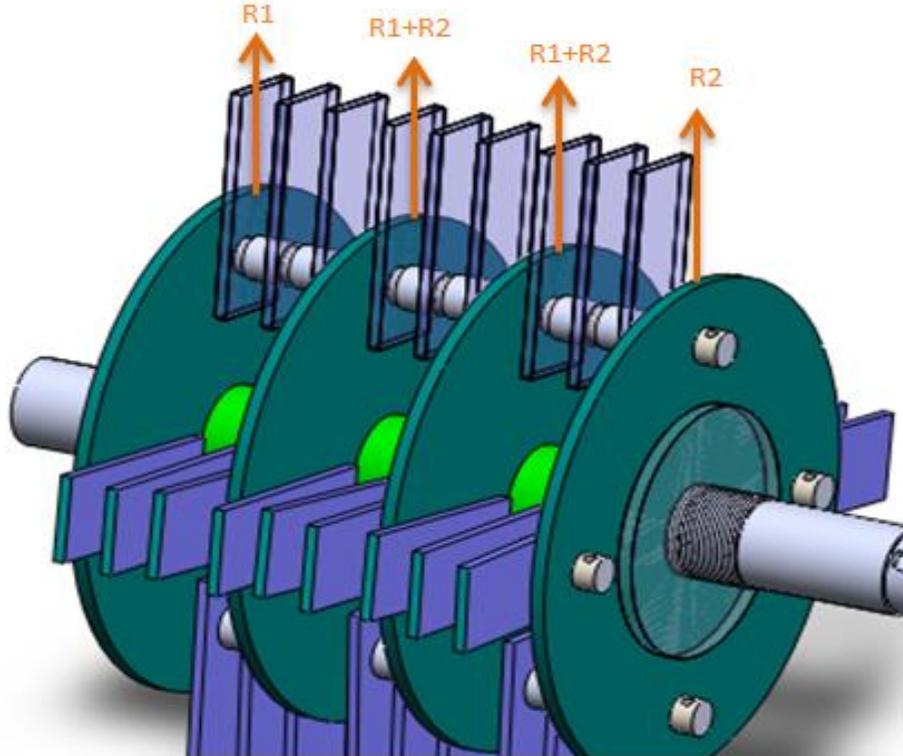


FUNCIÓN

- Para que no exista fricción y choque entre martillos
- Evitar la acumulación de materia triturada entre los martillos.

$$z = 16 \text{ mm}$$

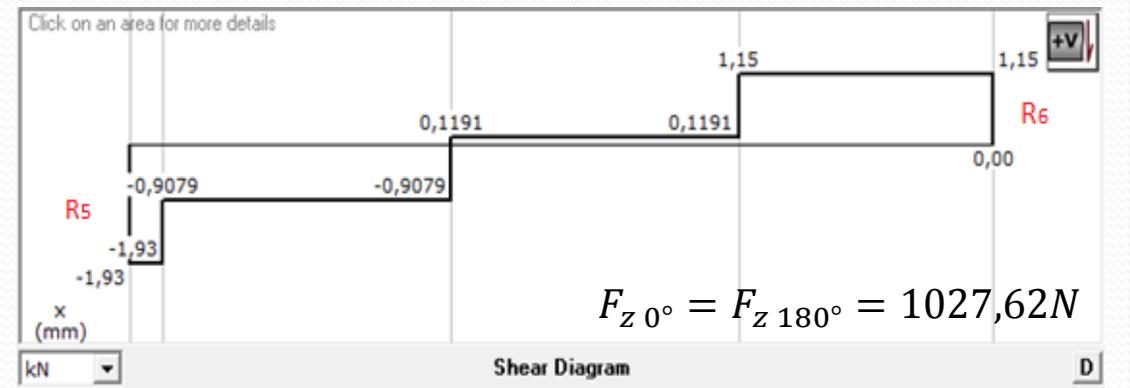
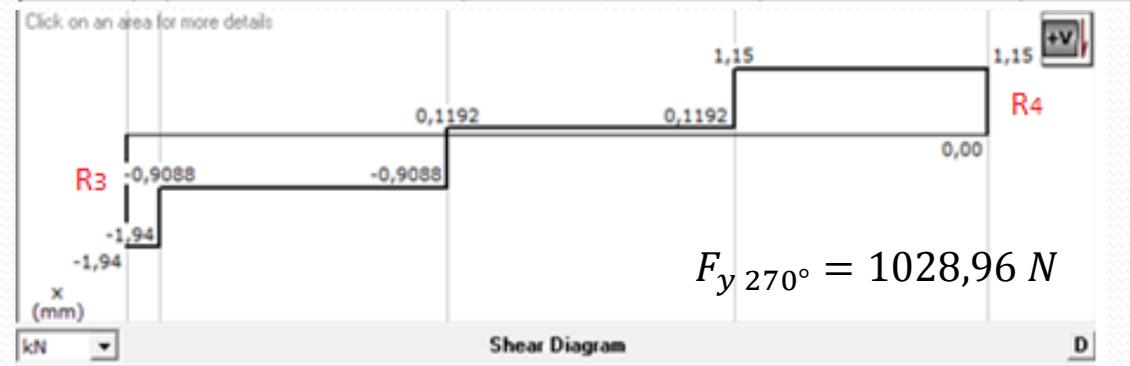
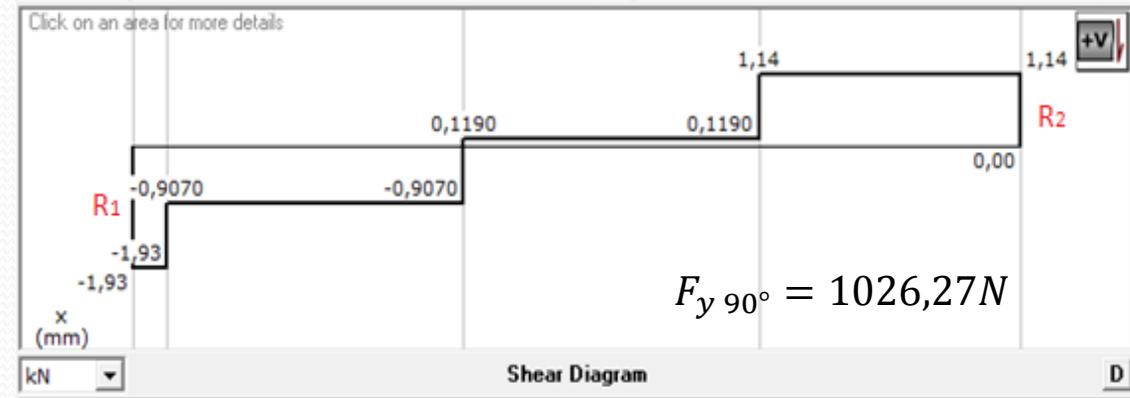
Discos



$$R_{T1} = R_1 + R_2 = 3,07 \text{ KN}$$

$$R_{T2} = R_3 + R_4 = 3,09 \text{ KN}$$

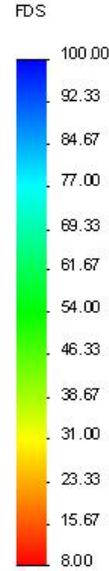
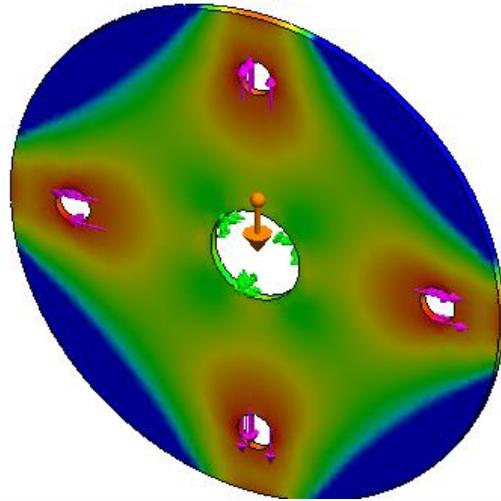
$$R_{T3} = R_5 + R_6 = 3,08 \text{ KN}$$



Análisis de Elementos Finitos

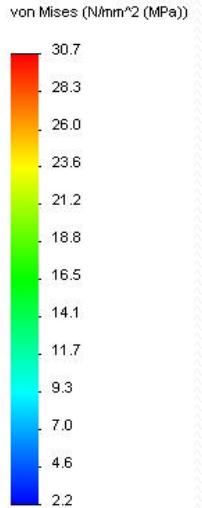
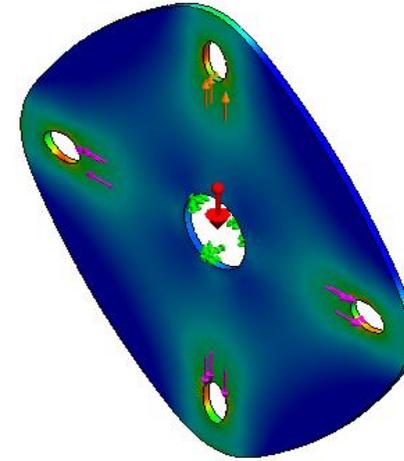
Disco: 22 cm de diámetro y espesor de 4 mm

Nombre de modelo: DISCO DE MARTILLOS
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 8.1



Factor de seguridad

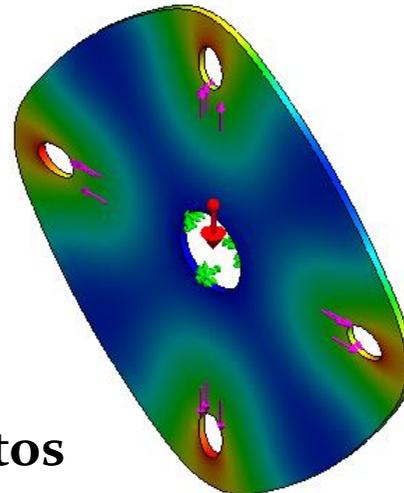
Nombre de modelo: DISCO DE MARTILLOS
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 5516.89



→ Límite elástico: 250.0

Tensiones de Von Mises

Nombre de modelo: DISCO DE MARTILLOS
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 5516.89



Desplazamientos

Potencia del Motor

Potencia en vacío

$$P = \frac{G * R^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta * \eta_m} = 4,53 \text{ Hp}$$

$$P = \frac{0,137 \text{ Kg} * (0,21 \text{ m})^2 * (3000 \text{ rpm})^3 * 36 * 0,00042}{8 * 100000 * 0,85 * 0,8}$$

Energía para triturar

$$E = k * f * \left[\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right] = 0,72 \frac{\text{Hp} * h}{\text{ton.}}$$

$$E = 0,25 \frac{\text{Hp} * h * \text{cm}}{\text{ton.}} * 1,3 * \left[\frac{1}{0,3 \text{ cm}} - \frac{1}{0,9 \text{ cm}} \right]$$

Potencia de carga

$$P_{\text{carga}} = \text{Capacidad} * E = 0,36 \text{ Hp}$$

$$P_{\text{motor}} = 4,89 \text{ Hp}$$

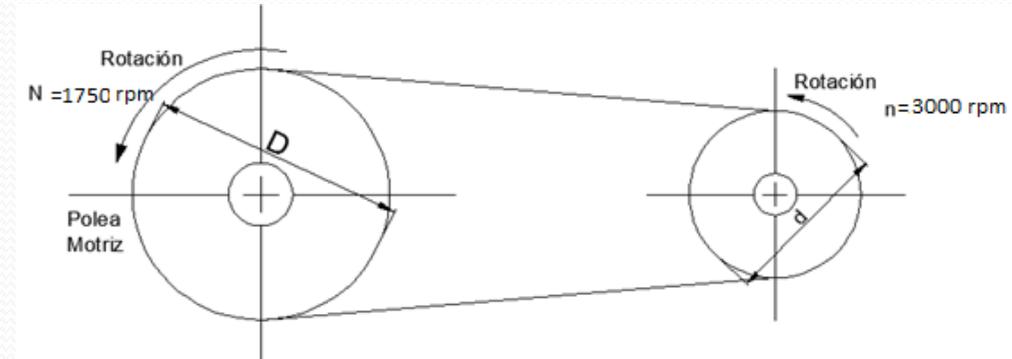
Motor WEG	
Potencia	5 hp - 3,7 Kw
Voltaje	220 V
Corriente nominal	22,2 A
Factor de potencia	0,95
Velocidad	1750 rpm
Eficiencia Ip/In	0,8
Otras características: Motor monofásico de corriente alterna, frecuencia 60 Hz, carcasa blindada.	

Sistema de transmisión de Potencia

$$P_d = P_{motor} * K$$

$$P_d = 5HP * 1,2 = 6 Hp$$

Selección de la correa



$$i = \frac{N}{n} = 1,71 = \frac{D}{d}$$

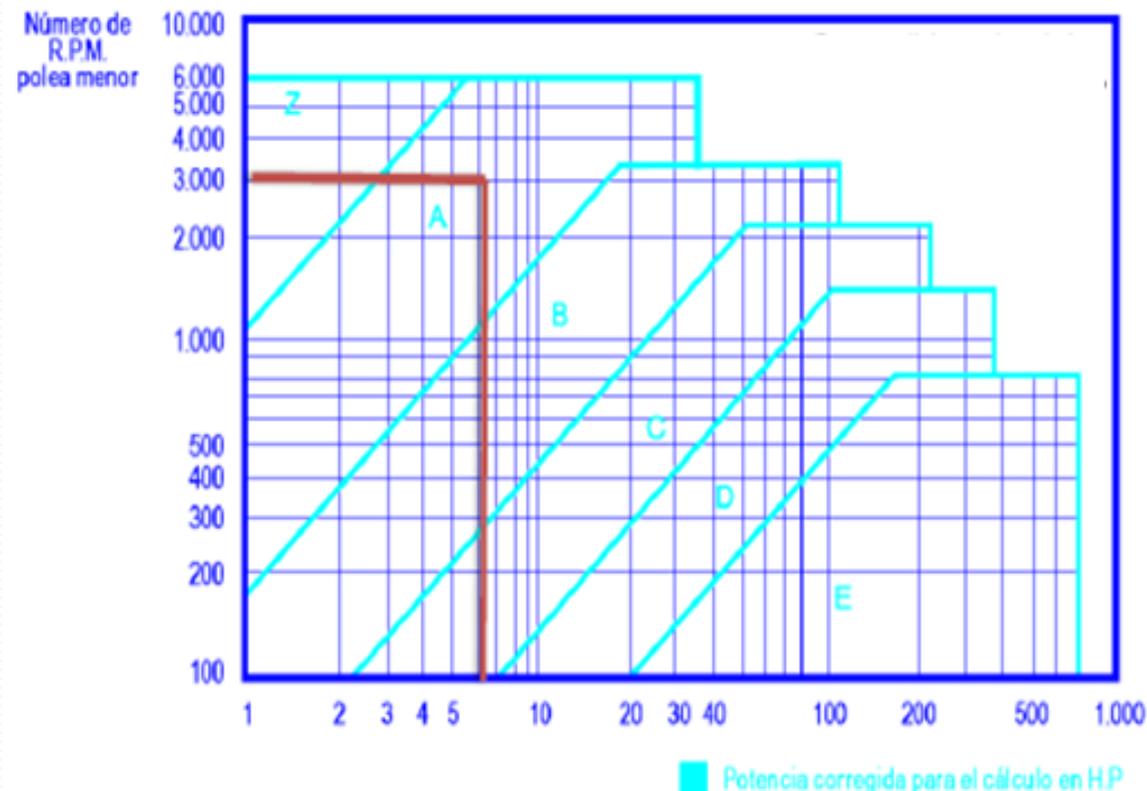
$$i = \frac{6 \text{ in}}{d} \quad \therefore d = 3 \frac{1}{2} \text{ in}$$

Distancia entre centros

$$D < C < 3 * (D + d)$$

$$15,24 \text{ cm} < C < 72,39 \text{ cm}$$

$$C = 40 \text{ cm}$$



Longitud de la banda de transmisión

$$L = 2 * C + 1,57(D + d) + \frac{(D-d)^2}{4*C} = 1181 \text{ mm}$$

De acuerdo a la Longitud la correa → N°45

Ángulo de Contacto

$$\alpha = 180^\circ - 57 \frac{(D - d)}{C} = 171^\circ \approx 175^\circ$$

Número de bandas

$$N_{Bandas} = \frac{P_d}{P_{efectiva}}$$

$$P_{efectiva} = P_{bk} * F_{cl} * F_c$$

P_{bk} : Potencia corregida de la banda

F_{cl} : Factor de corrección de la longitud de la banda
(0,905)

F_c : Factor de corrección del arco de contacto
(0,99)

$$P_{bk} = P_b + P_a = 3,73 \text{ Hp}$$

P_b : Potencia de la banda (3,28 Hp)

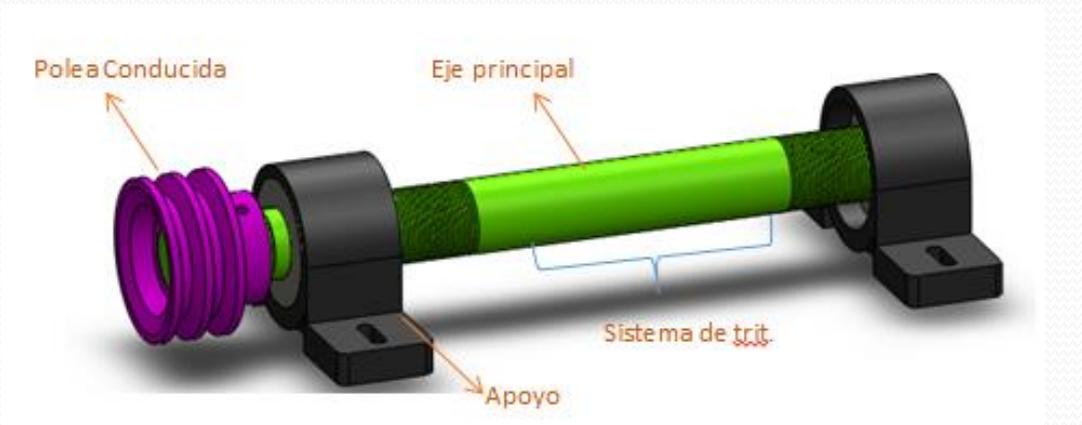
P_a : Potencia adicional por i (0,54 Hp)

$$P_{efectiva} = 3,34 \text{ Hp}$$

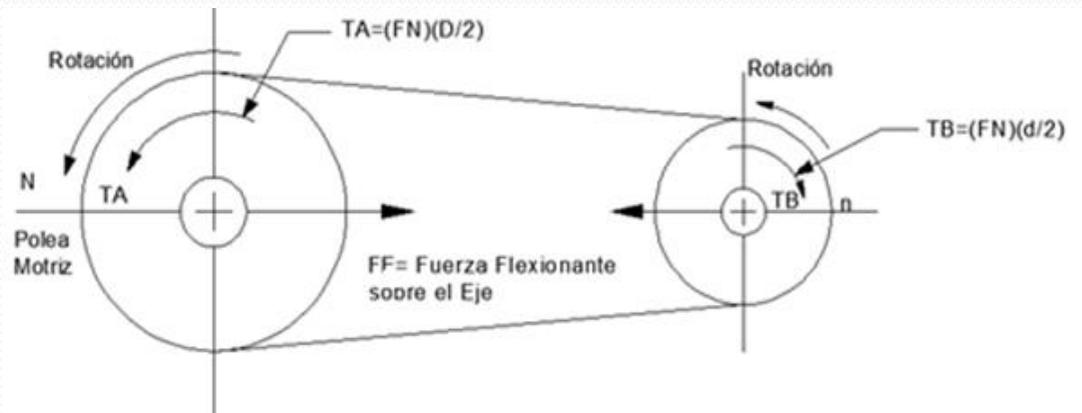
$$N_{Bandas} = 1,79 \approx 2$$

Banda	Tipo	A
	Longitud primitiva	L = 45 in
	Numero de bandas	2
Polea Motriz Conducida	Diámetro Primitivo	D = 6 in
	Diámetro Primitivo	D = 3 $\frac{1}{2}$ in
Sistema de transmisión	Velocidad de entrada	n = 1750 rpm
	Velocidad de salida	N = 3000 rpm
	relación de transmisión	i = 1,71

DISEÑO DEL EJE PRINCIPAL



Fuerzas producidas por las tensiones que se presentan en las poleas.



$$T_B = \frac{P_{motor}}{w_B} = 11,87 \text{ Nm}$$

$$F_N = \frac{T_B}{d/2} = 267,04 \text{ N}$$

$$F_F = 1,5 * F_N = 400,56 \text{ N}$$

$$F_{Fz} = \cos(45) * F_F$$

$$F_{Fy} = \text{sen}(45) * F_F$$

$$F_{Fz} = F_{Fy} = 283,23 \text{ N}$$

Fuerzas del sistema de trituración

$$F_{Y1} = R_3 + W_{disco} = 1957,54 \text{ N}$$

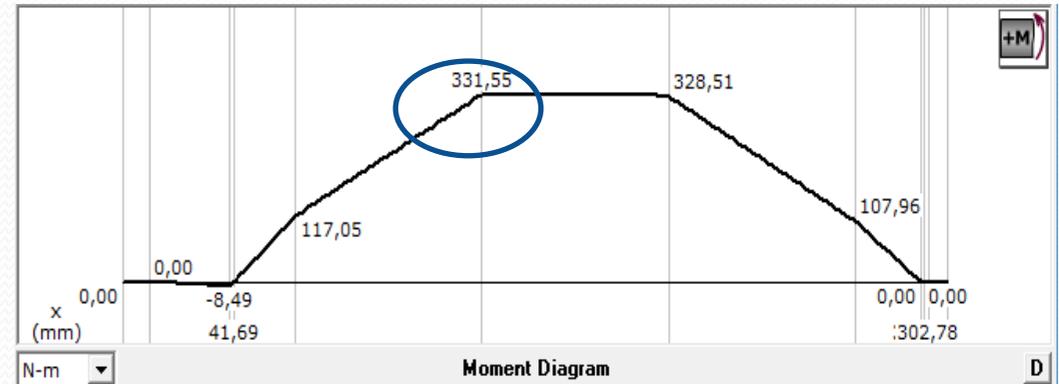
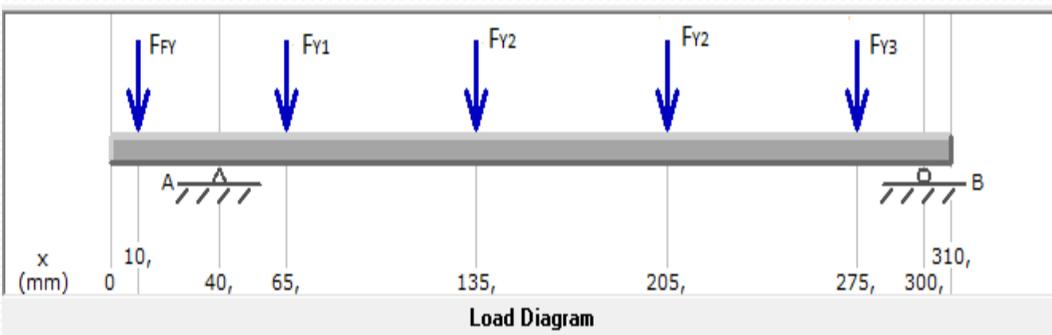
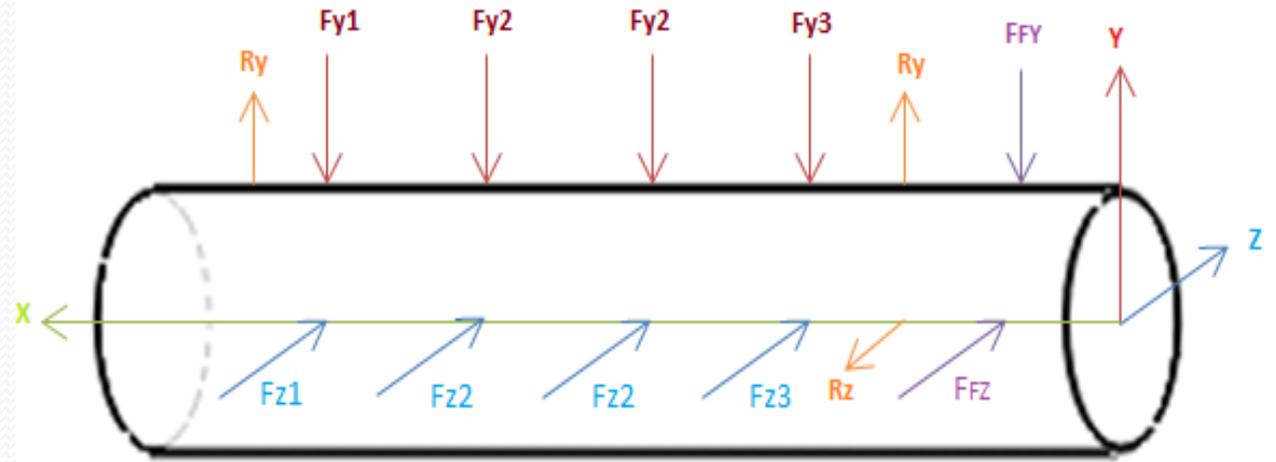
$$F_{Y2} = R_3 + R_4 + W_{disco} = 3107,54 \text{ N}$$

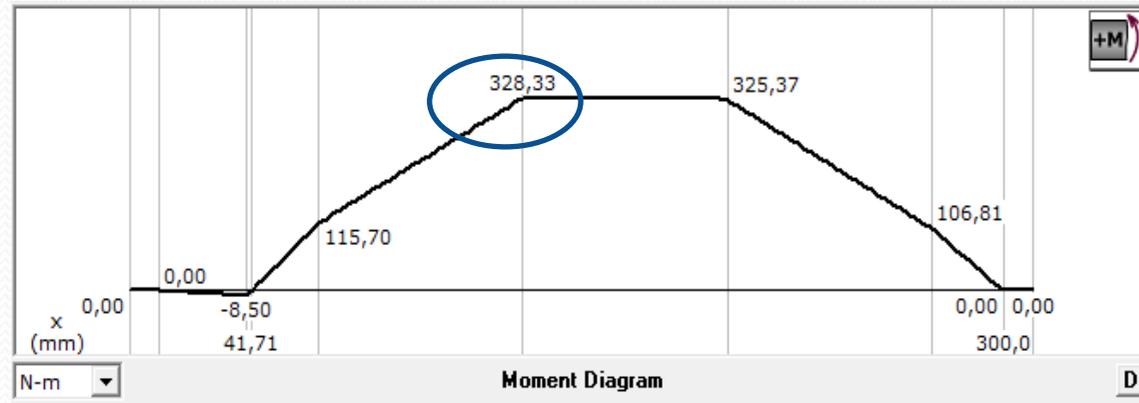
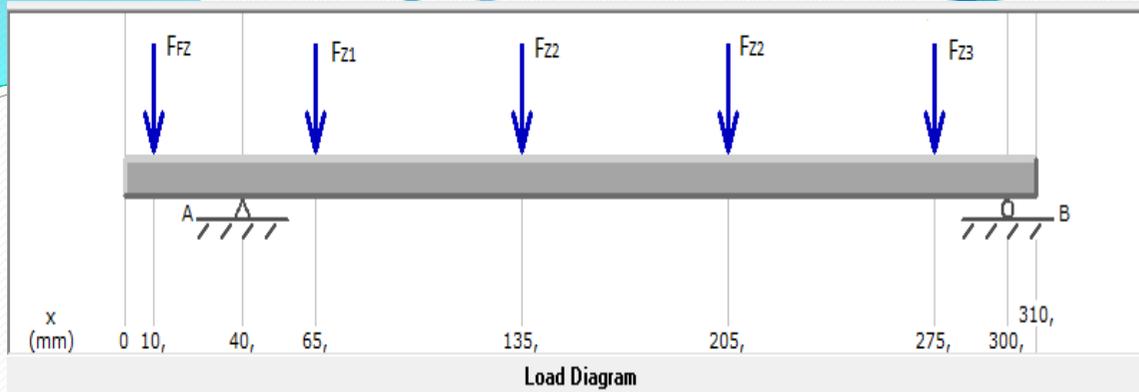
$$F_{Y3} = R_4 + W_{disco} = 1167,54 \text{ N}$$

$$F_{Z1} = R_5 = 1930 \text{ N}$$

$$F_{Z2} = R_5 + R_6 = 3080 \text{ N}$$

$$F_{Z3} = R_6 = 1150 \text{ N}$$





AISI 1018

$$s'_n = s_n * C_m * C_{st} * C_R * C_S$$

s'_n : Resistencia a la fatiga real estimada.

s_n : Resistencia a la fatiga modificada

$s_u = 440 \text{ Mpa}$ y acero estirado en frío

$s_n = 250 \text{ Mpa}$

C_R : Factor de confiabilidad. Para 0,9 de confiabilidad $C_R = 0,9$.

C_S : Factor de tamaño. $C_S = 0,85$

$$M_T = \sqrt{M_{y-x}^2 + M_{z-x}^2} = 465,98 \text{ Nm}$$

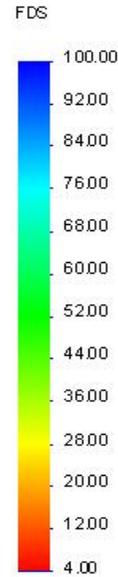
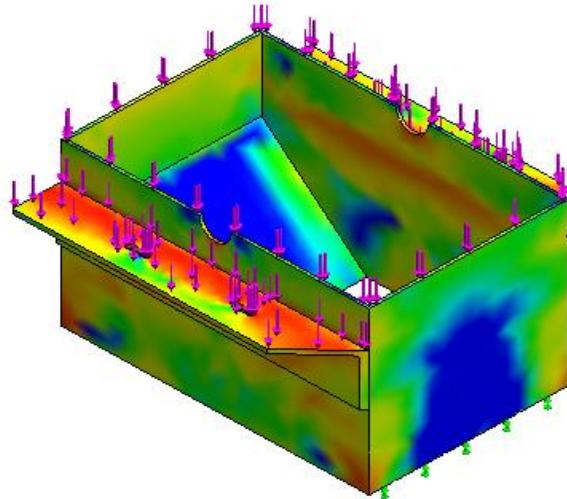
$$D = \left[\frac{32 * N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{s'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D = 40 \text{ mm}$$

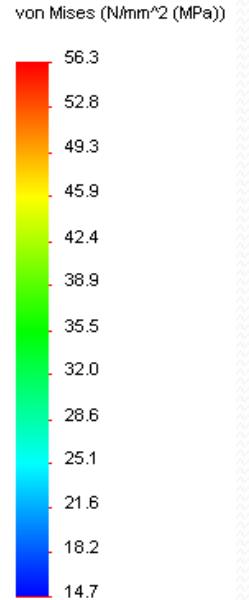
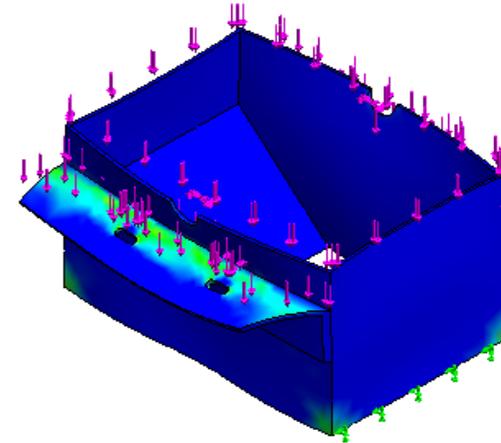
DISEÑO DEL BASTIDOR

$$P = 5.21 \text{ KN}$$

Nombre de modelo: BASTIDOR INFERIOR
Nombre de estudio: Estudio 3
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4.4



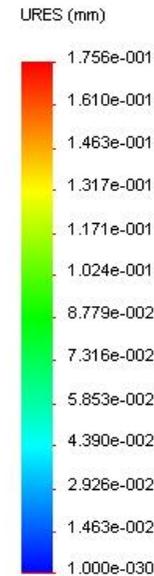
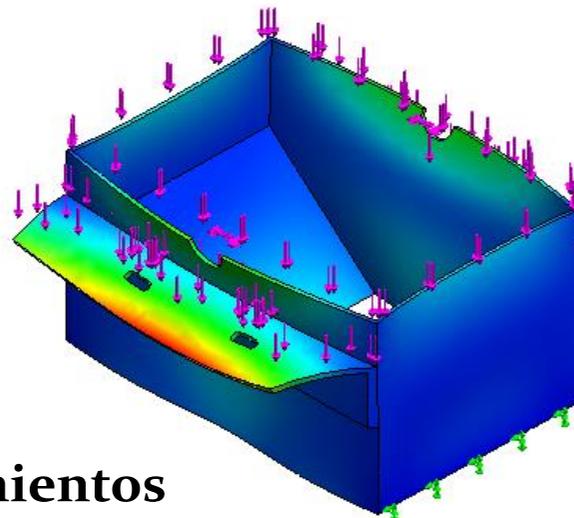
Nombre de modelo: BASTIDOR INFERIOR
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 233.66



→ Límite elástico: 250.0

Factor de seguridad

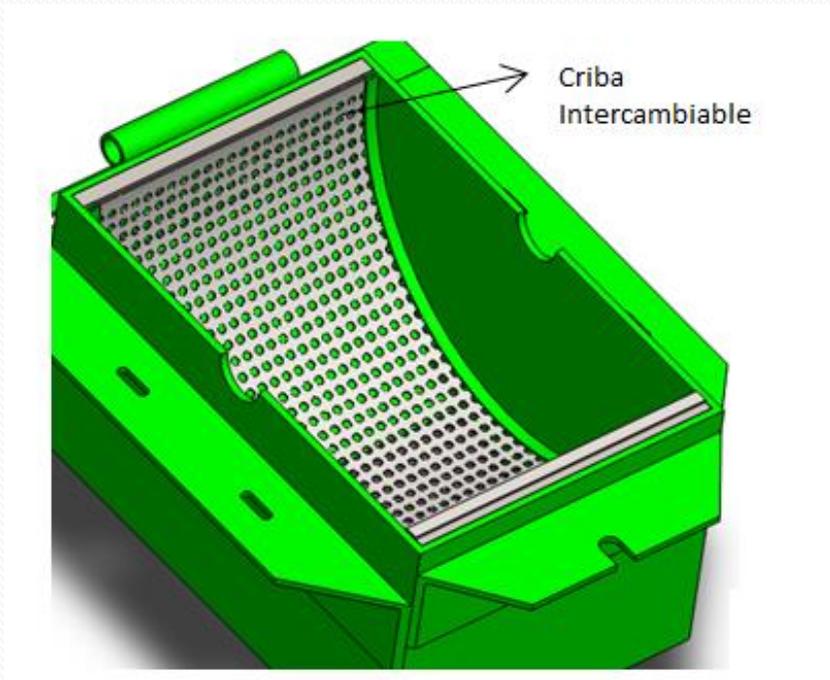
Nombre de modelo: BASTIDOR INFERIOR
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 233.66



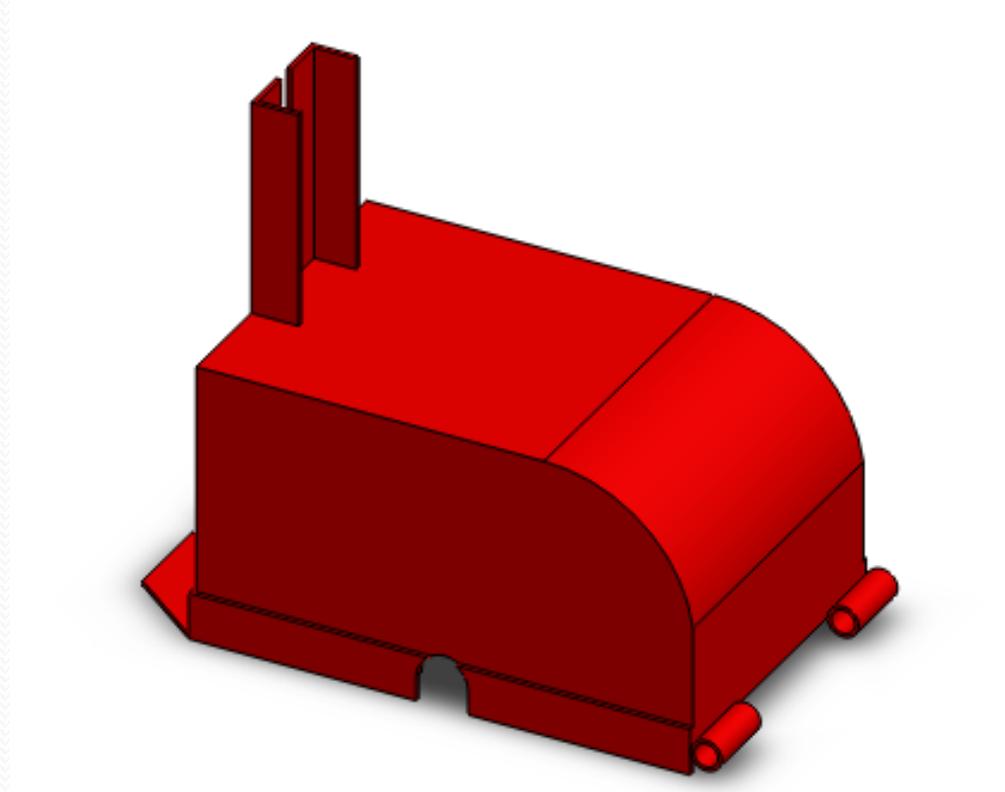
Desplazamientos

Tensiones de Von Mises

Criba y Tapa del Molino

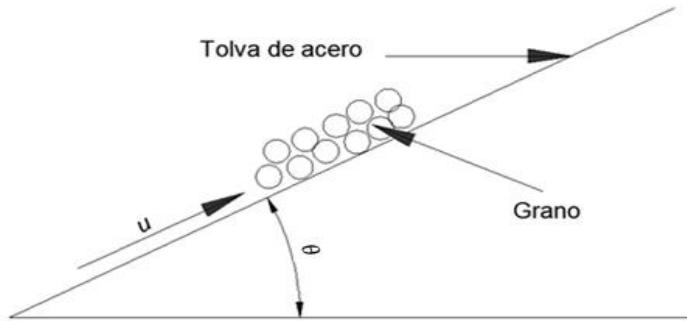


Triturado medio $\frac{1}{4}$ in,
Triturado grueso $\frac{3}{8}$ in.



Forma según la trayectoria de las
partículas

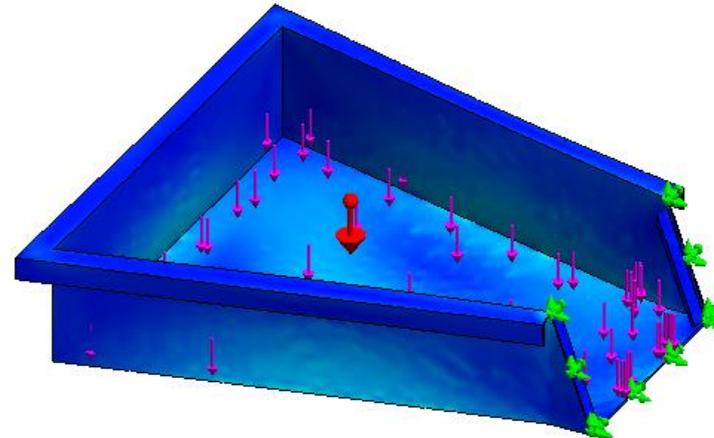
TOLVA DE ALIMENTACIÓN



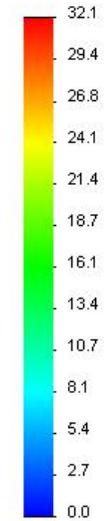
$$\theta = \tan^{-1}(\mu) = 18,7^\circ$$

Espesor 2 mm , $W = 176,4 N$

Nombre de modelo: TOLVA3
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 154.104

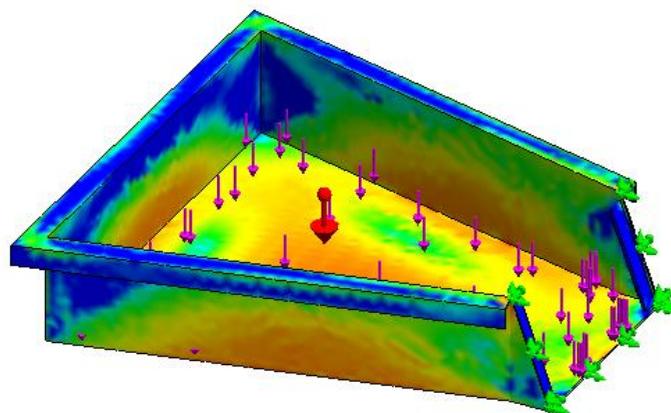


von Mises (N/mm² (MPa))



→ Límite elástico: 250.0

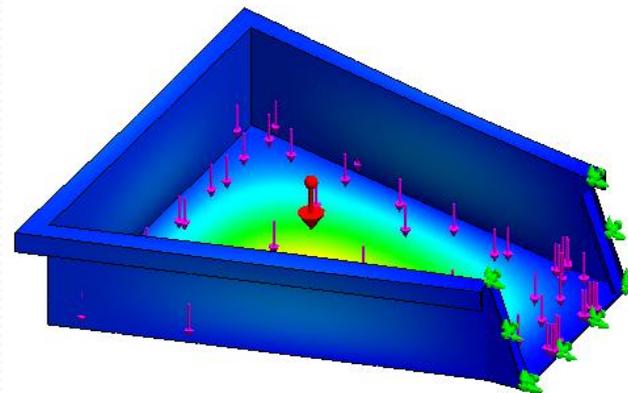
Nombre de modelo: TOLVA3
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 7.8



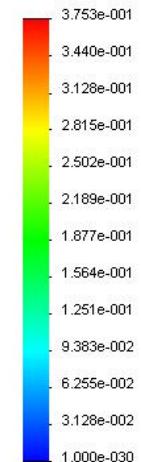
FDS



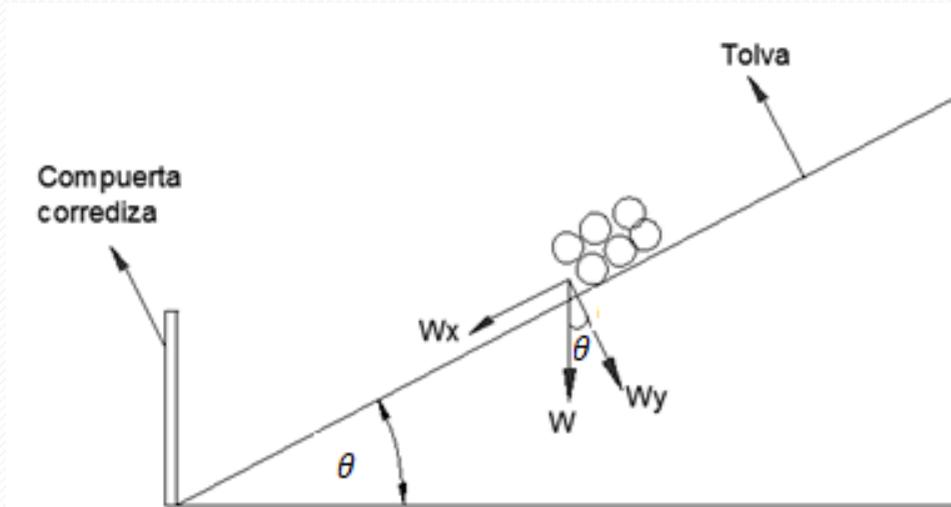
Nombre de modelo: TOLVA3
 Nombre de estudio: Estudio 1
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 154.104



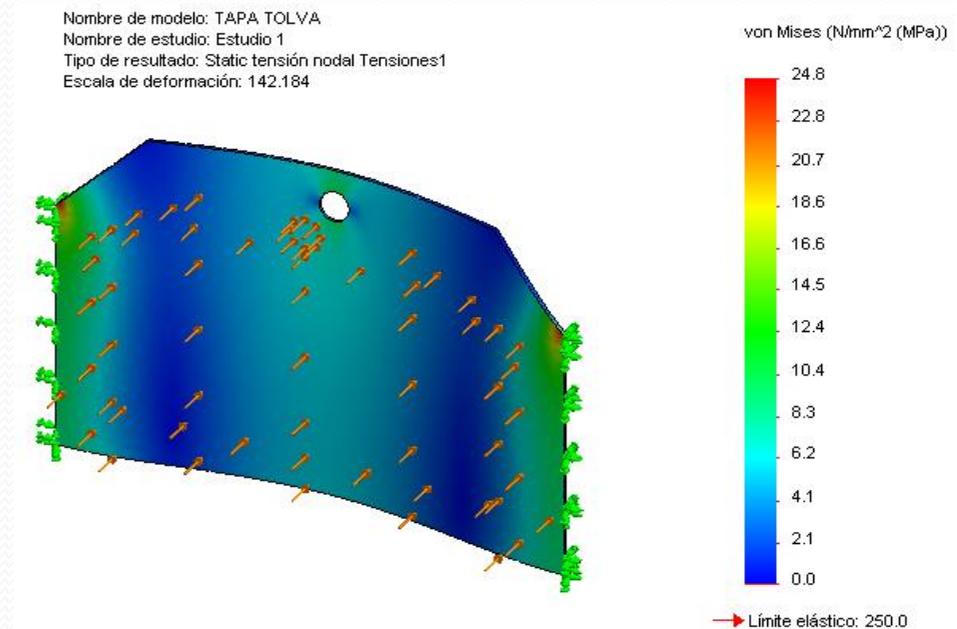
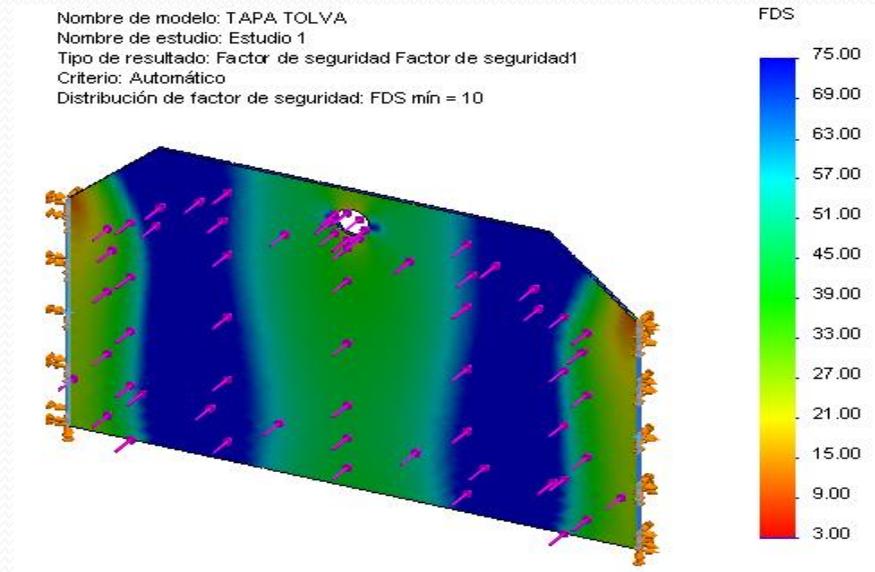
URES (mm)



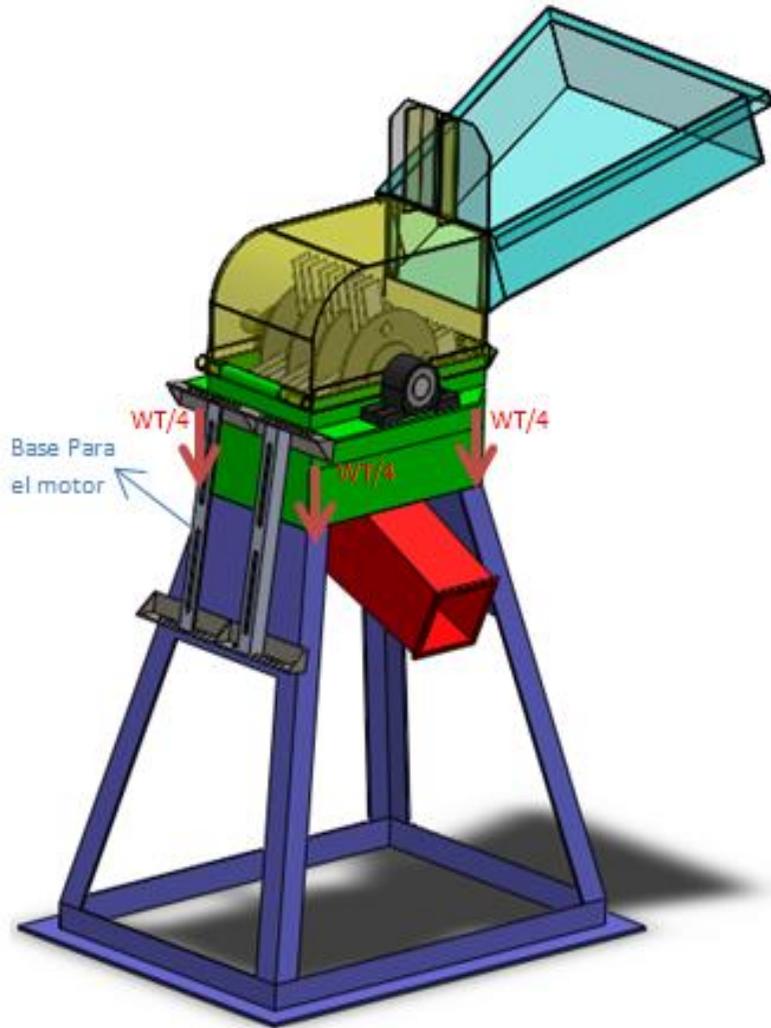
Puerta Reguladora De flujo



$$W_x = W * \sin \theta = 60,28 N$$

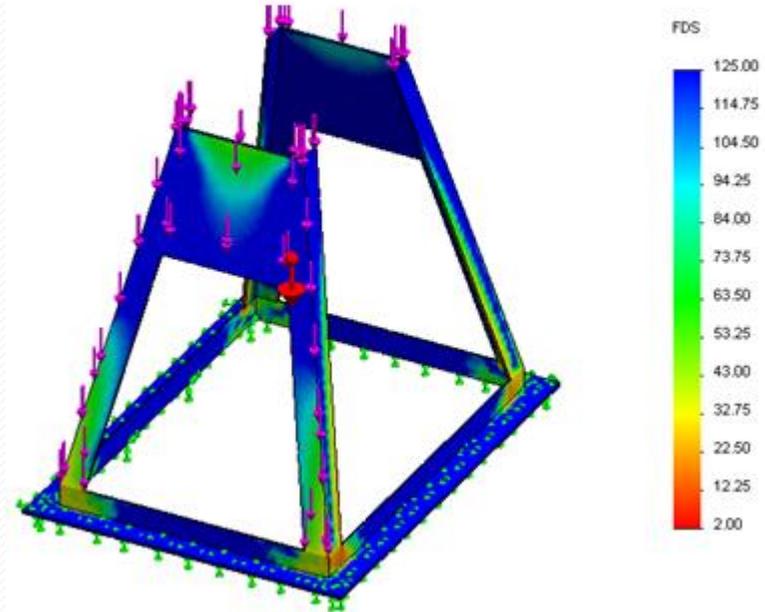


Estructura

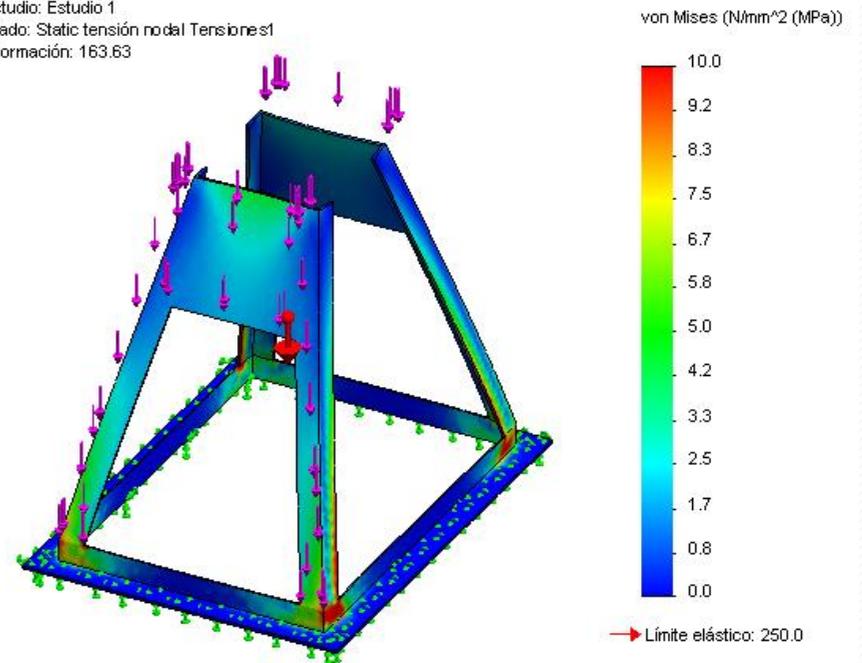


$$W_T = 720 \text{ N} \quad W_T = 220 \text{ N}$$

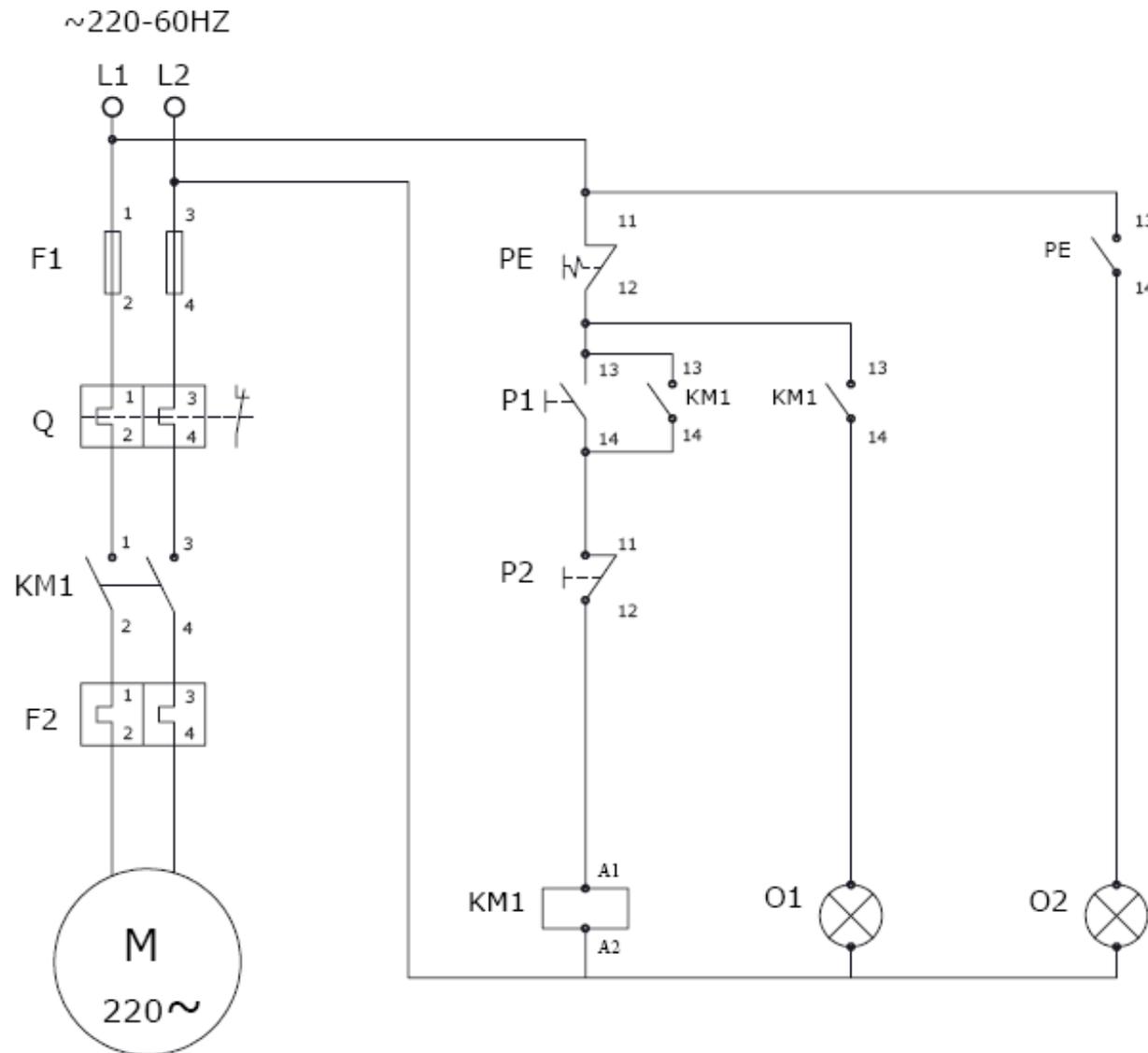
Nombre de modelo: ESTRUCTURA INFERIOR
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.5



Nombre de modelo: ESTRUCTURA INFERIOR NUEVA BIEN
Nombre de estudio: Estudio 1
Tipo de resultado: Static tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 163.63



SISTEMA ELÉCTRICO



Circuito de Fuerza

Circuito de Control

CONCLUSIONES

- Según el análisis financiero realizado, el proyecto de la construcción de un molino de martillos para granjas avícolas si es viable y ayudará en la reducción de costos de producción de las aves, la inversión se recuperará en 2 años.
- El molino diseñado en este proyecto tiene como finalidad, triturar granos para consumo animal; no está apto para consumo humano; si se desease utilizar para consumo humano se debería utilizar acero inoxidable como material primordial en su construcción.

RECOMENDACIONES

- Para el diseño de los elementos del molino de martillos se estableció un factor de seguridad mínimo de 3; para producción a gran escala de molinos de martillos, se recomienda que el factor de seguridad de los elementos diseñados se reduzcan a 3 en lo posible, esto ayudaría a minimizar costos de producción.