

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICA  
PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍA**



**UNS**  
UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL SANTA

**“DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA  
EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN  
RFF/Hr”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**TESISTA:**

- **BACH. MAYO ACEVEDO ANTHONY JUNIOR.**

**ASESOR:**

- **MG. GUEVARA CHINCHAYAN ROBERT.**

**NUEVO CHIMBOTE-PERÚ**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA ACADEMICA  
PROFESIONAL DE INGENIERIA EN ENERGIA**



**“DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA  
EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN  
RFF/Hr”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA**

**TESISTA:**

- BACH.MAYO ACEVEDO ANTHONY JUNIOR.

**ASESOR:**

- MG. GUEVARA CHINCHAYAN ROBERT.

NUEVO CHIMBOTE – PERU

2018



## HOJA DE CONFORMIDAD DEL JURADO EVALUADOR

“DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA  
EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFF/Hr”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍA

Revisado y Aprobado por el Jurado Evaluador

---

Mg. Gilmer J. Lujan Guevara  
PRESIDENTE

---

Mg. Héctor D. Benites Villegas  
SECRETARIO

---

Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
INTEGRANTE



## CONSTANCIA DE ASESORAMIENTO DE TESIS

YO, ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN, doy conformidad de haber sido asesor del informe de tesis titulado; "DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFF/Hr"; Que tiene como autor el bachiller Anthony Junior Mayo Acevedo, que ha sido elaborado de acuerdo a Reglamento de Norma y Procedimientos para obtener el Título de Ingeniero en Energía.

Nuevo Chimbote, Perú 2018

---

Mg. Robert F. Guevara Chinchayán  
ASESOR



"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

## ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

A los tres días del mes de julio del año dos mil dieciocho, siendo las once horas del día, se instaló en el Auditorio de la Escuela Académica Profesional de Ingeniería en Energía, el Jurado Evaluador designado mediante **Resolución N° 219-2017-UNS-CFI**, integrado por los siguientes docentes:

- Mg. GILMER JUAN LUJAN GUEVARA : PRESIDENTE
- Mg. HECTOR DOMINGO BENITES VILLEGAS : INTEGRANTE
- Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN : INTEGRANTE
- M.Sc. ROBERTO CARLOS CHUCUYA HUALLPACHOQUE : ACCESITARIO

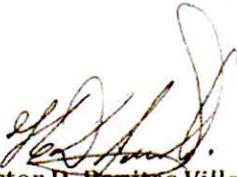
Para dar inicio a la sustentación y evaluación de la Tesis titulada: "**DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFH/HR**", elaborado por el Bachiller de Ingeniería en Energía **ANTHONY JUNIOR MAYO ACEVEDO**, teniendo como asesor al docente **Mg. ROBERT FABIAN GUEVARA CHINCHAYAN**. Terminada la sustentación el estudiante, respondió las preguntas formuladas por los miembros del jurado y el público presente.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, en concordancia con los artículos 39° y 40° del Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y Título Profesional de la Universidad Nacional del Santa, declara:

BACHILLER	PROMEDIO	PONDERACIÓN
ANTHONY JUNIOR MAYO ACEVEDO	DIECISEIS (16)	REGULAR

Siendo las doce horas del mismo día, se da por terminado el acto de sustentación, firmando los integrantes del jurado en señal de conformidad.

  
Mg. Gilmer J. Lujan Guévara  
PRESIDENTE

  
Mg. Héctor D. Benites Villegas  
SECRETARIO

  
Mg. Robert F. Guevara Chinchayan  
INTEGRANTE

## **DEDICATORIA**

Quiero dedicar esta tesis a mi padre Edilberto y mi madre Consuelo porque ellos han sido la razón de mi vida, por sus consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es gracias a ellos.

A mi esposa Doris que es mi fiel compañera de toda la vida y a mi hijo Fabian.

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a todos ustedes por estar siempre apoyándome en esta etapa importante de mi vida.

## RESUMEN

El presente informe de trabajo: **DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR PARA UNA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFF/Hr.** , se enfoca en el Diseño de un Preclarificador para una Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr (*Elaeis guineensis* Jacq.). La cual se ubicará en la Región Ucayali, Provincia de Coronel Portillo, Distrito de Campo Verde, caserío Los Pinos Km 36.800 de la carretera Federico Basadre.

Con la aplicación de este diseño en el proceso convencional de la extracción de aceite se incrementará hasta en un 2% la tasa de extracción.

La importancia del proyecto radica en el potencial que presenta la palma aceitera, considerando que la Selva Peruana es la que presenta las mejores condiciones climáticas para su crecimiento, además de los altos rendimientos en aceite que presenta el fruto de dicha palmera.

El proceso de extracción de aceite ofrece ventajas económicas y de eficiencia en la operación, además de no producir agentes contaminantes que afecten al medio ambiente.

Palabra Clave : Preclarificador, Diseño, Balance de masas.

## ABSTRACT

The present work report: DESIGN OF A PRELECTOR FOR A CRUDE OIL EXTRACTOR PLANT OF PALMA FOR A 45 TN RFF / Hr , It is focused on the Design of a Preclarifier for a 45 TN RFF / Hr., Palm Oil Extraction Plant (*Elaeis guineensis* .Jacq.). Which will be located in the Region Ucayali, Coronel Portillo Province, District of Campo Verde, hamlet The Pinos Km 36,800 of the road Federico Basadre.

With the application of this design in the conventional process of oil extraction will increase up to 2% the extraction rate.

The importance of the project lies in the potential presented by the oil palm, considering that the Peruvian jungle is the one that presents the best climatic conditions for its growth, in addition to the high yields in oil that the palm fruit presents.

The oil extraction process offers the economic advantages and the efficiency in the operation, besides not producing the contaminating agents that affect the environment.

Keyword: Preclarificador, Design, Balance of masses.

## INDICE

LISTA DE SIMBOLOS.....	8
CAPITULO I. INTRODUCCION.....	9
1.1 ANTECEDENTES.....	12
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO.....	15
1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA.....	16
1.4 FORMULACION DE LA HIPOTESIS.....	17
1.5 OBJETIVOS.....	17
1.5.1 GENERAL.....	17
1.5.2 ESPECIFICOS.....	17
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. CONCEPTOS BASICOS .....	19
2.1.1 FUNDAMENTOS DE LA CLARIFICACION ESTATICA.....	25
2.1.2 FUNDAMENTOS DE LA CLARIFICACION DINAMICA .....	30
2.2. DISEÑO DE UN PRECLARIFICADOR.....	32
2.3. OPERACIÓN DE UN PRECLARIFICADOR.....	34
2.4. PROCESO DE PRODUCCION.....	37
2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.....	34
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....	54
3.1 MATERIALES.....	55
3.1.1 EQUIPOS.....	55
3.2 METODOS.....	62

3.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	62
3.2.2 TIPO DE INVESTIGACION.....	63
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	64
4.1 REALIZAR UN BALANCE DE ENERGÍA Y MATERIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE LICOR DE PRENSA.....	65
4.1.1 BALANCE DE MASA PARA ACEITE EN CLARIFICACIÓN.....	65
4.1.2 DETERMINACIÓN DE FLUJO DE LICOR DE PRENSAS.....	69
4.2 DETERMINAR LA GEOMETRÍA ÓPTIMA PARA EL PRECLARIFICADOR PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.....	71
4.2.1 CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL.....	72
4.2.2 CÁLCULO DEL LARGO Y ANCHO.....	73
4.2.3 CÁLCULO DE LA ALTURA.....	74
4.3 DETERMINAR LA ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL ( $\Delta H$ ), DEL VASO COMUNICANTE PARA EVACUACIÓN DE LODOS.....	75
4.4 DETERMINAR EL INCREMENTO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN EN LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFF/ HR.....	77
4.5 DISCUSION DE RESULTADOS.....	78
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES.....	81
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	84
ANEXO 01: Salida de lodos expreclarificados.....	85
ANEXO 02: Ubicación del preclarificador en planta.....	86

<b>ANEXO 03: Fotos.....</b>	<b>87</b>
<b>ANEXO 04: Demanda proyectada de aceites y grasas para consumo en el Perú .....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 05: Aceite de palma precio mensual / Soles peruanos por tonelada.....</b>	<b>88</b>
<b>ANEXO 06: Proyección de oferta de aceite crudo.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 07: Proyección del flujo de caja .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 08: Bonificación en pesos por calidad de aceite de palma por uso del preclarificador.....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXO 09: planos.....</b>	<b>90</b>
<b>ANEXO 10: Parametros y variables de diseño del preclarificador de aceite para diferentes capacidades de procesamiento .....</b>	<b>91</b>

## LISTA DE SIMBOLOS

$TN$	=	<i>Tonelada (Kg).</i>
$RFF$	=	<i>Racimos de fruta fresca.</i>
$Hr$	=	<i>Hora.</i>
$V$	=	<i>Velocidad de ascenso de la gota de aceite.</i>
$DI$	=	<i>Densidad del lodo.</i>
$Da$	=	<i>Densidad del aceite.</i>
$g$	=	<i>Fuerza de gravedad.</i>
$n$	=	<i>Viscosidad del fluido.</i>
$M^3$	=	<i>Metro cubico.</i>
$TR$	=	<i>Tiempo de residencia.</i>
$h_{lodos}$	=	<i>Altura de lodos, cm.</i>
$h_{probeta}$	=	<i>Altura a los 200 ml en la probeta, cm.</i>
$V_{aceite}$	=	<i>Volumen de aceite, ml.</i>
$Q_0$	=	<i>Caudal de entrada a los equipos, <math>cm^3/min</math>.</i>
$LPD$	=	<i>Licor de prensa diluido.</i>
$TEA$	=	<i>Tasa de extracción de aceite.</i>
$T_u$	=	<i>Tiempo último de separación aceite-sólidos, min.</i>
$Z_0$	=	<i>Altura inicial de lodos en la probeta, cm.</i>
$TRH$	=	<i>Tiempo de residencia hidráulico.</i>
$\Delta H$	=	<i>Diferencia de altura.</i>
$h_a$	=	<i>Altura de la capa de aceite.</i>

**CAPITULO I**  
**INTRODUCCION**

## INTRODUCCION

El presente proyecto tiene por finalidad el Diseño de un Preclarificador para una Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr (*Elaeis guineensis* Jacq.). La cual se ubicará en la Región Ucayali, Provincia de Coronel Portillo, Distrito de Campo Verde, caserío Los Pinos Km 36.800 de la carretera Federico Basadre.

El cultivo de palma aceitera y la instalación de una planta de extracción de aceite apuntan a lograr objetivos relacionados a generar ingresos a los productores a cargo de sus parcelas, agregar valor a la materia prima – por efecto de la transformación industrial – que capitalice la empresa, constituirse en una fuente de trabajo directa e indirecta, generar un polo de desarrollo regional, contribuir a mejorar el medio ambiente afirmando a los productores en un cultivo permanente evitando los procesos recurrentes de agricultura migratoria y, en el plano económico nacional, aportar a la sustitución de importaciones de aceites y grasas.

En el departamento de Ucayali se encuentra ubicada la planta extractora Oleaginosas Amazónicas S.A. (OLAMSA), instalada con el apoyo de las Naciones Unidas y financiamiento a través de fondos reembolsable del Fondo Contravalor Perú- Canadá y que actualmente los cultivos de palma aceitera vienen en franca expansión, tanto por OLAMSA como por agricultores individuales y empresas privadas.

La oferta del Proyecto se dirigirá al mercado constituido por empresas dedicadas a la producción de aceites y grasas vegetales en lo fundamental; sin

identificó que la dilución requerida para el procesamiento del licor de prensa en equipos Tridecanter es de 1,8 aceite/agua, lo cual representa un ahorro del 30 % del agua utilizada en este proceso si se compara con la dilución de 1,4 aceite/agua que se usa en la clarificación estática. De igual forma, se encontró que el consumo global de agua en el proceso pasó de 1,22 m<sup>3</sup>/t RFF a 0,85 m<sup>3</sup>/t RFF (racimo de fruta fresca). El requerimiento de vapor se redujo en 14 %, pasando de 595 a 511 kg vapor/t RFF. Las pérdidas de aceite en la etapa de clarificación disminuyeron desde 0,65 % Ac/t RFF con clarificación estática a 0,45 % Ac/t RFF con clarificación dinámica.

En la búsqueda de reducir las pérdidas de aceite crudo de palma en el efluente líquido final de las plantas extractoras, se plantea recuperar todo el aceite contenido en el licor de prensas en la etapa de pre clarificación del proceso de extracción. El estudio propone la aplicación de un sistema físico de vibración mecánica, que genere un comportamiento de separación dinámica del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas, bajo condiciones óptimas de control de temperatura entre 90 y 95 °C. Con el ensayo de vibración realizado al licor de prensas en planta, se observó una gran velocidad de sedimentación de los lodos y la formación de una definida capa de aceite en 2 minutos, 45 segundos, y por el método Soxhlet se determinó un 0,08% de contenido de aceite crudo de palma en los lodos, La recuperación eficiente del total de aceite del licor de prensas, ayuda a disminuir la carga de aceite a las plantas de tratamientos de aguas residuales.

Se tienen así mismo los siguientes antecedentes de carácter académico:

Vivar Calle, Jorge( 2,013) , en su tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico en la Pontificia Universidad Católica del Perú concluye lo siguiente :En la ingeniería básica para la planta piloto se optó por aprovechar el diseño del recipiente de extracción para que funcione como recipiente a presión e intercambiador de calor al mismo tiempo y de esta manera conseguir aumentar la presión y la temperatura en un proceso de calentamiento isocórico para alcanzar las condiciones de extracción. Esta opción, según el ciclo termodinámico, permite un menor gasto energético, lo que se traduce en menores gastos operativos respecto de la opción en la que primero se calienta comprime adiabáticamente el CO<sub>2</sub> mediante una bomba hasta la presión de extracción y luego este mismo se calienta isobáricamente mediante un intercambiador de calor.

Nieto Mogollon, Diego(2,011) en su Informe Técnico para Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma. Colombia, manifiesta lo siguiente : Los parámetros de diseño y las condiciones bajo las cuales se opera un equipo preclarificador afectan la eficiencia de recuperación de aceite. A continuación se describen cada una de las etapas en el dimensionamiento de un equipo preclarificador, desde el punto de vista de proceso, basados en los estudios desarrollados por Cenipalma. Explica en qué consiste la prueba de sedimentación para la definición del tiempo crítico de separación (aceite – lodo).. Posteriormente se calcula el largo y el ancho del equipo, así como la altura del mismo y se determina el volumen y tiempo de residencia. De manera adicional se exponen las

fórmulas para el cálculo del vaso comunicante que permite la evacuación de lodos.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL ESTUDIO**

El Perú es un país deficitario en la producción de aceite vegetal, importa aproximadamente el 85 % de la demanda nacional de aceites crudos, a pesar de contar con el potencial necesario para autoabastecerse e incluso convenirse en un país exportador de materias grasas comestibles.

Además, el país presenta deficiencia en cuanto al consumo percapita de aceites y grasas vegetales en comparación con otros países. Esta deficiencia calórica se podría solucionar mediante el aumento de la disponibilidad de alimentos, en especial de aquéllos que incrementen la densidad energética.

En este sentido, es una solución atractiva el desarrollo de alimentos grasos, tales como aceites de bajo costo producidos localmente.

El fruto de la palma aceitera presenta el mayor rendimiento de aceite en comparación con otras materias primas oleaginosas (soya, girasol, algodón, maíz). La Selva Peruana cuenta con - las condiciones climáticas favorables para el crecimiento y desarrollo de esta palmera, como alta luminosidad, temperatura mayor a 25°C, precipitaciones abundantes, elevada humedad relativa; lo que permite obtener los rendimientos más altos del mundo (25 TM/Ha).

Actualmente el cultivo de mayor producción en la Selva es la coca, por ello la palma surge como el producto alternativo más rentable. Existen, aproximadamente, dos millones de hectáreas potencialmente cultivables. Sin embargo se estima que solo 46,000 Has que pertenecen a zonas deforestadas son aprovechables para el cultivo de la palma aceitera.

Debido a la potencial demanda en aceites, a la existencia de una planta extractora en la zona (OLAMSA) llegando a su máxima capacidad y a los planes de ampliación de la frontera agrícola por parte del Gobierno y terceros privados se considera factible la realización de un estudio para la instalación de un Preclarificador para una Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr.

Producir aceite crudo de palma en la selva peruana, nos da la oportunidad de aprovechar la productividad que nos da la palma de 5 TM de aceite por hectárea que a lo lejos no tiene a nadie con quien competir.

### **1.3 ENUNCIADO DEL PROBLEMA**

¿Como se podría Incrementar la Tasa de Extracción en la Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr?

### **1.4 FORMULACION DE LA HIPOTESIS**

El proceso de producción consiste en la extracción mecánica de aceite crudo de palma, para lo anterior los racimos de fruta fresca (RFF),

deben pasar por etapas como la esterilización, desfrutación, digestión, prensado, clarificación, hasta llegar al almacenamiento.

Al pasar por todas estas etapas existen pérdidas de aceite en el proceso de extracción.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 GENERAL**

- Diseño de un Preclarificador para Extracción de Aceite Crudo de Palma.

### **1.5.2 ESPECIFICOS**

- Realizar un balance de energía y materia para la determinación del flujo de licor de prensa.
- Determinar la geometría óptima para el Preclarificador para Extracción de Aceite Crudo de Palma.
- Determinar la ecuación para estimar el ( $\Delta H$ ), del vaso comunicante para evacuación de lodos.
- Determinar el incremento de la Tasa de Extracción en la Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/ Hr

## 2.1. CONCEPTOS BASICOS

### Palma Aceitera:

La palma aceitera es el cultivo de Oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por unidad de superficie. Con un contenido del 50% en el fruto, puede rendir de 3000kg a 5000kg de aceite de pulpa por hectárea, más de 600 a 1000kg de aceite de palmiste. (Lares, 2009)

### Fruto de la Palma Aceitera:

Es una drupa de forma casi esférica, ovoide o alongada, de 2 a 5 cm de largo y de 2 a 30 g de peso. (Velásquez y Gómez, 2010).

### Composición ideal del racimo de fruto de palma

Componentes	Parámetro ideal
Peso de racimo	23-27kg
Fruto/racimo	60-65%
Aceite/racimo	21-23%
Almendra/racimo	5-7%
Mesocarpio/fruto	71-76%
Almendra/fruto	21-22%
Cascara/fruto	10-11%

Fuente (FAO, 2003)

### Aceite de Palmiste

Es el producto que se obtiene de las semillas o almendras, se caracteriza por tener mejor calidad que el aceite obtenido del mesocarpio del fruto (aceite crudo de palma). (Lares, 2009)

### **Torta de Palmiste**

Es obtenida de las almendras, luego que el aceite es extraído. La almendra es el endoesperma de color blanquecino cubierto por una membrana negruzca y muy dura, encerrado en una cascara muy gruesa o endocarpo. (Lares, 2009)

### **Proceso de extracción aceite**

La extracción de aceite se realiza mediante procesos mecánicos y térmicos, sin necesidad de solvente, lo que lo hace un aceite completamente natural. (Alvarado, 2010)

### **Prensado**

Son presiones altas que se ejercen para separar el aceite de las materias que lo contienen. Las prensas abiertas emplean una presión alrededor de 4 000Lb/plg<sup>2</sup>; las prensas de tornillo continuo conocida como expellers, que pertenecen a las prensas de tipo cerrado forman una presión de 20 000 a 40 000Lb/plg<sup>2</sup>. (Kirschenbauer, 1964).

### **La clarificación**

Es el proceso mediante el cual se separa y purifica el aceite de la mezcla líquida extraída en las prensas, la cual contiene aceite, agua, lodos livianos (compuestos por pectinas y gomas) y lodos pesados (compuestos por tierra, arena y otras impurezas). Para lograr dicha separación, se aprovecha la característica de inmiscibilidad entre el agua y el aceite.

El aceite de crudo de palma que entra a clarificación teóricamente debe contener 35% de aceite, 5% de lodos ligeros, 35% de agua y 25% de lodos

pesados. El proceso de clarificación de lleva en varias etapas, donde predomina el consumo de vapor como fuente calorífica. (Alvarado, 2010).

### **Preclarificación**

Es la etapa dada antes de la clarificación y utiliza los mismos principios que la clarificación, los lodos son recibidos en el tanque preclarificador, la entrada del licor de prensa diluido de los tamices a los clarificadores consta de tuberías, llamadas flautas, la función de estas es distribuir el flujo de forma que sea homogénea y laminar. La mezcla es sometida a calentamiento suave por medio de serpentines de vapor, que elevan la temperatura facilitando la separación del aceite. El aceite es recuperado por unos conos, los cuales son de altura graduables, de acuerdo a la capa de aceite que se va formando. Los lodos pesados que se van formando en el fondo del tanque van pasando al final del tanque es separado por una lámina diseñada para tal fin. La capa formada por los lodos livianos agua y aceite van ya sea directamente al tricanter o a las centrifugas. El aceite recuperado del tricanter cae al tanque preclarificador. (Duarte, 2010).

### **Tricanter**

Es un tipo de centrifuga de sedimentación dinámica que trabaja con parte de los preclarificadores. El nombre de tricanter proviene de la separación de tres fases que realiza (lodos secos + lodos húmedos + aceite). Los lodos secos pasan por una banda que los lleva para posteriormente utilizarlos como compost. Los lodos húmedos son recibidos en un vertedero que posteriormente los deja caer en las alcantarillas que los llevan a las lagunas. El aceite

recuperado es llevado nuevamente al vertedero de aceite de los preclarificados. (Duarte, 2010)

### **Secado.**

El secado puede ser una secadora (puede ser al vacío), de donde sale una humedad aproximadamente del 1%. Esta reducción en la humedad evita daños posteriores del aceite por hidrolisis auto catalítica (Nuñez y Ramirez, 2004)

### **Factores que inciden en la separación de la clarificación**

En la clarificación estática, la eficiencia de recuperación de aceite depende básicamente del tiempo de residencia (capacidad del clarificador y flujo alimentado), la temperatura, el nivel de dilución, la composición volumétrica del licor de prensa sin diluir (LPSD) y la relación geométrica de los equipos de separación. (Díaz, Castillo y Yáñez, 2005)

#### **a. Nivel de dilución**

El licor de prensa diluido (LPD) es un fluido no-newtoniano tipo pseudoplástico, el cual cuando es sometido a esfuerzos cortantes tiende a disminuir su viscosidad, factor crucial para incrementar la velocidad de separación de la gota de aceite según lo indica la ecuación de Stokes. Para explicar esta ley, a continuación se presenta la fórmula que describe la mecánica y conducta del fluido definiendo, desde el punto de vista de mecánica de fluidos, que el licor de prensas diluido es un fluido aceitoso disperso en un medio de fluidos (lodos).

$$v = g * (\rho_l - \rho_a) * d^2 / 18 * \eta \dots \dots \dots (1) \text{ Ley de Stoke3}$$

Donde:

v= Velocidad de ascenso de la gota de aceite

g= Fuerza de gravedad

$\rho_l$ = Densidad del lodo

$\rho_a$ = Densidad del aceite

d= Diámetro de la partícula de aceite

$\eta$ = Viscosidad del fluido

Diámetro de partícula (d): la velocidad de ascenso depende directamente del Cuadrado del diámetro de las gotas de aceite. Teniendo en cuenta que gotas con diámetros inferiores a 15  $\mu\text{m}$  no son separables del licor. Los factores que afectan el tamaño de las gotas son: sobre digestión, efecto de los tamices vibratorios y el calentamiento con vapor directo.

Viscosidad ( $\eta$ ): es la medida de la resistencia a fluir y es ocasionada por la fricción entre las capas del fluido. Según la ecuación anterior, La velocidad de sedimentación es inversa a la viscosidad. Los parámetros que se pueden manejar para disminuirla con el fin de optimizar la velocidad de separación son la temperatura, la dilución y el esfuerzo cortante. (Díaz, Castillo y Yáñez, 2005)

De acuerdo con lo anterior se dice que la viscosidad del licor de prensas diluido cambia con el nivel de dilución aceite/agua, siendo uno de los factores más relevantes en los sistemas de recuperación de aceite. Se determinó que el nivel de dilución más apropiado a emplear en clarificación es de 1,4 (%vol aceite/%vol agua), el cual permite obtener mayor eficiencia y velocidad de separación de aceite (75% y 7,7 ml/min, respectivamente) en comparación con

el nivel convencional de 1,0 (%vol aceite/%vol agua) donde los valores no superan 50% y 2,1 ml/min (Edgar Yáñez, 2009).

#### **b. Tiempo de residencia**

De manera convencional, el criterio de diseño de equipos de clarificación en plantas de beneficio de fruto de palma, considera como valor mínimo cuatro horas de tiempo de residencia (Uribe, 1994).

Para determinar el tiempo de residencia en clarificación, se necesita conocer el flujo volumétrico del licor de prensa diluido y la capacidad de los equipos. El tiempo de residencia se estima con la siguiente relación:

Tiempo de residencia (hora) =  $\frac{\text{capacidad de clarificación (m}^3\text{)}}{\text{Flujo de licor de prensa diluido (m}^3\text{/hora)}}$  (Uribe, 1994).

#### **c. Temperatura**

En todo el proceso de clarificación, la temperatura es de primordial importancia debido a su relación intrínseca con la viscosidad del aceite que influye en su recuperación como lo muestra la ley de Stokes<sup>4</sup>. A medida que aumenta la temperatura, la viscosidad disminuye y por consiguiente la fricción de la gota de aceite, permitiendo mayor velocidad de ascenso de la gota de aceite para su óptima clarificación (ver relación en la fórmula descrita en el ítem b. Dilución).

Sin embargo, se debe tener la precaución de no sobrecalentar el aceite, pues esto ocasiona un deterioro de la calidad con respecto a la fijación del color y oxidación (la cual se mide como factor DOBI), dejando consecuencias negativas durante su refinación. Lo más importante en la etapa previa a la decantación es mantener la temperatura de la mezcla entre 90-95°C. Si la

mezcla a separar se mantiene con baja temperatura, la densidad de aceite se asemejará a la densidad de las aguas lodosas, lo que dificulta su separación estática y aumenta en forma considerable las pérdidas de aceite.

(Edgar Yáñez, 2009).

### **Tipos de clarificación se divide en dos partes:**

a) Clarificación estática (por decantación): en esta etapa se logra separar el 90% del aceite aproximadamente.

b) Clarificación dinámica (por centrifugación): en esta etapa se requiere movimiento por fuerza centrífuga para obtener la separación, con una recuperación de alrededor del 10% de aceite. (Alvarado, 2010).

#### **2.1.1 CLARIFICACION ESTATICA**

**Gráfico N° 01: Gota de Aceite en Clarificación.**



**Fuente: Elaboración propia**

Las gotas de aceite se encuentran dispersas en la mezcla que se va a clarificar. Debido a que la densidad del aceite es menor que la del agua, la gota tiende a subir. Existe sin embargo, una fuerza llamada fricción, la cual se define

como el esfuerzo de rozamiento que hace la mezcla evitando que la gota suba fácilmente. A medida que la fricción aumenta, la fuerza con que sube la gota disminuye, impidiendo la separación.

La magnitud de la fricción depende principalmente de tres factores que deben tenerse en cuenta para controlar esa fuerza durante la clarificación y lograr una separación rápida y eficiente:

- El primer factor: es el tamaño de la gota de aceite la cual puede ser controlado con un proceso de digestión controlado, fuerzas cortantes en el clarificador y tamices de número de mehs (números de hilos por pulgada cuadrada), más bajos acorde al proceso de clarificación.
- El segundo factor: es el control de dilución (relación aceite – agua), del licor de prensa que influye inversamente en la viscosidad, la cual; a su vez influye

Temperatura alta → viscosidad baja → fricción baja → la gota **SUBE**

Temperatura baja → viscosidad alta → fricción alta → la gota **NO SUBE**

Sin embargo los lodos livianos tienen una densidad similar a la del aceite y por lo tanto cuando la cantidad de agua es muy alta, estos tienden a subir con el aceite. Para evitar este inconveniente se debe regular la dilución hasta llegar a una determinada concentración de lodos, de modo que no suban con las gotas de aceite.

- El tercer factor: es la temperatura que influye en la densidad del aceite. La temperatura sólo puede incrementarse hasta unos 95°C para evitar la ebullición del líquido, la cual ocasiona turbulencia dentro del clarificador, impidiendo la separación. **(Fuente Ley de Stokes4)**

## EL CLARIFICADOR CONTINUO

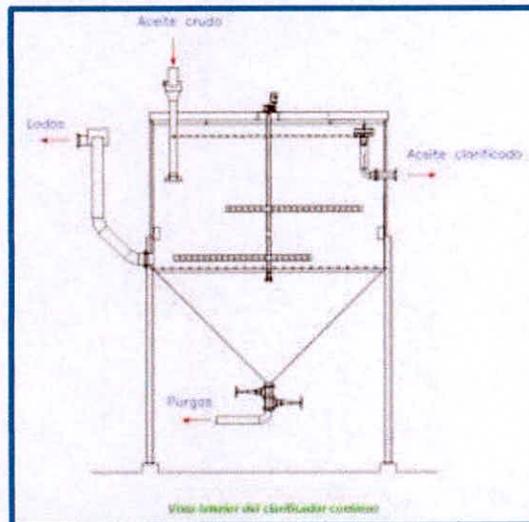
El aceite crudo es bombeado hacia el clarificador, el cual tiene un ciclón de alimentación que cumple la función de disipar la presión con la cual se transporta el líquido, evitando la turbulencia al interior del equipo.

No se calienta permanentemente la mezcla en el tanque con el uso de vapor directo para evitar la formación de turbulencia ya que ésta haría que tiendan a mezclarse nuevamente las capas separadas.

El aceite se alimenta en una zona por debajo de la capa de aceite, a una distancia tal que se pueda alcanzar la separación en un tiempo relativamente rápido.

Los lodos tienden a arrastrar el aceite que queda ocluido en ellos (atrapado). Para reducir estas pérdidas, el clarificador posee un sistema de agitación llamado de "fuerzas cortantes", por medio de un eje central y paletas rotatorias con orificios los cuales "cortan" los lodos liberando el aceite atrapado. El clarificador tiene también ángulos y paletas fijas que ayudan a retener los lodos para que no giren junto con el agitador. **(Elaboración propia)**

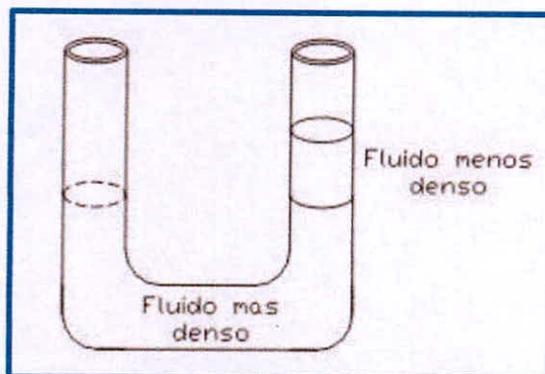
**Gráfico N° 02: Vista interior del Clarificador.**



**Fuente: Cenipalma**

La capa de aceite se forma porque se coloca la salida del aceite por encima del nivel de la salida de las aguas lodosas. La salida de los lodos ocurre debido al principio de los vasos comunicantes.

**Gráfico N° 03: Densidad de Fluidos.**



**Fuente: Cenipalma**

La salida del aceite debe estar a unos 5 cm por encima de la del agua para obtener una capa de aceite de aproximadamente 30 - 40 cm de manera continua (máximo 50 cm). Cuando la capa es muy pequeña el aceite tiende a salir mezclado con lodos. Por el contrario, cuando la capa es demasiado grande, la mezcla nueva que entra al clarificador no tiene espacio suficiente para separarse y entonces salen los lodos con un alto contenido de aceite.

- a) La temperatura de la mezcla dentro del equipo debe mantenerse entre 90 y 95°C.
- b) La dilución (cantidad de agua en la mezcla) debe ser la adecuada de forma que el porcentaje de sólidos en peso sobre el total de aguas lodosas debe ser de aproximadamente 5.5% (corresponde a un 25 a 30% de agua en porcentaje volumétrico). Este análisis se realiza en el laboratorio.
- c) El turno de la mañana debe realizar un drenaje del clarificador por un tiempo por un tiempo corto y en un volumen determinado, justamente para

sacar la arena sedimentada con el fin de mejorar el trabajo de las centrifugas.

El volumen del drenaje la purga puede ser de 3 a 4 m<sup>3</sup> por clarificador.

d) Únicamente en la mañana se debe inyectar vapor directo con el objetivo de remover el aceite de los lodos, por un tiempo entre 5 y 10 minutos, después de drenar el clarificador.

e) Se abre el vapor en el serpentín de calefacción indirecto por unas dos horas, para ayudar a recuperar y mantener la temperatura y después se cierra la válvula. En algunas plantas se acostumbra a dejar el vapor indirecto durante todo el día.

f) Durante el día se deben inspeccionar las temperaturas tanto en el intercambiador como en el clarificador.

g) Los lodos livianos tienden a subir y formar espuma debido a las burbujas de vapor que se desprenden dentro del equipo y que los arrastra hacia la superficie. La presencia de gran cantidad de espuma, indica un exceso de lodos livianos en el aceite. Con la inyección medida de vapor directo en la parte superior de la capa de aceite, se hidratan dichos lodos haciéndolos más pesados y así bajan nuevamente. Cuando desaparece la espuma se reduce el flujo de vapor, sin cerrar completamente la válvula, con el fin además de compensar las pérdidas de calor que ocurren a través de la tapa del clarificador.

h) El equipo clarificador debe trabajar de manera continua, con una alimentación regular. Después de ajustar la altura del plato de salida del aceite, no se le modifica ni tampoco se interrumpe la descarga de aceite, con el fin de lograr una mayor eficiencia. **(Elaboración propia)**

- e) El orificio de todas las boquillas debe tener igual diámetro, para no causar un desbalance de la máquina (preferible = 1.7 mm).
- f) Es importante mantener los ciclones desarenadores y los filtros de cepillo en buen estado mecánico y de funcionamiento para una correcta limpieza de las aguas lodosas y asegurar así la operación adecuada y constante de las centrífugas.
- g) Tal como se menciona anteriormente en el laboratorio se determina el nivel de apertura de la válvula de recuperación de aceite. Si esta válvula se abre demasiado, el aceite sale con lodos livianos y se retorna gran cantidad de líquido a la clarificación restándole capacidad. Si por el contrario se abre muy poco se corre el riesgo de que se incrementen las pérdidas de aceite en las aguas lodosas descargadas a través de las boquillas y saliendo por la parte inferior de la máquina. **(Elaboración propia)**

**Gráfico N° 04: Centrifuga de Lodos.**



**Fuente: Cenipalma**

## **DESVENTAJAS:**

- ✓ Mayor contenido de impurezas en el aceite clarificado.
- ✓ Mayor contenido de humedad en el aceite clarificado.

## **ASPECTOS POR MEJORAR EN EL DISEÑO DEL PRECLARIFICADOR.**

- La disposición de la unidad de bombeo de lodos con una alta trayectoria de descarga hace que las pérdidas térmicas sean mayores, aumentando los tiempos de clarificación convencional. Para corregir esto se ha proyectado el montaje de una columna recalentadora y el aislamiento térmico de la tubería.
- Se encuentra en estudio la incursión de otro baffle para acentuar el comportamiento laminar del flujo aumentando las restricciones pasivas. La eficiencia en la recuperación de aceite es del 90%, valor que la organización pretende aumentar todavía más.
- Aislar térmicamente el tanque.
- Configurar un tablero único de control para los equipos vinculados al proceso de clarificación y recuperación de aceite en lodos, con el fin de disminuir el número de movimientos. (Elaboración Propia)

## **LIMITACIONES EN EL DISEÑO DEL PRECLARIFICADOR.**

- La dilución del lodo que ingresa al clarificador convencional pierde las concentraciones ideales para el proceso. Corregir el exceso de agua produciría mayor concentración de lodos pesados y podría dar origen a problemas técnicos en el centrifugado.
- La temperatura de alimentación del licor de prensas debe ser mínimo 90°C, para lograr una óptima separación de aceite.

- La altura de la capa de aceite en el preclarificador debe ser 400 mm, aproximadamente, para obtener la mayor calidad posible en el aceite recuperado y las pérdidas volumétricas de aceite en lodos sean menores.

Todos los cálculos justificativos del Diseño de un Preclarificador para una Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr, se encuentran en el capítulo IV Resultados y Discusión de Resultados. (Elaboración Propia)

### **2.3 OPERACIÓN DE UN PRECLARIFICADOR**

En este capítulo se presenta de manera descriptiva la correcta operación del preclarificador y cada uno de los factores a tener en cuenta para que este equipo trabaje eficientemente. Para su buen funcionamiento, se debe controlar la temperatura, dilución, niveles de aceite y lodos para mantener una capa de aceite que permita bajas impurezas. Para una mejor ilustración se describen los siguientes pasos:

#### **Antes del arranque del equipo**

- Verificar que cada una de las bombas, tanto de aceite crudo recuperado como de lodos expreclarificados, operen correctamente.
- Verificar que cada una de las válvulas de succión y descarga de las bombas mencionadas estén abiertas. De igual forma, verificar que las válvulas de aceite recuperado de los preclarificadores estén abiertas.

- Si es inicio de semana, verificar que el preclarificador tenga un nivel considerado de sello hidráulico adecuado, que la válvula de vapor en el serpentín esté abierta y la trampa de condensado operando.

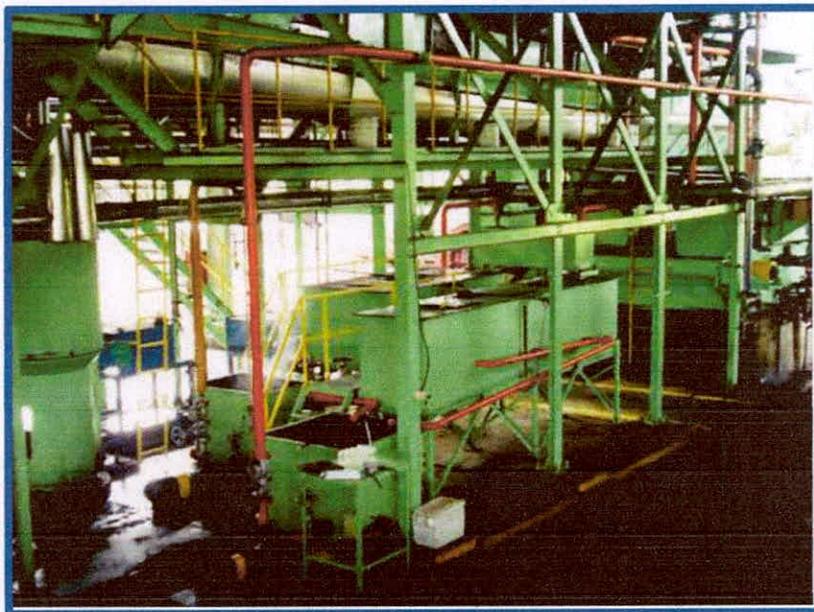
### **Arranque y estabilización**

Hasta que se inicie el rebose de lodos expreclarificados por el vaso comunicante, mantener a máxima altura los colectores de aceite por encima de la superficie del líquido.

- Una vez haya iniciado el rebose de lodos expreclarificados por el vaso comunicante, bajar los colectores al nivel de superficie del aceite hasta comenzar a coleccionar y dejar en esta posición.
- En caso de encontrar la capa de lodos por encima de lo normal, revisar el nivel de dilución de licor de prensa y el flujo de agua que está entrando al proceso e informar al jefe de turno.
- Finalización de proceso y stand by del equipo: ajustar las válvulas de licor de prensa y agua de dilución al sistema de clarificación normal, cerrar las válvulas de descarga de lodos. Stand by: como referencia se sugiere que aproximadamente tres horas antes de finalizar el proceso, recuperar la capa de aceite bajando las campanas de recuperación. Luego, abrir totalmente las válvulas de purgas, alimentar agua limpia por tuberías de vertedero y descargar todo el flujo. Para finalizar, lavar los tanques preclarificadores por dentro y por fuera. Se recomienda que los lodos evacuados del sistema sean enviados al tanque de lodos de alimentación a centrífugas, evitando enviarlos directamente a los florentinos.

### Otros aspectos a tener en cuenta:

- Revisar la temperatura del preclarificador para evitar la ebullición del aceite dentro de este, se recomienda mantener una temperatura entre 85 y 95 °C. Para esto se debe tener un sistema de calentamiento en el interior del pre-clarificador y suministrar vapor indirecto cuando sea necesario.
- Ajustar el sistema de calentamiento con serpentines a vapor para mantener la temperatura mencionada, evitando sobrecalentamientos del licor de prensa. Revisar la correcta operación de las trampas de condensado de vapor.
- Revisar la temperatura del licor de prensas a la entrada del preclarificador.
- Revisar la dilución de licor de prensas, se recomienda 1,4 aceite/agua.



**Figura N° 01: Preclarificador en Procesos**

## **2.4 PROCESO DE PRODUCCION**

### **2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA**

#### **A. COSECHA – ACOPIO**

Se debe efectuar en condiciones adecuadas y con un estricto control de calidad en el acopio de RFF, afin de obtener un rendimiento elevado tanto en la cantidad y calidad del aceite crudo. Uno de los criterios más importantes para cosechar el racimo en su estado de madurez óptimo es cuando sedes prende al menos 1 – 2 frutos de racimo.

Para la cosecha se utiliza como herramienta el cincel; una vez realizada la cosecha los racimos son trasportados hacia el lugar de acopio que consta de una tarima o plataforma que está ubicada al borde de la carretera donde son contados para obtener un peso promedio por parcela.

Es absolutamente necesario contar con un buen lugar de acopio ya que esto nos permite hacer un buen control de calidad y tomar datos estadísticos importantes para el control del Departamento Técnico.

#### **Gráfico N° 05: Cosecha y Acopio de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente (Fedepalma, 2004)**

## **B. TRANSPORTE**

El transporte es realizado por camiones que tienen una capacidad de 5TM, los cuales son llenados por el personal y con el cuidado permite, luego de ser llenados son transportados lo más rápido posible a la planta para su proceso.

**Gráfico N° 06: Transporte de Racimos de Fruto Fresco.**

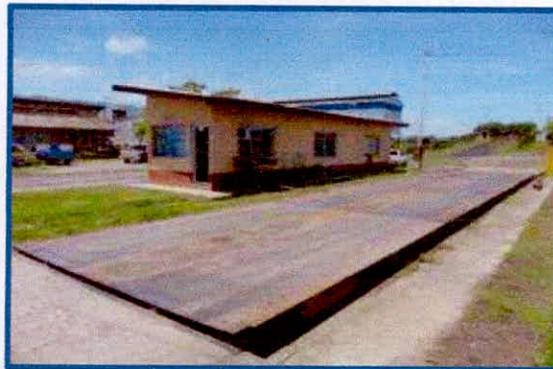


**Fuente (Fedepalma, 2004)**

## **C. PESADO**

Los camiones al llegar a la planta extractora llenas de fruto fresco se pesan en la balanza de plataforma obteniendo un peso bruto, una vez pesado, el vehículo se dirige hacia la tolva donde se descarga la materia prima para luego vaciarla en los vagones, los cuales son transportados hacia el esterilizado. El peso real de los racimos de fruto fresco se obtiene por diferencia de la tara del vehículo, el cual viene a ser materia prima.

**Gráfico N° 7: Pesado de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente (Fedepalma, 2004)**

#### **D. RECEPCIÓN DE RACIMOS DE FRUTOS FRESCOS**

Los racimos de fruto fresco (RFF) son cortados en la plantación de palma aceitera y transportados a la “planta extractora de palma”, tan pronto que sea posible para su inmediato procedimiento.

Los racimos son transportados en vehículos y descargados en las rampas de descarga y luego colocados en cestas de esterilizado.

Es importante mencionar que se debe tener bastante cuidado en el cortado, manipuleo y transporte de RFF de tal manera que los RFF no sean dañados. Los daños de los frutos de Palma deterioran la calidad de aceite crudo de palma.

En la rampa de descarga se hace un control de calidad de la carga decepcionada.

- Presencia de frutos verdes.
- Presencia de frutos sobre maduros.
- Presencia con pedúnculos largos.

- Racimos enfermos.
- Contabilizar frutos sueltos.
- Control de racimos cartenogénicos.
- Control de elementos nocivos (Basura, tierra, arena, maleza).

**Gráfico N° 8: Recepción de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente (Fedepalma, 2004)**

### **E. ESTERILIZADO**

La esterilización recibe los racimos de palma que alcanzan su estado óptimo de madurez, se inicia un proceso bioquímico de descomposición de aceite, gracias al cual se forman ácidos grasos libres (Ortiz, 2009).

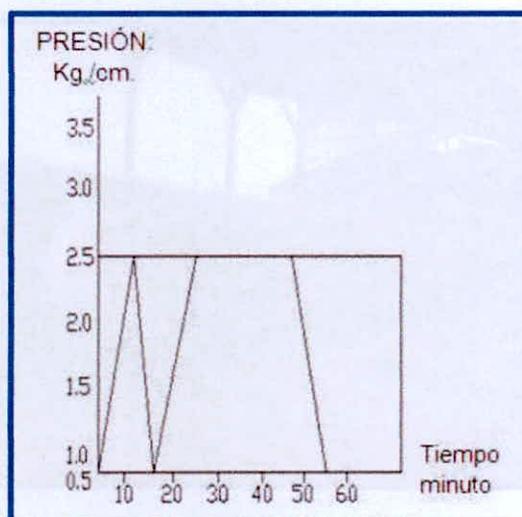
Este proceso se conoce como acidificación y se acelera cuando los racimos han sido cortados de la palma. Así mismo con el proceso de maduración, los frutos se desprenden del racimo de forma natural. La contextura del mesocarpio es muy fibrosa y el aceite contenido tiene viscosidad alta. Con la esterilización se busca detener el proceso de acidificación, acelerar el proceso natural del desprendimiento de los frutos y facilitar la extracción de aceite

ablandando los tejidos de la pulpa. En esta esterilización se puede perder hasta el 10% del peso de los frutos procesados. (Nuñez y Ramirez, 2004)

Después de cargar las cestas de esterilizado, los racimos son sometidos a un tratamiento térmico en un esterilizador horizontal. Se inyecta vapor saturado a una presión de 3 bar y a una temperatura de 140°C es usado como un medio de calentamiento. Usualmente el ciclo de esterilizado esta entre 75 a 90 minutos. (Alvarado, 2010)

Se ha realizado una serie de pruebas de operación siendo el siguiente el que grafica las más importantes.

**Gráfico N° 9: Presión vs Tiempo en el Esterilizador.**



**Fuente (Fedepalma, 2004)**

Como consecuencias de esta operación, hay mejor desprendimiento de fibra en la parte superior del Palmiste; por lo que hay un aumento de combustible y una mejora en la capacidad calorífica.

Sin embargo la eficiencia del desfrutado está condicionada a dos parámetros que no depende en sí de los equipos dispuestos para la operación misma.

- ❖ El estado de madurez de los racimos fresco.
- ❖ La esterilización.

El desfrutamiento es esencialmente con racimos maduros, correctamente esterilizados y calientes, por el contrario racimos verdes ó insuficientemente esterilizados, desgrana, mal.

Un buen desfrutamiento significa:

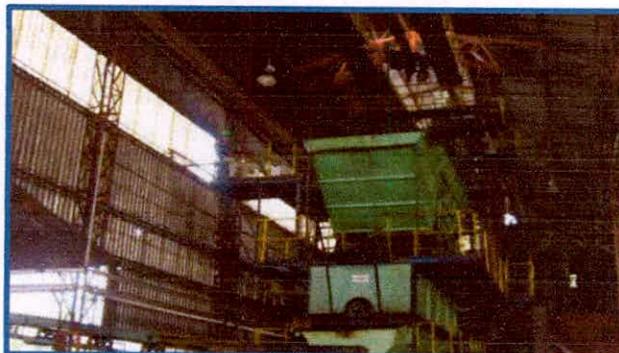
- ❖ Que los frutos sean golpeados y retirados del raquis
- ❖ Que los racimos giren regularmente
- ❖ Que los racimos se transporten a lo largo del desfrutador
- ❖ Que solo los foliolos y los frutos se retiren pero que las espigas y los caquis no se destrocen.

Un desfrutador es regularmente controlado, los parámetros de ajuste son:

- ❖ Velocidad de rotación de los brazos
- ❖ Disposición de los brazos en el eje

Los frutos desprendidos pasan a un comportamiento inferior donde un transportador de tornillo sin fin los evacua del desfrutador. (Alvarado, 2010)

**Gráfico N° 11: Desfrutado de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente: Cenipalma**

### **G. MALAXADO O DIGESTADO**

La digestión comprende el malaxado de frutos de palma bajo condiciones de calentamiento con inyección de vapor directo.

El digestor consiste de un tanque cilíndrico vertical con un eje rotativo que tiene un número determinado de brazos cortantes, los frutos malaxados por la acción rotativa de los brazos, este malaxado de los frutos bajo calentamiento rompe la célula del mesocarpio, es absolutamente necesario trabajar con el malaxador lleno, los que no permite una buena maceración de frutas y un control estricto del nivel fijado, lo que nos permite tener la presión adecuada para romper las células oleosas y no se pierde demasiado aceite en la fibra. (Nuñez y Ramirez, 2004)

El tamaño del digestor está en la reacción con la capacidad del sistema de extracción; el suministro de vapor debe garantizar que la masa dirigida deje el digestor a una temperatura entre 90° C y 100° C. (Nuñez y Ramirez, 2004)

**Gráfico N° 12: Malaxado de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente: Cenipalma**

## **H. PRENSADO**

Esta etapa de prensado se busca extraer la fracción líquida de la masa de los frutos que salen del digestor y está compuesta por aceite de la pulpa de palma, por agua y por una cierta cantidad de sólidos que quedan en suspensión en el agua. La masa desaceitada (torta) la cual está compuesta por fibras y nueces para el proceso de desfibración.

Este proceso se efectúa en prensas de tornillo sinfín continuas, las cuales están compuestas por una canasta perforada horizontal de forma cilíndrica doble y por dos tornillos de tipo sinfín. Los frutos dirigidos son prensados dentro de la canasta por acción de dos tornillos sinfín de paso regresivo, girando paralelamente en sentido contrario. (Rodríguez, 2011)

La mezcla extraída es llamada licor de prensa, contiene agua, impurezas orgánicas e inorgánicas dichas mezcla es enviada al proceso de clarificación (Nuñez y Ramirez, 2004).

La eficiencia de la etapa de prensado se debe medir según las pérdidas de aceite en las fibras y el contenido de nueces rotas en la torta, teniendo en cuenta la presión (ajuste de los conos), la composición de frutos (% de pulpa / % de nueces) y el espesor de cuesco (cascara que cubre la almendra). (Rodríguez, 2011)

El objetivo de esta etapa es romper mediante calor y presión mecánicamente las celdas que contiene el aceite del mesocarpio, la presión aplicada debe ser tal que se extraiga la mayor cantidad del aceite y se minimice la rotura de almendra y nueces. (Ortiz, 2009)

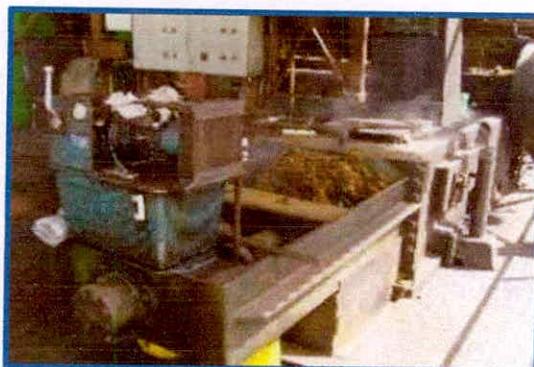
Las prensas hidráulicas tienen las siguientes ventajas

- ❖ Mejor rendimiento de extracción al dejar menos aceite en la fibra.
- ❖ Menos consumo de energía por TM/ Fruta.
- ❖ Menos espacio por TM de fruto.
- ❖ Instalación muy simple.

**COMPARATIVAMENTE LAS DESVENTAJAS SON:**

- ❖ Mayor desgaste por abrasión.
- ❖ Mayor porcentaje de nueces rotas.
- ❖ Mayor porcentaje de sólidos en el aceite Extraído.

**Gráfico N° 13: Prensado de Racimos de Fruto Fresco.**



**Fuente: Cenipalma**

### **I. TAMIZADO**

Se realiza en un tamiz vibratorio con la finalidad de facilitar la separación de impurezas (fibrillas y arenas); provenientes de la descarga del aceite bruto del prensado y es diluida con agua caliente a 95° C, así mismo el tamizado va permitir en cierto grado la disminución de la turbulencia facilitando su transporte por medio de una bomba al tanque precalentador, donde se aminora la turbulencia del fluido obteniendo como resultado un flujo estable para evitar la presencia del oxígeno que deteriora el aceite. (Nuñez y Ramirez, 2004).

**Gráfico N° 14: Tamizado de Aceite Crudo de Palma.**



**Fuente: Cenipalma**

## J. CLARIFICACIÓN

El aceite crudo de Palma consiste de una mezcla de aceite de Palma (35% - 45%), agua (45% - 55%) y materiales fibrosos en variadas proporciones. Es Bombeado a un decantador horizontal continuo para la separación del aceite. El aceite clarificado es continuamente separado de la parte superior del decantador y luego es pasado a través de un secador de aceite para evaporar la humedad. El aceite en esta etapa debe quedar con una humedad aproximadamente 01.% el fondo del tanque decantador está compuesto por lodos que contienen aceite, este es recuperado pasando los lodos a través de centrifugas recuperadoras de aceite.

Durante la esterilización se pueden producir los siguientes fenómenos:

- ❖ Los coloides desaparecen debido a hidrólisis o a descomposición térmica.
- ❖ Los coloides permanecen como tal, en el fruto ya esterilizado.
- ❖ Se forma una nueva materia coloidal, como el pasos de las peptinas a protepeptivas.

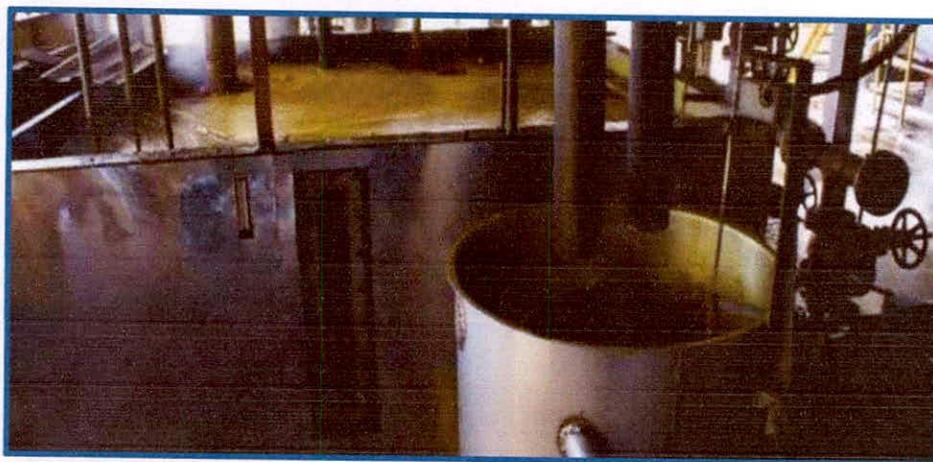
Para la descomposición de la mayor parte del material coloidal la temperatura en la esterilización debe estar por encima de 100° C si esta temperatura no se alcanza.

El tanque clarificador sirve para el propósito de separar del aceite crudo el aceite de Palma, mediante el proceso de la decantación estática.

Tanque de Lodos.- las aguas lodosas que salen del clarificador contiene aún cantidades importantes de aceite, que en el caso de algunas plantas se pueden recuperar utilizando una segunda clarificación.

Secadora de Aceite.- Con el fin de evitar daños posteriores al aceite por hidrólisis auto-catalítica y costos de transportes de agua, el aceite se debe secar, el aceite de palma tiene una humedad de equilibrio de 0.18%.

**Gráfico N° 15: Clarificador de Aceite Crudo de Palma.**



**Fuente: Cenipalma**

## **K. SECADO**

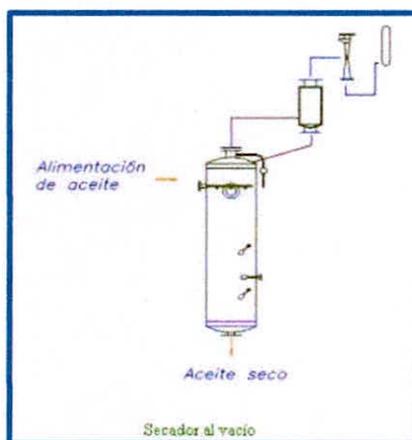
Luego de que el aceite crudo es reclasificado se transporta al tanque se secado que consta de dos tanques secadores provistos de un sistema de serpentines donde el aceite se encuentra a una temperatura de 90 a 95° C por un tiempo de 3 horas. El secado se realiza con la finalidad de evitar daños posteriores al aceite por efecto de la hidrólisis auto catalítica, el aceite se deshidrata y el agua se elimina hasta un contenido de humedad inferior al 0.2% teniendo cuidado de no quemar el aceite, provocando un aumento de su color.

El aceite entra a la columna de secado a través de unas boquillas llamadas de "Lechler" que incrementan el área de contacto del aceite con el vacío, formando en la descarga láminas cónicas con lo cual se obtiene un secado más eficiente. Al secador de vacío se le coloca en la entrada una válvula reguladora que sólo se abre cuando haya presión por bombeo de aceite y se cierra cuando no hay presión, evitando la entrada de aire y por lo tanto la pérdida del vacío.

La columna de secado está provista también, en su parte superior, de una placa en forma de "gorro chino" para reducir el arrastre de aceite por la succión del vacío. Para recuperar el poco aceite que sale por el conducto de succión hay un ciclón que lo retorna hacia el secador.

La columna de secado se encuentra ubicada a una altura de unos 6 m por la razón de que se requiere una cierta altura en la columna de aceite en el tubo de descarga hacia la bomba de tal manera que se compense en parte el fuerte vacío dentro del equipo y se facilite el trabajo de la bomba de aceite seco. Este equipo tiene además unos interruptores eléctricos del tipo de flotador para operar la bomba de aceite seco. (Elaboración propia)

**Gráfico N° 16: Sedimentador de Aceite.**



**Fuente: Cenipalma**

## L. PALMISTERIA

Bajo el nombre de palmisteria se conoce a todas las actividades y equipos necesarios para acondicionar la nuez y recuperar su almendra, llamada también palmiste. Las modificaciones que necesariamente una nuez debe sufrir para poder retirar intacta su almendra por rompimiento mecánico son:

- ❖ Desprendimiento de la almendra de la pared de la nuez
- ❖ Desprendimiento del volumen de la almendra por secamiento parcial

En una nuez viva, la almendra se adhiere fuertemente a la cara interior de la nuez por medio de una película coloidal.

La almendra contiene en promedio 20 a 25 % de humedad; para lograr una recuperación aceptable, esta humedad debe disminuir hasta 10% a 12%.

Por todo ello el secamiento debe operarse a una temperatura tan baja como sea posible y en todo caso inferior a 60° C.

El secamiento puede hacerse;

- ❖ Secadores de tarima.
- ❖ Secadores de tambor Rotatorio.
- ❖ Silo secador.

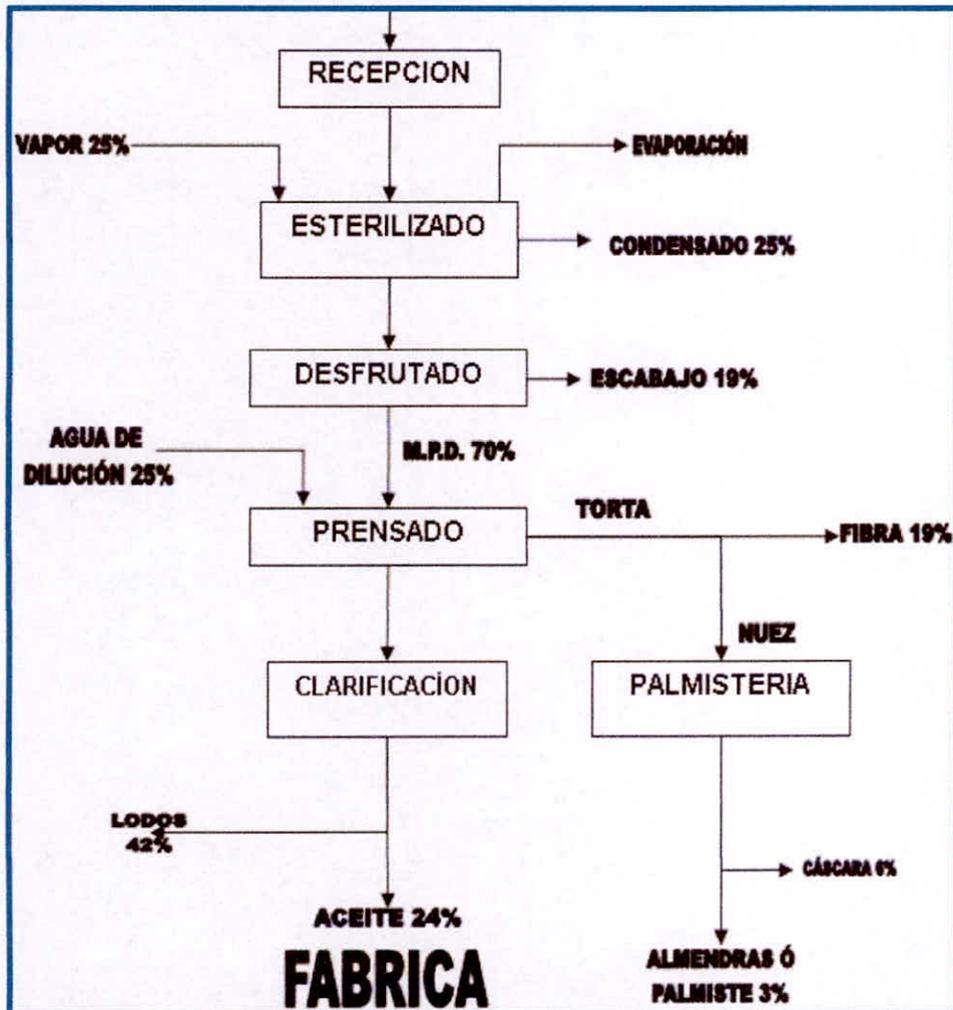
La cascara o cuesco puede usarse como combustible en las calderas o para adecuación o mantenimiento de las vías internas en las plantaciones

(Fedepalma 2002)

## M. ALMACENAMIENTO

Una vez realizado el secado, el aceite es bombeado a los tanques de almacenamiento a través de tuberías. Los tanques se stock poseen serpentines manteniendo el aceite crudo a una temperatura de 60 ° C, para poder evitar la oxidación. El tiempo de almacenamiento en la fábrica va a depender del peróxido promedio del aceite, de esta forma no se corre el riesgo de que se incremente la acidez del aceite.

Grafico N° 17: DIAGRAMA DE FLUJO.



Fuente: Elaboración Propia

## **EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS LODOSAS**

Los lodos del clarificador pasan al tanque receptor de aguas lodosas y de allí se bombean a los ciclones desarenadores, los cuales son fabricados en material de cerámica y son automáticos, para una mayor duración y una reducción de las pérdidas de aceite en los lodos pesados separados.

Los ciclones desarenadores eliminan la mayor parte de los sólidos pesados (arena), con lo cual se protege a las centrífugas de un posible taponamiento de las boquillas y se disminuye su desgaste. Las aguas lodosas desarenadas van a un tanque pulmón de alimentación a las centrífugas deslodadoras. De allí, pasan a los filtros de cepillo para eliminar las partículas sólidas de tamaño grande pero que a la vez son livianas y que no se separan en los ciclones desarenadores y finalmente son alimentadas a las centrífugas deslodadoras.

Los tanques pulmón mantienen constante la alimentación de lodos a las centrífugas. Estos tanques disponen de una entrada de agua caliente que funciona con una válvula de flotador cuando se baja el nivel de lodos. En el nivel bajo se dispone también de un interruptor de flotador que acciona una alarma.

**CAPITULO III**  
**MATERIALES Y METODOS**

### **3.1 MATERIALES**

#### **3.1.1 EQUIPOS**

##### **A. RECEPCIÓN**

- |  |       |
|--|-------|
| 1. Una (1) báscula para camiones                       | 60 Tn |
| 2. Un (1) elevador hidráulico de camiones              | 12 Tn |
| 3. Tres (3) tolvas de recepción de frutos              | 45 Tn |
| 4. Un (1) transportador de cadena de arrastre del Tipo |       |
| 5. REEDLER para transporte de frutos sin esterilizador | 10 Tn |

##### **B. ESTERILIZACION CONTINUA**

- |   |       |
|---|-------|
| 1. Un (1) Acondicionador de racimos   | 10 Tn |
| 2. Un (1) Transportador Pre-Calentador para transporte de Fruto a acondicionador de racimos | 10 Tn |
| 3. Un (1) esterilizador continuo para 10 Tm/H   | 10 Tn |
| 4. Una (1) automatización para el esterilizador continuo                                    | 10 Tn |
| 5. Una (1) plataforma de inspección para el esterilizador Continúo                          | 10 Tn |
| 6. Un (1) tanque de almacenamiento de condensados y Una (1) bomba para condensados          | 10 Tn |

##### **C. DESFRUTADO**

- |   |       |
|---|-------|
| 1. Un (1) transportador Reddler para alimentar el desfrutador | 45 Tn |
| 2. Un (1) desfrutador de tambor rotatorio para racimos.       | 45 Tn |
| 3. Un (1) transportador para raquis                           | 45 Tn |
| 4. Un (1) tambor de volteo para vagonetas de ton              | 45 Tn |

## D. EXTRACCIÓN

1. Un (1) Sistema de post-calentamiento de frutos	10 Tn
2. Un (1) transportador de frutos al elevador	10 Tn
3. Un (1) Elevador de frutos	10 Tn
4. Un (1) recipiente para post-calentamiento	10 Tn
5. Un (1) transportador de frutos de post-calentamiento	10 Tn
6. Un (1) transportador distribuidor de frutos	10 Tn
7. Un (1) digestor horizontal de frutos de 3,500 litros	10 Tn
8. Una (1) prensa continua horizontal de doble tornillo de 20tn Racimo /hora	20 Tn
9. Una (1) estructura metálica de extracción	10 Tn

## E. CLARIFICACIÓN

1. Un (1) tamiz circular de doble delk	10 Tn
2. Una (1) estructura metálica para tamiz vibratorio	10 Tn
3. Un (1) transportador de afrecho	10 Tn
4. Un (1) tanque decantador – pre clarificador de aceite crudo	10 Tn
5. Un (1) tanque de aceite separado	10 Tn
6. Una (1) bomba de aceite separado	10 Tn
7. Un (1) tanque de aceite crudo	10 Tn
8. Una (1) bomba de aceite crudo	10 Tn
9. Una (1) columna para recalentamiento del aceite crudo mas Ciclón disipador	10 Tn
10. Una (1) bomba centrifuga para el desarenador	10 Tn
11. Un (1) hidrociclón para el desarrendó de las aguas lodosas	10 Tn
12. Un (1) tanque sedimentador de aceite	10 Tn

13. Una (1) bomba para aceite sedimentado	10 Tn
14. Un (1) secador de aceite al vacío	10 Tn
15. Una (1) bomba para aceite terminado	10 Tn
16. Un (1) calentador de agua operación bajo presión	10 Tn
17. Una (1) estructura y plataformas de clarificación	10 Tn
18. Un (1) tanque pulmón de aceite	10 Tn
19. Un (1) Tricanter horizontal de tres fases	10 Tn
20. Un (1) transportador de sólidos de tricanter	10 Tn
21. Un (1) tanque de aceite a la salida del tricanter	10 Tn
22. Una (1) bomba para aceite a la salida del tricanter	10 Tn
23. Una (1) bomba para aguas aceitosas	10 Tn

#### **F. MANEJO DE EFLUENTES**

1. Una (1) bomba para aguas de desecho.
2. Un (1) tanque para trampa de grasa o florentino.
3. Una (1) bomba para aceite recuperado en las trampas de grasa o florentino.
4. Una (1) bomba para aguas lodosas a lagunas.

#### **G. DESFIBRACIÓN**

1. Un (1) transportador secador de torta.
2. Un (1) desfibrador neumático completo.
  - 2.1. Una (1) columna de separación
  - 2.2. Un (1) ventilador de aire.
    - 2.3. Una (1) válvula rotatoria completa
    - 2.4. Un (1) ciclón de fibras.
    - 2.5. Conductores para transporte de fibras.

## 2.6. Estructura de soporte.

3. Tambor pulidor de nueces.

### **H. PALMISTERIA**

1. Un (1) elevador para nueces frescas hacia el silo.
2. Un (1) silo para almacenamiento y secado de nueces.
3. Un (1) transportador de nueces del silo al elevador.
4. Un (1) elevador para nueces a sistema neumático.
5. Un (1) sistema neumático para transporte de nueces con eliminación de piedra.
6. Un (1) tambor clasificador de nueces.
7. Tolvas y conductos de descarga para alimentación a los molinos.
8. Dos (2) molinos de nueces tipo "Ripple".
9. Un (1) transportador de mezcla triturada al sistema de separación neumático.
10. Un (1) separador neumático de tres fases.
11. Un (1) transportador neumático de cáscaras hacia el silo.
12. Un (1) silo para cáscaras.
13. Un (1) sistema de hidrociclones para la separación de cáscaras y almendras.
14. Un (1) elevador para almendras al silo de secado.
15. Un (1) silo secador de almendras.
16. Un (1) transportador de almendras secas.
17. Una (1) estructura y plataformas para la sección de palmisteria.

## **I. PLANTA EXTRACCIÓN DE ACEITE Y TORTA DE PALMISTE**

1. Un (1) imán permanente.
2. Un (1) elevador para almendras al transportador a tolvas.
3. Un (1) transportador distribuidor de almendras a las prensas.
4. Dos (2) tolvas de alimentación a las prensas.
5. Dos (2) prensas para extracción de aceite de almendras de 10 TPD c/u (toneladas de almendras/ día de 24 horas).
6. Un (1) transportador sinfín principal de torta extractada.
7. Un (1) molino de martillo para torta extractada.
8. Un (1) elevador de torta para alimentar tolva de empaque.
9. Una (1) tolva de empaque para torta de palmiste.
10. Un (1) transportador de aceite turbio bajo las prensas.
11. Un (1) tanque recolector de aceite turbio de prensa, con agitador.
12. Una (1) bomba de aceite turbio a tamiz.
13. Un (1) tamiz aceite vibrante.
14. Una (1) tanque aceite tamizado.
15. Una (1) bomba de aceite tamizado a filtro.
16. Un (1) filtro prensa.
17. Un (1) tanque aceite filtrado.
18. Una (1) bomba de aceite terminado.
19. Una (1) estructura metálica planta aceite palmiste.

## **J. GENERADOR DE VAPOR**

1. Un (1) transportador Reddler para transporte de combustible a la caldera.

2. Una (1) caldera para producción de vapor del tipo combinado, alta presión, vapor sobrecalentado.
3. Un (1) tanque para alimentación de agua a la caldera.
4. Un (1) turbo alternador 800 kw.
5. Un (1) distribuidor de vapor.
6. Una (1) válvula reguladora.

#### **K. INSTALACIONES ELECTRICAS**

1. Un (1) equipo para corrección de factor de potencia.
2. Un (1) tablero eléctrico principal.
3. Seis (6) subtableros para control de motores de secciones.
4. Un (1) tablero y elementos eléctricos para planta extractora aceite palmiste.
5. Consolas para arranque y operación de los equipos.
6. Sistema de monitoreo del proceso.
7. Conductores eléctricos y accesorios.
8. Alumbrado interior, tomas a tierra y sistema de pararrayos.

#### **L. ALMACENAMIENTO Y DESPACHO ACEITE**

1. Un (1) tanque de almacenamiento de 600 TM.
2. Una (1) bomba para estación de despacho.
3. Un (1) sistema de despacho para aceite rojo.
4. Un (1) tanque de almacenamiento de 50 TM aceite palmiste.
5. Una (1) bomba para estación de despacho aceite palmiste.
6. Dos (2) sistemas de despacho para aceite de palmiste.

## **M. TRATAMIENTO DE AGUAS**

1. Una (1) planta para tratamiento de agua.
2. Tratamiento de aguas para caldero.
3. Un (1) tanque elevado para almacenamiento de agua 60M<sup>3</sup>.

## **N. TRATAMIENTO DE AGUAS**

1. Estructura metálica con sus cubiertas
  - Edificio principal.
  - Calderas.
  - Recepción de frutas.
  - Esterilización.
  - Clarificación.
  - Florentino.
  - Planta de aceite palmiste.

## 3.2 METODOS

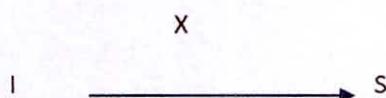
### 3.2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

#### A. Método de Investigación.

El presente trabajo de investigación es del tipo aplicativo, de naturaleza descriptiva, con un análisis de la influencia en la extracción del aceite de palma y el diseño de un preclarificador.

#### B. Diseño de Investigación.

El diseño de la investigación es del tipo descriptivo y aplicado, donde se dispondrá de la información necesaria en la mejora de la tasa de extracción.



I: Variable de Ingreso. (Racimos de fruta fresca)

S: Variable de Salida. (Aceite crudo de palma)

X: Cambios o manipulación. (Mecanismos legales y técnicos del proceso de extracción).

#### C. Universo y Población.

El universo lo conforman todas empresas procesadoras de aceite crudo de palma en la región Ucayali. La Muestra de estudio es la Empresa OLAMSA.

##### A. Variables de Estudio e Indicadores.

Variable Independiente: Instalación de un preclarificador.

Variable Dependiente: Tasa de extracción.

##### B. Indicadores.

Indicadores de las Variables Independientes:

- Longitud del preclarificador.
- Área del preclarificador.
- Espesor del preclarificador.

Indicadores de las Variable Dependiente:

- Calidad del aceite.
- Eficiencia de extracción (%)

C. Instrumentos de Investigación.

Reportes diarios de la tasa de extracción de la Empresa Oleaginosas Amazónicas SAC. Información del marco legal del comercializador de Aceite Crudo de palma, uso de material bibliográfico, catálogos y fichas técnicas, para elaborar sus hojas de cálculo.

### **3.2.2 TIPO DE INVESTIGACION**

La Investigación tiene las siguientes características

- Según su naturaleza o profundidad es Descriptiva: La Investigación es del tipo descriptiva, ya que permite conocer la importancia del diseño de este Preclarificador en un proceso convencional y calcular en cuanto aumenta la tasa de extracción y mejorando así la eficiencia de la planta extractora de aceite crudo de palma.
- Según su aplicabilidad o propósito es Aplicada: Esta investigación permitirá tener una metodología básica para las futuras plantas convencionales de extracción de aceite de palma.

4.1 REALIZAR UN BALANCE DE ENERGÍA Y MATERIA PARA LA DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE LICOR DE PRENSA.

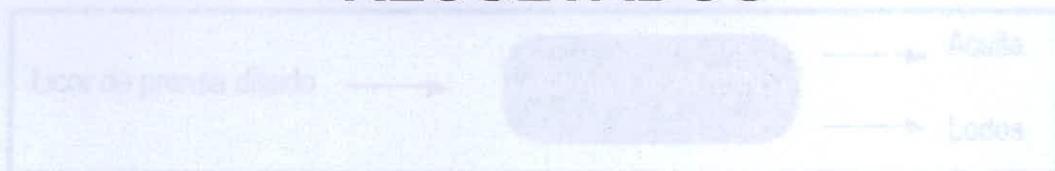
#### 4.1.1 BALANCE DE MASA PARA ACEITE EN CLARIFICACIÓN

En este capítulo se presenta el balance de masa general de clarificación para ilustrar los componentes que intervienen en esta etapa del proceso. Además se muestra cómo se pueden comportar los flujos de la etapa de clarificación con la implementación del precipitador de aceite.

La ley de conservación puede aplicarse a la masa total del sistema o a la de cualquier componente individual que pertenezca a éste. Parlando de la ley de conservación se dice que toda la masa que entra es igual a la masa que sale.

luego en clarificación se **CAPITULO IV**

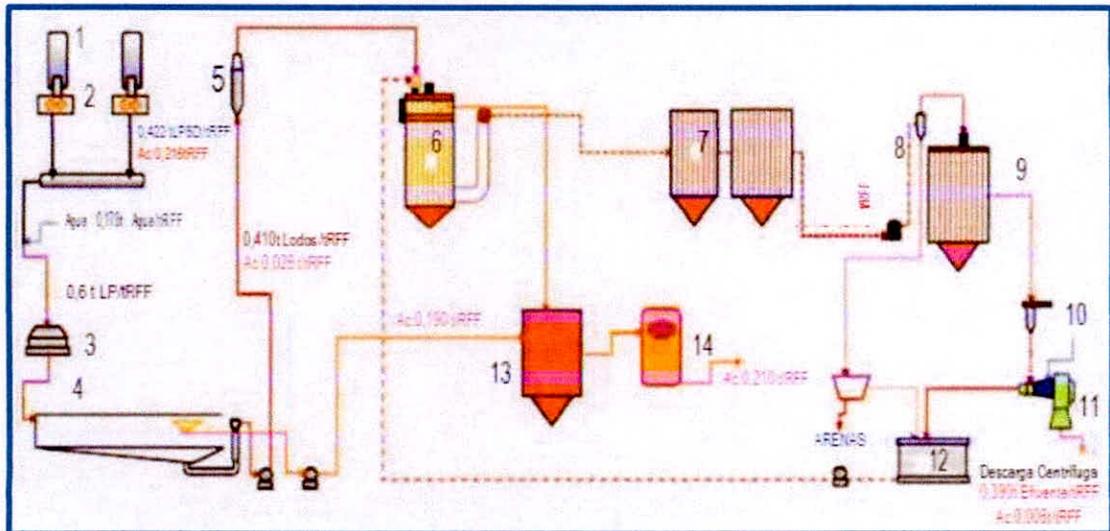
## **RESULTADOS Y DISCUSION DE RESULTADOS**



Fuente: Elaboración Propia

El gráfico 20 muestra el balance general de la clarificación que define los siguientes flujos: entrada del licor de prensa diluido y como salidas se tiene el aceite clarificado y los lodos efluentes de la etapa de clarificación. Balances realizados por Cenpalma en diferentes plantas del país permiten expresar en la Figura el balance de masa con relación a una tonelada de racimo procesado. En este sentido se expresan los flujos de aceite y lodos principales del proceso.

de clarificación cuando se incorpora el equipo preclarificador dentro del proceso de clarificación para las condiciones más favorables a tiempos de residencia de 60 minutos y eficiencias de separación de 88%.



**Gráfico N° 21: Balance de Masa en el Proceso de Clarificación Usando Preclarificador.**

1. Digestión.
2. Prensas.
3. Tamiz.
4. Preclarificador.
5. Calentador.
6. Clarificador licor de prensa.
7. Tanque lodos.
8. Ciclón desarenador.
9. Tanque pulmón de lodos.
10. Filtro cepillo.
11. Centrifuga.
12. Tanque de recuperados.

13. Tanque sedimentador.

14. Secador de aceite.

**Fuente: Elaboración Propia**

En este diagrama, los flujos de aceite y lodos se reportan en toneladas de masa por cada tonelada de racimo de fruto fresco procesado (RFF). En este proceso se incorporó el equipo preclarificador como parte integral del proceso de clarificación, el cual permite alcanzar 88 % de eficiencia en la recuperación del aceite total que ingresa al proceso con la preclarificación complementado con 8,81% en el sistema de clarificación convencional. De esta manera se obtiene una eficiencia de recuperación total de 97% que, expresado en términos de tasa de extracción de aceite, representan 21% aceite/RFF de 21,6% aceite/RFF que entran a clarificación.

**Beneficios Técnicos de la Implementación del Preclarificador:**

Luego de discutir diferentes aspectos que afectan la eficiencia de separación de aceite y por tanto motivan el uso de preclarificadores, se presentan a continuación otros beneficios obtenidos al implementar este tipo de equipos durante el proceso de clarificación de aceite crudo de palma.

**a. Capacidad**

Las relaciones de diseño usadas en sistemas de clarificación convencional son de 2,34 a 3 de clarificador/t RFF-hora para 4,5 o 5 horas de tiempo de residencia en los sedimentarios primarios, esperando una eficiencia en la recuperación de aceite del 89,5% (Nieto, García y Yáñez, 2008). La posibilidad de recuperar 88% del aceite total de la planta en equipos preclarificadores en un rango de 45 a 60 minutos, con una relación de 0,45 m<sup>3</sup> de preclarificador/t

RFF-hora (volumen preclarificador/capacidad de procesamiento), permite incrementar la capacidad de procesamiento con los mismos equipos de clarificación sumado al preclarificador, reduciendo las inversiones en equipos necesarias convencionalmente para ampliar una planta.

En términos generales un preclarificador permite incrementar la capacidad de clarificación en 20%. Por ejemplo, para una planta de beneficio de 40 t de RFF/ hora con sedimentador convencional de TRH 5 horas con capacidad de 100 m<sup>3</sup>, se puede instalar un preclarificador de 20 m<sup>3</sup>, lo cual sumado incrementa la capacidad de clarificación en un 20%. Lo anterior quiere decir que la planta de 40 t RFF/ hora, podría aumentar su procesamiento a 48 t RFF/hora con la instalación del preclarificador a un bajo costo de inversión en la etapa de clarificación.

#### **b. Calidad de aceite de palma**

Trabajos desarrollados han demostrado que recuperar el aceite en un menor tiempo, reduciendo el contacto con agua y lodos en presencia de temperaturas altas de proceso y no mezclarlo con otros aceites recirculados derivados de los subprocesos, mejora la calidad del aceite producido por la reducción en el porcentaje de ácidos grasos libres (%AGL).

Otros trabajos llevados a cabo en Palmagro, Monterrey, Aceites S.A., El Roble (Granados, 2004) y Aceites Manuelita S.A., han demostrado que existen diferencias favorables en la acidez del aceite recuperado del preclarificador en comparación con el aceite obtenido en procesos convencionales de clarificación. Dichas diferencias promedian valores entre 0,4 y 0,5 puntos porcentuales de menor acidez en el aceite recuperado del preclarificador.

Las diferencias encontradas en la acidez sugieren que hacerle un tratamiento de sedimentación y secado al aceite preclarificado en una línea independiente a la del aceite obtenido en el preclarificador, traería beneficios de calidad sobre el aceite final producido, sumado a los económicos por la bonificación adicional.

#### **4.1.2 DETERMINACIÓN DE FLUJO DE LICOR DE PRENSAS**

El segundo paso para determinar el diseño de un equipo preclarificador es conocer el flujo de licor de prensa que va a manejar el equipo. Este caudal se puede estimar de dos formas, la primera es haciendo aforos en planta en el tanque de crudo, midiendo el volumen acumulado en el tanque de área conocida con respecto al tiempo de llenado; y la segunda, teniendo en cuenta el porcentaje de la tasa de extracción de aceite (TEA), la eficiencia en clarificación y la capacidad de procesamiento. Las metodologías se describen a continuación.

##### **a. Medición del flujo de licor de prensa**

Para la estimación del flujo de licor de prensa, se necesita un tanque donde se pueda medir por diferencia de alturas el volumen de descarga de prensas. En este caso se usa el tanque de crudo como tanque de aforo. Esta medición debe hacerse con la planta de beneficio operando a máxima capacidad y en repetidas oportunidades en el día de proceso (se sugieren cinco repeticiones), durante dos semanas de procesamiento. El aforo del flujo de licor de prensa diluido, se ilustra en la Figura 02.

Flujo de aceite en t/h:

$$\text{Flujo} = \text{aceite} / \text{hora} \dots \dots \dots (02)$$

$$\text{Flujo aceite} = \left( \frac{\text{aceite}}{\text{hora}} \right) = \text{Cap. Proceso} \left( \frac{\text{t RFF}}{\text{hora}} \right) * \left( \frac{\% \text{TEA Ajustada}}{100} \right) = 45 \frac{\text{tRFF}}{\text{hora}} * \frac{21,6\%}{100}$$

Tomando la densidad del aceite de 0,86 t/ m<sup>3</sup>

$$Q_{\text{Aceite}} = \frac{t_{\text{Aceite}}}{\rho_{\text{Aceite}} \text{ t/m}^3} = \frac{9,74 \text{ t}_{\text{Aceite}}}{0,86 \text{ t/m}^3} = 11,33 \frac{\text{m}^3 \text{aceite}}{\text{hora}}$$

El volumen de aceite en una mezcla de licor de prensa diluido a 1,4 aceite/agua es de aproximadamente 40,37% como podrá verse en el ejemplo más adelante (vol / %vol).

$$Q_{\text{LPD}} = Q_{\text{Aceite}} / \% \text{ AC}_{\text{LPD}} * 100 \dots \dots \dots (03)$$

$$Q_{\text{LPD}} = \frac{Q_{\text{Aceite}}}{\% \text{ AC}_{\text{LPD}}} * 100 = \frac{11,33 \frac{\text{m}^3 \text{aceite}}{\text{hora}}}{40,37\%(\text{vol/vol})} * 100 = 28,06 \text{ m}^3 \frac{\text{LPD}}{\text{hora}}$$

Finalmente se estima que para una capacidad de 45 t RFF/hora con una tasa de extracción de 21% se tiene un flujo de licor de prensa diluido de 28,06.

#### 4.2 DETERMINAR LA GEOMETRÍA ÓPTIMA PARA EL PRECLARIFICADOR PARA EXTRACCIÓN DE ACEITE CRUDO DE PALMA.

##### CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PRECLARIFICADOR

A continuación se presenta el cálculo de diseño de un preclarificador para una planta de beneficio con capacidad de procesamiento para 45 t RFF/hora.

Datos iniciales

Para efectuar el diseño se debe contar con la siguiente información, resultado de la caracterización del flujo de licor de prensas, capacidad de procesamiento y pruebas de curvas de sedimentación.

**Composición de licor de prensas diluido 1,4 (aceite/agua):**

% Aceite = 40,37

% Lodos livianos = 4,00

% Agua = 29,00

% lodos pesados = 26,63

**Densidad del aceite a 90°C= 0,86 t/m<sup>3</sup>**

Tiempo crítico resultado de método gráfico aplicado a curva de sedimentación de Lodos:

$T_u=5$  minutos

Altura de la probeta utilizada para las pruebas de sedimentación:

$Z_0=0,18$  m

Relación largo: ancho = 5:1

Proporción capa de aceite en la altura del clarificador: 31%

Altura de la capa de aceite para mantener el aceite con impurezas bajas: 40 cm

#### **4.2.1 CÁLCULO DEL ÁREA TRANSVERSAL**

Para la estimación del área transversal del equipo preclarificador se relacionan el caudal de licor de prensa diluido, el tiempo crítico de separación de aceite y la altura del licor de prensa en el recipiente (probeta), mediante un método gráfico aplicado a la curva de eficiencia de sedimentación de lodos.

A partir de las curvas de sedimentación de lodos, resultado de pruebas de laboratorio realizadas en las cuatro zonas palmeras, se definió un tiempo crítico

de separación aceite-lodos de cinco minutos. A continuación se calcula el área transversal teniendo en cuenta los siguientes valores:

$$t_u = 5 \text{ minutos} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 0,0833 \text{ hora}$$

$$Q_0 = 28,06 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$Z_0 = 0,18 \text{ m}$$

Dónde:

$T_u$ : Tiempo último de separación aceite-sólidos, min

$Z_0$ : Altura inicial de lodos en la probeta, cm

$Q_0$ : Caudal de entrada a los equipos,  $\text{cm}^3/\text{min}$

Entonces,

$$A = Q_0 * t_u / Z_0 \dots \dots \dots (04)$$

$$A = \frac{Q_0 * t_u}{Z_0} = \frac{28,06 \text{ m}^3/\text{hora} * 0,0833 \text{ hora}}{0,18 \text{ m}} = 12,92 \text{ m}^2$$

Aplicando un factor de seguridad del 20 % por encima.  $2,0 > F_c > 1,2$

$$A F_c = 12,92 * 1,2 = 15,5 \text{ m}^2$$

Esto permite deducir que, para un caudal 28,06  $\text{m}^3/\text{h}$  de LPD a una relación de dilución de 1,4 (aceite/agua), el área transversal adecuada es de 15,5  $\text{m}^2$  con un factor de seguridad de 1,2.

#### 4.2.2 CÁLCULO DEL LARGO YANCHO

Con el valor del área transversal y la relación largo: ancho 5:1, recomendada para este tipo de preclarificadores, se procede a estimar las dimensiones del tanque así:

Se tiene que:

$$L = 5 * w \dots \dots \dots (05)$$

Luego:

$$A_{Fc} = L * w \dots\dots\dots (06)$$

Luego 5 en 6:

$$A_{Fc} = 5 * w * w \dots\dots\dots (07)$$

Despejando w de 7, se calcula de la siguiente manera:

$$w = \sqrt{\frac{A_{Fc}}{5}} = \sqrt{\frac{15,5m^2}{5}} = 1,76 \text{ m}$$

Con el resultado en 6 se puede determinar el largo del preclarificador

$$L = \frac{A_{Fc}}{w} = \frac{15,5m^2}{1,76 \text{ m}} = 8,8 \text{ m}$$

### 4.2.3 CÁLCULO DE LA ALTURA

Proporción de capa de aceite/altura total del preclarificador: 31%.

Espesor de capa de aceite en equipos de clarificación para mantener impurezas bajas: 40 cm.

$$h_{total} * \frac{\text{Proporción capa de aceite}}{100} = h_{Ac} \dots\dots\dots (08)$$

Luego,

$$h_{total} = h_{Ac} * \frac{100}{\text{Proporción capa de aceite}} = \frac{0,4 \text{ m}}{0,31} = 1,31 \text{ m}$$

Volumen de zona de separación del preclarificador (VP): conociendo las dimensiones del tanque se puede estimar el volumen de separación del tanque preclarificador con la siguiente fórmula:

$$VP = L * w * h \dots\dots\dots (09)$$

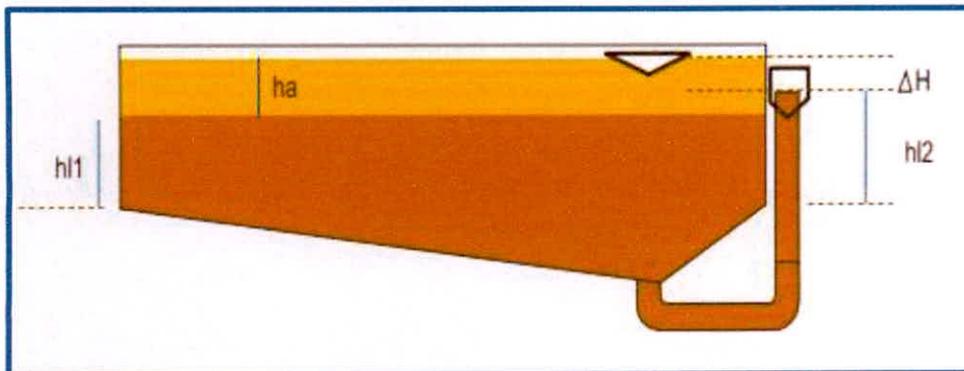
$$VP = 8,8 \text{ m} * 1,76 \text{ m} * 1,31 \text{ m} = 20,29 \text{ m}^3$$

Tiempo de residencia hidráulico (TRH)

$$TRH = \frac{VP}{Q_0} = \frac{20,29 \text{ m}^3}{28,06 \text{ m}^3/\text{h}} = 0,72 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 43,37 \text{ minutos}$$

### 4.3 DETERMINACION DE LA ECUACIÓN PARA ESTIMAR EL (ΔH) DEL VASO COMUNICANTE PARA EVACUACIÓN DE LODOS.

Es importante aclarar que la separación del aceite se debe a la diferencia de densidades de cada uno de los componentes. La densidad del aceite es aproximadamente 0,876 t/m<sup>3</sup>, mientras que para el lodo es de 1,1 t/m<sup>3</sup>. De acuerdo con lo expresado, el aceite separado mantiene una capa superficial sobre los lodos dentro de cualquier sistema de separación y debido a esto se pueden separar, instalando sistemas de colectores en los puntos que se indican a continuación. En la Figura 03 se puede observar que el aceite se colecta por una campana ubicada por encima del sistema de colector de lodos y que debe existir una diferencia de altura (ΔH), para mantener el estado estacionario de operación del equipo.



**FiguraN° 03: Esquema de vaso comunicante para el preclarificador.**

A continuación se exponen las fórmulas para estimar el valor para (ΔH):

$$\rho_a * g * h_a + \rho_l * g * h_{l1} = \rho_l * g * h_{l2}$$

$$\rho_a * h_a + \rho_l * h_{l1} = \rho_l * h_{l2}$$

$$\frac{(\rho_a * h_a + \rho_l * h_{l1})}{\rho_l} = h_{l2}$$

Donde,

$\rho_a$ : Densidad del aceite

$h_a$ : Altura de la capa de aceite

$\rho_l$ : Densidad de Lodos

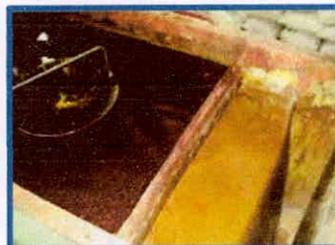
$h_{l1}$ : Altura de Lodos 1,  $h_{l2}$ : Altura de Lodos 2

$$h_{l1} + h_a - h_{l2} = \Delta H \dots\dots\dots (10)$$

Las fórmulas presentadas son una forma de simular el comportamiento de los lodos en un estado estacionario, pero estas condiciones pueden ser variables y dependientes del manejo de la dilución que afecta directamente la viscosidad de los lodos y que, en ocasiones, existirá la necesidad de ajustar el  $\Delta H$  para un buen funcionamiento. Obsérvese en la Figura 04 los diferentes tipos de campanas colectoras instaladas en los preclarificadores, y en la Figura 05 se puede ver que la parte superior, donde se recupera el aceite.



**Figura N°04: Sistemas de Colectores de Aceite.**



**Figura N°05: Separación de las Fases de Aceite y Lodos Parte Interna del Preclarificador.**

#### 4.4 DETERMINAR EL INCREMENTO DE LA TASA DE EXTRACCIÓN EN LA PLANTA EXTRACTORA DE ACEITE CRUDO DE PALMA DE 45 TN RFF/ HR.

El procesamiento de racimos de palma de aceite y en especial la etapa de clarificación determinan en buena medida no solo la eficiencia del proceso (la cual representan el 33% de la pérdida total en el proceso), sino en especial la calidad del aceite crudo extraído, en términos de DOBI, humedad, impurezas y presencia de ácidos grasos libres (AGL). El área de ingeniería ha trabajado en diferentes alternativas de optimización de procesos, para reducir tiempos de retención, optimizar parámetros de operación que eviten el deterioro del aceite dentro del proceso y adicionalmente, lograr mayores eficiencias de recuperación de aceite.

$$TEA_{Ajustada} = \frac{\%TEA}{\%Eficiencia \text{ en clarificación}} = \frac{21\%}{97\%} = 21,6\% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}}$$

$$TEA_{Ajustada} = 21.6 \%$$

$$\% \text{ Eficiencia en clarificación (Sin Preclarificador)} = 0.88 = 88 \%$$

$$0.88 * 21.6 = 19 \%$$

Finalmente,

$$\% \text{ TEA (Con Preclarificador)} - \% \text{ TEA (Sin Preclarificador)}$$

$$= 21\% - 19 \%$$

$$= 2 \%$$

Obteniendo finalmente un incremento de 2 % en la Tasa de Extracción

#### **4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

De acuerdo a los resultados del análisis del Diseño de un Preclarificador para una Planta Extractora de Aceite Crudo de Palma de 45 TN RFF/Hr se tiene lo siguiente:

##### **Con respecto a los antecedentes:**

➤ En cuanto a tesis no había investigaciones pasadas en el diseño de un preclarificador para una planta extractora de aceite, pero si hay tesis, boletines informativos e investigaciones académicas, estos estudios se realizaron tanto en empresas tanto nacionales como extranjeras, utilizando otros métodos en el intento por mejorar la tasa de extracción de proceso del aceite de palma, ya sea por vibraciones mecánicas o clarificación dinámica utilizando tricanters para separar el aceite el agua y los lodos, con el método del preclarificador se empleara el método clásico de la clarificación estática bajo el principio físico de la decantación, lo que dio resultados positivos en la mejora de la tasa de extracción, lo cual permitió sacar adelante la tesis del diseño del preclarificador para la planta extractora de aceite de palma de 45 toneladas – hora.

##### **Con respecto a los resultados:**

➤ Con la finalidad de mejorar y optimizar este proceso, se ha desarrollado estudios sobre frecuencia de purgas en clarificación, calidad de aceite en las diferentes etapas del proceso, separación de fases en clarificadores, nivel de dilución aceite: agua del licor de prensa y automatización del control de dilución del licor de prensa, recirculación de flujos en clarificación independiente de recuperados de centrifugas, operación óptima de centrifugas, estudio de variables que afectan la sedimentación, entre otros. Los resultados obtenidos de los estudios han demostrado que se puede disminuir la descarga de

efluentes a los cuerpos de aguas y la pérdida de aceite en clarificación por control de procesos.

➤ .Al estudiar las variables que afectan la sedimentación de lodos y recuperación de aceite en el proceso de clarificación, así como el nivel de dilución del licor de prensa (LP), se observó que la dinámica de separación de aceite durante la clarificación podría responder de un modo más eficiente a un diseño alterno de los equipos clarificadores. Es así como se pudo plantear el diseño de un equipo previo a los sistemas de clarificación, bajo nuevos parámetros de diseño que permiten incrementar la eficiencia del proceso de clarificación, aumentar la capacidad de procesamiento y mejorar la calidad del aceite crudo obtenido, llamando a estos equipos con el nombre de preclarificador. En esta tesis se describen los pasos para diseñar un equipo preclarificador, en busca de mejorar la clarificación del aceite de palma, las cuales permitan desarrollar una tecnología de buena acogida por el sector palmicultor

➤ Las dimensiones (largo, ancho y alto) establecidas para los equipos y las medidas de espacio disponible en planta, permiten establecer la mejor forma para acomodar el preclarificador de aceite.

➤ En la clarificación estática, la eficiencia de recuperación de aceite depende básicamente del tiempo de residencia (capacidad del clarificador y flujo alimentado), la temperatura, el nivel de dilución, la composición volumétrica del licor de prensa sin diluir (LPSD) y la relación geométrica de los equipos de separación, lo cual nos permitió el incremento de la tasa de extracción a un 2%

## CONCLUSIONES

- Al realizar el balance de materia en la planta de extracción de aceite crudo de palma, se obtuvo lo siguiente:

Al incorporar el preclarificador como parte integral del proceso de clarificación, se obtuvo un 88 % de eficiencia en la recuperación del aceite total que ingresa al proceso, complementado con 8,81% en el sistema de clarificación convencional. De esta manera se obtiene una eficiencia de recuperación total de 97% que, expresado en términos de tasa de extracción de aceite, representan 21% aceite/RFF de 21,6% aceite/RFF que entran a clarificación.

- Finalmente se estima que para una capacidad de 45 t RFF/hora con una tasa de extracción de 21% se tiene un flujo de licor de prensa diluido de 28,06.
- Para un caudal 28,06 m<sup>3</sup>/h de LPD a una relación de dilución de 1,4 (aceite/agua), el área transversal adecuada es de 15,5 m<sup>2</sup> con un factor de seguridad de 1,2.
- Con el Área hallada se obtuvo el Largo y Ancho del preclarificador, midiendo, 8.8 metros y 1.76 metros respectivamente.
- Para el dimensionamiento del vaso comunicante se obtuvo la siguiente ecuación:

$$h_{11} + h_a - h_{12} = \Delta H \quad \frac{(\rho_2 * h_2 + \rho_1 * h_{11})}{\rho_1} = h_{12}$$

Dónde:

$\rho_l$ : Densidad de Lodos,

$\rho_a$ : Densidad del aceite

$h_{l1}$ : Altura de Lodos 1,

$h_{l2}$ : Altura de Lodos 2

$h_a$ : Altura de la capa de aceite

- Luego de los diferentes cálculos realizados se obtuvo un incremento en la eficiencia en la tasa de extracción del 2%.

### RECOMENDACIONES

- En toda planta extractora de aceite crudo de palma se debe implementar un preclarificador al sistema convencional de procesamiento, para así evitar pérdidas de aceite que van al tanque florentino, lo cual hará que incremente la tasa de extracción de aceite y así mejorando la eficiencia de la planta.
- La implementación de un preclarificador conlleva a mejoras económicas en una empresa.
- Las tuberías de purgas no son de uso continuo y las purgas no deben enviarse a canales, ya que estos lodos contienen un porcentaje de aceite considerable que puede impactar las pérdidas en los efluentes. Lo que se recomienda para el sistema de descarga de lodos es que la purga salga por la misma tubería que corresponde a la salida de lodos como se observa en el anexo 1, esto con el fin de que se presente una autopurga y no colmatación de lodos en la parte inferior del preclarificador, pero también está sujeto a lo que designe el criterio de cada diseñador.

## REFERENCIA BIBLIOGRAFICA:

### TEXTOS

A.A.P.A. Introducción a la industria alimentaria. Editorial Limusa. Mexico. 2004. 194 p.

ISBN 9789681863685

CASP, Ana. Diseño de industrias agroalimentarias. Editorial Mundi Prensa. España. 294 p.

ISBN 848476219X

CUATRECASA, Luis. Diseño avanzado de procesos y plantas de producción flexible- Profit Editorial. España. 2009. 718 p.

ISBN 8492956852

MONSALVO VASQUEZ, Raúl. Balance de Materia y Energía. Procesos Industriales.. Editorial Patria. Mexico. 2014. 400 p.

ISBN 6074388954

MURPHY, Regina. Introducción a la Ingeniería química. Editorial Mc Graw Hill. México. 2007. 420 p.

ISBN 284960-6

### CITAS WEB

EFICIENCIARECUPERA. "Eficiencia en la Recuperación de Aceite". Colombia. 2013. Disponible en:

<http://eficienciarecupera.galeon.com/>

BIBLOVIRTUAL. "Proceso de Beneficio de los Racimos de Fruta Fresca". Disponible en:

[http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0193/MMA-0193\\_CAPITULO4.pdf](http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MMA-0193/MMA-0193_CAPITULO4.pdf)

REPOSITORIO. "Caracterización del Proceso de Extracción de Aceite Crudo de Palma". Disponible en:

<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/6375/2/126000.pdf>

INDUAGRO. "Proceso Productivo del Aceite de Palma". Disponible en:

<http://www.induagro.com.mx/HOMEAP/ProcProductAP/ProcProductAP.html>

DIALNET. "Recuperación del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas mediante la aplicación de vibraciones mecánicas". Disponible en:

<file:///D:/Documents%20and%20Settings/Janin/Mis%20documentos/Downloads/Dialnet-RecuperacionDelAceiteCrudoDePalmaContenidoEnElLico-4752286.pdf>

#### **TESIS E INFORMACION ACADEMICA**

CABALLERO MARTINEZ, Sergio. Estudio de prefactibilidad para el diseño y montaje de una planta extractora de aceite de palma en el municipio de Pivijay. Estudio para optar el título de Especialista en Evaluación y Gerencia de Proyectos. Universidad Industrial de Bucaramanga. Colombia. 2,013.196 p.

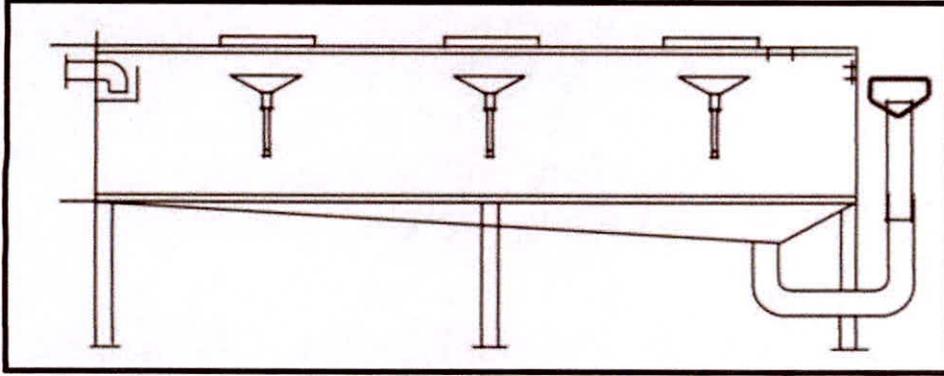
CASTELLANOS NEIRA, Stella. Estudio de la operación de un separador estático horizontal de aceite crudo de palma orientado a mejorar el manejo de sus purgas. Tesis para optar el título de Ingeniero Industrial Universidad de la Sabana. Colombia. 2,000. 130 p.

NIETO MOGOLLON, Daniel. Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación. Informe Técnico para Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma. Colombia. 2,009.58 p.

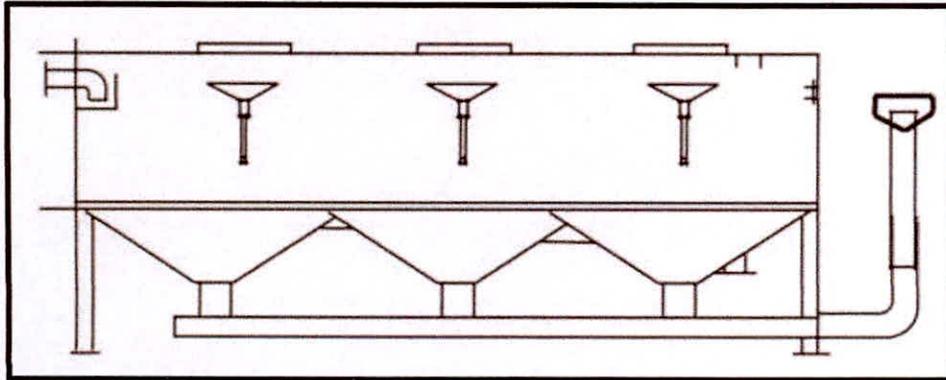
VIVAR CALLE, Jorge . DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO DE EXTRACCIÓN DE OLEORRESINA DE PÁPRIKA USANDO CO2 COMO FLUIDO SUPERCRÍTICO. Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2,013.106 p.

# **ANEXOS**

**ANEXO 01:** Salida de lodos expreclarificados.



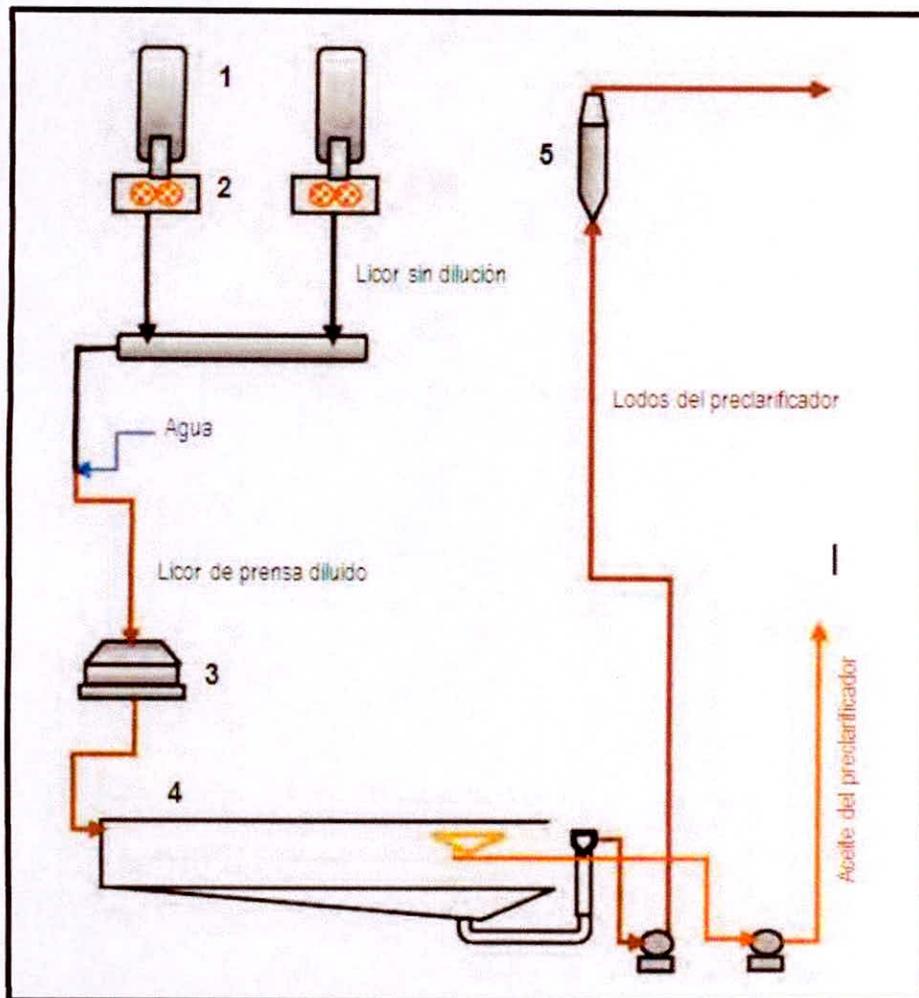
Esquema con una salida de lodos expreclarificados.



Esquema con tres salidas de lodos expreclarificados.

**Fuente:** Elaboración Propia

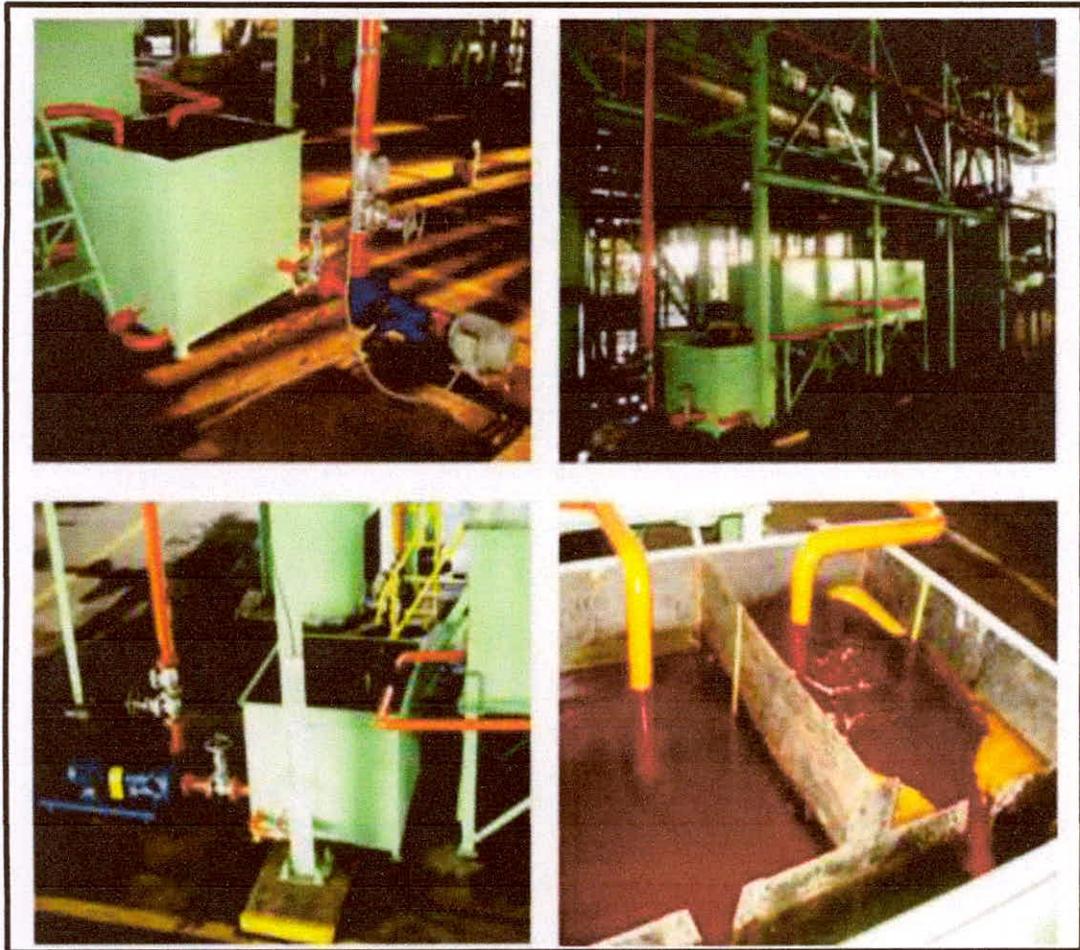
**ANEXO 02: Ubicación del preclarificador en planta.**



1. Digestión
2. Prensas
3. Tamiz
4. Preclarificador
5. Calentador

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 03: Fotos.**



Tanque de bombeo de aceite preclarificador

**Fuente: Elaboración Propia**

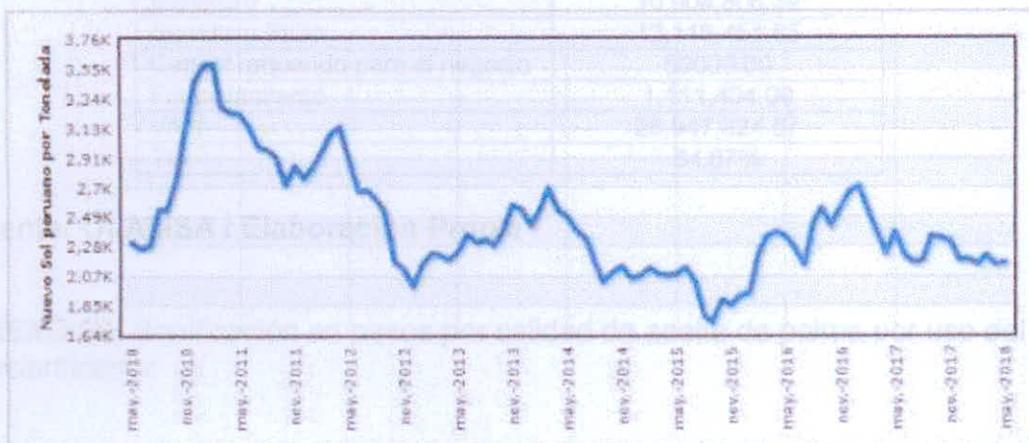
**ANEXO 04: Demanda proyectada de aceites y grasas para consumo en el Perú**

PROYECCIÓN DE DEMANDA DE ACEITES Y GRASAS			
AÑO	POBLACIÓN(a)	DEMAND TM(b)	ICPC TM(c)
2015	31,790,481	534,594	0.017
2016	32,267,339	548,039	0.017
2017	32,751,349	561,822	0.017
2018	33,242,619	575,952	0.017
2019	33,741,258	590,437	0.017
2020	34,247,377	605,287	0.018
2021	34,761,088	620,510	0.018
2022	35,282,504	636,115	0.018
2023	35,811,742	652,114	0.018
2024	36,348,918	668,514	0.018
2025	36,894,152	685,327	0.019

TASA DE CRECIMIENTO DE ICPC 1,0%  
 Calculo de la demanda (b)=(a) x(c)

**Fuente: Elaboración Propia**

**ANEXO 05: Aceite de palma precio mensual / Soles peruanos por tonelada**



**Fuente: Fedepalma**

T aceite	% aceites	% bonificación	T aceites bonificados	Ingreso x aceite bonificado	Diferencial (\$)
1,000	2.4	5.29	1,196	1,794,000,000	1,794,000,000
1,000	2.4	0	966	1,439,030,000	354,970,000
1,000	0	0	278	414,000,000	1,386,000,000
Costo Diferencial en pesos para 100,000t año					75,000,000
Costo Diferencial en pesos para 150,000t año					103,500,000
Costo Diferencial en pesos para 200,000t año					138,000,000

Fuente: Fedepalma / Elaboración Propia

**ANEXO 10.** Parámetros y variables de diseño del preclarificador de aceite para diferentes capacidades de procesamiento.

Unidades	Parámetros	Variable	Datos de sensibilidad para un preclarificador de aceite																			
			Cap	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	45
%	Concentración	Ac / LPD	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
%	TEA-promedio	TEA_m	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
t/m <sup>3</sup>	Densidad Aceite	D_Ac	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,865	0,86
t/m <sup>3</sup>	Densidad Lodos	D_Lo	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
-	Factor de seguridad	Fc	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
%	Eficiencia Clarificación	Efi.	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97	97
m	Z: altura de Interfase en la prueba de Sedimentación	Zo	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
m	Tu: Tiempo último (máximo de separación)	Tu	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
-	Relación Diámetro . L=5*W	LW	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
m	Altura Capa de Aceite		0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
%	Proporción Capa Aceite-Mezcla	h ac/ h total	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
%	Altura de lodos Zona Separación	h lodos	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69	69
%	TEA-Corregida	TEA_r	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
m <sup>3</sup> /h	Caudal LPD	Qo	6,20	7,44	8,68	9,92	11,16	12,40	13,64	14,88	16,12	17,36	18,60	19,84	21,08	22,32	23,56	24,80	26,04	27,28	28,06	28,06
m <sup>2</sup>	Área= Qo * Tu /Zo	A	2,85	3,43	4,00	4,57	5,14	5,71	6,28	6,85	7,42	7,99	8,56	9,13	9,70	10,28	10,85	11,42	11,99	12,56	12,92	12,92
m <sup>2</sup>	Área Corregida= Área * Fc	Afc	3,43	4,11	4,80	5,48	6,17	6,85	7,54	8,22	8,91	9,59	10,28	10,96	11,65	12,33	13,02	13,70	14,39	15,07	15,50	15,50
m	Ancho	W	0,83	0,91	0,98	1,05	1,11	1,17	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43	1,48	1,53	1,57	1,61	1,66	1,70	1,74	1,76	1,76
m	Largo	L	4,14	4,53	4,90	5,23	5,55	5,85	6,14	6,41	6,67	6,92	7,17	7,40	7,63	7,85	8,07	8,28	8,48	8,66	8,80	8,80
m	Altura Mezcla en Preclarificador	Hm	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31	1,31
m <sup>3</sup>	Volumen Zona Separación Preclarificador	VP	4,48	5,38	6,27	7,17	8,07	8,96	9,86	10,76	11,65	12,55	13,45	14,34	15,24	16,13	17,03	17,93	18,82	19,72	20,29	20,29
min.	Tiempo de Residencia	TR	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37	43,37
m	Altura sifón de Lodos	hl	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,26
cm	Vaco Comunicante	ΔH	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,33	4,64