

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MOLINO DE ALFALFA DESHIDRATADA DIRIGIDO A LA FUNDACIÓN “AYLLU APU FAA” DEL SECTOR OCCIDENTAL DEL CANTÓN SALCEDO, PROVINCIA DE COTOPAXI - ECUADOR”

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico

Autores: Mosquera Enriquez, Ángel Israel

Ruales Valverde, Alexis Mauricio

Director : Ing. Santillán Mariño, Ernesto Ramiro.

Latacunga

2023



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Debido a los cambios estacionales a lo largo del año, se experimentan periodos de sequía en los que la producción de la alfalfa necesaria para satisfacer la demanda se ve afectada.
- Cuando se cosecha grandes cantidades de alfalfa y se guarda de inmediato, pierden sus propiedades nutritivas debido a la oxidación química que ocurre en esta planta debido a su alto contenido de humedad.
- Si se deja la alfalfa en el terreno durante demasiado tiempo y se la cosecha de manera gradual, irá perdiendo sus nutrientes.
- Necesidad de triturar otros alimentos con el objetivo de tener mayor disponibilidad alimenticia.



Almacenamiento

Disponibilidad

Conservación



Se propone realizar el proceso de molienda de alfalfa y maíz, para lo cual se implementará un molino de martillos para triturar estos alimentos, que sea de mantenimiento básico, tenga repuestos de fácil acceso y bajo costo para los pequeños productores.



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Diseñar e implementar un molino de alfalfa deshidratada y granos de maíz dirigido a la fundación “AYLLU APU FAA” del sector occidental del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi – Ecuador.



- Determinar las características y alternativas del proceso de molienda para el troceado de alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Realizar un análisis de factibilidad para la fabricación de un molino de alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Utilizar una metodología de diseño para el desarrollo de un molino para la producción de alfalfa y maíz troceado.
- Obtener la documentación técnica y diseño del sistema mediante software CAD.
- Establecer un escenario de cargas para el análisis mecánico, utilizando software computacional.
- Construir el molino de alfalfa deshidratada y granos de maíz.
- Someter la máquina realizada bajo los protocolos de pruebas para su validación.



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CARACTERÍSTICAS DE LA ALFALFA Y MAÍZ



Las plantaciones de alfalfa y maíz tienden a darse en climas templados, áridos, con inviernos fríos, veranos secos y cálidos en suelos arcillosos y profundos.

Elemento	Alfalfa	Maiz
Calorias	23 kcal	365 kcal
Humedad	76.70%	14 %
Proteinas	4 g	9.5 %
Carbohidratos	3.78 g	78.5%
Grasas	0.7 g	4 %



- ✓ Alta productividad
- ✓ Crecimiento constante
- ✓ 4 toneladas de alfalfa por hectárea
- ✓ 9.5 toneladas de maíz por hectárea

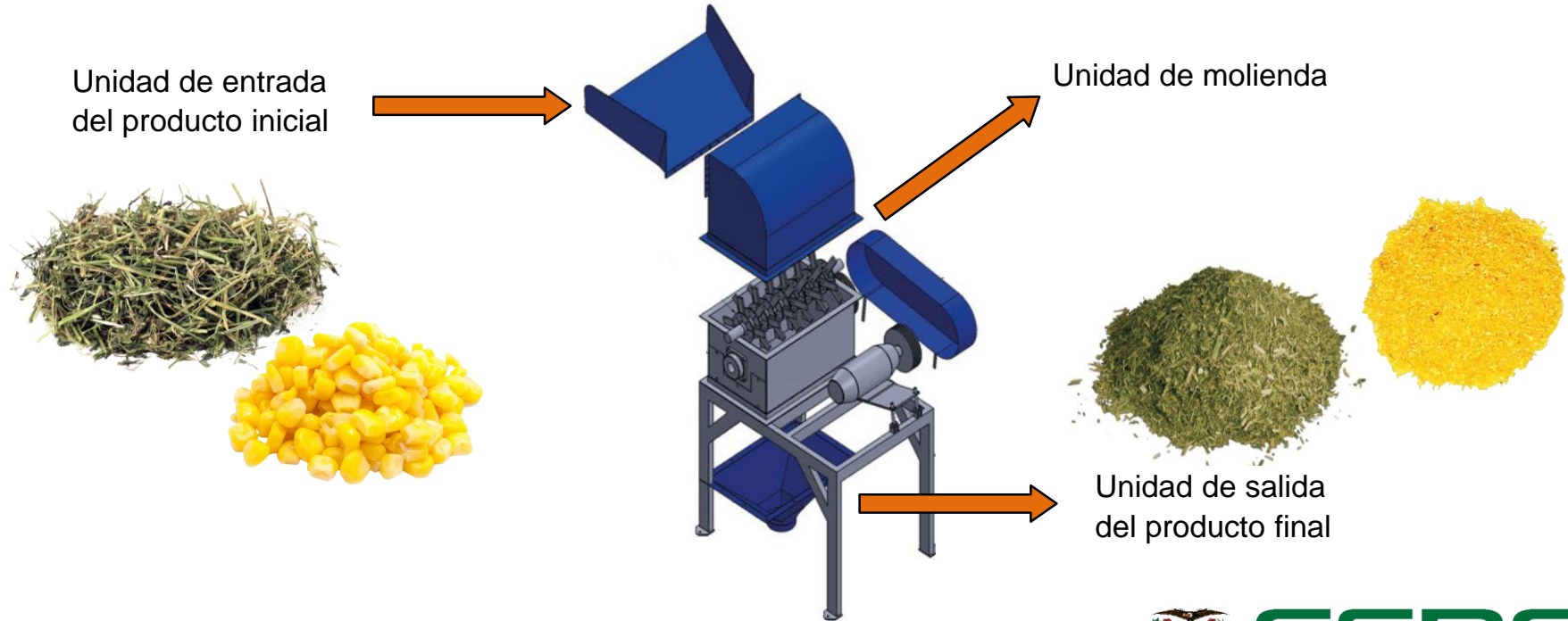
-Altura de la alfalfa entre 30 a 60 cm.
-Tallos delgados de 4mm de espesor.


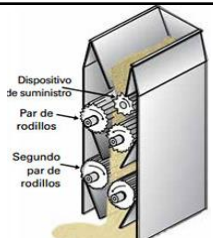

-El grano de maíz puede llegar a medir 17 mm de longitud y entre 4-6 mm de ancho.

- ✓ Mayor digestibilidad
- ✓ Mayor eficiencia en el consumo de energía
- ✓ Control de alimentación



En la siguiente figura se observa las tres unidades que posee un sistema de molienda de materiales, se toma como base para el diseño y construcción del molino.



Tipo	Funcionamiento	Característica	Figura
Molino de disco	El material cae entre dos discos dispuestos de manera vertical, uno de los discos es giratorio y se mueve contra el otro fijo generando presión y fricción.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Trituración fina. ▪ Baja capacidad de molienda. ▪ Nivel medio para mantenimiento ▪ Fácil limpieza. ▪ Cámara reducida 	
Molino de rodillos	El material cae a una cubeta interna, donde se encuentran dos rodillos metálicos que giran a alta velocidad en direcciones opuestas y a una cierta distancia.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Facilidad en la selección del grosor de molienda. ▪ Ideal para materiales duros ▪ Nivel medio para el mantenimiento. ▪ Alto costo de los rodillos. 	
Molino de martillos	El material caerá sobre estos martillos, que pueden ser de tipo fijo u oscilante, los martillos giran a alta velocidad, impactando y triturando el material.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Alta capacidad de molienda. ▪ Fácil de operar y mantener. ▪ Fácil y rápida limpieza ▪ Cámara de gran tamaño ▪ Bajo costo ▪ Ideal para materiales blandos 	



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



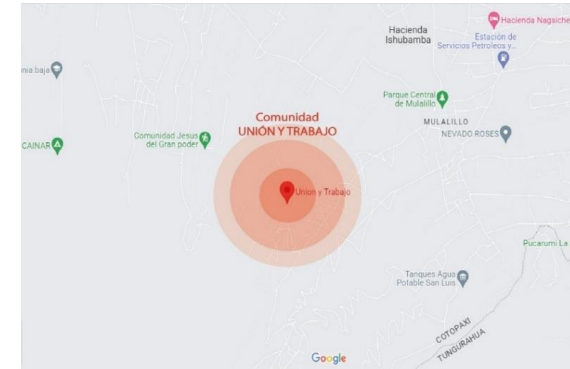
Encuestas realizadas a los productores de la comunidad “Unión y Trabajo” ubicada en la parroquia de Mulallillo del cantón Salcedo. Para un universo de 18 productores el tamaño de muestra es de 15.

Datos

- La comunidad cuenta aproximadamente con 62210 m² de sembríos de alfalfa.
- La frecuencia de cosechas totales se realiza en un promedio de mes y medio.
- Solo un 13% de la comunidad realiza un proceso de deshidratado de alfalfa.
- Disposición de un 56,7% de alfalfa para el proceso de molienda
- Cada persona utiliza un promedio de 85,3 Kg/día de alimento (Alfalfa y Maíz)

Detalles a tomar en cuenta

- Grano de molienda medio
- Costo bajo de la máquina (500-1000 USD)
- Fácil operación de la máquina.
- Fácil limpieza y mantenimiento.
- Fácil movilización
- Nivel de voltaje (110V – 220V)



Producción de alfalfa

La comunidad “Unión y Trabajo” cuenta con extensas áreas de sembríos de alfalfa y maíz.

Económico

Principal fuente de ingresos provenientes de la actividad agropecuaria.

Entorno

Las condiciones climatológicas son adecuadas para producción de alfalfa y maíz.

Ganadería

Alimentación de los animales rumiantes más eficiente en época de sequía

Empleo

Incentivar al incremento de más sembríos de alfalfa en terrenos sin utilizar.

Forma de venta	Precio en baja demanda	Precio en alta demanda
Alfalfa fresca (40 Kg)	\$6	\$7
Pacas de alfalfa deshidratada (40Kg)	\$10	\$14
Costal de alfalfa troceada (40Kg)	\$18	\$22
Cubos de alfalfa (40Kg)	\$26	\$28
Costal de Pellets (40Kg)	\$32	\$38



Voz del usuario

Barato

Liviana

Fácil de funcionar

Móvil

Pequeña

Fácil limpieza

Grosor de grano medio

Molienda rápida

Mucha cantidad (producto triturado)

Voz del ingeniero

Gama media de materiales

Densidad de materiales

Sistema de operación sencillo

Piezas desmontables

Dimensiones de la máquina

Estructura de fácil acceso

Tamaño de cribas

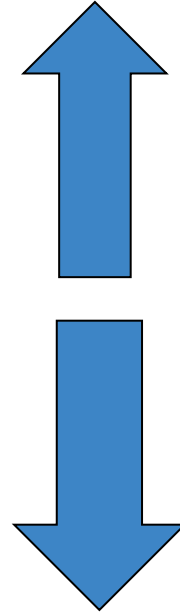
Número de martillos

Motor eléctrico



Necesidades del cliente

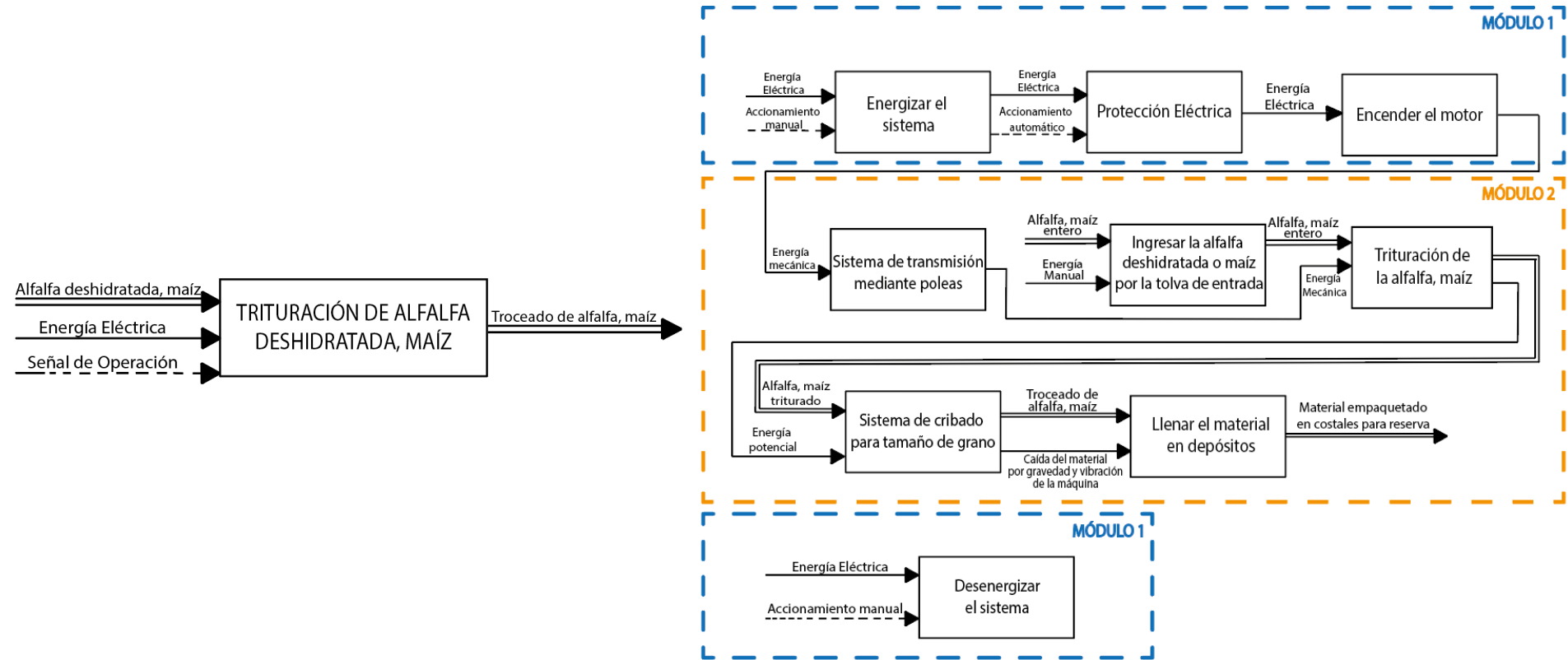
Barato	17%
Móvil	17%
Molienda rápida	14%
Mucha cantidad	14%
Fácil de funcionar	13%
Liviano	9%
Grosor de grano medio	9%
Fácil limpieza	4%
Pequeña	3%

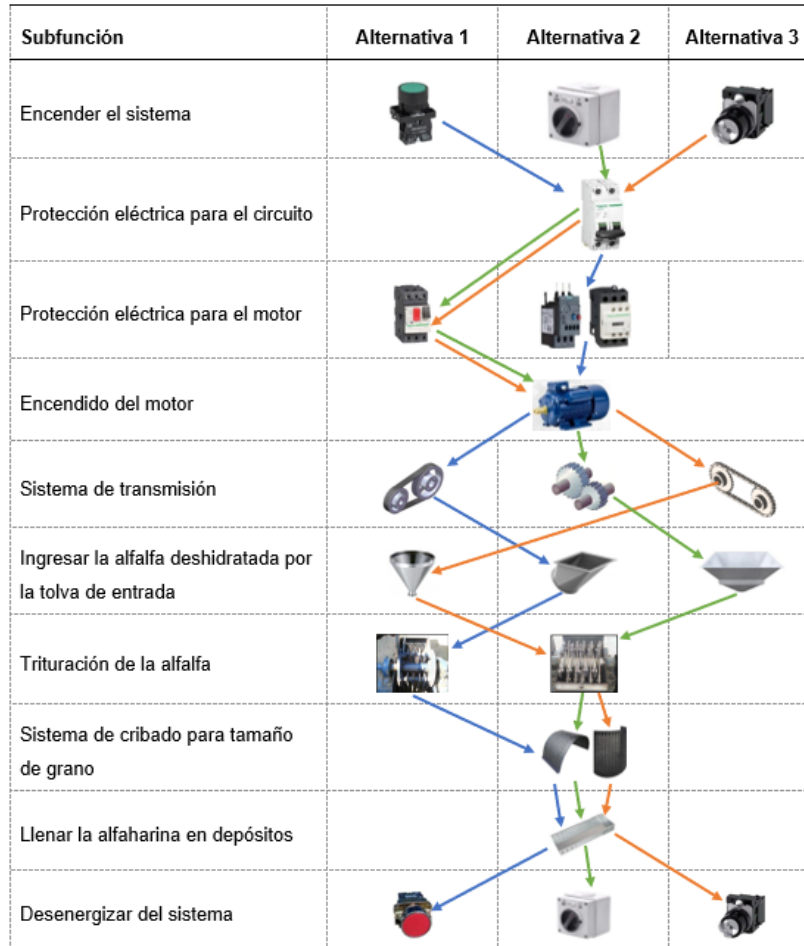


Requerimientos funcionales

Motor eléctrico	27%
Número de martillos	21%
Piezas desmontables	11%
Densidad de materiales	10%
Gama media de materiales	9%
Dimensiones de la máquina	9%
Sistema de operación sencillo	7%
Tamaño de cribas	6%
Estructura de fácil acceso	2%







Método ordinal corregido de criterios ponderados

Alternativa	Gama media de materiales	Densidad de materiales	Sistema de operación sencillo	Piezas desmontables	Dimensiones de la máquina	Estructura de fácil acceso	Tamaño de cribas	Número de martillos	Motor eléctrico	$\Sigma+1$	Prioridad
1	0.417	0.500	0.500	0.500	0.417	0.500	0.333	0.500	0.333	5	1
2	0.333	0.250	0.250	0.167	0.167	0.167	0.333	0.250	0.333	3.25	3
3	0.250	0.250	0.250	0.333	0.417	0.333	0.333	0.250	0.333	3.74	2

Selección de alternativa

La alternativa que tiene más poderación es la número 1, ya que cumple con los requerimientos del usuario tanto en el ambito económico, funcional y productivo.



Capacidad de molienda

Área sembríos alfalfa

$$A_{sem,alfalfa} = 62210 \text{ m}^2 = 6.2 \text{ hectáreas}$$

Porcentaje destinado para deshidratado y molienda 56.67%

$$A_{alfalfa,disponible} = 36100 \text{ m}^2 \approx 3.7 \text{ hectáreas}$$

Masa de alfalfa

$$m_{alfalfa/hectarea} = 4 \frac{\text{toneladas}}{\text{hectárea}}$$

$$m_{alfalfa/hectarea} = 4000 \frac{\text{Kg}}{\text{hectárea}}$$

$$m_{alfalfa,dispuesta} = 4000 \frac{\text{Kg}}{\text{hectárea}} * 3.7 \text{ hectárea}$$

$$m_{alfalfa,dispuesta} = 14800 \text{ Kg}$$

Cantidad de materia seca %

$$m_{alfal,deshidra} = 14800 \text{ Kg} * \frac{90\%}{100\%}$$

$$m_{alfal,deshidra} = 13320 \text{ Kg}$$

Consideración de proyección

$$m_{alfal,Total} = 13320 \text{ Kg} * 1.2$$

$$m_{alfal,Total} = 15984 \text{ Kg} \approx 16000 \text{ Kg}$$

$$Q_{molienda,alfal} = \frac{16000 \text{ Kg}}{12 \text{ dias laborales}}$$

$$Q_{molienda,alfal} = 1333.33 \frac{\text{Kg}}{\text{dia, laboral, molienda}}$$

$$Q_{molienda,alfal} = 1333.33 \frac{\text{Kg}}{\text{dia, laboral, molienda}} * \frac{1 \text{ dia, laboral, molienda}}{270 \text{ min}}$$

$$Q_{molienda,alfal} = 4.94 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \approx 5 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

$$300 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$



DISEÑO DEL MOLINO DE MARTILLOS

Cálculo del número de martillos necesario



El volumen de un fardo de alfalfa de 20 Kg tiene las dimensiones de 85cm x 40cm x 40cm.

$$\left\{ \begin{aligned} V_{fardo} &= 85\text{cm} * 40\text{cm} * 40\text{cm} \\ V_{fardo(20Kg)} &= 136000\text{cm}^3 \end{aligned} \right.$$

Densidad - fardo de alfalfa

$$\rho_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{20000\text{ g}}{136000\text{ cm}^3}$$

$$\rho_{fardo,alfalfa,seca} = 0.147 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Volumen específico – fardo alfalfa

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{1}{\rho_{fardo,alfalfa,seca}}$$

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = \frac{1}{0.147 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$v_{fardo,alfalfa,seca} = 6.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$$

Capacidad de molienda volumétrica

$$Q_{molienda,vol} = Q_{molienda,alfal} * \rho_{fardo,alfalfa,seca}$$

$$Q_{molienda,vol} = 5000 \frac{\text{g}}{\text{min}} * 6.8 \frac{\text{cm}^3}{\text{g}}$$

$$Q_{molienda,vol} = 34000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

Capacidad de molienda por rev.

Alfalfa

$$Q_{molienda,rev} = \frac{Q_{molienda,vol}}{\omega_{molino}}$$

$$Q_{molienda,rev} = \frac{34000 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{3000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$Q_{molienda,rev} = 11.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

Maíz

$$Q_{molienda,rev} = \frac{Q_{molienda,vol}}{\omega_{molino}}$$

$$Q_{molienda,rev} = \frac{7375 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}}{3000 \frac{\text{rev}}{\text{min}}}$$

$$Q_{molienda,rev} = 2.46 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

Capacidad molienda total

$$Q_{molienda,total} = 11.3 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} + 2.46 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

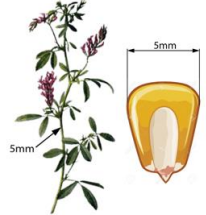
$$Q_{molienda,total} = 13.76 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}}$$

Grado de pulverización

$$i = \frac{L}{l}$$

$$i = \frac{5\text{ mm}}{3\text{ mm}}$$

$$i = 1.67$$



Número de martillos

$$\#martillos_{molino} = Q_{molienda,rev} * i$$

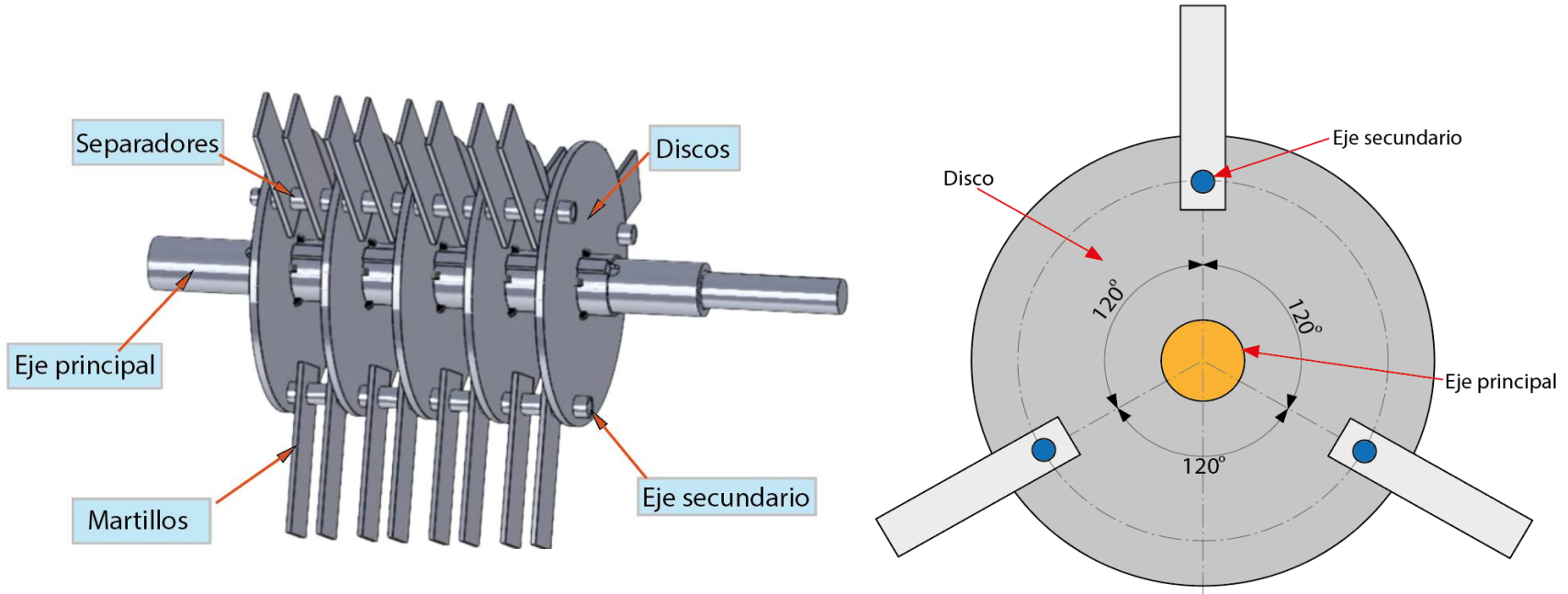
$$\#martillos_{molino} = 13.76 \frac{\text{cm}^3}{\text{rev}} * 1.67$$

$$\#martillos_{molino} = 22.98 \text{ martillos}$$

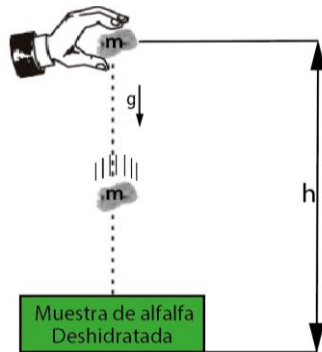
24 martillos



Distribución del conjunto triturador (ejes, martillos, discos y separadores)



Ensayo de Charpy

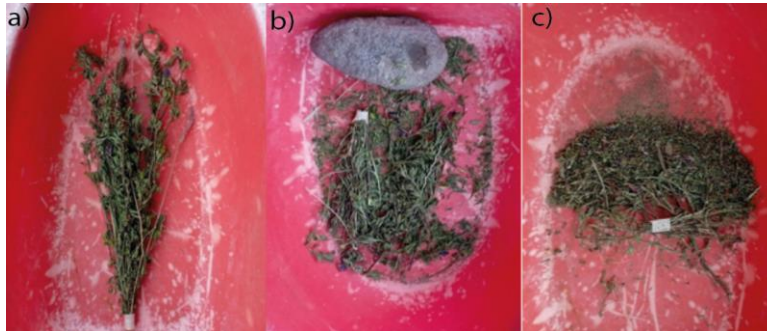


Energía de ruptura

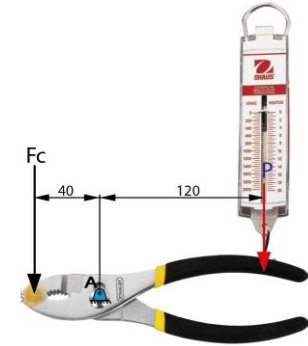
$$E_{rup} = m_p * g * h$$

$$E_{rup} = (2.012 \text{ Kg}) * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) * (0.40\text{m})$$

$$E_{rup} = 7.896 \text{ Nm}$$



Determinación fuerzas de corte



$$\sum M_A = 0$$

$$F_c * 0.04\text{m} - P * 0.12\text{m} = 0$$

$$F_c = \frac{P * 0.12\text{m}}{0.04\text{m}}$$

$$F_c = \frac{15\text{N} * 0.12\text{m}}{0.04\text{m}}$$

$$F_c = 45\text{N}$$



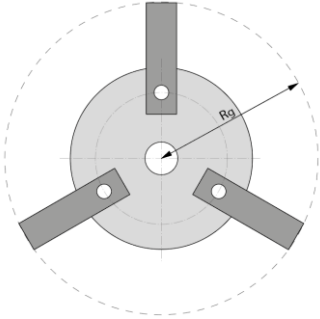
Cálculo de la masa del martillo

Radio de giro

$$R_g = \frac{V_t}{\omega_{eje}}$$

Energía de ruptura

$$E_{rup} = \frac{1}{2} * m_h * v_t^2$$



$$v_t = \sqrt{\frac{2 * E_{rup}}{m_h}}$$

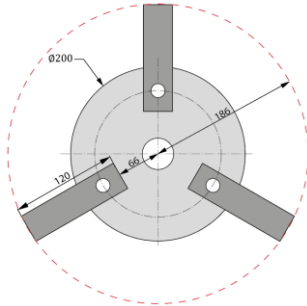
$$v_t = \sqrt{\frac{2 * 7.896 \text{ N.m}}{0.004 \text{ Kg}}}$$

$$v_t = 62.833 \frac{m}{s}$$

$$R_g = \frac{62.833 \frac{m}{s}}{3000 \frac{rev}{min} * \frac{2\pi rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s}}$$

$$R_g = 0.20 \text{ m}$$

Martillos
120 mm de longitud



Aceleración angular

$$\omega_{eje}^2 = \omega_o^2 + 2\alpha * (\theta - \theta_o)$$

$$\alpha = \frac{\omega_{eje}^2 - \omega_o^2}{2(\theta - \theta_o)}$$

$$\alpha = \frac{\omega_{eje}^2}{2\theta}$$

$$\alpha = \frac{(314.16 \text{ rad/s})^2}{2(6.28 \text{ rad})}$$

$$\alpha = 7858 \frac{rad}{s^2}$$

Fuerza corte

$$F_c = \frac{I_m * \alpha}{L_m}$$

Inercia

$$I_m = \frac{1}{3} * m_m * L_m^2$$

$$m_m = \frac{3 * F_c}{L * \alpha}$$

$$m_m = \frac{3 * 45 \text{ N}}{0.12 \text{ m} * 7858 \frac{rad}{s^2}}$$

$$m_m = 0.143 \text{ Kg}$$

Peso del martillo

$$W_{martillo} = m_{martillo} * g$$

$$W_{martillo} = 0.143 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{martillo} = 1.40 \text{ N}$$

Geometría del martillo

Características platina

Espesor	4 mm
Largo total	6 m
Masa lineal	1.193 kg/m
Sy	250 MPa

$$m_{platina} = 1.193 \frac{kg}{m} * 6 \text{ m}$$

$$m_{platina} = 7.158 \text{ Kg}$$

$$\rho_{platina} = \frac{7.158 \text{ Kg}}{(6x0.038x0.004) m^3}$$

$$\rho_{platina} = 7848.684 \frac{kg}{m^3}$$



Ancho del martillo

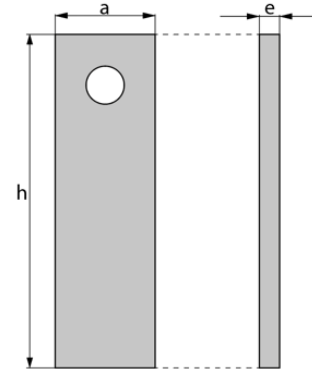
$$m_{martillo} = \rho * V$$

$$V = a * e * h$$

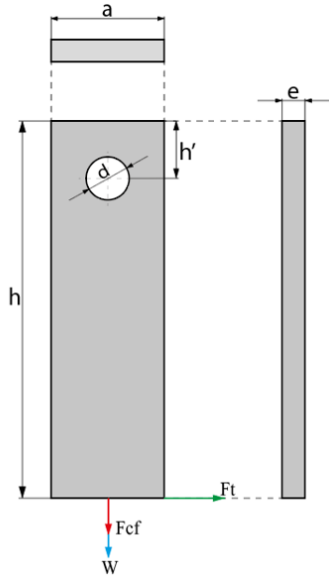
$$a = \frac{m_{martillo}}{\rho * h * e}$$

$$a = \frac{0.143 \text{ kg}}{7848.68 \frac{kg}{m^3} * 0.12 \text{ m} * 0.004 \text{ m}}$$

$$a = 0.038 \text{ m}$$



Fuerzas y esfuerzos que actúan en el martillo de trituración ASTM A36, $S_y = 250 \text{ MPa}$



Fuerza centrífuga

$$F_{cf} = \omega^2 * m_{martillo} * (h - h')$$

$$F_{cf} = \left(314.16 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right)^2 * 0.143 \text{ kg} * (0.12\text{m} - 0.02\text{m})$$

$$\underline{F_{cf} = 1411.360 \text{ N}}$$

Fuerza resultante

$$F_{Ry} = F_{cf} + W_m$$

$$F_{Ry} = 1411.360 \text{ N} + 1.40 \text{ N}$$

$$\underline{F_{Ry} = 1412.76 \text{ N}}$$

Esfuerzo tracción

$$\sigma = \frac{F_{Ry}}{A}$$

$$\sigma = \frac{1412.763 \text{ N}}{(0.038 * 0.004)\text{m}^2}$$

$$\sigma = 9294493.421 \text{ Pa}$$

$$\underline{\sigma = 9.294 \text{ MPa}}$$

Factor de seguridad

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

$$N = \frac{250 \text{ MPa}}{9.294 \text{ MPa}}$$

$$\underline{N = 26.9}$$

Sección de falla

$$S_r = (a - d) * e$$

$$S_r = (0.038\text{m} - 0.0127\text{m}) * 0.004\text{m}$$

$$\underline{S_r = 0.0001012\text{m}}$$

Esfuerzo cortante

$$\tau_{cm} = \frac{1412.763 \text{ N}}{0.0001012\text{m}}$$

$$\tau_c = 13960108.7 \text{ Pa}$$

$$\underline{\tau_c = 13.96 \text{ MPa}}$$

Factor de seguridad

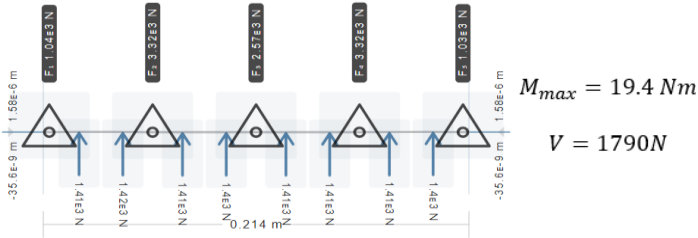
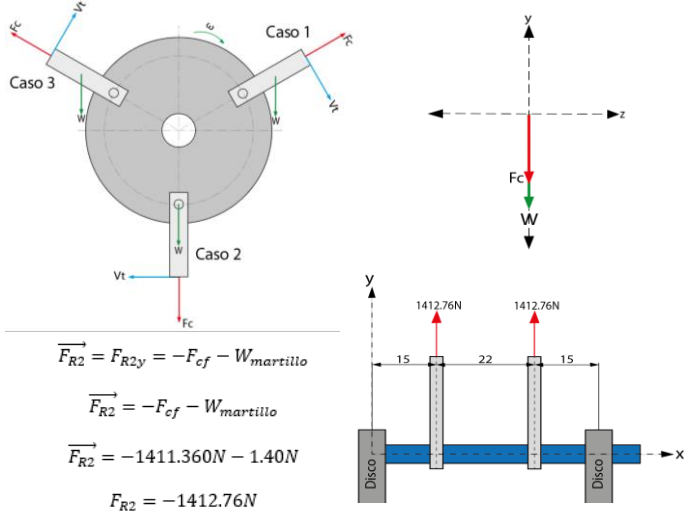
$$N = \frac{S_y}{\tau_{cm}}$$

$$N = \frac{250 \text{ MPa}}{13.96 \text{ MPa}}$$

$$\underline{N = 17.91}$$



Diseño del eje secundario



Esfuerzo máximo

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{Z}$$

$$Z = \frac{\pi * d^3}{32}$$

$$Z = \frac{\pi * (0.0127m)^3}{32}$$

$$Z = 2,011x10^{-7}m^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{19.4 Nm}{2.011x10^{-7}m^3}$$

$$\sigma_{max} = 96.5 MPa$$

Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{V}{A}$$

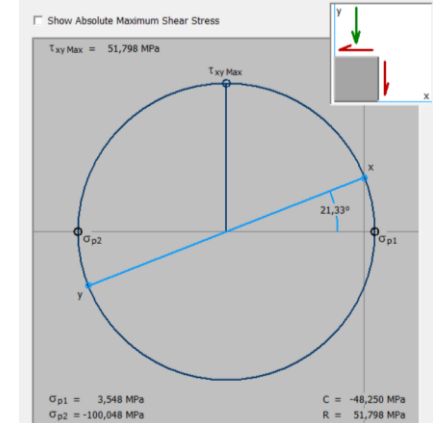
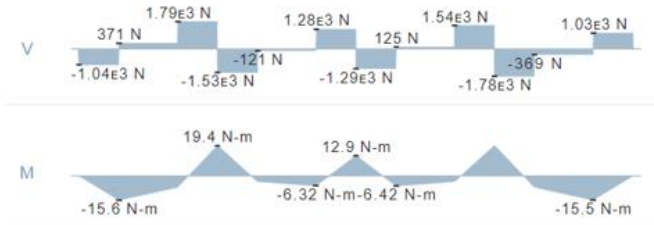
$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0.00635m)^2$$

$$A = 1,267 * 10^{-4}m^2$$

$$\tau = \frac{4}{3} * \frac{1790 N}{1,267 * 10^{-4}m^2}$$

$$\tau = 18.84 MPa$$



$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} - \sigma_1 * \sigma_2$$

$$\sigma = \sqrt{(3.548)^2 + (-100.048)^2} - (3.548)(-100.048)$$

$$\sigma = 101.87 MPa$$

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

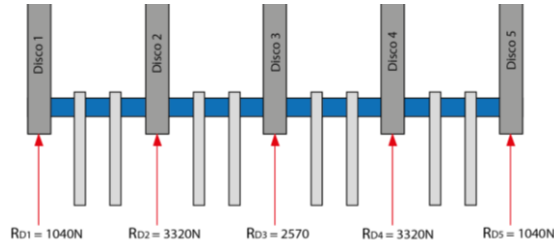
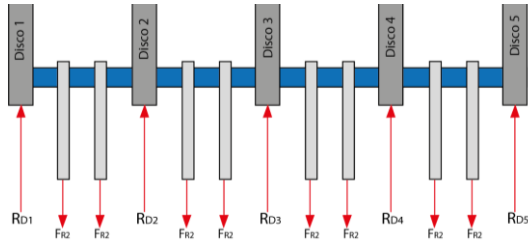
$$N = \frac{370 MPa}{101.87 MPa}$$

$$N = 3.63$$



Diseño de los discos

$$F_{R2} = 1412.76N$$

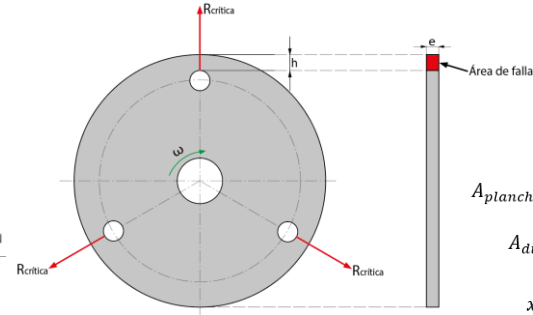


$$R_{D1} = R_{D5} = 1040 N$$

$$R_{D2} = R_{D4} = 3320 N$$

$$R_{D3} = 2570 N$$

$$R_{critica} = 3320 N$$



Masa disco

$$A_{plancha} \text{ ----- } 144 Kg$$

$$A_{disco} \text{ ----- } x$$

$$x = \frac{A_{disco} * 144Kg}{A_{plancha}}$$

$$x = \frac{30281.815 \text{ mm}^2 * 144Kg}{3 * 10^6 \text{ mm}^2}$$

$$x = 1.45 Kg$$

Espesor disco

Área falla

$$A_{falla} = e * h$$

$$\frac{R_{critica}}{A_{falla}} = \frac{S_y}{2 * N}$$

$$\frac{R_{critica}}{e * h} = \frac{S_y}{2 * N}$$

$$e = \frac{2 * N * R_{critica}}{S_y * h}$$

$$e = \frac{1.75 * 2 * 3320N}{250 * 10^6 N * 0.00765m}$$

$$e = 6 \text{ mm}$$

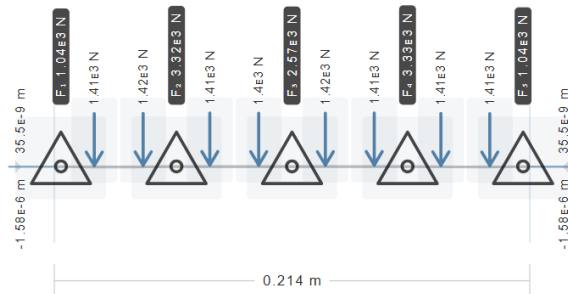
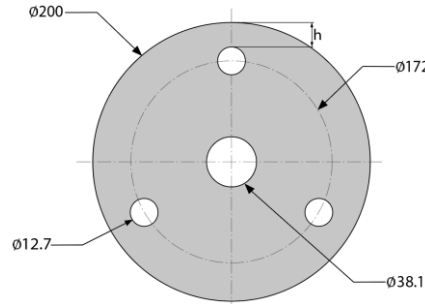
Peso disco

$$W_{disco} = m_{disco} * g$$

$$W_{disco} = 1.45Kg * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$W_{disco} = 14.23 N$$

$$h = 7.65 \text{ mm}$$



Cálculo de potencia del motor eléctrico

$$P_{motor} = \frac{m_{martillo} * \phi_{disco}^2 * n^3 * e * f}{8 * 100000 * \eta * \eta_{motor}}$$

$$P_{motor} = \frac{0.143Kg * (0.2m)^2 * (3000rpm)^3 * 24 * 0.00042}{8 * 100000 * 0.9 * 0.85}$$

$$P_{motor} = 2.54 Hp$$

3 HP

Torque del motor

$$T = \frac{P_{motor}}{\omega_{eje}} \quad T = \frac{3Hp * \frac{745.7 W}{1Hp}}{314.16 rad/s}$$

$$T = 7.12 Nm$$

P_{motor} : Potencia del motor

$m_{martillo}$: masa del martillo

ϕ_{disco} : diámetro del disco

e : número de martillos

n : velocidad angular en el eje

f : factor variable dependiendo de V_t

η_{motor} = rendimiento del motor

η : rendimiento mecánico por transmisión de poleas

Para velocidades tangenciales superiores a 40 m/s, se utiliza un factor "f" de 0.00042

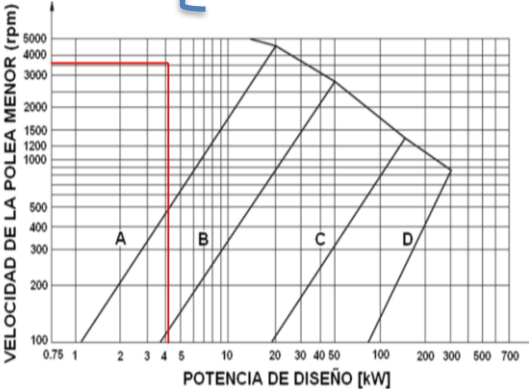


DISEÑO DEL MOLINO DE MARTILLOS

Factor de servicio

La capacidad de un sistema para funcionar de manera confiable, considerando la carga y las condiciones del entorno de trabajo

$$f_s = 1.4 \left\{ \begin{array}{l} P_{diseño} = P_{motor} * f_s \\ P_{diseño} = 3 \text{ Hp} * 1.4 \\ P_{diseño} = 4.2 \text{ Hp} \end{array} \right.$$



Relación de transmisión

$$i = \frac{\omega_{eje}}{\omega_{motor}} = \frac{d_{motriz}}{d_{conducida}}$$

$$i = \frac{3000 \text{ rpm}}{3600 \text{ rpm}} \quad d_{conducida} = \frac{d_{motriz}}{i}$$

$$i = 0.833 \quad d_{conducida} = \frac{4 \text{ in}}{0.833}$$

$$d_{conducida} = 4.8 \text{ in} \approx 5 \text{ in}$$

Velocidad de la banda

$$v_{banda} = \frac{n_{motor} * \pi * d_{motriz}}{60000} = \frac{n_{eje} * \pi * d_{conducida}}{60000}$$

$$v_{banda} = \frac{n_{motor} * \pi * d_{motriz}}{60000}$$

$$v_{banda} = \frac{3600 \text{ rpm} * \pi * (4 \text{ in} * \frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ in}})}{60000}$$

$$v_{banda} = 19.15 \frac{m}{s}$$

Distancia entre centros

$$0.7 * (d_1 + d_2) < a_0 < 2 * (d_1 + d_2)$$

$$0.7 * (4 \text{ in} + 5 \text{ in}) < a_0 < 2 * (4 \text{ in} + 5 \text{ in})$$

$$6.3 \text{ in} < a_0 < 18 \text{ in}$$

$$a_0 = 16 \text{ in}$$

Longitud aprox.

$$L_0 = 2 * a_0 + \frac{\pi}{2} * (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4 * a_0}$$

$$L_0 = 2 * 16 \text{ in} + \frac{\pi}{2} * (5 \text{ in} + 4 \text{ in}) + \frac{(5 \text{ in} - 4 \text{ in})^2}{4 * 16 \text{ in}}$$

$$L_0 = 46.15 \text{ in} = 1172.21 \text{ mm}$$

Correa (in)	Sección Z (mm)	Sección A (mm)	Sección B (mm)
41	1066	1075	1086
42	1092	1106	1100
43	1117	1134	1140
44	1143	1153	1156
45	1168	1186	1184
46	1193	1199	1204
47	1219	1232	1237
48	1244	1262	1268
49	1270	1280	1288

Banda DONGIL A-48 (Lp=1262mm)



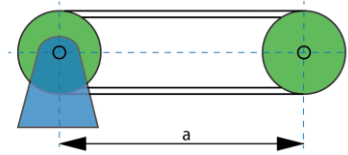
Distancia entre centros real

$$a = \frac{L_p}{4} - \pi * \frac{(d_1 + d_2)}{8} + \sqrt{\left(\frac{L_p}{4} - \pi * \frac{(d_1 + d_2)}{8}\right)^2 - \frac{(d_2 - d_1)^2}{8}}$$

$$a = \frac{1262}{4} - \pi * \frac{(101.6 + 127)}{8} + \sqrt{\left(\frac{1262}{4} - \pi * \frac{(101.6 + 127)}{8}\right)^2 - \frac{(127 - 101.6)^2}{8}}$$

$$a = 225.73 + 225.55$$

$$a = 451.28 \text{ mm}$$



Ángulo de contacto

$$\alpha = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{d_2 - d_1}{2 * a} \right)$$

$$\alpha = 2 * \cos^{-1} \left(\frac{127 \text{ mm} - 101.6 \text{ mm}}{2 * 451.28 \text{ mm}} \right)$$

$$\alpha = 176.77^\circ$$

Potencia transmisible por correas

$$N_1 = d * r * \left[K_1 - \frac{K_2}{d} - K_3 * (d * r)^2 - K_4 * \log * (d * r) \right] + K_2 * r * \left(1 - \frac{1}{k_i} \right)$$

$$N_1 = 101.6 * 3.6 * \left[0.041 - \frac{1.954}{101.6} - 1.32 * 10^{-8} * (101.6 * 3.6)^2 - 0.0036 * \log(101.6 * 3.6) \right] + 1.954 * 3.6 * \left(1 - \frac{1}{0.844} \right)$$

$$N_1 = 365.76 * [0.041 - 0.01923 - 1.77 * 10^{-3} - 9.23 * 10^{-3}] - 1.3$$

$$N_1 = 2.64 \text{ Kw}$$

Coefficiente de relación de transmisión

$$K_i = \frac{1}{1 + 0.35 * \log \left\{ \frac{1 + 10 \left[-\left(\frac{1}{0.35} \right) \left(1 - \frac{1}{7} \right) \right]}{2} \right\}}$$

$$K_i = \frac{1}{1 + 0.35 * \log \left\{ \frac{1 + 10 \left[-\left(\frac{1}{0.35} \right) \left(1 - \frac{1}{0.833} \right) \right]}{2} \right\}}$$

$$K_i = 0.844$$

Perfil	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
A	0,041	1,954	1,32*10 ⁻⁸	0,0036
B	0,065	4,361	2,18*10 ⁻⁸	0,0056
C	0,108	10,22	3,70*10 ⁻⁸	0,010
D	0,199	29,35	7,10*10 ⁻⁸	0,017

Coefficiente del ángulo de contacto

$$C_\alpha = 1.25 * \left(1 - 5^{\frac{-\alpha}{180}} \right)$$

$$C_\alpha = 1.25 * \left(1 - 5^{\frac{-176.77}{180}} \right)$$

$$C_\alpha = 0.992$$

Coefficiente por corrección de la longitud

$$C_L = 1 + \left[\frac{\log(L_n) - \log(L_b)}{\log(L_b) - 1.65} \right]$$

$$C_L = 1 + \left[\frac{\log(1262) - \log(1730)}{\log(1730) - 1.65} \right]$$

$$C_L = 0.914$$

Perfil	A	B	C	D
L _b [mm]	1730	2280	3800	6375

Número de correas

$$z = \frac{N * f_s}{N_1 * C_\alpha * C_L}$$

$$z = \frac{3Hp * \frac{746W}{1Hp} * 1.4}{2.64kW * 0.992 * 0.914}$$

$$z = 1.31 \text{ correas} \approx 2 \text{ correas}$$



Fuerza de reacción de las poleas

Es crucial determinar la fuerza que las poleas ejercerán sobre el eje

Fuerza impulsora neta

$$F_N = \frac{T_A}{D/2}$$

$$F_N = \frac{7.12 \text{ N.m}}{\frac{0.102 \text{ m}}{2}}$$

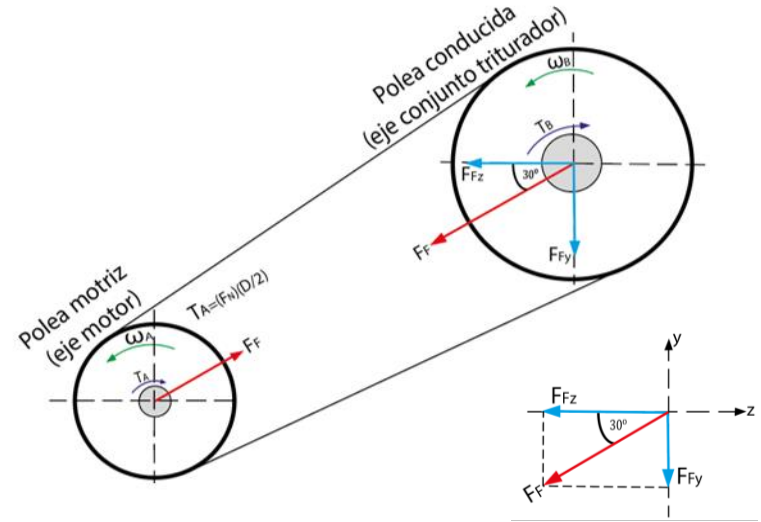
$$F_N = 139.61 \text{ N}$$

Fuerza flexionante

$$F_F = 1.5 * F_N$$

$$F_F = 1.5 * 139.61 \text{ N}$$

$$F_F = 209.41 \text{ N}$$



Descomposición de fuerzas

$$F_{Fz} = F_F * \cos(30^\circ)$$

$$F_{Fy} = F_F * \sin(30^\circ)$$

$$F_{Fz} = 209.41 * \cos(30^\circ)$$

$$F_{Fy} = 209.41 * \sin(30^\circ)$$

$$F_{Fz} = 181.44 \text{ N}$$

$$F_{Fy} = 104.71 \text{ N}$$



Diseño estático del eje principal

- Es el componente fundamental, ya que será responsable de soportar todos los elementos del conjunto triturador del molino.
- Una de las variables clave a considerar del eje es su diámetro general. Esto garantiza la resistencia necesaria frente a esfuerzos de flexión.

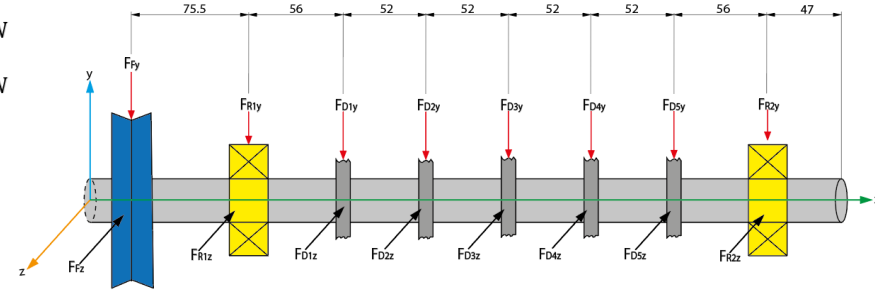
$$R_{D1} = R_{D5} = 1040 \text{ N}$$

$$R_{D2} = R_{D4} = 3320 \text{ N}$$

$$R_{D3} = 2570 \text{ N}$$

$$F_{Fz} = 181.44 \text{ N}$$

$$F_{Fy} = 104.71 \text{ N}$$



Fuerzas resultantes en el plano XY

$$F_{D1y} = F_{D5y} = R_{D1} + W_{disco}$$

$$F_{D1y} = F_{D5y} = 1040 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D1y} = F_{D5y} = 1054.23 \text{ N}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = R_{D2} + W_{disco}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = 3320 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D2y} = F_{D4y} = 3334.23 \text{ N}$$

$$F_{D3y} = R_{D3} + W_{disco}$$

$$F_{D3y} = 2570 \text{ N} + 14.23 \text{ N}$$

$$F_{D3y} = 2584.23 \text{ N}$$

Fuerzas resultantes en el plano ZX

$$F_{D1z} = F_{D5z} = R_{D1}$$

$$F_{D1z} = F_{D5z} = 1040 \text{ N}$$

$$F_{D2z} = F_{D4z} = R_{D4}$$

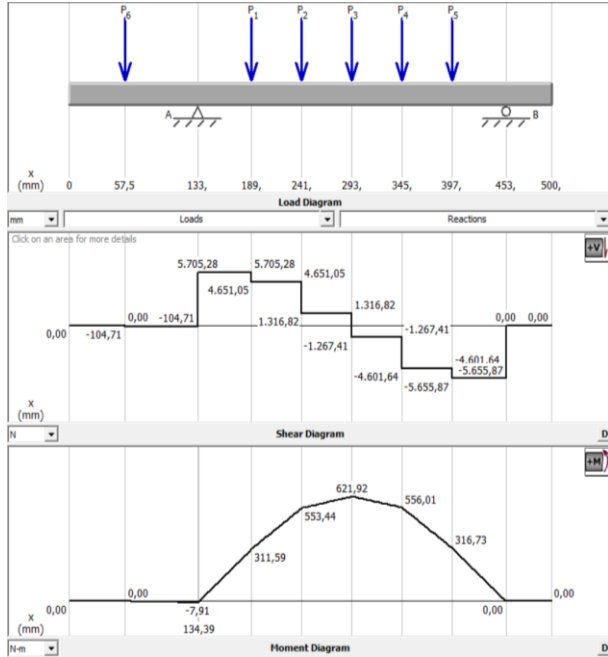
$$F_{D2z} = F_{D4z} = 3320 \text{ N}$$

$$F_{D3z} = R_{D3} = 2570 \text{ N}$$

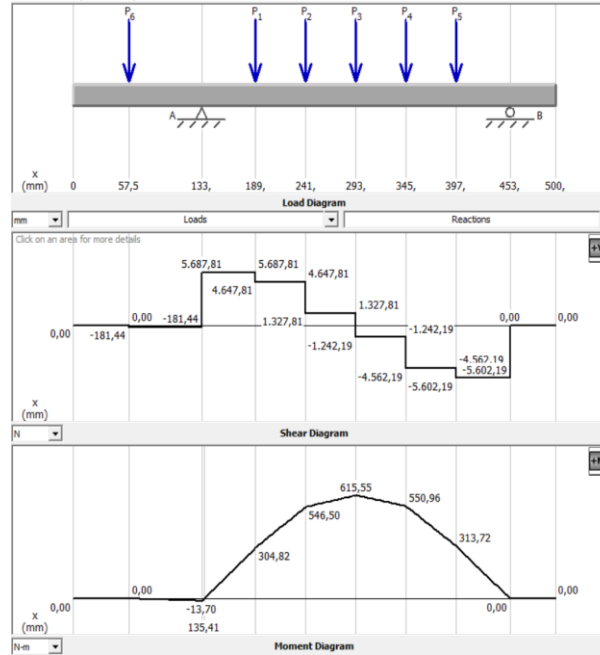


Diseño estático del eje principal

Diagramas del eje principal plano XY



Diagramas del eje principal plano ZX



$$M_{yx} = 621.92 \text{ N.m}$$

$$M_{zx} = 615.55 \text{ N.m}$$

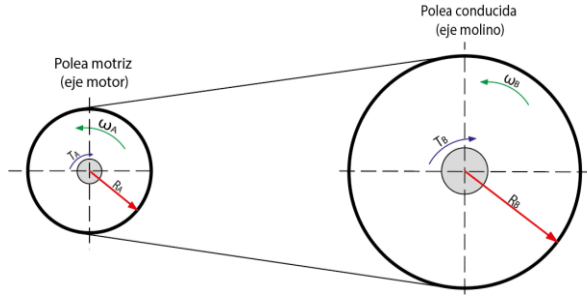
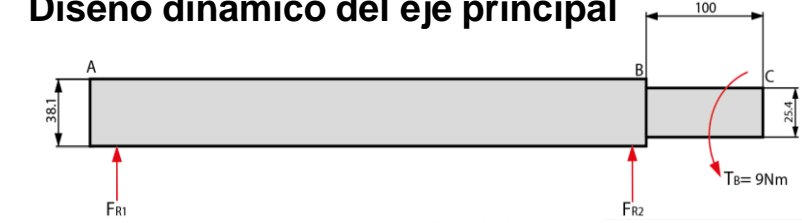
$$M_T = \sqrt{(M_{yx})^2 + (M_{zx})^2}$$

$$M_T = \sqrt{(621.92)^2 + (615.55)^2}$$

$$M_T = 875.04 \text{ Nm}$$



Diseño dinámico del eje principal



$$M = F_{R2} * 0.1m$$

$$M = F_{R2} = 5647.65N * 0.1m$$

$$M = 564.765Nm$$

Torque eje molino

$$T_B = T_A * \left(\frac{r_B}{r_A}\right)$$

$$T_B = 7.12 Nm * \left(\frac{0.0635 m}{0.0508 m}\right)$$

$$T_B = 7.12 Nm * \left(\frac{0.0635 m}{0.0508 m}\right)$$

$$T_B = 9 Nm$$

Límite de resistencia a la fatiga teórica

$$S_{e'} = 0.5 * S_{ut}$$

$$S_{e'} = 0.5 * (441Mpa)$$

$$S_{e'} = 220.5 Mpa$$

Límite de resistencia a la fatiga real

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_{e'}$$

$$C_{carga} = 1 \quad | \quad C_{conf} = 0.814 \quad | \quad C_{temp} = 1$$

$$C_{sup} = A * (S_{ut})^b$$

$$C_{tamaño} = 1.24 * d^{-0.107}$$

$$C_{sup} = 4.51 * (441Mpa)^{-0.265}$$

$$C_{tamaño} = 1.24 * (38.1mm)^{-0.107}$$

$$C_{sup} = 0.898$$

$$C_{tamaño} = 0.84$$

$$S_e = C_{carga} * C_{tamaño} * C_{sup} * C_{temp} * C_{conf} * S_{e'}$$

$$S_e = 1 * 0.84 * 0.898 * 1 * 0.814 * 220.5MPa$$

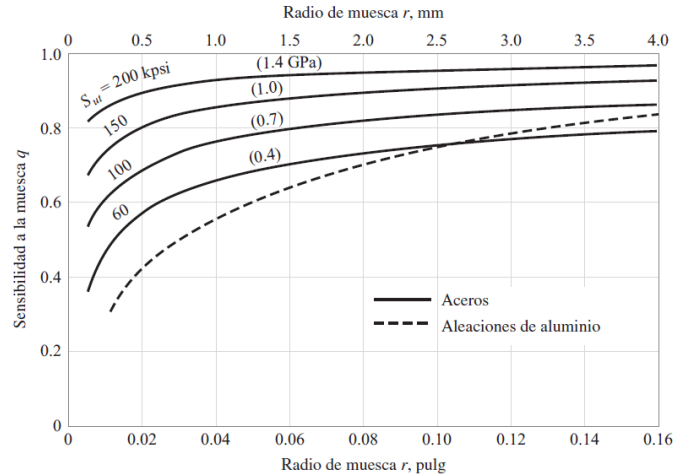
$$S_e = 135.4 MPa$$



Diseño dinámico del eje principal

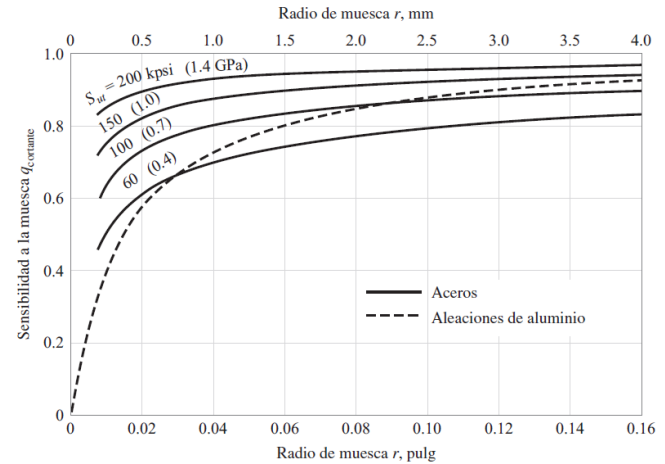
$$S_u = 441 \text{ Mpa}$$

Sensibilidad a la muesca "q" flexión



$$q_{flex} = 0.63$$

Sensibilidad a la muesca "q" torsión



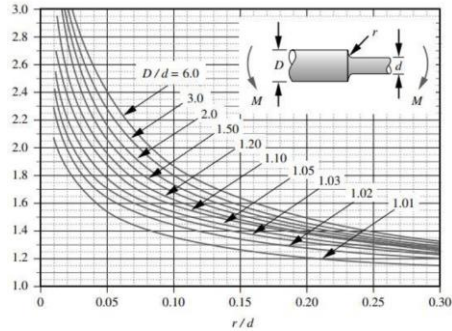
$$q_{tors} = 0.70$$



$$K_f = 1 + q * (K_t - 1)$$

$$K_t = A * \left(\frac{r}{d}\right)^b$$

Factor de concentración de esfuerzos flexión



$K_t \equiv A \left(\frac{r}{d}\right)^b$
donde:

D/d	A	b
6.00	0.878 68	-0.332 43
3.00	0.893 34	-0.308 60
2.00	0.908 79	-0.285 98
1.50	0.938 36	-0.257 59
1.20	0.970 98	-0.217 96
1.10	0.951 20	-0.237 57
1.07	0.975 27	-0.209 58
1.05	0.981 37	-0.196 53
1.03	0.980 61	-0.183 81
1.02	0.960 48	-0.177 11
1.01	0.919 38	-0.170 32

$$K_t = 0.93836 * \left(\frac{1mm}{25.4mm}\right)^{-0.25759}$$

$$K_t = 2.16$$

$$K_f = 1 + q_{flex} * (K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0.63 * (2.16 - 1)$$

$$K_f = 1.73$$

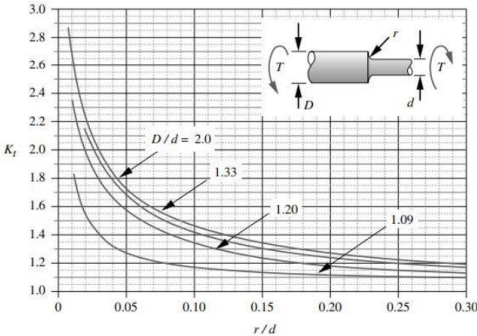
$$d = \left\{ \frac{32 * N}{\pi} \left[\left(K_f * \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} * \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = \left\{ \frac{32 * 2.5}{\pi} \left[\left(1.73 * \frac{564.765Nm}{135.4 * 10^6Pa} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.557 * \frac{9Nm}{370 * 10^6Pa} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0.0387m = 38.7mm$$

Eje AISI 1020; Diámetro 1½ in = 38,1 mm

Factor de concentración de esfuerzos torsión



$K_t \equiv A \left(\frac{r}{d}\right)^b$
donde:

D/d	A	b
2.00	0.863 31	-0.238 65
1.33	0.848 97	-0.231 61
1.20	0.834 25	-0.216 49
1.09	0.903 37	-0.126 92

$$K_t = 0.84897 * \left(\frac{1mm}{25.4mm}\right)^{-0.23161}$$

$$K_t = 1.796$$

$$K_{fs} = 1 + q_{tors} * (K_t - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.7 * (1.796 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.557$$

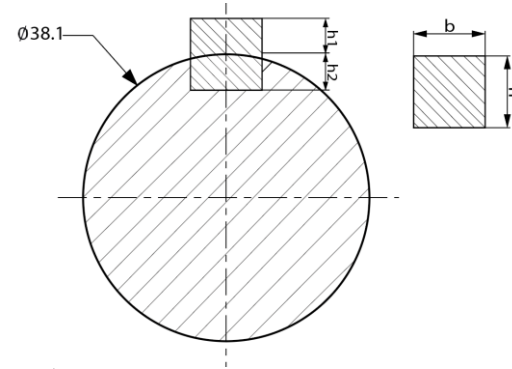
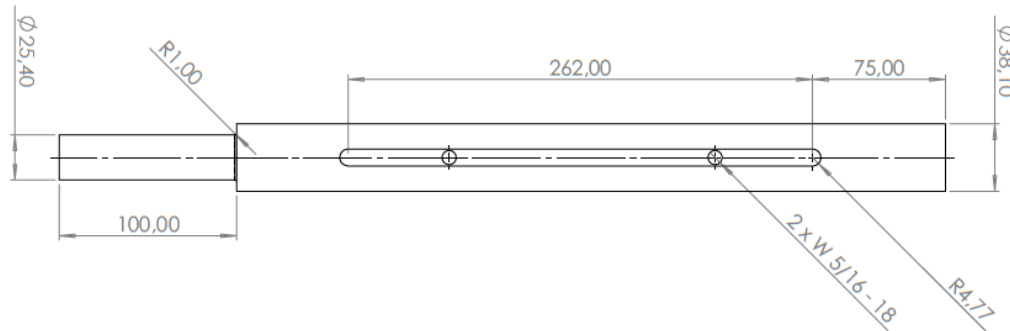


Dimensiones principales de las cuñas

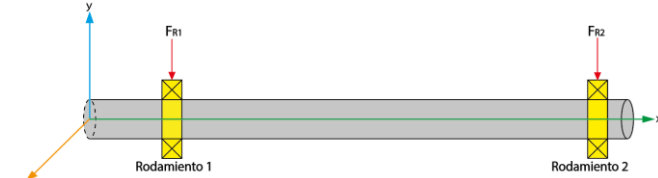
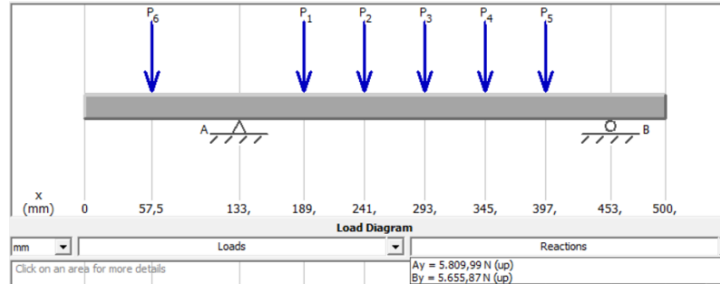
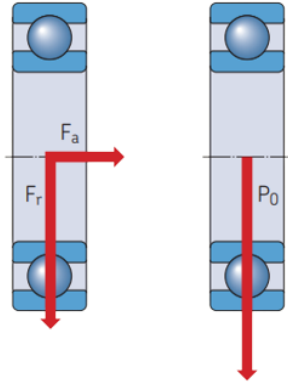
$$b = h = \frac{3}{8} in = 9.525 mm$$

$$h_1 = \frac{3}{16} in = 4.77 mm$$

$$h_2 = \frac{3}{16} in = 4.77 mm$$



Selección de rodamientos



$$F_{R1} = 5809.99 \text{ N}$$

$$F_{R2} = 5655.87 \text{ N}$$

$$P_{r1} = X * F_{r1} + Y * F_{a1}$$

$$P_{r1} = F_{r1}$$

$$P_{r1} = 5809.99 \text{ N}$$

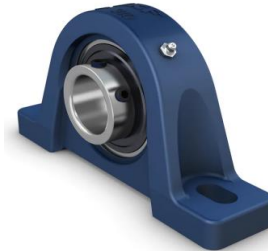
$$C_{r1} = P_{r1} * \left(\frac{60 * n * L_{10h}}{10^6} \right)^{\frac{1}{x}}$$

$$C_{r1} = 5809.99 \text{ N} * \left(\frac{60 * 3000 \text{ rpm} * 900}{10^6} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$C_{r1} = 31.67 \text{ KN}$$

$$C_{r1} = 32.5 \text{ KN}$$

UCP-208-24

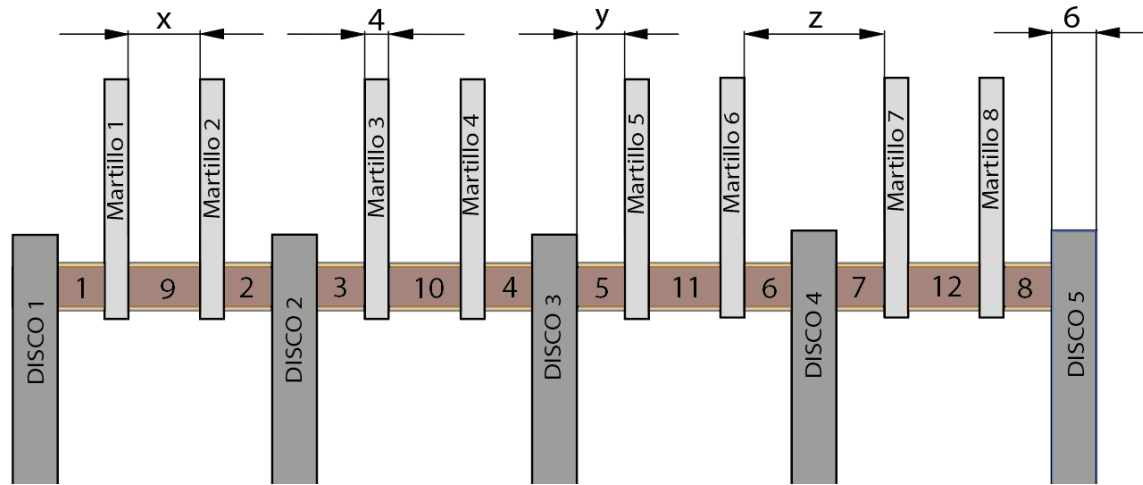


Los rodamientos están sujetos a fuerzas axiales “Fa” y fuerzas radiales “Fr”. En el caso del eje del molino, los rodamientos solo estarán expuestos a fuerzas radiales en ambos extremos.



Diseño de los separadores

$$(x, z) \geq 3 * e_{martillo}$$



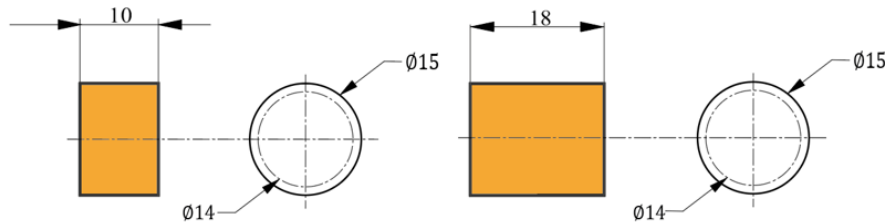
$$x = 18mm$$

$$y = 10mm$$

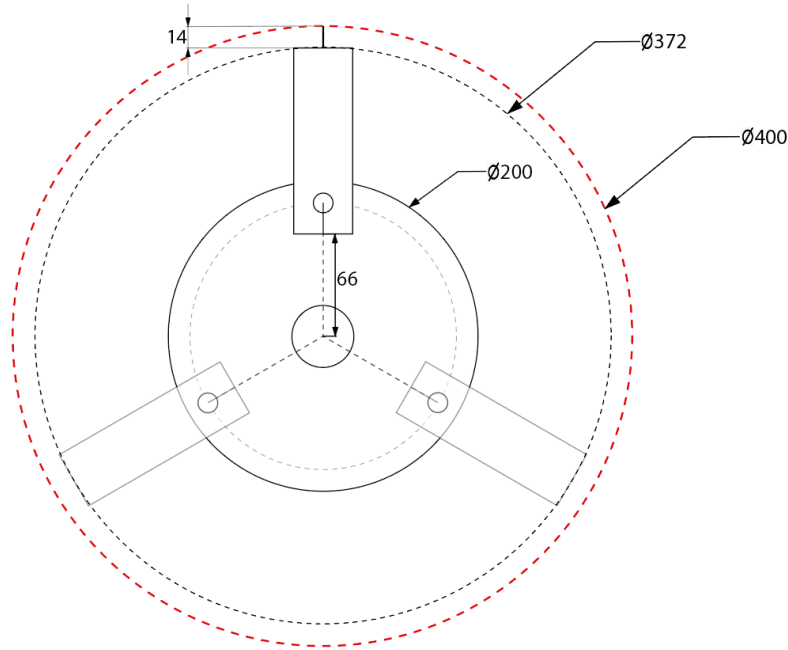
$$z = 2y + e_{disco}$$

$$z = 2(10mm) + 6mm$$

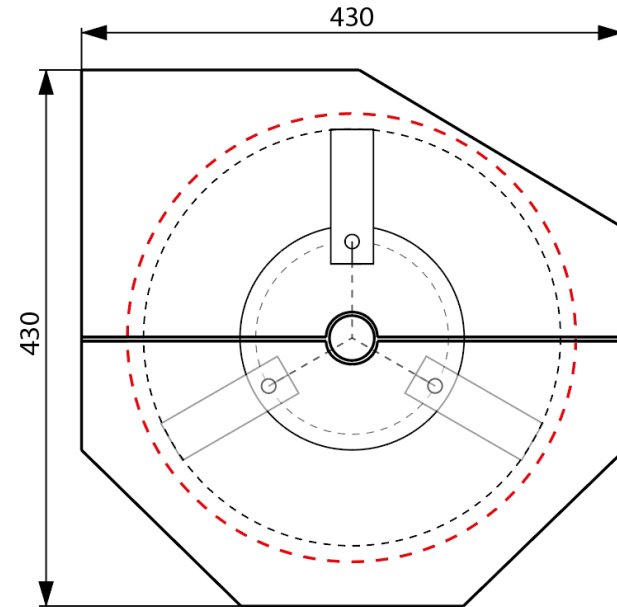
$$z = 26mm$$



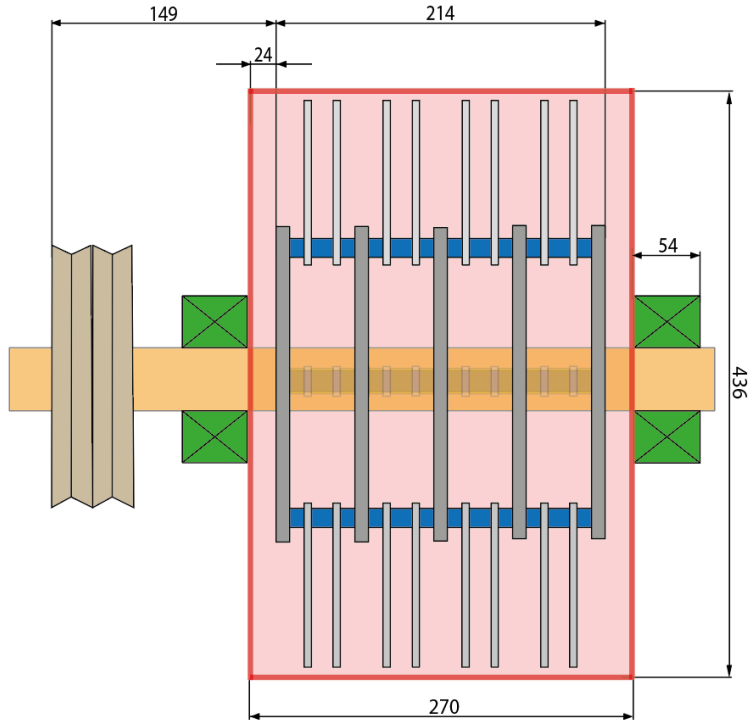
Diseño de la cámara y tapa de molienda



La línea entrecortada de color negro representa la trayectoria seguida por los extremos de los martillos. La línea entrecortada roja muestra una estimación mínima del tamaño de las paredes laterales de la cámara de molienda



Diseño de la cámara y tapa de molienda



Se prevé que el tamaño de la cámara abarque el área que está marcado de color rojo, mientras que las chumaceras y la polea quedarán fuera de la misma. Dicho estos parámetros, las dimensiones de la cámara se diseñará de 270mm x 436mm.

Diseño de la tolvas

Tolva de entrada

$$V_{\text{cámara}} = l * a * h$$

$$V_{\text{cámara}} = 270\text{mm} * 430\text{mm} * 430\text{mm}$$

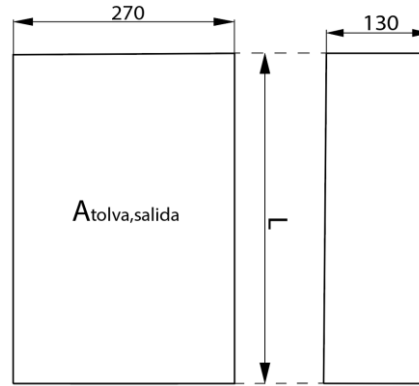
$$V_{\text{cámara}} = 49 * 10^6 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{tolva}} = A_{\text{tolva}} * h$$

$$12 * 10^6 \text{ mm}^3 = A_{\text{tolva}} * 130\text{mm}$$

$$A_{\text{tolva}} = \frac{12 * 10^6 \text{ mm}^3}{130 \text{ mm}}$$

$$A_{\text{tolva}} = 92307.7 \text{ mm}^2$$



$$A_{\text{tolva}} = B * L$$

$$92307.7 \text{ mm}^2 = 270\text{mm} * L$$

$$L = \frac{92307.7\text{mm}^2}{270\text{mm}}$$

$$L = 341.8 \text{ mm}$$

$$L = 342 \text{ mm}$$

Tolva de salida

$$A_{\text{tolva,salida}} = A_{\text{tolva,entrada}}$$

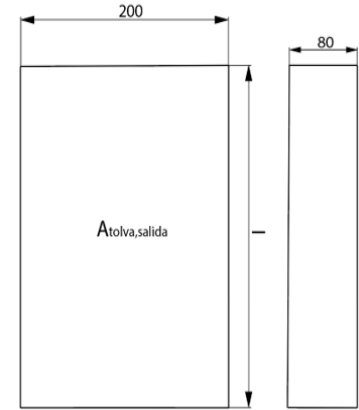
$$A_{\text{tolva,salida}} = 92307.7 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{tolva}} = B * l$$

$$92307.7 \text{ mm}^2 = 200\text{mm} * l$$

$$l = \frac{92307.7 \text{ mm}^2}{200\text{mm}}$$

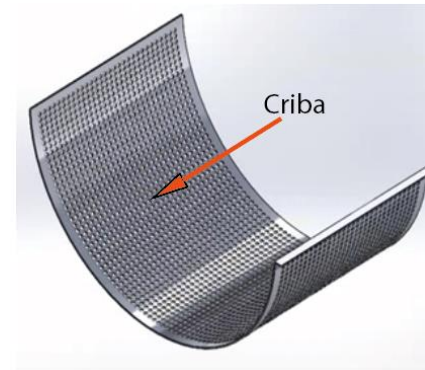
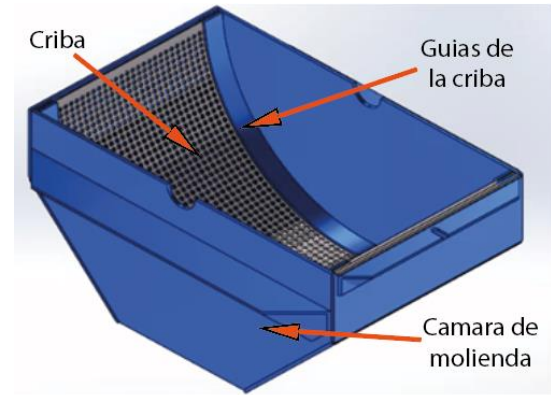
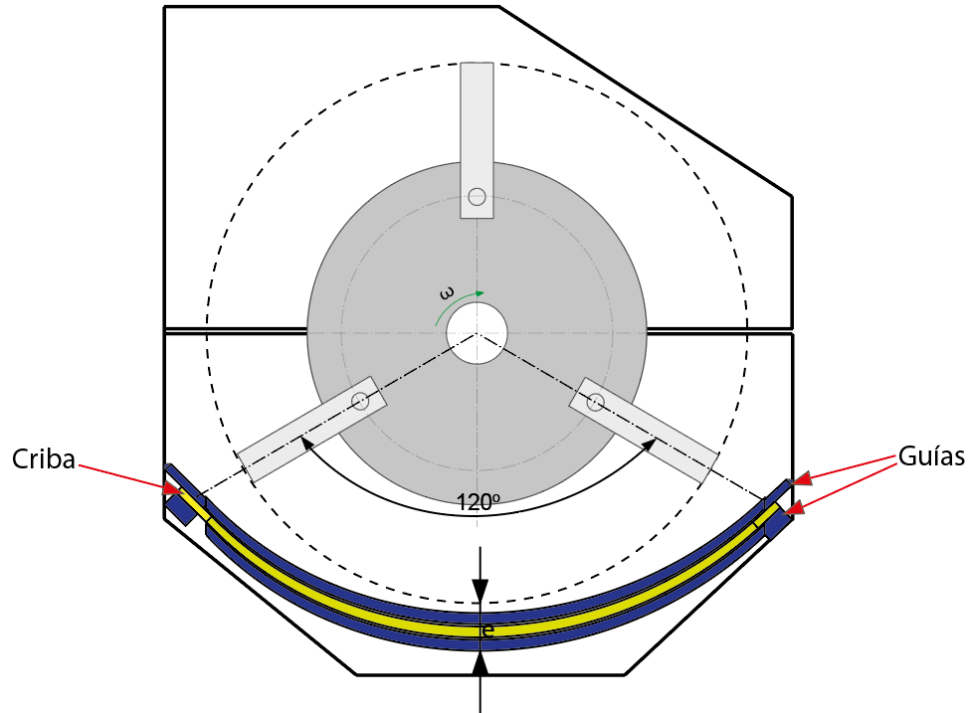
$$l = 461.6 \text{ mm}$$



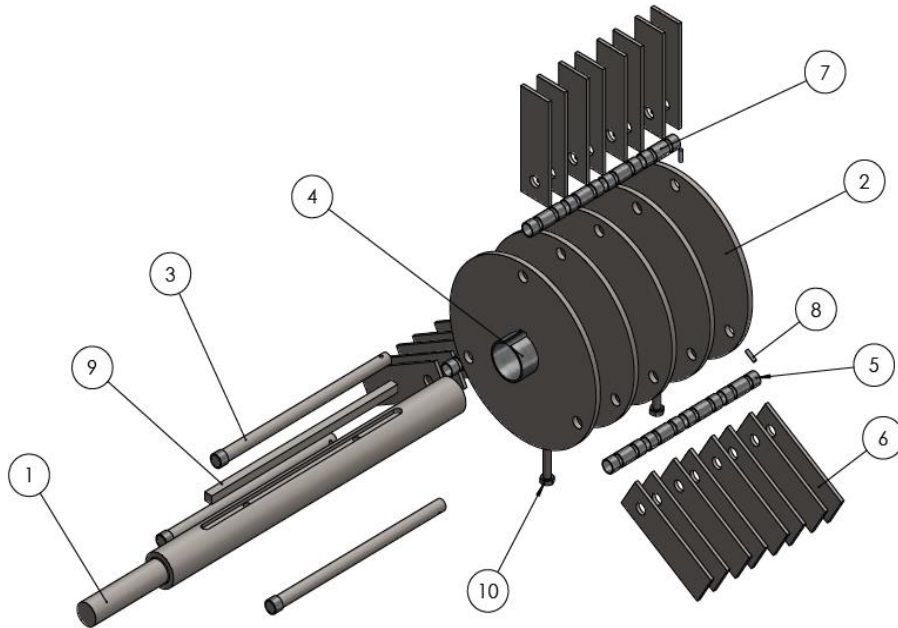
$$l = 500 \text{ mm}$$



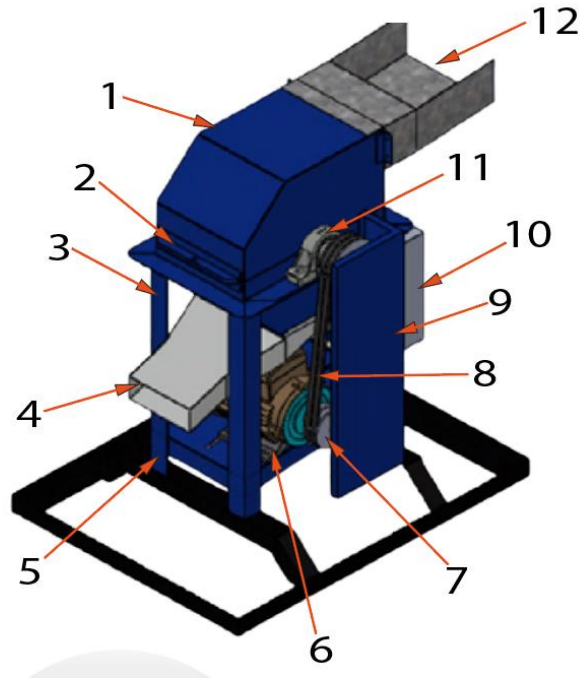
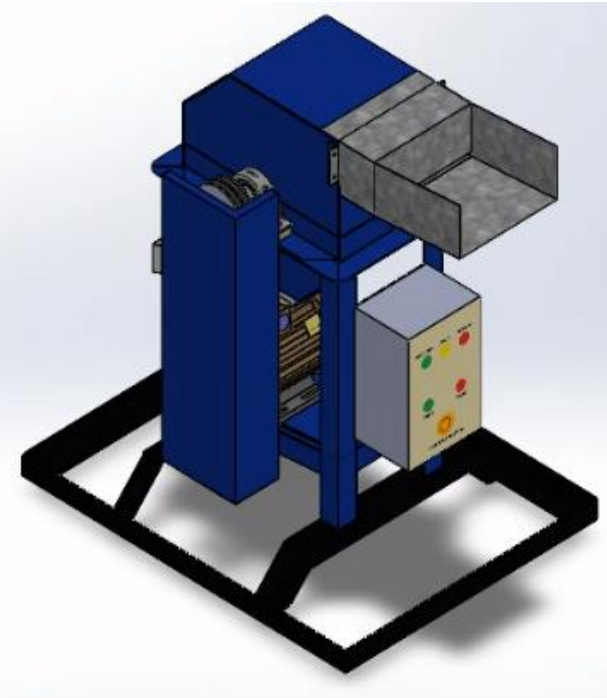
Sistema de cribado



Diseño CAD del molino de alfalfa deshidratada



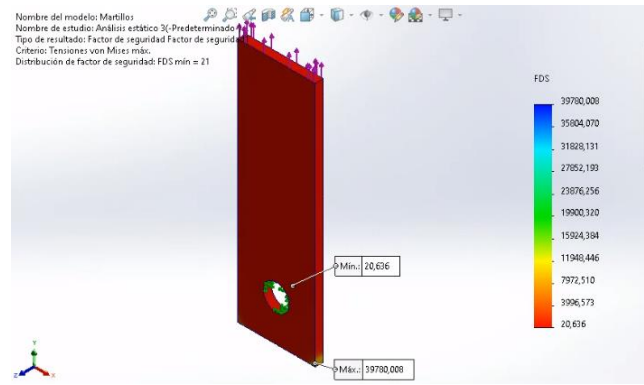
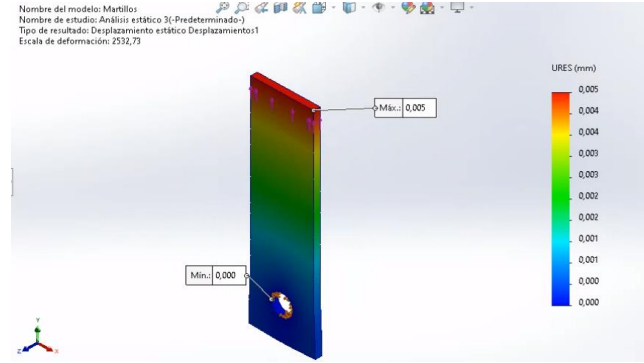
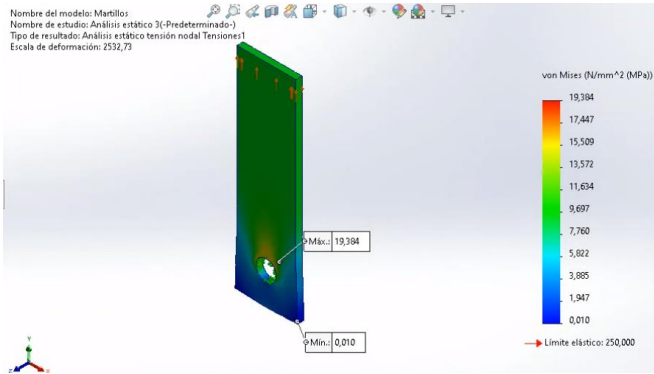
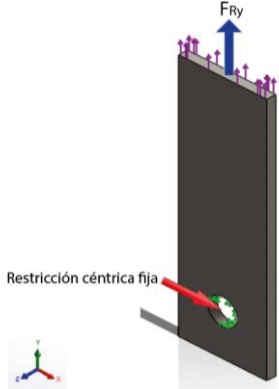
Número	Nombre	Cantidad
1	Eje principal	1
2	Disco	5
3	Eje secundario	3
4	Tubo soporte	1
5	Separadores cortos	24
6	Martillos	24
7	Separadores largos	12
8	Bincha	6
9	Cuñía	1
10	Pernos sujeción	2



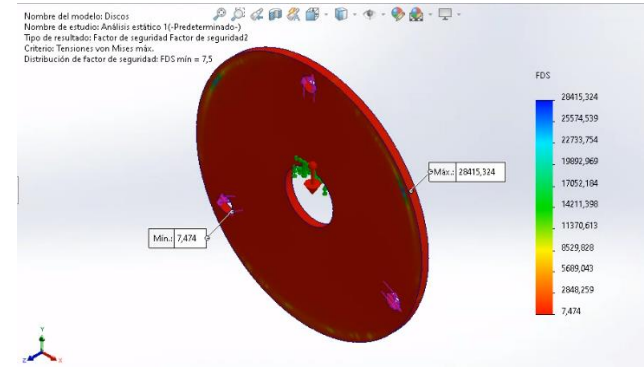
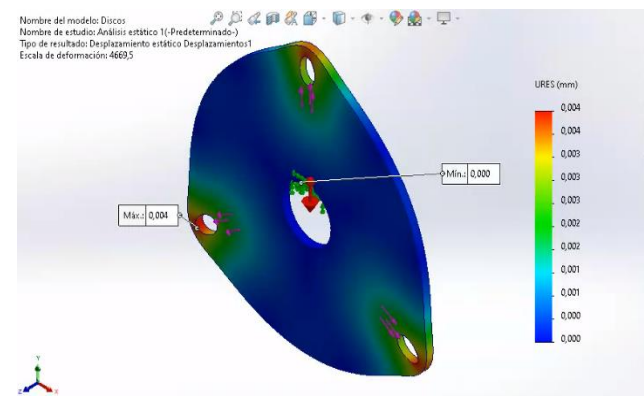
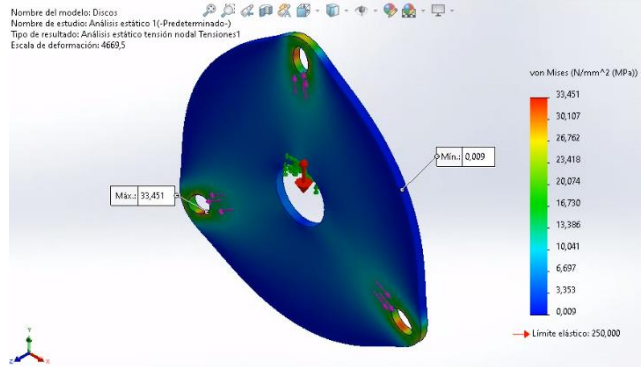
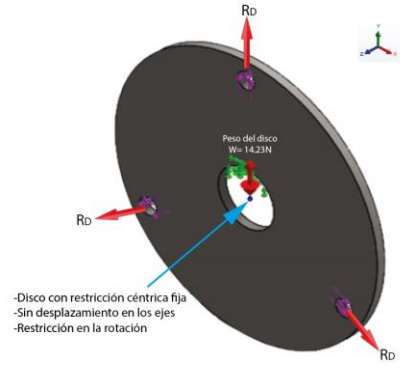
1. Tapa de la cámara
2. Cámara de molienda
3. Estructura de soporte
4. Tolva de salida
5. Estructura base
6. Motor eléctrico 220V
7. Poleas
8. Bandas
9. Tapa de protección
10. Tablero de control
11. Chumaceras
12. Tolva de entrada



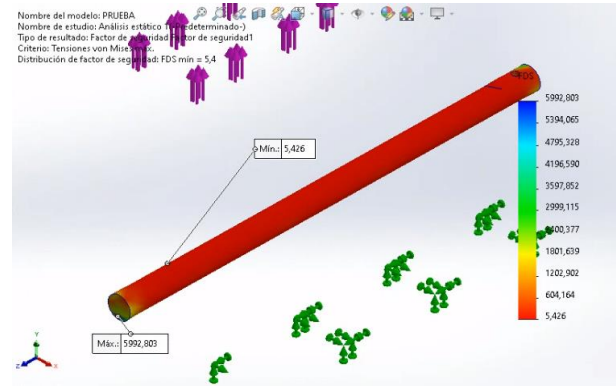
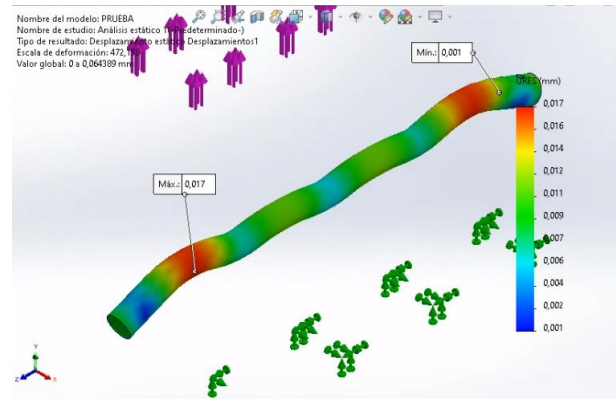
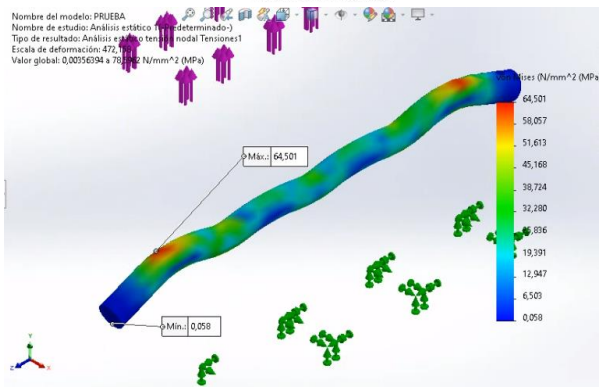
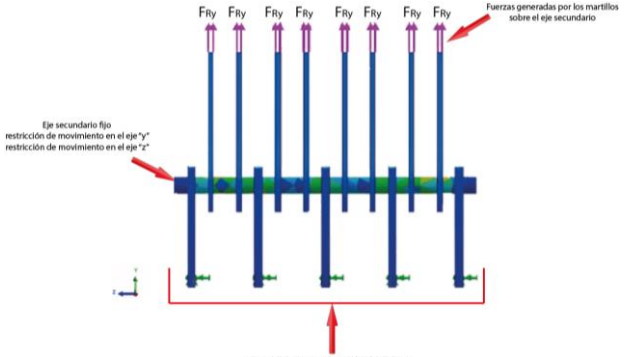
Análisis de elementos finitos en el martillo



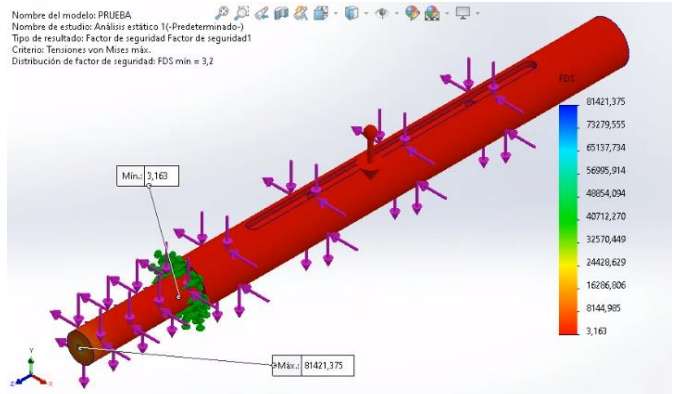
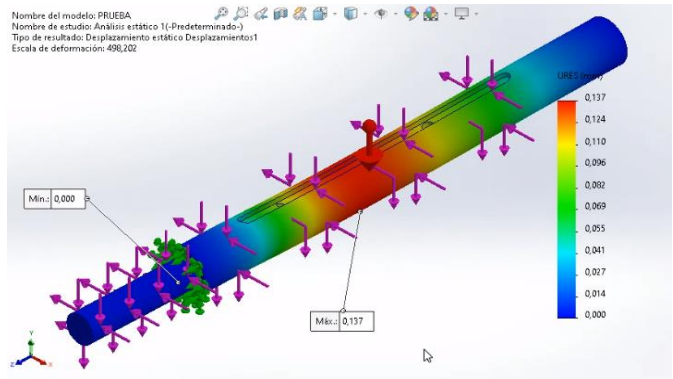
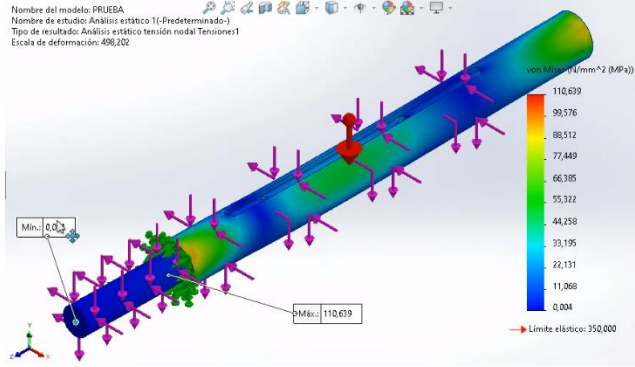
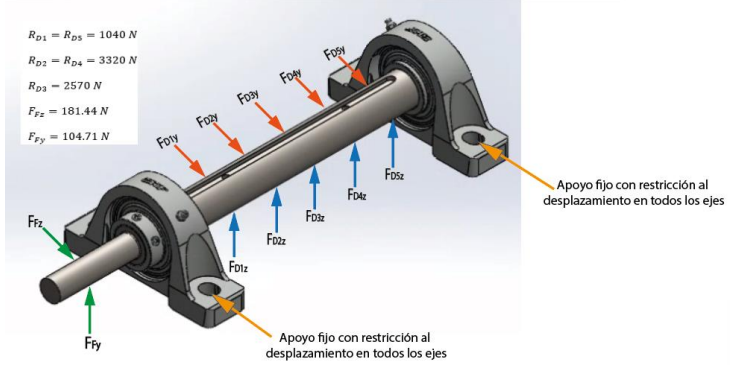
Análisis de elementos finitos en el disco



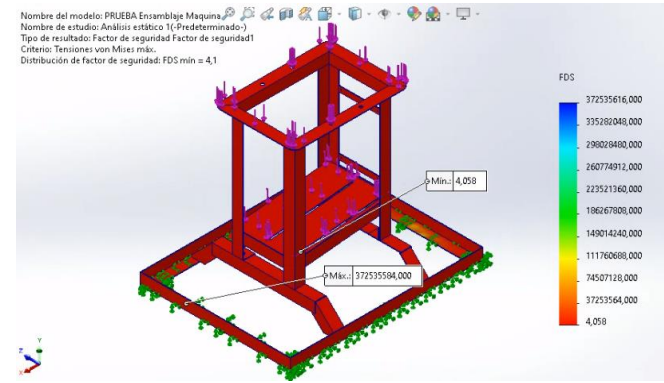
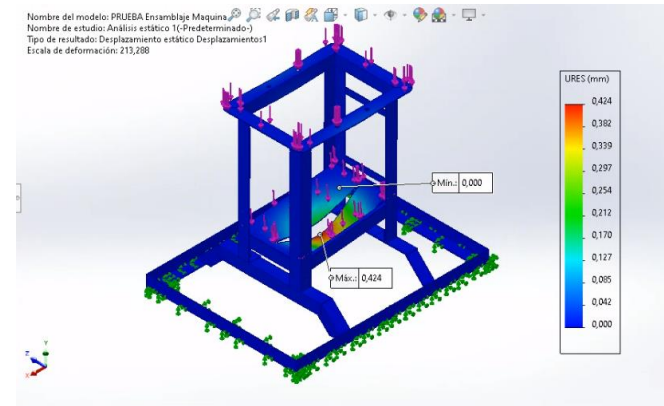
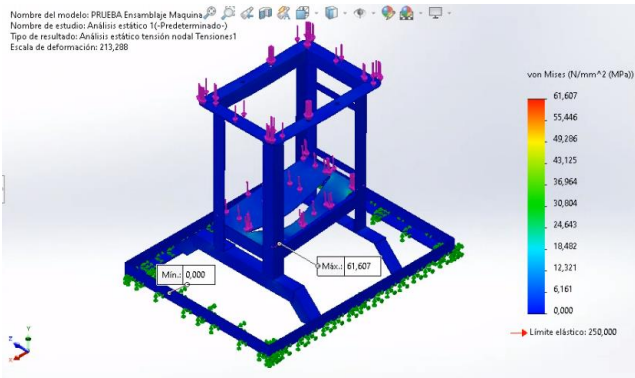
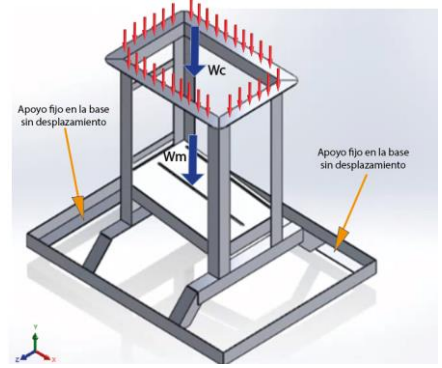
Análisis de elementos finitos en el eje secundario



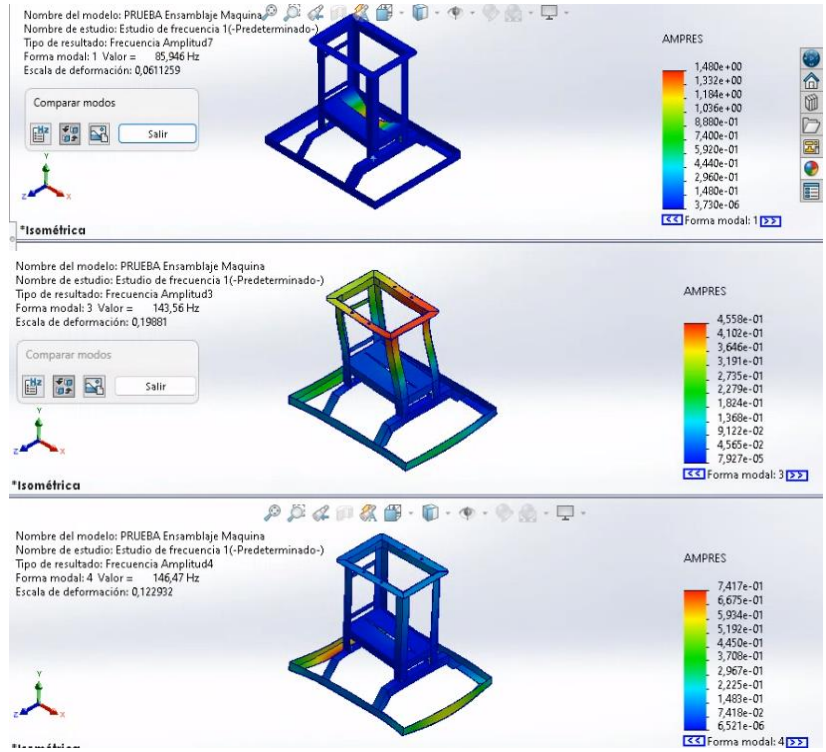
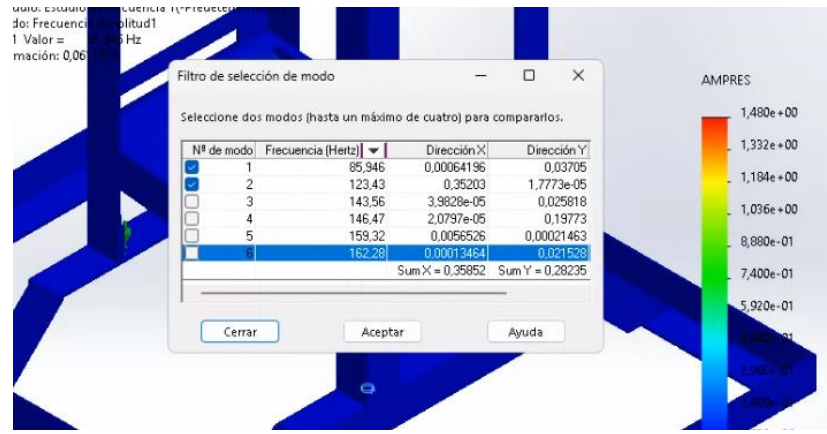
Análisis de elementos finitos en el eje principal



Análisis de elementos finitos en la estructura



Análisis de vibraciones para la estructura





Diseño eléctrico

- Para la selección se debe considerar los valores de corriente del motor.
- El relé térmico es necesario que sea de la misma familia que el contactor por sus dimensiones de diseño.



Motor WEG monofásico	
Potencia	3 HP (2.2KW)
Voltaje	220 V
Corriente nominal	13.9 A
Frecuencia	60 Hz
Velocidad angular	3600 RPM

Interruptor termomagnético marca CHINT	
Figura	
Curva / Corriente	C 32 A
Voltaje	220 V
Número de polos	2
Montaje	Riel DIN

Contactor marca CHINT	
Figura	
Tipo	NXC-25
Corriente	25 A
Voltaje	220 V monofásico
Voltaje de bobina	220 V
Montaje	Riel DIN

Relé térmico marca CHINT	
Figura	
Tipo	NXR-25
Corriente de ajuste	12-18 A
Fusible de protección	35 A
Número de polos	3

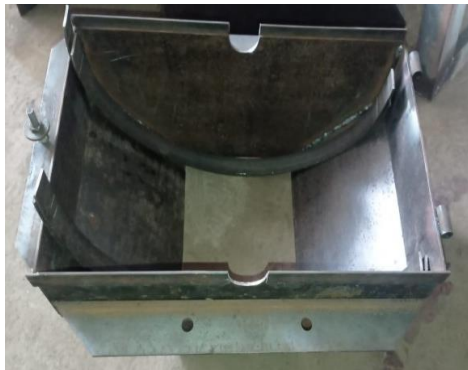


AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



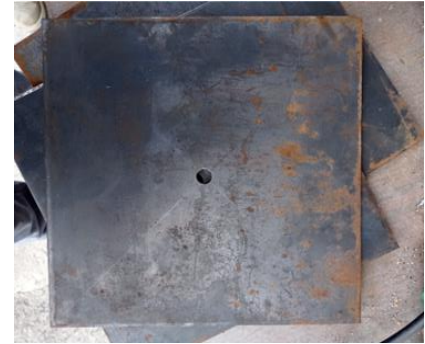
- Trazado y corte de piezas para la cámara de molienda



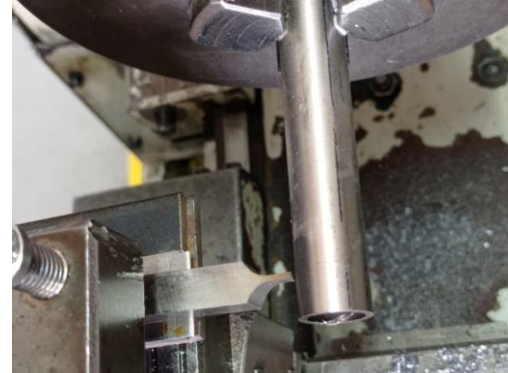
- Trazo, corte y perforado para la elaboración de los martillos de percusión



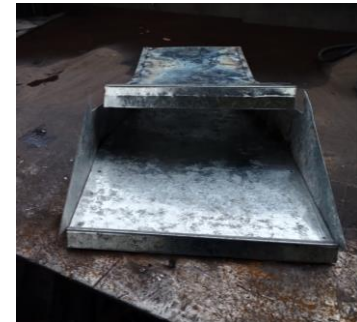
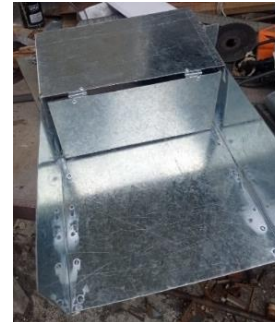
- Fabricación de los discos portadores de los ejes secundarios



- Fabricación de los separadores de martillos



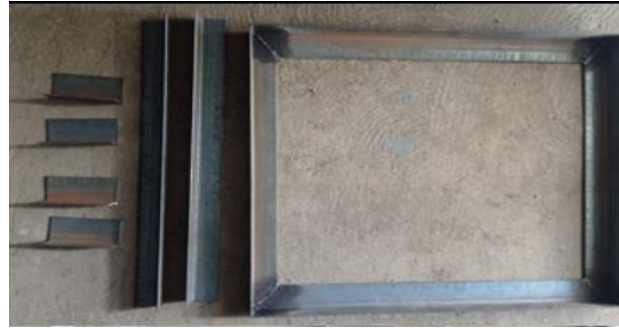
- Fabricación de tolvas, guías y criba



- Fabricación del eje principal, eje secundario y tubo porta eje primario



- Fabricación de la estructura de soporte y base



- Armado del conjunto triturador



- Ensamblaje de la tolva de entrada y salida a la cámara de molienda



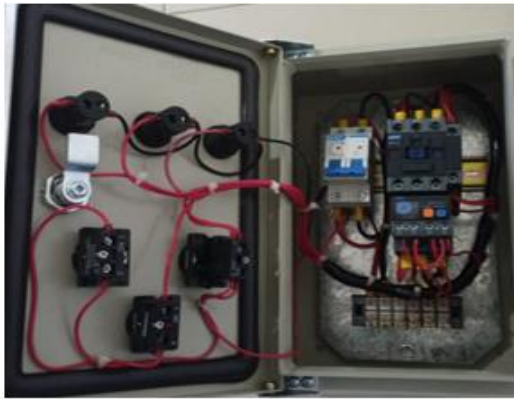
- Montaje de la cámara base, criba y conjunto triturador en estructura, chumaceras, polea.



- Montaje del sistema de transmisión (Base, motor, poleas, correas)



- Instalación eléctrica



- Acabados, detalles, pintura



- Máquina finalizada



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DE LA MÁQUINA DESPINADORA DE TUNAS
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Pruebas De molienda

- **Maíz amarillo**



- **Morochillo**



- **Alfalfa deshidratada**



- **Otras hierbas**



Parámetros	Aprobación
Alimentación (Encendido/Apagado)	Cumple
Ingreso del material por la tolva de entrada	Cumple
Capacidad de molienda	Cumple
Obtención de tamaño de grano adecuado del material	Cumple
Desplazamiento de material por la tolva de salida	Cumple
Sistema sin excesivas vibraciones	Cumple
Correcto funcionamiento eléctrico	Cumple
Correcto funcionamiento mecánico	Cumple



Costos	Precio
Materiales y componentes mecánicos	\$323,00
Materiales y componentes eléctricos	\$368,00
Utilización de máquinas	\$46,67
Costos de herramientas	\$53,14
TOTAL	\$790,81



AGENDA

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
2. OBJETIVOS
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
4. DISEÑO DEL MOLINO
5. IMPLEMENTACIÓN DE LA MÁQUINA
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Se llevó a cabo el diseño e implementación de una máquina moledora de alfalfa deshidratada, considerando las necesidades del usuario, la cual permite realizar molienda de alfalfa deshidratada y granos de maíz, proporcionando una alternativa para la conservación de nutrientes, almacenamiento, y disponibilidad de alimento procesado para sus animales, fomentando el desarrollo del área agropecuaria en la comunidad.
- Se determinó que la mejor opción para la aplicación de trituración corresponde a la de martillos oscilantes, por su versatilidad, alta capacidad de molienda y grandes cámaras, considerando que puede triturar materiales como la alfalfa que es voluminosa y fibrosa y el maíz que es más compacto, además este sistema es de facilidad limpieza y costos de mantenimiento bajos.



- El área de terreno disponible para el cultivo de alfalfa y maíz en la comunidad, es una oportunidad para el proceso de molienda, integrando así una forma de transformar estos alimentos con una mejoría en el incremento de nivel nutricional de estos productos para los animales de granja pertenecientes a esta comunidad.
- Se aplicó una metodología de diseño que se enfocó en identificar los requerimientos a través de encuestas, encontrando enfoques ingenieriles principales como: capacidad del motor eléctrico, piezas desmontables y sistema de operación sencillo. Se utilizó la matriz de la Casa de la Calidad para comparar características diseño de máquina de molienda de otros fabricantes, encontrando buena ponderación del diseño propuesto.



- Se empleó software CAD para representar las dimensiones obtenidas durante la etapa de diseño y dimensionamiento. Esto permitió una visualización clara del resultado final de cada componente y del ensamblaje completo de la máquina. Mediante esta herramienta, se verificó la unión de las juntas de todos los elementos.
- Se utilizó software CAE, el cual resultó fundamental para simular el comportamiento de los elementos más críticos del conjunto triturador y de la estructura frente a las fuerzas en condiciones de carga calculadas durante el diseño, obteniendo tensiones de Von Mises por debajo del límite elástico, obteniendo factores de seguridad adecuados, garantizando así que no aparezcan desplazamientos significativos en los componentes. Se realizó ensayo de vibración de la máquina identificando que la parte estructural no caiga en resonancia con la vibración de la molienda, evitando ruidos, fallas estructurales o inestabilidad.



- La implementación de la máquina se realizó utilizando la maquinaria y herramientas más adecuadas para que cada elemento cumpla con su objetivo, se tomó importancia en la parte económica, utilizando materiales que brindan seguridad y robustez a la máquina pero que al mismo tiempo sean livianos para la movilidad o desplazamiento de la misma.
- La máquina fue sometida a pruebas finales de validación que se llevaron a cabo en dos etapas. En primer lugar, se realizaron pruebas en vacío para verificar la rotación del conjunto triturador, confirmando que no generara vibraciones significativas ni ruidos extraños. Posteriormente, se introdujo el material a triturar a través de la tolva de alimentación para evaluar tanto la eficiencia de la molienda, además de realizar el intercambio de cribas para comprobar la diferencia del tamaño de grano obtenido.



- Para lograr un troceado de alfalfa de alta calidad, previamente es fundamental comprender el proceso de secado y deshidratación de la alfalfa. Si este proceso se realiza adecuadamente, los niveles de conservación de nutrientes serán óptimos, lo que se traducirá en un troceado de alfalfa de excelente calidad y que se puede conservar durante periodos largos de tiempo. Esta es una ventaja especialmente valiosa en períodos de sequías y baja producción de alimentos.
- Se recomienda revisar el manual realizado, donde se detallan las instrucciones de limpieza, el funcionamiento del tablero de control y las partes de la máquina. Además, se proporciona información sobre el mantenimiento necesario, especialmente en los elementos que pueden sufrir desgaste con el paso de los años y que requerirán ser reemplazados.



GRACIAS POR SU ATENCIÓN



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA