

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**PROYECTO DE TESIS 2**

**DISEÑO MECÁNICO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA  
EXTRACTORA DE ACEITE DE PALTA DE 50KG/HR DE  
CAPACIDAD PARA EL SECTOR RURAL**

**ALUMNO: JORGE ARTURO DURAND RODRIGUEZ**

**ASESOR: MG. ENG. ROBERTO SUMIYOSHI FURUKAWA  
FUKUDA**

**Lima, Junio del 2016**

## RESUMEN

El presente trabajo presenta el diseño de una máquina extractora de aceite de palta cuya función es extraer aceite de la pepa, pulpa y cáscara de la palta de variedad Hass, al extraer aceite de la palta entera, el rendimiento de aceite aumentará. La máquina ha sido diseñada para el sector rural.

La máquina sembradora ocupa un espacio de 0,74 m de largo por 1,24 de ancho y 1,68 m de alto. La palta será almacenada mediante una tolva de almacenamiento, el sistema de dosificación cuenta con paletas que generarán el paso de 1 palta por segundo para el paso al sistema de trituración. Este sistema se basa en paletas trituradora. Luego el batido formado pasará a un sistema de extracción de aceite mediante un tornillo de potencia.

Utilizaremos 2 motores para el diseño de la máquina, un motor de 3HP para el sistema de trituración y el otro de 1HP. Estos motores son de poca potencia ya que la máquina es un prototipo y está destinada al sector rural. La transmisión será dada por cadenas que estarán protegidas para evitar algún daño a la salud del operador de la máquina.

Se utilizó la metodología del diseño VDI 2221 para el desarrollo de todo el trabajo desde el planeamiento de los conceptos de solución hasta el desarrollo del proyecto definitivo.

En el primer capítulo de la presente tesis se describe las características de la palta y el aceite de palta. El segundo capítulo, denominado “Concepción del diseño”, contiene la elaboración de los conceptos de solución y selección de concepto de solución óptimo. El tercer capítulo comprende los cálculos de los componentes de la máquina y la selección de elementos normalizados.

La memoria del diseño es acompañada de los planos de ensamble y despiece.

Finalmente, se realizará un análisis económico de la fabricación de la máquina en base a precios, proformas realizadas por empresas de metal mecánica de nuestro medio, etc.

Se adjuntará al trabajo, observaciones, conclusiones y anexos utilizados.



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TÍTULO** : **DISEÑO MECÁNICO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALTA DE 50 KG/HR PARA EL SECTOR RURAL.**

**ÁREA** : Diseño # 316

**PROPUESTO POR** : M.Eng. Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda

**ASESOR** : M.Eng. Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda

**TESISTA** : Jorge Arturo Durand Rodriguez

**CÓDIGO** : 20087065

**FECHA** : 07 de Octubre de 2015



**DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS:**

En la actualidad, Perú es uno de los principales exportadores de palta en el mundo, pero no existe una cultura informativa acerca de la palta, el aceite de palta y sus propiedades. La mayoría de consumidores utilizan la palta sólo como hábito alimenticio, pero no están informados acerca de los beneficios estéticos y medicinales. Asimismo, los malos tratos pre-cosecha y pos-cosecha hacen que más del 40% de palta cosechada no sea comercializada (exportada) porque no cumple los requisitos mínimos de calidad.

Por ello, el objetivo de la presente propuesta de tesis es diseñar una máquina que ayude a procesar la palta que no es comercializada por no alcanzar estándares de calidad para exportar en los centros de acopio y transformarla en aceite de palta, un producto altamente proteico y de gran valor comercial, siguiendo la metodología de diseño mecánico correspondiente.

En conclusión, plantearemos una forma de aprovechamiento de ésta palta con el objetivo de obtener un aceite de calidad e implementarla en los centros de acopio (sector rural).



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**

**TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**“DISEÑO MECÁNICO DE UN PROTOTIPO DE MÁQUINA EXTRACTORA DE  
ACEITE DE PALTA DE 50 KG/HR PARA EL SECTOR RURAL”**

Introducción

1. Palta, Aceite de Palta y sus beneficios.
2. Diseño conceptual
3. Ingeniería de Detalle
4. Estimación de la inversión
5. Planos de fabricación

Observaciones y Recomendaciones

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

*Maximo: 100 paginas*

*RM*  
\_\_\_\_\_  
M.Eng. Roberto Sumiyoshi  
Furukawa Fukuda  
Asesor

*[Signature]*

*[Signature]*

## INDICE DE CONTENIDO

### Contenido

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1 .....	4
1. PALTA, ACEITE DE PALTA Y SUS BENEFICIOS.....	4
1.1. PALTA Y SUS CARACTERÍSTICAS .....	4
1.2. VARIEDADES .....	6
1.3. PRODUCCIÓN DE PALTA EN PERÚ .....	8
1.4. VALOR NUTRICIONAL .....	9
1.5. ACEITE DE PALTA .....	10
CAPÍTULO 2 .....	13
2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO .....	13
2.1. ESTADO DE LA TECNOLOGIA .....	14
2.1.1. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALTA.....	14
2.1.2. METODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE .....	18
2.1.2.1. PRENSADO USANDO SOLVENTES .....	18
2.1.2.1.1. VENTAJAS .....	19
2.1.2.1.2. DESVENTAJAS .....	20
2.1.2.2. PRENSADO MECÁNICO .....	20
2.1.2.2.1. VENTAJAS .....	22
2.1.2.2.2. DESVENTAJAS .....	22
2.1.2.3. PRENSADO POR EXTRUSIÓN .....	22
2.1.2.3.1. VENTAJAS .....	24
2.1.2.3.2. DESVENTAJAS .....	25
2.1.2.4. EXTRACCIÓN DE ACEITE POR CENTRIFUGACIÓN .....	25
2.1.2.4.1. VENTAJAS .....	26
2.1.2.4.2. DESVENTAJAS .....	26

2.1.3.	MERCADO ACTUAL.....	26
2.2.	LISTA DE EXIGENCIAS.....	31
2.3.	ESTRUCTURA DE FUNCIONES .....	31
2.3.1.	ENTRADAS .....	34
2.3.2.	SALIDAS.....	34
2.3.3.	SECUENCIA DE PROCESOS TECNOLÓGICOS.....	35
2.3.4.	FIJACIÓN DE LOS PROCESOS TÉCNICOS .....	35
2.4.	MATRIZ MORFOLÓGICA.....	38
2.5.	CONCEPTO SOLUCIÓN.....	40
2.5.1.	CONCEPTO SOLUCIÓN 1 .....	40
2.5.2.	CONCEPTO SOLUCIÓN 2 .....	41
2.5.3.	CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3 .....	42
2.5.4.	EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA.....	43
2.6.	PROYECTO PRELIMINAR.....	46
	CAPÍTULO 3 .....	49
3.	INGENIERÍA DE DETALLE.....	49
3.1.	CONDICIONES DE TRABAJO .....	49
3.1.1.	TEMPERATURA .....	49
3.1.2.	HUMEDAD .....	50
3.1.3.	PRESION DE EXTRACCIÓN.....	50
3.2.	DIMENSIONAMIENTO DE TOLVA.....	51
3.2.1.	PESO .....	51
3.2.2.	NÚMERO DE PASADAS .....	52
3.2.3.	CANTIDAD DE PALTAS A PROCESAR .....	52
3.2.4.	VOLUMEN DE PALTA .....	52
3.2.5.	DENSIDAD DE PALTA .....	53
3.2.6.	CAUDAL .....	53

3.2.7.	VOLUMEN DE TOLVA.....	53
3.2.8.	DIMENSIONAMIENTO FINAL.....	53
3.3.	ANÁLISIS DE LA EXTRUSORA DE TORNILLO DE POTENCIA.....	55
3.3.1.	ANÁLISIS GEOMÉTRICO.....	55
3.3.2.	NÚMERO DE REVOLUCIONES DEL TORNILLO.....	58
3.3.3.	ANÁLISIS DE FLUJO EN UN EXTRUSOR SIMPLE .....	59
3.3.4.	POTENCIA CONSUMIDA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE 69	
3.4.	DISEÑO SISTEMA DE PALETAS .....	70
3.4.1.	ENERGÍA DE ROTURA.....	70
3.4.2.	VELOCIDAD DE GIRO .....	70
3.4.3.	DIMENSIONAMIENTO PREVIO .....	71
3.4.4.	VELOCIDAD DE GIRO .....	71
3.4.4.1.	MASA DE PALETAS .....	71
3.4.4.2.	INERCIA.....	72

## ÍNDICE DE TABLAS



## ÍNDICE DE FIGURAS

## LISTA DE SÍMBOLOS

## INTRODUCCIÓN

Perú, considerado un país rico en recursos naturales, posee una diversidad en flora y fauna debido a los climas y regiones que posee, generando admiración de todos los países del mundo. Dentro de estos recursos, se encuentra la palta. La palta es una planta milenaria cuyo origen se reconoce en América Central y México.

Actualmente es un cultivo en proceso de evolución ya que su fruto ha demostrado poseer valiosas propiedades alimenticias, destacándose su alta concentración de proteínas , aceites insaturados y la ausencia de colesterol.

Perú, actualmente, se ha consolidado como el segundo exportador mundial de palta por detrás de China. A nivel nacional las regiones que concentran un poco más del 45% de superficie cultivada con palta y prácticamente las que abastecen con casi el 100% de palta para exportación se ubican principalmente en la costa siendo Lima, La Libertad e Ica las más destacadas. [MINAGRO]

El procesar aceite de palta constituye hoy en día una de las industrias con mayor crecimiento de la industria agroindustrial pues le brinda un valor agregado que años atrás normalmente constituía un desecho, ya que la palta que no era comercializada por no alcanzar índices aptos para consumo se desechaba con la consecuente contaminación que ello acarreaba; actualmente las máquinas empleadas en esta industria bordean los miles de dólares y por ello desbordan en complejidad, sofisticación y automatismo pues se tratan de grandes industrias dedicadas al rubro.

Actualmente, el grupo SierraExportadora con ayuda de empresas del rubro agroindustrial está ayudando a fomentar el consumo de palta y aceite de palta en el Perú.

Actualmente en el Perú no hay una cultura informativa acerca de la palta, el aceite de palta y sus propiedades. Los malos tratos pre-cosecha y pos-cosecha hacen que más del 40% de palta cosechada no sea comercializada porque no cumple los requisitos mínimos de calidad según NTP 011.018:2005: Paltas. Requisitos. 4ta Edición. [Normas Técnicas Peruanas: Palta]

La justificación de este trabajo es de buscar una solución para el aprovechamiento de la palta que no se comercializa y convertirla en un producto útil y nutritivo como el aceite de palta, de tal manera que se pueda implementar en las zonas rurales y el costo de fabricación sea accesible para los productores agrícolas o pequeñas industrias dedicadas al rubro.

La presente tesis tendrá como objetivo principal el diseño de una máquina extractora de aceite de palta de 50kg por hora de capacidad de entrada, que se implementará para el sector rural ya mencionado.

Esta constará de dos procesos principales que son la trituración de la palta entera mediante paletas y el proceso de extrusión mediante un tornillo de potencia. Para cumplir con el objetivo de esta tesis, se presentan los siguientes objetivos específicos:

- Hacer un listado de las tecnologías existentes para un buen proceso de extracción de aceite de palta que no altere sus propiedades físicas y químicas del producto.
- Realizar visitas a los centros de acopio de palta en los sectores rurales para conocer de cerca el proceso de cultivo, datos agro-técnicos y la tecnología utilizada actualmente. También los datos de los mismos operadores de estas máquinas para buscar una retroalimentación del mejorar el rendimiento del proceso.
- Aplicar la metodología sistemática de diseño para la elaboración del proyecto, Norma VDI 2221.
- Realizar el diseño y la selección de componentes de la máquina en base a los cálculos de ingeniería. (Cálculos estáticos, dinámicos y térmicos).

- Análisis de la máquina utilizando software de simulación.
- Elaboración de planos de ensamble y despiece.
- Presupuesto de la máquina.

## **CAPÍTULO 1**

### **1. PALTA, ACEITE DE PALTA Y SUS BENEFICIOS.**

#### **1.1. PALTA Y SUS CARACTERÍSTICAS**

El palto o aguacate (*Persea americana* Mills) es una especie tropical o subtropical, dependiendo de la variedad. Pertenece a la familia Laurácea y es originaria de México y América Central.

La palta es un producto altamente nutritivo. La forma más común de consumo es en estado fresco, siendo la pulpa la parte comestible del fruto. Es una fruta que se puede preparar en salsas, ensaladas y hasta postres. También se combina en la preparación de diferentes platos y, por sus propiedades nutricionales, apoya en la reducción del colesterol, teniendo la siguiente taxonomía:

- ✓ Familia: Lauráceas.
- ✓ Especie: *Persea Americana*
- ✓ Origen: México, difundándose hacia Sudamérica.
- ✓ Planta: Árbol extremadamente vigoroso (tronco potente con ramificaciones vigorosas), llegando a alturas de 30 metros.
- ✓ Fruto: Baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa. El envero sólo se produce en algunas variedades y la maduración del fruto no tiene lugar hasta que éste se separa del árbol.

- ✓ Órganos fructíferos: ramos mixtos, chifonas y ramilletes de mayo.

Tabla 1.1. Taxonomía Palta Hass

PALTA	
Nombre científico	Persea Americana Millar
Nombre Comercial	Aguacate, Avocado, Aguaco, Ahuaco
Familia	Lauraceae
Variedad de Exportación	Hass
Partida Arancelaria	0804.40.00.00
Otras variedades	Criolla, Hall, Fuerte, Bacón, etc.
Departamentos Productores	Junín, Lima, Moquegua, Ica, Piura
Épocas de siembra	Todo el año
Épocas de cosecha	Noviembre - Diciembre

Fuente: MINAGRO



Figura 1.1. Palta fresca

Fuente: SierraExportadora

## 1.2. VARIEDADES

### ✓ Palta Fuerte

Esta palta es de color verde, proviene de una yema obtenida de un árbol nativo de Atlixo en México y tiene características intermedias entre la raza mexicana y guatemalteca, por lo que se considera un híbrido natural de estas dos razas. Con un peso entre 180 a 400gr. Su largo medio es de 10 a 12cm. Y su ancho de 6 a 7cm. La piel, ligeramente áspera, se separa con facilidad de la carne, variando su contenido de aceite entre 18 a 22%.



Figura 1.2. Palta Fuerte

### ✓ Palta Hass

Es originaria de California. Sus frutos son de forma oval piriforme, con un peso medio de 200 a 300gr. De excelente calidad, piel gruesa y rugosa. Se pela con facilidad y presenta color verde a oscuro violáceo cuando el fruto madura. La pulpa no tiene fibra y su contenido de aceite fluctúa entre 18 y 22%. La semilla es de pequeño, tamaño, forma esférica y adherida a la pulpa. El fruto puede permanecer en el árbol un cierto tiempo después de alcanzar la madurez, sin perder su calidad. El árbol es muy sensible al frío y muy productivo.



Figura 1.3. Palta Hass



✓ Palta Naval

Presenta características intermedias entre la raza mexicana y guatemalteca. Tiene una apariencia piriforme con un peso que bordea de los 300 a 400 gramos. Presenta un cascara de fácil desprendimiento aunque algo áspera al tacto. Los frutos tienen poca fibra y posee una semilla de tamaño mediano. Su contenido de aceite varía entre 18% y 26%. [7]

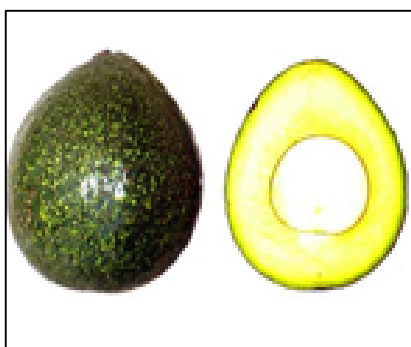


Fig.4 Palta Naval

✓ Palta Ettinger

Se diferencia de las anteriores porque el fruto es de forma oval y alargada, tamaño mediano, piel fina y lisa. Tiene un color verde brillante, la pulpa no tiene fibra y es de muy buena calidad. Israel es uno de los principales países en cosecharla.



Fig.5 Palta Ettinger

### 1.3. PRODUCCIÓN DE PALTA EN PERÚ

Las características del suelo y climáticas de la costa peruana ofrecen excelentes condiciones para la producción de palta Hass. Las modernas técnicas de agricultura presentes en nuestras plantaciones, como el uso de sistemas tecnificados de riego por goteo o micro aspersión y correcto uso de agroquímicos, fertilizantes y maquinarias, permiten a nuestros productores la optimización de recursos hídricos e insumos usados en campo. Se presta especial atención a las Buenas Prácticas Agrícolas, al uso eficiente de los recursos naturales y a la protección del medio ambiente. Los principales productores de palta en el Perú son:



Figura6. Departamentos productores de palta

Fuente:Prohass

El Perú ocupa el séptimo lugar entre los países productores de palta. La producción nacional entre el 2000 y 2006, creció a un ritmo promedio de 5,4% anual, llegando a las 113 798 TM/año y las exportaciones crecen a un ritmo del 39% anual en volumen y 36% en valor entre el 2004 y 2006. (PROMPEX)

Los principales departamentos productores de palta en el Perú son La Libertad con el 27.7%, y le siguen Lima con el 23.1%, Ica con el 13.7%, Junín el 13.3% y Cajamarca con el 1.9%, es decir, estos cinco departamentos producen el 79.6% de la producción

nacional. Los departamentos restantes producen solo el 20.54%. Mayormente el crecimiento se ha producido como cultivo orientado a la agro exportación.

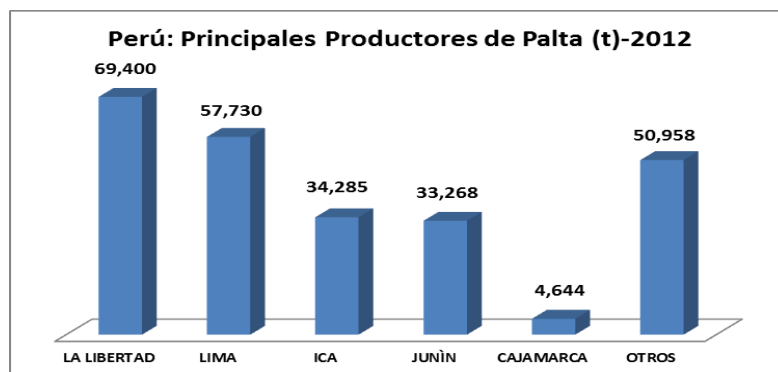


Figura7. Principales Productores de Palta. Fuente: ADEX

#### 1.4. VALOR NUTRICIONAL

La Palta es un fruto de alto valor nutritivo. Contiene todas las vitaminas presentes en el reino vegetal y contribuye a combatir las complicaciones cardiovasculares.

A continuación se mostrará una tabla con los principales valores nutricionales de la palta:

Tabla 1.2. Datos nutricionales de la palta

DATOS DE NUTRICIÓN		
	C/100gr.	unid.
Grasas Saturadas	2.64	g.
Grasas Poliinsaturadas	2.04	g.
Grasas Monoinsaturadas	10.7	g.
Colesterol	0	g.
Proteínas	1.7	g.
Carbohidratos Total	5.9	g.
Fibra Total	3.3	g.
Fibra Soluble	1.3	g.
Fibra Insoluble	2	g.
Vitamina A	85	ug.

Vitamina B1	0.11	mg.
Vitamina B2	0.2	mg.
Vitamina B6	0.45	mg.
Niacina	1.6	mg.
Ácido pantoténico	1	mg.
Vitamina C	14	mg.
Vitamina D	10	mg.
Vitamina E	3	mg.
Vitamina K	8	ug.
Biotina	10	mg.
Ácido fólico	32	ug.
Sodio	4	mg.
Potasio	463	mg.
Calcio	10	mg.
Hierro	1.06	mg.
Magnesio	41	mg.
Manganeso	2.3	mg.
Cobre	0.35	mg.
Fósforo	40	mg.
Azufre	25	mg.

Fuente. AvocadoSource

La palta se utiliza principalmente como complemento de todo tipo de comidas. Tiene una gran importancia a nivel de la industria cosmética y farmacéutica, principalmente por su aceite que es utilizado en la fabricación de jabones y cremas. Las semillas se usan como colorante, con el que se consigue un tono castaño-rojizo. En algunas zonas de América, el fruto se usa para tratar problema del cuero cabelludo e intestinal.

### 1.5. ACEITE DE PALTA

Su contenido lipídico es bajo en ácidos grasos saturados y muy ricos en monoinsaturados; así el 96% corresponde a ácido oleico y el 4% restante son ácidos grasos poliinsaturados, representados casi en su totalidad por ácido linoleico. El aceite de palta o aguacate es un poderoso antioxidante por su contenido de vitamina E, que tiene la propiedad de reducir los riegos coronarios, y de betasistosterol que impide la absorción de colesterol dañino (HDL). A esto se debe su elevado precio en el mercado.



Figura 1.8. Aceite de Palta Fuente: ADEX

En el siguiente cuadro se detallan las características y propiedades del aceite extravirgen de palta:

Tabla 1.3. Ficha técnica aceite de palta

<b>Producto</b>	<b>Aceite de Palta Hass</b>
<b>Presentación</b>	Aceite natural en botella de vidrio verde oscura
<b>Envase</b>	Botellas de 250 mL, 500 mL, tambor 200 L
<b>Unidad venta</b>	Caja de cartón corrugado con 12 botellas
<b>Textura</b>	Oleosa y agradable al paladar
<b>Color</b>	Verde esmeralda
<b>Sabor</b>	Característico de aceite extravirgen con nota a fruta madura.
<b>Duración</b>	18 meses almacenados en el envase original, a temperatura ambiente y protegido de la luz.

Fuente: AvocadoSource

Entre sus principales usos, a parte de los gastronómicos, tenemos:

✓ Usos Gastronómicos

El aceite de palta presenta también características culinarias, especialmente para frituras de alimentos, pues su alto punto de quemado o de humo (en comparación con otros aceites comestibles comerciales) determina que pueda ser usado por mayor tiempo, sin causar daño al organismo.

✓ Productos Cosméticos

En la piel, el aceite de palta ayuda a sanar las heridas con rapidez y a mejorar la apariencia de la piel, manteniéndola humectada actuando contra el envejecimiento. El aceite de aguacate también estimula el cuero cabelludo, sirve para humectar el cabello protegiendo y reparando los cabellos secos y maltratados.

#### ✓ Productos medicinales

El aceite de palta tiene propiedades medicinales beneficiosas para el organismo. Entre las más importantes, tiene la propiedad de controlar el colesterol en la sangre evitando los daños a las arterias.

También es importante la presencia de antioxidantes en este aceite. Estos antioxidantes como la vitamina C, E y el beta-caroteno ayudan a combatir los radicales libres dentro del cuerpo que pueden desarrollar distintas enfermedades que van desde la artritis, enfermedades de los ojos como cataratas y hasta el cáncer. También ayudan a disminuir la presión arterial alta.

## **CAPÍTULO 2**

### **2. CONCEPCIÓN DEL DISEÑO**

Existen numerosos métodos de diseño, variando entre sí por las diferentes aplicaciones a las que se destinan. Es importante hacer notar y aclarar que estos métodos no solo abarcan el tema de los cálculos, diseño y manufactura de la máquina sino también aspectos relacionados a la concepción de exigencias y requisitos que la máquina necesite, es decir también analiza el entorno de la máquina en sí.

Para alcanzar los objetivos trazados en el proyecto, se utilizará el método sistemático de diseño según norma VDI 2221. Este método, permitirá obtener los resultados deseados para satisfacer los objetivos del proyecto. Asimismo, se elaborará la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la fabricación de una máquina extractora de aceite de palta, priorizando en todo el proceso un diseño adecuado de la máquina y la capacidad de adquisición de poblaciones rurales del país.

Las etapas más importantes de este método son:

#### **1. Planeamiento**

En esta etapa se define las necesidades del usuario final y del producto a diseñar, aclaramos preguntas como ¿De qué se trata el problema?, ¿Cuáles son las posibilidades de realización? Y además se estudia el estado de la tecnología. Esta parte concluye cuando se reúne la información suficiente para poder formular una lista de exigencias y deseos del usuario final; tal lista permite poder avanzar a la elaboración del concepto.

## **2. Elaboración del Concepto**

En esta parte debemos poder designar las funciones que nuestra máquina ser capaz de ejecutar, cuando las tengamos definidas buscaremos las soluciones para cada una de estas funciones. Las diferentes soluciones nos llevaran a un Concepto Óptimo, luego de combinar principios tecnológicos con secuencias de operaciones y evaluar estas (combinaciones) en diferentes aspectos, sean económicos y/o técnicos.

## **3. Elaboración del Proyecto**

Esta parte tiene como punto inicial a la solución óptima, la cual debe terminar en un proyecto definitivo. Básicamente es asignar las posibles dimensiones, respetando las exigencias y restricciones del planeamiento, además de determinar el material considerando los esfuerzos y deformaciones a las que trabajará. También se consideran los distintos procesos de fabricación por los que podría pasar la máquina; por último debemos poder representar el proyecto preliminar y optimizarlo dándole dimensiones y características definitivas.

## **4. Elaboración de detalles**

En esta etapa encontramos los puntos definitivos que llevará al trabajo final. Aquí se completaran los cálculos, asignaremos las dimensiones y forma definitiva, materiales, tolerancias, acabados superficiales y se elaboraran los documentos necesarios para su fabricación, estos documentos pueden ser referidos al montaje, planos de ensamble, sub-ensamble, despiece e información complementaria.

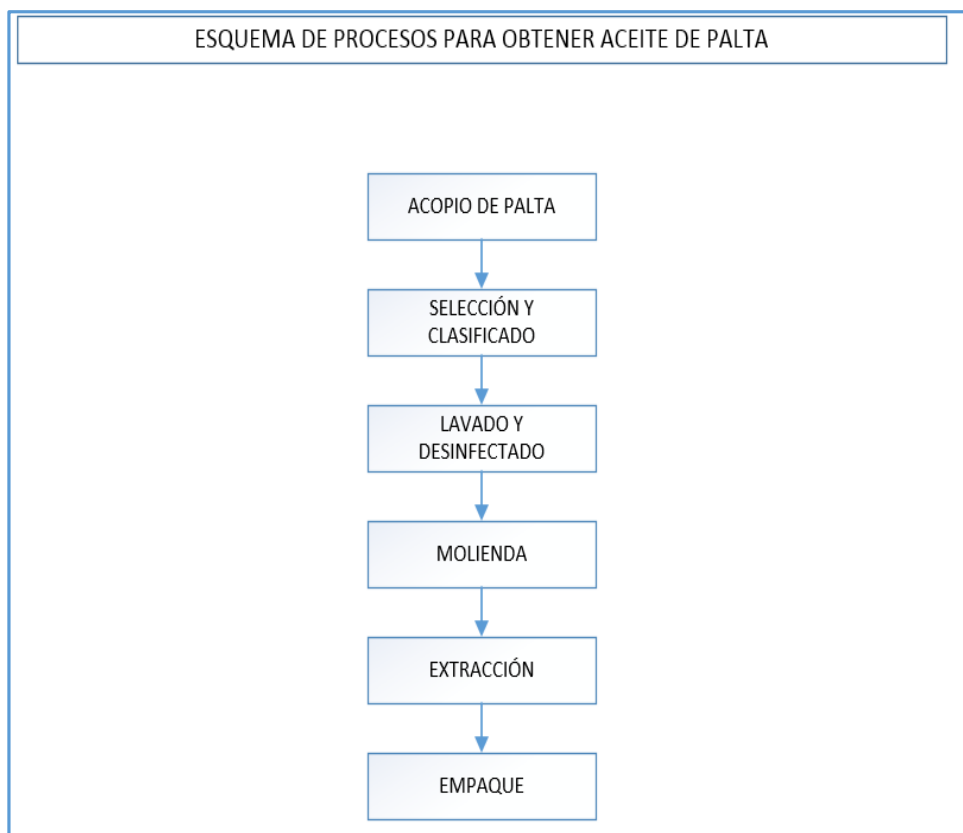
### **2.1. ESTADO DE LA TECNOLOGIA**

#### **2.1.1. PRODUCCIÓN DE ACEITE DE PALTA**

La palta como fruto pasa por toda una serie de procesos antes de la extracción de aceite, el acondicionamiento previo es fundamental para que el proceso de extracción se de en las mejores condiciones posibles, los principales procesos son presentados en el siguiente esquema (Esquema 2.1)

Esquema 2.1. Procesos para la extracción de aceite de palta.





Fuente: Elaboración Propia

✓ Acopio de palta

En esta primera etapa se selecciona la palta en la chacra y se lleva al proceso de selección de manera eficiente. Este proceso es importante ya que se tiene un estricto control sobre la materia prima para que no sufra cambios en sus propiedades.

La Materia Prima se deposita en envases plásticos o jabs para ir a la línea de selección. Éste proceso es en la mayoría de casos manual.



Figura 2.1. Acopio de palta en jabas

Fuente: CAMPOSOL SAC

✓ Selección y clasificado

La materia prima es sometida a una selección donde se separan los frutos que no reúnen los requisitos para consumo humano. Estos requisitos son variables y dependen del mercado al cual llegará nuestro producto terminado. Mayormente esta inspección es visual y tiene como parámetros: Color, olor, textura.

En la clasificación, se clasifica la fruta que pasó satisfactoriamente el proceso de selección por tamaño, diámetro, peso, según los calibres que maneje el productor.

✓ Lavado y Desinfección

El proceso de lavado no se realiza normalmente en el mercado nacional, para mercados más especializados y de exportación, el lavado y la desinfección del producto es un proceso importante para una mejor presentación del producto. El proceso consiste en limpiar el aguacate, quitándole los residuos fungicidas, insecticidas y suciedades que trae la materia prima desde el lugar de cosecha.

En el mercado existen diferentes tipos de máquinas que cumplen la función de lavar y desinfectar palta.

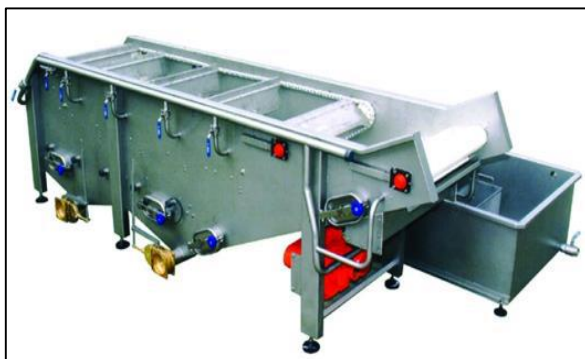


Figura 2.2. Máquina lavadora de Palta

Fuente: SORMAC

### Datos Técnicos:

Principio: Empuje mediante corriente de agua en combinación con el sistema compartimental de paletas de velocidad variable.

Accionamiento: Cadenas de plástico

Capacidad: Depende de tiempo de residencia deseado

Dimensión: 3000 x 1100 x 1600mm

Peso: 1500kg

Potencia: 5.74 kW

### ✓ Molienda

Este proceso no es común en el proceso de producción de palta, ya que muchas veces se le quita la cáscara y la pepa de la palta antes del proceso de extracción de aceite. El proceso consiste en acondicionar la palta entera, triturándola para hacer que el proceso de extracción de aceite sea de una mayor eficiencia.

Además que la pepa y la cáscara contienen aceite en su interior haciendo que la producción aumente.

Las tecnologías en este proceso de triturado son varias: Tambor, paletas, trituradora de martillos, etc.



Figura 2.3. Trituradora de Palta

Fuente: INGEMAQ

### **2.1.2. METODOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE**

Los métodos de extracción de aceite de palta se vienen estudiando hace 20 años, debido al auge económico que el aceite implica, se han estudiado tres casos que son los más comunes para obtener dicho aceite, teniendo grandes rendimientos de aceite en su proceso. A continuación se mostrarán los diferentes tipos de extracción de aceite con sus respectivas ventajas y desventajas.

#### **2.1.2.1 PRENSADO USANDO SOLVENTES**

La extracción usando solventes se puede definir como la acción de separar usando un agente externo una fracción específica de una muestra de materia prima, dejando las dos fases separadas, lo más integrales posibles.

Este proceso es altamente eficiente y se aplica para la obtención de principios activos de los tejidos vegetales, como es el aceite.[] Esto implica gran cantidad y mucha manipulación de solvente a parte de la atención de mano de obra especializada que se requiere para el buen trato del proceso.

El equipo utilizado principalmente para éste proceso es el extractor Soxhlet y los pasos son los siguientes:

- Colocación del solvente (hexano) en un balón
- Ebullición del solvente que se evapora hasta un condensador a reflujo
- El condensado cae sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior
- Ascenso del nivel del solvente cubriendo el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el solvente con el material extraído al balón
- Se vuelve a producir este proceso la cantidad de veces necesarias para que la muestra (torta) quede agotada. Lo extraído se va concentrando en el balón del solvente.

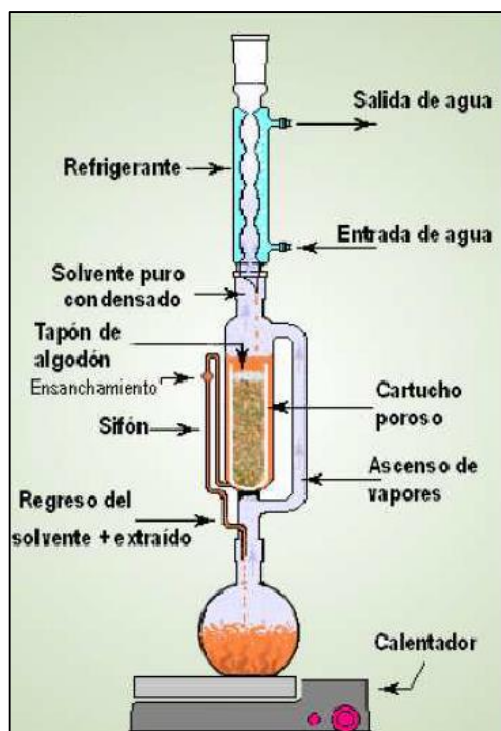


Figura 2.4. Extracción de aceite usando solventes químicos

Fuente: AvocadoSource

#### 2.1.2.1.1. VENTAJAS

- ✓ La ventaja de este proceso es su alto rendimiento de aceite ya que al ser atacado químicamente, la cantidad extraída de la muestra es demasiado pequeña pero a su vez el residuo del primer ataque es usado para el segundo ataque con solvente haciendo que la eficiencia de éste proceso aumente.

#### **2.1.2.1.2. DESVENTAJAS**

- ✓ En este proceso se requiere obligatoriamente un tratamiento previo de materia prima el cual se debe triturar hasta un tamaño determinado, y luego calentar éste proceso previo con vapores a altas temperaturas, haciendo que la mano de obra directa pueda afectarse.
- ✓ Este proceso es costoso y la mano de obra debe ser capacitada y especializada.
- ✓ Este proceso no es continuo ya que luego del proceso de extracción por solvente, se requiere del reposo de la materia procesada para que pueda ser manipulable.

#### **2.1.2.2. PRENSADO MECÁNICO**

Este proceso consiste en someter la palta, tanto la pulpa como el hueso a grandes presiones (Ver Figura 2.5 y Figura 2.6) los cuales se encargaran de separar el aceite de la torta, estas grandes presiones originan compresión, haciendo que el líquido escape por los costados de la superficie de compresión y el sólido o torta se retenga entre las superficies de compresión.

Este método de extracción es bastante común ya que al o utilizar solventes químicos o algún medio externo, hacen que la extracción mecánica sea controlada en todo momento del proceso, haciendo que las propiedades del aceite no se alteren, conservando sus beneficiosas propiedades.

El control de este proceso se manifiesta mediante el parámetro de la temperatura, es necesario mantener la temperatura del proceso entre 30 y 65°C, ya que una temperatura mayor acelera el proceso oxidativo de la materia prima, provocando su deterioro. [AvocadoSource, condiciones de trabajo].



Figura 2.5. Prensado mecánico de forma manual

Fuente: Laboratorio ACGER

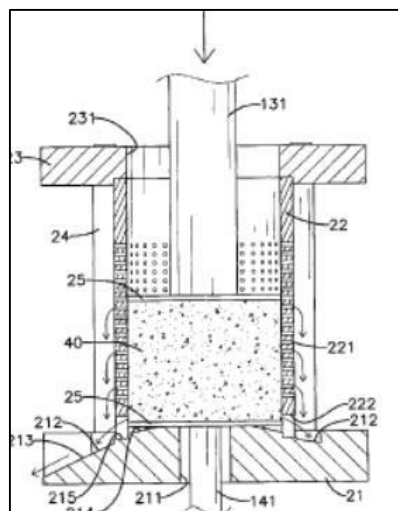


Figura 2.6. Proceso de prensado en frío

Fuente: Pressing Cold Patent

Como se ve en la Fig.6 las prensas hidráulicas más comunes tienen como partes principales, los cilindros y los filtros de separación, el aceite sale por las paredes laterales quedando la torta entre las superficies de compactación.

#### **2.1.2.2.1. VENTAJAS**

- ✓ El rendimiento de estas máquinas varían entre 80 a 90% dependiendo del tipo de Palta.
- ✓ Las máquinas no requieren de mucha tecnología para su funcionamiento, por esta razón el costo de fabricación de las máquinas tipo prensa es relativamente menor a las máquinas con otro método de extracción.
- ✓ Debido a que estas máquinas poseen una estructura simple y un costo bajo de fabricación, el mantenimiento de la máquina también tiene un costo menor.

#### **2.1.2.2.2 DESVENTAJAS**

- ✓ Como este proceso no es continuo, se limita bastante en los tiempos de producción, ya que este éste proceso es interrumpido frecuentemente por abastecimiento de materia prima en el cilindro, el desmontaje de piezas también influye en el tiempo de producción de éste proceso.
- ✓ La productividad de éste proceso se ve limitada al de la fuerza humana.
- ✓ El desgaste de piezas es mayor ya que el contacto con las piezas en este proceso es mayor.

#### **2.1.2.3 PRENSADO POR EXTRUSIÓN**

Este proceso es continuo, y genera altas presiones con las cuales se obtiene aceite en un solo paso y son destinadas para diferentes tipos de frutos.

EL sistema es basado en un tornillo de potencia que sirve como transporte de la pulpa de palta mientras la tritura y prensa, esto hace que se desprenda el aceite contenido dentro de la pulpa. El tornillo de potencia es el elemento fundamental en éste proceso ya que su movimiento rotatorio recoge semillas de la tolva de alimentación y las traslada hacia la restricción o dado extrusor, una vez que la materia prima tenga contacto con el dado, se empezará a acumular la materia prima aumentando la presión a lo largo del tornillo de potencia, produciéndose el prensado.

La presión generada para la extracción es un dato necesario para el diseño de este tipo de prensas expeller, y que con el dato de la presión se puede calcular las dimensiones del tornillo de potencia que generen una adecuada presión a lo largo del sistema de extracción de aceite.



En la actualidad existen dos tipos de prensa extrusora: Extrusora tipo tornillo – cilindro hueco y extrusora tipo tornillo – placa.

✓ Tipo tornillo - placa

La extrusora tipo tornillo – placa o tornillo – barril es una extractora de aceite que permite separar el aceite de la torta mediante un barril que tiene placas con un mínimo de separación haciendo que solo el aceite caiga por estas aberturas.



Figura 2.7. Extrusora tipo tornillo – placa Fuente: MAQUINAGRO



Figura 2.8. Vista de las placas de la extrusora Fuente: MAQUINAGRO

✓ Tipo tornillo – cilindro agujereado

La extrusora tipo tornillo – cilindro agujereado es la más conocida comercialmente, su diseño se basa en el tornillo de potencia que al girar arrastra y comprime la pulpa de palta de tal forma que al momento de la separación del aceite y la torta se filtra por el cilindro agujereado diseñado estratégicamente para que solo caiga aceite por los agujeros (ver Figura 2.9 y Figura 2.10).

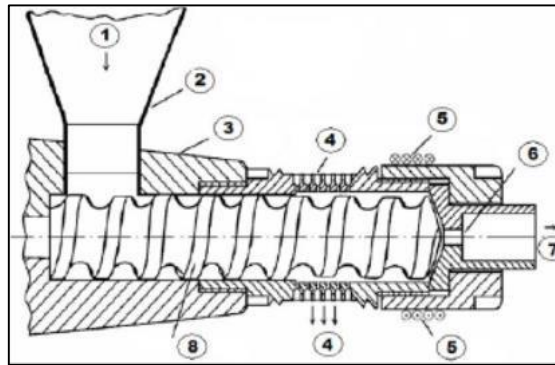


Figura 2.9. Esquema de extrusora tipo tornillo – cilindro agujereado

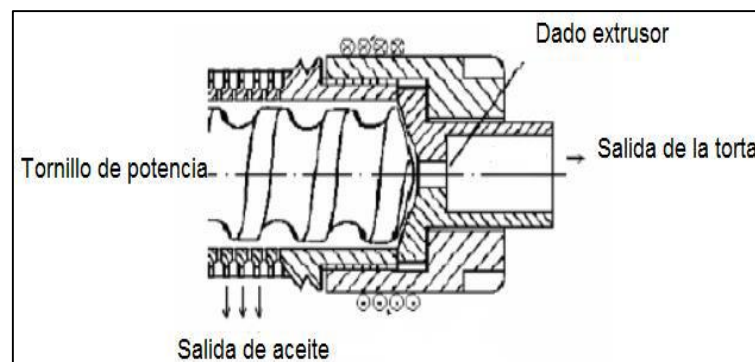


Figura 2.10. Detalle parte dado extrusor

#### 2.1.2.3.2 VENTAJAS

- ✓ La producción del proceso es alta ya que el proceso es continuo, es decir con buenas condiciones de trabajo, estas máquinas pueden trabajar ininterrumpidamente ya que no se tiene que desmontar ninguna de las partes de la máquina para el abastecimiento de materia prima.
- ✓ El rendimiento de extracción de aceite es alto, aproximadamente 95% con buenos tratos de materia prima, haciendo que éste proceso sea el más común en la industria de la extracción de aceite vegetal.
- ✓ En este proceso se mejora la separación del aceite y la torta de palta.
- ✓ Estas máquinas son de fácil fabricación y mantenimiento, pero los costos son relativamente mayores a los del prensado mecánico.
- ✓ Como es un proceso continuo, el costo de mano de obra disminuye.

### 2.1.2.3.3 DESVENTAJAS

- ✓ El proceso continuo requiere una cantidad de energía mayor que los procesos discontinuos, al requerir mayor energía para extraer aceite, se requiere el uso de motores de mayor potencia.
- ✓ El costo de fabricación de esta máquina es mayor que la de prensado mecánico

### 2.1.2.4 EXTRACCIÓN DE ACEITE POR CENTRIFUGACIÓN

La centrifugación para la extracción de aceite es un proceso que en estos últimos años se ha estado estudiando a detalle para competir con los anteriores métodos ya mostrados. Se utiliza la fuerza centrífuga recurriendo a máquinas que giran a grandes velocidades. Por efecto de la velocidad, bajo el concepto de la aceleración y mediante la adición de agua, el aceite se separa y con la misma fuerza centrífuga se evacua los desechos sólidos o torta para garantizar que el sistema sea continuo y eficiente. (Ver Figura 2.11)

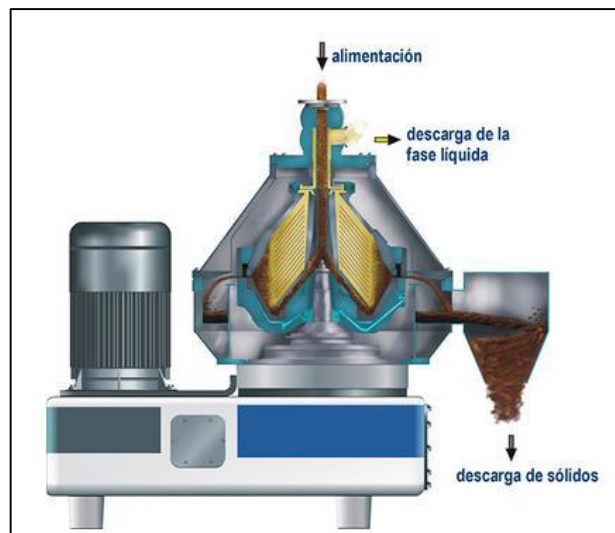


Figura 2.11. Centrífuga vertical

Fuente: AvocadoSource

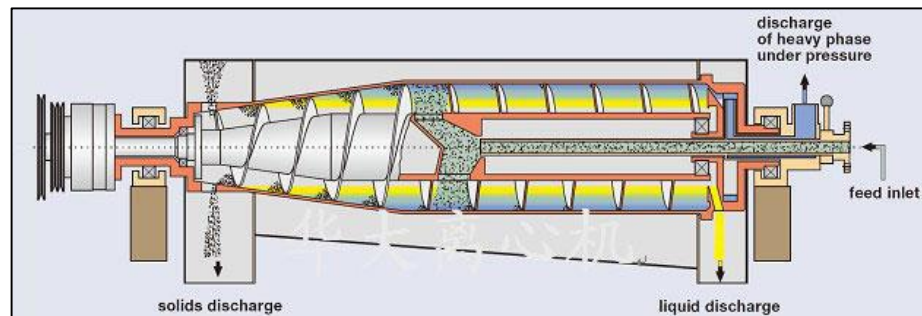


Figura 2.12. Centrífuga Horizontal

Fuente: AvocadoSource

#### 2.1.2.4.2 VENTAJAS

- ✓ Proceso continuo mejorando la higiene del proceso.
- ✓ Reducidas necesidades de mano de obra.
- ✓ Los rendimientos de aceite son mayores a los procesos de extrusión.
- ✓ La acidez del aceite disminuye.

#### 2.1.2.4.3 DESVENTAJAS

- ✓ Alto costo de inversión.
- ✓ Alto consumo eléctrico.
- ✓ Como se trabaja a grandes velocidades, las propiedades químicas del aceite obtenido cambian.

### 2.1.3 MERCADO ACTUAL

- ✓ DELANI SAC.

Es una empresa ubicada en los Estados Unidos, el cual provee a los mercados de América Latina y Europa. La máquina que ellos venden para la extracción de aceite es el modelo D6YL-120 procesa una cantidad de 250 kg/h, consume 11 kW de energía, tiene un peso de 700 kg y sus medidas son de 2060 x 610 x 770 mm.



Figura 2.13. Máquinas DELANI

Fuente: Delani.com

DELANI se caracteriza por trabajar con el sistema de presión por extrusión, para diferentes condiciones de rendimiento y capacidades. Su sistema de separación es con placas y su diseño hace que sean máquinas eficientes.

#### ✓ FLOTTWEG

Flottweg desarrolla y fabrica centrífugas Decanter y Tricanter para la separación de aceite de palta. Se usa una trituradora para la fabricación de la masa resultante antes de la separación en el tricanter. Son para grandes producciones 600-800kg/h consumiendo potencias de 50 KW.

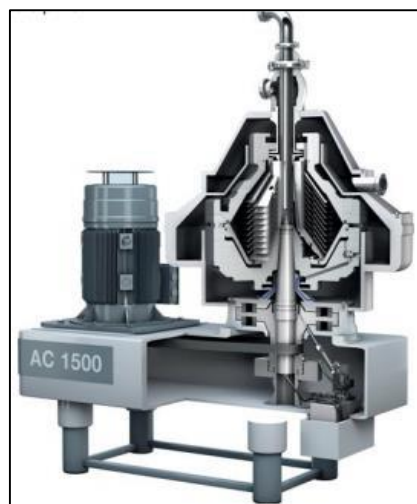


Figura 2.14. Decanters FLOTTWEG

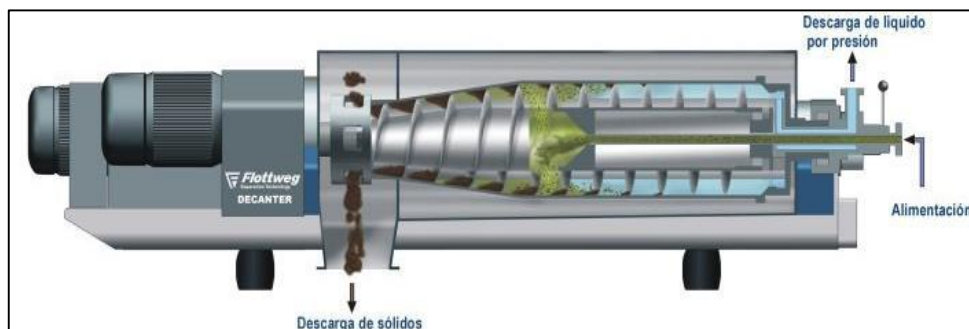


Figura 2.15. Separadores FLOTTWEG

El principio básico de las centrífugas con tambor macizo y tornillo sin fin se conoce desde el siglo XIX. Desde entonces se han seguido introduciendo mejoras en la maquinaria mediante la construcción de nuevos detalles para solucionar procesos especiales de separación y, también, mediante el uso de materiales de construcción modernos, altamente resistentes y durables. La utilización, en especial, de componentes electrónicos para la tecnología de medición y control ha permitido incrementar la capacidad de rendimiento y disponibilidad de los decantadores centrífugos. La sencilla estructura de base de un decantador hace posible su adaptación a los distintos procesos de separación. Los decantadores se pueden utilizar, además, en multitud de aplicaciones. Por otra parte, las versiones especiales, tales como el Tricanter (separación en tres fases), el Sorticanter (reciclaje y tratamiento de plásticos) y el Sedicanter (para sedimentos pesados) permiten dar respuesta a las exigencias particulares de cada cliente, lo que hace del decantador la máquina centrifugadora más versátil. [Catálogos FLOTTWEG]

#### ✓ PRENSAS DE ACEITE KOMET

Las prensas de aceite Komet se distinguen por su método de prensado en frío. El sistema utilizado es por tornillo sin fin acaracolado, en lugar de utilizar los habituales métodos de tornillos de compresión. Mencionable de las prensas de aceite y prensas filtro es su extraordinaria adaptabilidad a todo tipo de frutos sin tener que cambiar significativamente la dotación estándar de la misma.

Las Prensas Komet son sencillas en cuanto a su mantenimiento, garantizando así la posibilidad de efectuar cambios rápidos de frutos en caso de necesidad. Interesante

también es el residuo obtenido en forma de “Pellet” (torta) una vez extraído el aceite. Destaca por su fácil almacenado y transporte, y en muchos casos utilizable en alimentación humana o para el ganado.

Al utilizar una tecnología con un método de extracción a muy baja temperatura, se aseguran así las cualidades organolépticas de los aceites producidos que, dependiendo de la materia prima utilizada, pueden ser usadas directamente como aceites de mesa.

- Prensa de Aceite DD85G



Figura 2.16. Prensa KOMET

Tabla 2.1. Datos Técnicos Prensa KOMET DD85G

Capacidad en [kg/Hora] entrada de material (Dependiendo de Forma/Peso del Material a Prensar)	20 - 50
Potencia eléctrica en [kW]	3,0
Peso en [kg] (neto solo Peso de la máquina)	325
Dimensiones en [mm]	
Largo	1080
Ancho	800
Alto	600

Fuente: Catálogos KOMET

- Prensa de Aceite S120F

Tabla 2.2. Datos Técnicos Prensa KOMET S120F

Capacidad en [kg/Hora] entrada de material (Dependiendo de Forma/Peso del Material a Prensar)	50 - 100
Potencia eléctrica en [kW]	7,5
Peso en [kg] (neto solo Peso de la máquina)	440
Dimensiones en [mm] Largo Ancho Alto	1670 825 1320

Fuente: Catálogos KOMET

## ✓ PRENSAS IBG

Estas prensas para aceite de pequeña escala de tipo tornillo son máquinas avanzadas para el procesamiento del aceite.



Figura 2.17. Prensas IBG

Tabla 2.3. Datos Técnicos Prensas IBG

Modelo	Capacidad	Potencia	Peso neto	Medidas externas
D6YL-68	50kg/h	5.5kw	140kg	920*490*780mm



D6YL-80	100kg/h	5.5kw	330kg	1320*540*1020mm
D6YL-95	150-200kg/h	7.5-11kw	620 kg	1620*630*1260mm
D6YL-100	200kg/h	7.5kw	80 kg	41640*640*1200mm
D6YL-120	250kg/h	11kw	650 kg	1820*630*1300mm
DZX105	200-300kg/h	11kw	520 kg	1870*640*1200mm
DZX130	400-500kg/h	18.5kw	820 kg	1930*680*1480mm

Fuente: Catálogos IBG

Este tipo de prensa está diseñada para todo tipo de capacidad, el formato de proceso es un tornillo de potencia extrusor que arrastra el material hacia la restricción. El problema es que no tiene un sistema de control de temperatura haciendo que las propiedades del aceite cambien [Catálogos IBG]

## 2.2 LISTA DE EXIGENCIAS

La siguiente tabla 3.1 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, etc.

## 2.3 ESTRUCTURA DE FUNCIONES



Esquema 2.2. Caja Negra de Máquina Extractora de Aceite

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 2.4. Lista de Exigencias de la Máquina

Fuente: Elaboración Propia

LISTAS DE EXIGENCIAS			Página 1 de 2
			Edición: Rev. 1.
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALTA		Fecha: 21/11/2014
			Revisado: R S F
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado:
			J.A.D.R.
Fecha	Deseo o Exigencia	Descripción	Responsable
21/11/14	E	<b>Función Principal:</b>	J.A.D.R.
		Extraer el aceite de la Palta de buena calidad.	
		El flujo de procesamiento será de 50kg/h.	
21/11/14	E	<b>Materia:</b> La materia prima que procese la máquina será palta Peruana, variedad Hass.	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Función:</b> En el proceso de extracción no se deberá sobrepasar de 65°C de temperatura, de lo contrario será perjudicial para las propiedades nutricionales del aceite.	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Seguridad:</b> Se diseñara la máquina de tal forma que no atente contra la integridad física del operario, y que no contamine el medio ambiente.	J.A.D.R.
21/11/14	E	<b>Geometría:</b> Las dimensiones de la máquina deberán ser lo más compactas posibles.	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Energía:</b> La máquina será alimentada por energía eléctrica monofásica. Características del lugar	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Fabricación:</b> La máquina deberá poder ser fabricada en un taller de manufactura y los materiales a utilizar deberán existir en el mercado local. Debido a que se procesara un producto alimenticio se usara acero inoxidable 304L.	J.A.D.R

LISTAS DE EXIGENCIAS			Página 2 de 2
			Edición: Rev. 1.
PROYECTO:	DISEÑO DE UNA EXTRACTORA DE ACEITE DE PALTA		Fecha: 27/04/2014
			Revisado: R S F
CLIENTE:	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado:
			C.C.C/E.M.E
21/11/14	E	<b>Montaje:</b> La máquina deberá poder trabajar en diferentes lugares, por lo cual debe ser de fácil montaje e instalación, así como desmontaje y desinstalación.	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Control de calidad:</b> El aceite extraído por la máquina deberá ser apto para el consumo humano.	J.A.D.R
21/11/14	E	<b>Fuerzas:</b> La máquina deberá ejercer una presión que garantice que las pulpas de las paltas segreguen el aceite.	J.A.D.R
21/11/14	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 él.	J.A.D.R
21/11/14	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.A.D.R
21/11/14	E	<b>Señales:</b> La máquina deberá contar con una correcta señalización de fácil entendimiento para el operario.	J.A.D.R
21/11/14	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.A.D.R
21/11/14	E	<b>Seguridad:</b> La máquina deberá contar con un dispositivo de	J.A.D.R

		parada de emergencia, para resguardar la seguridad del operario o de la misma máquina.	
21/11/14	D	<b>Transporte:</b> El diseño de la máquina deberá ser adecuado para un fácil transporte.	J.A.D.R

### 2.3.2 ENTRADAS

- Señales
  - Señal visual de abastecimiento de pulpa de palta
  - Señal visual y/o sonora del funcionamiento de la máquina
- Energía
  - Energía mecánica para el abastecimiento de la pulpa
  - Energía eléctrica para la alimentación de la máquina
  - Energía mecánica para accionar los controladores (prendido/apagado) de la máquina.
- Material
  - Palta
  - Lubricante para las partes de la máquina que estén sometidas a desgaste

### 2.3.3 SALIDAS

- Señales
  - Señal visual de aceite extraído
  - Señal visual de residuo sólido (torta) expulsado
  - Señal visual de correcto trabajo de la máquina
  - Señal visual y/o sonora de apagado de la máquina
- Energía
  - Energía perdida en forma de ruido
  - Energía perdida en forma de calor por el mecanismo de fricción
  - Energía expresada mediante vibraciones

- Material
  - Aceite de Palta
  - Impurezas (filtradas del aceite)
  - Residuos sólidos (torta)

#### **2.3.4 SECUENCIA DE PROCESOS TECNOLÓGICOS**

- a. Encendido de la máquina extractora
- b. Suministro de la energía necesaria a la máquina para su funcionamiento.
- c. Transmisión de energía a los elementos de la máquina extractora
- d. Alimentación continua de palta mediante una tolva.
- e. Traslado de la pulpa de palta hacia el sistema de extracción.
- f. Prensado de la pulpa de palta a temperatura controlada.
- g. Salida de aceite de aceite para ser centrifugado
- h. Filtrado de aceite de palta por medio de una rejilla o tamiz.
- i. Repetir los pasos del **d a i**

#### **2.3.5 FIJACIÓN DE LOS PROCESOS TÉCNICOS**

##### **✓ Preparación**

- Revisar que la tensión de alimentación de la máquina sea la adecuada.
- Revisar que los elementos sometidos a desgaste estén debidamente lubricados.
- Revisar que el mecanismo de transmisión se encuentre en buen estado (ej.: ajustes de correas, poleas).
- Revisar que los elementos del mecanismo de extracción se encuentren en buen estado.
- Revisar que los mecanismos de seguridad se encuentren operativos.

##### **✓ Ejecución**

- Encendido de la máquina.
- Alimentación de pulpa de palta.
- Transmisión de potencia mecánica del elemento motor al elemento motriz de la máquina.
- Transporte de pulpa de palta al mecanismo de extracción.

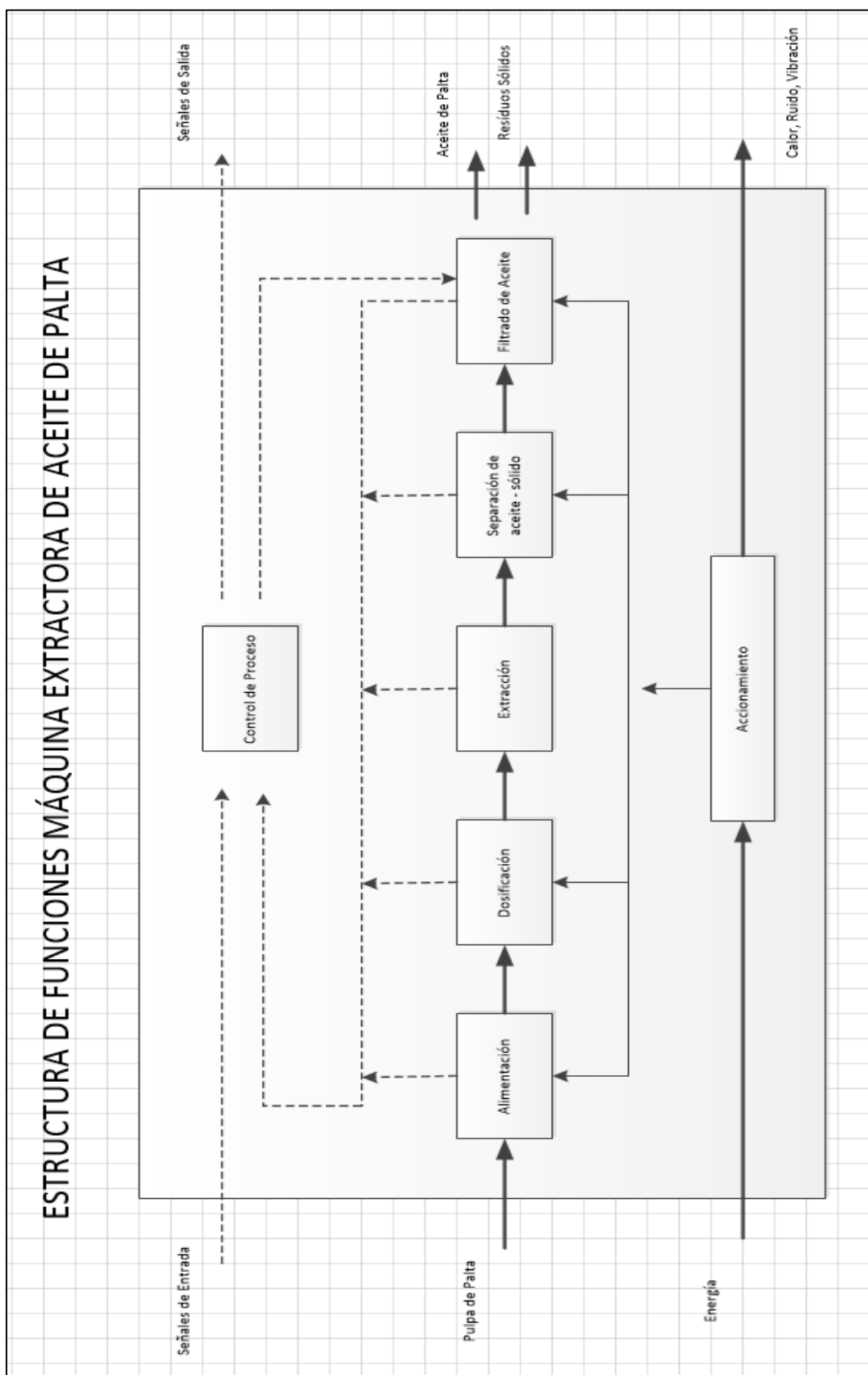
- Transmisión de fuerza mecánica en forma de presión al mecanismo de extracción.
- Separación de aceite y residuo sólido (torta).
- Almacenamiento de aceite y residuo sólido.
- Apagado de la máquina.

✓ **Control**

- Controlar una adecuada alimentación para prevenir bloqueos.
- Controlar que el aceite extraído esté libre de impurezas, en la medida de lo posible.
- Controlar que la presión de trabajo sea la adecuada.
- Controlar la velocidad de procesamiento de la palta.
- Controlar la parada de emergencia en caso que existiera.
- Controlar el proceso de inicio a fin.

✓ **Fase Final**

- Salida de aceite extraído, y residuo sólido expulsado de la máquina.
- Almacenamiento de aceite y residuo sólido.
- Apagado de la máquina.
- Limpieza de la máquina.



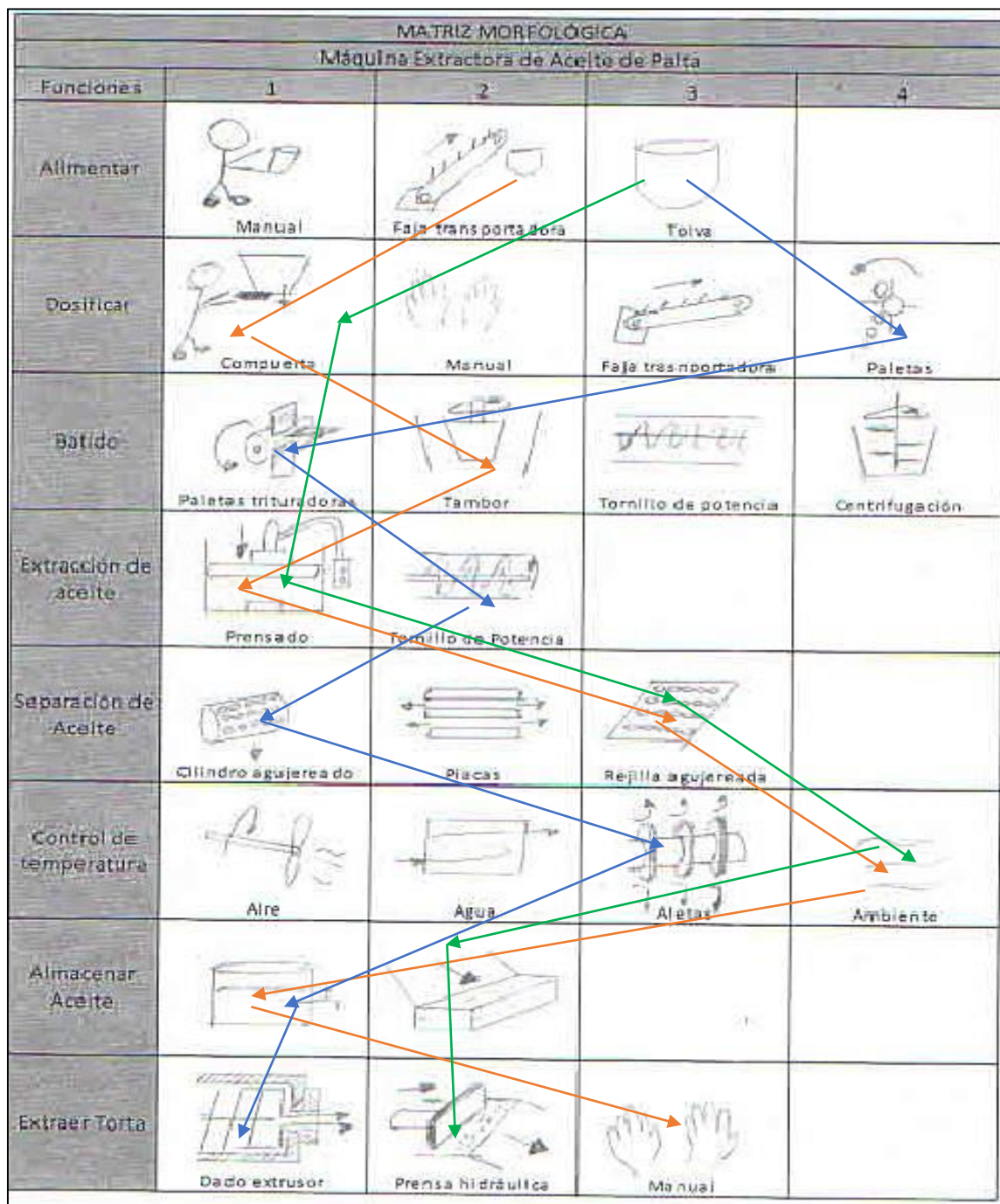
Esquema 2.3. Estructura de Funciones Máquina Extractora de Aceite

## **2.4 MATRIZ MORFOLÓGICA**

La matriz morfológica de la extractora de aceite se basa en 5 procesos principales

- ✓ Alimentar: Alimentar la materia prima.
- ✓ Dosificar: El proceso para el paso eficiente desde la tolva al sistema de batido.
- ✓ Batido: Proceso en el cual trituraremos la materia prima para una mejor extracción de aceite.
- ✓ Extracción: Extracción de aceite con las tecnologías mencionadas anteriormente.
- ✓ Separación de aceite: Métodos para separar el aceite hacia depósitos.
- ✓ Refrigerar: Métodos de refrigeración para conservar las propiedades de la palta.
- ✓ Almacenar aceite: Métodos para un buen almacenamiento de aceite.
- ✓ Extraer torta: Métodos para extraer eficientemente la torta de manera que el aceite no se contamine.





Esquema 2.4. Matriz Morfológica de la máquina

Fuente: Elaboración Propia

Solución 1

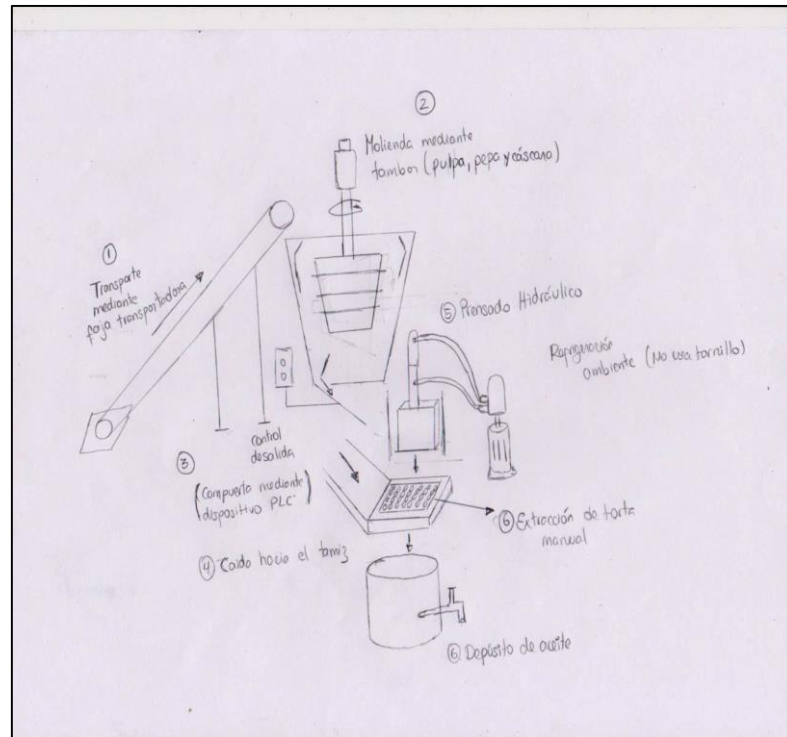
Solución 2

Solución 3



## 2.5 CONCEPTO SOLUCIÓN

### 2.5.2 CONCEPTO SOLUCIÓN 1



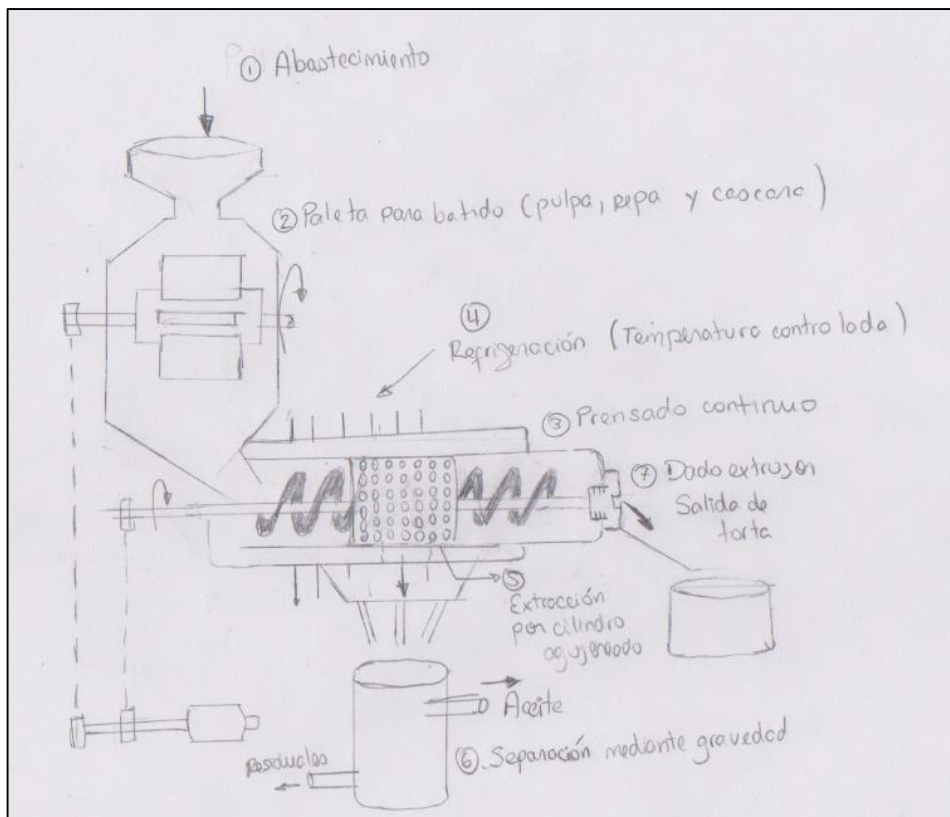
Esquema 2.5. Concepto Solución 1

Como se ve en la figura este concepto tendría las siguientes fases

- 1) Transporte de materia prima (pulpa, pepa y cáscara) por medio de una faja transportadora hacia el sistema de molienda.
- 2) El sistema de molienda de este concepto está basado en un tambor giratorio que triturará la materia prima de tal manera que la convierta en pasta de palta para la fácil extracción de aceite.
- 3) Luego pasaría por un sistema de control PLC por que el sistema de extracción no es continuo, este sistema PLC abre o cierra una compuerta cada vez que necesitemos abastecimiento de pasta de palta.
- 4) Caída de pasta de palta hacia el tamiz para el prensado hidráulico.
- 5) Una prensa hidráulica compacta la pasta de palta haciendo que se extraiga aceite hacia depósito con caño.

- 6) En el tamiz quedaría torta de palta que sería removida manualmente para que luego terminado el proceso abrir compuerta para nuevo abastecimiento.

### 2.5.3 CONCEPTO SOLUCIÓN 2



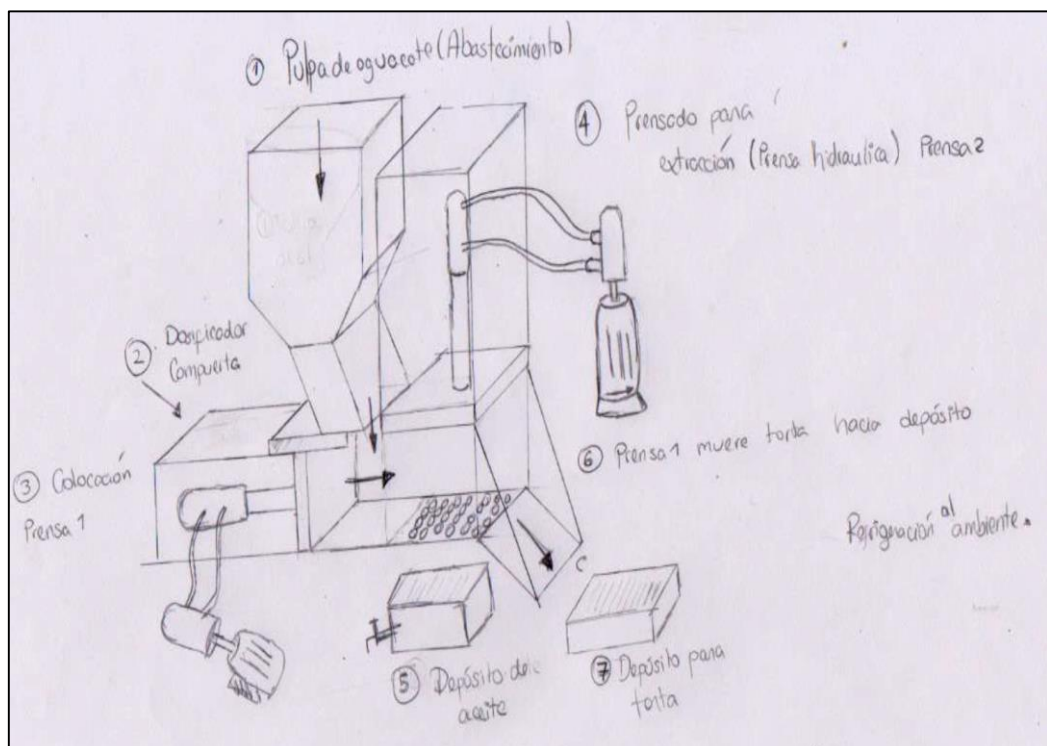
Esquema 2.6. Concepto Solución 2

Como se ve en la figura, este concepto tendría las siguientes fases:

- 1) Abastecimiento manual por medio de una tolva.
- 2) Un sistema de batido basado en aletas que al girar trituran la materia prima.
- 3) Prensado continuo generado por un tornillo expeler.
- 4) Un sistema de refrigeración ya que el tornillo al comportarse como un intercambiador de calor, la temperatura de trabajo aumentará, dañando las propiedades del aceite de la palta.
- 5) La extracción del aceite se da por medio de un cilindro con agujeros hacia un depósito.

- 6) Este proceso hará que aparte de filtrarse aceite se filtrara sólidos y agua (residuales) por lo que el depósito será diseñado de tal manera que el aceite pueda separarse por densidad.
- 7) Por el dado extrusor se dará la salida de torta hacia un depósito para su posterior aprovechamiento.

#### 2.5.4 CONCEPTO DE SOLUCIÓN 3



Esquema 2.7. Concepto Solución 3

Como se ve en la figura, este concepto tendrá las siguientes fases:

- 1) Abastecimiento de pulpa de aguacate mediante una tolva.
- 2) De agente dosificador actuará una compuerta activada manualmente.
- 3) Usaremos el movimiento de la Prensa 1 para transportar la pulpa hacia el tamiz agujereado.
- 4) Utilizaremos la Prensa 2 para el presado hidráulico de la pulpa de palta.
- 5) Caerá el aceite hacia un depósito de aceite.

- 6) Otra vez actuará la Prensa 1, pero esta vez su función es de transportar la torta que queda en el tamiz agujereado hacia un depósito de torta de palta para su posterior aprovechamiento.

### 2.5.5 EVALUACIÓN TÉCNICA – ECONÓMICA

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

**Valor Técnico:** Se tendrán en cuenta diferentes criterios de aceptación en una escala del 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.

Tabla 2.5. Evaluación Técnica

DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS							Area de Diseño		
Valor Tecnico (xi)									
Maquina Extractora de Aceite de Palta									
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 evaluacion para diseño en fase en concepto									
Variantes de Concepto			Solucion 1			Solucion 2		Solucion 3	
Nr.	Criterio de evaluación	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	
1	Funcion	5	4	20	4	20	4	20	
2	Forma	4	2	8	3	12	3	12	
3	Diseño	4	3	12	3	12	3	12	
4	Seguridad	4	3	12	3	12	3	12	
5	Energia	3	3	9	3	9	3	9	
6	Ergonomía	2	3	6	3	6	3	6	
7	Materiales	3	3	9	3	9	2	6	
8	Fabricación	2	3	6	3	6	2	4	
9	Montaje	3	2	6	2	6	2	6	
10	Mantenimiento	4	3	12	3	12	2	8	
Sumatoria		34	29	100	30	104	27	95	
Valor Tecnico (xi)				0.735		0.7647		0.699	

Fuente: Elaboración de Proyectos

**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.

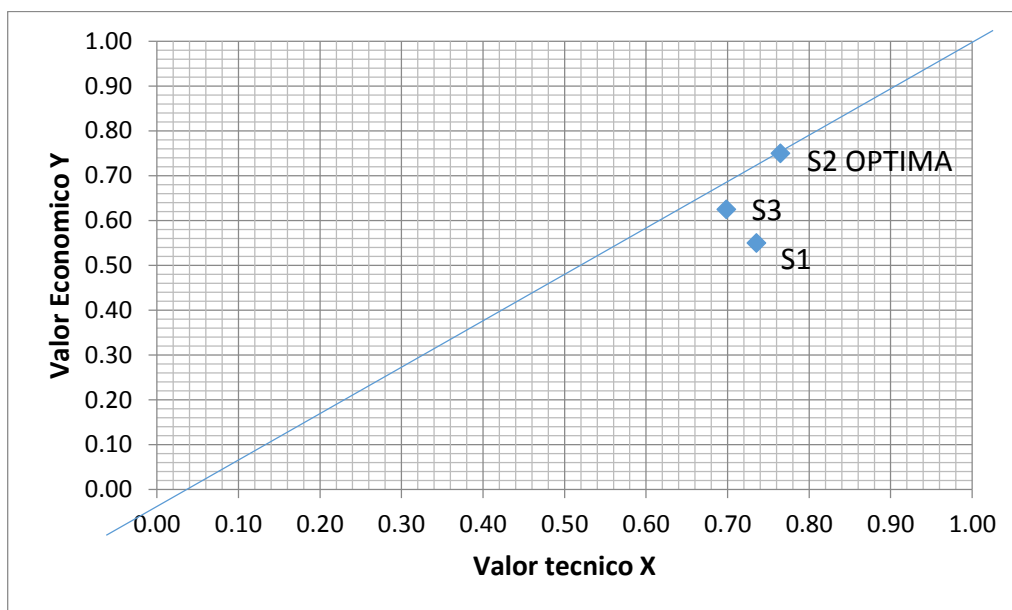
Tabla 2.6. Evaluación Económica

DISEÑO MECANICO - EVALUACION DE PROYECTOS								Area de Diseño		
Valor Economico (yi)										
Maquina Extractora de Aceite de Palta										
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 evaluacion para diseño en fase en concepto										
Variantes de Concepto					Solucion 1		Solucion 2		Solucion 3	
Nr.	Criterio de evaluacion	g	p	g*p	p	g*p	p	g*p	p	g*p
1	Costos de Fabricacion	5	2	10	3	15	2	10		
2	Costo de Mantenimiento	3	2	6	3	9	3	9		
3	Costo de montaje	2	3	6	3	6	3	6		
Sumatoria		10	7	22	9	30	8	25		
Valor Tecnico (xi)				0.55		0.75		0.625		

Fuente: Elaboración de Proyectos

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

Esquema 2.8. Evaluación Técnica - Económica



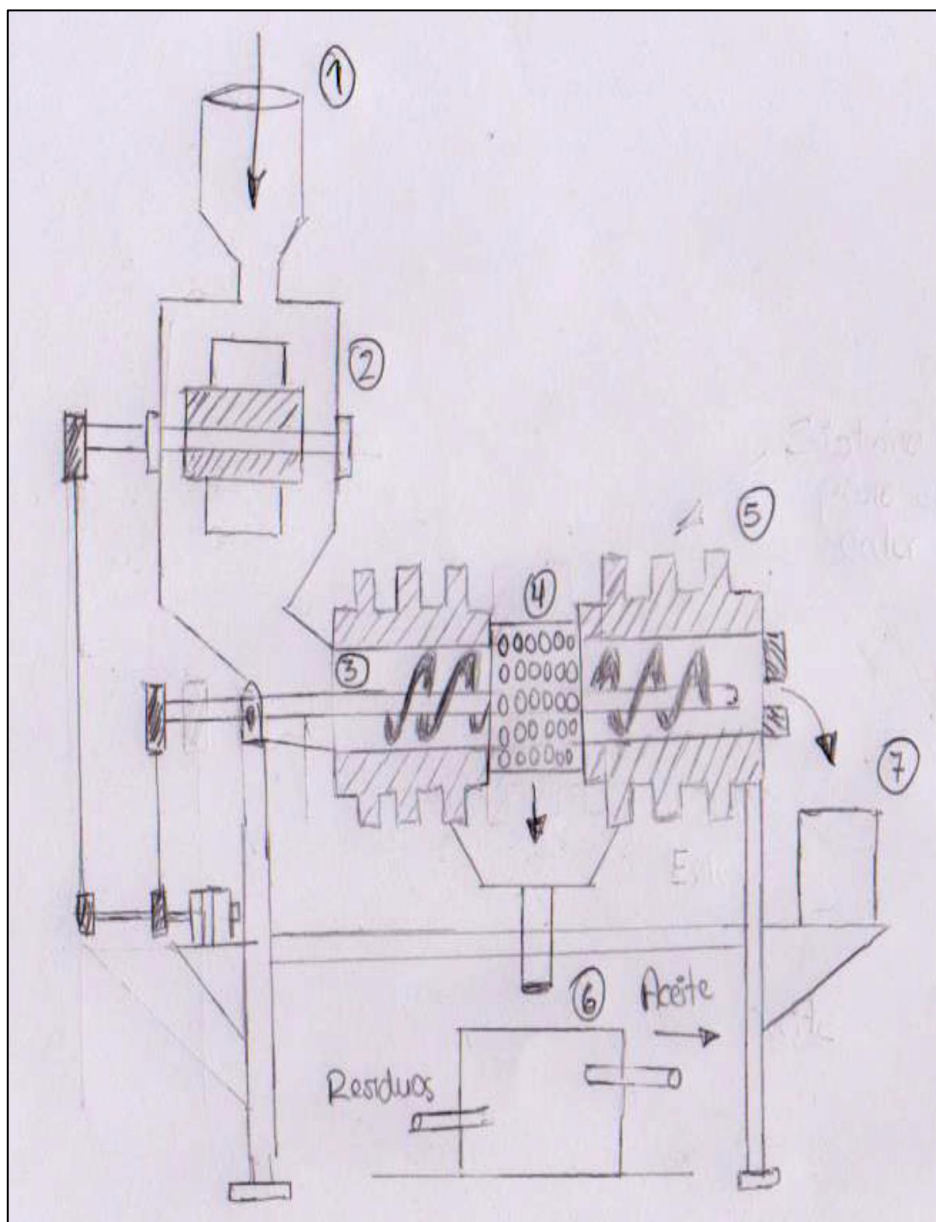
Fuente: Elaboración de proyectos

Elegiremos el concepto de solución 2 pues se acerca más a la línea óptima.

## 2.6 PROYECTO PRELIMINAR

Esquema 2.9. Proyecto Preliminar





Fuente: Elaboración Propia

Los pasos que efectuará la máquina extractora de aceite serán los siguientes:

- 1) Abastecimiento de materia prima de forma manual (Pulpa, pepa y cáscara).
- 2) Un sistema de molienda conformado por paletas giratorias que golpearan la materia triturándola para generar un batido que será llevado hacia el tornillo de potencia. Este proceso ayuda a que la humedad de la materia prima disminuya mejorando el proceso de extracción de aceite y el rendimiento sea mayor.

- 3) El tornillo de potencia se encargará de prensar el batido contra el dado o restricción (7), El estudio del tornillo se mostrará más adelante.
- 4) El sistema de separación del aceite está conformado por un cilindro agujereado. La colocación del cilindro a lo largo del husillo es tal sólo caerá aceite por los agujeros mejorando el rendimiento de aceite.
- 5) El sistema de refrigeración es fundamental en éste proceso ya que según varias investigaciones, la temperatura de operación se debe mantener en 50°C, la fricción del tornillo con la pasta hace que aumente la temperatura de éste. Con este método de refrigeración por aletas el proceso mantendrá la temperatura de operación óptima para un buen proceso de extracción de aceite.
- 6) El aceite caerá hacia un depósito separador por gravedad por si todavía tiene algunos residuales.
- 7) Por el dado extrusor caerá la torta del proceso hacia un depósito para su posterior aprovechamiento.

## **CAPÍTULO 3**

### **3 INGENIERÍA DE DETALLE**

#### **3.1 CONDICIONES DE TRABAJO**

Para una correcta extracción de aceite de palta se han realizado estudios diversos basándose en los siguientes principios:

- ✓ Rendimiento eficiente mecánico.
- ✓ Cantidad de aceite aceptable.
- ✓ Temperaturas ideales para no alterar propiedades del aceite.

El diseño de la máquina se destinará a cumplir con los requisitos mostrados anteriormente, así que clasificamos los parámetros de operación de la máquina en los siguientes.

##### **3.1.2 TEMPERATURA**

La temperatura es un parámetro importante en el proceso de extracción de aceite de palta. Este dato es importante para conseguir una buena eficiencia mecánica, es decir, procesar aceite de palma de la mejor calidad.

Según las investigaciones en tecnologías de extracción de aceite, éste proceso de extracción no debe superar los 65°C (Sawyer, 1996), debido a que el contenido de fósforo se elevaría en el aceite obtenido. El proceso de extracción a estas temperaturas garantiza que no se presenten daños y cambios en los nutrientes del aceite, lo cual contribuye a que las bondades y beneficios del uso del aceite se preserven.

### 3.1.3 HUMEDAD

La humedad de la palta es un parámetro de entrada en nuestro proceso de extracción de aceite, ya que las células de la palta poseen agua y aceite. Es necesaria la reducción de la humedad del producto antes de procesarse para evitar la descomposición del producto.

Estudios sobre procesos de extracción de aceite del Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria (INIEA) determinaron que la humedad óptima de almacenamiento de la palta oscila entre 15% y 18%.

Los equipos de secado para este proceso previo son muy diversos y van desde el secado al ambiente (usado en zonas rurales de pequeña producción) hasta equipos de secado de gran capacidad para países industrializados optimizando el proceso y mejorando el control de la humedad.

### 3.1.4 PRESION DE EXTRACCIÓN

Para el diseño mecánico de la extractora de aceite de palta es necesario el parámetro de presión de operación. Esta presión necesaria para poder extraer el aceite debe ser elevada, ya que por efecto de ésta, las células de la palta comienzan a romperse y logran que el aceite dentro de ellas empiece a fluir.

El dato de la correcta presión de extracción la tienen distintas fuentes bibliográficas. Esta presión se halla con métodos experimentales, lo más común es utilizar prensas hidráulicas. Los productores de los centros de acopio visitados en Ica y Cañete hicieron estos experimentos arrojando el dato experimental que para una buena extracción de aceite se requiere una presión de extracción de 32 a 40 MPa.



Figura 3.1. Medición de la presión de extracción (Laboratorio)

### 3.2 DIMENSIONAMIENTO DE TOLVA

Se comenzará el diseño partiendo de la tolva que utilizaremos.

El tipo de tolva será de forma tronco de cono.

Como datos de entrada tenemos

$$\dot{m}_{palta} = 50 \frac{kg}{h} \quad (3.1)$$

#### 3.2.2 PESO

Hallamos el peso promedio de la palta en la visita de campo al centro de acopio y la comparamos con datos agrotécnicos de la palta [FAO]



Figura 3.2. Pesado de paltas

Tabla 3.1. Peso de palta

PESO				
5	paltas	.....	1.165	kg
1	paltas	.....	0.233	
4	paltas	.....	0.955	kg
1	paltas	.....	0.23875	
1	palta	.....	<b>0.235875</b>	kg

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.3 NÚMERO DE PASADAS

El peso de palta promedio con el que trabajaremos es de 0.236 kg, así que debido al tamaño y peso de la palta, no podremos abastecer una tolva de 50kg/h de una sola pasada.

Decidimos por utilizar 5 pasadas de 10kg/h cada uno para llegar a la capacidad de entrada de 50kg/h.

### 3.2.4 CANTIDAD DE PALTAS A PROCESAR

El número de paltas por hora será de:

$$50 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1palta}{0.236kg} = 212 paltas \times hora$$

### 3.2.5 VOLUMEN DE PALTA

Para el volumen de la palta, la simularemos como un elipsoide, teniendo los siguientes resultados.

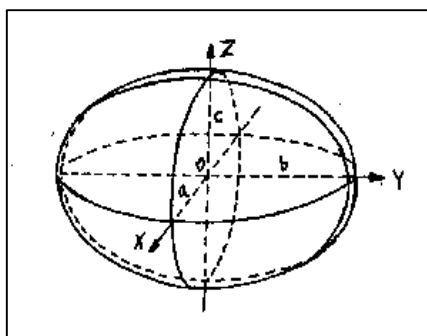


Figura 3.3. Simulación para dimensionar palta

Tabla 3.2. Dimensiones de palta

VOLUMEN			
Medición	a	b	c
1	5.1	8.6	6.2
2	5	8.8	6
3	5.2	8.6	6
4	4.8	8.6	6.2
5	4.6	8.5	6.4
Promedio	4.94	8.62	6.16
Volumen	824.0713198		

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener un valor más preciso, multiplicaremos este volumen por un factor de forma, obteniendo:

$$Volumen\ de\ 1\ palta = 0.9 \cdot 824.07 = 741.66\ cm^3$$

### 3.2.6 DENSIDAD DE PALTA

$$\rho_{palta} = \frac{m_p}{V_p} \quad (3.2)$$

$$\rho_{palta} = \frac{0,236kg}{741,66cm^3} \cdot \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3 = 318,04 \frac{kg}{m^3}$$

### 3.2.7 CAUDAL

$$\frac{741.66\ cm^3}{1\ palta} \cdot \left(\frac{1m}{100cm}\right)^3 \cdot \frac{212\ paltas}{1\ h} = 0,1572 \frac{m^3}{h}$$

### 3.2.8 VOLUMEN DE TOLVA

$$10kg \cdot \frac{1\ palta}{0.236\ kg} \cdot \frac{741,66\ cm^3}{1\ palta} = 31443,1\ cm^3$$

### 3.2.9 DIMENSIONAMIENTO FINAL

Utilizaremos el siguiente diseño de tolva para cumplir con el volumen calculado.

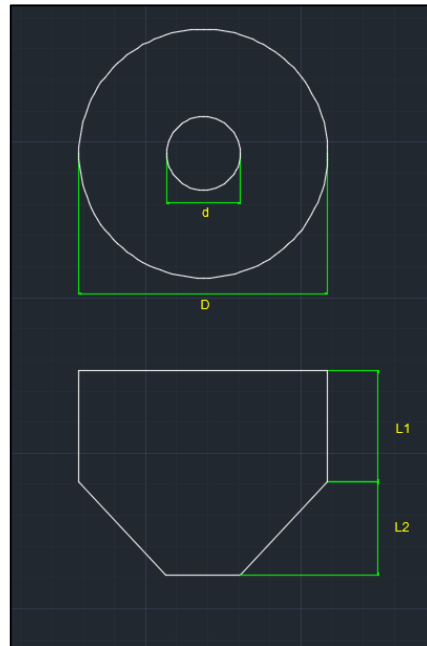


Figura 3.4. Dimensionamiento previo

Hallando el volumen de la figura

$$V = \left( \frac{\pi \cdot D^3}{4} \cdot L1 \right) + \frac{\pi \cdot L2}{12} \cdot (D^2 + d^2 + D \cdot d) \quad (3.2)$$

Como el diámetro de salida “d” tiene que ser lo suficientemente grande para que pase una palta por lo menos tendrá la siguiente dimensión:  $d = 12\text{cm}$

Donde para:

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

$$d = 12\text{cm}$$

$$L1 = 18\text{cm}$$

$$L2 = 15\text{cm}$$

El volumen obtenido es de:

$$V_{tolva} = 31453,1 \text{ cm}^3 \cong 31500 \text{ cm}^3$$



### 3.3 ANÁLISIS DE LA EXTRUSORA DE TORNILLO DE POTENCIA

#### 3.3.2 ANÁLISIS GEOMÉTRICO

Los parámetros geométricos son necesarios para el diseño y el comportamiento del tornillo de potencia dentro del proceso de extracción de aceite de palta. Por lo tanto, es necesario analizar la forma del tornillo bajo sus 3 opciones de trabajo: Extrusor de bajo corte, extrusor de medio corte o extrusor de alto corte.

Se mostrará las variables de operación de estos tres tipos de extrusora:

Tabla 3.3. Tipos de Expeler

Variable de operación	Expeller de corte bajo	Expeller de corte medio	Expeller de corte alto
Humedad de la materia prima (%)	25 – 35	20 – 30	12 – 20
Temperatura máxima del producto (C)	50 -120	125 - 175	150 – 200
Relación Lt/Dt	5 – 8	10 – 20	4 – 12
Relación de compresión	1 : 1.5	2 - 3 : 1	3 – 5 : 1
Velocidad del tornillo (rad/s)	3 – 10	10 – 25	30 – 45
Energía mecánica neta de entrada (kW – hr / kg)	0.03 – 0.06	0.04 – 0.08	0.10 – 0.14

Fuente: Ciencia y Tecnología de Extrusión de Alimentos.

Las condiciones de trabajo en el cual se basará el diseño la extractora de aceite tales como la temperatura de operación y la humedad del producto y la pequeña producción que imponemos como parámetros de entrada hacen que elijamos el expeler de corte bajo.

Según varias investigaciones, el extrusor trabaja como una bomba de arrastre de material, que a su vez trabaja como un intercambiador de calor que facilita la labor de la extracción de aceite, además de la correcta extrusión de la torta de la palta para su posterior manipulación.

A su vez, los valores de presión y temperatura de trabajo del material procesado serán las que tengan influencia en el diseño del husillo.

A continuación se mostrarán las características geométricas del husillo o tornillo de potencia de la extractora de aceite (ver Fig20).

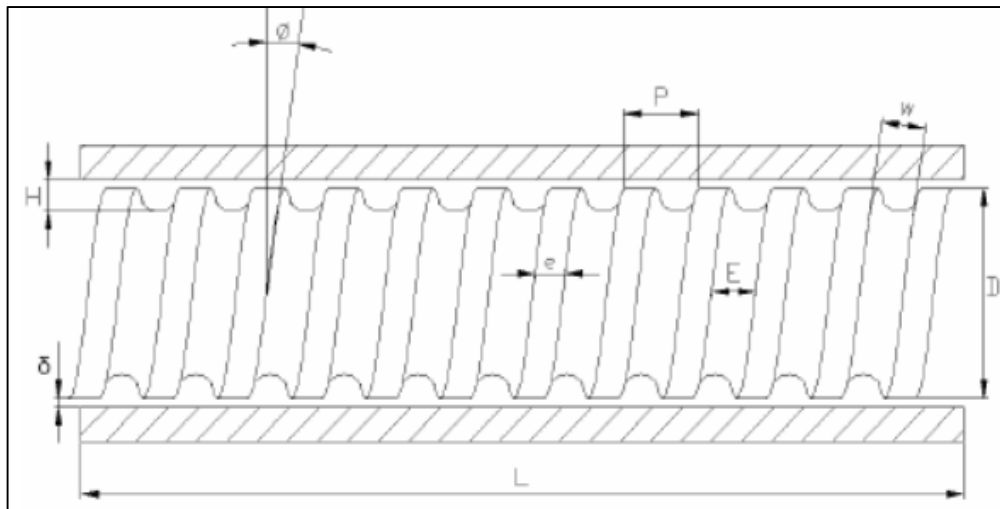


Figura 3.5. Geometría del tornillo

De donde tenemos los siguientes parámetros de diseño:

$H$  = Profundidad del husillo

$\delta$  = Separación entre la hélice y el barril.

$e$  = Espesor del diente del husillo

$E$  = Longitud axial entre dos hélices del husillo

$\Phi$  = Ángulo entre la hélice y la dirección perpendicular al husillo.

$P$  = Paso

$w$  = Ancho del canal del husillo

$D$  = Diámetro del tornillo

$L$  = Longitud del husillo

El tornillo consiste en aspas espirales con canales entre ellas, que conducen el material arrastrándolo por toda su longitud. La pared está hecha de acero endurecido para resistir el desgaste por el movimiento rotatorio y el rozamiento con el interior del cilindro.

Cuando gira el tornillo, las paletas empujan el material hacia adelante a través del canal, haciendo que el material se transporte desde el sistema de molienda hasta el dado o restricción

El diámetro de la paleta siempre es más pequeño que el del cilindro (D), formando un claro o separación entre la hélice y barril ( $\delta$ ). La función de ésta separación es limitar la fuga de fusión hacia atrás.

Las ecuaciones que relacionan los parámetros geométricos mencionados anteriormente son:

$$W_t = (\pi \cdot D \cdot \tan(\phi) - e) \cdot \cos(\phi) \quad (3.3)$$

$$r_m = \frac{D-H}{2} \quad (3.4)$$

El tornillo tiene un paso (P) y el ángulo de hélice ( $\phi$ ) se relacionan en la siguiente ecuación:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_m} \right) \quad (3.5)$$

Partiremos de la relación de corte:

Según Tabla 3.1, la relación de corte bajo varía de 5 a 8. Por lo que elegiremos el valor medio.

$$Relación\ de\ corte = \frac{L}{D} = 6,5$$

$$D = 58mm$$

$$\frac{L}{58} = 6,5$$

$$L = 377mm$$

Utilizaremos los siguientes parámetros geométricos

Tabla 3.4. Parámetros geométricos Tornillo de Potencia

<b>PARAMETROS GEOMETRICOS</b>
-------------------------------

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Relación de Corte Bajo	L/D	-	6.5
Diámetro del tornillo	D	mm	58
Longitud del tornillo	L	mm	377
Paso	P	-	16
Profundidad del husillo	h	mm	6
Separación entre barril y husillo	δ	mm	0.5
Ancho del hilo del husillo	e	mm	9

Fuente: Elaboración Propia

Aplicando las ecuaciones:

Tabla 3.5. Cálculos Geométricos

CALCULOS GEOMÉTRICOS				
Nombre	Símbolo	Unidad	Valor	Ecuación
Radio Medio	r <sub>m</sub>	mm	26	3.2
Angulo de Hélice	Φ	rad	0.0976301	3.3
		°	5.5937941	
Ancho de canal del tornillo	W <sub>t</sub>	mm	8.8040281	3.1

Fuente: Elaboración Propia

### 3.3.3 NÚMERO DE REVOLUCIONES DEL TORNILLO

El número de revoluciones que desarrollará el extrusor está en función al flujo de masa que se requiere extruir y está dado por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\dot{m}_{palta}}{2,3 \cdot D^2 \cdot h \cdot g_{palta}} \quad (3.6)$$

Donde:

$$\dot{m}_{palta} \rightarrow \text{Flujo de masa de entrada en } \frac{lb}{h}$$

$$\dot{m}_{palta} = 50 \frac{kg}{h} \cdot \frac{2,20462lb}{1kg} = 110,23 \frac{lb}{h}$$

$D \rightarrow$  Diámetro del tornillo en pulg

$$D = 58mm \cdot \frac{1pulg}{25,4mm} = 2,283 \text{ pulg}$$

$h \rightarrow$  Profundidad del husillo en pulg

$$h = 6mm \cdot \frac{1pulg}{25,4mm} = 0,236 \text{ pulg}$$

$g_{palta} \rightarrow$  Gravedad específica de la palta

$$g_{palta} = \frac{\rho_{palta}}{\rho_{agua}} = \frac{318,04}{1000} = 0,318$$

Entonces:

$$N = \frac{110,23}{2,3 \cdot 2,283^2 \cdot 0,236 \cdot 0,318} = 122,35 \text{ RPM}$$

### 3.3.4 ANÁLISIS DE FLUJO EN UN EXTRUSOR SIMPLE

Para el análisis del flujo en un extrusor simple se analizó el trabajo del tornillo de potencia a lo largo de la longitud total de éste. Se identificó que existen tres zonas principales de trabajo: Una zona de transporte de sólidos o zona de alimentación, en la que la materia prima es transportada en forma de un sólido elástico y es precalentado hasta alcanzar una temperatura que facilite la trituración y fundición del material. Una zona de fundición en la cual ocurre un plastificado de la masa y al finalizar una zona de bombeo, en la que se crea la presión necesaria para que el producto prensado pueda ser transportada a través del dado hacia la zona exterior como se ve en la Fig.21.

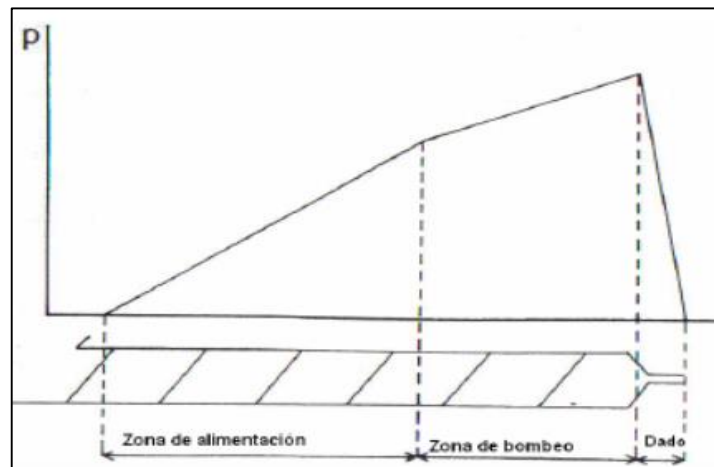


Figura 3.6. Zonas en el extrusor

Para el análisis de la zona de bombeo del extrusor del tornillo simple, el tornillo es considerado como estacionario y se asume que la camisa se mueve alrededor del mismo. El flujo puede ser analizado teniendo en cuenta las ecuaciones de movimiento entre dos placas paralelas y se aproxima de tal manera que las fuerzas de viscosidad dominan a las fuerzas inerciales y a las fuerzas de gravedad, y que el canal tiene una sección transversal uniforme.

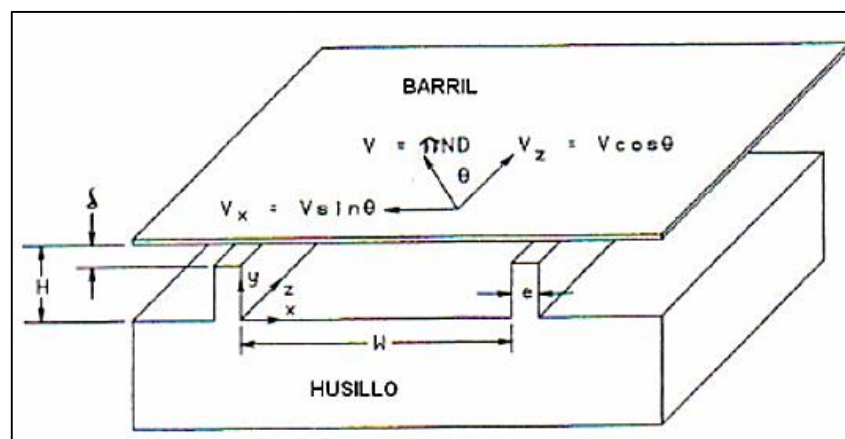


Figura 3.7. Geometría del canal del husillo

El sistema de coordenadas se utiliza según las investigaciones de las tecnologías de extrusión, donde el EJE Z indica la dirección hacia abajo del canal, el EJE Y indica la altura del canal y el EJE X es tomado en la dirección transversal del canal.

Bajo la hipótesis de que el canal es más ancho con respecto a su altura, las ecuaciones del movimiento se reducen a:

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = - \frac{\partial P}{\partial z} \quad (3.7)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = - \frac{\partial P}{\partial x} \quad (3.8)$$

Donde:

$P \rightarrow$  Presión de trabajo

$\tau \rightarrow$  Esfuerzo cortante para un fluido newtoniano

Simplificando tendríamos:

$$\tau_{xy} = - \mu \cdot \frac{\delta V_z}{\delta y} \quad (3.9)$$

$$\tau_{xy} = - \mu \cdot \frac{\delta V_x}{\delta y} \quad (3.10)$$

Donde:

$\mu \rightarrow$  Viscosidad de la materia prima

Resolviendo las ecuaciones

$$U_z = \pi \cdot N \cdot D_t \cdot \cos(\theta_t) \quad (3.11)$$

$$U_x = \pi \cdot N \cdot D_t \cdot \sen(\theta_t) \quad (3.12)$$

Con los datos de:

$N \rightarrow$  Velocidad Angular.

$V \rightarrow$  Velocidad Tangencial de rotación.

$V_z \rightarrow$  Velocidad máxima del fluido en la dirección del canal.

$\theta \rightarrow$  Ángulo entre la hélice y la dirección perpendicular al husillo.

Debido a que el flujo no tiene componente en la dirección  $y$ , nos damos cuenta que el gradiente de presión en la dirección  $z$  no estará en función de  $y$ . Al combinarse las ecuaciones anteriormente mencionadas y al ser integradas teniendo las siguientes fronteras.

$$V_x = V_y = 0 \text{ en } y = 0 \text{ y } V_z = U_z \text{ en } y = H$$

Teniendo la siguiente ecuación

$$V_z = U_z \cdot \left(\frac{y}{H}\right) - \frac{H^2}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \left[\left(\frac{y}{H}\right) - \left(\frac{y}{H}\right)^2\right] \quad (3.13)$$

De donde:

$V_z \rightarrow$  Velocidad máxima del fluido en la dirección del canal.

$H \rightarrow$  Profundidad del Husillo.

Luego se integra la ecuación y se multiplica por el Ancho del canal del husillo ( $W_t$ ) para calcular el caudal volumétrico de arrastre.

$$Q = W_t \cdot \int_0^H v dy \quad (3.14)$$

Al reemplazar la velocidad máxima del fluido en dirección al canal en la ecuación 3.14 tenemos.

$$Q = W_t \cdot \int_0^H U_z \cdot \left(\frac{y}{H}\right) - \frac{H^2}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \left[\left(\frac{y}{H}\right) - \left(\frac{y}{H}\right)^2\right] dy$$

Resolviendo la integral se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{W_t}{2} \cdot U_z \cdot H - \frac{W_t}{12 \cdot \mu} \cdot H^3 \cdot \frac{dP}{dz} \quad (3.15)$$

El término  $dP/dz$  se puede simplificar de la siguiente manera

$$\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{\Delta P}{z} = \frac{\Delta P}{L/\sin\theta} \quad (3.16)$$

Reemplazando la ecuación 3.11 y 3.16 en la ecuación 3.15 tenemos lo siguiente:

$$Q = Q_{\text{arraastre}} - Q_{\text{presión}}$$



$$Q = \left( \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot H \cdot W_t \cdot \cos \theta \right) - \left( \frac{1}{12 \cdot \mu} \cdot W_t \cdot H^3 \cdot \sin \theta \cdot \frac{\Delta P}{L} \right) \quad (3.17)$$

Llegamos a obtener la ecuación 3.17 asumiendo que el canal es infinitamente ancho. Ahora, para analizar el canal con un ancho finito, se necesitará una corrección del modelamiento de placas paralelas. Para esto se utilizan los siguientes factores

$F_d \rightarrow$  Factor de corrección de flujo de arraste para la profundidad del canal.

$F_p \rightarrow$  Factor de corrección de flujo de presión para la profundidad del canal.

$F_{dc} \rightarrow$  Factor de corrección del flujo de arrastre debido al número de espiras.

$F_{pc} \rightarrow$  Factor de corrección del flujo de presión debido al número de espiras.

$F_{de} \rightarrow$  Factor de corrección del flujo de arrastre debido al ángulo del hélice.

$F_{pe} \rightarrow$  Factor de corrección del flujo de presión debido al ángulo del hélice.

Estos factores de corrección se encuentran en las siguientes gráficas:

Los factores  $F_p$  y  $F_d$  se deben a la profundidad y ancho del canal del husillo tal como se presenta en la figura

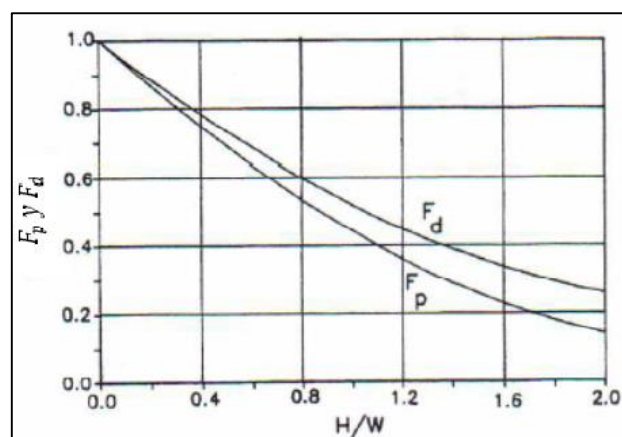


Figura 3.8. Factores de corrección del flujo de arrastre y flujo de presión debido a la geometría del husillo

Los factores  $F_{dc}$  y  $F_{pc}$  se deben al número de espiras que tendrá el tornillo extrusor. A continuación las figuras 24 y 25 detallan estos factores.

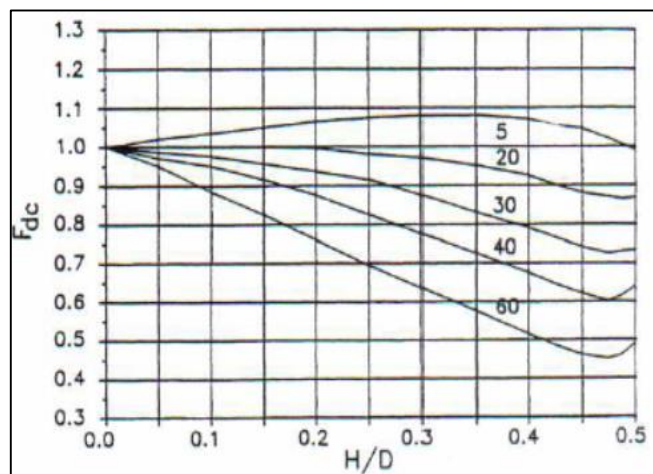


Figura 3.9. Factor de corrección del flujo de arrastre debido al número de espiras.

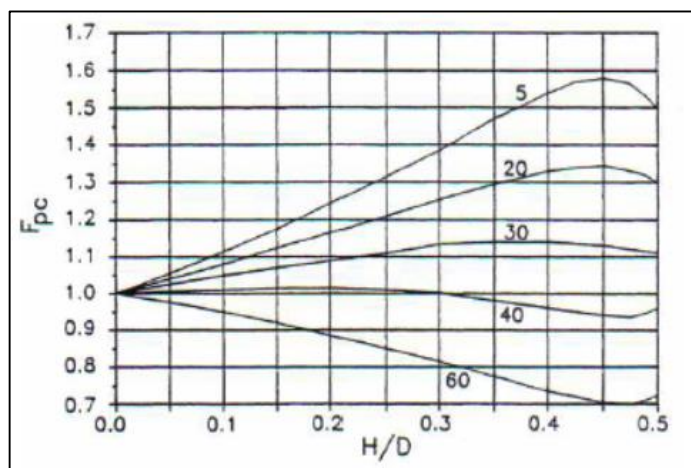


Figura 3.10. Factor de corrección del flujo de presión debido al número de espiras

Para los últimos dos factores " $F_{de}$  y  $F_{pe}$ " que corresponden a los factores de corrección de flujo de arrastre y de presión debido al ángulo de hélice respectivamente.

Estos factores se detallarán en las Figuras 26 y 27.

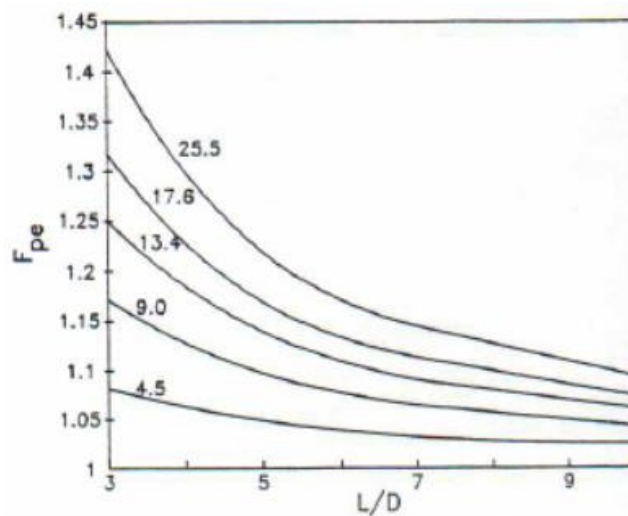


Figura 3.11. Factor de corrección del flujo de presión debido al ángulo de hélice.

Una vez obtenido el factor  $F_{pe}$  se procede a utilizarlo como parámetro de entrada en la Figura 27.

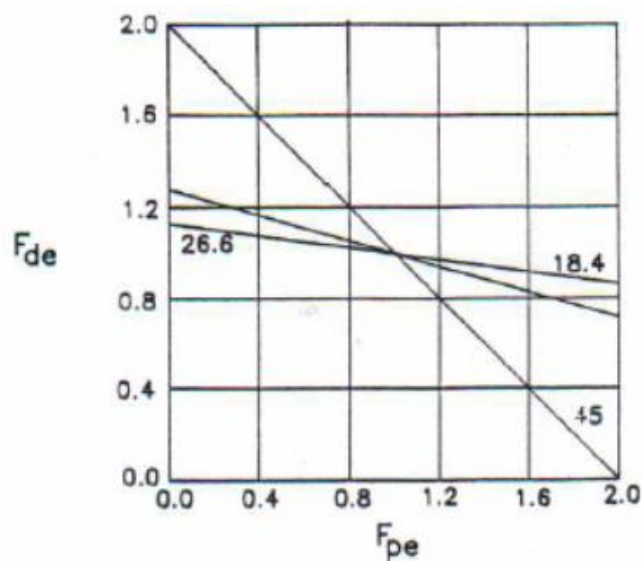


Figura 3.12. Factor de corrección del flujo de arrastre debido al ángulo de hélice.

Con los datos de entrada y el uso de las gráficas, calculamos los factores:

Tabla 3.5. Factores de Corrección

FACTORES DE CORRECCIÓN		
Nombre	Símbolo	Valor

Factor de Corrección de Flujo de Arrastre para la profundidad de Canal	F <sub>d</sub>	0.65
Factor de Corrección de Flujo de Presión para la profundidad de Canal	F <sub>p</sub>	0.6
Factor de Corrección de Flujo de Arrastre debido al Número de Espiras	F <sub>dc</sub>	0.98
Factor de Corrección de Flujo de Presión debido al Número de Espiras	F <sub>pc</sub>	1.05
Factor de Corrección de Flujo de Arrastre debido al ángulo de hélice	F <sub>de</sub>	1.04
Factor de Corrección de Flujo de Presión debido al ángulo de hélice	F <sub>pe</sub>	1.06

Fuente: Elaboración Propia

Entonces tendremos:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{d \text{ Corregido}} - \dot{Q}_{p \text{ Corregido}}$$

$$\dot{Q} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot H \cdot W_t \cdot \cos \theta (F_d, F_{dc}, F_{de}) - \frac{1}{12 \cdot \mu} \cdot W_t \cdot H^3 \cdot \sin \theta \cdot \frac{\Delta P}{L} (F_p, F_{pc}, F_{pe}) \quad (3.18)$$

El aguacate triturado en el proceso previo se comportará como pseudoplástico al entrar al tornillo de potencia. Por lo que es necesario hacer una corrección para el cambio de viscosidad.

Partiremos de la de la ecuación de corte aparente para un fluido no newtoniano. []

Referencia: Dennis Heldman, Handbook of Food Engineering, EEUU, 1992 p629

$$\dot{\gamma}_{app} = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{H} \quad (3.19)$$

Con esta ecuación determinamos la viscosidad aparente newtoniana. Para el análisis del fluido newtoniano, esta nueva viscosidad reemplazará a la viscosidad normal que utilizamos en las ecuaciones anteriores. Esta nueva viscosidad está dada por la siguiente fórmula.

$$\mu_{app} = m \cdot \dot{\gamma}_{app}^{n-1} \quad (3.20)$$

De donde la constante “n” es el índice de flujo y “m” es la consistencia del flujo. Estos valores se encuentran en tablas de extrusión de alimentos dependiendo del tipo de alimentos y la temperatura de trabajo.

Material	$m_0$	$n$	Temperature range (°C)	Moisture range (%)	$A$ (K)	$B$ (1/% $M_{DB}$ )	Reference
Cooked cereal dough (80% corn grits, 20% oat flour)	78.5	0.51	67–100	25–30	2500	–7.9 <sup>2</sup>	Harper et al., 1971
Pregelatinized corn flour	36.0	0.36	90–150	22–35	4390	–14	Cervone and Harper, 1978
Soy grits	0.79	0.34	35–60	32	3670	—	Remson and Clark, 1978
Hard wheat dough	1,885	0.41	35–52	27.5–32.5	1800	–6.8	Levine, 1982
Corn grits	28,000	~0.5	177	13	—	—	Vas Zuilichem et al., 1974
	17,000	~0.5	193	13	—	—	
	7,600	~0.5	207	13	—	—	
Full-fat soybeans	3,440	0.3	120	15–30	—	—	Fricke et al., 1977
Moist food products	223	0.78	95	35	—	—	Tsao et al., 1978
Pregelatinized corn flour	17,200	0.34	88	32	—	—	Hermans and Harper, 1974
Sausage emulsion	430	0.21	15	63	—	—	Toledo et al., 1977
Semolina flour	20,000	0.5	45	30	—	—	Nazarov et al., 1971
Defatted soy	110,600	0.05	100	25	—	—	Jao et al., 1978
	15,900	0.40	130	25	—	—	
	671	0.75	160	25	—	—	
	78,400	0.13	100	28	—	—	
	23,100	0.34	130	28	—	—	
	299	0.65	160	28	—	—	
	28,800	0.19	100	35	—	—	
	28,600	0.18	130	35	—	—	
	17,800	0.16	160	35	—	—	
Wheat flour	4,450	0.35	33	43	—	—	Launay and Bure, 1973
Defatted soy flour	1,210	0.49	54	25	—	—	Luxenburg et al., 1985
	868	0.45	54	50	—	—	
	700	0.43	54	75	—	—	
	1,580	0.37	54	85	—	—	
	2,360	0.31	54	100	—	—	
	2,270	0.31	54	110	—	—	

Fuente: Handbook of food Engineering, Second Edition (p. 801)

Para nuestro trabajo, el aguacate trabajaría como comida húmeda, teniendo los siguientes parámetros.

$$m = 223, n = 0,78$$

De la ecuación 3.19

$$\dot{\gamma}_{app} = \frac{\pi \cdot 58 \cdot 122,35 \cdot \frac{2\pi}{180}}{6} = 389,1 \frac{m}{s}$$

Este valor lo usamos en la ecuación 3.20 y utilizando las constantes de la Tabla 3.5

$$\mu_{app} = 223 \cdot 389,1^{0,78-1}$$

$$\mu_{app} = 60,05 \text{ Pa.s}$$

Teniendo los datos de entrada, calculamos el flujo de arrastre corregido dado en la ecuación 3.18

$$\dot{Q}_{d \text{ Corregido}} = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot H \cdot W_t \cdot \cos \theta (F_d, F_{dc}, F_{de})$$

$$\dot{Q}_{d \text{ Corregido}} = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,058 \cdot \frac{122,35}{60} \cdot 0,006 \cdot 8,804 \cdot \cos(5,6^\circ) \cdot (0,65 \cdot 0,98 \cdot 1,04)$$

$$\dot{Q}_{d \text{ Corregido}} = 6,47 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3600s}{1h} = 0,0232 \frac{m^3}{h}$$

Para calcular el flujo de presión corregido ( $\dot{Q}_{p \text{ Corregido}}$ ), necesitamos la viscosidad aparente ya calculada con la Ecuación 3.20 y la presión de Trabajo ( $\Delta P$ ). Así que iteraremos el valor de la presión para llegar al caudal de palta utilizado para la palta.

$$\dot{Q} = \frac{10 \frac{kg}{h}}{318,03 \frac{kg}{m^3}} = 0,03144 \frac{m^3}{h}$$

Teniendo los datos de entrada:

Tabla 3.7. Datos de Entrada para el cálculo de la Presión de trabajo

FLUJO DE PRESIÓN CORREGIDO		
SIMBOLO	UNIDAD	VALOR
$\mu$	Pa.s	60,05
$W_t$	mm	8.81
$H$	mm	6
$\theta$	°	5,6
$L$	mm	377
$F_p$	-	0,6
$F_{pc}$	-	1,05
$F_{pe}$	-	1,06
$\Delta P$	Mpa	¿?

Fuente: Elaboración Propia

Generándonos la siguiente tabla iterativa:

Tabla 3.8. Caudal para distintas presiones de Trabajo

CAUDAL EN FUNCION DE LA PRESIÓN DE TRABAJO			
$\Delta P$ (MPa)	Qp corregido (m³/h)	Qd corregido (m³/h)	Q (m³/h)
20	0.033	0.023	0.010
25	0.041	0.023	0.018
30	0.049	0.023	0.026
35	0.057	0.023	0.034
40	0.066	0.023	0.042

Fuente: Elaboración Propia

Obteniendo como resultado que para un caudal de trabajo de 0,031 m³/h tendremos:

$$\Delta P = 35 \text{ MPa}$$

A su vez, está en el rango de presiones de extracción dadas en las condiciones de trabajo iniciales.

### 3.3.5 POTENCIA CONSUMIDA EN EL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

La potencia de consumo dada en el extrusor simple está representada por la potencia que se debe generar para vencer los flujos de arrastre ( $Q_d$ ) y de presión ( $Q_p$ ), ya corregidos como se ve en la ecuación 3.21

$$P_t = \dot{Q}_t \cdot \Delta P \quad (3.21)$$

Donde consideramos que:

$$\dot{Q}_t = \dot{Q}_{d \text{ Corregido}} + \dot{Q}_{p \text{ Corregido}} \quad (3.22)$$

$$\dot{Q}_t = 0.081 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

En la Ecuación 3.21:

$$P_t = 0.081 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \cdot 35\text{MPa} \cdot \frac{1000000\text{Pa}}{1\text{MPa}}$$

$$P_t = 575,46\text{W}$$

Para calcular la potencia real consumida, tomaremos los siguientes factores

Pérdidas por instalaciones eléctricas:

$$P_e = 0.15 \cdot P_t \quad (3.23)$$

$$P_e = 86,32W$$

Pérdidas por motoreductor:

$$P_m = 0.05 \cdot P_t \quad (3.24)$$

$$P_m = 28,77W$$

De donde la potencia real consumida será de:

$$P_{real} = P_t + P_e + P_m \quad (3.25)$$

$$P_{real} = 690,55W \cdot \frac{1HP}{745,7W} = 0,93HP$$

Por lo que se seleccionará un motor de 1HP.

### 3.4 DISEÑO SISTEMA DE PALETAS

#### 3.4.2 ENERGÍA DE ROTURA

Teniendo como datos:

$$m \rightarrow \text{masa de la pesa} = 2kg$$

$$g \rightarrow \text{celeración de la gravedad} = 9,81 \, m/s^2$$

$$h \rightarrow \text{altura de caída} = 0,08m$$

$$E = m \cdot g \cdot h \quad (3.26)$$

$$E = 2 \cdot 9,81 \cdot 0,08 = 1,57J$$

#### 3.4.3 VELOCIDAD DE GIRO

Con los datos de energía y la masa de la palta obtenemos la velocidad de la palta utilizando la ecuación de energía. Los datos son la energía de 1,57J y la masa de la palta 0,236kg.

$$E = \frac{m_{pal} \cdot v^2}{2} \quad (3.27)$$

$$m_{pal} \rightarrow 0,236kg$$



Entonces la velocidad será dada por:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m_{pal}}} \quad (3.28)$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 1.57}{0.236}}$$

$$v = 3,65 \frac{m}{s}$$

#### 3.4.4 DIMENSIONAMIENTO PREVIO

Las dimensiones de la paleta son 30 cm de largo por 20 cm de alto, teniendo un espesor de 0.45cm. Estas irán soldadas a un cilindro de 10cm como se muestra en la figura.

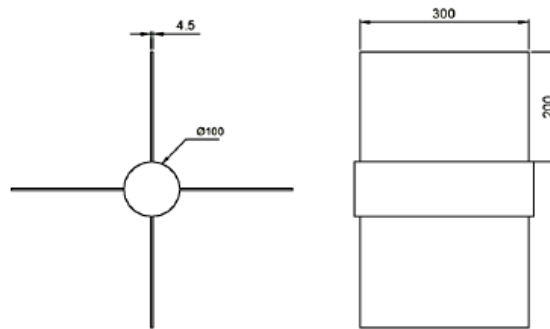


Figura 3.13. Dimensionamiento previo de paletas

#### 3.4.5 VELOCIDAD DE GIRO

##### 3.4.5.2 MASA DE PALETAS

$$m_p = V_p \cdot \rho_a \quad (3.29)$$

Donde:

$m_p \rightarrow$  masa de la paleta

$V_p \rightarrow$  Volumen de la paleta (alto  $\cdot$  ancho  $\cdot$  espesor)

$\rho_a \rightarrow$  densidad del acero =  $7860 \frac{kg}{m^3}$

$$m_p = 0.3 \cdot 0.2 \cdot 0.0045 \cdot 7860 = 2,122kg$$

### 3.4.5.3 INERCIA

Calculamos la inercia de la placa con respecto al centro de giro.

$$I_{placa} = \frac{1}{12} \cdot m_p \cdot h^2 + m_p \cdot d^2 \quad (3.30)$$

$h \rightarrow$  altura de la paleta

$d \rightarrow$  distancia desde el centro de la paleta al centro de giro.

$$I_{placa} = \frac{1}{12} \cdot 2,122kg \cdot 0,2^2 + 2,122kg \cdot (0,1 + 0,05)^2$$

$$I_{placa} = 0,0548 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Asumiendo que las paletas estarán en contacto con una palta a la vez, la energía cinética total será dada por:

$$E_k = 4 \text{ paltas} \cdot 1,57J = 5,542J$$

Para el balance energético asumimos un incremento de 10% de la energía cinética total.

## DISEÑO DEL HUSILLO

Se realizará el diseño del husillo a través del análisis estático y dinámico.

### DISEÑO ESTÁTICO DE LA FLECHA

El diseño consiste en la parte roscada y dos secciones cilíndricas continuas, que se requieren para poder montar el elemento sobre los rodamientos. Por lo cual al realizar el diagrama de cuerpo libre del elemento, veremos que está sometido a las siguientes fuerzas.

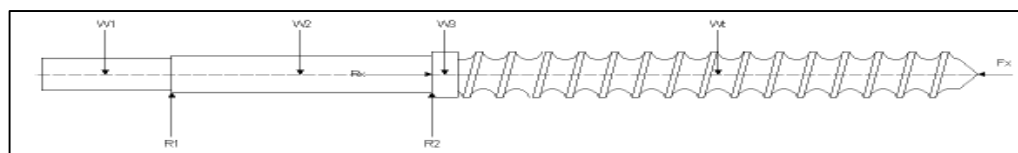


Figura 3.14. Reacciones en el husillo

Analizando el DCL de la figura

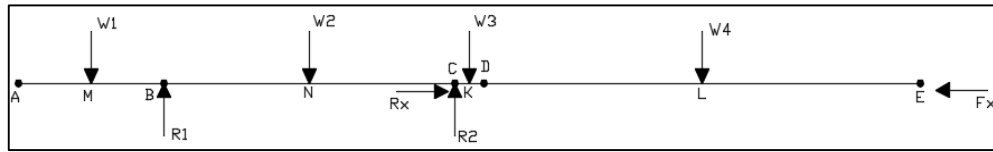


Figura 3.15. DCL del husillo

Donde tenemos

$$AB = L_1 \quad CD = L_3$$

$$BC = L_2 \quad DE = L_4$$

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0$$

$$\sum M_x = 0 \quad \sum M_y = 0 \quad \sum M_z = 0$$

Igualando ecuaciones:

$$R_x = F_x$$

$$R_1 + R_2 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \dots (b)$$

$$T_{x \text{ motor}} = T_{x \text{ reaccion}}$$

Haciendo  $\sum M_B = 0$

$$W_1 \cdot \frac{L_1}{2} + R_2 \cdot L_2 = W_2 \cdot \frac{L_2}{2} + W_3 \cdot \left( \frac{L_3}{2} + L_2 \right) + W_4 \cdot \left( \frac{L_2}{2} + L_2 + L_3 \right)$$

$$R_2 \cdot L_2 = W_2 \cdot \frac{L_2}{2} + W_3 \cdot \left( \frac{L_3}{2} + L_2 \right) + W_4 \cdot \left( \frac{L_2}{2} + L_2 + L_3 \right) - W_1 \cdot \frac{L_1}{2}$$

$$R_2 = \frac{W_2}{2} + W_3 \cdot \left( 1 + \frac{L_3}{2 \cdot L_2} \right) + W_4 \cdot \left( 1 + \frac{L_3}{L_2} + \frac{L_4}{2 \cdot L_2} \right) - \frac{W_1 \cdot L_1}{2 \cdot L_2} \dots (a)$$

(a) En (b)

$$R_1 = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 - \left( \frac{W_2}{2} + W_3 \cdot \left( 1 + \frac{L_3}{2 \cdot L_2} \right) + W_4 \cdot \left( 1 + \frac{L_3}{L_2} + \frac{L_4}{2 \cdot L_2} \right) - \frac{W_1 \cdot L_1}{2 \cdot L_2} \right)$$

Donde finalmente:

$$R_1 = \frac{W_2}{2} + W_1 \cdot \left( 1 + \frac{L_1}{2 \cdot L_2} \right) - \frac{W_3 \cdot L_3}{2 \cdot L_2} - W_4 \cdot \left( \frac{L_3}{L_2} + \frac{L_4}{2 \cdot L_2} \right) \dots \textcircled{c}$$

