

Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación



Diego Ignacio Nieto Mogollón
Edgar Eduardo Yáñez Angarita
Jesús Alberto García Núñez

Boletín Técnico No. 29

Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación

Autores

Diego Ignacio Nieto Mogollón
Edgar Eduardo Yáñez Angarita
Jesús Alberto García Núñez

Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma
Bogotá, diciembre de 2011

BOLETÍN TÉCNICO No. 29

Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación

Impresa con recursos del Convenio N° 00062/10 SENA-SAC.

Contrato N° 012/10 SAC-Fedepalma

Autores

Diego Ignacio Nieto Mogollón

Edgar Eduardo Yáñez Angarita

Jesús Alberto García Núñez

Coordinación editorial

Oficina de Comunicaciones de Fedepalma

Diseño y diagramación

Carlos Sandoval – Pigmalión

Fotografía

Diego Ignacio Nieto Mogollón

Impresión

Impresores Molher Ltda.

Cenipalma

Calle 20 A No. 43 A-50, piso 4.

PBX: (57-1) 2086300 Fax: (57-1) 3681152

www.cenipalma.org

Bogotá D. C. Colombia

Reimpresión

Diciembre de 2011

ISBN: 978-958-8360-26-3

Presentación

Cenipalma de tiempo atrás ha adelantado proyectos de investigación orientados a optimizar las diferentes etapas que caracterizan el proceso industrial de extracción de aceite de palma en las plantas de beneficio del fruto de palma, especialmente en las etapas que más contribuyen a aumentar la extracción y a reducir las pérdidas.

De esta manera, el Programa de Investigación en Procesamiento ha auscultado todas y cada una de las etapas que caracterizan el proceso de extracción del aceite crudo de palma y, dentro de sus múltiples hallazgos, encontró que la de preclarificación ofrece la posibilidad de mejorar tecnológicamente para contribuir a optimizar el proceso.

En este contexto, el presente boletín expone los resultados técnicos de esta investigación, presenta los parámetros de diseño de un preclarificador que permite mejorar el proceso, plantea recomendaciones específicas para la ubicación adecuada del mismo dentro de la planta de beneficio e indica aspectos de su operación para lograr la máxima eficiencia en la etapa estudiada.

Cenipalma espera que la información técnica que contiene este boletín sea un instrumento para que los profesionales que laboran en las plantas de beneficio del sector palmicultor colombiano, se motiven a innovar en los procesos que le competen.

Atentamente,

JOSÉ IGNACIO SANZ SCOVINO, *Ph.D.*

Director ejecutivo

Cenipalma

Contenido

Introducción	9
Fundamentos técnicos	11
Factores que inciden en la eficiencia de separación del aceite en clarificación ..	13
a. Nivel de dilución	13
b. Tiempo de residencia	14
c. Temperatura	16
d. Relación geométrica de diseño en el área transversal de equipos de clarificación horizontal	17
Curvas de sedimentación	19
a. Velocidad de sedimentación	20
b. Pruebas de sedimentación	22
Balance de masa para aceite en clarificación	23
Beneficios técnicos de la implementación del preclarificador	24
a. Capacidad	24
b. Calidad de aceite de palma	24
Parámetros de diseño de un preclarificador	27
Determinación de flujo de licor de prensas	30
a. Medición del flujo de licor de prensa	30
b. Cálculo del flujo de licor de prensa a partir de condiciones en planta	31
Ejercicio de cálculo y dimensionamiento del preclarificador	32
a. Cálculo de área transversal	32
b. Cálculo del largo y ancho	33
c. Cálculo de altura	34
d. Dimensionamiento del vaso comunicante para evacuación de lodos	34
e. Sistema de purga	36
f. Instalación de la mirilla en el sistema de preclarificación	37
Ubicación del preclarificador en la planta de beneficio	39
Alternativas en clarificación debido a la incorporación del preclarificador	42
Operación de preclarificador	45
Antes del arranque del equipo	47
Arranque y estabilización	47
Agradecimientos	51
Bibliografía	52
Anexos	54
Anexo A. Formato de toma de datos para pruebas de sedimentación de licor de prensa	54
Anexo B. Fotos	55

Índice de Figuras

Figura 1. Eficiencia de separación de aceite, pruebas en laboratorio	14
Figura 2. Eficiencia de separación de aceite de la dilución 1,0 aceite/agua vs dilución 1,4 aceite/agua	15
Figura 3. Comportamiento de las eficiencias de recuperación de aceite para cuatro tiempos de residencia diferentes en los preclarificadores	16
Figura 4. Comparación de medias. Eficiencias de recuperación de aceite en preclarificador P1 y P2 por tiempos de residencia evaluados	18
Figura 5. Preclarificadores piloto evaluados Izquierda: (1: a = 2: 1); Derecha: (1 : a = 5 : 1), Planta de beneficio Aceites Manuelita S.A	18
Figura 6. Comportamiento de lodo en pruebas de sedimentación	19
Figura 7. Curva de sedimentación de lodos y trazos según el método de la bisectriz para obtener los parámetros requeridos por el procedimiento de Talmadge y Fitch	21
Figura 8. Procedimiento para el desarrollo de las pruebas de sedimentación en el laboratorio	22
Figura 9. Diagrama general del proceso de clarificación	23
Figura 10. Balance de masa en el proceso de clarificación usando preclarificador	23
Figura 11. Contenido de ácidos grasos libres en dos puntos del proceso de clarificación de aceite de palma	25
Figura 12. Diagrama de flujo para el diseño de un preclarificador de aceite	29
Figura 13. Tanque de crudo utilizado para aforo de LPD	30
Figura 14. Esquema de vaso comunicante para el preclarificador	35
Figura 15. Sistemas de colectores de aceite. a. (en mantenimiento), b. (en operación)	36
Figura 16. Separación de las fases de aceite y lodos parte interna del preclarificador	36
Figura 17. Esquema con una salida de lodos expreclarificados	37
Figura 18. Esquema con tres salidas de lodos expreclarificados	37
Figura 19. Mirillas en equipo preclarificador	38
Figura 20. Ubicación de preclarificadores en planta	41
Figura 21. Balance de masa para clarificación con preclarificador y flujos recirculados de proceso	43
Figura 22. Plano de equipo preclarificador para 44 t RFF/hora	50
Figura 23. Tanques de bombeo de lodos expreclarificados	55
Figura 24. Tanque de bombeo de aceite preclarificador	55
Figura 25. Vertederos de licor de prensa, aceite preclarificado y lodos preclarificados	55

Índice de tablas

Tabla 1. Resultados del método de Talmadge y Fitch para el cálculo del área del preclarificador con relación a la Figura 7	22
Tabla 2. Parámetros y variables de diseño del preclarificador de aceite para diferentes capacidades de procesamiento	49

Introducción

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 proceso¹), 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 de Cenipalma 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.

Con la finalidad de mejorar y optimizar este proceso, Cenipalma ha desarrollado estudios sobre frecuencia de purgas en clarificación, calidad de aceite en las diferentes etapas del proceso, separación de fases en clarificadores (Ramírez, Hernández y Yáñez, 2001), nivel de dilución aceite: agua del licor de prensa y automatización del control de dilución del licor de prensa (Díaz, Castillo y Yáñez, 2005), recirculación de flujos en clarificación independiente de recuperados de centrifugas (Cruz, Sierra y Yáñez, 2006), operación óptima de centrifugas (Nieto y Díaz, 2007), estudio de variables que afectan la sedimentación, entre otros. Los resultados obtenidos de los estudios de Cenipalma 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 (Yáñez y García, 2009). En términos económicos, la implementación de estos desarrollos indica que por cada tonelada de racimo de fruto fresco procesado, para el caso de una planta de beneficio que procesa 200.000 toneladas RFF al año, equivale a recuperar aproximadamente 408.000.000 de pesos².

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 este boletín se describen los pasos para diseñar y operar un equipo preclarificador, así como muchos de los resultados obtenidos en el desarrollo de las investigaciones hechas por Cenipalma en busca de mejorar la clarificación del aceite de palma, las cuales permitieron desarrollar una tecnología de buena acogida por el sector palmicultor.

¹ Balance de pérdidas de la Zona Norte. Promedio acumulado hasta diciembre de 2010. Referencia Cenipalma.

² Si se toma como referencia un precio de 1.700.000 pesos por tonelada de aceite.

Primera parte



Fundamentos técnicos

Fundamentos técnicos

Factores que inciden en la eficiencia de separación del aceite en 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. A continuación, se presenta una descripción del efecto de cada uno de estos factores en la eficiencia de separación de aceite.

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).

Fórmula Ley de Stokes³ :

$$v = \frac{g * (\rho_l - \rho_a) * d^2}{18 * n} \quad (1)$$

Donde:

v= Velocidad de ascenso de la gota de aceite

g= Fuerza de gravedad

ρ_l = Densidad del lodo

ρ_a = Densidad del aceite

d= Diámetro de la partícula de aceite

n= 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

³ Duarte T., A. 1998 Universidad Nacional de Colombia. Departamento de ingeniería química. Transferencia de Momentum Operaciones de transferencia de momentum & manejo de sólidos aplicaciones. Bogotá, página 57.

diámetros inferiores a 15 μm no son separables del licor. Los factores que afectan el tamaño de las gotas son: sobredigestión, efecto de los tamices vibratorios y el calentamiento con vapor directo.

Viscosidad (η): 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 (Yáñez et ál., 2009).

El comportamiento dinámico de la separación de aceite para un nivel apropiado de dilución y temperatura se presenta en la Figura 1.

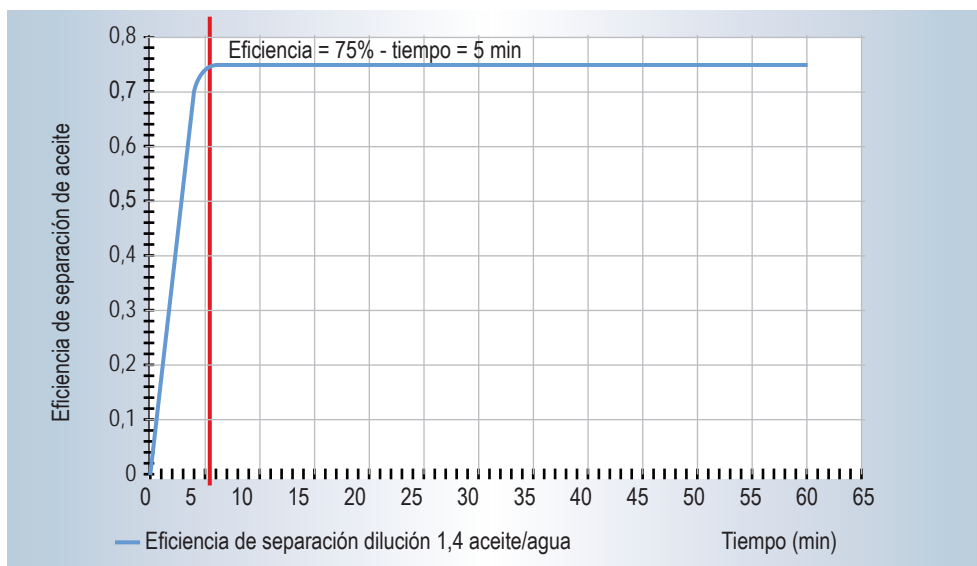


Figura 1. Eficiencia de separación de aceite, pruebas en laboratorio.

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:

$$\text{Tiempo de residencia (hora)} = \frac{\text{capacidad de clarificación (m}^3\text{)}}{\text{Flujo de licor de prensa diluido (m}^3\text{/hora)}} \quad (2)$$

Esta relación entre la capacidad y el tiempo de residencia a un mismo flujo de licor de prensa muestra que a mayores capacidades de clarificación, se obtendrán mayores tiempos de residencia para la separación de aceite. El valor convencional de tiempo de residencia se basa en niveles de dilución de 1,0 (% vol aceite / % vol agua), que según la Figura 2, presenta mayores tiempos de separación y por ende de recuperación de aceite, basado en bajas velocidades de separación.

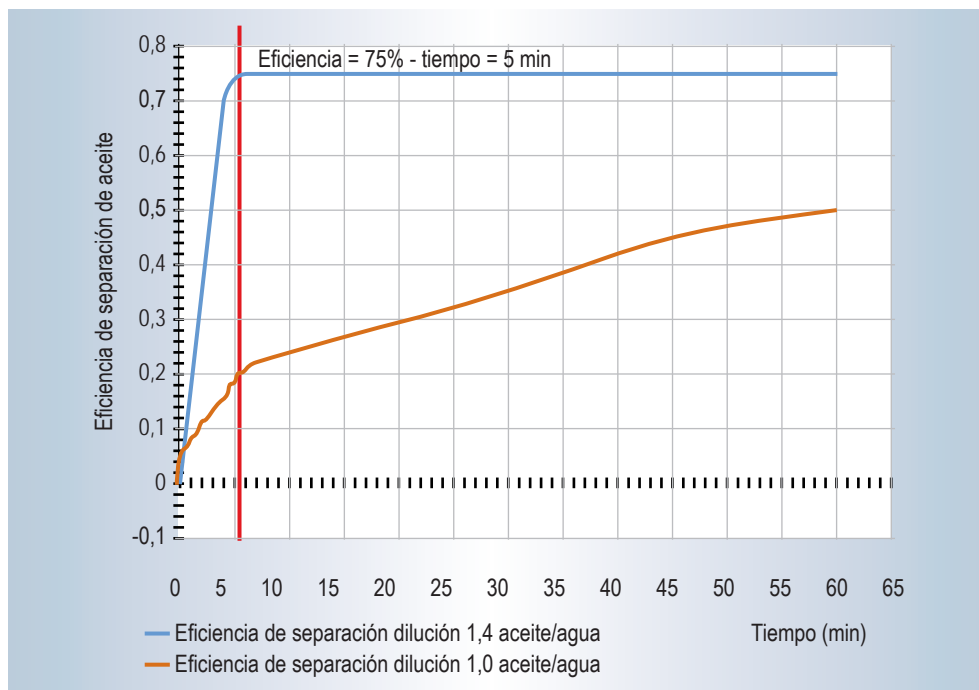


Figura 2. Eficiencia de separación de aceite de la dilución 1,0 aceite/agua vs dilución 1,4 aceite/agua.

En la Figura 3 se presenta el efecto del tiempo de retención sobre la eficiencia de separación de aceite, medido sobre preclarificadores a escala industrial. Se observa que la eficiencia en la recuperación de aceite tiene una relación directa con el tiempo de residencia en un sistema que opera en estado estacionario. A pesar

de esto, la Figura 3 muestra que la tendencia de la eficiencia de recuperación de aceite se vio ligeramente perturbada entre el TR de 24 minutos y el TR de 40 minutos, con una diferencia de eficiencia de recuperación de 3%. Este comportamiento se debe a que en el punto correspondiente a 24 minutos se presentó una relación aceite/agua de 1,7:1, sin embargo para los tiempos de retención de 17, 40 y 60 minutos la dilución estuvo cercana a la validada anteriormente como 1,4:1 (% vol aceite: vol agua) (García, Nieto y Rincón, 2009).

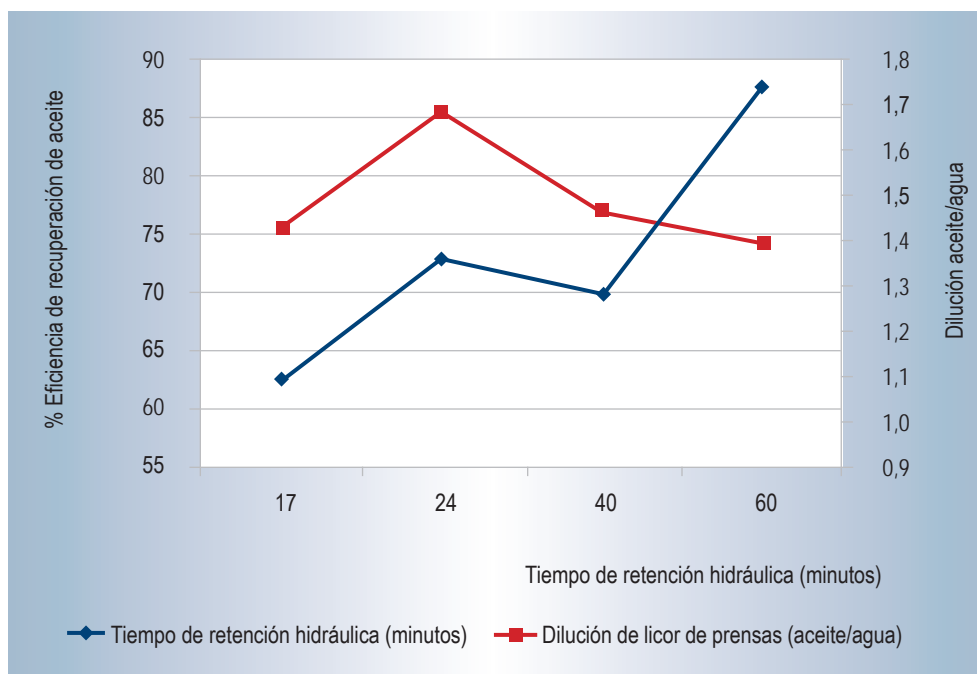


Figura 3. Comportamiento de las eficiencias de recuperación de aceite para cuatro tiempos de residencia diferentes en los preclarificadores.

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 Stokes⁴. 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

⁴ Transferencia de Momentum página 57. Operaciones de transferencia de momentum & manejo de sólidos aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia.

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.

d. Relación geométrica de diseño en el área transversal de equipos de clarificación horizontal

Con base en los resultados de ensayos realizados a escala piloto por García, Nieto y Rincón (2009), se pudo establecer que a mayor relación largo-ancho en el área transversal mayor es la recuperación de aceite. De esta manera, es posible considerar relaciones de volumen de preclarificación de 0,3 a 0,6 m³ por tonelada RFF procesada hora, en comparación con parámetros convencionalmente usados en las plantas de beneficio para clarificadores horizontales, los cuales presentan relaciones de 2,34 a 3 m³/t RFF-hora, lo que significan para 4,5 a 5 horas de tiempo de residencia.

La eficiencia en la recuperación de aceite cuando se usó una relación (1: a 5:1) fue 15,17%, superior al diseño convencional de referencia que usa una relación (1: a 2:1). Este comportamiento es consecuencia de los siguientes dos fenómenos de transporte:

- En el preclarificador con relación (5:1) hay un mayor flujo de sólidos que sedimentan, porque al presentarse un menor desplazamiento sobre el eje axial (L) del área transversal se genera una sedimentación no obstaculizada, en donde estos sólidos caen a una velocidad constante.
- Hay un mayor flujo de transporte de sólidos por unidad de área, que es el caudal constante de evacuación de lodos espesos por la salida inferior de los equipos. De otro lado, el preclarificador más largo tiene un comportamiento de flujo pistón superior al diseño convencional de flujo completamente mezclado (Rueda y Rincón, 2007).

La Figura 4 muestra que al variar los tiempos de residencia en el sistema de preclarificación se presenta la misma tendencia tanto para el preclarificador con relación 2:1 como para el preclarificador con relación 5:1 (Figura 5) (Nieto, García y Yáñez, 2008). Las diferencias encontradas al comparar los equipos preclarificadores mostraron que el equipo preclarificador con la mayor relación geométrica en el área transversal 1: a (5:1), fue superior al preclarificador con la menor relación geométrica L: a (2:1) a 17, 24, 40 y 60 minutos, con diferencias a un nivel de significancia del 5%. (SAS 9.1.3 service pack 4) (García, Nieto y Rincón, 2009).

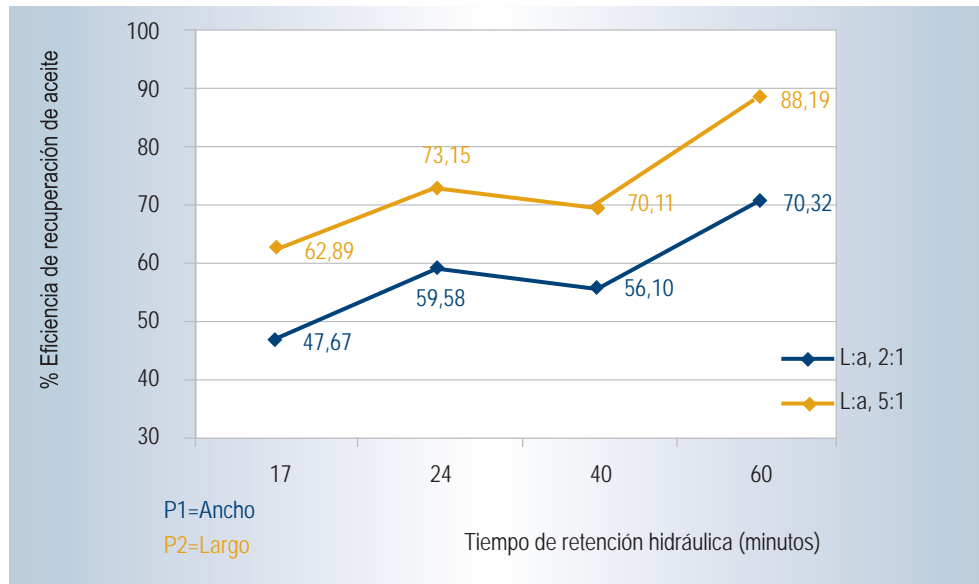


Figura 4. Comparación de medias. Eficiencias de recuperación de aceite en preclarificador P1(L:a 2:1) y P2(L:a 5:1) por tiempos de residencia evaluados.

Se observa también que con una relación 5:1 a un TR de 17 minutos, se obtuvo una mayor eficiencia que la alcanzada a los TR de 17, 24 y 40 minutos para la separación de aceite en el preclarificador con relación l:a=2:1. A un TR de 24 minutos la relación 5:1 presentó mejor eficiencia de separación que cualquiera de los tiempos aplicados para la relación 2:1. En este punto cabe destacar que la relación largo:ancho del área transversal en el preclarificador con relación 2:1 es similar a la usada en los clarificadores horizontales convencionales, lo cual puede servir como punto de mejora en el diseño de estos equipos (García, Nieto y Rincón, 2009).



Figura 5. Preclarificadores piloto evaluados Izquierda: (l : a = 2 : 1); Derecha: (l : a = 5 : 1), Planta de beneficio Aceites Manuelita S.A.

Curvas de sedimentación

Las curvas de sedimentación son el resultado de pruebas de sedimentación realizadas en el laboratorio. Se trata de un ensayo en el cual se dispone de una probeta graduada dentro de un baño termostataado para simular el proceso de clarificación del aceite, en el que se observa la sedimentación de partículas lodosas y se forma un volumen o capa de aceite clarificado. Para la elaboración de la curva se lleva registro de la altura de la capa de los lodos con relación al tiempo de prueba. El tiempo de duración de la prueba está entre 40 y 60 minutos, en los cuales se hace control de la temperatura y registro de la información para, al final, estimar las curvas de eficiencia y velocidad de separación de aceite.

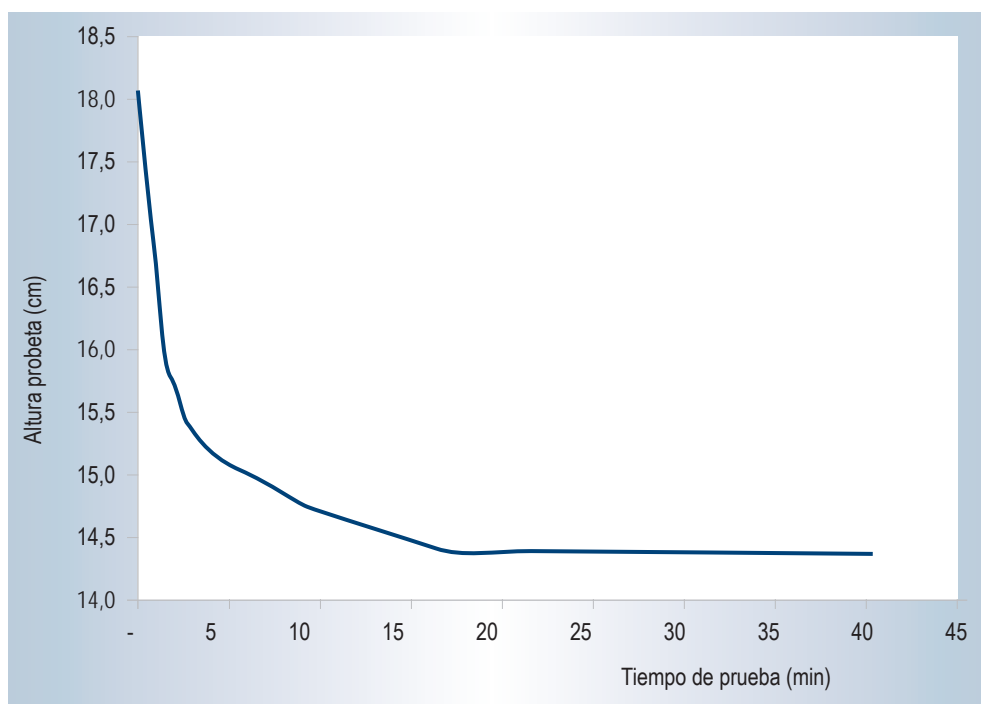


Figura 6. Comportamiento de lodo en pruebas de sedimentación

En la Figura 6 se observa cómo en condiciones óptimas de dilución 1,4 (aceite/agua), y temperatura (90 – 95 °C) se puede lograr la sedimentación de lodos pasando de una altura de 18 cm a 13,2 cm en una probeta durante 40 minutos de prueba. De igual forma se observa, que en el rango de 5 a 15 minutos de la prueba se ha logrado sedimentar casi por completo los lodos que contiene esta mezcla de licor de prensa, lo que indica un factor determinante para el diseño de preclarificadores ya que en este proceso se fundamenta la recuperación de aceite en un tiempo reducido.

a. Velocidad de sedimentación

La velocidad de sedimentación de partículas se define como la pendiente de la curva: altura de lodos en función del tiempo de separación; por tanto, según el volumen de aceite registrado en la sedimentación, se calcula la altura de lodos de cada una de las pruebas de la siguiente manera:

$$h_{\text{Lodos}} = h_{\text{Probeta}} - \frac{V_{\text{Aceite}}}{\pi r^2} \quad (3)$$

Donde:

h_{Lodos} = Altura lodos, cm

h_{Probeta} = Altura a los 200 ml en la probeta, cm

V_{Aceite} = Volumen de aceite, ml

r = Radio probeta, cm

Tomando como referencia la Figura 6, es posible determinar la velocidad de sedimentación de dos formas:

Método 1: calcular la pendiente a la curva durante los primeros diez minutos de la prueba

Método 2: utilizar el método de la bisectriz que representa el comportamiento físico de la separación a partir de los puntos de intersección calculados sobre la gráfica (Figura 7) (Rueda y Rincón, 2007)

El método de la bisectriz consiste inicialmente en trazar sobre la curva dos líneas tangentes que se cortan en un punto. La primera de ellas (P1) tiene origen en la altura inicial y representa la primera fase de formación del líquido claro y sedimentación libre a velocidades constantes; la segunda (P2), se traza sobre la última fase de la sedimentación o zona de compresión que indica velocidades bajas y concentraciones altas de los sólidos suspendidos. En el ángulo que se forma por el cruce entre estas dos líneas, se traza la bisectriz hasta alcanzar y cortar en un punto a la curva de sedimentación. A un ángulo de 90° con la bisectriz y sobre el punto de corte de la curva, se traza la recta tangente (Rueda y Rincón, 2007).

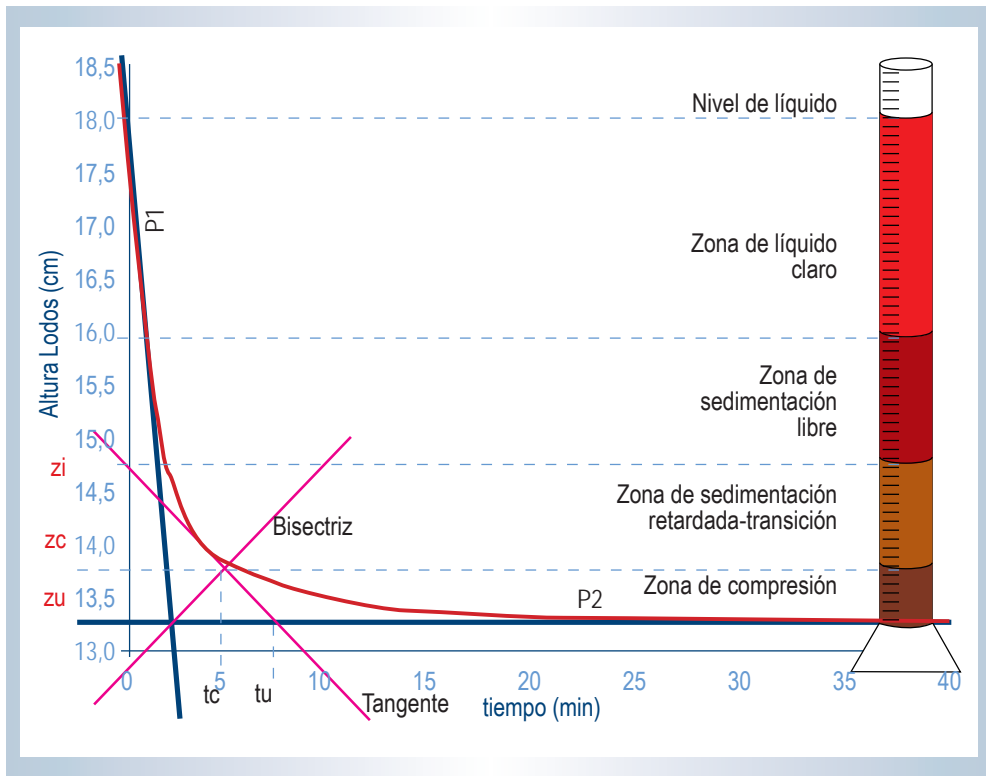


Figura 7. Curva de sedimentación de lodos y trazos según el método de la bisectriz para obtener los parámetros requeridos por el procedimiento de Talmadge y Fitch.

Para una mejor ilustración de las consideraciones a continuación se describe el Método de Talmadge y Fitch: los autores reseñan el diseño de equipos a partir del método de la bisectriz (Figura 7). Su deducción matemática y análisis en el proceso de sedimentación los lleva a concluir que el área superficial requerida para un equipo de separación estática está definida por la siguiente ecuación.

$$A = \frac{Q_o * T_u}{Z_o} \quad (4)$$

Donde:

Tu: tiempo último de separación, min

Zo: altura inicial de lodos en la probeta, cm

Qo: caudal de entrada a los equipos, cm³/min

El método se desarrolla sobre la curva seleccionada para el diseño de los tanques donde se realizan los trazos y se obtienen los puntos de corte que definen la ecuación y cuyos datos se reportan en la Tabla 1.

Tabla 1. Resultados del método de Talmadge y Fitch para el cálculo del área del preclarificador con relación a la Figura 7.

tc (min)	5	Zu (cm)	13,26
tu (min)	5	Zc (cm)	13,7
tr (min)		Z1 (cm)	14,4
Zo (cm)	18,1	Qo (m3/h)	
A (m2)			

El trazo de la pendiente por el codo de la curva altura en función del tiempo, permite obtener la velocidad de las partículas cuando entran a las zonas de transición y compresión, es decir, cuando se encuentran aglomeradas y están en una zona de sedimentación obstaculizada arrojando velocidades de sedimentación mínimas. La velocidad calculada a partir del procedimiento de Talmadge y Fitch proporciona resultados con áreas máximas de diseño (Rueda y Rincón, 2007).

b. Pruebas de sedimentación

Las pruebas de sedimentación se realizan mediante la descripción que se explica en el numeral anterior, cuyos valores se registran en el formato de seguimiento (ver Anexo A). Para una mejor ilustración a continuación se muestran las fotos del montaje de sedimentación en laboratorio paso a paso (Figura 8).

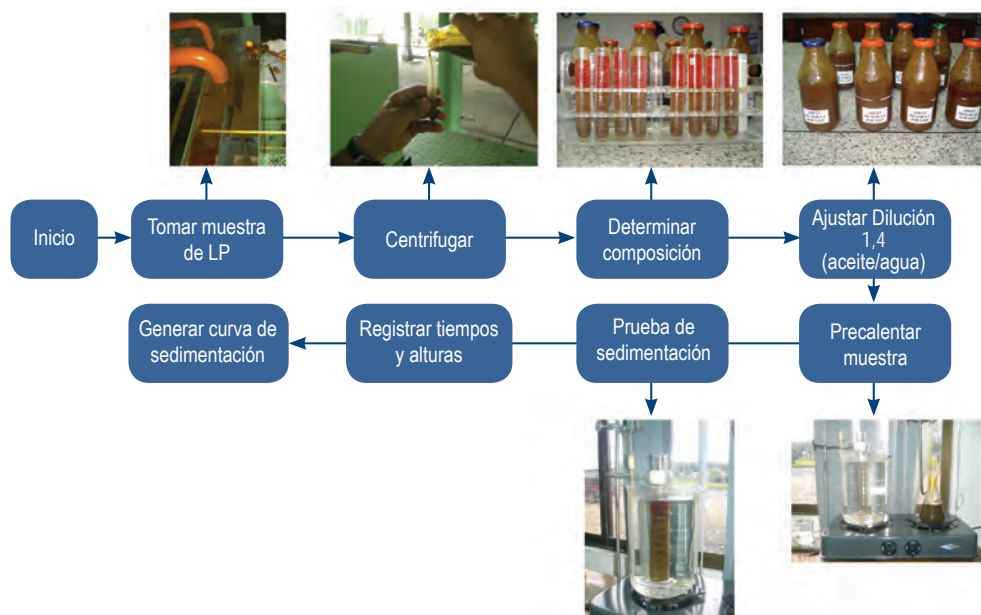


Figura 8. Procedimiento para el desarrollo de las pruebas de sedimentación en el laboratorio.

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 preclarificador 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. Partiendo de la ley de conservación se dice que toda la masa que entra es igual a la masa que sale, luego en clarificación se tiene el siguiente balance general.



Figura 9. Diagrama general del proceso de clarificación.

La Figura 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 Cenipalma 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 88,19%, las cuales fueron presentadas en la Figura 10.

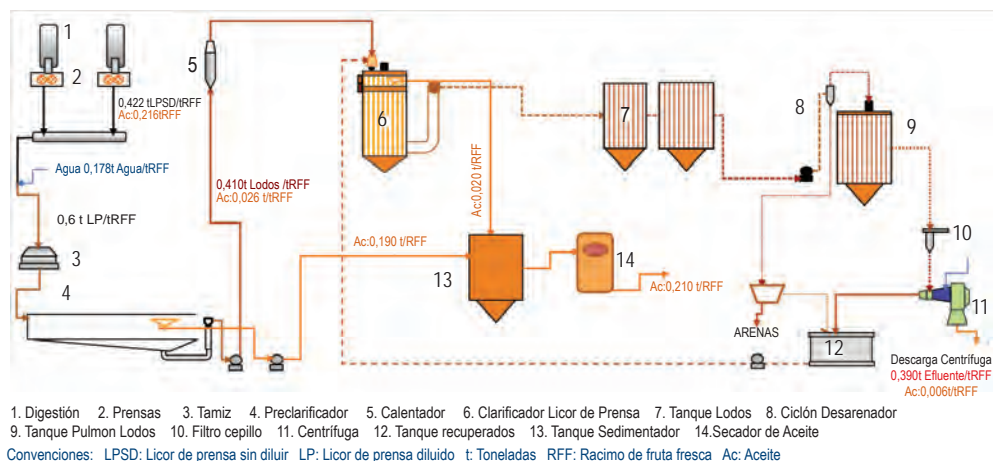


Figura 10. Balance de masa en el proceso de clarificación usando preclarificador.

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 88,19% 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 m³ 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 m³, se puede instalar un preclarificador de 20 m³, 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 por Cenipalma 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) (Yáñez y García, 2004).

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.

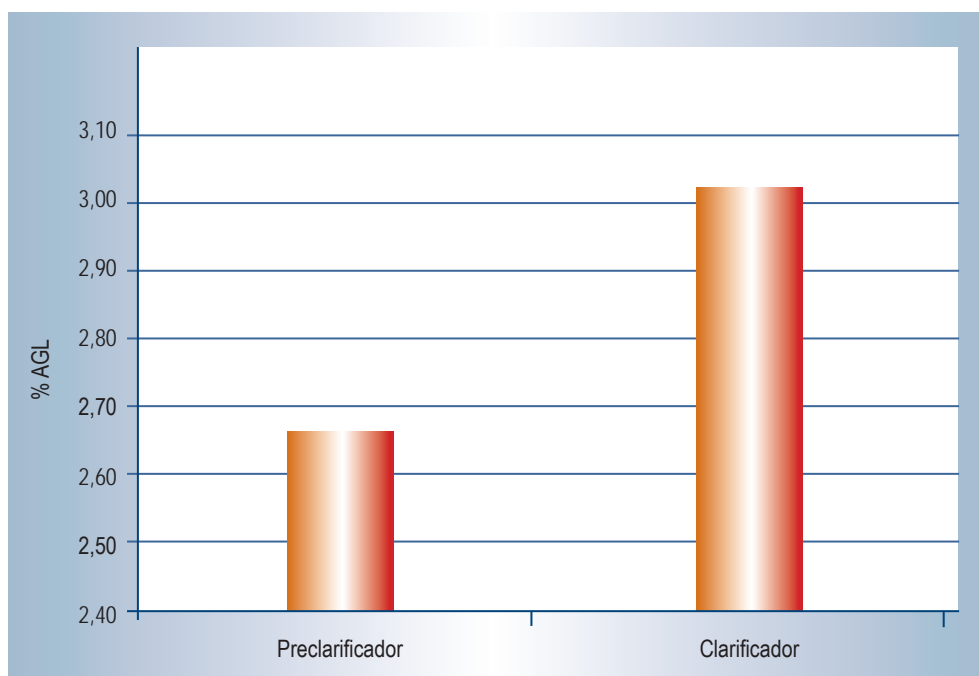


Figura 11. Contenido de ácidos grasos libres en dos puntos del proceso de clarificación de aceite de palma.

Segunda Parte



Parámetros de diseño de un
preclarificador

Parámetros de diseño de un preclarificador

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. En párrafos anteriores se explicó en qué consiste la prueba de sedimentación para la definición del tiempo crítico de separación (aceite – lodo), luego en este capítulo se hablará primero de cómo se lleva a cabo el cálculo del licor de prensa diluido y la utilización de estos valores para dimensionar el área transversal del equipo preclarificador. 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. A continuación se muestra la secuencia de pasos a desarrollar a manera de diagrama de flujo (Figura 12):

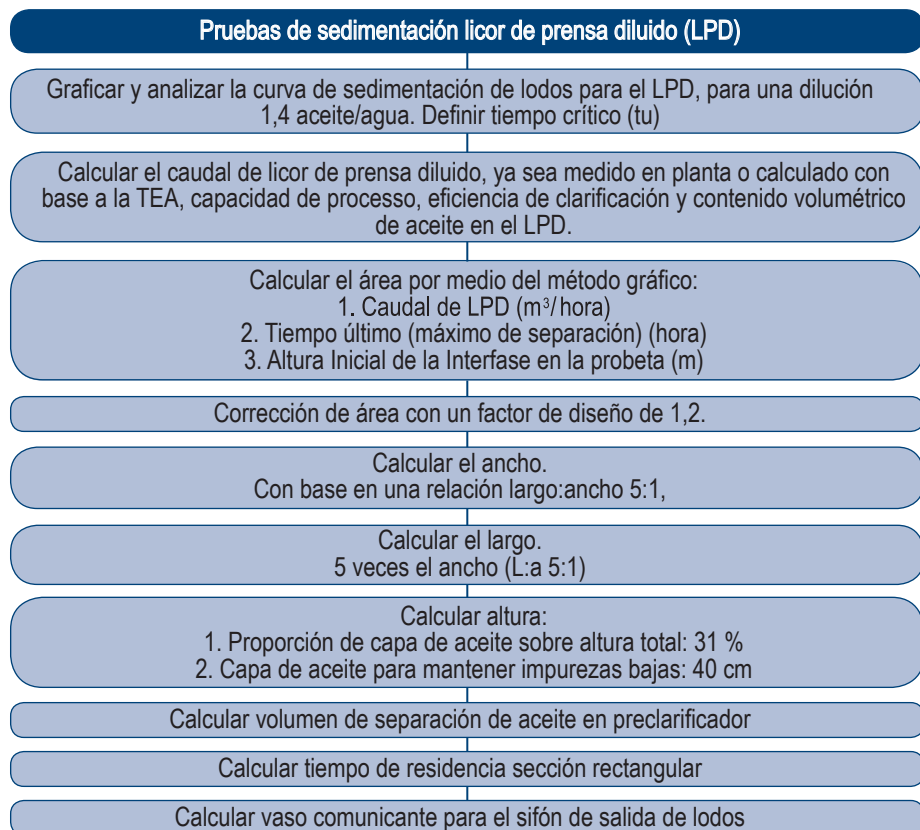


Figura 12. Diagrama de flujo para el diseño de un preclarificador de aceite.

Cenipalma, dentro de sus trabajos de investigación y validación tecnológica en las diferentes zonas del país, ha generado muchos resultados en cuanto a curvas de sedimentación, permitiendo definir un tiempo crítico ajustado a los mejores resultados de estas pruebas. En el capítulo de conceptos teóricos ubicado en el numeral (1) de este boletín, se definió y analizó la estimación del (tu) que sale como resultado de un método gráfico aplicado a las pruebas de sedimentación. Cenipalma definió este parámetro como constante para el cálculo de las dimensiones del preclarificador basado en estos estudios, por lo cual la explicación del diseño que se muestra a continuación inicia desde la determinación del flujo de licor de prensas.

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 (LPD) se ilustra en la Figura 13.

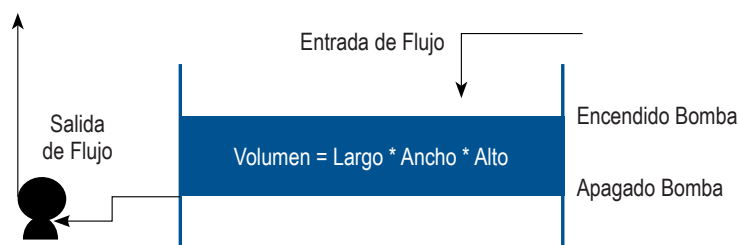


Figura 13. Tanque de crudo utilizado para aforo de LPD.

Esta metodología de medición es bastante confiable si se hacen varias repeticiones, para esto se debe determinar el tiempo en que el flujo de LPD (Licor de prensa diluido) alcanza un volumen determinado. A continuación se relaciona la fórmula para el cálculo del caudal.

$$Q_{LPD} \left(\frac{m^3}{hora} \right) = \frac{\text{Volumen de llenado del tanque (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de llenado del tanque (hora)}} \quad (5)$$

b. Cálculo del flujo de licor de prensa a partir de condiciones en planta

En el ejemplo que se describe a continuación se calcula el licor de prensa con base en la Tasa de Extracción de Aceite (TEA), el % volumétrico de aceite en el licor de prensa, la densidad del aceite de palma y la capacidad de procesamiento en planta.

El ejercicio se realiza para una capacidad de 45 t RFF/hora con una TEA de 21%. La eficiencia de clarificación es de 97%.

Aceite que entra a clarificación (TEA ajustada)

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

Flujo de aceite en t/h

$$\text{Flujo aceite} = \left(\frac{\text{aceite}}{\text{hora}} \right) = \text{Cap. Proceso} \left(\frac{t \text{ RFF}}{\text{hora}} \right) * \left(\% \frac{TEA_{Ajustada}}{100} \right) = 45 \frac{tRFF}{hora} * \frac{21,6\%}{100} \quad (7)$$

Tomando la densidad del aceite de 0,86 t/ m³

$$Q_{Aceite} = \frac{t_{Aceite}}{\rho_{Aceite} \text{ t/m}^3} = \frac{9,74 t_{Aceite}}{0,86 \text{ t/m}^3} = 11,33 \frac{m^3 \text{aceite}}{\text{hora}} \quad (8)$$

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) (Nieto y Díaz, 2007).

$$Q_{LPD} = \frac{Q_{Aceite}}{\% AC_{LPD}} * 100 = \frac{11,33 \frac{m^3 \text{aceite}}{\text{hora}}}{40,37\%(\text{vol/vol})} * 100 = 28,06 \frac{m^3 LPD}{hora} \quad (9)$$

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

Ejercicio de cálculo y dimensionamiento del preclarificador

A continuación se presenta un ejemplo 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/m³

Tiempo crítico resultado de método gráfico aplicado a curva de sedimentación de Lodos (página 19):

$t_u=5$ minutos

Altura de la probeta utilizada para las pruebas de sedimentación (página 19):

$Z_0=0,18$ m

Relación largo:ancho (página 19) = 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

a. Cálculo de 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 (Rueda y Rincón, 2007).

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:

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

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

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

Donde:

Tu: Tiempo último de separación aceite-sólidos, min

Zo: Altura inicial de lodos en la probeta, cm

Qo: Caudal de entrada a los equipos, cm³/min

Entonces,

$$A = \frac{Q_0 * t_u}{Z_0} = \frac{28,06 \text{ m}^3/\text{hora} * 0,0833 \text{ hora}}{0,18 \text{ m}} = 12,92 \text{ m}^2 \quad (10)$$

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

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

Esto permite deducir que, para un caudal 28,06 m³/h de LPD a una relación de dilución de 1,4 (aceite/agua), el área transversal adecuada es de 15,5 m² con un factor de seguridad de 1,2.

b. Cálculo del largo y ancho

Con el valor del área transversal y la relación largo: ancho 5:1, recomendada para este tipo de preclarificadores (página 17), se procede a estimar las dimensiones del tanque así:

Se tiene que:

$$L = 5 * w \quad (11)$$

Luego

$$A_{Fc} = L * w \quad (12)$$

Luego 9 en 10

$$A_{Fc} = 5 * w * w \quad (13)$$

Despejando w de 11, se calcula de la siguiente manera:

$$w = \sqrt{\frac{A_{Fc}}{5}} = \sqrt{\frac{15,5 \text{ m}^2}{5}} = 1,76 \text{ m} \quad (14)$$

Con el resultado en 12 se puede determinar el largo del preclarificador

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

c. Cálculo de 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

$$h_{total} * \frac{\text{Proporción capa de aceite}}{100} = h_{Ac} \quad (16)$$

Luego:

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

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:

$$VP = L * w * h \quad (17)$$

$$VP = 8,8 m * 1,76 m * 1,31 m = 20,29 m^3$$

Tiempo de residencia hidráulico (TRH)

$$TRH = \frac{VP}{Q_0} = \frac{20,29 m^3}{28,06 m^3/h} = 0,72 \text{ horas} * \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 43,37 \text{ minutos} \quad (18)$$

d. Dimensionamiento 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/m³, mientras que para el lodo es de 1,1 t/m³. 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 14 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.

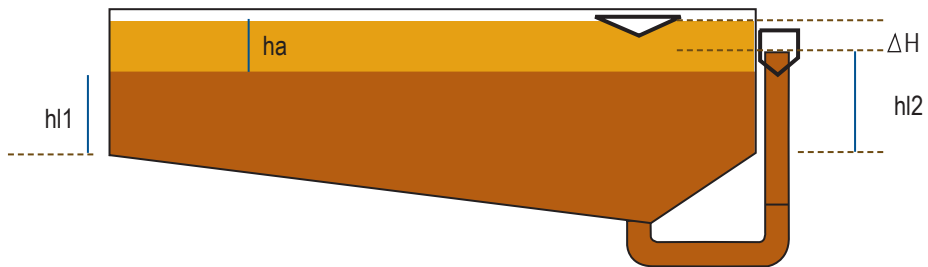


Figura 14. Esquema de vaso comunicante para el preclarificador.

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:

ρ_a : Densidad del aceite

h_a : Altura de la capa de aceite

ρ_l : Densidad de Lodos

h_{l1} : Altura de Lodos 1

h_{l2} : Altura de Lodos 2

Luego:

$$h_{l1} + h_a - h_{l2} = \Delta H \quad (19)$$

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 ΔH para un buen funcionamiento. Obsérvese en la Figura 15 los diferentes tipos de campanas colectoras instaladas en los preclarificadores, y en la Figura 16 se puede ver que la parte superior, donde se recupera el aceite (campana colectoras), está por encima del rebose de lodos que salen del preclarificador.

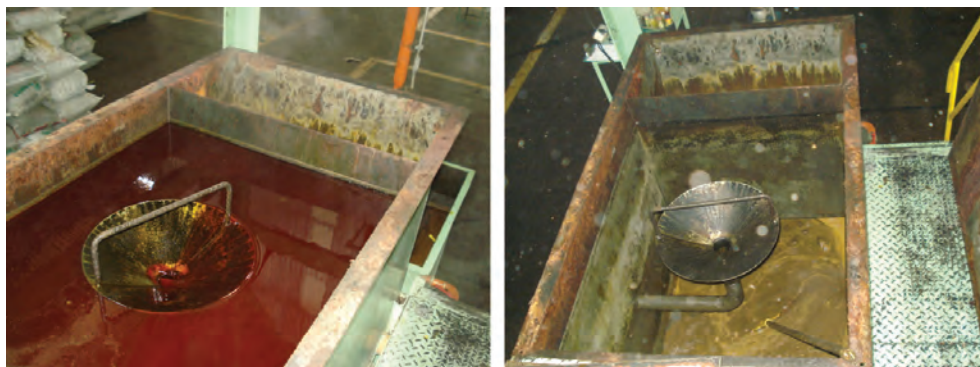


Figura 15. Sistemas de colectores de aceite. a. (en mantenimiento), b. (en operación).



Figura 16. Separación de las fases de aceite y lodos parte interna del preclarificador.

e. Sistema de purga

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 las siguientes figuras, 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.

En la actualidad se usan diferentes sistemas para la evacuación de lodos en el preclarificador, la primera se describe mediante un solo cono en el fondo del equipo que cuenta con una inclinación estipulada y se colecta el lodo, esta salida se ubica lo más cercano a la última sección de separación de aceite en el preclarificador para así lograr al máximo la capacidad de separación (Figura 17). Hay plantas donde se han incluido en vez de un cono, tres, para la evacuación de lodos como se observa en la Figura 18.

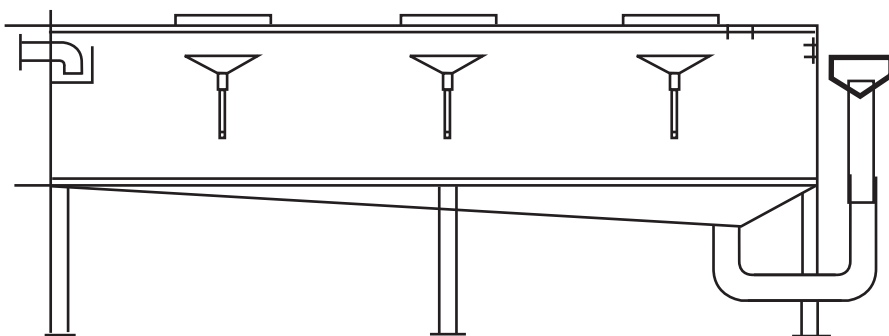


Figura 17. Esquema con una salida de lodos expreclarificados.

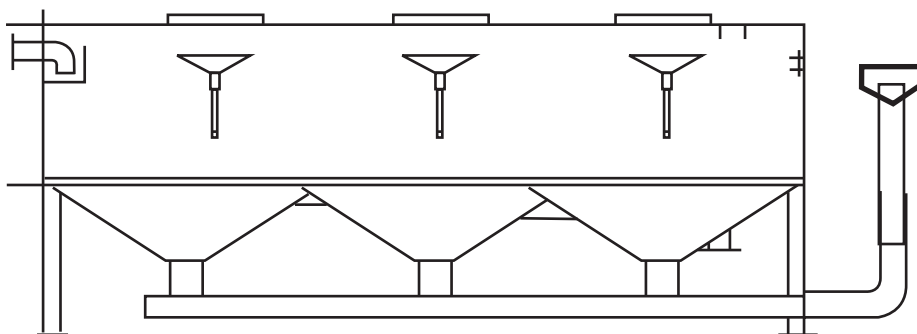


Figura 18. Esquema con tres salidas de lodos expreclarificados.

En cuanto a la tubería de descarga, se puede decir que de acuerdo con la experiencia con un preclarificador de aceite instalado para una planta de 45 t RFF/hora, se cuenta con una tubería de tres pulgadas para la recuperación de 7,02 m³/hora, y una tubería de seis pulgadas para la descarga, para un caudal de 19,98 m³/hora de lodos. Con estas dimensiones la velocidad de descarga de lodos del equipo es de 0,3 m³/segundo, valor que se puede tomar como referencia para estimar las tuberías de descarga a diferentes capacidades de procesamiento.

f. Instalación de la mirilla en el sistema de preclarificación

Es importante instalar una mirilla en el sistema de preclarificación porque permitirá observar la altura de la capa de aceite que se forma en la parte interna del equipo. Se recomienda instalar una que vaya desde la parte inferior del preclarificador hasta la más alta, de manera que permita observar las fases de aceite y lodos y las posibles compactaciones que se puedan formar en el fondo del equipo.

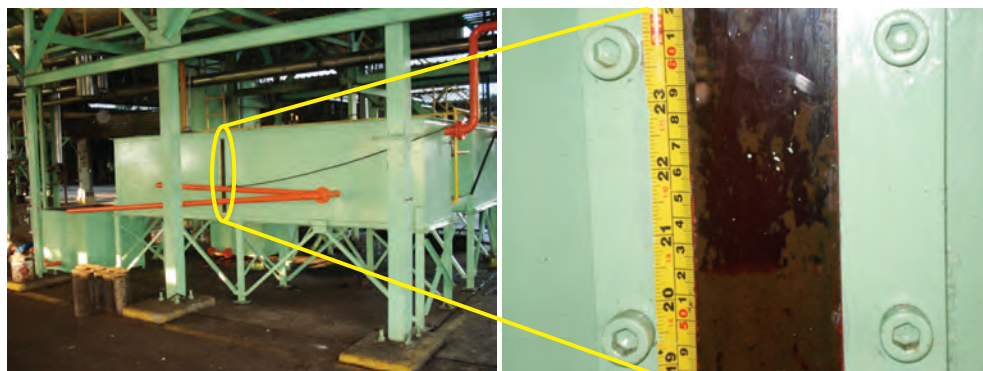


Figura 19. Mirillas en el equipo preclarificador.

De acuerdo con lo explicado y desarrollado en el ejercicio en este capítulo, se muestra a continuación un diseño de un preclarificador de $20,29 \text{ m}^3$, con tiempo de residencia de 43,37 minutos, que tiene la capacidad de procesar el licor de prensa diluido a 1,4 aceite/agua de una planta de 45 t RFF/hora. Para mayor facilidad, la Tabla 2 (página 49) muestra un resumen con los parámetros y variables de diseño del preclarificador de aceite para diferentes capacidades de procesamiento; también se encuentran de manera práctica cada uno de los datos calculados para el diseño de preclarificador con base en lo expuesto en los ítems anteriores en un rango de capacidad entre 10 y 45 t RFF/hora. Además, en la Figura 22 (página 50) se presenta el plano de un preclarificador de capacidad 44 t RFF/hora con cada una de las dimensiones discutidas en el presente capítulo.

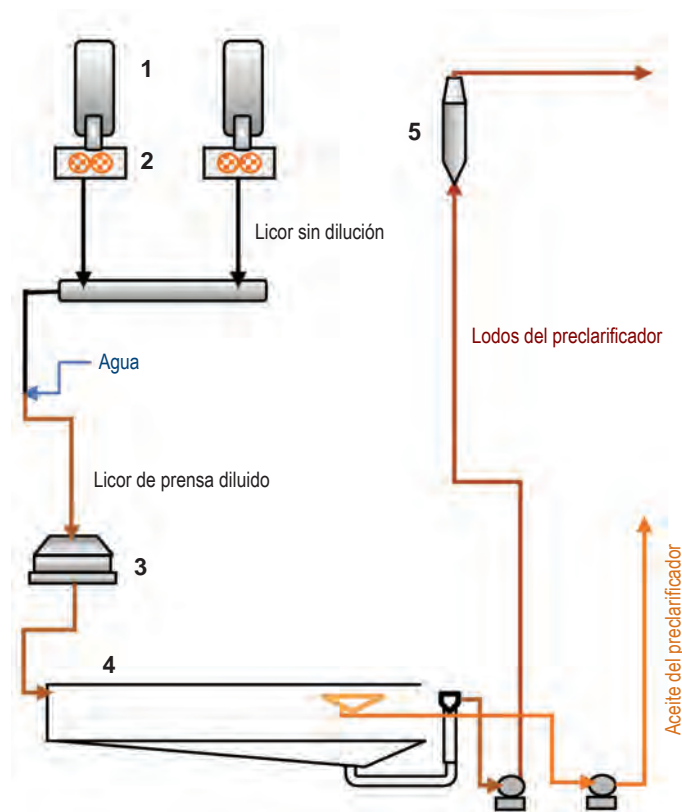
Tercera Parte



Ubicación del preclarificador en la
planta de beneficio

Ubicación del preclarificador en la planta de beneficio

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. Además, se debe tener en cuenta lo expuesto sobre la incidencia negativa en la separación de aceite que tiene el bombeo del licor, al reducir el tamaño de la partícula del aceite dentro de la mezcla, permitiendo generar emulsiones inestables difíciles de separar. Por lo anterior, se recomienda en lo posible que el licor de prensa pase por el tamiz y llegue al preclarificador por gravedad, evitando el bombeo del mismo. Es así como el punto de alimentación del equipo se debe instalar justo a la descarga del tamiz vibratorio por gravedad, ubicando los preclarificadores debajo del sistema de digestión y prensado como se observa en la Figura 20.



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

Figura 20. Ubicación de preclarificadores en planta.

La ubicación del equipo depende de la disponibilidad de espacio dentro de la planta y facilidad para conectar las tuberías de alimentación del licor de prensa y evacuación de aceite y lodos, así como de la instalación del tanque de bombeo. Existen factores adicionales que pueden afectar negativamente el desempeño del equipo como el bombeo y el tamizado del licor de prensa. En trabajos previos se menciona el efecto del tipo de malla usada en el tamizado sobre el rompimiento de gotas de aceite y disminución del tamaño de la misma, reduciendo la eficiencia de clarificación. En estudios preliminares desarrollados por Cenipalma (Díaz, Castillo y Yáñez, 2005), se presentaron los efectos negativos no solo del tamizado sino de las bombas tipo centrífuga sobre la separación estática del aceite en el licor de prensa diluido. En trabajos de laboratorio posteriores se encontró que la eficiencia de recuperación de aceite sin la utilización del tamiz y de la bomba es 10,1 puntos porcentuales promedio más alta que cuando el licor de prensa se pasa por estos equipos. (García, Nieto y Rincón, 2009).

Alternativas en clarificación debido a la incorporación del preclarificador

Al obtener 88% del aceite en un preclarificador como se mostró en la Figura 4, con una mejor calidad, se plantea la alternativa de procesar en forma separada los flujos aceitosos generados en el proceso de extracción de aceite, dadas las características propias de cada uno en cuanto a composición, calidad y facilidad de recuperación de aceite. De esta manera se podrían tener tratamientos independientes con eficiencias y calidades diferenciales, que permitan producir aceite con varios niveles de calidad y precio. Entre los flujos a considerar están: condensados de esterilización, recirculados de centrífugas, recirculados de florentinos y aguas de ciclones desarenadores, los cuales darán como resultado un impacto positivo en cuanto a pérdidas de aceite en planta, y a generar una única salida de efluente líquido de la planta, como lo serían las centrífugas deslodadoras.

A continuación se describe un balance de masa para la etapa de clarificación de una planta de 30 t RFF/hora, se muestra cada una de las corrientes que entran al clarificador vertical (6), y en el cual, para este caso, se recupera 70% del aceite en el preclarificador (3) (Figura 21) (Nieto, García y Yáñez, 2008).

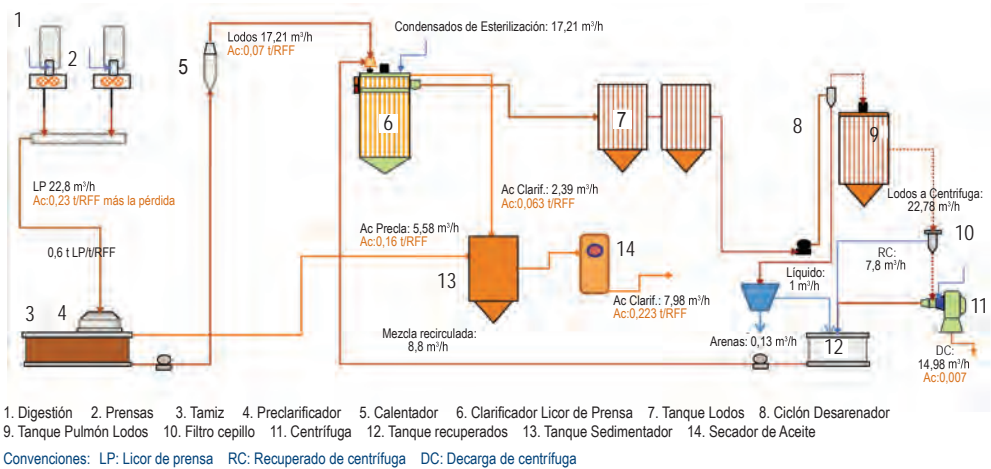


Figura 21. Balance de masa para clarificación con preclarificador y flujos recirculados de proceso.

Cuarta Parte



Operación de preclarificador

Operación de 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 colectar 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.

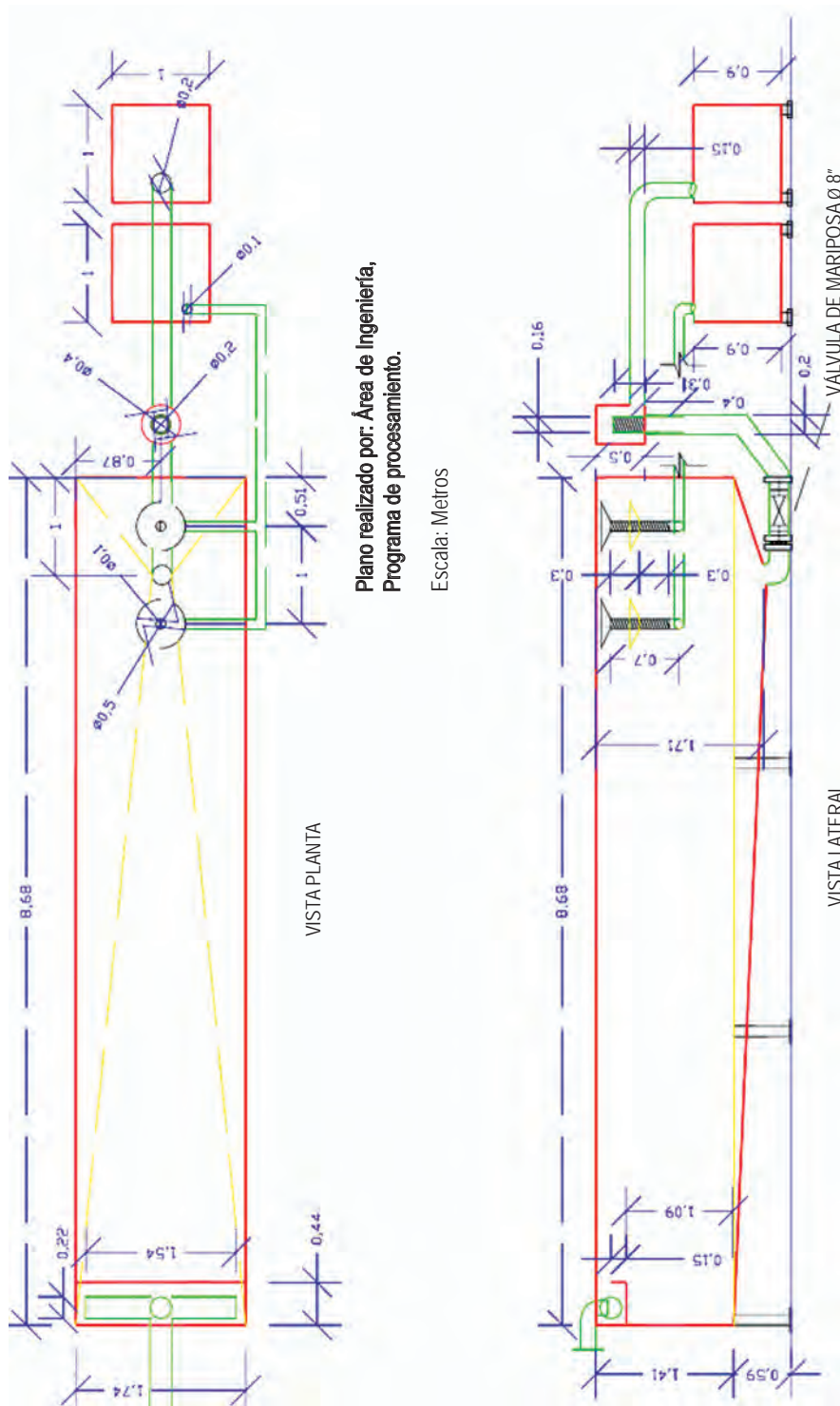
Otros aspectos a tener en cuenta:

- 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 preclarificador 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.

Tabla 2. 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																		
			10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	45
t RFF/h	Capacidad	Cap	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
%	Concentración	Ac/LPD	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
t/m ³	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
t/m ³	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
-	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
%	Eficiencia Clarificación	Efi.	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
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
-	Relación Dimen : L=5*W	L:W	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
%	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
%	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
%	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
m ³ /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
m ²	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
m ²	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
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
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	8,68	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
m ³	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
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
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	1,26
cm	Vaso 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

Figura 22. Plano de equipo preclarificador para 44 t RFF/hora



Agradecimientos

Los autores agradecen a los ingenieros de Aceites Manuelita S.A., Álvaro Moreno, Jairo Prada y Laubher Álvarez; Entrepalmas, Jairo Iván Hoyos; Palmeras de la Costa S.A., Héctor Muñoz; C.I. El Roble, Sergio Amaya; Aceites S.A., Francisco Granados; y de Agroince, Omar Cadena, que apoyaron los estudios realizados. Esta iniciativa es el resultado de apreciaciones técnicas por parte de las empresas Palmagro S.A., Dr. Miguel Bohórquez, y de la Extractora La Paz, donde utilizaron tanques de bombeo de licor de prensa que mostraron un comportamiento favorable gracias a su ubicación y dimensionamiento.

Este boletín es producto de la investigación en plantas de beneficio financiada por Fedepalma, entidad administradora del Fondo de Fomento Palmero, y se publica con recursos del SENA, entidad a la que también se manifiestan agradecimientos por el apoyo brindado.

Bibliografía

- Bernal, G. 1991. Descripción general del proceso eficiente de clarificación del aceite de palma y de sus condiciones de operación. *Palmas* (Colombia) 12 (Especial): 112-117.
- Cadena, F. 2004. Recuperación de aceite previa al proceso de clarificación. Memorias V Reunión anual de comités asesores de investigación de Cenipalma (Colombia). 28, 29 y 30 abril, Bogotá.
- Castellanos, S.; García N., J. 2001. Funcionamiento de los separadores estáticos horizontales de aceite crudo de palma. *Ceniavances* (Colombia) (82).
- Cruz, C.; Sierra, G.A.; Yáñez A., E. 2006 Estudio de la factibilidad técnica sobre la decantación independiente de los recuperados de centrífuga en el proceso de extracción de aceite de palma. *Revista Palmas* ed: v.27 fasc.2 p.23.
- Delgado R., F. 1994 Clarificación horizontal. Principios, fundamentos e innovaciones. *En: Curso algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma*. (Gómez C., PL. Ed.) Cenipalma, Bogotá: 57.
- Díaz R., O.; Castillo M., E.; Yáñez A., E. 2005. Estudio del nivel de dilución apropiado del licor de prensa en el proceso de extracción de aceite de palma, apoyado en el diseño y evaluación de un sistema de control automático. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander (tesis de pregrado).
- Duarte T., A.; 1998. Transferencia de Momentum. Operaciones de transferencia de Momentum & manejo de sólidos aplicaciones. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Página 57.
- García N., J.; Nieto M., D.; Rincón M., S., 2009. Eficiencia de recuperación del aceite en función de la configuración geométrica y del tiempo de residencia en equipos preclarificadores. *Palmas*, 30 (1): 39-48.
- Granados, J. 2004. V Reunión anual de comités asesores de investigación de Cenipalma. Memorias. Bogotá.
- Nieto M., D.; García N., J.; Yáñez A., E. 2008. Estudio del fenómeno de separación de aceite para los sistemas de recuperación tipo preclarificador en Aceites Manuelita S.A. Informe técnico interno. Cenipalma.
- Nieto M., D.; Díaz R., O.; 2007. Validación de la relación óptima aceite/agua en el licor de prensas y el mejor rango de composición del recuperado de centrífuga con relación a sus procesos de decantación estática. Valledupar: Universidad Popular del Cesar (tesis de pregrado).
- Peláez D., C.; Nieto M., D., 2009. Implementación de tecnología y buenas prácticas de procesamiento. Presentación magistral. XVI Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite y Expopalma.
- Ramírez, N.; Hernández M, D.; Yáñez A., E., 2001. Seguimiento y control de calidad al proceso de clarificación en dos plantas extractoras de aceite de palma en la Zona Norte colombiana para el incremento en la eficiencia del proceso. Química de Alimentos. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia- Sede Tunja (tesis Pregrado).
- Rueda, L.; Rincón M., S. 2007. Determinación de parámetros básicos de diseño a escala piloto para los sistemas tipo preclarificador. Bogotá: Universidad de América (tesis pregrado).
- Rincón, S.; Rueda, L.; Yáñez, E.; García, J. 2007. Metodología de las pruebas de sedimentación para el estudio del proceso de clarificación del aceite crudo de palma. *Ceniavances* (Colombia) 155: 1-4.
- Roa Fuentes, L., et ál. 2004. Evaluación de la incidencia de los flujos recuperados del proceso de extracción del aceite de palma sobre su calidad y la del aceite refinado. *Palmas* (Colombia) 25 Especial (2): 425 – 437.
- Roa F., LC., et ál. 2004. Evaluación de la incidencia de los flujos recuperados del proceso de

- extracción del aceite de palma sobre su calidad y la del aceite refinado. *Palmas* (Colombia) 25 Especial, Tomo II: 425.
- Rodríguez A., ADP.; Luque S., J. 1996. Evaluación técnica de un equipo con placas paralelas para la recuperación de aceite en la etapa de clarificación dentro de la planta extractora de aceite de palma, Palmar del Oriente (Casanare). Bogotá. Universidad Nacional de Colombia (tesis de pregrado).
- Rubiano M., G.; 2000. Uso de la agitación en clarificadores de aceite de palma crudo, del tipo rectangular. *Palmas* (Colombia) 21 Especial, Tomo I.
- Sierra, G.; Yáñez, E.; Cruz, C. 2006. Estudio de la factibilidad técnica sobre la decantación independiente de los recuperados de centrífuga en el proceso de extracción de aceite de palma. *Palmas* (Colombia) 27 (2): 23-34.
- Sulaiman, Al-Zuhair. 2004. *Using liquid-liquid settling model in determining the design parameters of crude palm oil settler. Separation and purification technology*, 35: 133-140.
- Svarovsky, L. 2000. *Solid- Liquid Separation*. Cuarta Edición. Oxford: Butterworth- Heine- mann.
- Uribe M., L.D. 1994. Algunos aspectos del procesamiento de aceite de palma. Cenipalma. Bucaramanga. Pág. 63 – 68
- Yáñez A., E., García N., J.; 2009. *Technological developments to increase the efficiency of the clarification process and to determine the oil potential in fresh fruit bunches. Libro Proceedings of Chemistry, Processing Technology & Bio Energy Conference, PIPOC International Palm Oil Congress Palm Oil – Balancing ecologics with economics*. Kuala Lumpur, Malaysia. Pág. C5
- Yáñez A., E.; et ál. 2009. Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático. *Palmas*, 29 (4): 21-30.
- Yáñez A., E.; García N., J. 2004. Evaluación de la incidencia de los flujos recuperados del proceso de extracción del aceite de palma sobre su calidad y la del aceite refinado. *Palmas* 25 Especial, Tomo II: 425.

ANEXOS

Anexo A. Formato de toma de datos para pruebas de sedimentación de licor de prensa

FECHA		HORA		CÓDIGO				
Pruebas de Sedimentación xx DIL x:x								
TRATAMIENTO		Muestra de LSPD (Licor de prensa sin dilución)			Esta muestra presentó contenido de agua			
REPETICIÓN		Análisis de Centrifuga			Muestra		%Aceite	MUESTRA
ENSAYO		%Aceite		Vol Aceite		%Agua	<input type="text"/>	
DILUCIÓN		%Lodos		Vol L L		%Lodos		
PRENSAS		Muestra LPD (Licor de prensa)			Vol Agua		Vol aceite ml	
Tamizado		%Aceite		Vol Lodos		Vol agua ml		
T muestra		%L. Livianos		Vol Prob m		Vol Lodos ml		
T agua dilución		%Agua		dil muestras		Vol muestra sin agua		
		%L. Pesados						
T(min)	T(seg)	T(min)	Vol Aceite(ml)	T. Baño (°C)	% Recup.	Eficiencias	Velocidad	Velocidad parcial
0	0	0						
0	10	0.2						
0	20	0.3						
0	30	0.5						
0	40	0.7						
0	50	0.8						
1	0	1.0						
1	10	1.2						
1	20	1.3						
1	30	1.5						
1	40	1.7						
1	50	1.8						
2	0	2.0						
2	10	2.2						
2	20	2.3						
2	30	2.5						
2	40	2.7						
2	50	2.8						
3	60	4.0						
3	0	3.0						
3	10	3.2						
3	20	3.3						
3	30	3.5						
3	40	3.7						
3	50	3.8						
4	0	4.0						
4	10	4.2						
4	20	4.3						
4	30	4.5						
4	40	4.7						
4	50	4.8						
5	0	5.0						
6	0	6.0						
7	0	7.0						
8	0	8.0						
9	0	9.0						
10	0	10.0						
15	0	15.0						
20	0	20.0						
25	0	25.0						
30	0	30.0						
35	0	35.0						
40	0	40.0						
Observaciones: _____								

Anexo B. Fotos



Figura 23. Tanques de bombeo de lodos expreclarificados.



Figura 24. Tanque de bombeo de aceite preclarificador.



Figura 25. Vertederos de licor de prensa, aceite preclarificado y lodos preclarificados.

Colección Boletines Técnicos Fedepalma - Cenipalma

- No. 1 Reconozca usted la Marchitez sorpresiva. 1ª ed. Enero 1986
- No. 2 El gusano canasta. *Oiketicus Kirbyi* Guia. Enero 1987
- No. 2A Importancia de la adecuada capacidad de almacenamiento de aceite de palma. 1ª ed. Abril 1987
- No. 3 Material plantable de la palma africana de aceite. Mayo 1987
- No. 4 Anillo rojo en palma africana. Diciembre 1988
- No. 5 Guía de los usos del aceite de palma. Mayo 1989
- No. 6 Importancia de una adecuada capacidad de almacenamiento de aceite de palma. 2ª ed. Febrero 1989
- No. 7 Certificados de depósito y bonos de prenda para el aceite de palma africana. Septiembre 1989
- No. 7A Reconozca usted la Marchitez sorpresiva. 2ª ed. Septiembre 1990
- No. 8 Mancha anular de la palma africana. Febrero 1991
- No. 9 Anillo rojo - Hoja corta en palma de aceite.
1ª ed. Abril 1995 - 2ª ed. Diciembre 2004
- No. 10 Manejo de efluentes de plantas extractoras. Marzo 1996
1. Arranque, operación y mantenimiento de lagunas de estabilización.
- No. 11 Manejo de efluentes de plantas extractoras. Marzo 1997
2. Diseño de lagunas de estabilización.
- No. 12 Guía general para el muestro foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite. 1ª ed. Mayo 1998 - 2ª ed. Octubre 2002.
- No. 13 Diagnóstico y manejo preventivo de las enfermedades virales de la palma de aceite en la Zona Occidental de Colombia. 2001
- No. 14 Selección y descarte en plantas de vivero. Mayo 2002
- No. 15 Biología, hábitos y manejo de *Cyparissius (Castnia) daedalus* Cramer. Barrenador gigante de la palma. Septiembre 2002
- No. 16 Manejo de *Leptopharsa gibbicarina* Froeschner, insecto inductor de la Pestalotiopsis. Septiembre 2002
- No. 17 Referenciación competitiva para la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Estudios de cosecha y control de pérdidas en la Zona Central. Mayo 2005
- No. 18 Mejores prácticas de cosecha. Mayo 2006
- No. 19 Mejores prácticas en plantas de beneficio. Febrero 2007
- No. 20 Selección de palmas de aceite élite para donación. Marzo 2007

- No. 21 Biología, hábitos y manejo de *Sagalassa valida* Walker. Barrenador de raíces de palma. Diciembre 2006.
- No. 22 Marchitez letal en palma de aceite. Diciembre 2007
- No. 23 Biología, hábitos y manejo de *Rhynchophorus palmarum* L. Junio 2010
- No. 24 Tecnologías para la obtención de oleoquímicos provenientes del aceite de palmiste. Diciembre de 2008
- No. 25 Referenciación competitiva a los sistemas de evacuación y alce de fruto. Junio 2010
- No. 26 Metil éster sulfonado: una generación nueva de surfactantes. Noviembre 2010
- No. 27 Recuperación de almendra: sintonización de columnas de separación neumáticas en plantas de beneficio. Diciembre 2010
- No. 28 Medición del potencial industrial de aceite en plantas de beneficio usando sistemas de medición de caudal tipo vertederos: diseño y operación. Diciembre 2010

Cenipalma advierte expresamente a todos los usuarios, miembros, consultantes y demás terceros interesados que las investigaciones que adelanta, los informes o resultados que socializa, las exposiciones, presentaciones, conferencias, documentos, así como la información que difunde como consecuencia de los estudios, inferencias y demás análisis realizados al interior de la entidad o contratados por ella –sin perder su rigor y profundidad profesional–, sólo tienen carácter informativo, de consulta, de difusión y de referencia estadística, académica o científica. En ningún caso constituyen axiomas para su estricta observancia, ya que en el mejor de los casos podrían interpretarse como simples consejos o recopilaciones de experiencias analizadas, para ser estudiadas, utilizadas o aplicadas por quienes acceden a ellas, de acuerdo con su propio criterio, bajo su exclusiva responsabilidad, según su leal saber y entender. Esto, en razón de que cada situación resulta única y particular y requiere de tratamientos o soluciones específicas que escapan de la competencia de Cenipalma. Por tanto, se trata de socializaciones según el estado actual de la técnica y de los avances científicos idóneamente realizados, que han sido valorados por el Centro hasta el momento presente, sin tener en cuenta escenarios concretos detallados ni casos particulares.

