



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electromecánica

Diseño y Construcción de una Máquina Separadora y Despulpadora de Café para el Análisis
de Rentabilidad Financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo

Autor:

Tapuy Cacinto, Darwin Elicio

Ing. Freire Llerena, Washington Rodrigo, *Director*



AGENDA:

- 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2 OBJETIVOS
- 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



AGENDA:

- 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2 OBJETIVOS
- 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

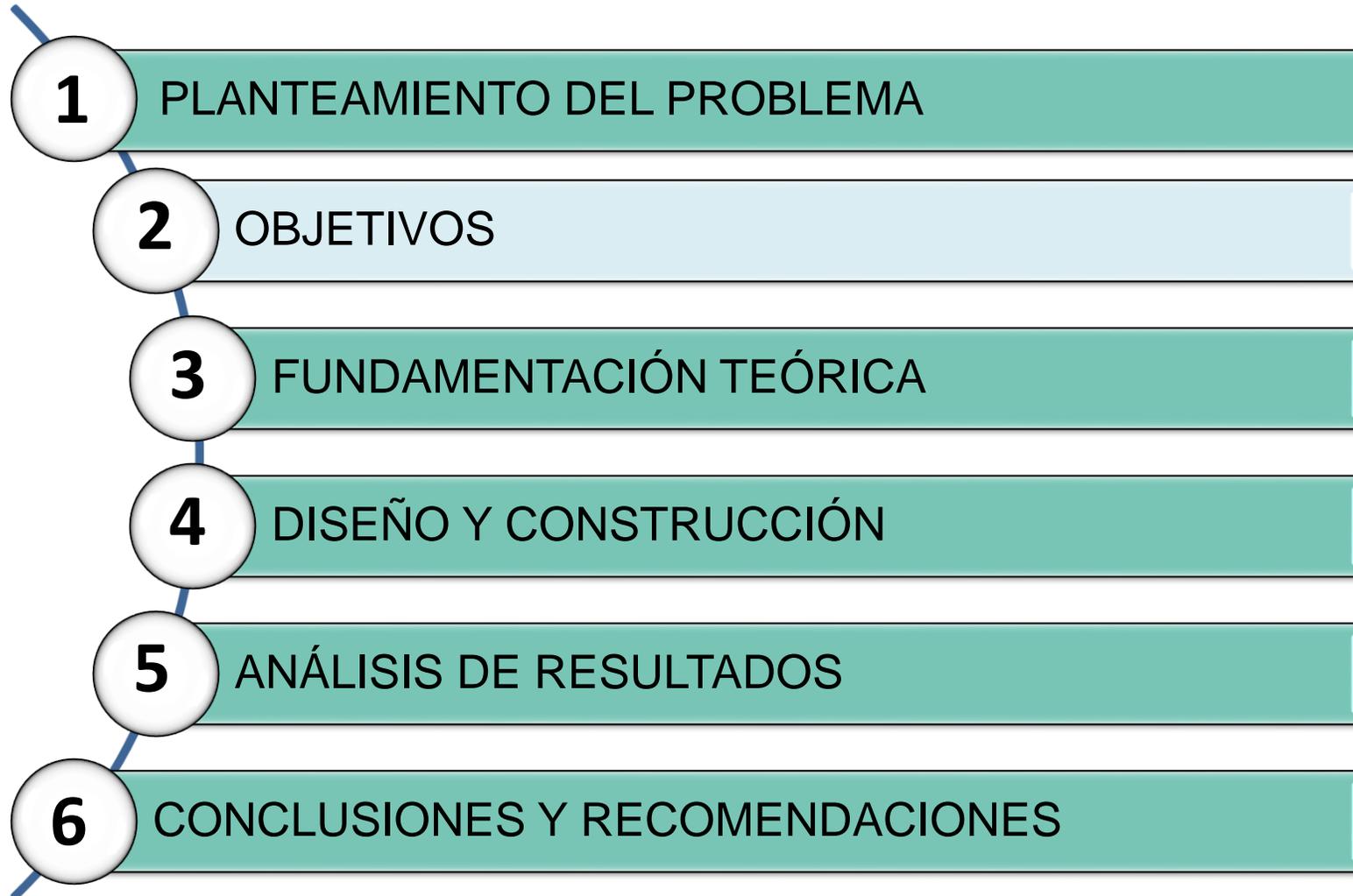


PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Ecuador, el cultivo de productos agrícolas es una de las bases principales de la actividad económica del país. En el sector primario de la producción se puede encontrar pequeños y grandes productores agrícolas, en cualquiera de los dos casos el objetivo es el mismo, aprovechar los recursos naturales.

Las causas de la baja productividad cafetera son las siguientes:

- Falta de tecnología apropiada para el manejo del cultivo.
- Falta de desarrollar materiales genéticos mejorados.
- Alto impacto de la contaminación del grano.



OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una máquina separadora y despulpadora de café para optimizar el proceso de despulpado y mejorar los ingresos económicos en la venta de café despulpado.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar los parámetros de diseño de una máquina separadora y despulpadora de café que permita que la máquina cumpla su función.
- Elegir las alternativas adecuadas de despulpadora y separadora según las necesidades.
- Diseñar los componentes de la máquina separadora y despulpadora de café mediante un software de modelado 3D de acuerdo con los requerimientos planteados.
- Simular la máquina separadora y despulpadora de café para visualizar el comportamiento de los componentes.
- Construir la máquina separadora y despulpadora de café a partir de los planos generados en el software 3D. Analizar la rentabilidad financiera de la venta de café despulpado vs café cereza en la provincia de Napo.

AGENDA:

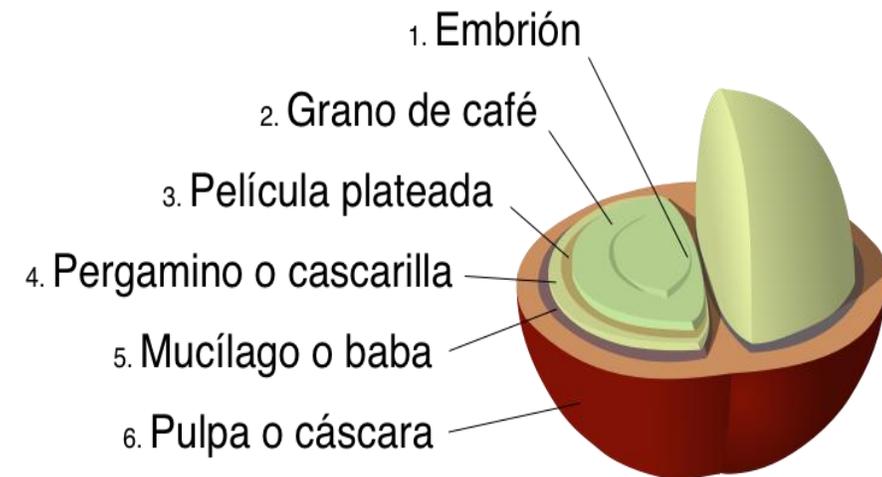
- 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2 OBJETIVOS
- 3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



Origen



Partes de una cereza de café

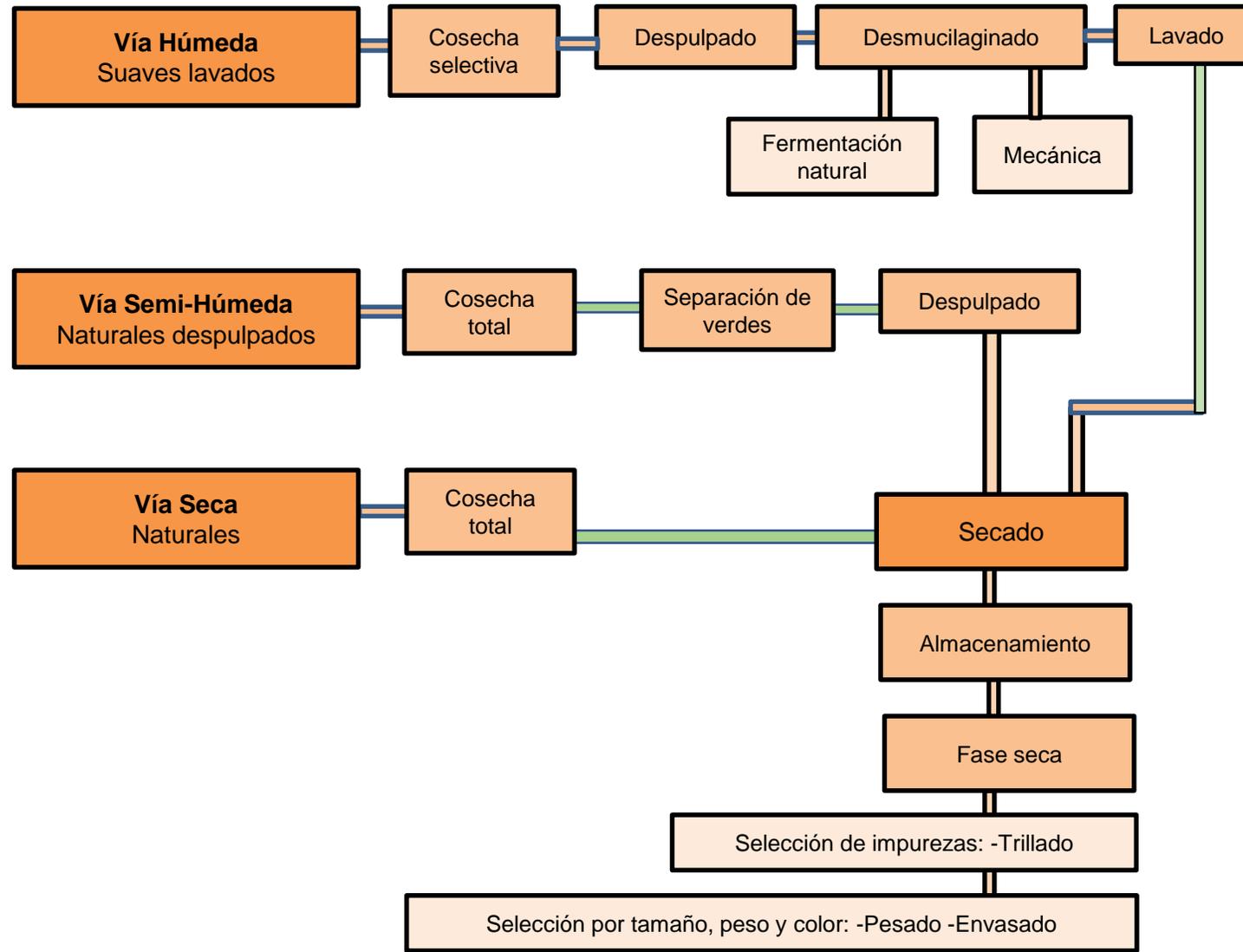


DIFERENCIAS ENTRE CAFÉ ARÁBICA Y ROBUSTA

	Arábica	Robusta
Fecha de descripción	1753	1895
Número de cromosomas (2n)	44	22
Altura del cafeto	6-8 m	8-10 m
Tiempo que tarda desde la flor hasta la cereza madura	9 meses	10-11 meses
Floración	Después de las lluvias	Irregular
Cerezas maduras	Caen	Quedan
Producción (kg/ha)	1500-3000	2300-4000
Raíz	Profundo	Poco profundo
Temperatura óptima	15-24 °C	24-30° C
Lluvia óptima	1500-2000 mm	2000-3000 mm
Altura de cultivo óptimo	1000-2000 m	0-700 m
Forma del grano	Plano	Oval
Características del destilado	Ácido	Amargo, completo
Contenido de cafeína	1.1-1.7 %	2-4.5 %

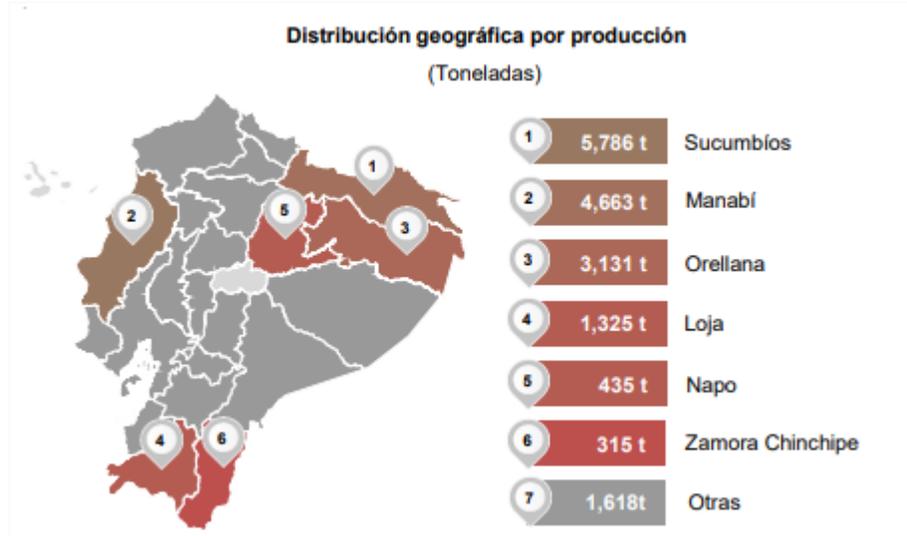


COSECHA Y POSTCOSECHA



CULTIVO DE CAFÉ EN ECUADOR

Contexto nacional



Rendimiento nacional y provincial

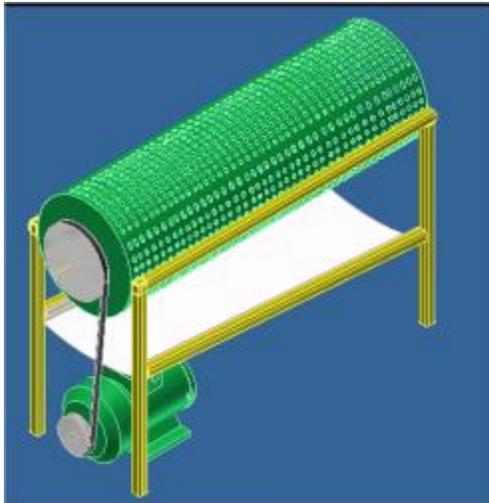
Provincia	Rendimiento (t/ha)
Carchi	0.97
Zamora Chinchipe	0.70
Morona Santiago	0.59
Manabí	0.52
Loja	0.50
Imbabura	0.49
Pichincha	0.43
Azuay	0.41
El Oro	0.32
Esmeraldas	0.31
Tungurahua	0.31
Bolívar	0.30
Galápagos	0.29
Chimborazo	0.24
Pastaza	0.08
Napo	0.08
Cotopaxi	0.03

SEPARADORA DE CAFÉ

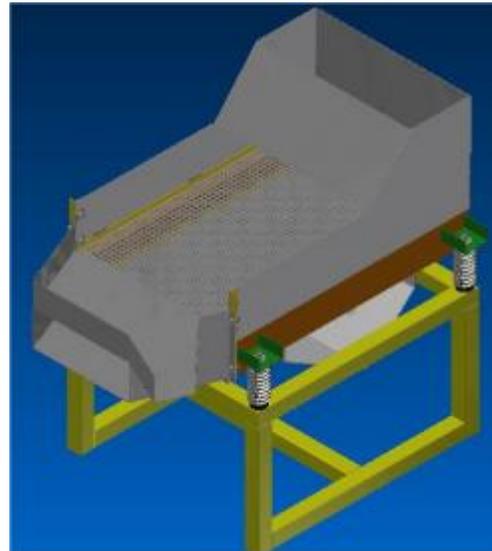
Una máquina separadora rotativa está formada por una criba en forma cilíndrica y en posición horizontal, un motor eléctrico conectado a la criba por medio de una banda, una tolva y una estructura de soporte.

Tipos de separadoras de café:

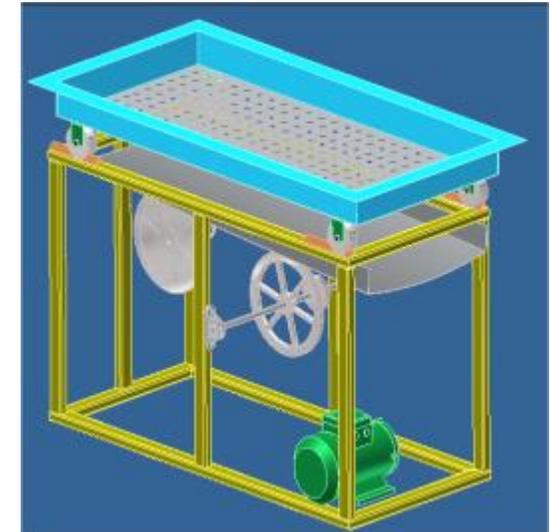
Separadora rotativa



Separadora vibratoria



Separadora horizontal

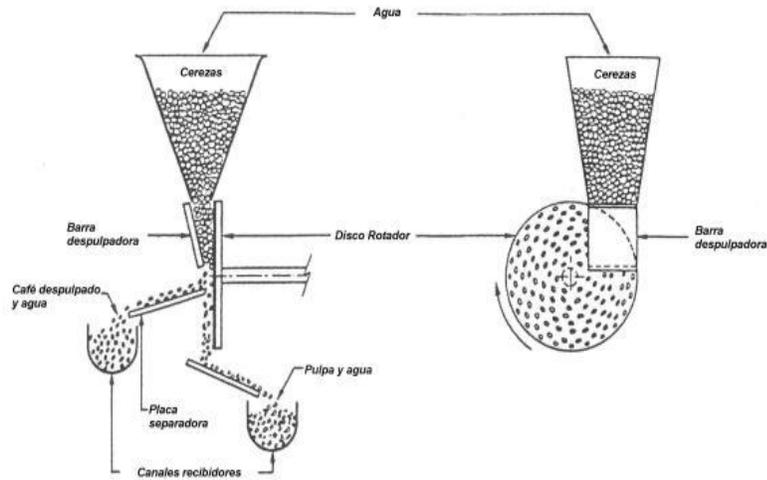


DESPULPADORA DE CAFÉ

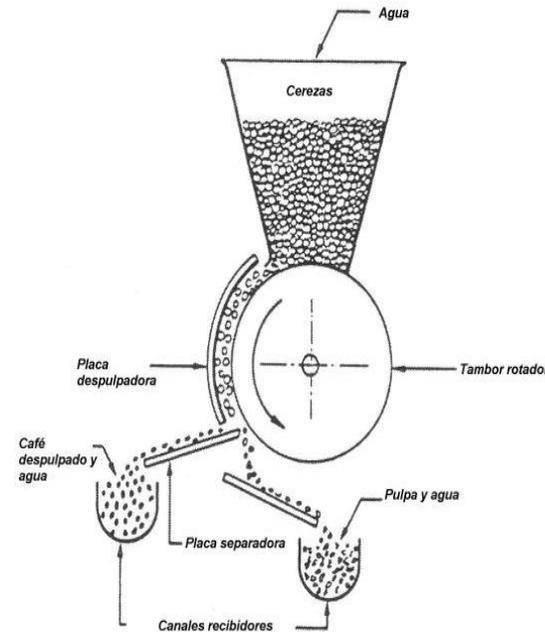
Es una máquina que se utiliza para separar la pulpa de los granos de café. El principio consiste en utilizar mecanismos de presión y fricción para extraer la cáscara del fruto y gran parte del mesocarpio.

Tipos de despulpadoras de café:

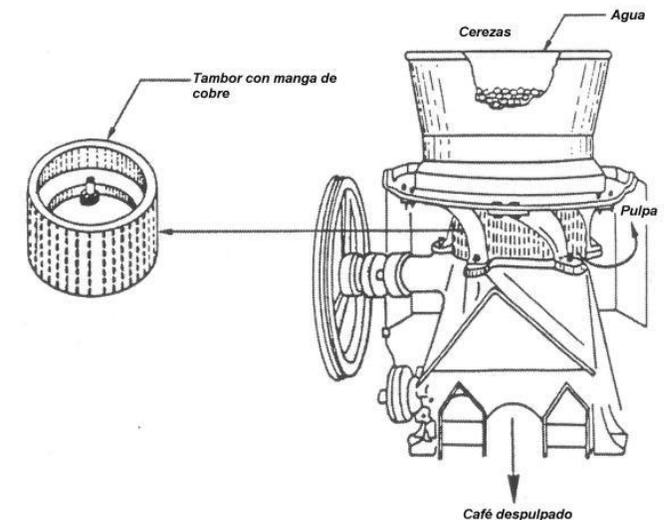
Despulpadora de disco



Despulpadora de tambor horizontal



Despulpadora de tambor vertical



AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD

En función de las necesidades del usuario, se plantea los siguientes requerimientos:

- Funcionalidad
- Costo
- Seguridad
- Tamaño
- Construcción
- Operación
- Mantenimiento

Criterio de comparación	Equivalencia		
	9-7	6-4	3-1
Funcionalidad	Cumple	No Cumple
Costo	Bajo	Intermedio	Alto
Seguridad	Alto	Intermedio	Baja
Tamaño	Pequeño	Intermedio	Grande
Construcción	Fácil	Intermedio	Difícil
Operación	Fácil	Intermedio	Difícil
Mantenimiento	Fácil	Intermedio	Difícil

ALTERNATIVAS DE LA DESPULPADORA

Criterio	Ponderación	Alternativa 1 Despulpadora de disco		Alternativa 2 Despulpadora de tambor horizontal		Alternativa 3 Despulpadora de tambor vertical	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Funcionalidad	20	6	13.33	8	17.78	8	17.78
Costo	20	7	15.56	7	15.56	7	15.56
Seguridad	15	8	13.33	8	13.33	8	13.33
Tamaño	15	8	13.33	8	13.33	5	8.33
Construcción	10	7	7.78	7	7.78	7	7.78
Operación	10	9	10	9	10	9	10
Mantenimiento	10	6	6.67	8	8.88	7	7.78
Sumatoria	100		80		86.66		80.56

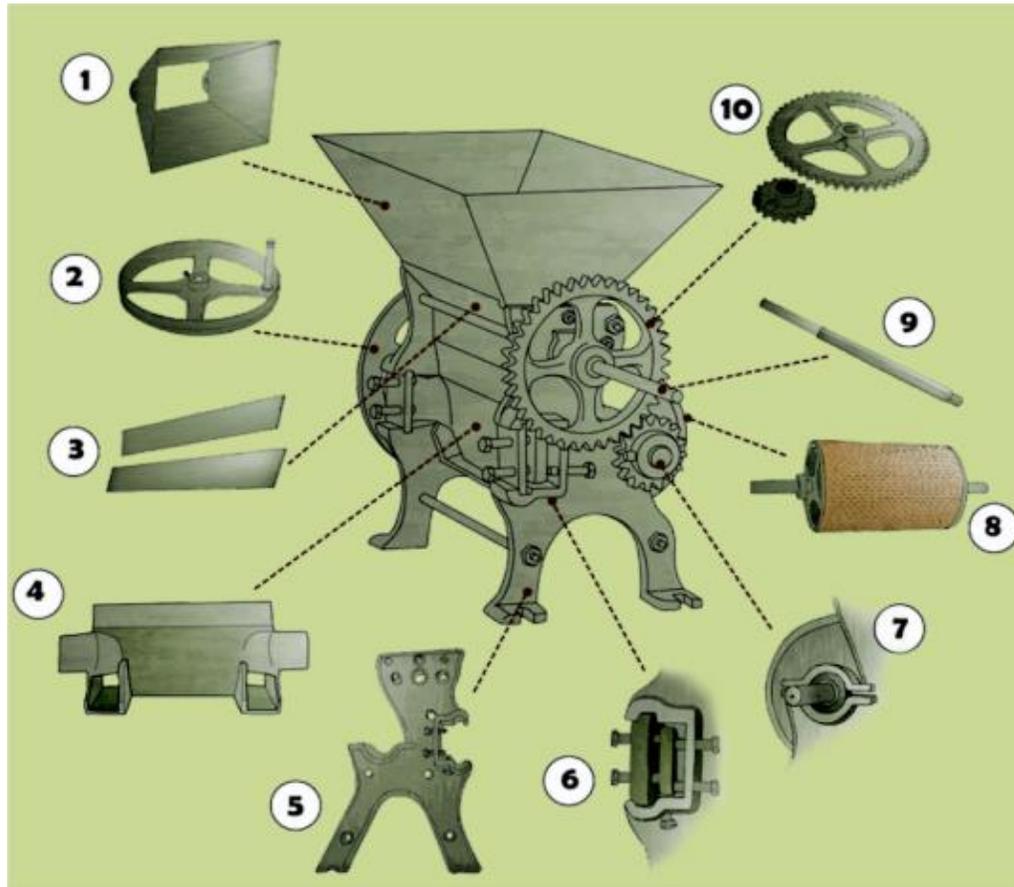


ALTERNATIVAS DE LA SEPARADORA

Criterio	Ponderación	Alternativa 1 Separadora rotativa		Alternativa 2 Separadora vibratoria		Alternativa 3 Separadora horizontal	
		Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada	Calificación	Calificación ponderada
Funcionalidad	20	9	20	9	20	9	20
Costo	20	6	13.33	7	15.56	8	18.78
Seguridad	15	7	11.67	8	13.33	8	13.33
Tamaño	15	7	11.67	9	15	9	15
Construcción	10	5	5.56	6	6.67	7	7.78
Operación	10	9	10	9	10	9	10
Mantenimiento	10	7	7.78	7	7.78	8	8.89
Sumatoria	100		80		88.34		93.78

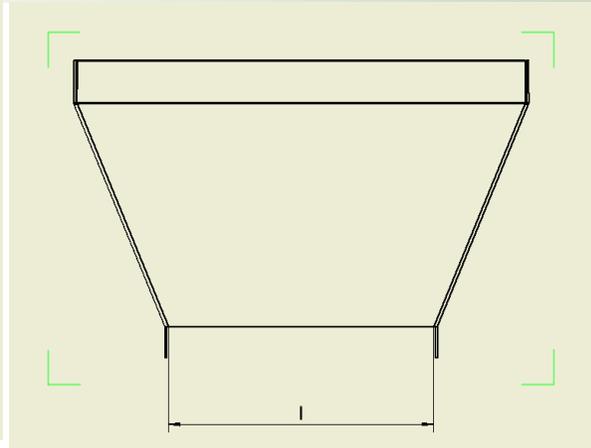
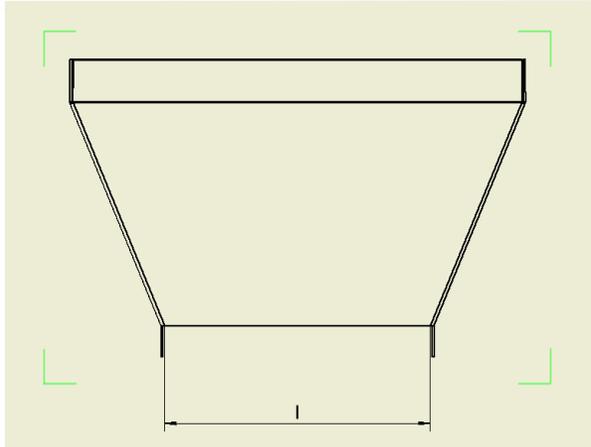


DISEÑO DE LA DESPULPADORA DE TAMBOR HORIZONTAL



1. Tolva
2. Polea
3. Cubierta
4. Pechero
5. Castillo
6. Regulador de pechero
7. Rodaje del eje del tambor y chumacera
8. Cilindro o tambor
9. Regulador de cerezo
10. Engranaje

DISEÑO DE LA TOLVA

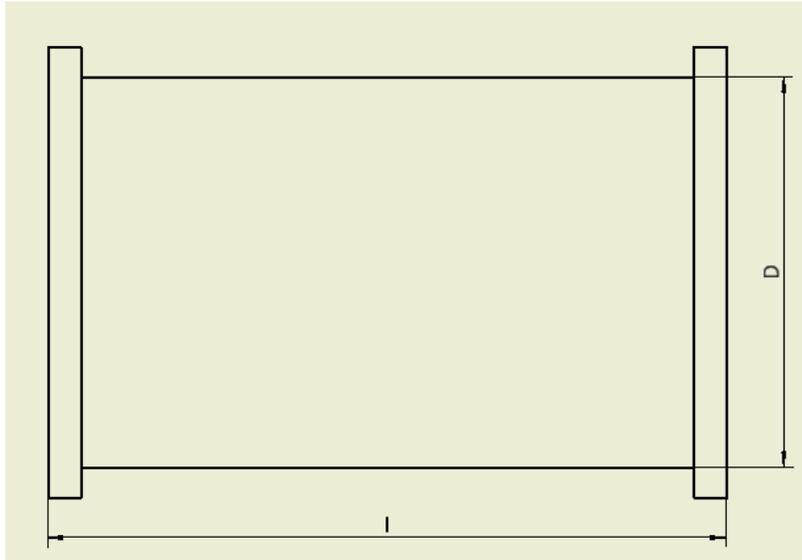


$$V = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B * A_b})$$

Iteración	b1(m)	b2(m)	l(m)	θ (º)	h(m)	V. Calculado(m³)	V. Requerido(m³)
1	0.1	0.3	0.3	60	0.17321	0.00993	0.02604
2	0.1	0.35	0.3	60	0.21651	0.01379	0.02604
3	0.1	0.4	0.3	60	0.25981	0.01819	0.02604
4	0.1	0.3	0.3	65	0.21445	0.01229	0.02604
5	0.1	0.35	0.3	65	0.26806	0.01708	0.02604
6	0.1	0.4	0.3	65	0.32168	0.02252	0.02604
7	0.1	0.3	0.3	70	0.27475	0.01575	0.02604
8	0.1	0.35	0.3	70	0.34343	0.02188	0.02604
9	0.1	0.4	0.3	70	0.41212	0.02885	0.02604



DISEÑO DEL TAMBOR



Capacidad de la máquina:

$$C_m = \frac{200 \text{ kg}}{h} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} * \frac{1 \text{ cereza}}{0.00172 \text{ kg}} = 1938 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$

Número de cerezas:

$$N_c = \frac{l}{D_c}$$

$$N_c = \frac{300 \text{ mm}}{14.1 \text{ mm}}$$

$$N_c = 14.277 \text{ cerezas} \approx 15 \text{ cerezas}$$

Velocidad angular del tambor:

$$n = \frac{C_m}{N_c}$$

$$= \frac{1938 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}}{15 \text{ cerezas}}$$

$$n = 129.2 \text{ RPM}$$

La velocidad del tambor debe ser al menos de 129.2 RPM. Se escoge el valor de 200 RPM.

POTENCIA DE DESPULPADO

Fuerza de despulpado:

$$F_T = F_t * N_c$$

$$F_T = 10.48 N * 15$$

$$F_T = 157.2 N = 16.02 \text{ kgf}$$

Velocidad tangencial:

$$v = \frac{\pi * n * D}{1000}$$

$$v = \frac{\pi * 200 \text{ RPM} * 160 \text{ mm}}{1000}$$

$$v = 100.53 \frac{m}{min}$$

Potencia calculada:

$$N = \frac{F_T * v}{60 * 102}$$

$$N = \frac{16.02 \text{ kgf} * 100.53 \frac{m}{min}}{60 * 102}$$

$$N = 0,263 \text{ kW} = 0.35 \text{ HP}$$

Se selecciona un motor de 0.5 HP a 1800 rpm

CÁLCULO DE LAS POLEAS Y BANDA

Relación de transmisión:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$$

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$i = 9$$

Diámetro de la polea conducida:

$$D_2 = \frac{D_1 * n_1}{n_2}$$

$$D_2 = \frac{2 \text{ pulg} * 1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$D_2 = 18 \text{ pulg} = 457.2 \text{ mm}$$

Distancia entre centros:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

$$18 \text{ pulg} < C < 3(18 \text{ pulg} + 2 \text{ pulg})$$

$$18 \text{ pulg} < C < 60 \text{ pulg}$$

Se selecciona el valor de C= 30 pulgadas

Longitud de la banda:

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$

$$L = [4(30 \text{ pulg})^2 - (18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg})^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(18 \text{ pulg} * 3.68 \text{ rad} + 2 \text{ pulg} * 2.6 \text{ rad})$$

$$L = 67.97 \text{ pulg}$$

CÁLCULO DE LOS ENGRANAJES

Relación de velocidades

$$V_R = \frac{n_P}{n_G}$$

$$V_R = \frac{200 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$V_R = 2.86$$

Número de dientes del engrane:

$$N_G = N_P * V_R$$

$$N_G = 18 \text{ dientes} * 2.86$$

$$N_G = 51.48 \text{ dientes} \approx 52 \text{ dientes}$$

Velocidad de salida:

$$V_G = n_P * \frac{N_P}{N_G}$$

$$n_G = 200 \text{ rpm} * \frac{18 \text{ dientes}}{52 \text{ dientes}}$$

$$n_G = 69.23 \text{ rpm}$$

Paso diametral:

$$P_d = \frac{(N_P + N_G)}{2C}$$

$$P_d = \frac{(18 \text{ dientes} + 52 \text{ dientes})}{2 * 4.2 \text{ pulg}}$$

$$P_d = 8.33 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}} = 8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}$$

Distancia entre centros:

$$C = \frac{(N_P + N_G)}{2P_d}$$

$$C = \frac{(18 \text{ dientes} + 52 \text{ dientes})}{2(8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}})}$$

$$C = 4.375 \text{ pulg}$$

CÁLCULO DE LOS ENGRANAJES

Diámetro de paso en el piñón: Diámetro de paso en el engrane:

$$D_P = \frac{N_P}{P_d}$$

$$D_G = \frac{N_G}{P_d}$$

$$D_P = \frac{18 \text{ dientes}}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$D_G = \frac{52 \text{ dientes}}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$D_P = 2.25 \text{ pulg}$$

$$D_G = 6.5 \text{ pulg}$$

Ancho de cara:

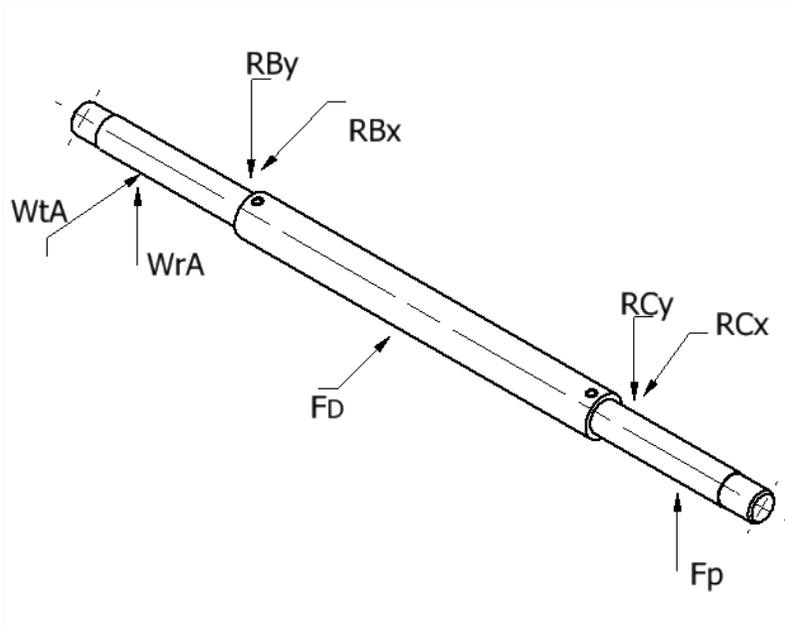
$$F = \frac{12}{P_d}$$

$$F = \frac{8}{8 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 1 \text{ pulg}$$



CÁLCULO DEL EJE PRINCIPAL Y EJE CUADRADO



Par torsional: $T = 157.5 \text{ lb. pulg}$

Fuerza sobre la polea: $F_p = 35 \text{ lb}$

Fuerza sobre el tambor: $F_D = 35.34 \text{ lb}$

Fuerza sobre el piñón:

Fuerza tangencial = $W_{tA} = 126 \text{ lb}$

Fuerza radial = $W_{rA} = 45.86 \text{ lb}$

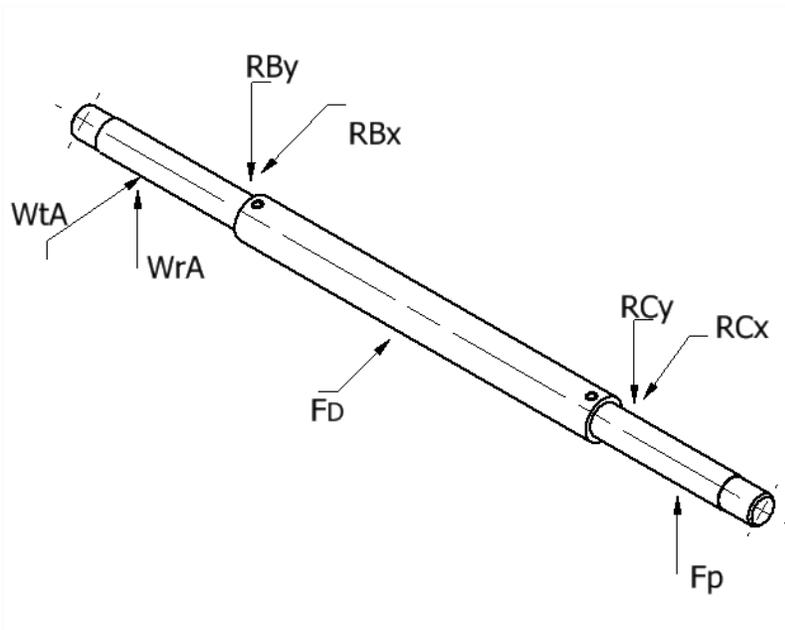
$$M_B = \sqrt{M_{Bxz}^2 + M_{Byz}^2}$$

$$M_B = 268.17 \text{ lb. pulg}$$

$$M_C = \sqrt{M_{Cxz}^2 + M_{Cyz}^2}$$

$$M_C = 70 \text{ lb. pulg}$$

CÁLCULO DEL EJE PRINCIPAL Y EJE CUADRADO



Material: AISI 1144

Resistencia a la tensión: $S_u = 118000 \text{ psi}$

Resistencia a la fluencia: $S_y = 83000 \text{ psi}$

Resistencia a la fatiga modificada: $S'_n = 27216 \text{ psi}$

Diámetro del eje

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

Punto P: $D_P = 0.33 \text{ pulg}$

Punto C:

A la izquierda: $D_C = 0.44 \text{ pulg}$

A la derecha : $D_C = 0.51 \text{ pulg}$

Punto B:

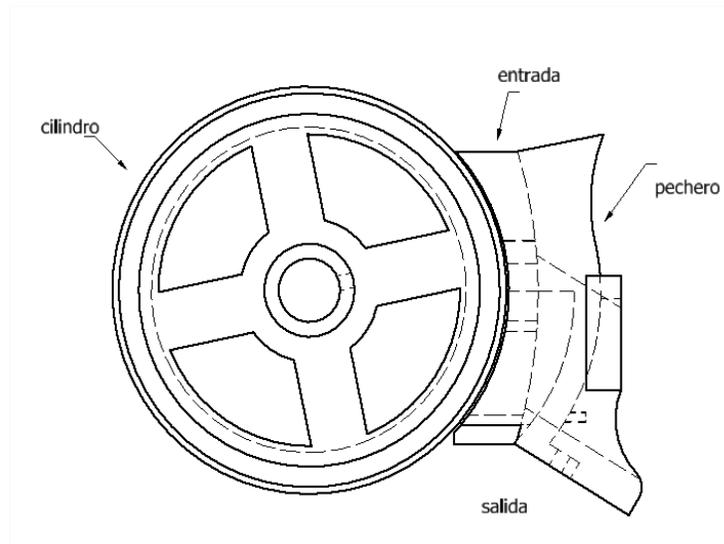
A la derecha: $D_B = 0.79 \text{ pulg}$

A la izquierda: $D_B = 0.67 \text{ pulg}$

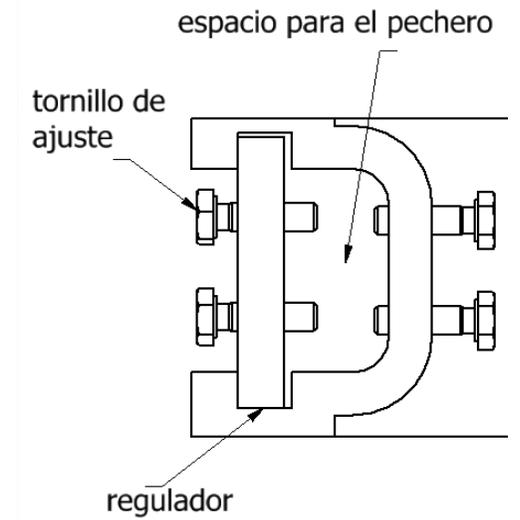
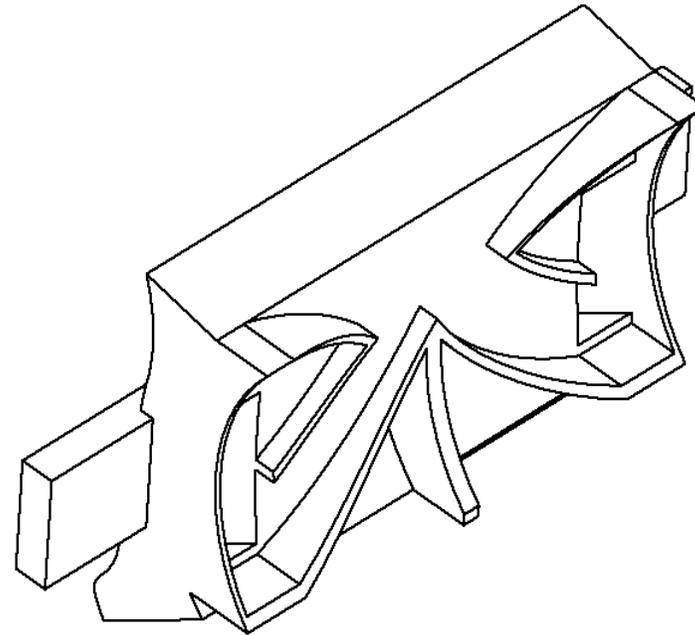
Punto A: $D_A = 0.32 \text{ pulg}$

CÁLCULO DEL PECHERO Y REGULADOR DEL PECHERO

Cilindro y pechero



Regulación del pechero

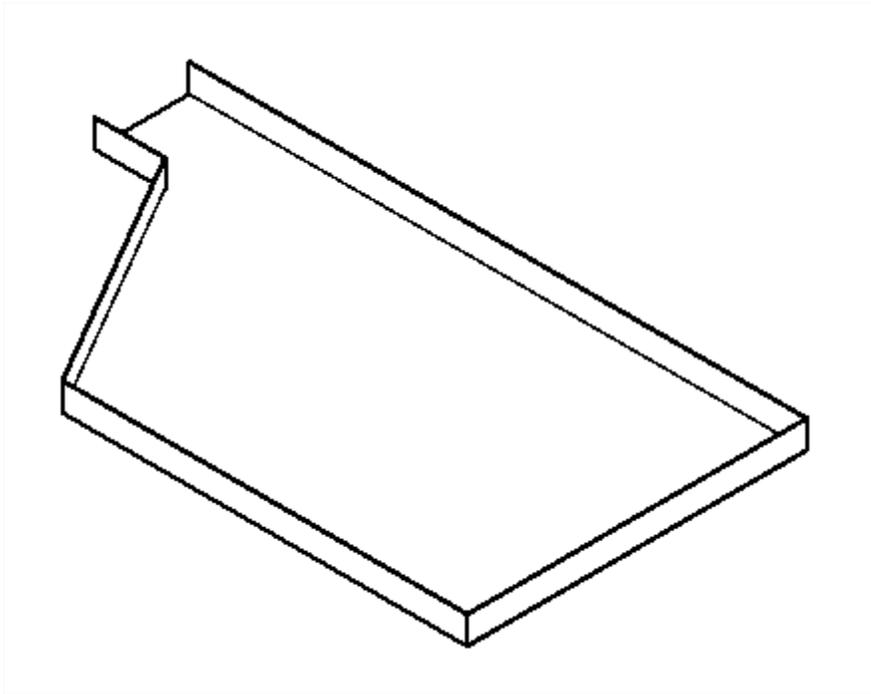


DISEÑO DE LA SEPARADORA HORIZONTAL



- 1- Motor eléctrico
- 2- Recolector
- 3- Meza deslizante
- 4- Zaranda
- 5- Mecanismo polea-banda
- 6- Mecanismo biela-manivela
- 7- Estructura

CÁLCULO DE LA BANDEJA PRINCIPAL Y SECUNDARIA



Capacidad de la criba:

$$C_{criba} = C_{tolva} * 70\%$$

$$C_{criba} = 25 \text{ kg} * 70\%$$

$$C_{criba} = 17.5 \text{ kg}$$

Volumen de la criba:

$$C_{criba} = C_{tolva} * 70\%$$

$$V_{criba} = 0.02604 \text{ m}^3 * 70\%$$

$$V_{criba} = 0.018228 \text{ m}^3$$

Altura de la bandeja:

$$h_{bandeja} = \frac{0.018228 \text{ m}^3}{0.21 \text{ m}^2}$$

$$h_{bandeja} = 0.0868 \text{ m} = 86.8 \text{ mm}$$

CÁLCULO DE LAS POLEAS Y BANDA

Diámetro de la polea conducida:

$$D_2 = \frac{D_1 * n_1}{n_2}$$

$$D_2 = \frac{5 \text{ pulg} * 70 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$D_2 = 5 \text{ pulg}$$

Distancia entre centros:

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

$$5 \text{ pulg} < C < 3(5 \text{ pulg} + 5 \text{ pulg})$$

$$5 \text{ pulg} < C < 30 \text{ pulg}$$

Distancia real entre centros:

$$22.64 \text{ in} < C < 30 \text{ pulg}$$

Se selecciona el valor de $C=25$ pulg

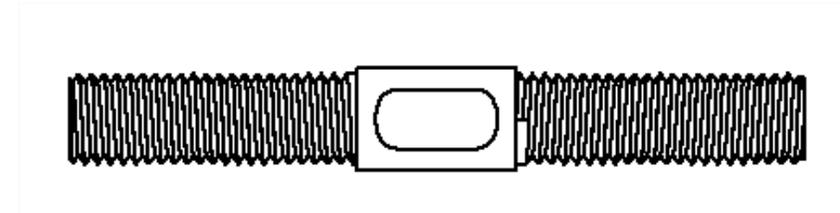
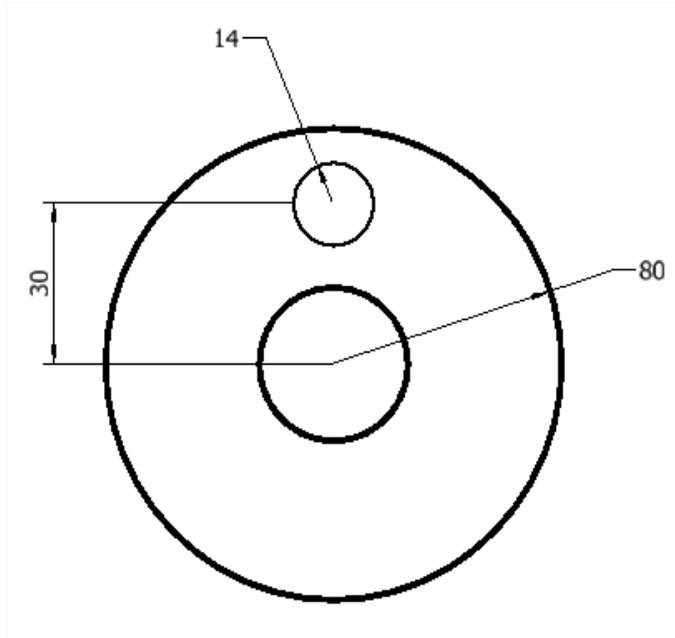
CÁLCULO DEL DISCO EXCÉNTRICO Y LA BIELA

Diámetro del disco

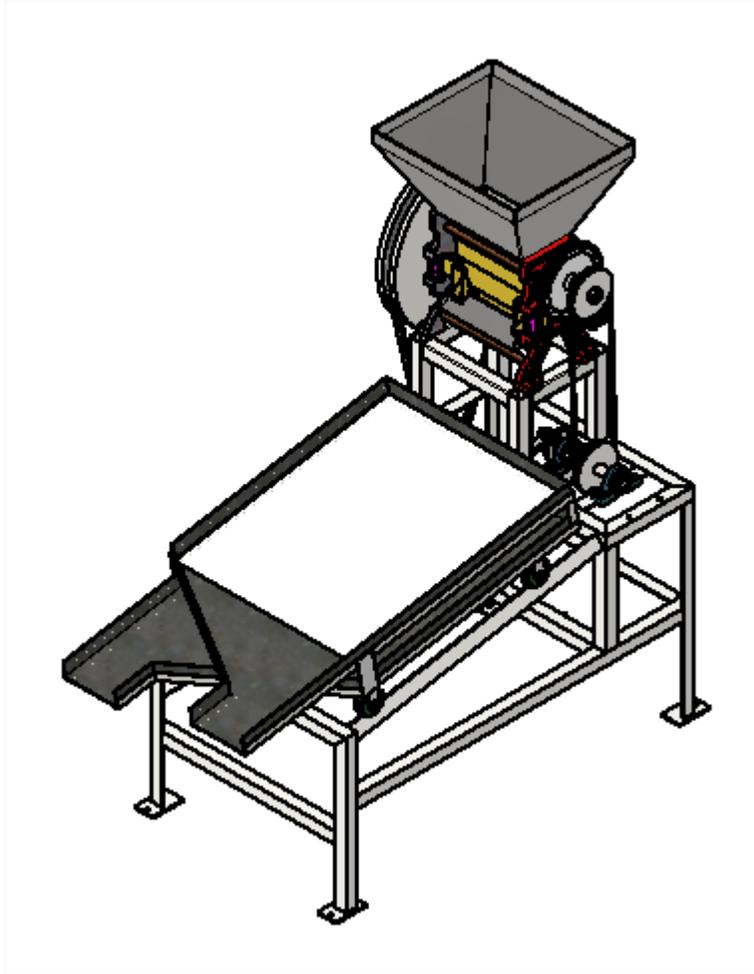
$$D_{disco} = 80 \text{ mm}$$

Longitud de la biela

$$L_{biela} = 150 \text{ mm}$$



ENSAMBLE Y CONSTRUCCIÓN



AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



COSTOS DE LA PROCESADORA

Denominación	Tipo de Costo	Valor USD
C1	Costos directos de la despulpadora	392
C2	Costos elementos normalizados de la despulpadora	171.80
C3	Costo mano de obra de la despulpadora	34.50
C4	Costos directos de la separadora	217.50
C5	Costos elementos normalizados de la separadora	56.75
C6	Costo mano de obra de la separadora	31
CT	Costo total	903.55 \$



ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Elemento	Unidad	Costo individual \$	Costo total anual \$
Despulpadora y separadora	Mensual	2112	14699

$$\text{Año 1: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-1} = 876.10$$

$$\text{Año 2: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-2} = 761.83$$

$$\text{Año 3: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-3} = 662.46$$

$$\text{Año 4: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-4} = 576.05$$

$$\text{Año 5: } 1007.52 * (1 + 0.15)^{-5} = 500.92$$

$$VPN = 876.10 + 761.83 + 662.46 + 576.05 + 500.92 - 903.55$$

$$VPN = 2473.81 \$$$

AGENDA:

- 1** PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
- 2** OBJETIVOS
- 3** FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
- 4** DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN
- 5** ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 6** CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café que sirve para optimizar el proceso manual de despulpado. La procesadora permite al agricultor comercializar el café despulpado.
- De las alternativas presentadas para la despulpadora y separadora se eligen las más adecuadas según parámetros definidos, así como la ubicación de las mismas. Se selecciona la despulpadora de tambor horizontal y separadora horizontal.
- En los requerimientos iniciales se considera la capacidad de la máquina, el tamaño, el espacio disponible y los costos de construcción. Con los parámetros definidos y mediante cálculos para el dimensionamiento de los componentes, se realiza el diseño de la máquina mediante el software Autodesk Inventor.

CONCLUSIONES

- Mediante la simulación se tiene una visualización del resultado final de la procesadora. La simulación permite identificar fallas y realizar cambios antes de construir la máquina.
- La construcción se realiza guiándose en los planos generados por la simulación. Los planos contribuyen a agilizar los tiempos de armado de la máquina. La construcción también involucra identificar las piezas que necesitan mantenimiento para extender su tiempo de vida útil.
- Según los cálculos realizados es factible implementar la procesadora de café para cultivos superiores a una hectárea en café en la provincia de Napo. El período de recuperación de la inversión se estima en cinco años.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la simulación de las tres alternativas presentadas tanto de la despulpadora y separadora para su respectiva comparación.
- Se recomienda implementar un regulador de criba que permita ajustar sus dimensiones a diferentes tamaños de café, similar al regulador del pechero.
- Se recomienda realizar el diseño usando materiales de menor peso sin afectar el costo de la procesadora.
- Se recomienda utilizar materiales disponibles en el mercado local. En caso de ser necesario se puede utilizar materiales con características similares dado que el diseño general posee un factor de diseño de dos.
- Se recomienda realizar un estudio de la rentabilidad posterior a la construcción de la máquina en intervalos de un año.

Dziękuję Mauruuru D'Akujem хвала.
Obrigado Gracias Dankie Merci
Sagolun Danke Arigatô Kiitos Köszönöm Kiitos Rahmat
Tak Merci Arigatô Thank You Mercé
Xièxie Matondo Obrigado Teşekkür Ederim Sagolun Mahalo
Grazie Chokrane Efharisto Chokrane
хвала Toda Hvala Danke Dank Je Takk
Faleminderit Terima Kasih Takk





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en
Electromecánica**

**Diseño y Construcción de una Máquina Separadora y Despulpadora de Café para el Análisis
de Rentabilidad Financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo**

Autor:

Tapuy Cacinto Darwin Elicio

Ing. Freire Llerena Washington Rodrigo, **Director**

