

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**SECCIÓN INGENIERIA MECÁNICA**



Proyecto de Tesis

**Maquina despulpadora y desmucilaginadora de café con  
capacidad de 850 kg/h para la localidad de Villa Rica**

Que presenta el alumno:

**Juan Carlos Alania Haro**






ASESOR: Ing. Roberto Furukawa



## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1 .....	2
1. El café y sus beneficios .....	2
1.1. El café y sus características .....	2
1.2. Principales Especies .....	2
Especie Coffea Canephora o Café Robusta .....	2
Especie Coffea arábica o Café Arábica .....	3
Producción de café en el Perú .....	3
Café en el marco del COVID-19.....	5
Producción de Café en Villa Rica .....	6
Características de Villa Rica.....	7
Capítulo 2 .....	13
2.1 Concepción del Diseño .....	13
Planeamiento .....	13
Elaboración del Concepto .....	13
Elaboración del Proyecto .....	13
Elaboración de Detalle .....	13
2.2 Estado de la Tecnología.....	14
2.2.1 Procesamiento del café .....	14
El Cultivo .....	14
La Cosecha o Recolección .....	14
Beneficiado del Café .....	15
Beneficiado Seco .....	15
Beneficiado Húmedo .....	17
2.2.2 Métodos de Despulpado de café .....	19
Funcionamiento del despulpado .....	19
Detalles del despulpado .....	22
Despulpado sin Agua .....	24
Despulpado con Agua .....	26
2.2.3 Métodos de Remoción de Mucílago .....	29
Funcionamiento de la remoción de mucilago .....	29
Detalles de la remoción del mucilago.....	30
Fermentación Natural o Enzimática .....	31



Fermentación Química.....	31
Desmucilaginado Mecánico .....	31
2.3 Lista de Exigencias .....	33
2.4 Estructura de Funciones.....	36
2.4.1 Abstracción .....	36
2.4.2. Secuencia de Procesos Tecnológicos .....	37
2.5 Matriz Morfológica .....	40
2.6 Concepto de Solución .....	42
2.6.1 Concepto de Solución 1 .....	42
2.6.2 Concepto de Solución 2 .....	43
2.6.3 Concepto de Solución 3 .....	44
2.6.4 Evaluación técnica-económica.....	45
2.7 Proyecto Preliminar .....	49
Características y propiedades física y mecánicas de la cereza de café.....	51
Capítulo 3.....	54
3. Ingeniería de Detalle .....	54
3.1 Condiciones de trabajo.....	54
3.2 Cálculo del flujo másico de cereza de café .....	55
3.3 Dimensionamiento del cilindro despulpador .....	59
3.3 Selección de poleas y fajas .....	66
3.4 Dimensionamiento de engranajes. ....	76
 3.4 Calculo del eje de Despulpado.....	77
3.4 Diseño del Pechero .....	86
 3.4 Calculo de los esfuerzos en la barra de sujeción .....	87
 3.4 Calculo del cilindro Desmucilaginador.....	89
 3.4 Calculo del transporte Helicoidal .....	90
 3.4 Calculo de la altura de la parte desmucilaginadora.....	93
Capítulo 4.....	99
4.1 Simulación.....	99
4.2 Costos y Presupuestos .....	102
Bibliografía .....	105



## Introducción



La planta de café: cafeto



La palabra café proviene del árabe “kaweh”, que significa fuerza o vigor. Podría ser también la transposición de “Kaffa”, nombre de una provincia de Etiopía, la cual es la conocida como el lugar de origen del café.

Se podría decir que el café se introdujo en Europa en el siglo XVII, pero el cultivo siempre se limitó a Etiopía y Arabia; sin embargo, luego de 1700 se propaga por todo el mundo. La planta del café: el cafeto exige un clima tropical; es decir, un clima caliente y húmedo, sin que se vea afectado por temperaturas extremas. La temperatura adecuada para el crecimiento del cafeto es entre 17°C y 23°C y principalmente su área de cultivo se sitúa entre los paralelos 30 norte y sur.

El cafeto empieza a producir a partir del tercer año de sembrado, pero es hasta el séptimo año que alcanza su máximo rendimiento. La altura del cafeto en las plantaciones se limita a 1 a 3 m de altura.

Existen más de sesenta especies de cafetos, pero solo cuatro de estas tienen un valor económico importante: Arábica, Canéfora o Robusta, Excelsa y Libérica.

La cosecha del cafeto se lleva a cabo entre 8 a 10 meses después de la floración.

En cuanto al rendimiento de las plantaciones varía de acuerdo a la región, existen plantaciones las cuales no sobrepasan de 250 a 500 kg/ha. Normalmente los cafetales cuidados producen de 500 a 1000 kg/h.

# Capítulo 1

## 1. El café y sus beneficios



### 1.1. El café y sus características

La planta de la cual se extrae el café es el arbusto de cafeto y su origen se remonta a África.

El cafeto crece en un clima tropical; es decir, un clima caliente y húmedo, sin que se vea afectado por temperaturas extremas. La temperatura adecuada para el crecimiento del cafeto está entre 17°C y 23°C y principalmente su área de cultivo se sitúa entre los paralelos 30 norte y sur.

El cafeto empieza a producir a partir del tercer año de sembrado, pero es hasta el séptimo año que alcanza su máximo rendimiento.

La cosecha del cafeto se lleva a cabo entre 8 a 10 meses después de la floración.

Existen más de sesenta especies de cafetos, pero solo cuatro de estas tienen un valor económico importante: Arábica, Canéfora o Robusta, Excelsa y Libérica. Sin embargo, las dos especies utilizadas en el mundo para el consumo son la Arábica y Robusta, en el Perú se cultiva la variedad Arábica.

### 1.2. Principales Especies

Según la Organización Internacional de Café (ICO, por sus siglas en inglés), existen diversos tipos de café; sin embargo, solo dos especies son las más relevantes, esto visto desde el punto de vista económico. Estas son: la especie Café Robusta y Café Arábica. (Cámara Peruana del Café y Cacao, 2020).

#### Espece *Coffea Canephora* o Café Robusta

El cafeto de esta especie es un pequeño árbol robusto que puede crecer hasta alcanzar 10 metros de altura y tiene una raíz poco profunda. La semilla es alargada y tarda entre 11 meses en madurar. (Cámara Peruana del Café y Cacao, 2020).





## Especie *Coffea arábica* o Café Arábica

La especie arábica es la más comercializada en todo el mundo, y dentro de esta especie las variedades más conocidas son “Typica” y “Borbón”. El cafeto de esta especie es un arbusto grande con hojas ovaladas verde oscuro. El fruto es ovalado y tarda en madurar de 7 a 9 meses. El café Arábica es a menudo susceptible a plagas y enfermedades. Esta es la variedad que se cultiva en el Perú. (Cámara Peruana del Café y Cacao, 2020).



*Figura 1. Semillas de café Arábica (izquierda) y Robusta (derecha)*

*Fuente: Cafés Orús*

<https://cafesorus.es/2020/03/cafe-arabica-cafe-robusta/>



## Producción de café en el Perú

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri), el Perú es el séptimo país exportador de café a nivel mundial. A su vez, el café está dentro de los 10 principales productos de exportación. El Perú posee aproximadamente 425 416 hectáreas dedicadas al cultivo de café. Estas plantaciones de café se encuentran instaladas en 17 regiones, 67 provincias y 338 distritos. Alrededor de 223 482 familias de pequeños productores están vinculados a la producción de café (Minagri, 2020).

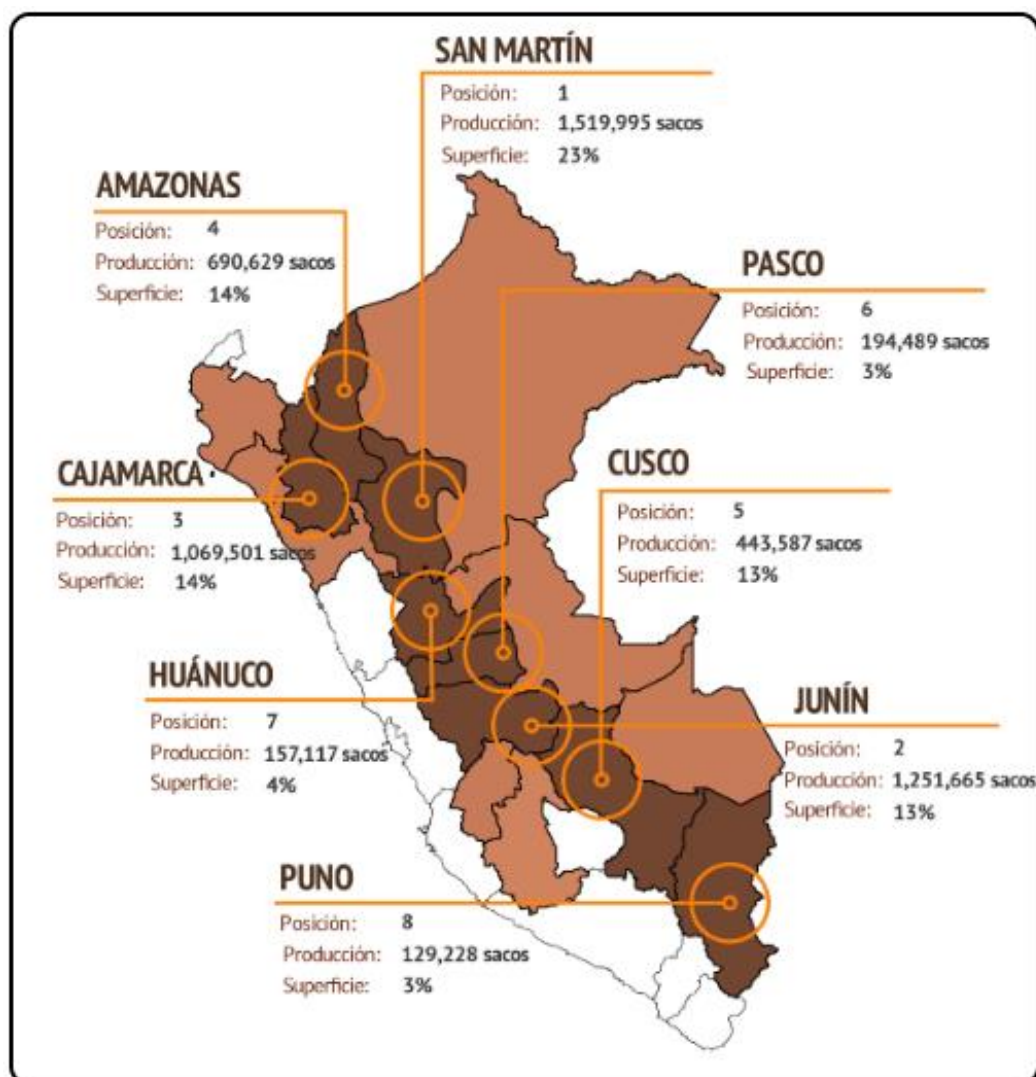


Figura 2. Zonas de producción de café en el Perú, las zonas de color producen menos de 10 mil ha

Fuente: Minagri – OEEE, ENAHO

Los principales destinos de exportación del café peruano es principalmente el mercado de Estados Unidos. Otro importante sector de exportación es el mercado europeo, como principales compradores Francia, Italia, Alemania, Bélgica y el Reino Unido.

Como se mencionó el café se encuentra dentro de los diez principales productos de exportación del Perú. Así lo muestra la Cámara Peruana del Café y el Cacao.

## Perú: Exportaciones de café por años

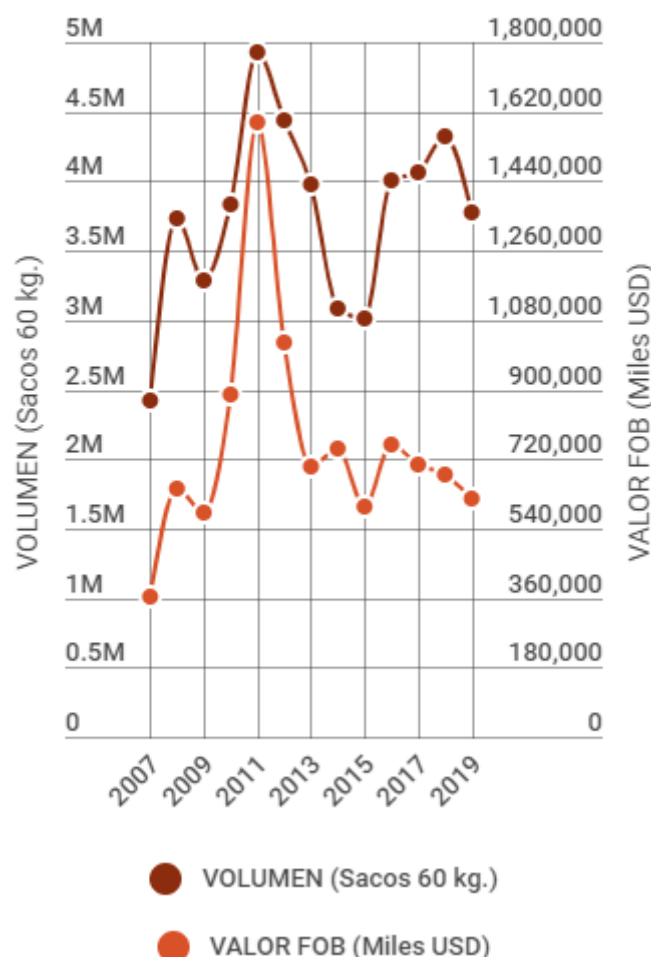


Figura 3. Exportaciones de café por años 2007 – 2019

Fuente: Cámara Peruana de Café y Cacao



### Café en el marco del COVID-19

El sector cafetalero en nuestro país ha sido golpeado en los últimos años. La última crisis que enfrentó este sector fue el de la roya amarilla, la cual es una enfermedad producida por un hongo que afecta a la planta del cafeto. Actualmente, debido a la pandemia del COVID-19, la Cámara Peruana de Café y Cacao que es probable que tenga un impacto profundo en el sector cafetalero mundial, incluyendo producción, consumo y comercio internacional. También se



cree que, como resultado de la caída de un punto porcentual de PBI, el crecimiento de la demanda global de café se reducirá en 0.95 %, unos 1.6 millones de sacos de 60 kg de café verde. Se espera que los consumidores sensibles al precio traten de buscar alternativas más baratas al café que solían comprar antes de la crisis, por ejemplo, sustituir marcas de gama alta con ofertas de menor costo. Las principales tostadoras, que quienes son las que compran el café, cuentan con preocupaciones debido a que el virus podría causar escasez en mano de obra que impediría la cosecha de café en regiones claves como Centroamérica y Sudamérica. (Cámara Peruana de Café y Cacao, 2020).



## Producción de Café en Villa Rica

Villa Rica se ubica en la provincia de Oxapampa, región Pasco, y es una zona cafetalera por excelencia, la asociación Aprocafae produce 2,500 quintales de café (equivalente a 250,000 kilos) por campaña, lo que representa un incremento de 150 por ciento de su producción, frente a los 1,000 quintales (100,000 kg) que producían hace cuatro años. (Agencia Andina, 2018).

En el distrito de Villa Rica, en la selva de Pasco existe una extensión de 7,800.71 hectáreas de cafetales en las que producen más de 130,000 quintales (1 qq=55.2 kilos) de café de calidad. Aproximadamente el 80% son pequeños caficultores (menos de 10 hectáreas). De los 16,931 villarricenses, el 90% está relacionado de forma directa e indirecta a la economía cafetalera. (Villa Rica Golden Coffe, 2020).

El Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri) informó que 28 agricultores de la Asociación de Productores y Comercializadores Agropecuarios Forestal Alto Eneñas (Aprocafae) del distrito de Villa Rica, produce 2,500 quintales de café por campaña, lo que representa un incremento de 150% frente a los mil quintales de hace cuatro años.



## Características de Villa Rica



### **Superficie:**

El distrito de Villa Rica se encuentra ubicada en la provincia de Oxapampa, Pasco, en la creación de la Oxapampa se incluyó el distrito de Villa Rica. Tiene una superficie de 850 km<sup>2</sup>. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).



### **Altitud**

La capital del Distrito se ubica a una altitud de 1,470 m.s.n.m., a 300 km. de la ciudad de Cerro de Pasco. Geográficamente se ubica a 10°,43',10" de latitud Sur 75°,16',10" de longitud Oeste. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).



### **Vías de Comunicación**

Las vías de gran importancia son de carretera afirmada realizándose principalmente por las siguientes rutas:

- Villa Rica - La Merced, carretera afirmada de 54.1 Km. de longitud.
- Villa Rica - Oxapampa, carretera afirmada 65.1 Km. de longitud.
- Villa Rica - Puerto Bermúdez, trocha carrozable 112 Km.

(Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).



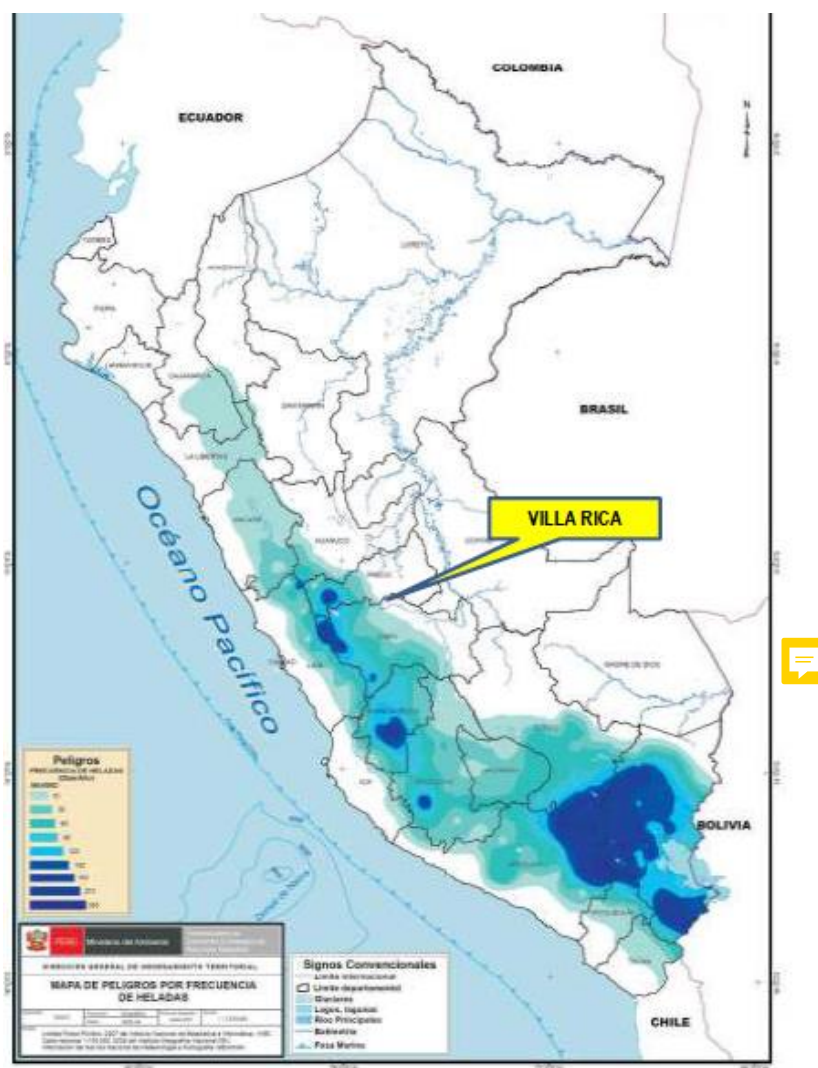
### **Clima**

En la zona de estudio la variación anual de temperatura puede ir de 7.30 a 22.10 °C. Por otro lado, la estación de Oxapampa registra una precipitación anual promedio de 1012.8 mm. El clima de Villa Rica se caracteriza por estar en declive de la Cordillera Andina propia de la selva alta. Presenta lluvias altas de enero a marzo y un periodo relativamente seco en el resto del año. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).

Tiempo	Temperatura (°C)	Humedad (%)	Precipitación (mm)
Mensual máximo	22.60	100.00	28.20
Mensual mínimo	15.73	65.80	03.00

*Figura 4, Parámetros de temperatura, humedad, precipitación y evaporación total de mensual de la Estación de Oxapampa.*

*Fuente: SENAMHI*



*Figura 5, Mapa de Heladas en el Perú*

*Fuente: SENAMHI*

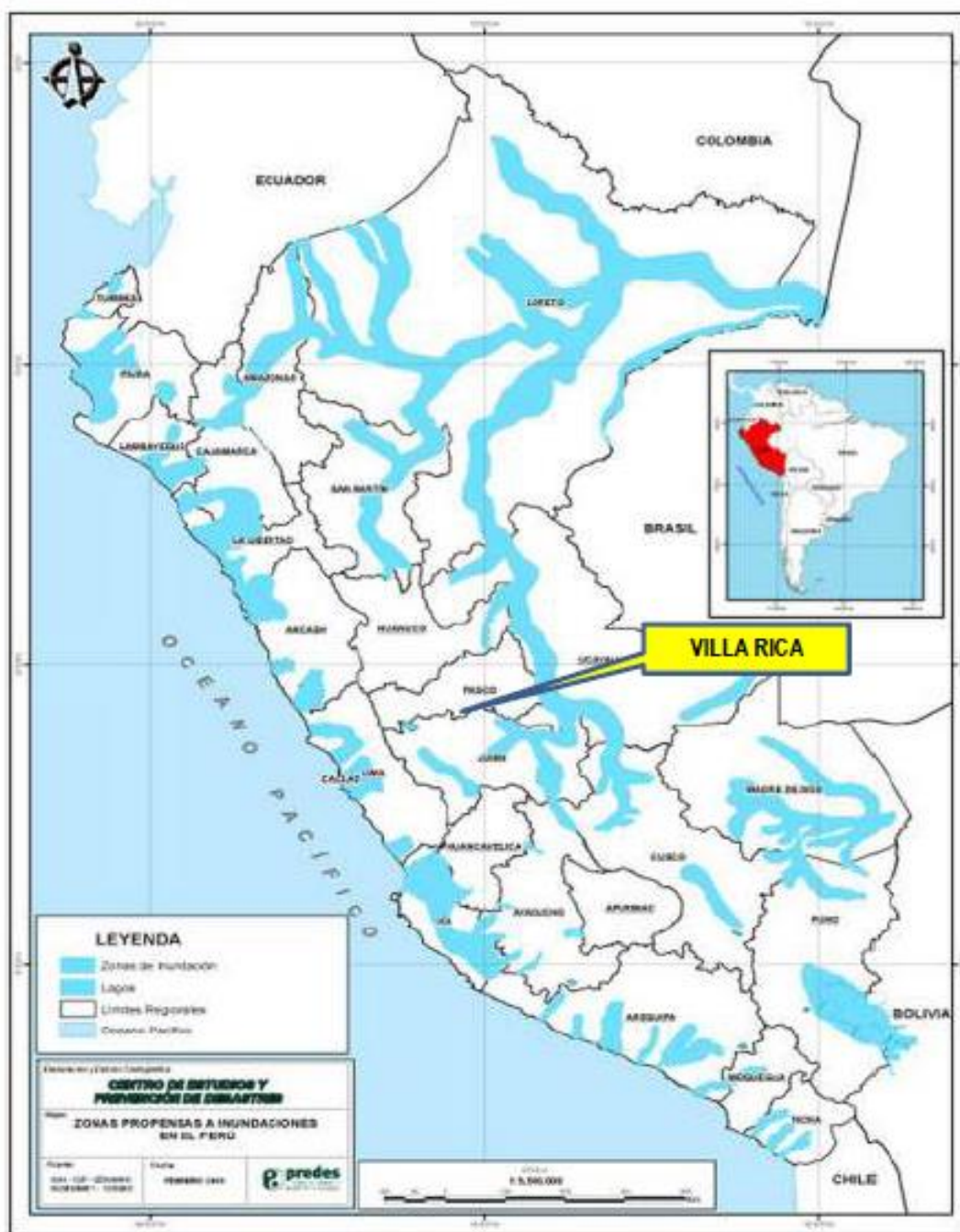


Figura 6. Mapas Propensas a Inundaciones

Fuente: SENAEMI

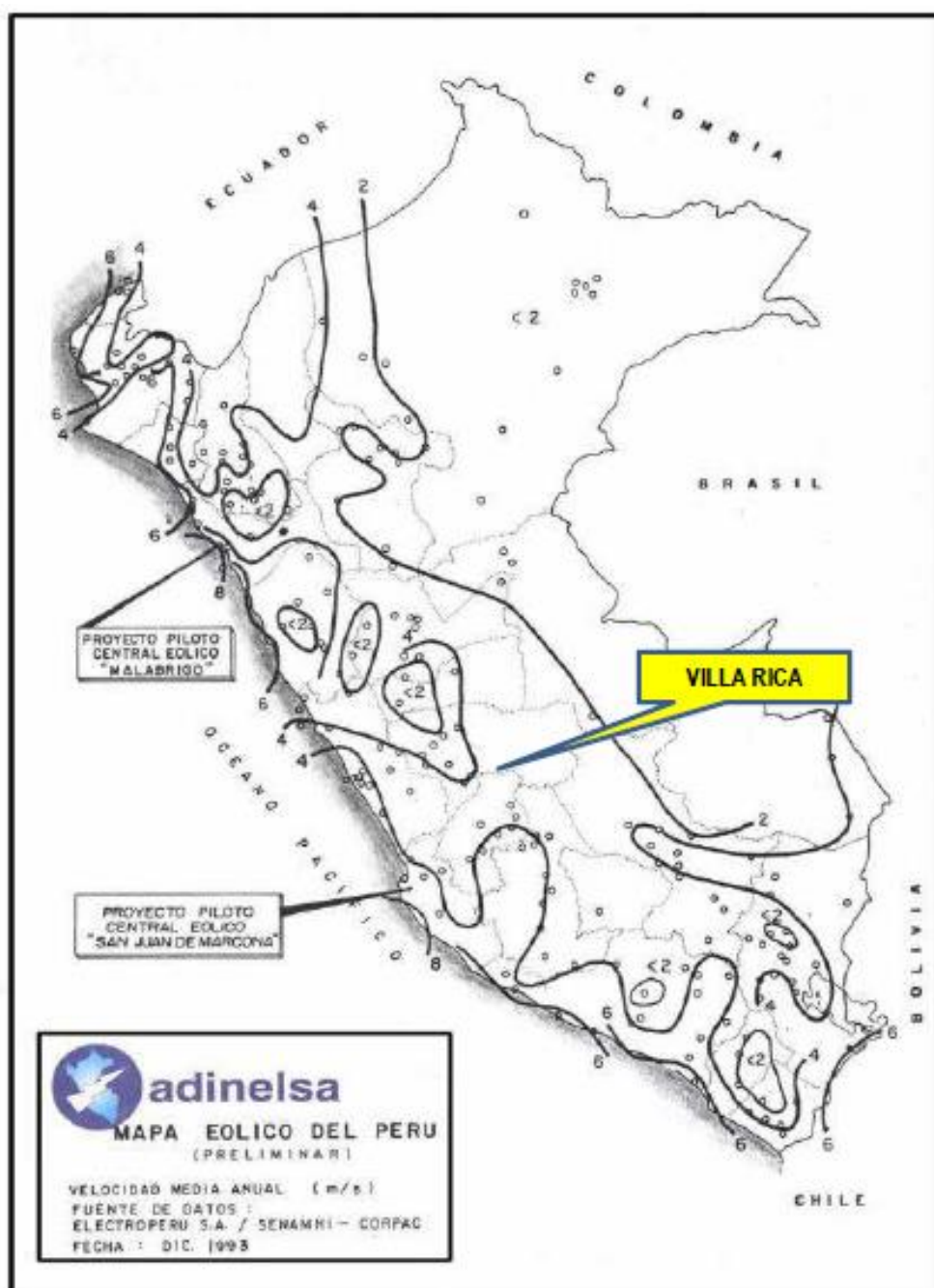
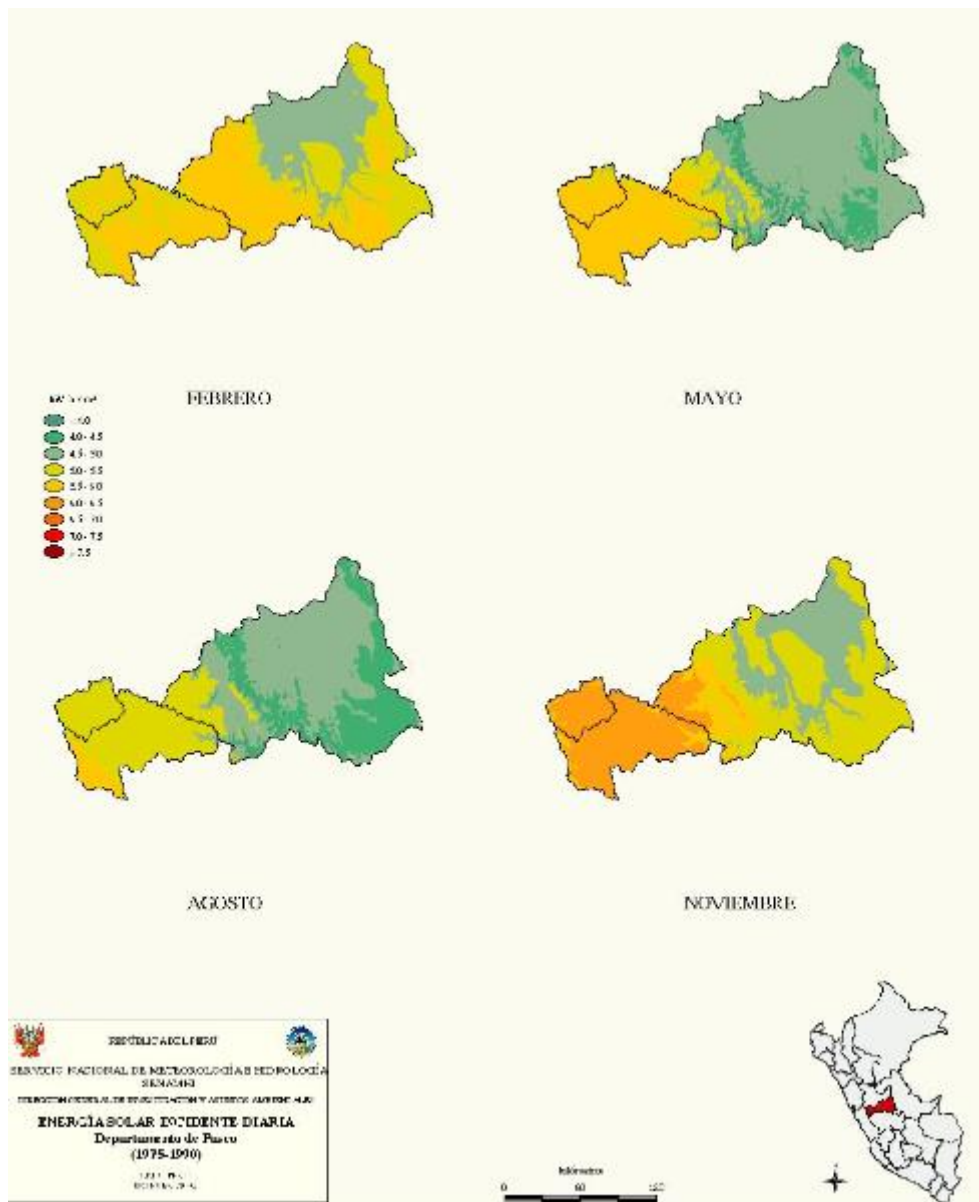


Figura 7. Mapa Eólico del Perú

Fuente: Adinelsa





*Figura 7. Mapa de Radiación Solar Pasco*

*Fuente: Delta Volt*



## Hidrografía

Villa Rica está compuesta por cinco cuencas: Cuenca del río Entaz, Cuenca de Ñagazú, Cuenca de Cacazú, Cuenca del Bocaz y la Cuenca del Eneñas.



## Recursos Naturales

El distrito de Villa Rica presenta características climáticas favorables, disponibilidad de agua, naturaleza forrajera predominante de sus cultivos y por

el tipo de ganado mejorado en la zona; ofrece un potencial de desarrollo agrícola ganadero. La alta variabilidad física de la Cordillera Oriental, Cordillera Subandina y del Llano Amazónico ha dado lugar a una considerable diversidad de flora y fauna en el distrito de Villa Rica; con varias especies endémicas de plantas e importantes comunidades primarias de fauna. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).

La mayor parte de su territorio se ubica en la zona correspondiente a la eco región Selva Alta (Pulgar Vidal, Javier 1943), el cual se extiende desde los 750 msnm hasta los 2068 msnm con una amplia variedad geomorfológica marcada por profundos cañones, ásperos contrafuertes, innumerables quebradas y extensos valles en donde se desarrolla una vasta diversidad biológica. En el diagrama de Holdridge, Villa Rica se ubica en la zona de vida Templada Cálida Montano Bajo Húmedo, que se caracteriza por el incremento de las áreas de relieve suave y sus características edáficas permiten el incremento de áreas agrícolas, altamente productivas y con una gran variedad de cultivos. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).

### **Servicio de Alumbrado Público – Energía**

En el distrito de Villa Rica cuentan con alumbrado eléctrico 4,595 viviendas, mientras que 3,327 viviendas aún no reciben ese servicio. (Municipalidad Distrital De Villa Rica, 2016).

## Capítulo 2

### 2.1 Concepción del Diseño

Para la concepción del diseño se utilizó la metodología de diseño basada en la norma VDI 2222, la cual propone las fases de planeamiento, elaboración del concepto, elaboración del proyecto y elaboración de detalles.



#### Planeamiento

En esta etapa se define las necesidades del usuario final y del producto a diseñar, aclaramos preguntas sobre cómo se va a arreglar el problema y además se estudia el estado de la tecnología.



#### Elaboración del Concepto

En esta parte definiremos que funciones realizaría la maquina y mostrar las diferentes opciones para encontrar la solución. Con ello, se obtendrá distintas soluciones que unidas nos darán distintos conceptos de solución. Luego se evaluará en cada solución los diferentes aspectos como el tecnológico económico y de mantenimiento.



#### Elaboración del Proyecto

Luego de obtener la solución óptima se parametriza respetando la solución óptima. En esta parte se selecciona el material y las dimensiones que aproximadamente tendrá la máquina. Así como la ubicación de los componentes. En esta parte, ya se tiene una idea de cómo será la máquina.



#### Elaboración de Detalle

En esta etapa se realizan los cálculos del proyecto preliminar optimo previamente seleccionado. Estos cálculos que se realizaron incluyen todos los esfuerzos a como las condiciones críticas que enfrentará la máquina durante el régimen de trabajo.





## 2.2 Estado de la Tecnología


### 2.2.1 Procesamiento del café



#### El Cultivo

Como se mencionó, el crecimiento del café se sitúa entre los paralelos 30 norte y sur dentro de un rango de temperatura de 17°C a 23°C; es por ello, que el desarrollo del cultivo de este importante producto se limita a ciertos países, dentro de los cuales se encuentra el Perú.

El café se desarrolla con facilidad a partir de los 600 metros hasta los 1 800 metros sobre el nivel del mar en casi todas las regiones geográficas del Perú. Las variedades que se cultivan en el Perú son: Typica (70%), Caturra (20%), y otras variedades (10%). El café peruano crece bajo sombra, a una densidad promedio de 2 000 plantas por hectáreas. (Sánchez Escalante, J. A. ,2015).

Para el proceso de cultivo, es importante tener en cuenta el ciclo de ias, por ello, esto condiciona la secuencia de labores agrícolas del cultivo. Así, la época de siembra se inicia en las épocas de lluvia, y después de iniciada (aproximadamente luego de 10 meses), se procede a cosecharla. (Sánchez Escalante, J. A. ,2015).



#### La Cosecha o Recolección

Este es el primer proceso, y se da en la mayoría de los países que cultivan café entre 8 a 10 meses después de la época que el cafeto florecería: florecencia. La cosecha se extiende de 2 a 4 meses. En el caso del cafeto robusta, la cosecha se efectúa durante todo el año. (Nestle, 1977).

El proceso de recolección de las semillas del cafeto debe hacerse, una vez que los frutos se encuentren maduros: es decir de color rojo, muy parecidas a cerezas. (Magem, 2016).



*Figura 4. Fruto del café maduro*

*Fuente: Manual del café colombiano*

Luego de los procesos comentados anteriormente se entra al procesado de café. Al que se conoce como Beneficiado.



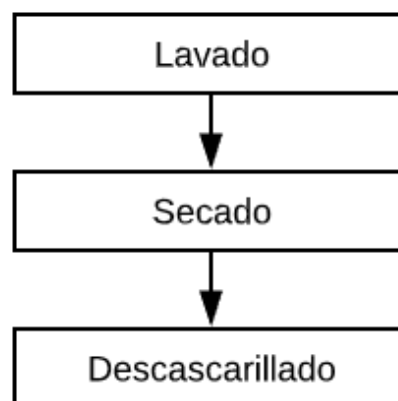
#### Beneficiado del Café

Se entiende por beneficiado del café se entiende por retirar las semillas del fruto. (Luna, nd). Se podría decir que el final de este proceso es cuando al café alcanza una humedad de alrededor de 12%. (Magem, 2016).

Existen dos métodos para este mismo proceso. Beneficiado Seco y Beneficiado Húmedo.



#### Beneficiado Seco



*Figura 5. Diagrama de Flujo del Beneficiado Seco*

*Fuente: Propia*

Es el de mayor antigüedad y requiere de poca maquinaria. Se divide en dos fases:

- **Lavado:** Permite limpiar los frutos seleccionados y de distinguir los granos defectuosos, pues flotan en el agua. (Magem, 2016).
- **Secado:** En esta fase se reduce la humedad del café, pasando de un 70% de humedad a 12%. Esto se puede realizar en el suelo, por la luz solar, o por medio de máquinas. Dependiendo del tipo de método este paso puede tardar hasta cuatro semanas. Dentro del beneficiado seco esta fase es la más importante, pues un fruto por debajo de la humedad resulta demasiado quebradizo y otro demasiado húmedo se deteriora por hongos y bacterias. (Magem, 2016).
- **Descascarillado:** Gracias al proceso anterior la semilla ya se encuentra un tanto separada de la cascara. Además, ya cuenta con el color marrón oscuro. La fase final del beneficiado seco elimina la cubierta seca del fruto, golpeándolo y finalmente obteniendo el grano o semilla. (Magem, 2016).

## Beneficiado Húmedo

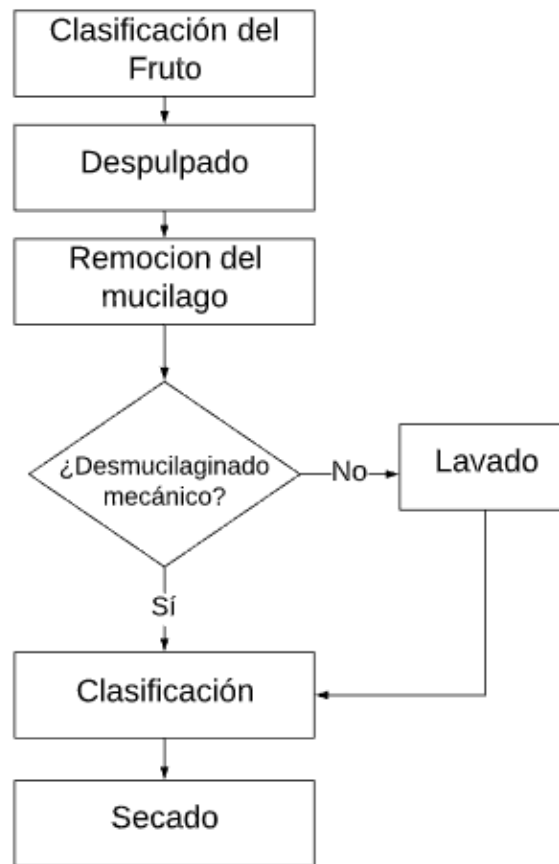


Figura 6, Diagrama de flujo del Beneficiado Húmedo.

Fuente: Propia

Este tipo de beneficio se diferencia en mayor medida por el uso de agua dentro de sus procesos y los granos de este proceso son de mayor calidad que los del proceso de beneficiado seco. (Pineda, 2012).

- **Clasificación del fruto o cosecha colectiva:** Principalmente elimina las impurezas y selecciona los frutos más maduros. Posteriormente se clasifican los frutos de acuerdo a su tamaño. Esto es muy importante para el proceso de despulpado. (Magem, 2016).
- **Despulpado:** El proceso de despulpado consiste en separar el grano de la pulpa, esto se basa en propiedad lubricante del mucílago. Es por ello por lo que resulta importante la previa selección de las cerezas de café, de lo contrario se encontrarán granos sin pergamino quebradizos o mordidos

que afectan en los procesos siguientes y que finalmente afectan la calidad final del café. Todo café debe ser despulpado como máximo 6 horas después de ser recolectado del cafeto; si no es posible esto, el café debe ser sumergido en agua por un tiempo no mayor a 18 horas, pues el pergamino tiende a enrojarse el sabor en la taza resulta afectado. Al final del proceso es necesario utilizar una tamizadora para separar los granos que no han sido despulpados. (Pineda, 2012).





*Figura7. Máquina despulpadora de café. Se puede observar por el lado izquierdo los granos de café y por el derecho la pulpa.*

- **Remoción del mucílago:** El principal propósito de este proceso es de desprender el mucílago de las semillas para facilitar el secamiento del grano sin una reducción de la calidad por efectos de “fermentos” o “sobrefermentos”. (Pineda, 2012).

Se puede realizar por la fermentación o de forma mecánica.

Para el caso del Desmucilaginado por fermentación, se deja fermentar entre 12 a 20 horas, para que los fragmentos de pulpa se descompongan. Es recomendado lavarlo posterior a este proceso. (Magem, 2016).

En el Desmucilaginado mecánico, el desprendimiento del mucílago se hace a través de medios físicos y mecánicos. La notoria diferencia es que el uso de agua es considerablemente reducido, pues se puede recircular el agua, lo que hace un ahorro de agua. Sin embargo, se requiere mucha energía y el secado debe ser inmediatamente. (Magem, 2016).

- **Lavado:** Se aplica cuando la remoción del mucilago haya sido realizada por fermentación, y se realiza en la misma posa de fermentación, donde se gira con una paleta hasta que quede libre de mucilago y a la vez, se aprovecha para eliminar los restos de pulpa y pergamino flotante. Es necesario hacer cuatro enjuagues o lavados a cada partida de café
- **Clasificación:** Se separa el café en calidad diferentes; es decir, separar los granos de café que ya cuentan con mucilago de los que  cuentan. Si esto no se realiza la calidad del café se ve afectada en el secado. Si que  contiene mucilago es secado junto con los demás, afecta el sabor. Lo que finalmente se ve reflejado en la tasa.
- **Secado:** Consiste principalmente en reducir el contenido de humedad de del grano de café hasta 12 % de humedad, lo que permite que el grano pueda ser almacenado sin verse afectada la calidad de este. Este proceso resulta muy importante para la producción del secado, puesto que, de no realizarse correctamente, puede llegar a contribuir a una gran cantidad de defectos del producto: más de 70 %. (Pineda, 2012).

Principalmente el proceso de secado se clasifica en dos tipos: Secado natural o secado artificial, también llamado secado mecánico.

- **Almacenamiento:** Una vez que la humedad del café se ha reducido hasta aproximadamente el 12 %, se almacena en bodegas, silos o sacos. Las condiciones de almacenamiento deben ser de una humedad de 65 % a 70% y la temperatura de 20°C a 25°C. (Pineda, 2012).

## 2.2.2 Métodos de Despulpado de café

### Funcionamiento del despulpado

La presencia del mucilago es un requisito para efectuar el despulpado, ya que funciona como lubricante y permite que este se efectué, por ser una sustancia gelatinosa que cede por la presión ejercida por la parte móvil y la parte estática.



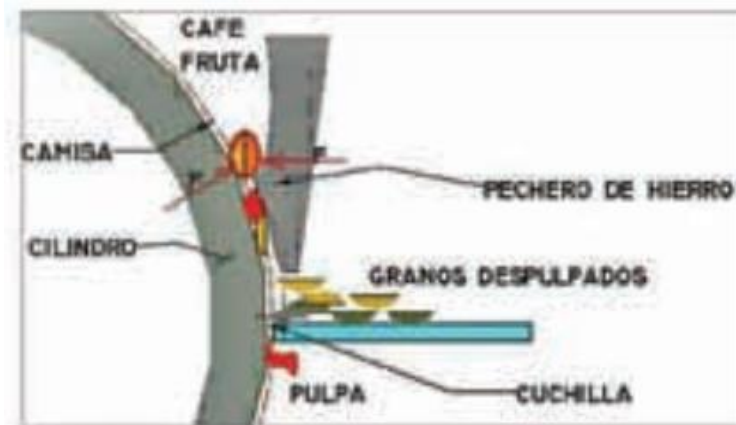
Así, Los frutos defectuosos se caracterizan por su carencia de mucílago, que puede deberse a la inmadurez o a la vejez del fruto, o puede ser producto de enfermedades que impidieron el normal desarrollo del fruto.

En el fruto de café plenamente maduro y desarrollado, el mucílago comprende el 40% de su volumen. Si se compara el tamaño de dos frutos de café, cuyas semillas sean del mismo tamaño, si hay diferencia en las dimensiones de ambos frutos, la diferencia se debe al volumen de mucílago presente en cada caso particular.

El daño mecánico en el beneficiado se produce cuando se somete a despulpado riguroso a una masa de café mezclado, esto es, un lote de café heterogéneo en diferentes estados de madurez y sanidad: café maduro revuelto con fruta defectuosa. “Para que el fruto de café pueda despulparse (sin daño al grano) se requiere que el fruto contenga mucílago en cantidad y calidad”. Los frutos defectuosos carecen de mucílago (o lo tienen en poca cantidad y de mala calidad)

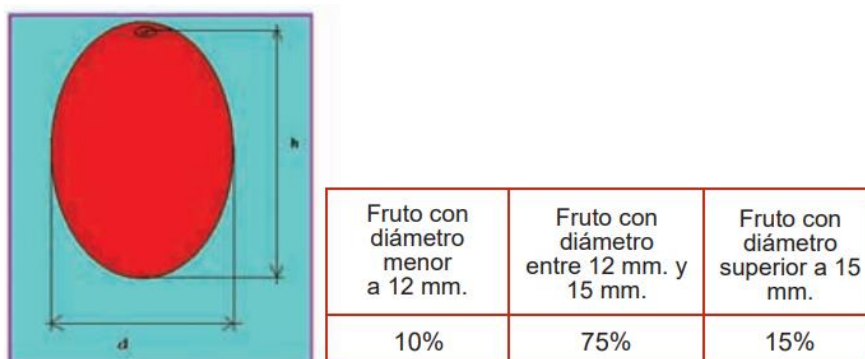
De esta manera el diámetro del fruto de café esta alrededor de:

**12 mm a 15 mm (PROMECAFE, 2010)**



*Figura 15. Esquema de la operación de despulpado de café*

Por lo general si se realiza una buena cosecha se podría estimar las siguientes características del fruto de café que llega al despulpado.



*Figura 16. Diámetros y características dimensionales de los granos que llegar al despulpado para una finca, en promedio.*

Otra característica de la despulpadora es que el pechero o la placa estática, en donde se realiza la remoción de la pulpa, sea de hule. Esta característica se usa para el procesamiento de cafés especiales.



### **Café a la salida del despulpado**

De igual manera que a la entrada del despulpado, el fruto de café debe de seguir ciertos requerimientos para el proceso de despulpado. A la salida de este proceso se debe de tener una tolerancia mínima de granos defectuosos para no afectar la tan importante calidad de café, pues como se mencionó varias veces, cualquier proceso defectuoso en el beneficiado se evidencia directamente en la tasa de café.

De acuerdo a esto, por ejemplo, la norma colombiana NTC 2090 exige una calidad de despulpado siguiente:

Descripción	Porcentaje (%)
Pulpa en el café despulpado	< 2
Granos sin despulpar	< 1
Granos mordidos	< 0.5
Granos trillados	< 0.5

Fuente: NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (2090). Maquinaria agrícola despulpadora de café

*Figura 17. Porcentaje de granos defectuosos a la salida de la despulpadora.*





Así esta última norma indica que el despulpado no debe de afectar la estructura del café.



## Detalles del despulpado

Como se mencionó anteriormente el procesamiento del café: Beneficiado húmedo, debe de empezar a realizarse como máximo 6 horas después de la cosecha pues el café fruta es perecedero, por lo que su deterioro y posible contaminación deben de evitarse. Por ello, previo al proceso de despulpado del café, este debe de estar almacenado bajo las siguientes indicaciones.

- El café fruta o café cereza no debe de entrar en contacto con lodos o cualquier otra sustancia que provoque su contaminación
- La cereza del café debe de mantenerse bajo sombra para no entrar en contacto con la radiación solar.
- Se recomienda que el café fruta este almacenado a una temperatura menor. Esta última indicación no es un tanto necesaria; sin embargo, se considera positiva toda acción destinada a ello.

Es importante tener en cuenta que si los frutos de café cosechados son inmaduros, secos o enfermos; podrían traer problemas de contaminación debido al daño mecánico que eventualmente se podría presentar en el despulpado o



Desmucilaginado.

### COMPOSICIÓN DEL FRUTO DE CAFÉ

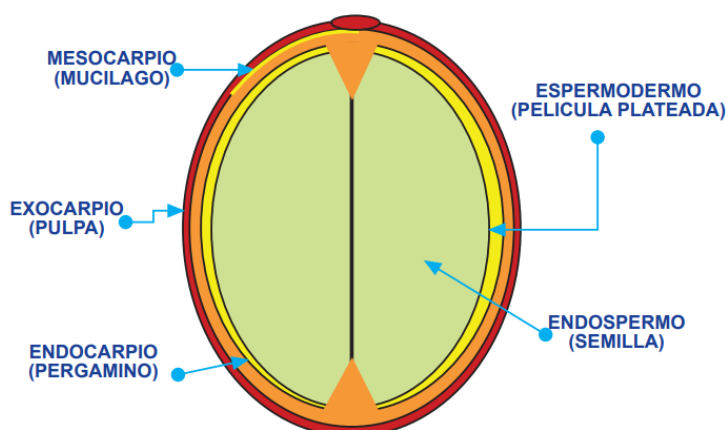


Figura 13. Fruto de café y sus partes.



*Figura 14. Diferentes estados del café que llegan a la planta de beneficiado húmedo.*

Durante la cosecha y el transporte de café fruta se introducirán cuerpos extraños en la masa de café. Cuando estos objetos llegan hasta las máquinas despulpadoras pueden causarles graves daños. Los despulpadores pueden ser dañados por objetos como piedras, clavos, tuercas, etc. que entran al recinto de despulpado, (el espacio entre el cilindro y el pechero) causan desgarramiento de la camisa. Una camisa desgarrada permite el paso de café hacia el desecho de la pulpa. (PROMECAFE, 2010).

Para ello previo al despulpado se cuenta con alternativas de equipos o estructuras para la remoción de cuerpos extraños. Estos pueden ser canaletas o depósitos.

Por ello en muchas plantas de beneficiado toman ciertos requerimientos para el recibido de las cerezas para el despulpado:

- La planta beneficiadora deberá disponer de estructuras para recibo y acopio de café fruta, adecuadas y con la capacidad requerida para el depósito temporal de los diferentes tipos de café previstos para su procesamiento.
- En previsión de la recepción de lotes de café con problemas de calidad: Cada lote de café será depositado temporalmente en una estructura de recibo definida por el tipo que previamente le fue asignado conforme a la norma de calidad adoptada.
- Los lotes de café de primera calidad serán procesados de primero, dejando para último proceso aquellos lotes que presenten problemas de calidad.
- La cantidad de café considerada para depósito temporal es aquella recibida en el día "pico de la cosecha". Esta previsión considerará la

capacidad para depósito temporal requerida para los diferentes tipos de café programados por unidades productoras.

Como se mencionó es importante que no ingrese a la máquina despulpadora elementos externos como piedras, clavos, etc., pues no solo daña o afecta la calidad del café, sino que podría dañar la máquina.

El proceso de despulpado es netamente mecánico, que se recomienda debe cumplir principalmente estos cuatro requisitos:

De la capacidad adecuada.

- El despulpado debe de realizar después de 6 horas de recolectado, el proceso no debe de exceder este tiempo.
- El pulpero debe estar calibrado.
- El mantenimiento a la máquina debe ser permanente.

De esta manera, el proceso de despulpado se realiza de manera mecánica y puede ser dividido en dos sistemas para el despulpado de café.

- Despulpado sin agua.
- Despulpado con recirculación de agua.

## Despulpado sin Agua

Consiste en el movimiento de la cereza de café madura hacia la despulpadora. Esto puede ser, haciendo uso de la gravedad o de manera mecánica.

### Despulpado Mecánico

La función es de aprisionar las cerezas entre dos superficies, una móvil y la otra estática; en donde se remueve mecánicamente el exocarpio y en cuanto sea posible en mesocarpio. La despulpadora puede ser de disco o de tambor rotatorio con orificios. El ajuste entre la parte estática y móvil debe ser exacto para lograr la máxima remoción de la pulpa sin dañar al grano. (Luna, nd).



Figura 8. Máquina despulpadora de café de tambor.

Fuente: <https://www.clasf.co/despulpadora-de-caf%C3%A9-en-manizales-4865021/>

Las máquinas despulpadoras por disco consisten de uno o varios discos de diámetro de 45cm, armados alrededor de un eje que rota horizontalmente. Se echan las cerezas en cualquier lado de los discos. Los lados ásperos de los discos mueven a las cerezas y se exprimen las cerezas entre las barras despulpadora y los discos. Una placa separadora separa a la pulpa de los granos del café. La barra despulpadora y la placa separadora ambas pueden ser ajustadas de acuerdo al tamaño de las cerezas para evitar que queden cerezas sin despulpar y para no dañar el grano. (Coopsol, 2020).



Figura 9. Máquina despulpadora de café de disco.

Fuente: <http://www.fimar.co/despulpadora-disco.html>



## Despulpado con Agua

La estructura sigue siendo la misma que la comentada anteriormente, solo se la anexa un tanque receptor de agua, una bomba centrífuga y tubería para el retorno del agua de beneficio.

De esta manera encontramos los distintos tipos de despulpado:



### Despulpadora de disco

Estas despulpadoras consisten de uno o varios discos de diámetro de 45cm, armados alrededor de un eje que rota horizontalmente. Se echan las cerezas en cualquier lado de los discos. Los lados ásperos de los discos mueven a las cerezas y se exprimen las cerezas entre las barras despulpadora y los discos. Una placa separadora separa a la pulpa de los granos del café. La barra despulpadora y la placa separadora ambas pueden ser ajustadas de acuerdo al tamaño de las cerezas para evitar que queden cerezas sin despulpar y para no dañar el grano.

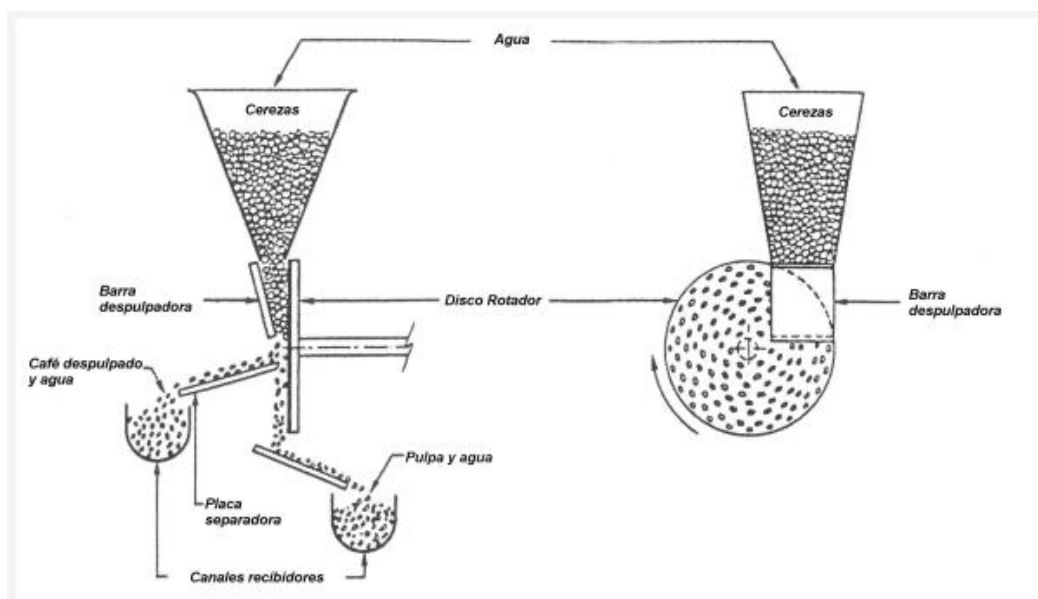


Figura 10. Esquema del despulpado.

Fuente: <https://escoopsol.wordpress.com/seccion-1-en-la-finca/1-2-el-beneficio-humedo/1-2-2-tecnicas-y-sistemas-de-despulpado/>



## Despulpadoras de tambor



### Horizontales

Estas despulpadoras consisten de un cilindro metálico horizontal de 20 a 30 centímetros en diámetro con hoyuelos, una placa despulpadora con o sin canales, y una placa separadora.

Las cerezas se alimentan a la despulpadora uniformemente a lo largo del cilindro desde arriba. El tambor rotador mueve a las cerezas a través de los canales de la placa, ejerciendo presión en la cereza hasta que se remueve la pulpa. La distancia entre el cilindro y la placa se puede ajustar para minimizar el daño al grano y para evitar tener cerezas sin despulpar.

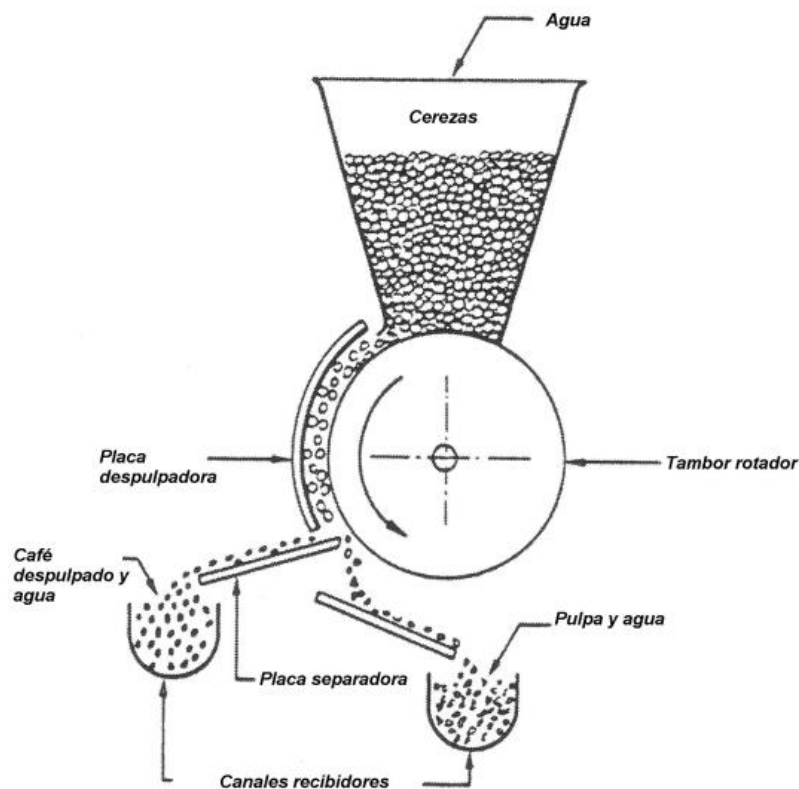



Figura 1  Esquema del despulpado por tambor.

Fuente: <https://escoopsol.wordpress.com/seccion-1-en-la-finca/1-2-el-beneficio-humedo/1-2-2-tecnicas-y-sistemas-de-despulpado/>



## Verticales

Estas despulpadoras consisten de un cilindro angosto que, rota verticalmente, cubierto con una manga de cobre o de metal con tres a seis canales que se vuelven más y más angostos conforme la pulpa viaja hacia abajo.

Las cerezas se alimentan desde arriba. Conforme los canales se vuelven más angostos, la presión sobre la cereza se incrementa, removiendo la pulpa del grano, que se cae a través de un espacio entre el canal y el tambor. Los granos, mientras tanto, permanecen en los canales para ser recolectados luego.

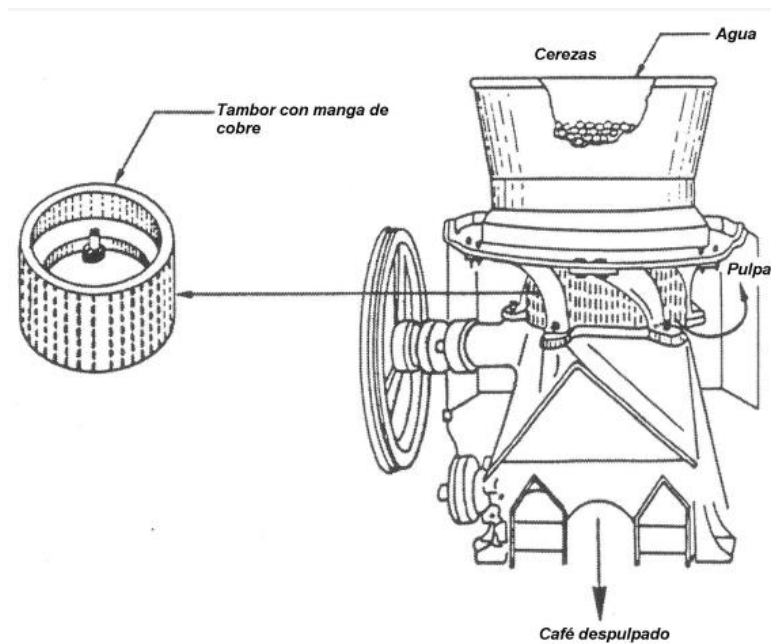


Figura 12. Esquema de despulpadora tambor Vertical.

Fuente: : <https://escoopsol.wordpress.com/seccion-1-en-la-finca/1-2-el-beneficio-humedo/1-2-2-tecnicas-y-sistemas-de-despulpado/>

En el siguiente cuadro se puede ver las distintas características de las máquinas para el despulpado de café.



Descripción	Potencia requerida (H P)	Velocidad de trabajo (R.P.M.)		Rendimiento promedio (qq uva/hora)
		manual	Motriz	
Despulpadora de dos chorros (horizontal)	½	120		7-8
Despulpadora de tres chorros (horizontal)		120		9-10
	¾		180	13-14
Despulpadora de tres chorros (vertical)	1		250	28-30
Despulpadora de cuatro chorros (horizontal)	1		180	16-18
Despulpadora de cinco chorros (vertical)	2		250	50-55
Despulpadora de ocho chorros (horizontal)	2		180	45-50
Despulpadora de un disco	1		220	25
Despulpadora de dos discos	2		220	50
Despulpadora de repaso de dos ó tres chorros (horizontal)	½		120	

Figura 1  Principales características de los equipos para despulpado

Fuente: Beneficiado y calidad del café. Manual de Caficultura

## 2.2.3 Métodos de Remoción de Mucílago



### Funcionamiento de la remoción de mucilago

La remoción mecánica del mucílago procede mediante el friccionamiento del grano contra la superficie de un rotor y una lámina cóncava fija, dotada de perforaciones oblongas. El mucílago es forzado a pasar a través de las perforaciones de la lámina fija. En los equipos modernos el rotor se dispone en posición vertical. El grano es forzado en flujo ascendente, ingresando por la base de la máquina.

El rotor cilíndrico tiene una primera sección con canales helicoidales para forzar el avance del café. Adelante tiene estrías circulares en relieve, con otras transversales formando así espacios rectangulares. El eje del cilindro es hueco y conduce agua a presión, que es inyectada a la masa de café a través de pequeñas perforaciones cuyo número aumenta en la sección final del cilindro, para hacer más eficiente el lavado hacia la boca de salida del grano. El forro circular o camisa de lámina con perforaciones oblongas que dejan pasar el agua y el mucílago, pero no el café.



Cabe tener en cuenta que las dimensiones del cilindro de desmucilaginado y entre otros factores con:

- El diámetro y tipo del rotor
- La velocidad de rotación
- La viscosidad de la sustentación
- La cantidad de agua utilizada por unidad de producto
- La calidad del café en baba que entra al desmucilaginator.

## Detalles de la remoción del mucilago

En general se recomienda que al procese de remoción de mucilago entren solos granos de café; es decir, producto libre de pulpa. Para ello, en las máquinas de beneficio compacto, a continuación del despulpado pasa por un cilindro rotativo con aberturas para seleccionar solo granos de café para el proceso de remoción del mucílago.



*Figura 18. Máquina despulpadora de café con seleccionador a la salida.*

En cuanto a las dimensiones del grano no se menciona en la bibliografía revisada alguna especificación sobre esto.

Para realizar el proceso de remoción del mucílago, en algunos métodos, se utiliza agua. La separación del mucílago se puede dar de tres formas.

- Fermentación  Natural o  Enzimática

- Fermentación Química
- Desmucilaginado Mecánico

## Fermentación Natural o Enzimática

En este proceso de remoción del mucílago se hidroliza debido a la degradación de las pectinas, hecho que ocurre por la presencia de enzimas más una serie de microorganismos que participan en el proceso (bacterias, levaduras, hongos). La calidad de la fermentación, así como el tiempo de duración de esta determinada por varios procesos. (Pineda, 2012).

- Estado de maduración de la cereza de café
- Temperatura ambiente
- Presencia de pulpa en las pilas de fermentación
- Espesor de la capa de fermentación

## Fermentación Química

Este sistema de desmucilaginado del grano de café, es similar al desmucilaginado enzimático o natural, con la diferencia que para acelerar la fermentación se le adicionan sustancias químicas como: Hidrógeno de Calcio, Sulfato Ferroso, Cloruro de Calcio. Este sistema presenta la desventaja que requiere mayores cuidados en las disoluciones, en el lavado y en el agua a tratar. Se necesita de personal especializado. (Pineda, 2012).

## Desmucilaginado Mecánico

Es una acción ejercida por un rotor que hace que los giren y se friccionen unos con otros hasta causar el desprendimiento del mucílago. En la parte externa del rotor se encuentra una lámina troquelada que permite la evacuación de la mezcla del mucílago y del agua. El café ya lavado sale por la parte superior del desmucilaginador, y el agua necesaria para el lavado se le agrega por medio de mangueras. (Pineda, 2012).

Este sistema es común encontrarlo en “Beneficiados Compactos” donde se combinan la despulpadora y el desmucilaginador, pero requiere de obras complementarias como tolvas, área de recibido del café, canal-clasificador de

café, techos, etc. También requiere de un secado inmediato, lo que condiciona invertir, lo que condiciona en construir en equipos e infraestructura de pre-secado y secado; de no poseer lo anterior los residuos del mucilago en la ranura del grano reinician el proceso de fermentación, lo que afecta la calidad final del café procesado. (Pineda, 2012).



*Figura 19. Cilindro de remoción de mucilago mecánico: desmucilagadora.*



*Figura 20. Desmucilagadora en funcionamiento.*

## 2.3 Lista de Exigencias


La siguiente tabla que contiene la lista de exigencia, permitirá la recopilación de las diversas características funcionales y no funcionales que una máquina podría tener para cumplir con determinados requerimientos, alcance casos de prueba.

LISTAS DE EXIGENCIAS			Página 1 de 2
			Edición: Rev. 1.
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA Y DESMUCILAGINADORA DE CAFÉ		Fecha: 31/08/2020
			Revisado: R S F
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado:
			J.C.A.H.
Fecha	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
31/08/2020	E	<b>Función Principal:</b>	J.C.A.H.
		Extraer el grano de café	
		El flujo de procesamiento será de 500 kg/h.	
31/08/2020	E	<b>Materia:</b> La materia prima que procese la máquina será cereza de café de especie arábica.	J.C.A.H.
31/08/2020	E	<b>Función:</b> Despulsar y remover el mucílago de las cerezas de café, con el menor daño posible y sin afectar el sabor y la calidad del producto.	J.C.A.H.
31/08/2020	E	<b>Seguridad:</b> Se diseñará la máquina de tal forma que no atente contra la integridad física del operario, y que no contamine el medio ambiente.	J.C.A.H..
31/08/2020	E	<b>Geometría:</b> Las dimensiones de la máquina deberán ser lo más compactas posibles, para el menor requerimiento de estructuras adicionales	J.C.A.H.



31/08/20	E	<b>Energía:</b> La máquina será alimentada por energía eléctrica monofásica. Características del lugar	J.C.A.H.
----------	---	---	----------

LISTAS DE EXIGENCIAS			Página 2 de 2
			Edición: Rev. 1.
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DESPULPADORA Y DESMUCILAGINADORA DE CAFÉ		Fecha: 31/08/2020
			Revisado: R S F
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado:
			J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Montaje:</b> La máquina deberá poder trabajar en las condiciones de Villa Rica, por lo cual debe ser de fácil montaje e instalación, así como desmontaje y desinstalación.	J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Control de calidad:</b> El grano de café resultante deberá ser apto para el proceso de secado. Con la menor cantidad de defectos.	J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Fuerzas:</b> La máquina deberá ejercer una fuerza y velocidad de giro que garantice que las pulpas y el mucilago de las cerezas de café, sean removidas del producto.	J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Ergonomía:</b> Se realizará un diseño ergonómico de la máquina de tal manera que los dispositivos de operación se encuentren al alcance del operario evitando lesiones físicas en el.	J.C.A.H.
31/08/20	D	<b>Transporte:</b> El peso de la máquina no deberá ser excesivo, de tal manera que no sea necesaria de maquinaria para su transporte.	J.C.A.H.

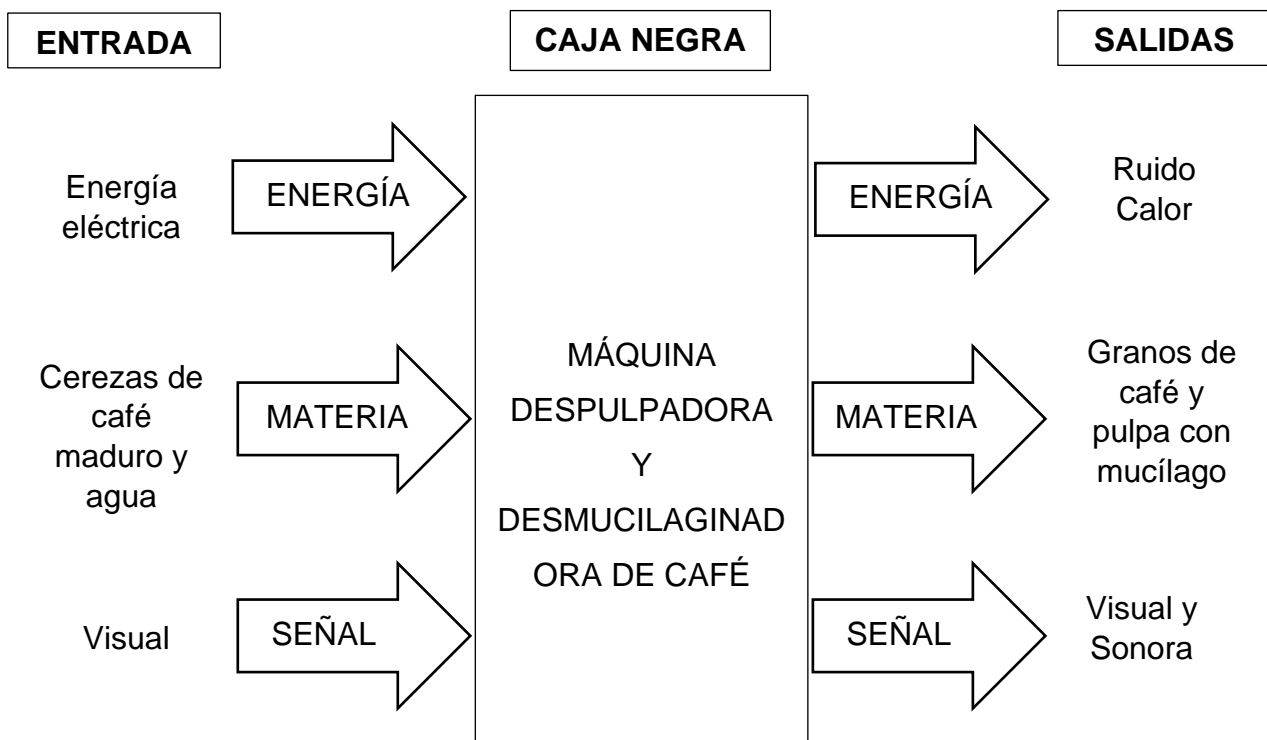
31/08/20	E	<b>Señales:</b> La máquina deberá contar con una correcta señalización de fácil entendimiento para el operario.	J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Mantenimiento:</b> La máquina deberá tener fácil acceso a las partes que requieran de lubricación y/o limpieza. Las partes de mayor desgaste deberán ser de fácil reemplazo. El mantenimiento de la máquina deberá ser de bajo costo.	J.C.A.H.
31/08/20	E	<b>Seguridad:</b> La máquina deberá contar con un dispositivo de parada de emergencia,  para resguardar la seguridad del operario o de la misma máquina.	J.C.A.H.

## 2.4 Estructura de Funciones

### 2.4.1 Abstracción

#### Entradas

##### Energía



- Energía eléctrica para la alimentación de la máquina.
- Energía mecánica para accionar los controladores (prendido/apagado) de la máquina.
- Energía mecánica para el abastecimiento de las cerezas de café maduro.

##### Material

- Cerezas de café maduro.
- Agua para la remoción de mucílago.

##### Señales

- Señal visual de abastecimiento de las cerezas de café y el agua para la remoción de mucílago.
- Señal sonora o visual que indica el funcionamiento de la máquina.

## **Salidas**

### **Energía**

- Energía perdida en forma de ruido.
- Energía perdida en forma de calor por el mecanismo de fricción.
- Energía expresada mediante vibraciones.

### **Material**

- Granos de café libres de pulpa y mucílago, listo para el proceso de secado.
- Pulpa, agua y mucílago.

### **Señales**

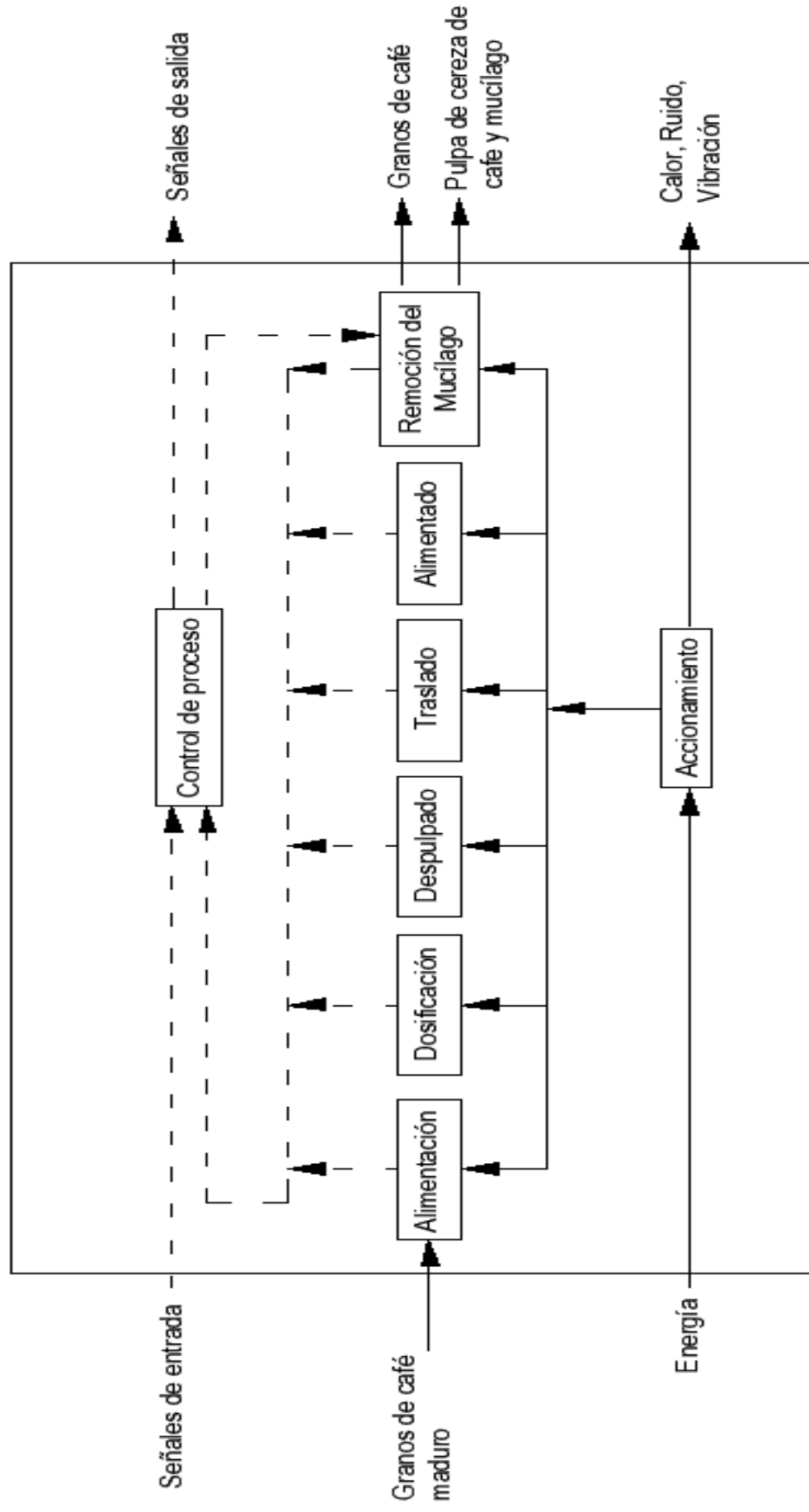
- Señal visual de grano de café.
- Señal visual de pulpa removida.
- Señal visual de mucilago removido con agua.
- Señal visual o sonora de apagado de la máquina.

## **2.4.2. Secuencia de Procesos Tecnológicos**




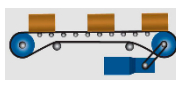


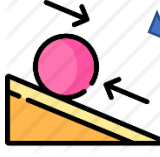

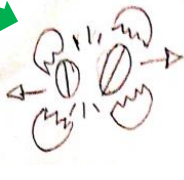

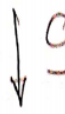

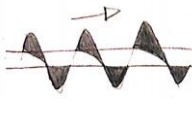
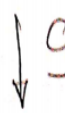

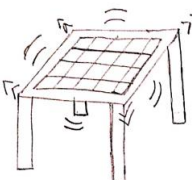
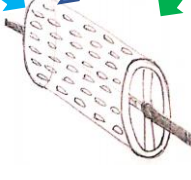

1. Suministro de la energía necesaria a la máquina para el funcionamiento
2. Encendido de la máquina despulpadora y desmucilagadora.
3. Transmisión de energía a los elementos de la máquina extractora
4. Alimentación continua de las cerezas de café maduro.
5. Traslado de las cerezas a la zona de despulpado.
6. Despulpado de las cerezas de café maduro.
7. Salida del grano de café sin pulpa.
8. Salida de la pulpa removida del grano.
9. Traslado de los granos de café con mucílago para la selección.
10. Selección de granos despulpados de los no despulpados.
11. Alimentación a la tolva de remoción de mucílago o desmucilagado.

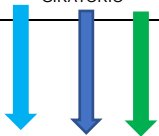


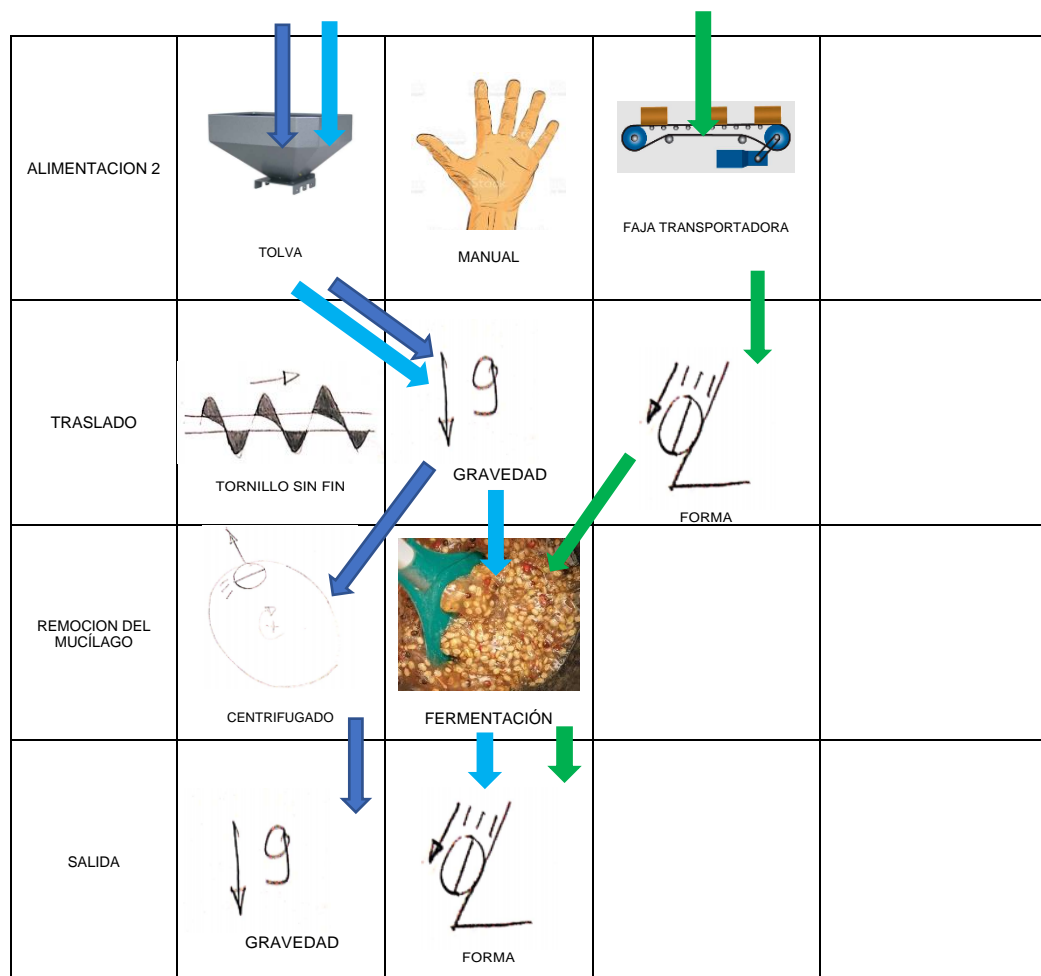
12. Posicionamiento del grano de café para la remoción del mucílago.
13. Alimentación de agua al proceso de remoción de mucílago.
14. Remoción del mucílago por fricción.
15. Salida del grano de café despulpado y desmucilaginado.



# 2.5 Matriz Morfológica

FUNCIONES	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3	ALTERNATIVA 4
ALIMENTACION	 TOLVA	 MANUAL	 FAJA TRANSPORTADORA	
DOSIFICACIÓN	 FAJA TRANSPORTADORA	 MANUAL	 CANALES	
DESPULPADO	 FRICCIÓN	 MANUAL	 IMPACTO	 CENTRIFUGADO
EXPULSIÓN	 GRAVEDAD	 CANALES		
TRASLADO	 TORNILLO SIN FIN	 GRAVEDAD	 FORMA	
SELECCIÓN	 VIBRACIÓN	 GIRATORIO	 SIN SELECCION	





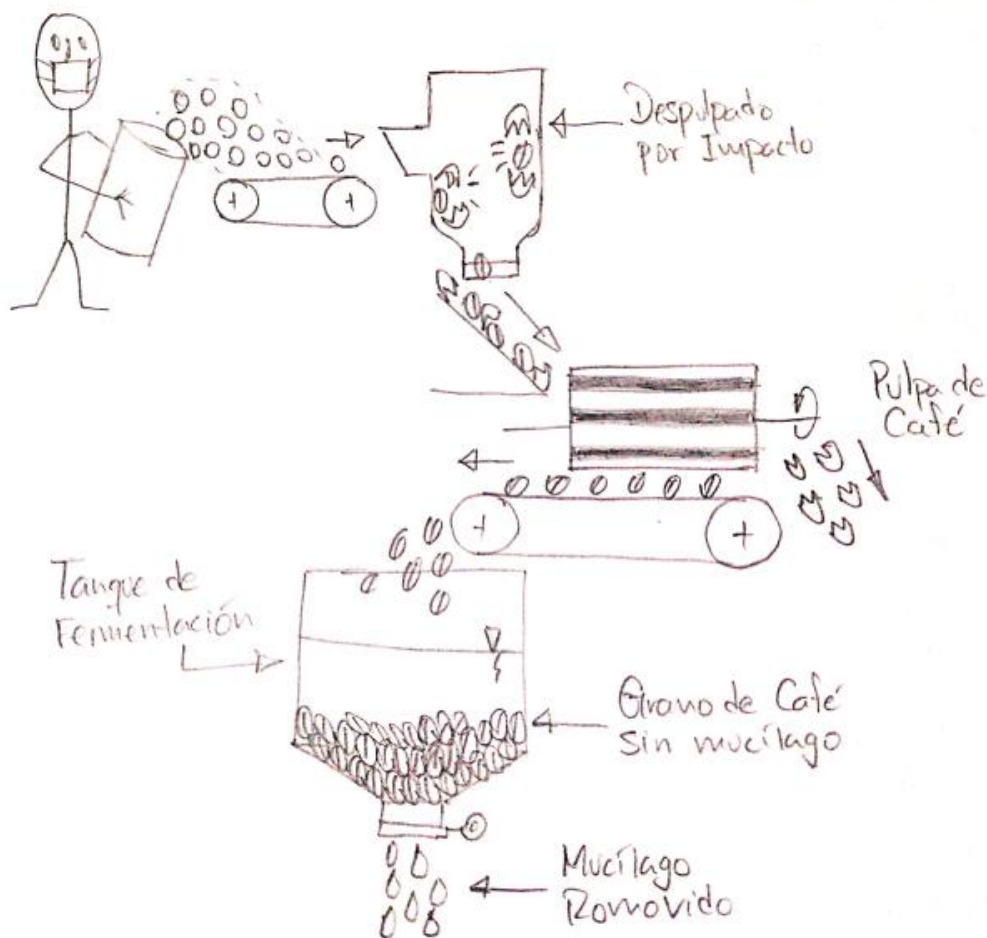
Alternativa 1 

Alternativa 2 

Alternativa 3 

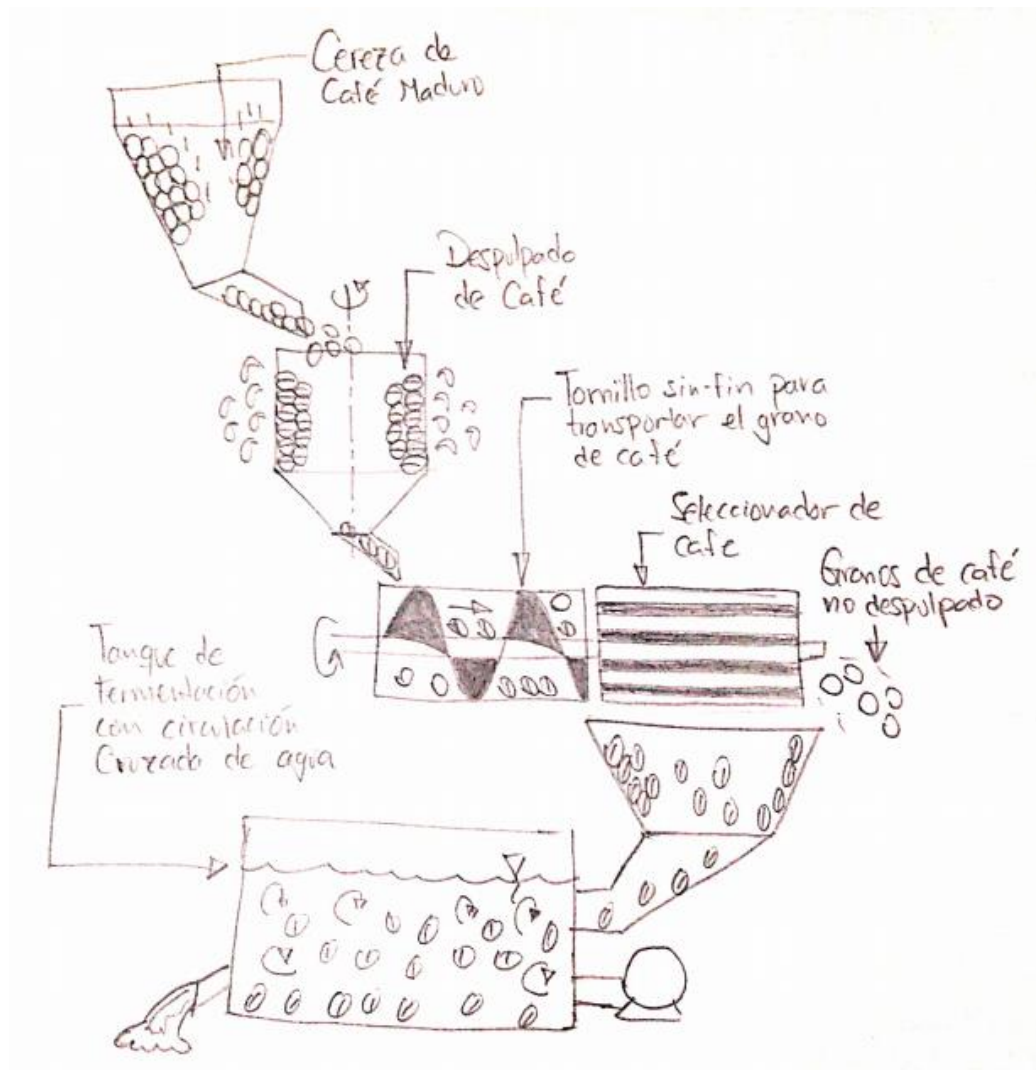
## 2.6 Concepto de Solución

### 2.6.1 Concepto de Solución 1



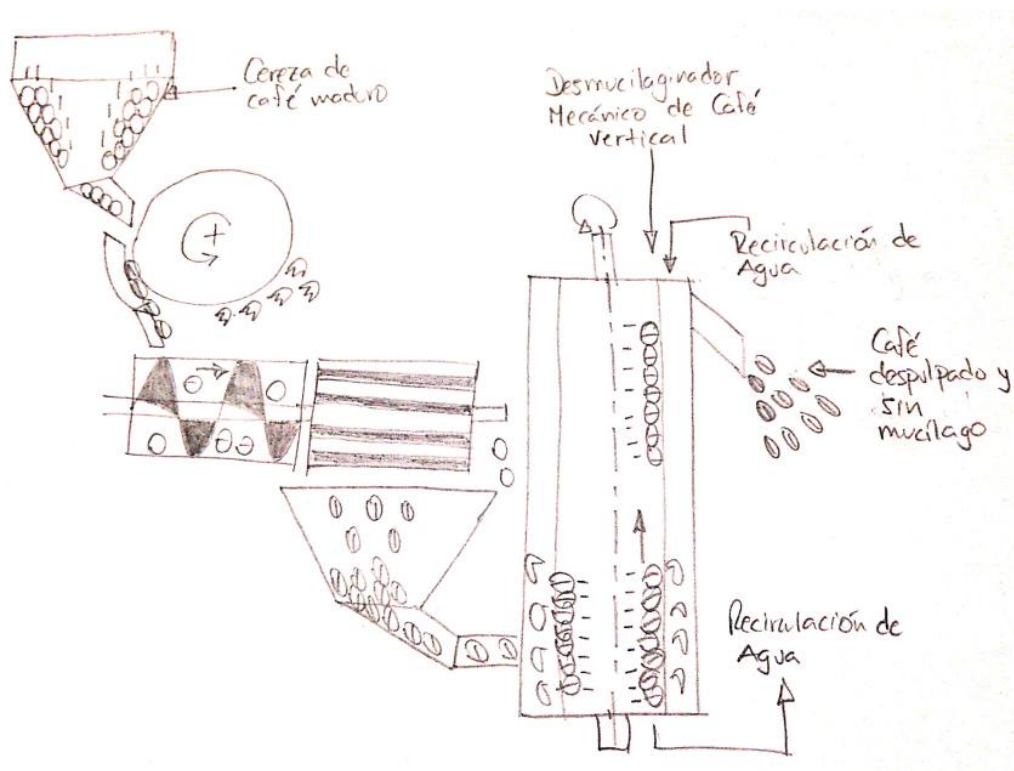
La primera alternativa requiere para la alimentación un operario que este constantemente alimentando la máquina en una faja transportadora. La faja transportadora coloca las cerezas de café en un recipiente que gira y que desprende la pulpa de café del grano por impacto entre los mismos frutos de café. Después de haber sido despulpado el café, la pulpa y el grano despulpado cae en una pequeña rampa hacia una seleccionadora en forma de cilindro que gira. En esta parte se selecciona el grano de la pulpa. El grano es colocado en una faja transportadora para que sea transportado hacia el tanque de fermentación que previamente ha sido llenado de agua potable. En este punto, se remueve el mucílago del grano de café mediante el fermentado, que se dará en el mencionado tanque. Finalmente se abre la válvula para separar el mucílago con agua, quedando el café sin mucílago en el tanque.

## 2.6.2 Concepto de Solución 2



La alimentación de la cereza de café se da mediante una tolva, en la cual se deposita en grandes cantidades el café. Las cerezas son transportadas mediante gravedad hacia donde serán despulpadas. En este proceso se remueve la pulpa del grano de café mediante centrifugado y la fuerza que hace que se separe la pulpa del grano de café. Luego un tornillo sin-fín es el encargado de transportar los granos despulpados a la seleccionadora cilíndrica giratoria, aquí se separa los granos despulpados de las cerezas que no. Finalmente, los granos caen a una tolva que luego son transportados al tanque de fermentación, en donde a diferencia de la alternativa anterior, se genera un flujo cruzado de agua, lo cual beneficia el proceso de remoción de mucílago y mejora la calidad del producto final.

### 2.6.3 Concepto de Solución 3



La alternativa de solución 3 es similar a la anterior, en cuanto a la alimentación; pues, también cuenta con una tolva de alimentación y un canal que transporta las cerezas de café por gravedad hacia el proceso de despulpado. El proceso de despulpado se da por fricción; es decir, el cilindro rotatorio tiene pequeñas cuchillas que arrancan la pulpa del grano sin dañar el grano de café. En este proceso la pulpa separada del grano de café es expulsada del grano de café en distintas direcciones. Luego el grano despulpado es transportado en un tornillo sin-fin hacia el cilindro giratorio que selecciona los granos de las cerezas que no fueron despulpadas. Finalmente, los granos seleccionados alimentan una segunda tolva que alimentará a la desmucilagadora, por un conducto que será transportado, por gravedad, el café. Una vez que el café se encuentre en la desmucilagadora se apoyará en las paredes del cilindro, al igual que los demás granos, esto hará que el mucilago se desprenda, en gran medida gracias a la mezcla de granos de café con agua. Este proceso se da hasta que el grano desmucilaginado llegue hasta la parte superior del cilindro. Este método utiliza la recirculación de agua, es por ello por lo que, a diferencia de las alternativas mencionadas, genera un gran ahorro de agua durante el proceso de beneficiado.



## 2.6.4 Evaluación técnica-económica

Siguiendo la metodología VDI utilizaremos el análisis técnico económico para llegar a determinar el proyecto preliminar en el cual nos basamos para realizar el diseño.



**Valor Técnico:** Se tendrán en cuenta diferentes criterios de aceptación en una escala de 1 al 4; donde 4 significa que cumple muy bien con el criterio a evaluar y el 1 que es escasamente aceptable. Los valores que se obtendrán de esta matriz de decisión representarán la coordenada X en una gráfica de toma de decisión.

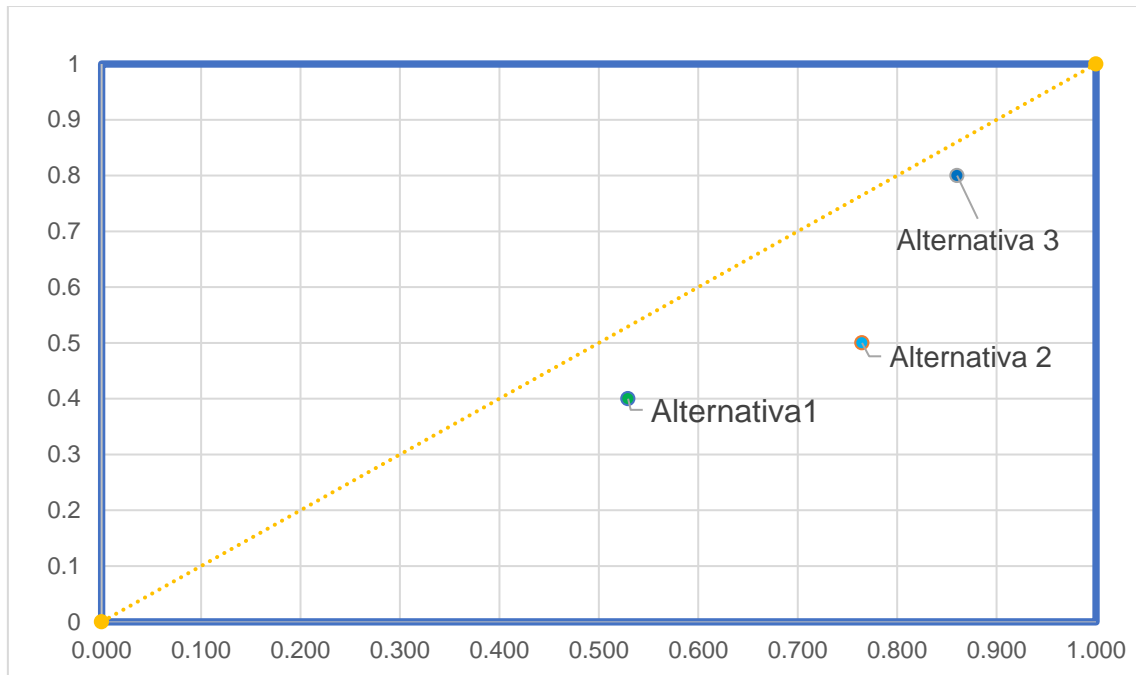
- **Factibilidad:** Contempla la probabilidad de que el concepto solución sea desarrollado en el contexto geográfico y social en el que se desea implementar. Para ello mientras más sencillos sean los componentes, serán mejor puntuados.
- **Comodidad:** Este criterio va relacionado con el concepto de ergonomía e interacción con el usuario. Mientras el diseño evite la fatiga y el excesivo movimiento del consumidor, estará mejor valorado.
- **Facilidad de fabricación:** este criterio tiene mayor puntuación cuando los elementos que componen la máquina son de fácil adquisición o fabricación.
- **Sencillez:** es un factor que mide el impacto visual de la presentación final de la máquina del sector objetivo. Está relacionado con la comodidad y la facilidad de fabricación.
- **Facilidad de mantenimiento:** El mantenimiento del equipo deberá ser lo más sencillo posible. A mayor puntaje obtenido, el mantenimiento es más fácil.
- **Eficiencia de diseño:** Se refiere a la capacidad del sistema de utilizar la energía entregada con las menores pérdidas posibles. A mayor puntaje la eficiencia será mejor.

DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS							Área de Diseño	
Valor Técnico (xi)								
Máquina Despulpadora y Desmucilaginadora de café P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0=No satisface, 1=aceptable las justas, 2=Suficiente,3=bien,4=Muy bien(ideal) g: Peso ponderado según importancia de los criterios								
Criterios de evaluación para diseño en fase en concepto								
Variantes de Concepto			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
Nr.	Criterio de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Función	5	4	20	4	20	4	20
2	Forma	4	2	8	3	12	4	16
3	Diseño	4	2	8	3	12	3	12
4	Seguridad	4	1	4	3	12	3	12
5	Energía	3	3	9	3	9	4	12
6	Ergonomía	2	2	4	3	6	3	6
7	Materiales	3	2	6	3	9	4	12
8	Fabricación	2	1	2	3	6	3	6
9	Montaje	3	1	3	2	6	3	9
10	Mantenimiento	4	2	8	3	12	3	12
Sumatoria		34	20	72	30	104	34	117
Valor Técnico (xi)				0.529		0.765		0.860

**Valor Económico:** De la misma manera se evaluará el valor económico en función de diversos criterios. El rango de escala es la antes mencionada. De esta matriz de decisión se obtendrá la coordenada Y en una gráfica de toma de decisión.

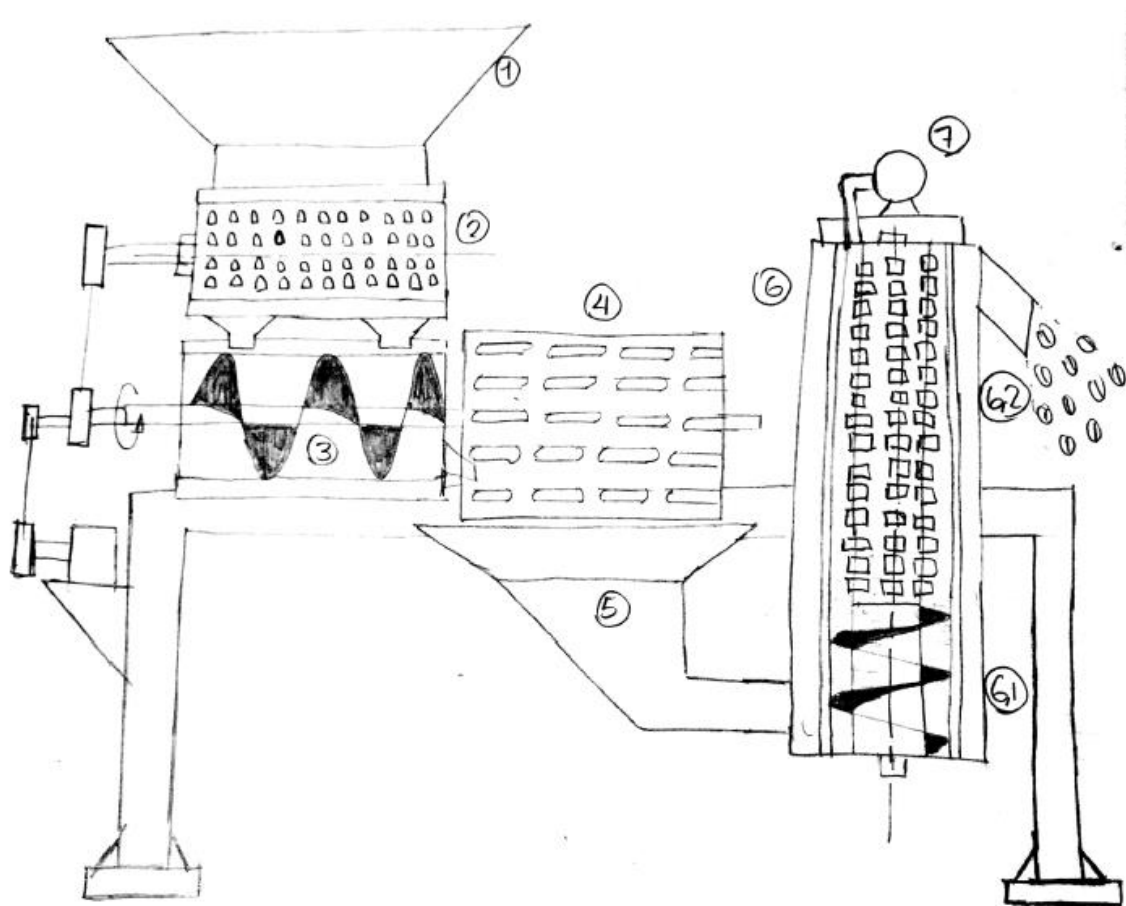
DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS							Área de Diseño	
Valor Económico (yi)								
Máquina Despulpadora y Desmucilaginadora de café P: Puntaje de 0 a 4 (Escala de valores según VDI 2225) 0=No satisface, 1=aceptable las justas, 2=Suficiente,3=bien,4=Muy bien(ideal) g: Peso ponderado según importancia de los criterios								
Criterios de evaluación para diseño en fase en concepto								
Variantes de Concepto			Solución 1		Solución 2		Solución 3	
Nr.	Criterio de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costos de Fabricación	5	3	15	2	10	4	20
2	Costo de Mantenimiento	3	1	3	3	9	4	12
3	Costo de montaje	2	1	2	3	6	4	8
Sumatoria		10	5	20	8	25	12	40
Valor Técnico (xi)				0.4		0.5		0.8

Luego de obtener ambas coordenadas representadas por el valor técnico (X) y económico (Y), se procede a dibujar una gráfica de toma de decisión donde se representará la solución ideal como una línea de pendiente 1. La solución que se halle más próxima a esta línea será la ganadora.



Según el grafico la opción más cerca de la línea central es la **alternativa 3**.

## 2.7 Proyecto Preliminar



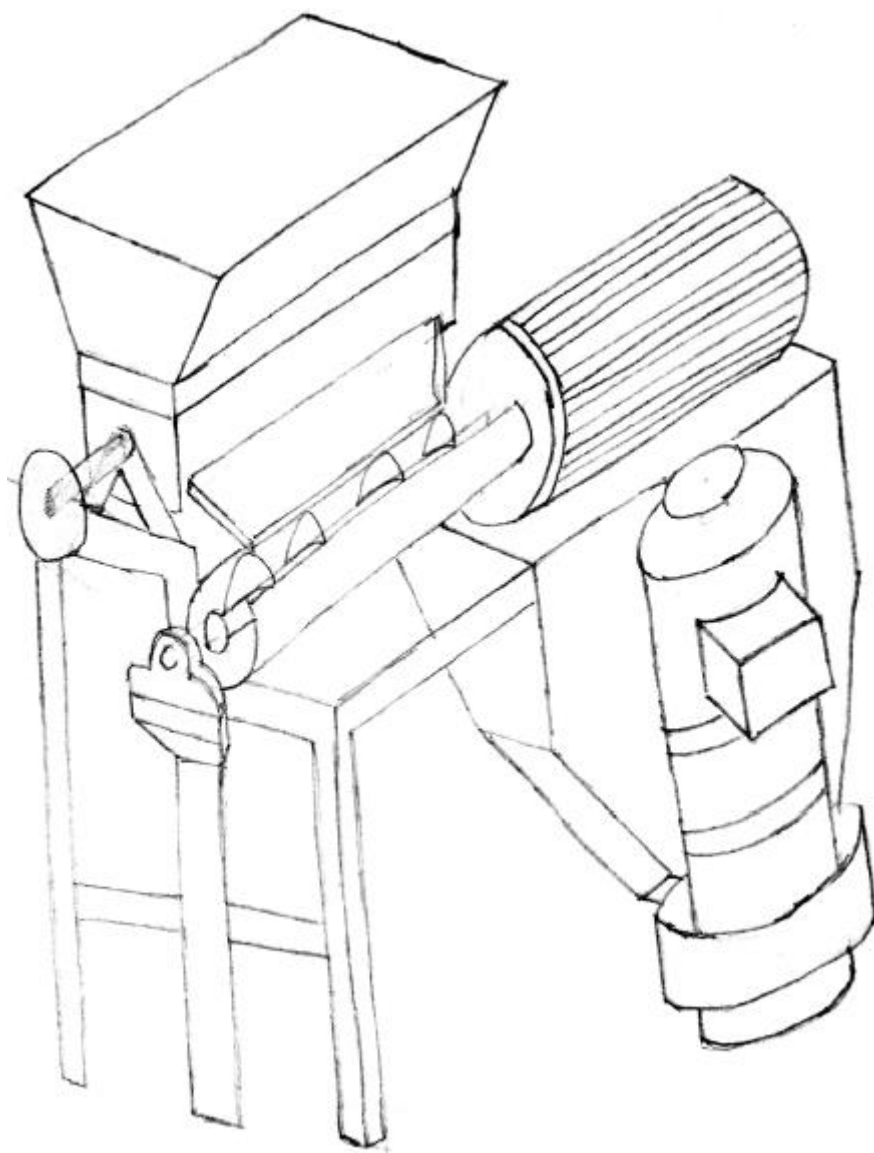
1. Tolva de alimentación a la despulpadora
2. Tambor despulpador con "dientes"
3. Tornillo transportador
4. Zaranda cilíndrica para selección
5. Tolva de alimentación a la desmucilaginadora
6. Desmucilaginadora – DESLIM (Desmucilaginador, Lavado, Limpiador)
  - 6.1 Tornillo sin-fin para transportar verticalmente
  - 6.2 Sección de lavado y limpiado
7. Bomba de inyección de agua

### Explicación

Las cerezas de café son alimentadas por la tolva 1., luego pasa al tambor despulpador 2. La despulpadora quita por fricción la pulpa del café, gracias a unos canales en la carcasa de la despulpadora, llamada pechero. Luego, a la

salida de la despulpadora, salen por canales hacia el tornillo 3. transportador para el siguiente proceso. Este tornillo transporta el café despulpado y el que no a la zaranda cilíndrica para asegurar que solo entre café despulpado al siguiente proceso. La zaranda cilíndrica 3. gira de tal manera que a medida que es alimentada las cerezas que no fueron despulpadas pasan al extremo final, pero los granos que si fueron despulpados caen debido a las aberturas que presenta el cilindro giratorio. Los granos de café seleccionados por la zaranda son vertidos en la tolva de alimentación a la desmucilagadora 4., básicamente lo que hace es hacen un embudo el flujo de granos de café para alimentar la desmucilagadora. Finalmente, los granos de café entran a la desmucilagadora 6. por la parte inferior. La primera parte de la desmucilagadora 6. la cual transporta verticalmente el grano de café, luego la segunda parte del desmucilagado 6. entra en la propia etapa de remoción de mucilago, en donde debido a la fricción se separa el mucilago del grano de café, en esta misma sección se produce el limpiado y lavado de café. Para ello se cuenta con una bomba que inyecta agua para el limpiado. Cabe mencionar que el desmucilagado de flujo ascendente solo gasta 1 L por kilogramo de café pergamino, y es el método de mayor ahorro de agua.

A continuación, se realiza el boceto del proyecto.



## Características y propiedades física y mecánicas de la cereza de café

De acuerdo a diversos estudios, se ha logrado estimar el diámetro o las dimensiones del café cereza antes de entrar al despulpado. El tamaño, la humedad y el peso varían de acuerdo a que etapa de la cosecha se remueve la cereza del fruto; es decir, se encontraran distintas características si se extrae al inicio de la cosecha que al final.

De acuerdo a un estudio realizado en Colombia, para unas fincas ubicadas en un rango altitudinal de 1 300 m a 1 565 m y con una edad promedio de 2,5 años a 6 años. (Montilla, 2008).

Variable	Época de cosecha	Promedio	C.V. (%)
Densidad aparente (kg.m <sup>-3</sup> )	Inicio	620,07 A	2,05
	Intermedio	623,16 A	1,76
	Final	621,52 A	2,26
Humedad (%)	Inicio	67,52 B	1,40
	Intermedio	69,33 A	1,79
	Final	70,23 A	2,69
Peso (g)	Inicio	1,92 C	17,97
	Intermedio	2,04 A	18,26
	Final	1,99 B	19,94
Diámetro ecuatorial (mm)	Inicio	13,51 C	14,36
	Intermedio	14,93 A	7,88
	Final	14,67 B	7,26
Diámetro polar (mm)	Inicio	15,43 C	10,08
	Intermedio	16,39 A	7,68
	Final	16,05 B	7,73

Para cada variable, letras distintas indican diferencias entre promedios por época de cosecha, según la prueba de Duncan al 5%.

*Figura 21. Características físicas del café cereza o fruto de café*

Otro estudio realizado en México nos arroja resultados similares, ambos estudios se basaron en tres diferentes estados de maduración (inicio, intermedio y final).

Adicionalmente el estudio mostro también el ángulo de reposo de los frutos de café. Cabe mencionar que ambos estudios se realizaron para la misma especie de café: Arábica, pero el estudio realizado en México se realiza en distintas variedades a diferencia de solo la variedad colombiana que se mostró previamente.

<b>Cuadro 1.</b> Características físicas de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).						
Variedad	Estado de maduración	Densidad aparente (kg L <sup>-1</sup> )	Angulo de reposo (°)	Masa de 50 frutos (g)	Dimensiones	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Colombia	Inmaduro	0.69 <sup>f</sup>	18.85 <sup>cd</sup>	56.33 <sup>c</sup>	14.51 <sup>c</sup>	11.16 <sup>c</sup>
Costa Rica	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	20.18 <sup>d</sup>	61.00 <sup>d</sup>	15.39 <sup>d</sup>	11.75 <sup>d</sup>
Oro Azteca	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	15.09 <sup>ab</sup>	59.33 <sup>d</sup>	14.64 <sup>c</sup>	12.15 <sup>e</sup>
Colombia	Pintón-maduro	0.67 <sup>f</sup>	17.35 <sup>bc</sup>	94.66 <sup>f</sup>	16.31 <sup>e</sup>	14.25 <sup>f</sup>
Costa Rica		0.60 <sup>c</sup>	15.98 <sup>ab</sup>	90.66 <sup>e</sup>	16.14 <sup>e</sup>	14.10 <sup>f</sup>
Oro Azteca		0.62 <sup>d</sup>	16.29 <sup>ab</sup>	99.33 <sup>g</sup>	16.03 <sup>e</sup>	14.88 <sup>g</sup>
Colombia	Seco	0.49 <sup>b</sup>	17.45 <sup>bc</sup>	24.33 <sup>a</sup>	12.43 <sup>a</sup>	9.14 <sup>a</sup>
Costa Rica	Seco	0.49 <sup>b</sup>	16.30 <sup>ab</sup>	30.00 <sup>b</sup>	13.59 <sup>b</sup>	10.24 <sup>b</sup>
Oro Azteca	Seco	0.419 <sup>a</sup>	15.24 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>a</sup>	12.32 <sup>a</sup>	10.00 <sup>b</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

*Figura 22. Tabla de resultados con las características físicas del café cosechado, México*





Adicionalmente se muestra los límites de las dimensiones encontradas

Cuadro 2. Dimensiones de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).					
Dimensión	Media (mm)	Límites de confianza (95%)		Observaciones extremas (mm)	
		LI	LS	Inferior	Superior
Largo	14.60	14.51	14.69	9.48	18.86
Ancho	11.96	11.85	12.08	6.78	18.84

LI=límite de confianza inferior y LS=límite de confianza superior.

Figura 23. Dimensiones de frutos de café cosechados



## Capítulo 3

### 3. Ingeniería de Detalle

#### 3.1 Condiciones de trabajo

Como se mencionó en el capítulo anterior las cerezas de café deben ser procesadas 6 horas como máximo después de haber sido cosechadas, pues después de ellos inicia la fermentación de la cereza del café. También es importante tener otros factores a tener en cuenta:

- Limpieza
- Mínimo daño mecánico
- Tiempo de procesado del café

El diseño de la máquina se destinará a cumplir los requisitos previamente mencionados. Luego establecemos los siguientes parámetros de operación.

##### **Temperatura**

La máquina procesadora de café estará ubicada próxima a las plantaciones de café. También, como ya es sabido, el crecimiento del café se da entre los 15,73°C y 22,6°C que son los rangos de temperatura de Villa Rica y las plantaciones están ubicadas aproximadamente a los 1470 msnm.

##### **Humedad**

Como ya es sabido, la máquina se encontrará o funcionara para el distrito de Villa Rica, es por ello que la máquina debe de ser apta para el trabajo en un ambiente con 65,8 % a 100 % de humedad.

##### **Fuerza de Despulpado**

En un ensayo registrado por la Universidad Nacional de Colombia, para determinar las propiedades físicas y mecánicas se obtuvo los siguientes resultados.

La información registrada de fuerza (N) y deformación (mm) fue procesada usando el software "Texture Expert Exceed" del texturómetro. A partir de la curva de compresión registrada se determinó la fuerza de fractura, la deformación unitaria (deformación/dimensión del fruto), la energía de fractura (área sombreada bajo la curva,).

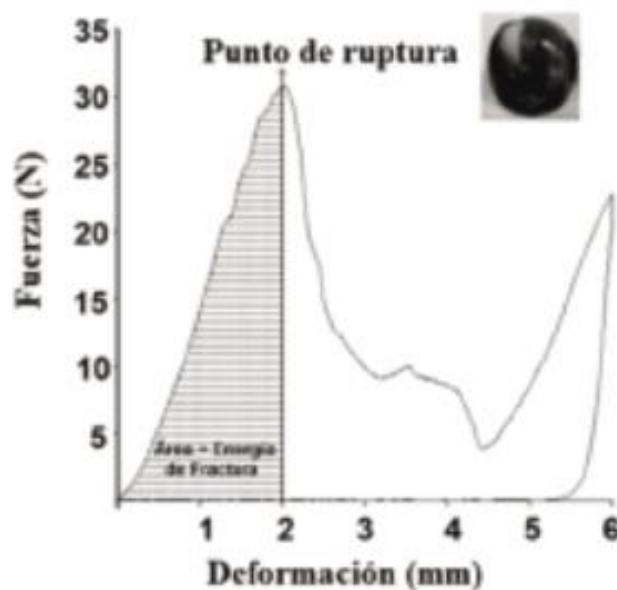


Figura 24. Diagrama Fuerza-Deformación de la cereza de café

Fuente: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25965/39038>

De acuerdo al estudio presentado, la fuerza requerida para la rotura de la pulpa del café es de **aproximadamente 30 N**, en donde se ha deformado 2 mm.

### 3.2 Cálculo del flujo másico de cereza de café

Primero se debe definir el flujo másico de la máquina y con él, posteriormente se diseña la tolva de alimentación para el primer proceso de la máquina: despulpado.

Como se mencionó en el Capítulo 1, según el Ministerio de Agricultura y Riego (Minagri), 28 agricultores de Aprocafae de Villa Rica producen 2500 quintales.

Por lo tanto, considerando que un quintal es 55,2 kg, la producción de los 28:

$$P_{Total} = 2500 \text{ qq} * 55,2 \frac{kg}{qq}$$

$$P_{Total} = 138\,000 \text{ kg}$$

La máquina se encuentra enfocada en beneficiar al pequeño productor, por lo tanto, el flujo másico que se usará será por agricultor:

$$P_{Individual} = \frac{P_{Total}}{\#_{agricultores}}$$

$$P_{Individual} = \frac{138\,000}{28}$$

$$P_{Individual} = 4\,929 \text{ kg}$$

Aproximadamente la producción por agricultor cafetalero en Villa Rica es de 4 929 kg. Por ello, esa es la cantidad total que la máquina deberá ser capaz de procesar por cosecha. Sin embargo, el tiempo máximo, que se ha tomado, luego de haberse cosechado es de 6 horas. Es por esta razón que el flujo de la máquina debe de procesar 4 929 kg en máximo 6 horas.

$$Q_{máquina} = \frac{P_{Individual}}{t_{cosecha}}$$

$$Q_{máquina} = \frac{4\,929 \text{ kg}}{6 \text{ h}}$$

Finalmente se obtiene un procesamiento:

$$Q_{máquina} = 821,5 \frac{kg}{h}$$

Que redondeando se podría tomar, como flujo final de la máquina:

$$Q_{máquina} = 850 \frac{kg}{h}$$

En principio, se propone que la tolva sea de tipo un tronco de cono. Debido a la facilidad de alimentación al siguiente proceso.

El material de la tolva de alimentación no debe de reaccionar con el producto, en este caso las cerezas de café. Paralelamente debe ser resistente a la fricción

que se genera entre la cereza y la tolva. Finalmente, el material y la forma debe de hacer lo suficientemente resistente para evitar la deformación por el peso del producto.

Se propone que el volumen de almacenamiento de la tolva debe de ser de aproximadamente de 5 % del flujo de la máquina en una hora:

$$C = 5 \% * Q_{máquina} * 1 \text{ hora}$$

$$C = 42,5 \text{ kg}$$

Pero tomaremos el valor de  $C = 45 \text{ kg}$

Para poder dimensionar la tolva es necesario conocer las características físicas del fruto de café. Para ello, nos apoyaremos en un estudio realizado en México para distintas variedades de café. Pero que nos da unos valores bastante cercanos para el diseño de la máquina. (Juárez-Bravo, 2018).

**Cuadro 1.** Características físicas de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Variedad	Estado de maduración	Densidad aparente ( $\text{kg L}^{-1}$ )	Angulo de reposo ( $^{\circ}$ )	Masa de 50 frutos (g)	Dimensiones	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Colombia	Inmaduro	0.69 <sup>f</sup>	18.85 <sup>cd</sup>	56.33 <sup>c</sup>	14.51 <sup>c</sup>	11.16 <sup>c</sup>
Costa Rica	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	20.18 <sup>d</sup>	61.00 <sup>d</sup>	15.39 <sup>d</sup>	11.75 <sup>d</sup>
Oro Azteca	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	15.09 <sup>ab</sup>	59.33 <sup>d</sup>	14.64 <sup>c</sup>	12.15 <sup>e</sup>
Colombia	Pintón-maduro	0.67 <sup>f</sup>	17.35 <sup>bc</sup>	94.66 <sup>f</sup>	16.31 <sup>e</sup>	14.25 <sup>f</sup>
Costa Rica		0.60 <sup>c</sup>	15.98 <sup>ab</sup>	90.66 <sup>e</sup>	16.14 <sup>e</sup>	14.10 <sup>f</sup>
Oro Azteca		0.62 <sup>d</sup>	16.29 <sup>ab</sup>	99.33 <sup>g</sup>	16.03 <sup>e</sup>	14.88 <sup>g</sup>
Colombia	Seco	0.49 <sup>b</sup>	17.45 <sup>bc</sup>	24.33 <sup>a</sup>	12.43 <sup>a</sup>	9.14 <sup>a</sup>
Costa Rica	Seco	0.49 <sup>b</sup>	16.30 <sup>ab</sup>	30.00 <sup>b</sup>	13.59 <sup>b</sup>	10.24 <sup>b</sup>
Oro Azteca	Seco	0.419 <sup>a</sup>	15.24 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>a</sup>	12.32 <sup>a</sup>	10.00 <sup>b</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).



*Figura 25. Características Físicas del Fruto de café*

Para tomar el ángulo de la tolva de alimentación se debe de considerar el ángulo de reposo del fruto de café, y posteriormente también se toma las dimensiones de las cerezas de café. Para ello, como ya se mencionó, se hará uso de la tabla expuesta con los datos alcanzados.

Ahora el ángulo de reposo está en un rango de  $16^{\circ}$  a  $17^{\circ}$ , como máximo, para los frutos maduros. Por lo tanto, la tolva debe de tener un ángulo de inclinación mayor a  $17^{\circ}$ . Por ello, para que la tolva no ocupe demasiada área y con la finalidad de que la máquina sea lo más compacta posible se toma un ángulo mayor a  $45^{\circ}$ , pero que sea conocido:  $60^{\circ}$ .

Ahora se calcula el volumen de la tolva, para ello se recurre nuevamente al cuadro con las características físicas de las cerezas de café. Pero para poder contrastar la información, también se recurre a otro estudio realizado en Colombia. (Montilla, 2008).

Variable	Época de cosecha	Promedio	C.V. (%)
Densidad aparente (kg.m <sup>-3</sup> )	Inicio	620,07 A	2,05
	Intermedio	623,16 A	1,76
	Final	621,52 A	2,26
Humedad (%)	Inicio	67,52 B	1,40
	Intermedio	69,33 A	1,79
	Final	70,23 A	2,69
Peso (g)	Inicio	1,92 C	17,97
	Intermedio	2,04 A	18,26
	Final	1,99 B	19,94
Diámetro ecuatorial (mm)	Inicio	13,51 C	14,36
	Intermedio	14,93 A	7,88
	Final	14,67 B	7,26
Diámetro polar (mm)	Inicio	15,43 C	10,08
	Intermedio	16,39 A	7,68
	Final	16,05 B	7,73

Para cada variable, letras distintas indican diferencias entre promedios por época de cosecha, según la prueba de Duncan al 5%.

*Figura 26. Características físicas del fruto de café*

Finalmente, se contrasta que el valor de densidad aparente es bastante similar por ello es posible tomar como referencia los valores de densidad aparente. Por lo tanto, se toma el valor de densidad aparente:

$$\rho = 0,62 \text{ kg/L}$$

Con el valor tomado de densidad aparente se calcula el volumen de la tolva de alimentación para el despulpado.

Capacidad asumida de la tolva:  $C = 45 \text{ kg}$

Volumen de la tolva:

$$V = \frac{C}{\rho}$$



$$V = \frac{45 \text{ kg}}{0,62 \text{ kg/L}}$$

$$V = 72,58 \text{ L} \text{ } <> \text{ } 7\,2580 \text{ cm}^3$$

Ya se tiene el volumen propuesto para el sistema de alimentación, pero para poder definirlo es necesario pasar al diseño del cilindro despulpador, pues parte de las dimensiones dependen de las del cilindro despulpador.

### 3.3 Dimensionamiento del cilindro despulpador

Para determinar la potencia requerida del motor para el proceso de despulpado es necesario conocer la fuerza necesaria para la separación de la pulpa del grano de café y las dimensiones más representativas de las cerezas de café que entraran a la máquina.

Se hará uso de un estudio publicado en Colombia para la variedad del mismo nombre, que no puede ser de gran utilidad para realizar los cálculos.

El estudio fue realizado por la Universidad Nacional de Colombia en sede en Medellín. Como se ha mencionado la separación del fruto de café, se con el aprisionamiento de las cerezas de café entre el cilindro rotatorio y la placa que permanece estática, llamada comúnmente como pechero. (Herrera, 2012)

Con ello el estudio determino que para poder romper las cerezas de café es necesario alrededor de 30 N.

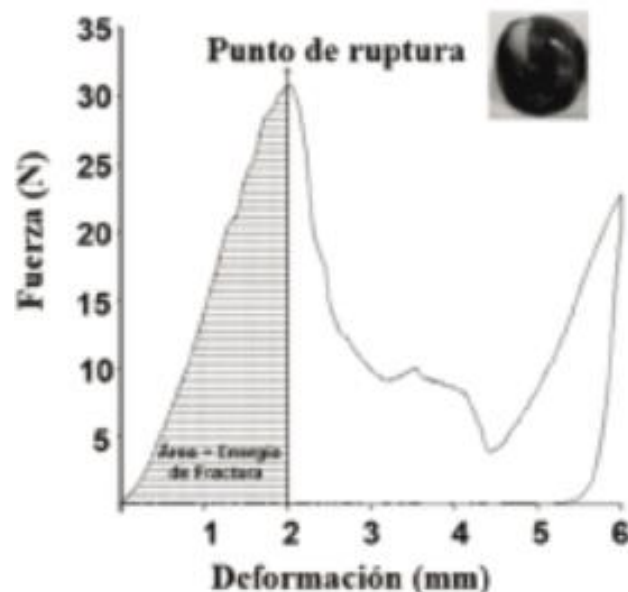


Figura 27. Diagrama Fuerza-Deformación de la cereza de café

Parte del dimensionamiento del cilindro despulpador es saber aproximadamente cuantas cerezas de café entrarán. Para ello es necesario saber cuánto pesa cada cereza de café. Para ello nuevamente recurriremos al estudio del café realizado en Veracruz, México. (Juárez-Bravo, 2018).

**Cuadro 1.** Características físicas de frutos de café cosechados de la parcela del COLPOS, Córdoba, Veracruz, México (2014).

Variedad	Estado de maduración	Densidad aparente (kg L <sup>-1</sup> )	Angulo de reposo (°)	Masa de 50 frutos (g)	Dimensiones	
					Largo (mm)	Ancho (mm)
Colombia	Inmaduro	0.69 <sup>f</sup>	18.85 <sup>cd</sup>	56.33 <sup>c</sup>	14.51 <sup>c</sup>	11.16 <sup>c</sup>
Costa Rica	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	20.18 <sup>d</sup>	61.00 <sup>d</sup>	15.39 <sup>d</sup>	11.75 <sup>d</sup>
Oro Azteca	Inmaduro	0.64 <sup>e</sup>	15.09 <sup>ab</sup>	59.33 <sup>d</sup>	14.64 <sup>c</sup>	12.15 <sup>e</sup>
Colombia	Pintón-maduro	0.67 <sup>f</sup>	17.35 <sup>bc</sup>	94.66 <sup>f</sup>	16.31 <sup>e</sup>	14.25 <sup>f</sup>
Costa Rica		0.60 <sup>c</sup>	15.98 <sup>ab</sup>	90.66 <sup>e</sup>	16.14 <sup>e</sup>	14.10 <sup>f</sup>
Oro Azteca		0.62 <sup>d</sup>	16.29 <sup>ab</sup>	99.33 <sup>g</sup>	16.03 <sup>e</sup>	14.88 <sup>g</sup>
Colombia	Seco	0.49 <sup>b</sup>	17.45 <sup>bc</sup>	24.33 <sup>a</sup>	12.43 <sup>a</sup>	9.14 <sup>a</sup>
Costa Rica	Seco	0.49 <sup>b</sup>	16.30 <sup>ab</sup>	30.00 <sup>b</sup>	13.59 <sup>b</sup>	10.24 <sup>b</sup>
Oro Azteca	Seco	0.419 <sup>a</sup>	15.24 <sup>ab</sup>	22.00 <sup>a</sup>	12.32 <sup>a</sup>	10.00 <sup>b</sup>

Medias con letra diferente en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

*Figura 28. Características Físicas del Fruto de café*

El cuadro que pertenece al estudio, nos indica el peso (en gramos) de 50 frutos tomados a lo largo de los días de su desarrollo, lo cual se separa en estados de maduración.

Para desarrollar la presente tesis se toma el valor más alto del peso, pues la máquina es diseñada para soportar y procesar cualquier estado de maduración.

Masa de la muestra:

$$m_{muestra} = 99,33 \text{ g}$$

$$m_{cereza} = \frac{m_{muestra}}{50}$$



Masa de cara cereza de café:

$$m_{cereza} = 1,897 * 10^{-3} \text{ kg}$$

Y finalmente, la fuerza:

$$F = 30 \text{ N}$$

Ahora es necesario tener las dimensiones preliminares del cilindro despulpador, para ello se iterarán datos hasta que cumpla con el flujo másico que la máquina



deberá producir. Para realizar el cálculo se iterará los resultados, pero en principio se asumirá un diámetro del cilindro y una longitud hasta que cumpla con la potencia y flujo requeridos para el proceso de despulpado.

Diámetro del cilindro

$$\phi_{cilindro} = 50 \text{ cm}$$

El diámetro del cilindro como máximo puede ser el indicado. Se partirá con los valores máximos.

Longitud del cilindro

$$L_{cilindro} = 65 \text{ cm}$$

Se calcula el número aproximado de cerezas de café que ingresaran en total o que deberá despulpar antes de pasadas las 6 horas después del despulpado. Recordemos que esta producción es lo que produce un productor de manera individual.

$$P_{Individual} = 4\,929 \text{ kg}$$

Ahora se calcula el número de cerezas:

$$N_{cerezas} = \frac{P_{Individual}}{m_{cereza}} \quad \text{🗨️}$$

$$N_{cerezas} = \frac{4\,929 \text{ kg}}{1,897 * 10^{-3} \text{ kg}}$$

$$N_{cerezas} = 2\,598\,313,126$$

Que redondeando la cantidad se obtiene:

$$N_{cerezas} = 2\,598\,314$$

Se busca las dimensiones características del fruto de café. (Herrera, 2012).

DDA	E1		CV (%)	E2		CV (%)	P		CV (%)	De		CV (%)
182	11,39 <sup>a*</sup>	ab**	4,76	12,68 <sup>b</sup>	ab	3,88	15,49 <sup>c</sup>	abc	5,73	13,13 <sup>d</sup>	ab	3,55
189	11,22 <sup>a</sup>	a	4,73	12,56 <sup>b</sup>	a	4,63	15,32 <sup>c</sup>	a	7,69	12,98 <sup>d</sup>	a	3,83
196	11,47 <sup>a</sup>	b	4,73	12,74 <sup>b</sup>	ab	3,73	15,73 <sup>c</sup>	cd	6,65	13,25 <sup>d</sup>	b	3,54
203	11,41 <sup>a</sup>	ab	4,00	12,65 <sup>b</sup>	ab	3,73	15,64 <sup>c</sup>	abc	6,04	13,17 <sup>d</sup>	b	3,34
210	11,51 <sup>a</sup>	b	4,78	12,85 <sup>b</sup>	b	4,35	15,69 <sup>c</sup>	bcd	6,72	13,29 <sup>d</sup>	b	3,79
217	11,96 <sup>a</sup>	c	6,14	13,30 <sup>b</sup>	c	5,82	15,36 <sup>c</sup>	ab	6,95	13,50 <sup>b</sup>	c	4,97
224	12,46 <sup>a</sup>	d	4,87	14,37 <sup>b</sup>	d	6,28	15,57 <sup>c</sup>	abc	6,48	14,10 <sup>d</sup>	d	4,88
231	12,81 <sup>a</sup>	e	6,36	14,84 <sup>b</sup>	e	6,63	16,53 <sup>c</sup>	e	8,68	14,68 <sup>b</sup>	e	6,55
238	12,79 <sup>a</sup>	e	6,43	14,53 <sup>b</sup>	d	6,34	15,98 <sup>c</sup>	d	6,76	14,40 <sup>b</sup>	f	5,67

\*En una fila promedios con letra superíndice diferente presentan diferencia estadística según prueba de Duncan al 5%. \*\*En una columna promedios con letra diferente presentan diferencia estadística según prueba de Duncan al 5%.



*Figura 29. Dimensiones características del fruto de café.*



Para el presente trabajo se toma los mayores valores de los diámetros característicos.

$$D_c = 14,68 \text{ mm}$$

Para saber cuántas cerezas de café despulpara por revolución con la longitud preliminar, se realiza el siguiente cálculo:

$$N_l = \frac{L_{cilindro}}{D_c}$$



$$N_l = \frac{650 \text{ mm}}{14,68 \text{ mm}}$$

$$N_l = 44,278$$

Redondeando el número de cerezas a lo largo de la longitud del diámetro.

$$N_l = 45 \text{ cerezas/rev}$$

Otro parámetro que también se iterará o que se verificará en el proceso de cálculo es la velocidad de giro, la cual al igual que los demás parámetros se asumirá, en principio, y luego se cambiará o no, para saber si cumple con el flujo másico.

En principio asumiremos un régimen de giro:

$$n = 300 \text{ rpm}$$

Cerezas despulpadas por minuto:

$$N_{min} = n * N_l$$



$$N_{min} = 300 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * 45 \frac{\text{cerezas}}{\text{rev}}$$

$$N_{min} = 13\,500 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$



Ahora el siguiente cálculo comprobara si en las 6 horas logra cumplir como mínimo la producción total de un productor de forma individual.

$$N_{producidas} = N_{min} * \left( \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}} \right) * h$$



$$N_{producidas} = \left(13\,500 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}\right) * \left(\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hr}}\right) * 6 \text{ hr}$$

$$N_{producidas} = 4\,860\,000 \text{ cerezas}$$

Multiplicando por la masa promedio de cada cereza.

$$m_{cereza} = 1,897 * 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{producida} = N_{producidas} * m_{cereza}$$



$$m_{producida} = 4\,860\,000 \text{ cerezas} * 1,897 * 10^{-3} \text{ kg}$$

$$m_{producida} = 9\,219,42 \text{ kg}$$

Se puede notar que el valor es superior al producido por un agricultor:

$$P_{Individual} = 4\,929 \text{ kg}$$

Por lo tanto, las dimensiones asumidas cumplen con la producción de café producida por el agricultor.

El siguiente paso para el dimensionamiento del cilindro es el diámetro, pues para la tesis se busca se sea compacto y que consuma la menor cantidad de energía eléctrica.

Para ello se calcula la potencia:

$$P = T * w$$



$T$ : es el torque ejercido para despulpar las cerezas de café en una sola revolución.

Ahora, debido a que se asumió un valor de longitud del cilindro, nos llevo a un estimado de la cantidad de cerezas en el cilindro en el momento del despulpado.

$$N_l = 45 \text{ cerezas/rev}$$

Se sabe que por cada cereza se requiere 30 N para despulparla

$$F = 30 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza ejercida por todas las cerezas en una revolución:

$$F_t = F * N_l$$



$$F_t = 30 N * 45$$

$$F_t = 1\,350 N$$

Se calcula el torque:

$$T = F_t * \frac{\phi_{cilindro}}{2}$$



$$T = 1\,350 N * \frac{0,5 m}{2}$$

$$T = 337,5 Nm$$

Finalmente, con el régimen de giro, se calcula la potencia requerida. La cual se busca que sea la menor posible.

$$P = T * w$$



$$w = 300 rpm$$

$$w = 31,42 \frac{rad}{seg}$$


Ahora se reemplaza para obtener la potencia:

$$P = 337,5 Nm * 31,42 \frac{rad}{seg}$$

$$P = 10,6 kW <> 14,21 HP$$

Las iteraciones para el cálculo:

iteración	Rev.(rpm)	Diámetro(mm)	Longitud(mm)	Producción(kg)	Potencia (kW)
1	300	500	650	9219.42	10.603
2	300	250	600	8399.916	4.830
3	300	400	300	4302.396	3.958
4	300	200	400	5736.528	2.639

Tabla  Iteración para el dimensionamiento  
Fuente Propia

Finalmente se selecciona el motor requerido, para ello se recurre a el catálogo del fabricante. En este caso se ha elegido “Delcrosa”:

#### DATOS TÉCNICOS DE MOTOR SERIE - YD

TAMAÑO	POTENCIA		TENSIÓN	CORRIENTE	VELOCIDAD	EFF.	FACTOR	T <sub>o</sub> ARRANQUE	I ARRANQUE	T <sub>o</sub> MÁXIMO
IEC	HP	KW	(V)	(A)	RPM	n%	DE POTENCIA	T <sub>o</sub> NOMINAL	I NOMINAL	T <sub>o</sub> NOMINAL
220/380/440V 60Hz Velocidad Síncrona 900 RPM (8 polos)										
YD 90 L8	1.0	0.75	220/380/440	4.2/2.42/2.1	810	68.0	0.58	2.0	5.5	2.0
YD 100 LA8	1.5	1.1	220/380/440	5.56/3.21/2.78	830	74.5	0.66	2.0	5.5	2.0
YD 112 MA8	2	1.5	220/380/440	7.64/4.41/3.82	850	77.0	0.65	2.0	5.5	2.0
YD 132 MA8	4	3	220/380/440	13.2/7.26/6.6	850	79.0	0.71	2.0	5.5	2.0

Figura 30. Motores asíncronos trifásicos de 8 polos. Revisar Anexo A

Se puede notar que la velocidad de giro del motor es de 850 rpm. La cual es superior a la utilizada para el despulpado. Para ello se realizará una reducción de velocidad mediante poleas y faja.

### 3.3 Selección de poleas y fajas

Como se mencionó, el motor seleccionado cuenta con las siguientes especificaciones:

Potencia: 3 kW

Régimen de giro: 850 rpm

Primero se corrige la potencia para seleccionar el tipo de faja:

Ejemplo de máquinas accionadas	Ejemplo de máquinas motrices					
	Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque normal (de hasta 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores síncronos y monofásicos con fase auxiliar de arranque, motores trifásicos con arranque directo, arranque estrella/triángulo, con anillo colector; de corriente continua, de combustión interna y turbinas de $n > 600$ r.p.m			Los motores CA y trifásicos con un momento de arranque alto (más de 1,8 veces el momento nominal), por ejemplo, motores monofásicos con alto momento de arranque, motores con conexión principal CC conectados en serie y combinación, motores de combustión interna y turbinas de $n \leq 600$ r.p.m		
	Factor de carga $c_2$ para servicio diario (horas) hasta 10    más de 10 hasta 16    a partir de 16			Factor de carga $c_2$ para servicio diario (horas) up to 10    más de 10 hasta 16    a partir de 16		
<b>Transmisiones ligeras</b> Bombas centrífugas y compresores, byas transportadoras (cargas ligeras) ventiladores y bombas de hasta 7,5 kW	1,1	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
<b>Transmisiones medias</b> Guillotinas, prensas, transportadores de cadena y bya (cargas pesadas), tamices vibradores, generadores y excitadores, amasadoras, máquinas herramienta (tornos, esmeriladoras), lavadoras, impresoras, ventiladores y bombas de más de 7,5 kW	1,1	1,2	1,3	1,2	1,3	1,4
<b>Transmisiones pesadas</b> Molinos, compresores de pistón, transportadores de carga pesada, expulsos (transportadores helicoidales, cintas de placas, cangilones y pala), ascensores, prensas de ladrillos, maquinaria textil, maquinaria del papel, bombas de pistón, bombas draga, aserraderos, molinos de machacado	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5	1,6
<b>Transmisiones muy pesadas</b> Molinos de carga pesada, trituradoras de piedra, calytras, mezcladoras, tornos, grúas, dragas, maquinaria pesada para madera	1,3	1,4	1,5	1,5	1,6	1,8

Figura 31. Factores de carga del catalogo Optibelt

Como se menciono la máquina debe de despulpar toda la produccion del productor individual, como máximo despues de 6 horas de haber cosechado el fruto de café.

Pot lo tanto:

$$c_2 = 1,1$$

Corrigiendo la potencia:

$$P_t = P * c_2$$


$$P_t = 3 \text{ kW} * 1,1$$

$$P_t = 3,3 \text{ kW}$$

Luego con la potencia corregida y el regimen de giro se selecciona el tipo de faja:

$$P_t = 3,3 \text{ kW}$$

$$n = 850 \text{ rpm}$$

En la tabla 4 del catalogo de fajas Optibelt, nos indica que con los parámetros indicados la faja op  a.

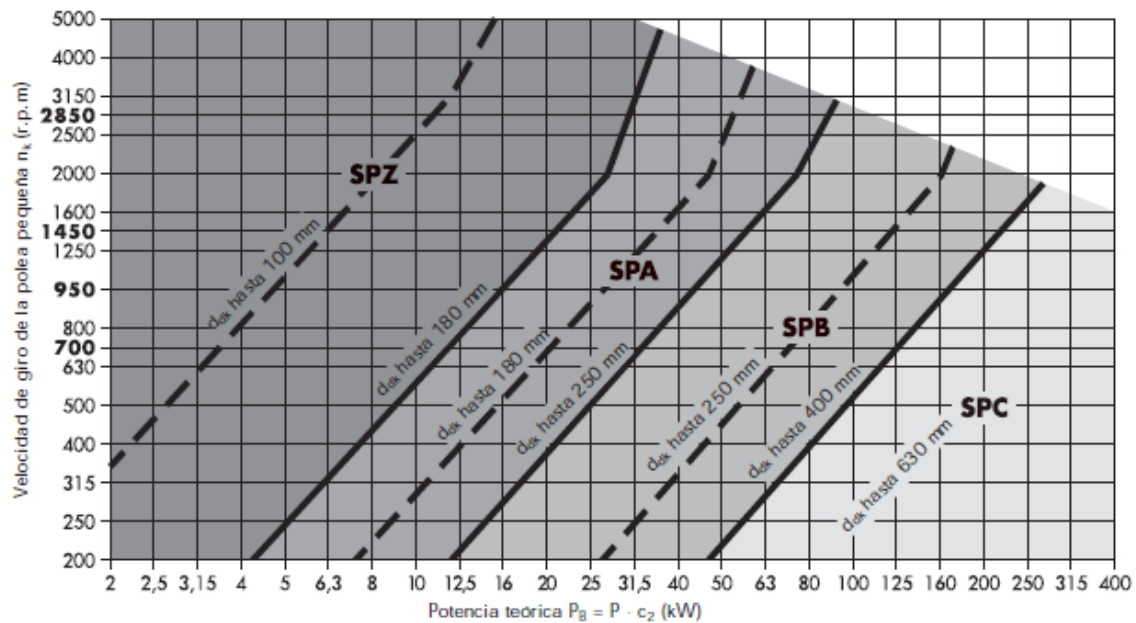


Figura 32. Tipos de fajas del catalogo Optibelt.

Se encontraría en el el área de **SPZ**. Además nos indica que el diámetro de referencia es de hasta 100 mm.

### Relación de transmisión

$$i = \frac{n_{motor}}{n_{trabajo}}$$

$$i = \frac{850 \text{ rpm}}{300 \text{ rpm}}$$

$$i = 2,83$$

### Dimensionamiento de la polea

Como se mencionó el diámetro de referencia recomendado es de 100 mm. Por esta razón, se toma el valor de 100 mm.



Ahora se halla el diámetro exterior de la segunda polea:

$$d_{conducido} = d_{conductor} * i$$

$$d_{conducido} = 100 \text{ mm} * 2,83$$

$$d_{conducido} = 283 \text{ mm}$$

Debido a que no se encuentra 283 mm de diámetro de polea se aproxima a las que cuenta el fabricante:

Perfil de la correa trapezoidal	Denominación ISO	—	Y	—	Z	A	B	—	C	—	D	E	Diámetro de referencia d <sub>d</sub>		Tolerancia de concentricidad y planitud
	Denominación DIN 2215	5	6	8	10	13	17	20	22	25	32	40			
Perfil correa trapezoidal estrecha	Denominación DIN 7753 Parte 1 e ISO 4184	—	—	—	SPZ	SPA	SPB	—	SPC	—	—	—	min	máx	
Diámetro de referencia d <sub>d</sub>	20,0												20,0	20,4	0,2
	22,0												22,0	22,4	
	25,0												25,0	25,4	
	28,0	28,0											28,0	28,4	
	31,5	31,5											31,5	32,0	
	35,5	35,5											35,5	36,1	
	40,0	40,0	40										40,0	40,6	0,2
	45,0	45,0	45	45									45,0	45,7	
	50,0	50,0	50	50									50,0	50,8	
	56,0	56,0	56	56									56,0	56,9	
	63,0	63,0	63	63	63								63,0	64,0	
					67	67							67,0	68,0	
	71,0	71,0	71	71	71	71							71,0	72,1	0,3
	80,0	80,0	80	80	80	80							75,0	76,1	
					85	85							80,0	81,3	
		90,0	90	90	90	90	90						85,0	86,3	
					95	95	95						90,0	91,4	
		100,0	100	100	100	100	100						95,0	96,4	
					106	106	106						100,0	101,6	0,3
													106,0	107,6	
	112,0	112	112	112	112	112	112						112,0	113,8	
	125,0	125	125	125	125	125	125						118,0	119,9	
					132	132	132						125,0	127,0	
					140	140	140						132,0	134,1	
					150	150	150			140*			140,0	142,2	0,4
					160	160	160			150*			150,0	152,4	
								160		160*			160,0	162,6	
					170	170	170						170,0	172,7	
				180	180	180	180		180			180,0	182,9		
				190	190	190						190,0	193,0		
				200	200	200		200	200			200,0	203,2	0,4	
				212	212	212			212			212,0	215,4		
				224	224	224		224	224			224,0	227,6		
				225	225	225			225			225,0	228,6		
				236	236	236			236			236,0	239,8		
				250	250	250	250		250	250		250,0	254,0		
						265			265		250	265,0	269,0	0,5	
				280	280	280		280	280	280		280,0	284,5		
				300	300	300						300,0	304,8		
				315	315	315	315		315	315		315,0	320,0		
						335		335		335	355	335,0	340,0		
						355	355		355			355,0	360,7		
						375			375			375,0	380,7	0,5	
						400	400	400	400	400	400	400,0	406,4		
												425,0	431,4		
						450	450	450	450	450		450,0	457,2		
						475		475				475,0	482,2		
						500	500	500	500	500	500	500,0	508,0		
						560	560	560	560	560	560	560,0	569,0	0,6	
						630	630	630	630	630	630	630,0	640,1		
															0,8
						710	710	710	710	710	710	710,0	721,4		
							800	800	800	800	800	800,0	812,8		
							900	900	900	900	900	900,0	914,4		
							1000	1000	1000	1000	1000	1000,0	1016,0		
														1,0	
														1,2	
Tolerancia admisible del diámetro de referencia entre los canales (mm)		0.3			0.4			0.6			—				
Para más detalles, ver DIN 2211 página 1 y DIN 2217 página 1. Estas poleas acanaladas trapezoidales pueden utilizarse también con las correas trapezoidales Optibelt Super TX M-S. Usar preferentemente los valores en <b>negrita</b> . • Sólo para correas trapezoidales de flancos abiertos clásicos. • Para correas trapezoidales estrechas Optibelt Super TX M-S.															

Figura 33. Diámetro de referencia según el tipo de correa.

$$d_{conducido} = 280 \text{ mm}$$

Ahora se comprueba si cumple con la velocidad de giro requerida. Para ello se realiza nuevamente del cálculo.

$$d_{conducido} = 280 \text{ mm}$$

$$d_{conductor} = 100 \text{ mm}$$

$$i = \frac{d_{conducido}}{d_{conductor}}$$

$$i = \frac{280 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 2,8$$

Se calcula los rpm requeridas.

$$n = \frac{850 \text{ rpm}}{2,8}$$

$$n = 303,57 \text{ rpm}$$

Se puede notar que los rpm son mayores a las pedidas, por esta razón cumple con las condiciones.

Por lo tanto, se tiene:

$$d_{conductor} = 100 \text{ mm}$$

$$d_{conducido} = 280 \text{ mm}$$

Optibelt recomienda que la distancia entre ejes se encuentre dentro de un rango de valores.

Distancia entre ejes:

$$a > 0,7 * (d_{conductor} + d_{conducido})$$

$$a < 2 * (d_{conductor} + d_{conducido})$$



*Ecuación 1. Rango de valores de distancia entre centro según Optibelt*

Pero para simplificar el cálculo se toma la siguiente relación, que cumple con lo indicado por el fabricante.

$$a = 1,5 * (d_{conductor} + d_{conducido})$$



Ecuación 2 Distancia entre centros recomendada según Optibelt

$$a = 1,5 * (100 \text{ mm} + 280 \text{ mm})$$

$$a = 570 \text{ mm}$$

Ahora se calcula la longitud de la correa, con la siguiente expresión.

$$L = 2 * a + 1,5 * (d_{conductor} + d_{conducido}) + \left( \frac{(d_{conductor} + d_{conducido})^2}{4 * a} \right)$$



Ecuación 3 Longitud de correa según Optibelt

$$L = 2 * 570 \text{ mm} + 1,5 * (100 \text{ mm} + 280 \text{ mm}) + \left( \frac{(100 \text{ mm} + 280 \text{ mm})^2}{4 * 570 \text{ mm}} \right)$$

$$L = 1\,773,3 \text{ mm}$$

Por ello, la longitud de referencia estándar es de:


$$L_{dst} = 1762 \text{ mm}$$

Cálculo del ángulo de contacto:

$\frac{d_{dg} - d_{dk}}{a_{nom}}$	$\beta^\circ$	$c_1$
0	180°	1,00
0,05	177°	1,00
0,10	174°	1,00
0,15	171°	1,00
0,20	168°	0,99
0,25	165°	0,99
0,30	162°	0,99
0,35	160°	0,99
0,40	156°	0,99
0,45	153°	0,98
0,50	150°	0,98
0,55	147°	0,98
0,60	144°	0,98
0,65	141°	0,97
0,70	139°	0,97
0,75	136°	0,97
0,80	133°	0,96
0,85	130°	0,96
0,90	126°	0,96
0,95	123°	0,95
1,00	119°	0,94
1,05	115°	0,94
1,10	112°	0,93
1,15	109°	0,93
1,20	106°	0,92
1,25	103°	0,91
1,30	100°	0,91
1,35	96°	0,90
1,40	92°	0,88
1,45	88°	0,87
1,50	84°	0,86
1,55	80°	0,84
1,60	77°	0,83

Figura 34. Angulos de contacto y el factor  $c_1$ . 

Como se muestra en la tabla de acuerdo a la expresión se obtiene un valor de  $\beta$  y  $c_1$ .

$$\frac{d_{conducido} - d_{conductor}}{a}$$


Ecuación 4. Expresión para hallar el factor  $\beta$  según Optibelt

$$\frac{280 \text{ mm} - 100 \text{ mm}}{570 \text{ mm}}$$

$$0,316$$

Aproximamos el valor a 0,35

Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

$$\beta = 160^\circ$$

$$c_1 = 0,99$$

Se calcula el factor desarrollo, el cual se obtiene por el desarrollo de referencia el cual hace referencia a la longitud de la faja.

Se toma la longitud para tomar un factor de desarrollo.

Perfil SPZ, XPZ		Perfil SPA, XPA		Perfil SPB, XPB		Perfil SPC, XPC	
Desarrollo de referencia (mm)	$c_3$	Desarrollo de referencia (mm)	$c_3$	Desarrollo de referencia (mm)	$c_3$	Desarrollo de referencia (mm)	$c_3$
630	0,83	800	0,81	1250	0,83	2000	0,85
670	0,84	850	0,82	1320	0,84	2120	0,86
710	0,85	900	0,83	1400	0,85	2240	0,86
750	0,86	950	0,84	1500	0,86	2360	0,87
800	0,87	1000	0,85	1600	0,87	2500	0,88
850	0,88	1060	0,86	1700	0,88	2650	0,89
900	0,89	1120	0,86	1800	0,89	2800	0,90
950	0,90	1180	0,87	1900	0,90	3000	0,91
1000	0,91	1250	0,88	2000	0,91	3150	0,91
1060	0,92	1320	0,89	2120	0,92	3350	0,92
1120	0,93	1400	0,90	2240	0,93	3550	0,93
1180	0,94	1500	0,91	2360	0,93	3750	0,94
1250	0,95	1600	0,92	2500	0,94	4000	0,95
1320	0,96	1700	0,93	2650	0,95	4250	0,96
1400	0,98	1800	0,94	2800	0,96	4500	0,97
1500	0,99	1900	0,95	3000	0,97	4750	0,98
1600	1,00	2000	0,96	3150	0,98	5000	0,98
1700	1,01	2120	0,97	3350	0,99	5300	0,99
1800	1,02	2240	0,98	3550	1,00	5600	1,00
1900	1,03	2360	0,99	3750	1,01	6000	1,01

Figura 35. Desarrollo de referencia y el factor  $c_3$ .



Finalmente, para el tipo de faja: **SPZ**

$$L = 1\,800\,mm$$

$$c_3 = 1,02$$

De la tabla 26 del catálogo de Optibelt se obtiene la potencia nominal.

Poleas	v (m/s)	n <sub>k</sub> (min <sup>-1</sup> )	Diametro de referencia de la polea pequena d <sub>dk</sub> (mm)															Suplemento de potencia (kW) por correa para i			
			63	71	80	85	90	95	100	112	125	132	140	150	160	180	200	1,01	1,06	1,27	>1,57
																		hasta 1,05	hasta 1,26	hasta 1,57	
		700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
		950	0,63	0,87	1,14	1,29	1,44	1,59	1,74	2,08	2,46	2,66	2,89	3,17	3,45	4,00	4,54	0,01	0,09	0,12	0,15
		1450	0,87	1,23	1,62	1,84	2,06	2,27	2,49	3,00	3,54	3,83	4,16	4,56	4,96	5,75	6,51	0,02	0,13	0,19	0,23
		2850	1,38	2,03	2,74	3,13	3,52	3,90	4,27	5,15	6,07	6,55	7,08	7,72	8,34	9,50	10,55	0,04	0,26	0,37	0,46
		100	0,10	0,13	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,28	0,33	0,35	0,38	0,42	0,45	0,52	0,59	0,00	0,01	0,01	0,02
		200	0,18	0,24	0,30	0,34	0,37	0,41	0,44	0,52	0,61	0,66	0,71	0,78	0,85	0,98	1,12	0,00	0,02	0,03	0,03
		300	0,25	0,33	0,43	0,48	0,53	0,58	0,63	0,75	0,88	0,95	1,03	1,13	1,23	1,42	1,62	0,00	0,03	0,04	0,05
		400	0,32	0,43	0,55	0,62	0,68	0,75	0,81	0,97	1,14	1,23	1,34	1,47	1,59	1,85	2,10	0,01	0,04	0,05	0,06
		500	0,38	0,51	0,66	0,75	0,83	0,91	0,99	1,19	1,39	1,51	1,63	1,79	1,95	2,26	2,57	0,01	0,05	0,07	0,08
		600	0,44	0,60	0,78	0,87	0,97	1,07	1,16	1,39	1,64	1,77	1,92	2,11	2,29	2,66	3,02	0,01	0,06	0,08	0,10
		700	0,50	0,68	0,88	1,00	1,11	1,22	1,33	1,60	1,88	2,03	2,20	2,42	2,63	3,05	3,47	0,01	0,06	0,09	0,11
		800	0,55	0,76	0,99	1,12	1,24	1,37	1,50	1,79	2,12	2,29	2,48	2,72	2,96	3,44	3,91	0,01	0,07	0,11	0,13
		900	0,61	0,84	1,09	1,24	1,38	1,52	1,66	1,99	2,35	2,54	2,75	3,02	3,29	3,81	4,33	0,01	0,08	0,12	0,15
		1000	0,66	0,91	1,19	1,35	1,51	1,66	1,81	2,18	2,57	2,78	3,02	3,31	3,61	4,18	4,75	0,01	0,09	0,13	0,16

Figura 36. Potencia nominal según el diametro de referencia.




Para encontrar la potencia nominal se entra con los valores.

$$d_{conductor} = 100 \text{ mm}$$

$$n_{motor} = 850 \text{ rpm}$$

Finalmente se tiene:

$$P_N = 1,58 \text{ kW} + 0,12 \text{ kW}$$

 *Ecuación 4. Expresión para hallar la potencia para entrar a la tabla según Optibelt*

$$P_N = 1,7 \text{ kW}$$

Con el numero calculado se estima el número de correas:

$$z = \frac{P * c_2}{P_N * c_1 * c_3}$$



*Ecuación 5. Expresión para hallar el número de correas según Optibelt*

$$z = \frac{3 \text{ kW} * 1,02}{1,7 \text{ kW} * 0,99 * 1,02}$$

$$z = 1,78$$

Por lo tanto, se muestra que el número de correas es de **2**.



### **Velocidad y frecuencia de flexión de la correa**

$$v = \frac{d_{conductor} * n_{motor}}{19100}$$



*Ecuación 6. Expresión para hallar la velocidad según Optibelt*

$$v = \frac{(100 \text{ mm}) * (850 \text{ rpm})}{19100} = 4,45 \text{ m/s}$$

Frecuencia de flexión

$$f_b = \frac{2 * 1000 * v}{L_{dst}}$$

*Ecuación 7. Expresión para hallar la frecuencia de la correa según Optibelt*

$$f_b = \frac{2 * 1000 * (4,45 \text{ m/s})}{1762 \text{ mm}}$$

$$f_b = 5,051 \text{ s}^{-1}$$



### Tensión estática mínima por correa

$$T = \frac{500 * (2,02 - c_1) * P_B}{c_1 * z * v} + k * v^2$$

*Ecuación 8. Expresión para hallar la tensión en la correa según Optibelt*

Además, se conoce que el valor:

$$k = 0,07$$

$$T = \frac{500 * (2,02 - 0,99) * 3 \text{ kW} * 1,02}{(0,99) * (2) * (4,45 \text{ m/s})} + (0,07) * (4,45 \text{ m/s})^2$$

$$T = 180,24 \text{ N}$$

Para el primer montaje

$$T_m = T * 1,3$$

*Ecuación 9. Expresión para hallar la tensión de montaje según Optibelt*

$$T_m = 234,31 \text{ N}$$



### Fuerza de tensión en las fajas

Ya se conoce las características de ambas poleas:

Polea conductora:

$$d_{conductora} = 100 \text{ mm}$$

$$n_1 = 850 \text{ rpm}$$

Potencia  $P = 3,3 \text{ kW}$

Polea conducida

$$d_{conducida} = 283 \text{ mm}$$

$$n_2 = 300 \text{ rpm}$$

Con la expresión ya conocida:  $P = T * w$

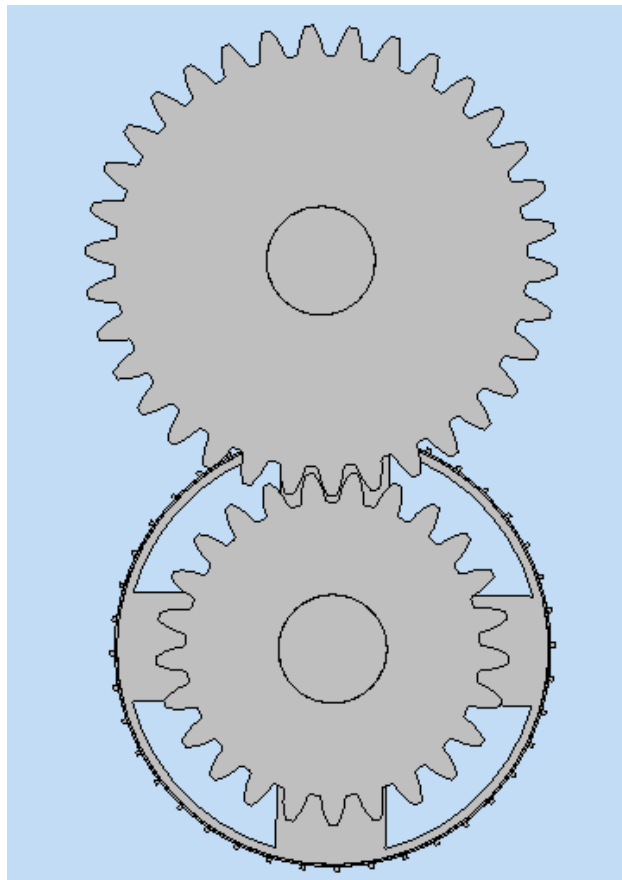
$$3300 = F * r * w$$

$$3300 = F * \left( \frac{100}{2 * 1000} \right) * \left( \frac{850 \text{ rev}}{\text{min}} \right) * \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) * \left( \frac{2 * \pi}{1 \text{ rev}} \right)$$

$$F = 741,47 \text{ N}$$

### 3.4 Dimensionamiento de engranajes.

Para el cálculo de los engranajes se toma una distancia entre ejes de acuerdo a la máquina y el espacio disponible.



*Figura 37, Engranajes para el eje cuadrado.*

Como se sabe el régimen de giro del cilindro despulpador es de  $n=300 \text{ rpm}$ , se quiere que el eje cuadrado gire a un régimen menor:  $200 \text{ rpm}$ .

Finalmente, con la relación de transmisión:

$$r = \frac{300 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$r = 1,5$$



Con lo anterior se tiene:

$$d_1 = 150 \text{ mm}, Z_1 = 25, m = 6$$

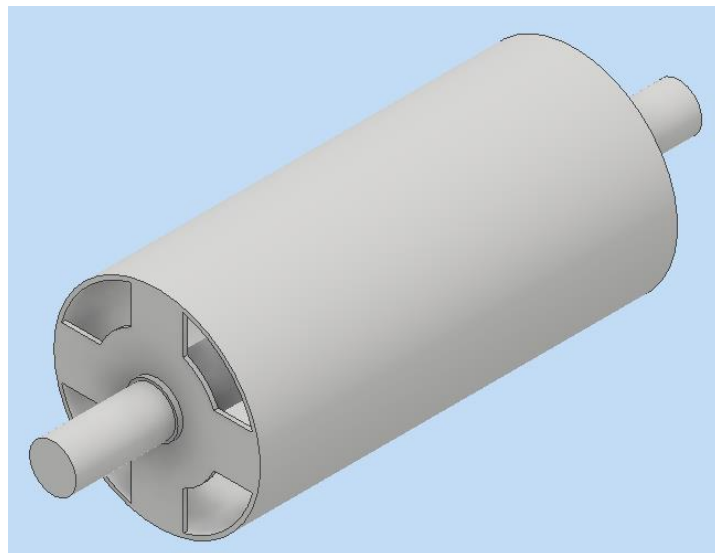
$$d_2 = 150 \text{ mm}, Z_2 = 25, m = 6$$

Con lo mencionado se tiene que la distancia entre ejes:

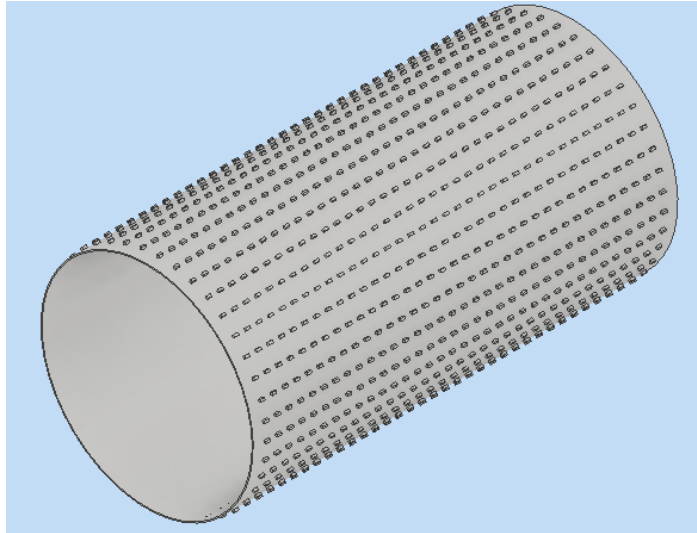
$$e = 177 \text{ mm}$$

### 3.4 Cálculo del eje de Despulpado

Para verificar las dimensiones del eje que contiene al cilindro despulpador y la camisa para el despulpado se realiza los siguientes cálculos.



*Figura 38. Cilindro despulpador que contiene la camisa*



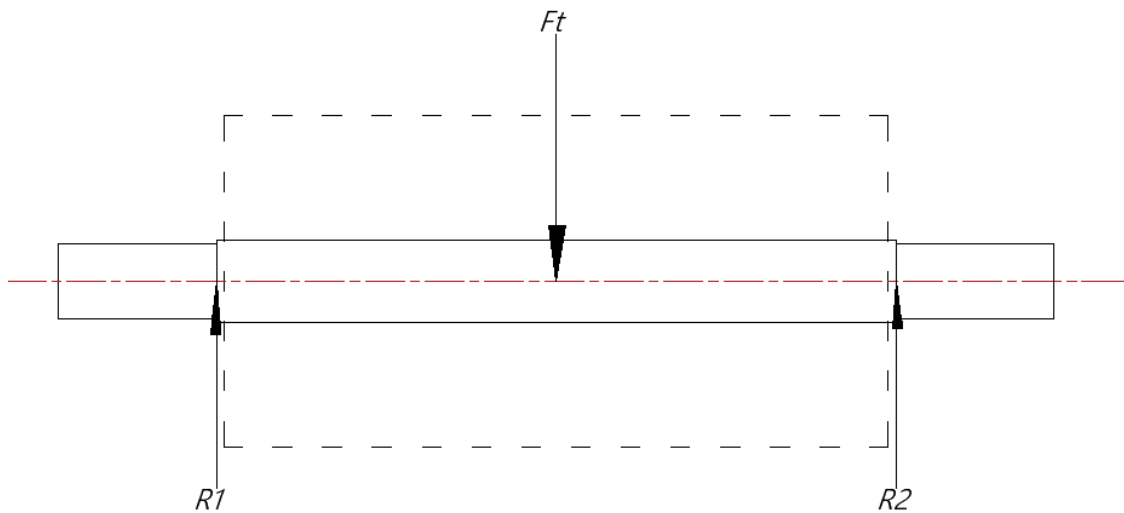
*Figura 39. Camisa despulpadora*

Como se recuerda la fuerza requerida para el despulpado, y que es tangencial al cilindro:

$$F_t = 1\,350\,N$$

Y el cilindro:  $D_c = 200\,mm$

El DCL del eje despulpador se obtiene:



*Figura 40. Esquema DCL del eje de despulpado.*

En donde el valor de  $F_t$  es la suma de las fuerzas de despulpado las 45 cerezas de café que despulpara por revolución o giro.

Adicionalmente se sabe que la distancia entre los puntos en donde ejerce las fuerzas de reacción es de:

$$d_{R1-R2} = 410 \text{ mm}$$

Ahora se halla el valor de reacción  $R_2$ . Para ello, se realiza suma de momentos en el punto donde ejerce la fuerza de reacción  $R_1$ .

$$\sum M_{R1} = 0$$

$$-205 \text{ mm} * F_t + 410 \text{ mm} * R_2 = 0$$

*Ecuación 10. Expresión de sumatoria de momentos.*

$$-205 \text{ mm} * 1\,350 \text{ N} + 410 \text{ mm} * R_2 = 0$$

$$410 \text{ mm} * R_2 = 205 \text{ mm} * 1\,350 \text{ N}$$

$$R_2 = 675 \text{ N}$$

Ahora por la sumatoria de fuerzas en el eje Y:

$$\sum F_Y = 0$$

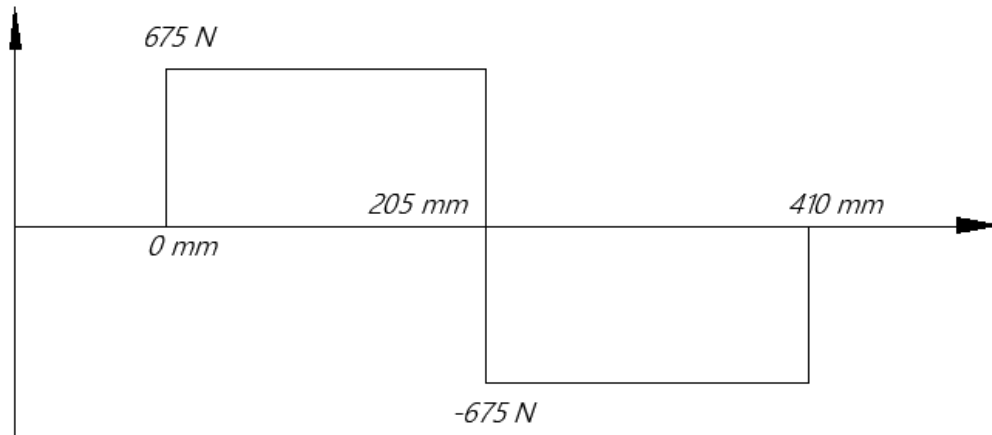
*Ecuación 11. Expresión de sumatoria de fuerzas en el eje Y.*

$$R_1 - F_t + R_2 = 0$$

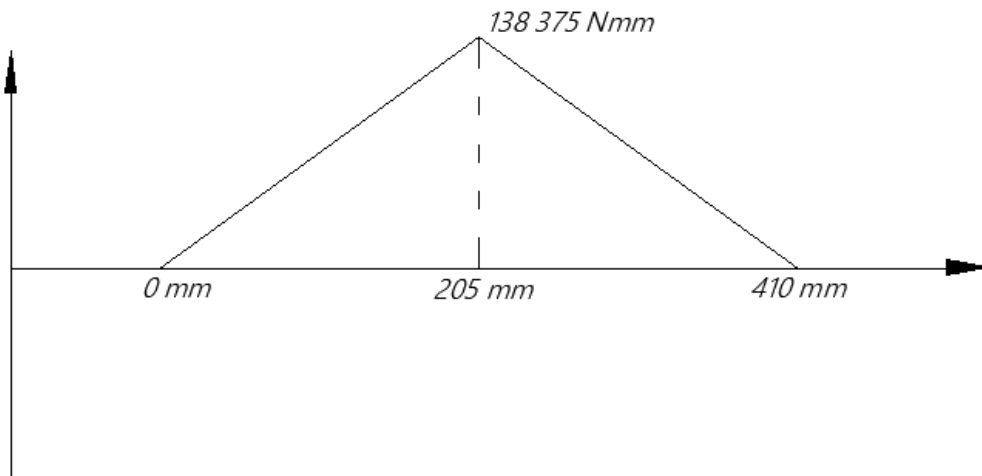
$$R_1 - 1\,350\,N + 675\,N = 0$$

$$R_1 = 675\,N$$

Con ello se tiene los gráficos de fuerzas y momentos:



*Figura 41. Diagrama de fuerzas a lo largo del eje.*



*Figura 42. Diagrama de momentos a lo largo del eje.*

Y finalmente el diagrama del torsor.

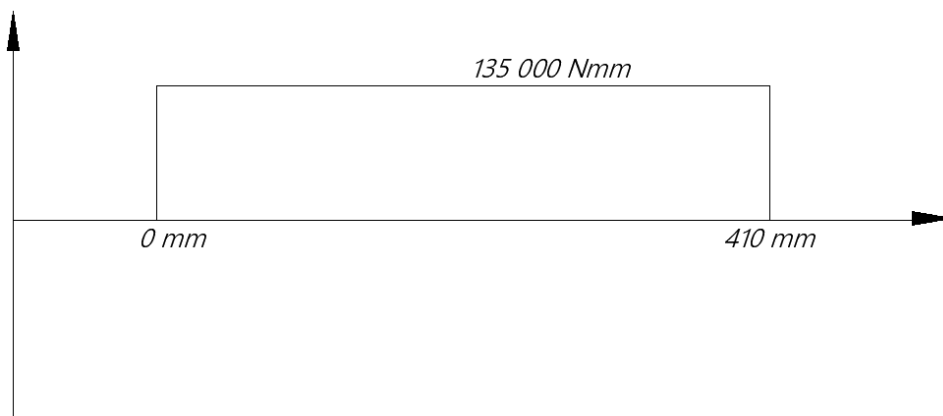


Figura 43. Diagrama de momento torsor a lo largo del eje

Finalmente se comprueba las dimensiones del diámetro del eje despulpador, con la siguiente expresión.

Propiedades del AISI 1040, que es el material que se ha elegido.

Propiedades	Acero Recocido	Acero con un Cw= 11%
Resistencia a la fluencia [MPa]	347,1 ± 5,1	682,7 ± 4,9
Resistencia máxima [MPa]	605,3 ± 6,3	694,8 ± 6,1
Deformación uniforme	0,166 ± 0,002	0,083 ± 0,003
Esfuerzo de fractura [MPa]	987,5 ± 4,5	989,1 ± 4,6
Reducción de área [%]	45,3 ± 1,4	39,6 ± 1,1

Figura 44. Propiedades de AISI 1040. 

Del gráfico se toma los valores:

$$\sigma_F = 352,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_B = 611,6 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, se deduce que el esfuerzo alternante es la mitad

$$\sigma_{Alt} = 305,8 \text{ MPa}$$

Analizamos el punto a 205 mm, debido a que se presentan los mayores valores se toma ese punto como crítico.

$$M_f = 138\,375\text{ Nmm}$$

$$M_t = 135\,000\text{ Nmm}$$

Se analiza el comportamiento del esfuerzo de flexión, como alterna y como afecta al eje AISI 1040.

El comportamiento del esfuerzo de fluencia es alternante, por lo tanto:

$$\sigma_{fm} = 0$$

Mientras que el valor del esfuerzo alternante es de:

$$\sigma_{fa} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$



*Ecuación 12. Expresión del esfuerzo alternante.*

Como se mencionó en el punto ubicado a 205 mm se encuentra el mayor valor del momento:

$$M_f = 138\,375\text{ Nmm}$$

Y el diámetro en ese punto:

$$d = 50\text{ mm}$$

Por lo tanto, el valor del esfuerzo de fluencia alternativo.

$$\sigma_{fa} = \frac{32 * M_f}{\pi * d^3}$$

$$\sigma_{fa} = \frac{32 * (138\,375\text{ Nmm})}{\pi * (50\text{ mm})^3}$$

$$\sigma_{fa} = 11,28\text{ N/mm}^2$$

Ahora se multiplica el valor obtenido con factores a la resistencia a la fatiga:

Por ello para un eje de 50 mm, se obtiene un coeficiente de tamaño (Ct)

$$C_t = 0,675$$

Coeficiente de Rugosidad:

Para ello, se toma como profundidad de rugosidad  $R_t = 10 \mu m$

$$C_s = 0,9$$

Coeficiente de temperatura:

Considerando que el trabajo se realiza en climas calurosos, por ello se toma el valor de 50 °C como máximo para el cálculo:

$$C_{temp} = 1,010$$

Coeficiente de carga:

Debido a que es una carga de flexión:

$$C_{carg} = 1$$

Coeficiente de confiabilidad:

Con un valor de R de 0,5 de confiabilidad

$$C_c = 1$$

Factor de concentración de esfuerzos:

$$K_t = 1$$

$$\beta = 1$$

Finalmente, con lo encontrado se halla el valor del esfuerzo alternativo real.

$$\sigma'_{fa} = \left( \frac{\beta}{C_s * C_t * C_{temp} * C_{carg} * C_c} \right) * \sigma_{fa} \quad \text{🗨️}$$

*Ecuación 13. Expresión del esfuerzo alternante real.*

$$\sigma'_{fa} = \left( \frac{1}{0,675 * 0,9 * 1,010 * 1 * 1} \right) * (11,28 \frac{N}{mm^2})$$

$$\sigma'_{fa} = 18,384 \text{ N/mm}^2$$

Para la torsión:



$$\tau_{tm} = \frac{16 * M_t}{\pi * d^3}$$



*Ecuación 14. Expresión del esfuerzo torsor medio.*

Se tiene que el momento torsor:

$$M_t = 135\,000\text{ Nmm}$$

Luego reemplazando el valor

$$\tau_{tm} = \frac{16 * (135\,000\text{ Nmm})}{\pi * (50\text{mm})^3}$$

$$\tau_{tm} = 5,5\text{ N/mm}^2$$

Mientras que el valor de torsión alternativo.

$$\tau_{fa} = 0$$

Mientras que el valor del esfuerzo medio de torsión.

$$\tau'_{fa} = 0$$

Con los valores reales de esfuerzo alternativo, se halla el esfuerzo equivalente, con la siguiente expresión:

$$\sigma'_{a\,eq} = \sqrt{\sigma'_{fa}{}^2 + 3 * \tau'_{fa}{}^2}$$



*Ecuación 15. Expresión del equivalente real.*

$$\sigma'_{a\,eq} = \sqrt{(18,384\text{ N/mm}^2)^2 + 3 * (0)^2}$$

$$\sigma'_{a\,eq} = 18,384\text{ N/mm}^2$$

Ahora con los esfuerzos equivalente medios:

$$\sigma_{m\,eq} = \sqrt{\sigma_{fm}{}^2 + 3 * \tau_{tm}{}^2}$$



*Ecuación 16. Expresión del equivalente medio.*

$$\sigma_{m\,eq} = \sqrt{(0)^2 + 3 * (5,5\text{ N/mm}^2)^2}$$

$$\sigma_{m eq} = 9,527 \text{ N/mm}^2$$

Finalmente se calcula el factor de seguridad a la fatiga

$$\frac{1}{FS} = \frac{\sigma_{m eq}}{\sigma_B} + \frac{\sigma'_{a eq}}{\sigma_{Alt}}$$



*Ecuación 17. Expresión del Factor de seguridad a la fatiga.*

Se sabe los siguientes datos

$$\sigma_B = 611,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{Alt} = 305,8 \text{ MPa}$$

Reemplazando

$$\frac{1}{FS} = \frac{9,527 \text{ N/mm}^2}{611,6 \text{ MPa}} + \frac{18,384 \text{ N/mm}^2}{305,8 \text{ MPa}}$$

$$\frac{1}{FS} = 0,075$$

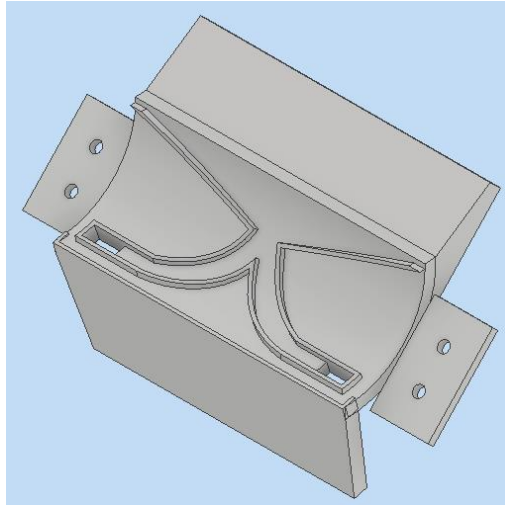
$$FS = 13,25$$

Se puede observar que el valor del Factor de Seguridad es mayor a 1 por lo tanto el eje no fallará.

### 3.4 Diseño del Pechero

Para realizar el despulpado de los granos de café se da por medio de dos cuerpos uno fijo que es el pechero y uno móvil que es el cilindro, en el cual se acopla una camisa para facilitar el arrastre de los granos.

El cuerpo fijo por recomendación suele abarcar  $\frac{1}{4}$  de una esfera en base a las máquinas despulpadoras similares se estableció una abertura de  $100^\circ$ .



*Figura 45. Pechero para el despulpado de café.*

La profundidad de los canales o ranuras excéntricas tanto en la entrada del fruto y a la salida del grano de café se determinan de las siguientes consideraciones.

- La entrada debe ser menor al diámetro de las cerezas más grandes. Para esto se determina el valor de:

$$e_1 = 14 \text{ mm}$$

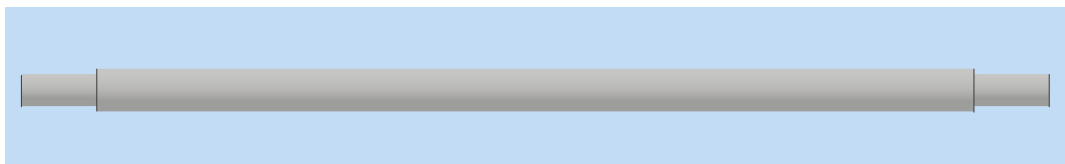
- El ancho del canal del cóncavo debe ser mayor que el largo de la cereza más grande con el objetivo que puedan trasladarse fácilmente. Se determinó que sea de:

$$a = 22 \text{ mm}$$

### 3.4 Calculo de los esfuerzos en la barra de sujeción

Estos cuerpos son los encargados de sujetar los castillos durante el despulpado.

A continuación, se muestran los esfuerzos que son sometidos.



*Figura 46. Barra de sujeción.*

Esta fuerza que deben soportar es equivalente al empuje de la entrada de los granos hacia el pechero, esta fuerza se determina en base al volumen que abarcan los granos de café desde la tolva hasta el pechero este volumen se estima de 0,0107 m<sup>3</sup>, con la ecuación de Arquímedes y considerando al café que es un fluido.

$$F = \rho * g * V$$

*Ecuación 18. Expresión de fuerza de empuje por los granos.*

$\rho$ = densidad del café aproximadamente (1200 kg/m<sup>3</sup>)

$g$ = gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$V$ = volumen del fluido (m<sup>3</sup>)

$$F = \left(1200 \frac{kg}{m^3}\right) * \left(9,8 \frac{m}{s^2}\right) * (0,04054 m^3)$$

$$F = 476,75 N$$

Esta fuerza se distribuye para cuatro barras ubicadas sobre la máquina, uniando los castillos, la fuerza sobre una sola barra es la cuarta parte calculada el único esfuerzo que actúa sobre la barra es la tensión por lo tanto se puede establecer un diámetro mínimo.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

*Ecuación 19. Expresión del Esfuerzo.*

$\sigma$ = Esfuerzo (N/m<sup>2</sup>)

$F$ = fuerza sobre la barra (N)

A= área de aplicación de la fuerza (m<sup>2</sup>)

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

*Ecuación 20. Expresión del Factor de Seguridad.*

$\sigma$ = Esfuerzo (N/m<sup>2</sup>)

$\eta$ = factor de seguridad

S<sub>y</sub>= Esfuerzo de flexión del material (N/m<sup>2</sup>)

Tomando un factor de seguridad de 2,5 con un S<sub>y</sub>=2,40x10<sup>8</sup>N/m<sup>2</sup>

$$A = \pi * \left( \frac{d^2}{4} \right) = \frac{\eta * F}{S_y} = 4,057 * 10^{-6} m^2$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * (4,96 * 10^{-6} m^2)}{\pi}}$$

El diámetro mínimo, finalmente tenemos:

$$d_{min} = 2,5 * 10^{-3} m$$

### 3.4 Calculo del cilindro Desmucilagador

En seguida calcula los parámetros necesarios para el diseño de la parte desmucilagadora de la máquina.

Primero se calcula la parte del transporte helicoidal del desmucilagador.

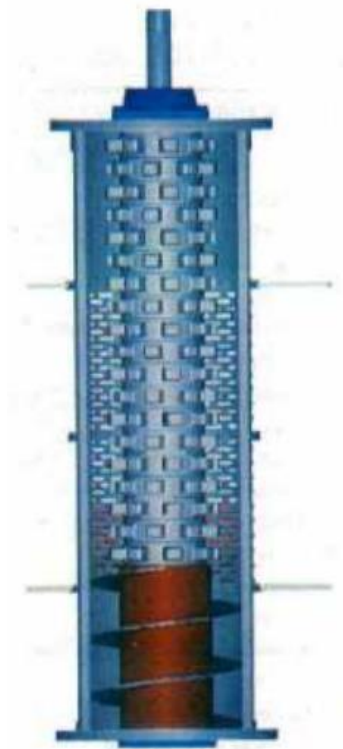



Figura 47. Esquema del desmucilaginator.

### 3.4 Cálculo del transporte Helicoidal

Para el cálculo del tornillo transportador se utiliza la siguiente expresión:

$$\dot{Q} = 3600 * \lambda * \left( \frac{\pi * (D^2 - d^2)}{4} \right) * \left( \frac{P * n}{60} \right) * \gamma * k \quad \text{$$

Ecuación 21. Flujo másico transportado por el tornillo transportador.

Donde se sabe que cada expresión es la siguiente:

$\dot{Q}$ : Flujo másico  $\left[ \frac{Tn}{hr} \right]$

$\lambda$  : Coeficiente de relleno [-]

$D$  : Diámetro extremo [m]

$d$  : Diámetro interno [m]

$P$  : Paso helicoidal [m]

$n$  : Velocidad de giro [m]

$\gamma$  : Densidad del material  $[\frac{Tn}{m^3}]$

$k$  : Coeficiente de inclinación  $[-]$



### Coeficiente de relleno

El coeficiente de relleno depende del tipo de material; por ello, el café luego de ser despulpado presenta características de ser un material ligero y no muy abrasivo. Debido al mucílago que aún presenta y que posteriormente será removido.

Tipo de carga	$\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada poco abrasiva	0,25
Ligera poco abrasiva	0,32
Ligera no abrasiva	0,4

Figura 48. Tabla de los coeficientes de carga.



Así, el coeficiente de relleno es de:

$$\lambda = 0,32$$



### Paso helicoidal

Para el paso helicoidal se recomienda que este sea la mitad del diámetro exterior, es por esta razón que se tiene la siguiente relación:

$$P = \frac{D}{2}$$



### Densidad del Material

La densidad del café a la entrada del proceso de la remoción del mucílago es de aproximadamente.

$$\gamma = 804 \frac{kg}{m^3}$$


$$\gamma = 0,804 \frac{Tn}{m^3}$$



## Coeficiente de inclinación

El coeficiente de inclinación depende de que tal inclinado se encuentre el tornillo para transportar. En nuestro caso el desmucilagador se encuentra de forma vertical, mayor a 45°:

Inclinación del Tubo	Coeficiente
0	0,33
15	0,19
30	0,13
45 a más	0,08

Figura 49. Tabla de los coeficientes de inclinación 

Con ello se tiene que el coeficiente es de:

$$k = 0,08$$

En cuanto al régimen de giro, se recomienda la velocidad de giro de 700 rpm o superior para una mejor remoción del mucílago.

Finalmente, recordamos el flujo másico que la máquina procesa

$$\dot{Q} = 850 \frac{kg}{h}$$

$$\dot{Q} = 0,850 \frac{Tn}{h}$$

Ahora, para tener el diámetro exterior del tornillo transportador se reemplaza en la siguiente expresión, de la ecuación 21.

$$(D^2 - d^2) * D = \frac{2 * \dot{Q}}{15 * \pi * \lambda * n * \gamma * k}$$



$$(D^2 - d^2) * D = \frac{2 * (0,850 \frac{Tn}{h})}{15 * \pi * 0,32 * (700 rpm) * (0,804 Tn/m^3) * 0,08}$$

$$(D^2 - d^2) * D = 0,002504$$

Se puede notar que es necesario tener un valor de radio interno del tornillo transportador para ello asumiremos un valor razonable.



$$d = 0,07 \text{ m}$$

Reemplazando

$$(D^2 - (0,07)^2) * D = 2,504$$

$$D = 0,148 \text{ m}$$

Redondeando:

$$\mathbf{D = 0,15 \text{ m}}$$

Con ello ya es posible tener el paso del tornillo:

$$P = \frac{D}{2}$$

$$P = 0,075 \text{ m}$$

Para terminar con el tornillo se calcula la longitud o altura que ocupara el tornillo transportador de todo el sistema de remoción de mucílago.

Para hallar la longitud se hace uso de la siguiente expresión.

$$H_{hel} = N_{vuelta} * P$$



*Ecuación 22. Avance del material por el giro del tornillo.*

Se toma un numero de vuelta de:

$$N_{vuelta} = 2$$

Con ello se reemplaza en la ecuación:

$$H_{hel} = 2 * 0,075m$$

$$H_{hel} = 0,15 \text{ m}$$

### 3.4 Cálculo de la altura de la parte desmucilagadora

Para hallar la altura del desmucilagador es necesario conocer el volumen de y que cumpla con el flujo volumétrico. El volumen está definido por los limpiadores, los cuales remueven el mucílago del grano de café y la carcasa del desmucilagador.

No existen normas o recomendaciones para el diámetro de la carcasa, es por ello que tomaremos un valor que facilite el cálculo y sobre todo la geometría.

Con ello el diámetro exterior de la carcasa es de:

$$D_{carcasa.ext} = 0,17 \text{ m}$$

Con un espesor de:

$$e = 1,5 \text{ mm}$$

Adicionalmente se toma la altura de cada limpiador como:

$$h_{limpiador} = 2 \text{ cm}$$

Para la tecnología de desmucilaginado mecánico o desmucilaginator, el tiempo necesario para la completa remoción del mucílago es de 15 a 25 segundos. Para este caso se toma el valor máximo para garantizar la limpieza del grano de café: 25 segundo.

Para poder hallar la altura de la parte desmucilagadora, es necesario tener el flujo volumétrico, con la siguiente expresión:

$$\dot{V} = \frac{\dot{Q}}{3600 * \gamma}$$



*Ecuación 23. Flujo volumétrico.*

Recordando:

$\dot{V}$  : Flujo Volumétrico  $[\frac{m^3}{s}]$

$\dot{Q}$  : Flujo másico  $[\frac{Tn}{h}]$

$\gamma$  : Densidad del material  $[\frac{Tn}{m^3}]$

Nuevamente recordando el flujo volumétrico

$$\dot{Q} = 0,850 \frac{Tn}{h}$$

Reemplazando los datos:

$$\dot{V} = \frac{0,850 \text{ Tn/h}}{3600 * (0,8034 \frac{\text{Tn}}{\text{m}^3})}$$

$$\dot{V} = 0,000294 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ahora se halla el volumen multiplicando el flujo volumétrico con los 25 segundos que demora el proceso de limpiado; es decir, la remoción del mucílago.

$$V = \dot{V} * t$$



*Ecuación 24. Volumen en el interior del desmucilaginador.*

$$V = \left(0,000294 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) * (25 \text{ seg})$$

$$V = 0,00735 \text{ m}^3$$

La altura se adquiere de la siguiente expresión.

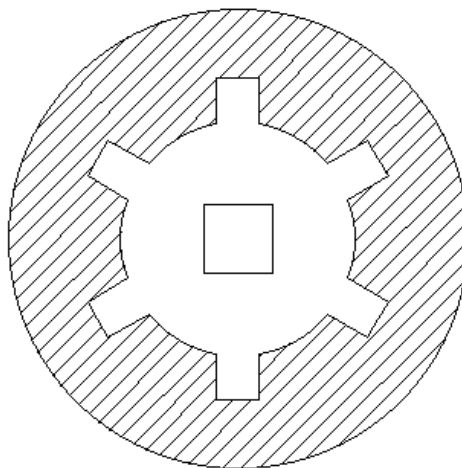
$$H_{desmuci} = \frac{V}{A_{art}}$$



*Ecuación 25. Altura del desmucilaginador*

*Fuente: Screw Conveyor Engineering*

Ahora, el área comprendida entre la carcasa y los limpiadores según la geometría de estos.



*Figura 48. Forma geométrica de los limpiadores, área sombreada es el área que ocupa el café para el limpiado*

*Fuente: Propia*

Por el ello, la expresión que indica el área entre la carcasa y los limpiadores es la siguiente:

$$A_{art} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left( (D_c^2 - D_i^2) + \left(\frac{D_i^2 - d_i^2}{2}\right) \right) \quad \text{[Icono de mensaje]$$

*Ecuación 26. Área transversal entre los limpiadores y la carcasa exterior.*

Donde:

$D_c$  : Diámetro interno de la carcasa.

$D_i$  : Diámetro exterior del limpiador.

$d_i$  : Diámetro a la base del limpiador.

Recordando

$$D_{carcasa.ext} = 0,17 \text{ m}$$

$$e = 1,5 \text{ mm}$$

Por lo tanto, tenemos el diámetro interior de la carcasa  $D_c$  :

$$D_c = D_{carcasa.ext} - 2 * e \quad \text{[Icono de mensaje]}$$

Reemplazando:

$$D_c = 170 \text{ mm} - 2 * 1,5 \text{ mm}$$

$$D_c = 167 \text{ mm} <> 0,167 \text{ m}$$

Con los siguientes datos:

$$D_i = 0,14 \text{ m} <> 140 \text{ mm}$$

$$d_i = 0,09 \text{ m} <> 90 \text{ mm}$$

Reemplazando en la *Ecuación 26* del área.

$$A_{art} = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left( ((0,167)^2 - (0,14)^2) + \left( \frac{(0,14)^2 - (0,09)^2}{2} \right) \right)$$

$$A_{art} = 0,011 \text{ m}^2$$

Finalmente, para la parte final del cálculo del desmucilaginado de se calcula la altura que tendrá la parte desmucilagadora. Para ello se recurrirá a la expresión del cálculo de la altura, en la *Ecuación 25*.

$$H_{desmuci} = \frac{V}{A_{art}}$$



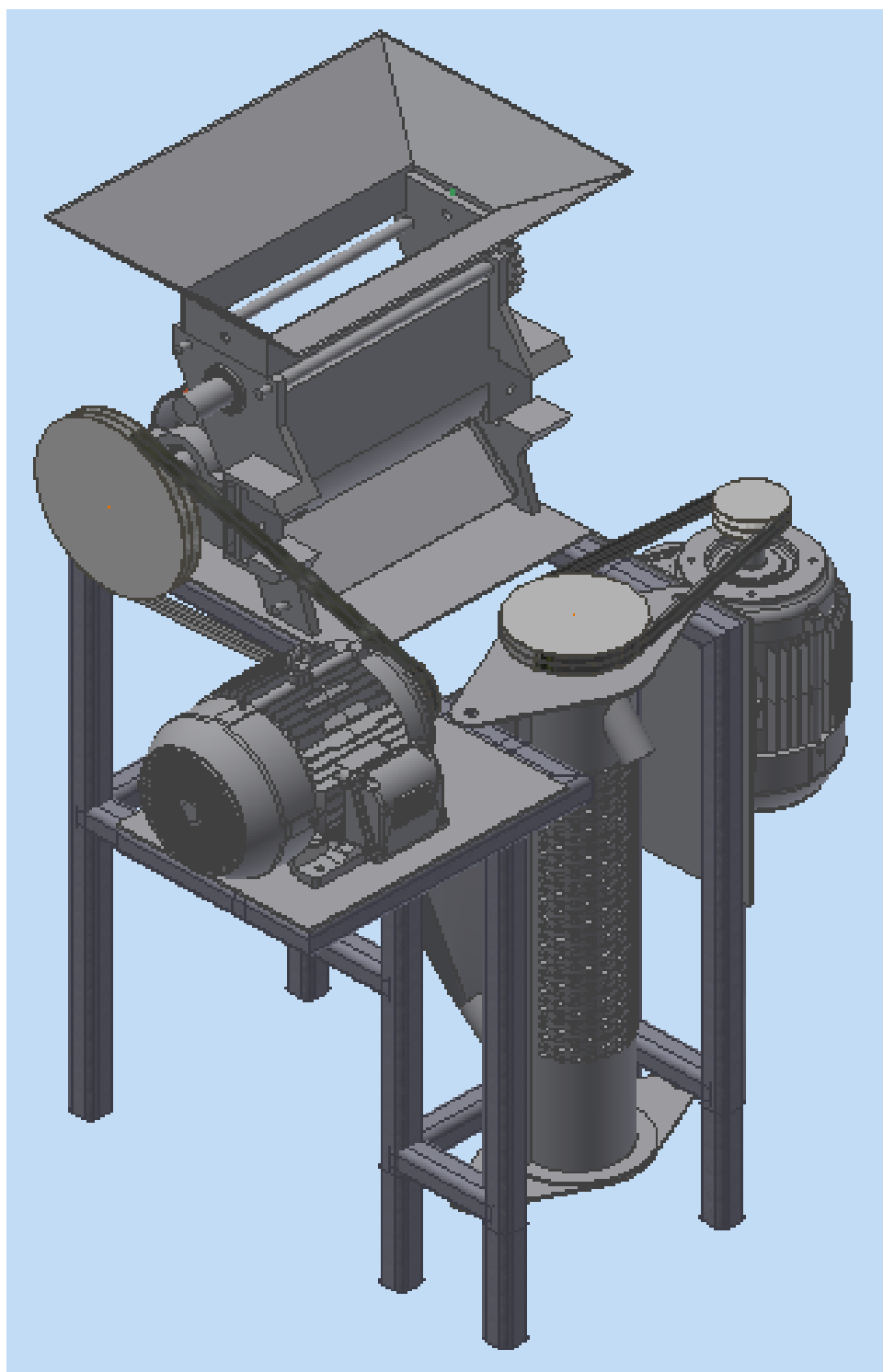
Reemplazando:

$$H_{desmuci} = \frac{0,00735 \text{ m}^3}{0,011 \text{ m}^2}$$

$$H_{desmuci} = 0,668 \text{ m}$$

Ahora para ajustar la altura a la cantidad de limpiadores de la desmucilagadora. Por ello, la altura del desmucilagador debe ser múltiplo de 2.

$$H_{desmuci} = 68 \text{ cm}$$

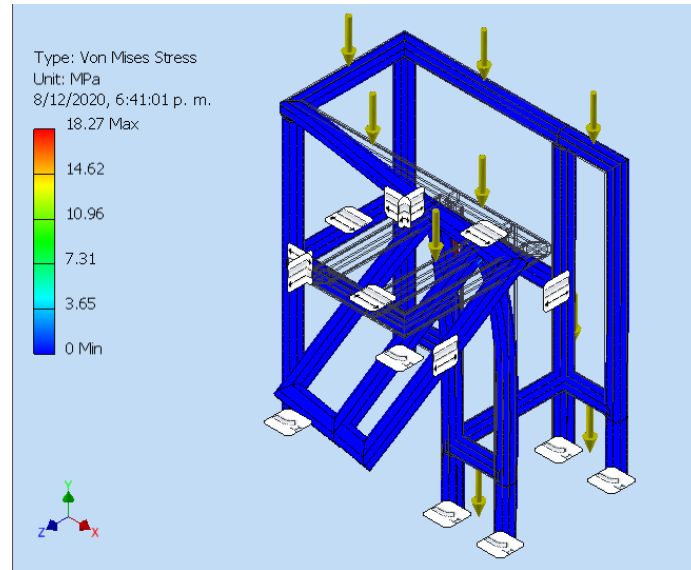


*Figura 49. Ensamble Final de máquina despulpadora y desmucilagadora de café. Elaboración propia.*

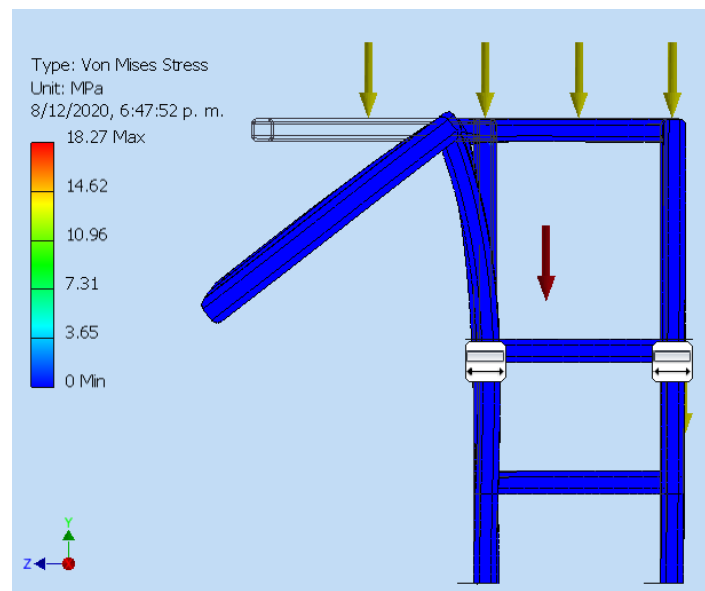
## Capítulo 4

### 4.1 Simulación

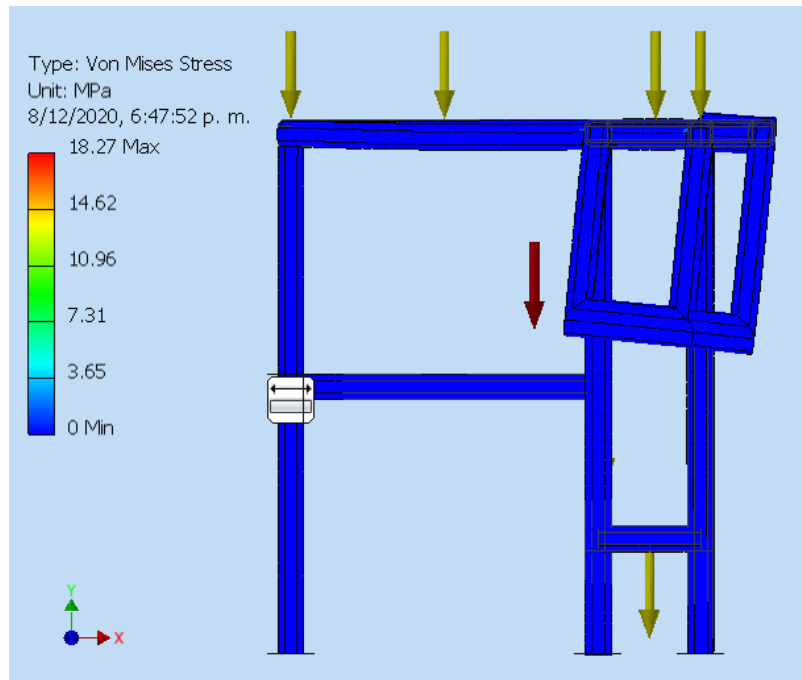
Aplicando las fuerzas sobre la estructura. Se observa que no se encuentran zonas en donde existe deformación plástica. Por ello, a partir de lo simulado se obtiene que la estructura no fallará.



*Figura 50. Estructura de soporte para la máquina. Elaboración propia*

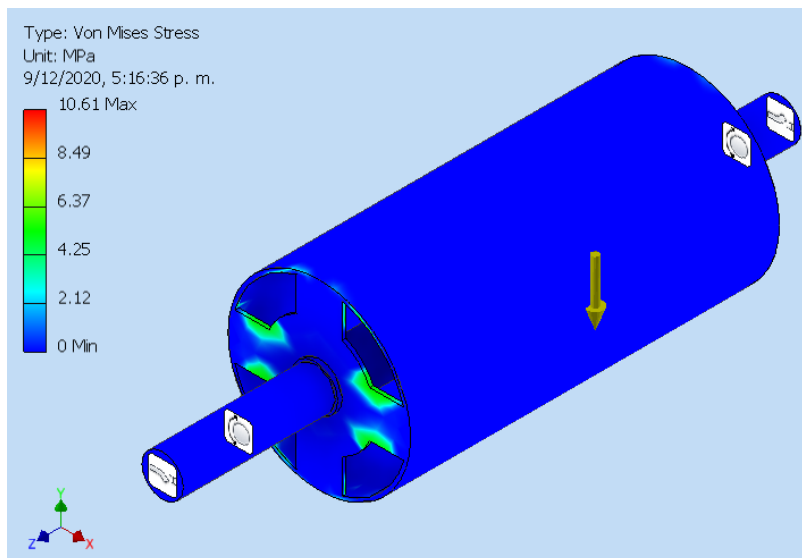


*Figura 51. Otra vista de la estructura de soporte para la máquina. Elaboración propia*



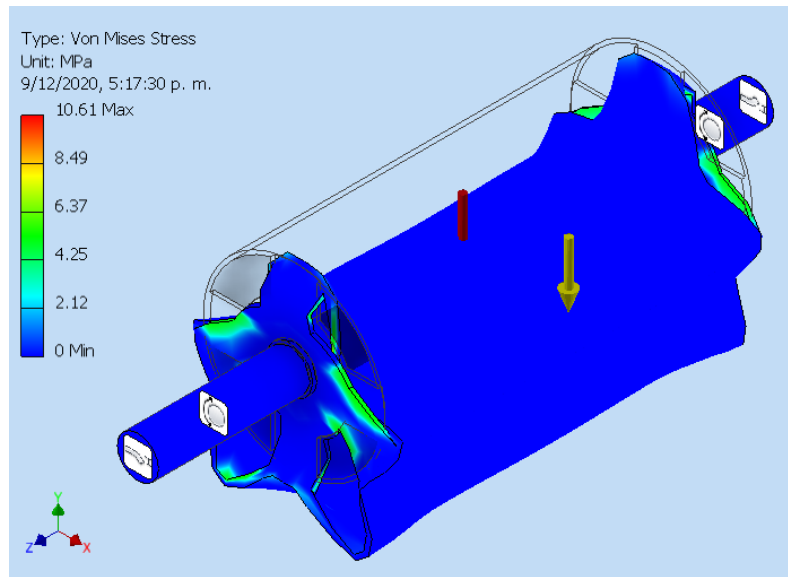
*Figura 52. Otra vista de la estructura de soporte para la máquina. Elaboración propia*

Continuando con la verificación de elementos de máquinas se prosigue hacia el eje despulpador que contendrá a la camisa despulpadora. Es en este elemento en donde se despulpará el café.



*Figura 53. Cilindro porta camisa simulado. Elaboración propia.*






*Figura 54. Cilindro porta camisa simulado, con ajuste de la deformación x5.  
Elaboración propia.*

Como se puede ver no existen zonas en donde se presente la presencia de color rojo. Por ello, se podría decir y se verifica que el elemento no fallará.

Se hace especial énfasis en este elemento de máquina, pues es considerado un crítico dentro de la máquina, pues si entra una piedra u otro elemento que no sea cereza de café la máquina se podría dañar.

## 4.2 Costos y Presupuestos

En esta parte se consideran los materiales a comprar con o sin mecanizado, aunque en la mayoría de los materiales se encuentran en el mercado.

Item	cantidad	descripcion	norma	material	Costo (\$/)
Estructura soporte					
 20	3	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 1042 mm	ANSI	stainless steel	69
20	2	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 200 mm	ANSI	stainless steel	8
20	2	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 600 mm	ANSI	stainless steel	26
20	1	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 820 mm	ANSI	stainless steel	18
20	1	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 920 mm	ANSI	stainless steel	20
20	7	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 420 mm	ANSI	stainless steel	63
20	3	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 500 mm	ANSI	stainless steel	33
20	1	Tubo cuadrado 2x2x1/4, 320 mm	ANSI	stainless steel	7
23	1	Plancha 371x500x5mm		stainless steel	10
23	1	Plancha 470x550x5mm		stainless steel	15

 **Tabla 2.** Costos estimados de los materiales de la estructura.

Item	cantidad	descripcion	norma	material	Costo (\$/)
Despulpadora					
1	1	Camisa despulpadora		stainless steel	10
2	1	Cilindro despulpador, porta camisa		stainless steel	30
3	1	Engranaje grande		stainless steel	40
4	1	Engranaje pequeño		stainless steel	40
5	1	Eje cuadrado		stainless steel	20
6	1	Pechero		stainless steel	30
7	2	Bancada soporte		stainless steel	20
9	1	Tolva		stainless steel	10
 10	4	Ejes separadores		stainless steel	20
13	4	Rodamiento 50			400
25	1	Polea conducida			50
26	1	Polea conductora			50
24	1	Faja Conductora			50
22	1	Motor de 3kW WEG			200

**Tabla 3.** Costos estimados de los materiales de la despulpadora.

Item	cantidad	descripcion	norma	material	Costo (S/)
<b>Desmucilaginadora</b>					
14	1	Eje desmucilaginador		stainless steel	50
17	1	Carcasa delantera		stainless steel	20
18	1	Carcasa Trasera		stainless steel	30
15	1	Tornillo transportador		stainless steel	40
16	34	Limpiador		stainless steel	340
19	2	Tapas del desmucilaginador		stainless steel	20
22	1	Motor de 3kW WEG		stainless steel	200
25	1	Polea conducida			50
26	1	Polea conductora			50
24	1	Faja Conductora			50

*Tabla 4. Costos estimados de los materiales de la desmucilaginadora.*

	Costo total
Estructura soporte	269
Despulpadora	970
Desmucilaginadora	850
<b>Total</b>	<b>2089</b>

*Tabla 4. Costos totales de los materiales.*

Finalmente se observa que el costo total de los materiales involucrados en la máquina despulpadora y desmucilaginadora de café es de S/ 2,089.00

## Costos de Fabricación

Los costos de fabricación para esta máquina por los elementos que la componen están divididos en el maquinado para elementos como las poleas y eje; el rolado de planchas metálicas, corte de planchas y soldadura entre metales como soldadura de acero inoxidable TIG o soldadura con electrodo revestido para las estructuras de soporte.

	Estructura Soporte	Despulpado	Desmucilaginado
Soldadura	200	10	100
Cortado	100	50	100
Rolado	0	50	50
Maquinado	0	100	120
Total, Parcial	300	210	370
<b>Total</b>	<b>880</b>		

*Tabla 5. Costos de fabricación.*

La mayor parte de los costos de soldadura y de corte son ejecutados durante la fabricación de la estructura metálica. Pero por la forma la parte desmucilagadora es que se utilizan una importante cantidad de costos de esta. De esta manera se obtiene el monto de S/ 880.00

### Costos de Montaje e instalación

	Estructura Soporte	Despulpado	Desmucilaginado
Montaje	40	40	40
Instalación	50	50	50
Total, Parcial	90	90	90
Total	270		

*Tabla 6. Costos de Montaje e Instalación.*

Finalmente, el precio total para la realización del proyecto es el indicado en la siguiente tabla.

	Costo de diseño	Costo de Materiales	Costo de Fabricación	Costo de montaje e Instalación
Total, Parcial	2000	2089	880	270
Total	5239			

*Tabla 7. Costos totales.*

Finalmente, el precio del proyecto es de S/ 5,239.00



## Bibliografía

Nestle

1977 *El café: del cafetal a la taza*

ONG Acción Agraria

2003 *Manual de cultivo de café de calidad en Tambopata e Inambari / Proyecto regional sur café*

Cámara Peruana del Café y Cacao: *Café en el Perú*. (n.d.). Retrieved August 4, 2020, from <https://camcafeperu.com.pe/ES/cafe-peru.php>

Minagri. (n.d.). *El Café Peruano*. Retrieved August 4, 2020, from <http://minagri.gob.pe/portal/485-feria-scaa/10775-el-cafe-peruano>

Sánchez Escalante, J. A. (2015). *Plan de Manejo de Café en el ámbito de En los valles del Rio Apurímac, Ene y Mantaro (VRAEM)*. 68. Retrieved from [http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/c-educacion\\_extension/c30/maejo\\_cafe\\_vraem.pdf](http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/c-educacion_extension/c30/maejo_cafe_vraem.pdf)

Magem, J. B. (2016). *Tecnologías Apropriadas para la Caficultura. Secadores solares*. In *Tecnología para el Desarrollo Humano*.

Luna, C. E. R. (n.d.). *TECNOLOGÍA DEL CAFÉ*. Universidad Nacional Abierta y a Distancia.

Pineda, C., Reyes, C., & Oseguera, A. (2012). *Beneficiado y calidad del café*. *Manual de Caficultura*, 213–241.

Fimar. (2020). *Máquina despulpadora de disco sin agua*. Retrieved August 8, 2020, from <http://www.fimar.co/despulpadora-disco.html>

*Productores de cafés especiales de Villa Rica participarán en Expo Café Perú | Noticias | Agencia Peruana de Noticias Andina*. (n.d.). Retrieved August 8, 2020, from 11/10/2018 website: <https://andina.pe/agencia/noticia->

[productores-cafes-especiales-villa-rica-participaran-expo-cafe-peru-728179.aspx](http://www.coopvillarica.com/VillaRica.html)

Villa Rica Golden Coffe. (2020). Retrieved August 8, 2020, from <http://www.coopvillarica.com/VillaRica.html>

PROMECAFE. (2010). *Guía Técnica para el Beneficiado Bajo un Indicación Geografica o Denominación de Origen*. <https://doi.org/10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004>

Alvarado, J. de D. (2013). *Principios de Ingeniería Aplicados en Alimentos* (2da. ed.).

*Manual para el curso sobre procesamiento de frutas ... - Capacitación teórico-práctica del personal.* (n.d.). Retrieved August 15, 2020, from <http://www.fao.org/3/x5063s/x5063S03.htm>

López, Silvia. (2009). *Desarrollo de un plan de implementación de buenas prácticas de manufactura en una planta procesadora de frutas TESIS*. Quito: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, 2009.

Camacho, G. (2008). *Obtención y conservación de pulpa de frutas*. [En línea] Mayo de 2008. [Citado el: 15 de Agosto de 2020.] <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obpulpfru/p8.htm#9>.

Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros, C. E., & Cadena, G. (2008). *Caracterización De Algunas Propiedades Físicas Y Factores De Conversión Del Café Durante El Proceso De Beneficio Húmedo Tradicional*. *Cenicafé*, 59(2), 120–142. Retrieved from [http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059\(02\)120-142.pdf](http://www.cenicafe.org/es/publications/arc059(02)120-142.pdf)

Carvajal H.J.J., Aristizábal T.I.D. y Oliveros T.C.E. 2012. *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (Coffea arabica L. var. Colombia) durante su desarrollo y maduración*. *Dyna*, 73 (173), 116-124.

Municipalidad Distrital De Villa Rica. (2016). *Municipalidad Distrital De Villa Rica*. 2016. Retrieved from <https://www.universidadperu.com/empresas/municipalidad-villa-rica.php>

Delta Volt. (2020). *Mapa de Radiación de Pasco*. Retrieved August 26, 2020, from <https://deltavolt.pe/phocadownload/Pasco.jpg>

Juárez-Bravo, A., Debernardi-De la Vequia, H., Quevedo-Nolasco, A., Malagón-González, F., & Morales-Ramos, V. . (2018). *CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL FRUTO DE CAFÉ (Coffea arabica L.) EN HÍBRIDOS DE TIMOR*. *Agroproductividad*, 11(3), 115–120. Retrieved from <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/226/169>

HERRERA, C. (2012). *EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL FRUTO DE CAFÉ (Coffea arabica L. var. Colombia) DURANTE SU DESARROLLO Y MADURACIÓN*. Retrieved October 9, 2020, from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25965/39038>

