

Fundamentos del proceso de clarificación



Unidad de Extensión

Ánderson Eduardo Guerrero Sánchez
Cristhian Camilo Peña Mejía
Silvia Liliana Cala Amaya

Convenio Especial de Cooperación N° 118 de 2017 SENA-Fedepalma



Fundamentos del proceso de clarificación

Publicación de la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, cofinanciada por Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero Convenio Especial de Cooperación N° 118 de 2017 suscrito entre el Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA, y la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma

Jens Mesa Dishington

Presidente Ejecutivo de Fedepalma

Alexandre Patrick Cooman

Director General de Cenipalma

Jorge Alonso Beltrán Giraldo

Director de la Unidad de Extensión, Cenipalma

Juan Carlos Vélez Zape

Líder de Formación a través de Terceros

Autores

Anderson Eduardo Guerrero Sánchez

Extensionista Zona Norte

Cristhian Camilo Peña Mejía

Auxiliar de Investigación y Extensión Zona Central

Silvia Liliana Cala Amaya

Extensionista Plantas de Beneficio Zona Oriental y Suroccidental

Coordinación editorial

Yolanda Moreno Muñoz

Esteban Mantilla

Fotografía

Colección fotográfica Fedepalma

Diseño y Diagramación

Fredy Johan Espitia Ballesteros

Impresión

Javegraf

ISBN: 978-958-8360-66-9

Cenipalma

Calle 20A N° 43A - 50 Piso 4

PBX: 208 6300 • Fax: 244 4711

Bogotá, D.C., Colombia

www.cenipalma.org

Septiembre 2017

Contenido

Unidad temática I	
Fundamentos y conocimientos de la sección de clarificación e interacción con otras áreas	7
¿Qué es la clarificación?	9
¿Cómo es el proceso de clarificación?	9
¿Cómo funciona?	13
¿Qué afecta la separación del agua y el aceite?	14
¿Qué la favorece?	15
Temperatura y su efecto en la clarificación	16
¿Qué es un análisis volumétrico y para qué sirve?	17
Efecto de la cantidad de agua en la clarificación (Factor de dilución)	19
Calidad del fruto	21

Unidad temática II	
Proceso de clarificación estática	25
¿En qué consiste la operación?	27
Inicio del proceso	29
Durante el proceso	32
Final del proceso	38
Unidad temática III	
Clarificación dinámica	41
Inicio del proceso de centrifugas deslodadoras	46
Durante el proceso de la centrifuga deslodadora	48
Final del proceso de centrifugación	49
Unidad temática IV	
Otros aspectos importantes en la operación de clarificación	51
Buenas prácticas en el mantenimiento	53
Atención de contingencias durante el proceso de clarificación	53
El mantenimiento asociado al proceso de clarificación	54
Otras consideraciones sobre el proceso de clarificación	54
Salud ocupacional en la clarificación	55
Bibliografía	56





UNIDAD TEMÁTICA

|

Fundamentos y conocimientos
de la sección de clarificación
e interacción con otras áreas



¿Qué es la clarificación?

Se refiere a la separación y posterior purificación del aceite rojo de palma contenido en la mezcla líquida o licor de prensa (LP) obtenida en el proceso de prensado. Dicha mezcla está compuesta de cuatro fases: aceite, agua, lodos livianos (pectinas, gomas -también llamado material mucilaginoso-) y lodos pesados (suelo, arena, material vegetal y demás impurezas).

¿Cómo es el proceso de clarificación?

Consiste en una serie de pasos que van desde que se recibe el licor de prensa sin diluir (LPSD) hasta que se obtiene el aceite clarificado y los lodos que salen hacia el sistema de tratamiento de aguas residuales (lagunas) (Figura 1, página 12). Cada uno de estos pasos cumple una función, es influenciado por las etapas anteriores y tiene efecto en las posteriores. La clarificación se afecta o favorece por las secciones de proceso previas, como la esterilización y el prensado.

Dentro del proceso de clarificación se encuentran los siguientes equipos:

- ▶ **Tamiz:** utilizado para remover los sedimentos e impurezas más gruesas (restos de fibras, material vegetal). Los hay de tipo circular y rectangular. Para su adecuado funcionamiento es importante verificar la consistencia del material que se separa y evitar taponamientos (chequear el estado de la malla). En la clarificación, sirve para tamizar el licor de prensa sin diluir y los lodos provenientes de los clarificadores.



- ▶ **Preclarificador:** es uno de los equipos de separación estática más importantes en la sección de clarificación ya que puede apartar aproximadamente el 80 % del aceite que está contenido en el licor de prensa. Dispone de un sistema de calentamiento, recuperación de aceite y evacuación de lodos. Para lograr una buena eficiencia¹ del mismo, es importante controlar la temperatura y la altura de la capa de aceite. Existen plantas que no cuentan con este equipo, en cuyo caso, la mayor cantidad de aceite es separada en el clarificador (sedimentador primario).
- ▶ **Clarificador:** llamado también sedimentador primario. Consiste en un tanque donde sucede la separación del aceite que quedó remanente en el lodo que proviene del preclarificador. Cuenta con un sistema de calentamiento y agitación lenta. El tiempo de residencia (periodo requerido para que el fluido recorra el equipo desde la entrada hasta la salida) en el clarificador, depende de su geometría y generalmente es mayor que el del preclarificador.
- ▶ **Secador de aceite:** a este llega tanto el aceite recuperado del preclarificador como el del clarificador. Generalmente en las plantas se puede realizar de dos maneras: por medio de un secador atmosférico o por uno al vacío. El primero es un tanque con calentamiento que opera a 105 °C, temperatura en la que se espera que la mayor parte del agua contenida en el aceite se haya evaporado. El segundo es un tanque en el que el aceite se inyecta a presión en una cámara (compartimiento) en donde la presión baja bruscamente, provocando que el agua contenida en el aceite se evapore a una menor temperatura (aproximadamente 55 °C) que a la de ebullición del agua. El secado del aceite es una característica de calidad requerida por los clientes.
- ▶ **Desarenador:** como su nombre lo indica, es utilizado para remover arenas presentes en los lodos o en las corrientes producidas en la sección de clarificación. Usualmente está ubicado dentro del proceso, según la configuración de la planta. Consiste en un cilindro al que llega el fluido a alta velocidad, separando las arenas debido a su peso.
- ▶ **Tanque de lodos:** recibe los lodos provenientes del clarificador y tiene la función de almacenarlos, a la altura necesaria, para la buena operación de las centrifugas. A esta condición de proceso se denomina “dar cabeza de presión”. Los tanques de lodos pueden estar divididos en dos secciones (o ser dos tanques diferentes): en la primera se reciben los lodos provenientes

¹ La eficiencia en el preclarificador hace referencia a la cantidad de aceite recuperado en el equipo con respecto al aceite contenido en la corriente de entrada (licor de prensa).

del clarificador o preclarificador sin tamizar (dependiendo de la configuración de la planta); en la segunda, se almacenan los lodos que han sido tamizados y que alimentan posteriormente a las centrífugas.

- ▶ **Filtro cepillos:** está ubicado antes de las centrífugas y cumple la función de separar sedimentos, arenas, fibras o cualquier otro elemento que pueda obstruir o dificultar la operación de los equipos dinámicos (centrífuga). Para su correcta operación es importante tener en cuenta la actividad de retrolavado y limpieza.
- ▶ **Centrífugas:** equipo de separación dinámica que utiliza la rotación a alta velocidad para que el aceite se separe. Opera a una velocidad de 1.450 (revoluciones por minuto) y cuenta con un *bowl* (rotor fabricado en acero inoxidable), que tiene de seis a 12 puntas, de acuerdo con su capacidad. Durante la operación es importante garantizar que no exista taponamiento de las boquillas puesto que la vibración excesiva ocasiona daños en el equipo, además de que puede afectar la recuperación del aceite y generar pérdidas.
- ▶ **Separador dinámico de tres fases:** permite la separación de la mezcla en tres componentes o fases: aceite, agua lodosa y lodo pesado. Esta ocurre gracias a que los componentes de la mezcla tienen diferentes densidades² y a la acción de la fuerza centrífuga. Dentro del proceso de clarificación puede operar con diferentes corrientes de proceso de acuerdo con la configuración y características de la planta (licor de prensa, lodo salida de preclarificador, lodo salida de clarificador, lodo salida de centrífugas).
- ▶ **Tanques pulmón:** se usan ampliamente en las plantas de beneficio. Su ubicación y función dependen de las necesidades puntuales y la configuración de la clarificación. Algunas de sus utilidades son el almacenamiento temporal de las corrientes líquidas del proceso para su posterior bombeo, dosificador para la alimentación de otros equipos, tanque de mezcla de varias corrientes, entre otros.
- ▶ **Bombas:** cumplen la función de impulsar una corriente líquida (agua, lodo, aceite y mezclas) dentro del proceso, para permitir su transporte hasta otro punto o equipo. Existen diferentes tipos que se usan según el requerimiento en el proceso, aspecto que es importante considerar para una buena operación.

2 Es una propiedad que relaciona la masa de un cuerpo y el volumen (espacio) que este ocupa.

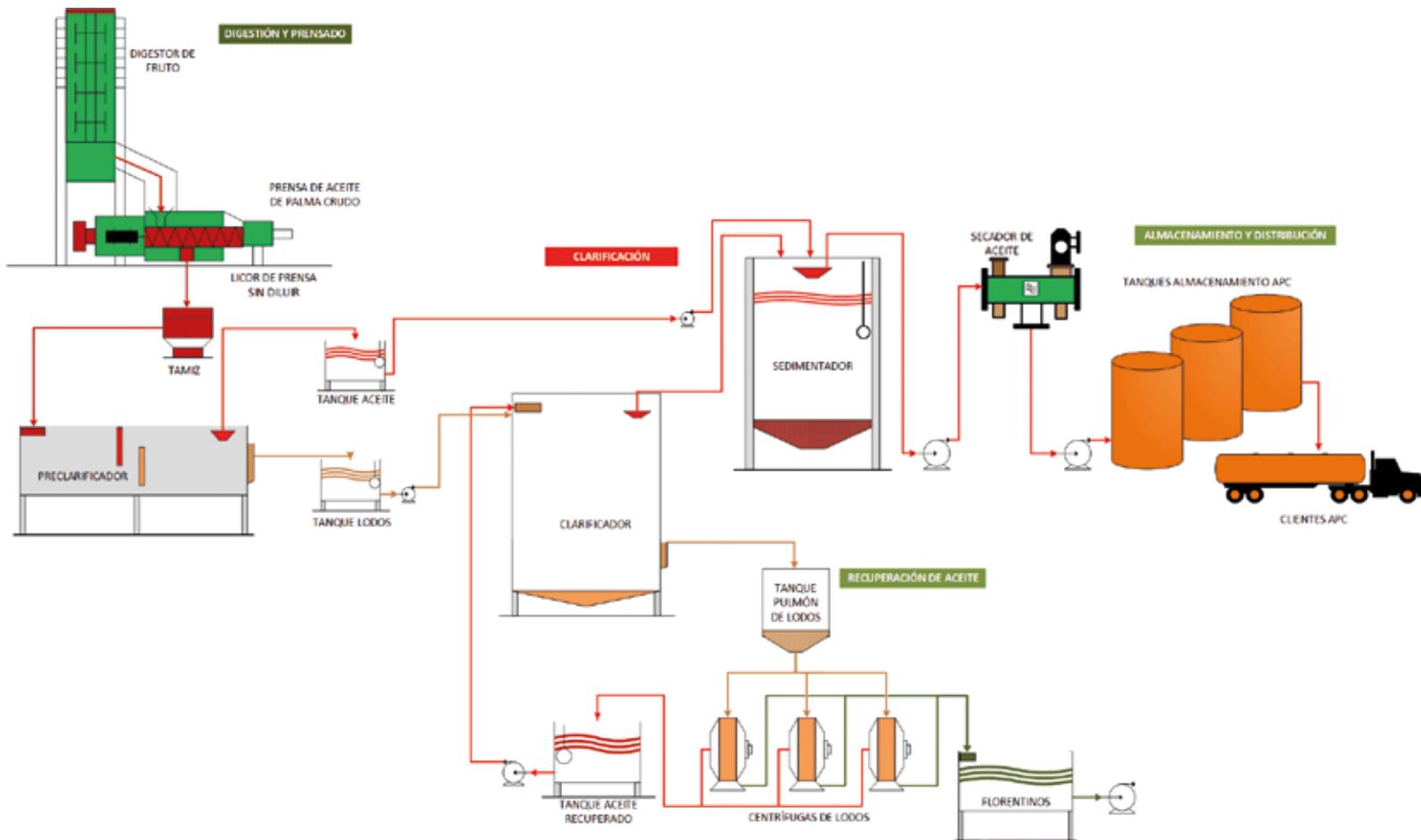


Figura 1. Diagrama del proceso en la sección de clarificación

¿Cómo funciona?

Para lograr que el aceite se separe de la mezcla, se aprovecha la propiedad de la inmiscibilidad³ del agua y el aceite.

El proceso de clarificación puede realizarse mediante dos métodos: estático y dinámico.

- ▶ **Clarificación estática:** con este sistema es posible lograr la separación hasta del 90 % del aceite contenido en la mezcla por medio de la decantación⁴, dado que la densidad del aceite es menor que la del agua, este tiende a formar una capa en la parte superior.
- ▶ **Clarificación dinámica:** consiste en la separación de los componentes que se encuentran en una mezcla aprovechando la fuerza centrífuga. Puede aplicarse a diferentes corrientes (mezclas) en el proceso, según el diseño de cada planta. Por ejemplo, el uso de la centrífuga para clarificar el lodo después de haber pasado por la sedimentación⁵ y el uso del separador dinámico de tres fases para clarificar el licor de prensa obtenido luego del prensado de la fruta.

3 Incapacidad que tienen algunos líquidos para mezclarse. Ejemplo: el agua y el aceite.

4 Es un método mediante el cual se pueden separar mezclas de sustancias inmiscibles que tienen diferente densidad.

5 Consiste en la separación de un sólido no disuelto que está presente en una mezcla heterogénea.



¿Qué afecta la separación del agua y el aceite?

El licor de prensa es una mezcla de agua, lodos, sedimentos y aceite que se agrupa en pequeñas gotas. Para lograr una correcta separación, las gotas de aceite deben tener un tamaño apropiado que facilite su ascenso, logrando así el aumento de su fuerza de empuje (Figura 2). Durante la separación del aceite por la sedimentación existen unas fuerzas (de fricción) que dificultan este proceso. Esas fuerzas de fricción se reducen cuando el licor de prensa se mantiene entre 90 y 95 °C. Sin embargo, a una mayor temperatura la mezcla hierve, ocasionando un burbujeo que reduce el tamaño de las gotas de aceite con la consecuente emulsificación⁶ de los componentes y una pérdida de la capacidad de separación.



Figura 2. Fuerzas que actúan sobre las gotas de aceite. Fuente: Bernal (2005).

⁶ Se conoce como aquella mezcla de dos o más líquidos inmiscibles que se logran incorporar cuando los tamaños de las gotas de una de las sustancias, generalmente la de menor densidad, son lo suficientemente pequeños.

¿Qué la favorece?

Para la correcta separación del aceite del licor de prensa, se debe lograr una baja viscosidad de la mezcla que se da al incrementar la temperatura y mantener una cantidad adecuada de agua dentro de la misma. Un aceite con baja viscosidad reduce la fricción entre las gotas de la mezcla lo que permite que se separe y forme una capa en el nivel superior:

La relación entre el aceite y el agua en la mezcla se denomina **factor de dilución**⁷, cuyo valor se recomienda mantener en 1.4, es decir, 1.4 partes de aceite por cada parte de agua.

⁷ Se denomina así la relación (división) entre el aceite y el agua que están presentes en el licor de prensa.



Temperatura y su efecto en la clarificación

Durante la clarificación, la temperatura es un factor muy importante. Para obtener una separación óptima del aceite, se debe mantener la temperatura de la mezcla entre 90 y 95 °C (Figura 3).

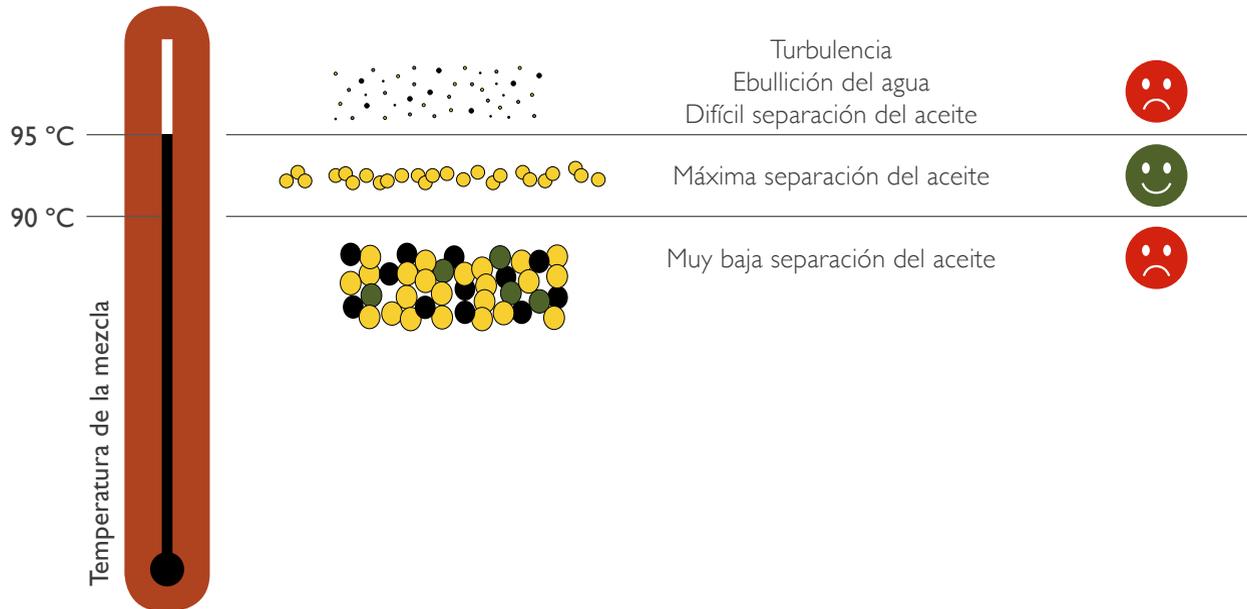


Figura 3. Efecto de la temperatura en el aceite contenido en la mezcla

¿Qué es un análisis volumétrico y para qué sirve?

Durante el proceso de clarificación se hace necesario evaluar el porcentaje de aceite en la mezcla que se está clarificando, así como las demás fases contenidas en ella. Es por esto que se efectúa un análisis volumétrico (Figura 4), también llamado análisis rápido. Es de resaltar que estos tipos de estudios se realizan a cualquier corriente líquida dentro del proceso, con el objetivo de encontrar posibles pérdidas de aceite y establecer si el equipo de separación está operando adecuadamente. Por ejemplo: si se toma una muestra del efluente⁸ esta puede ser centrifugada y determinar qué tan grande es la fase aceitosa para ayudar a controlar el proceso.

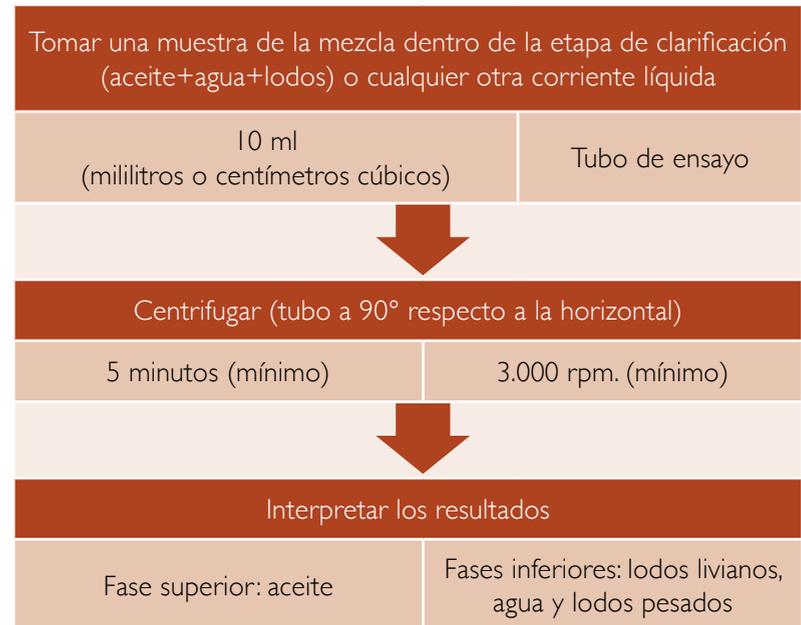


Figura 4. Diagrama de flujo de actividades para realizar un análisis volumétrico

⁸ Corriente líquida al final del proceso de extracción (salida florentinos) y entrada al Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR).

La Figura 5 presenta una muestra de licor de prensa en proceso de clarificación antes de ser sometida a un análisis volumétrico y los resultados típicos en materia de separación de fases luego de la centrifugación.

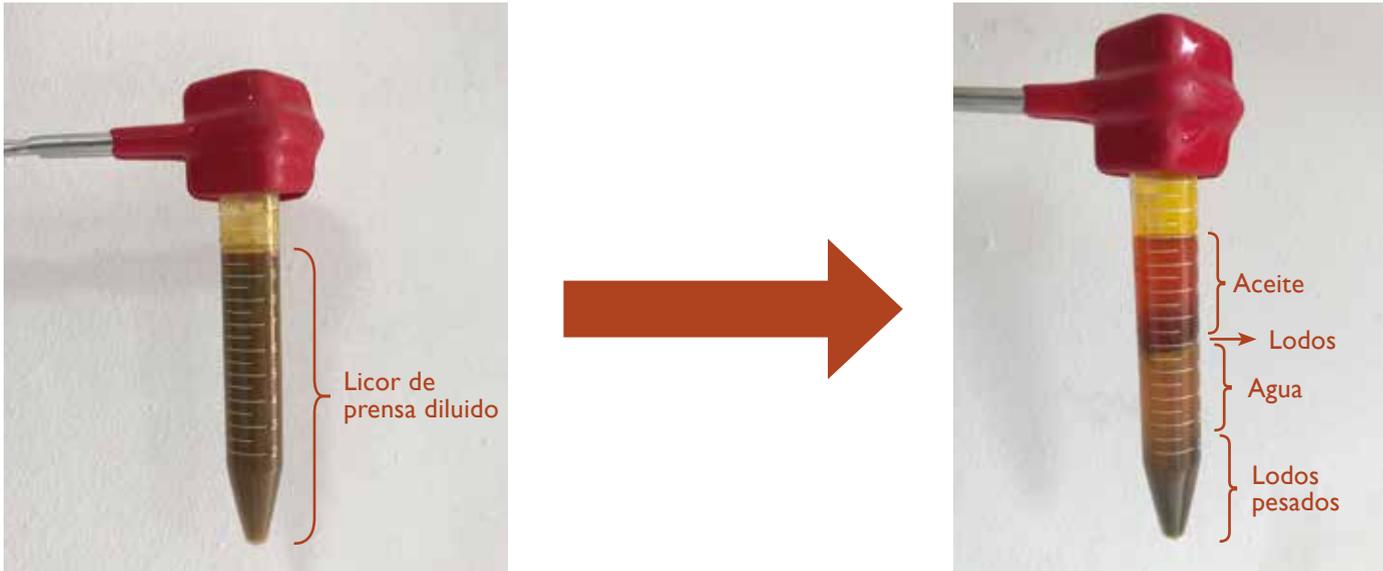


Figura 5. Izquierda: muestra de licor de prensa diluido. Derecha: muestra de licor de prensa diluido luego de ser centrifugada.

Efecto de la cantidad de agua en la clarificación (Factor de dilución)

Tal como ya se mencionó, para lograr la separación del aceite de la mezcla de licor de prensa es preciso disminuir su viscosidad⁹. Dos maneras de ajustar la viscosidad y mejorar la separación es elevar la temperatura (manteniéndola entre 90 y 95 °C) y lograr una adecuada dilución.

Ahora bien, si el factor de dilución (relación aceite/agua), está por encima de 1.4 la mezcla se vuelve muy espesa y dificulta la separación. Adicionalmente pueden aparecer problemas operativos como taponamiento de tuberías, de las mallas de los tamices y afectación a la capacidad de bombeo.

Un parámetro que ayuda a definir la cantidad de agua adecuada en la mezcla, para realizar una buena separación, es el **factor de dilución**. Este se define como la relación entre la cantidad de aceite y la de agua contenida en la mezcla.

$$\text{FACTOR DE DILUCIÓN} = \frac{\text{Cantidad de aceite en la mezcla}}{\text{Cantidad de agua en la mezcla}}$$

⁹ Se define como la resistencia a las deformaciones producidas por fuerza de corte sobre los fluidos.

De acuerdo con los resultados de las investigaciones de Cenipalma, los factores de dilución que generan las mejores separaciones en mezcla son:

Para materiales *Elaeis guineensis* (palma africana):

$$\frac{\text{Cantidad de aceite (volumen)}}{\text{Cantidad de agua (volumen)}} \approx 1.4 \quad (1)$$

Para materiales híbridos OxG:

$$\frac{\text{Cantidad de aceite (volumen)}}{\text{Cantidad de agua (volumen)}} \approx 1.8 \quad (2)$$

Es importante aclarar que el factor de dilución es un número que no tiene unidades y que representa una relación (división) entre dos cantidades (aceite y agua). Este se comporta de manera inversa a la dilución, es decir, cuando la dilución o cantidad de agua aumenta, el valor del factor de dilución disminuye.

Calidad del fruto

En la operación de clarificación se deben tener en cuenta ciertos factores con el fin de garantizar una excelente calidad en el aceite terminado. Los más importantes son:

- ▶ Materia prima
- ▶ Control de proceso
- ▶ Temperatura
- ▶ Tiempo de residencia
- ▶ Mantenimiento de los equipos

De los factores enunciados el que genera mayor impacto es el relacionado con la calidad de cosecha (materia prima). Los racimos que aún no están a punto, por ejemplo, aquellos que no han alcanzado su madurez comercial (desprendimiento de un fruto de manera natural para el caso de *E. guineensis*) son ricos en carbohidratos, gomas o material mucilaginoso que ocasionan la aparición de una nata o capa adicional ubicada entre el agua y el aceite denominada lodo liviano. En la Figura 6 se pueden apreciar las diferentes capas (fases) formadas a partir de una muestra tomada en el área de clarificación después de ser centrifugada por cinco minutos a 3.600 rpm.

Es importante sensibilizar al personal de cosecha sobre la importancia de cortar los racimos en el punto óptimo (racimo maduro) para que las operaciones llevadas a cabo en las plantas extractoras cumplan con los criterios de calidad establecidos.

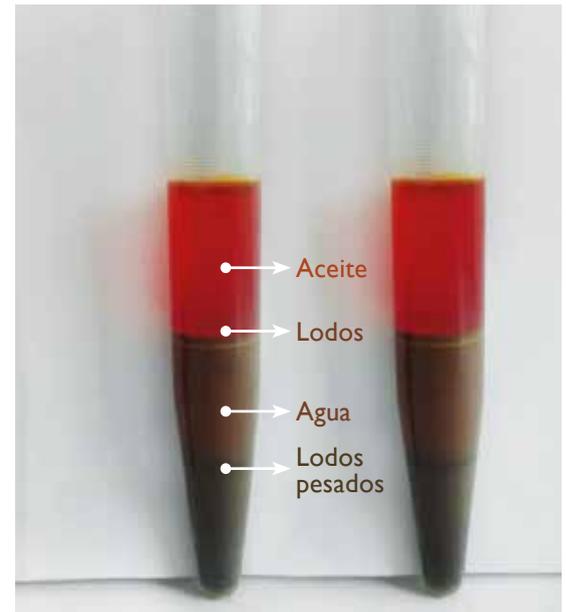


Figura 6. Muestra de aceite del área de clarificación después de ser centrifugada

Humedad

El exceso de agua altera significativamente la calidad en la operación de clarificación. La alta humedad favorece un proceso bioquímico que consiste en la división de las moléculas de aceite dejando libres los ácidos grasos (AGL). En la Figura 7 se puede apreciar una representación de una molécula que forma el aceite de palma crudo. En dicho esquema aparece la ubicación de un enlace llamado “tipo éster”.

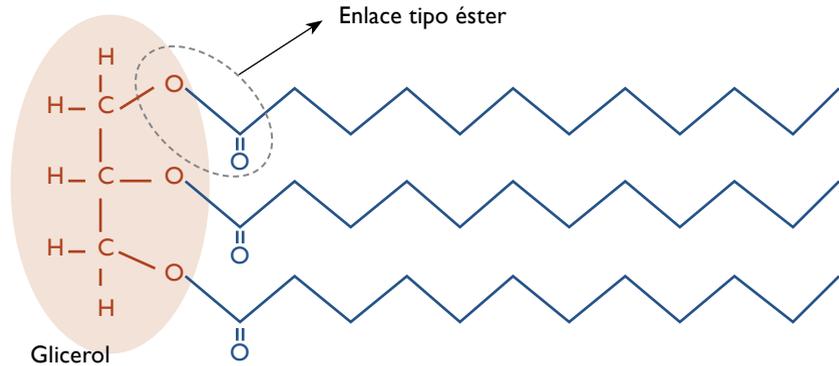


Figura 7. Ubicación enlace tipo éster en las moléculas que forman el aceite de palma crudo

Si este enlace se rompe, la estructura del aceite sufre una ruptura liberando así el ácido graso (Figura 8).

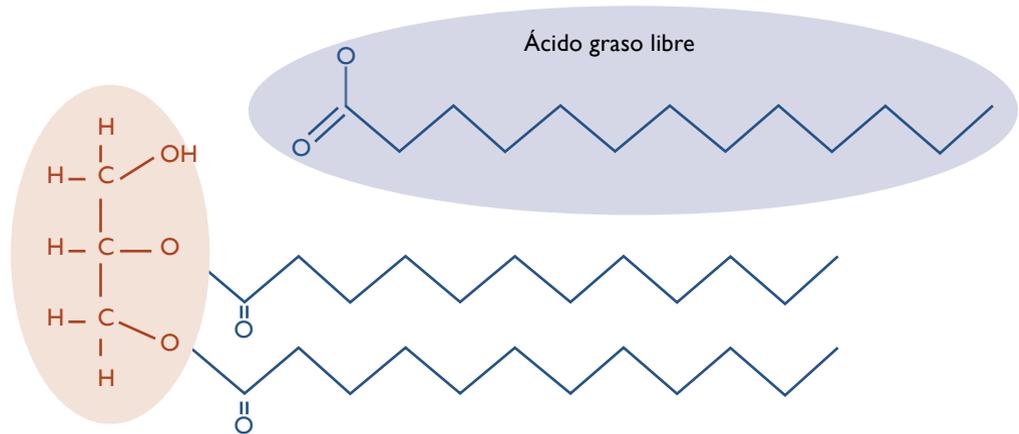


Figura 8. Formación ácido graso libre después de que el enlace ha sido roto por acción de la humedad

Impurezas

Materiales ajenos a los racimos de fruta fresca (RFF) como arena, suelo, piedras u otros objetos extraños, pueden llegar a la planta de beneficio. Esto se debe, en gran parte, a la mala recolección de fruto suelto en el plato de la palma. Las impurezas ocasionan daños en los equipos de la planta por el desgaste promovido por la abrasión que generan sobre los metales con los que están fabricados los equipos. Adicionalmente, las partículas producto del desgaste acaban en el aceite crudo terminado, lo que desencadena una reacción de oxidación alterando significativamente la calidad. Así mismo, una gran cantidad de ácidos grasos libres va acompañada siempre con un alto contenido de impurezas.

Ácidos grasos libres (AGL)

Los ácidos grasos libres aparecen como consecuencia del rompimiento de las moléculas que forman el aceite. Su aumento crea rancidez y es necesario retirarlos en la siguiente fase denominada refinación. Esto implica que entre más cantidad haya es necesario invertir más tiempo en su refinación, aumentando los costos.

Los ácidos grasos se pueden formar de tres maneras diferentes:

- ▶ Cuando los RFF ingresan a la planta de beneficio contienen en su interior una sustancia (enzima lipasa) que acelera el rompimiento de las moléculas de aceite. Esta se inactiva en la esterilización.
- ▶ Cuando el aceite tiene un alto contenido de humedad.
- ▶ Por acción microbiana.

De estas tres la que tiene mayor influencia en el aumento de los AGL es la actividad de la enzima lipasa. De ahí la importancia que el fruto sea golpeado lo mínimo posible durante la cosecha, el alce y el transporte. Además se debe velar porque los RFF lleguen, en lo posible, durante las siguientes 24 horas después del corte.

Índice de deterioro a la blanqueabilidad (DOBI)

Este índice sirve para determinar la calidad del aceite crudo de palma que va a ser sometido a refinación, y da cuenta de la fijación del color y la oxidación. La temperatura es una variable que se debe cuidar porque el sobrecalentamiento del aceite es lo que más afecta este parámetro.



UNIDAD
TEMÁTICA

||

Proceso de
clarificación estática



La clarificación estática corresponde a la etapa en la que se lleva a cabo la separación del aceite contenido en el licor de prensa. En este proceso el licor es diluido, tamizado y calentado para separar el aceite mediante decantación en tanques (preclarificador y clarificador).

El proceso se desarrolla en dos fases: preclarificación y clarificación. En la primera se realiza una separación rápida, aprovechando que la mayor parte del aceite contenido en el licor sube durante los primeros minutos. Al preclarificador ingresa el licor de prensa tamizado y diluido, y de él salen dos corrientes diferentes: una es el aceite limpio ya clarificado y la otra es el lodo aceitoso que irá a la siguiente etapa. En la clarificación, el lodo aceitoso requiere un tiempo más largo dentro de los tanques para poder separar el aceite.

¿En qué consiste la operación?

Operar es la acción mediante la que un trabajador realiza una serie de labores encaminadas a un objetivo. En este caso la operación de clarificación consiste en recuperar el aceite en condiciones de calidad adecuadas, perdiendo la menor cantidad posible.

En la operación se distinguen tres momentos importantes (Figura 9):

- ▶ **Inicio:** son todas aquellas actividades necesarias para garantizar que los equipos están en condiciones propicias para el arranque del proceso.
- ▶ **Durante:** son las labores necesarias para hacer seguimiento y asegurar la adecuada separación del aceite. A este conjunto de acciones, realizadas para que se cumpla con el objetivo de clarificar (ejemplo: medir y limitar variables como la temperatura y el nivel en los tanques), se le denomina control de proceso.
- ▶ **Final:** son las actividades que se deben hacer cuando se requiere parar el proceso, ya sea de forma temporal o permanente (fallas, finalización de turno, por mantenimiento, entre otros), con el fin de garantizar que no se afecte el estado mecánico de los equipos y facilitar su posterior arranque.



Inicio

- ▶ Revisión del estado del preclarificador y clarificador
- ▶ Revisión de tamices
- ▶ Arranque de tanques
- ▶ Energizado de equipos
- ▶ Registro de producción y paradas de proceso
- ▶ Verificar suministro y condiciones de agua de dilución

Durante

- ▶ Evacuación de tierras del decantador estático
- ▶ Funcionamiento de tamices del licor de prensa
- ▶ Control dilución
- ▶ Control de temperatura
- ▶ Niveles de altura de capa de aceite
- ▶ Agitación en los clarificadores
- ▶ Purga de tanques sedimentadores de aceite

Final

- ▶ Recuperar el 100 % del aceite de los tanques preclarificador y clarificador
- ▶ Suspender energía de equipos

Figura 9. Esquema general de la clarificación estática en plantas de beneficio

A continuación, se revisa la operación de la clarificación estática (inicio, durante y final) con el propósito de analizar los factores que mejoran su eficiencia.

Inicio del proceso

Revisión del estado del preclarificador y clarificador

Al inicio de cada jornada del proceso se debe realizar una inspección visual del estado del preclarificador y el clarificador verificando que no existan fugas de aceite y lodos. También, es necesario revisar el estado de las válvulas de lodos y la entrada de vapor y colectores de aceite.

Es importante comprobar el correcto funcionamiento de las alarmas de nivel de los tanques ya que estas ayudan a controlar el proceso y evitar derrames de aceite y lodos (en caso de que aplique a su planta).

De igual manera, los días de inicio de semana cuando el preclarificador esté totalmente vacío, se debe asegurar que el serpentín no tenga fisuras y esté totalmente limpio (Figura 10).

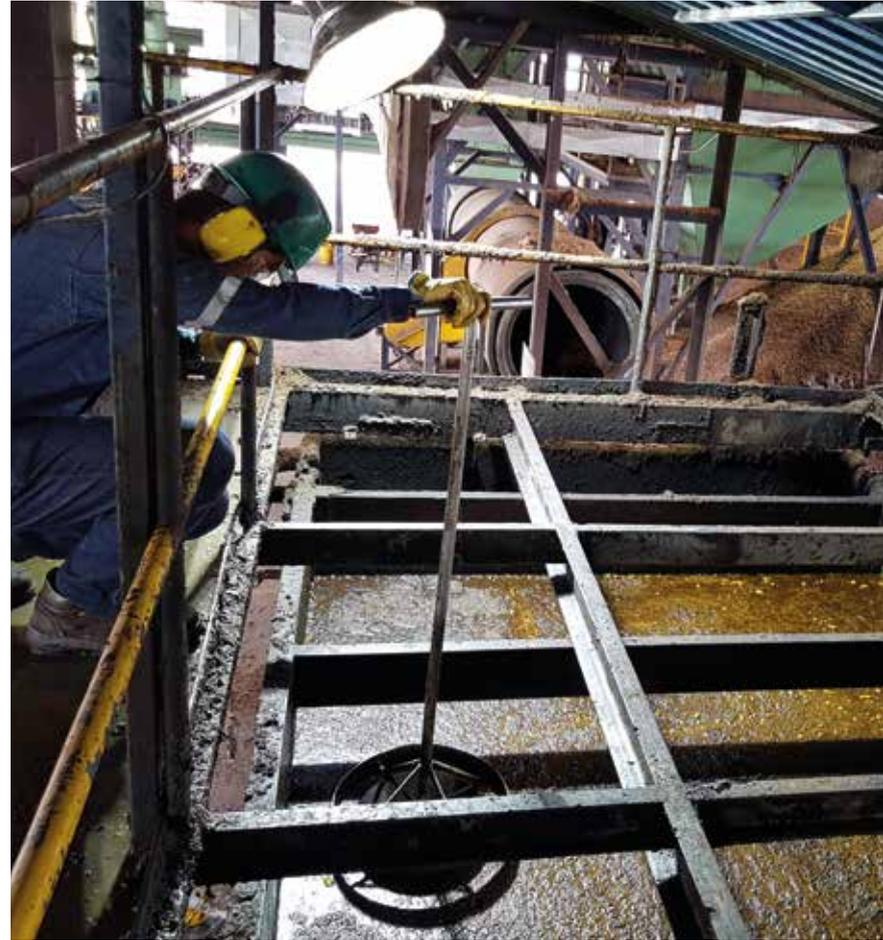


Figura 10. Verificación del estado del serpentín.

Revisión de tamices

Con frecuencia las mallas de los tamices sufren constante taponamiento debido a que el licor de prensa diluido lleva impurezas que es necesario retirar. Se debe revisar que estén totalmente limpias y no presenten desprendimiento del aro o alguna ruptura (Figura 11).

Arranque de tanques

En caso de que los tanques estén vacíos, al iniciar el proceso, es recomendable llenar con agua el preclarificador y clarificador, hasta una tercera parte de su capacidad. Adicionalmente, calentar el agua hasta conseguir temperaturas cercanas a la ebullición. De esta manera, cuando se inicie el proceso y el licor de prensa o el lodo aceitoso entren al tanque, se garantiza la temperatura de la mezcla entre 90 y 95 °C, logrando la estabilidad del proceso de una forma más rápida.

Energizado de equipos

Existen equipos adicionales a los de separación estática, necesarios para la continuidad del proceso. Es muy importante garantizar su funcionamiento al momento del arranque, por lo que se debe verificar que las bombas de lodos, de aceites y tamices vibratorios estén energizados (Figura 12). Adicionalmente comprobar que no presenten ruidos extraños.



Figura 11. Operador revisando el estado de una malla del tamiz circular.



Figura 12. Operador al lado de un tablero revisando que esté energizado.

Registro de producción y paradas del proceso

Al inicio de cada jornada del proceso se debe contar con los registros correspondientes a la sección de clarificación. Esta información permite realizar control y encontrar oportunidades de mejora en el mantenimiento de los equipos. Deben tener datos relacionados con temperaturas en los tanques, nivel de capa de aceite, tiempos y descripción de paradas de la centrífuga y presiones de vacío (en caso de contar con este sistema). Es recomendable anotar las variables mencionadas cada hora de proceso durante todo el tiempo de operación (Figura 13). Los registros son requisitos para la implementación de las normas ISO 9001:2015 y RSPO.



Figura 13. Operador con los registros del área de clarificación tomando nota de los tableros que muestran las variables de proceso.

Verificar suministro y condiciones del agua de dilución

La dilución puede realizarse con agua caliente o con los condensados de esterilización. En cualquiera de los dos casos, en el momento del arranque debe verificarse que exista suministro de agua y que esta tenga la temperatura adecuada: 90 a 95 °C (Figura 14).



Figura 14. Operador verificando el nivel del tanque de agua caliente.

Durante el proceso

Evacuación de tierras del decantador estático

Se debe efectuar revisión y purgas periódicas de las tierras e impurezas pesadas por medio de las válvulas colocadas en los fondos del tanque decantador:

También es necesario realizar purgas a los tanques clarificadores y sedimentadores para eliminar lodos de fondo y tierras (Figura 15). Esto se hace para no reducir la capacidad efectiva y mantener la buena eficiencia de recuperación de aceite. El número de purgas depende de la cantidad de lodos que traiga consigo la materia prima. El no efectuar estos procedimientos hace que se disminuya la capacidad de calentamiento de los serpentines. Es buena práctica realizar reproceso a los lodos de fondo para controlar las pérdidas de aceite en los efluentes.



Figura 15. Operador realizando purga de clarificadores.

Funcionamiento de tamices de licor de prensa

Durante la ronda de proceso, es necesario revisar el funcionamiento del tamiz de licor de prensa y de lodos de centrifugas. Se debe garantizar que la operación del tamiz tenga estos tres movimientos: uno horizontal desde el centro hacia la periferia, uno en sentido vertical y uno de desplazamiento lateral. Esto con el objetivo de que la fibra y material vegetal salgan lo más secos posible y sin presencia de aceite.

Control de la dilución

Una de las variables más importantes en la clarificación estática es la relación volumétrica agua/aceite (dilución). Diversos estudios realizados por Cenipalma y las plantas extractoras demostraron que la mayor eficiencia de recuperación de aceite se obtiene con una dilución 1.4 para materiales *E. guineensis*.

Para mantener el control de esta variable se debe estar en contacto cada hora con los analistas del laboratorio, quienes hacen seguimiento a través de un análisis volumétrico, a partir del que se estiman los porcentajes de aceite, agua, lodos livianos y lodos pesados (Figura 16).

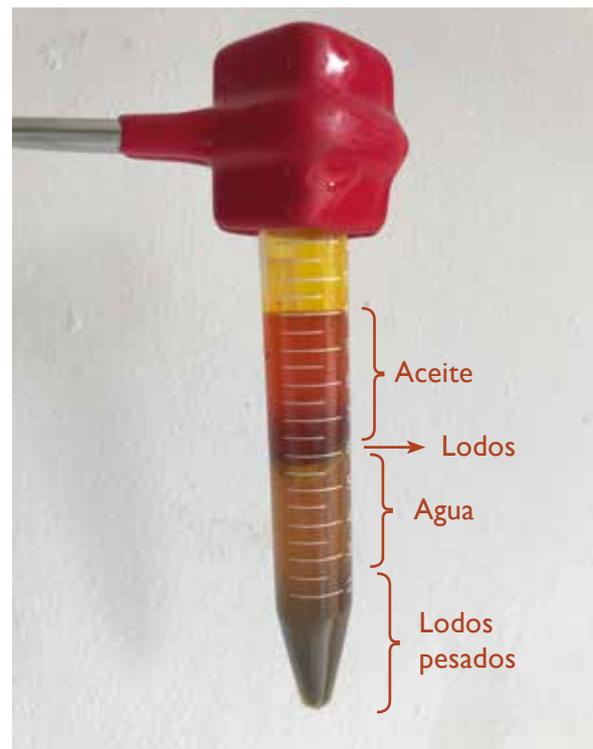


Figura 16. Muestra de aceite resultante del análisis volumétrico.

En caso de que la variable esté fuera del valor de control, se debe ajustar la válvula de alimentación de agua o condensados en compañía del analista de laboratorio de la siguiente manera (Figura 17):

- ▶ Si la dilución está por encima de 1.4 es necesario abrir gradualmente la válvula de alimentación de agua o condensado y realizar nuevamente el análisis volumétrico hasta que la variable esté en valor control.
- ▶ Si la dilución está por debajo de 1.4 se tiene que cerrar gradualmente la válvula de alimentación de agua o condensado y hacer nuevamente el análisis volumétrico hasta que la variable esté en valor control.



Figura 17. Operador ajustando factor de dilución.

Control de la temperatura

La temperatura del agua de dilución es importante para obtener una buena separación del aceite. No debe estar por debajo de 95 °C, y sin alcanzar la temperatura de ebullición.

El control de la temperatura de las mezclas (aceite, lodo y agua) en los preclarificadores y clarificadores es esencial, ya que permite la separación estática por decantación debido a las diferencias en las densidades por efecto de la temperatura.

Se debe garantizar una temperatura durante todo el proceso de clarificación de 90 a 95 °C. Esto se regula con la válvula de entrada de vapor. Temperaturas por encima de este rango pueden producir emulsificación ya que el agua se acerca al punto de ebullición lo que ocasiona un burbujeo de la mezcla que hace que se formen gotas muy pequeñas de aceite rodeadas por agua. Por el contrario, si la temperatura está por debajo del rango, dificulta la separación del aceite porque hace cercanas las densidades de las diferentes fases que componen el licor de prensa.

Es preciso revisar periódicamente las trampas de vapor que deben estar evacuando de manera constante agua y vapor, lo que garantiza el buen funcionamiento (Figura 18).

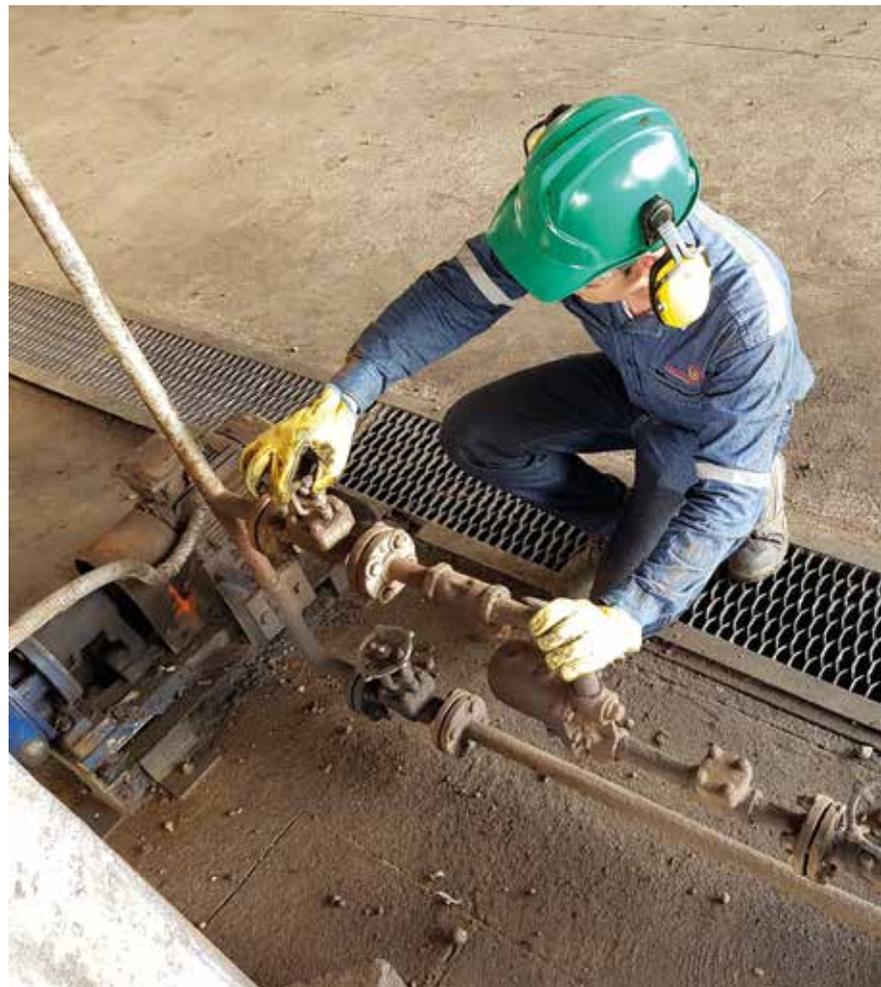


Figura 18. Operador revisando trampas de vapor.

Niveles de altura de la capa de aceite

En la operación de preclarificadores y clarificadores se debe mantener una capa de aceite entre 30 y 40 cm para darle tiempo de residencia a los lodos y evitar que estos arrastren aceite. También ayuda a disminuir las impurezas.

El nivel de la capa se controla mediante un cono colector de aceite. Si está por debajo del rango indicado (30–40 cm) se eleva el cono y se detiene la recuperación de aceite hasta obtener tamaños de capa dentro del valor control (Figura 19).

Es preciso garantizar la presencia de un instrumento de medición (regla o metro) en el visor de aceite con el que el operador pueda controlar el tamaño de la capa.

Agitación en los clarificadores

El uso de agitación en los clarificadores ejerce una fuerza cortante¹⁰ al lodo produciendo una reducción de la viscosidad, aumento de la velocidad de ascenso de las gotas, disminución del tiempo de separación y de contenidos de aceite en los lodos.

El rango de operación de estos agitadores es de 3-4 rpm. y se debe revisar que esté funcionando permanentemente.

¹⁰ Es aquella fuerza que se aplica sobre una superficie o fluido.



Figura 19. Operador revisando el nivel de la capa de aceite.

Purga de tanques sedimentadores de aceite

En el proceso de secado atmosférico del aceite de palma se usan tanques sedimentadores para eliminar parte de las impurezas remanentes provenientes del aceite recuperado en el preclarificador y clarificador.

Para mantener las impurezas dentro del valor de control del aceite terminado (máximo 0,1 %), cada media hora se debe realizar una purga del tanque sedimentador (Figura 20). Los lodos evacuados se envían al tanque de recuperación de centrifuga para su posterior reproceso.



Figura 20. Operador realizando purga al sedimentador.

Final del proceso

Recuperar el 100 % del aceite de los tanques preclarificador y clarificador

Al finalizar el proceso se debe aplicar agua gradualmente para subir el nivel del tanque hasta recuperar la totalidad de la capa de aceite que se encuentra en la parte superior del preclarificador y clarificador cuidando no afectar su calidad con impurezas.

Adicionalmente se elevan los conos colectores de aceite para evitar que los lodos lleguen al tanque sedimentador y afecten las impurezas del aceite. También se debe suspender todo suministro de agua y de vapor al proceso de clarificación (Figura 21).

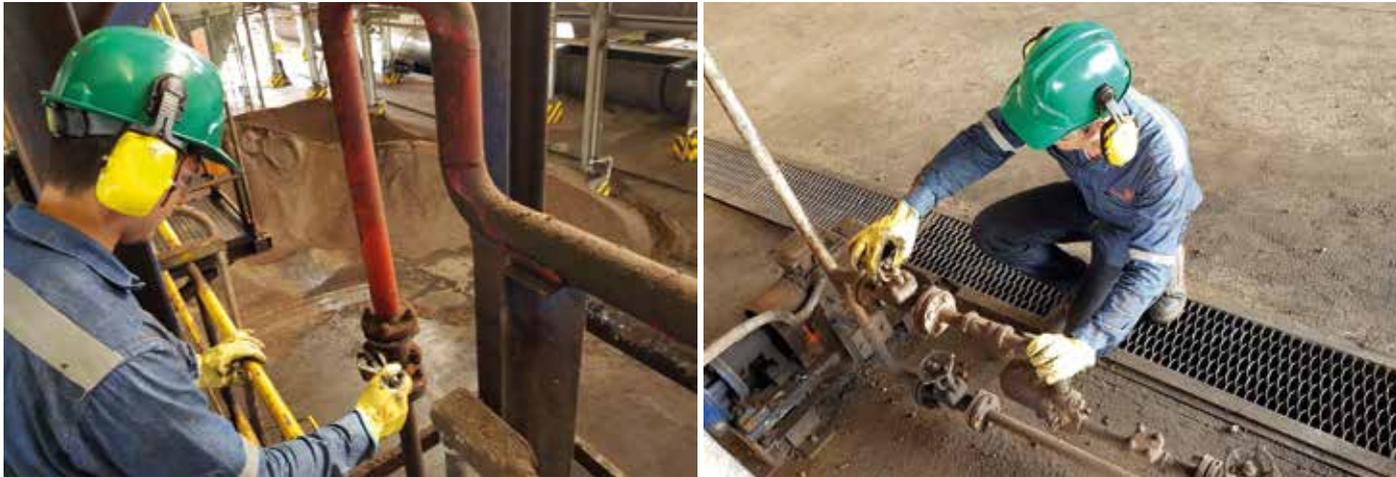


Figura 21. Operador cerrando válvulas de agua y de vapor.

El día de mantenimiento es necesario hacer una liquidación¹¹ total del preclarificador para realizar limpieza e inspección de láminas y serpentines.

Suspender energía equipos

Al final del proceso se debe garantizar la suspensión del suministro de energía eléctrica a las bombas y tamices (Figura 22).



Figura 22. Operador desenergizando módulo de clarificación.

¹¹ Hace referencia a la evacuación total de aceite y lodos del preclarificador, clarificador u otro tanque.



UNIDAD
TEMÁTICA



Clarificación dinámica



Las aguas lodosas que vienen del separador estático se reciben en un tanque pulmón alimentador de las bombas de desarenado que dispone de inyección directa de vapor y de serpentines para calefacción. Las bombas del tipo centrífugo fabricadas en materiales especiales resistentes al desgaste, se encuentran equipadas de variadores de velocidad, que se deben ajustar para obtener un caudal entre una a dos veces el flujo correspondiente a la capacidad de operación de la planta, con el fin de asegurar el paso de las aguas lodosas por lo menos una vez a través de los ciclones desarenadores. Existen tres configuraciones para el uso de equipos de clarificación dinámica. En la Figura 23 se presenta la configuración más usada en la mayoría de plantas extractoras del país. Las aguas lodosas provenientes del preclarificador o clarificador, según sea el caso, son alimentadas a las centrífugas deslodadoras y estas, a su vez, retornan un licor con mayor concentración de aceite a los clarificadores.

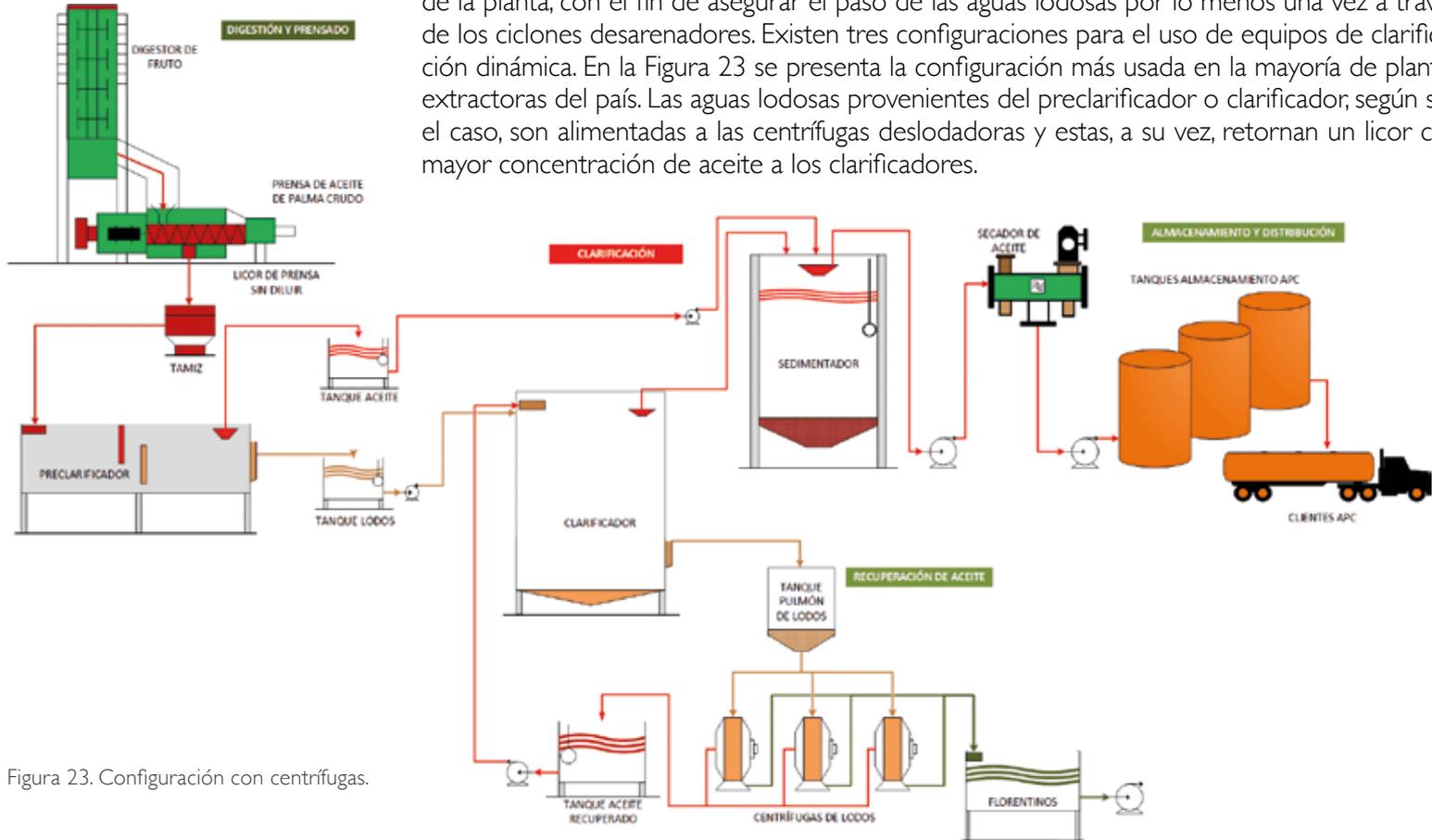


Figura 23. Configuración con centrifugas.

La segunda configuración consiste en reemplazar la centrífuga por un separador dinámico de tres fases, que no retorna lodo con alta concentración de aceite sino aceite puro para los secadores (Figura 24).

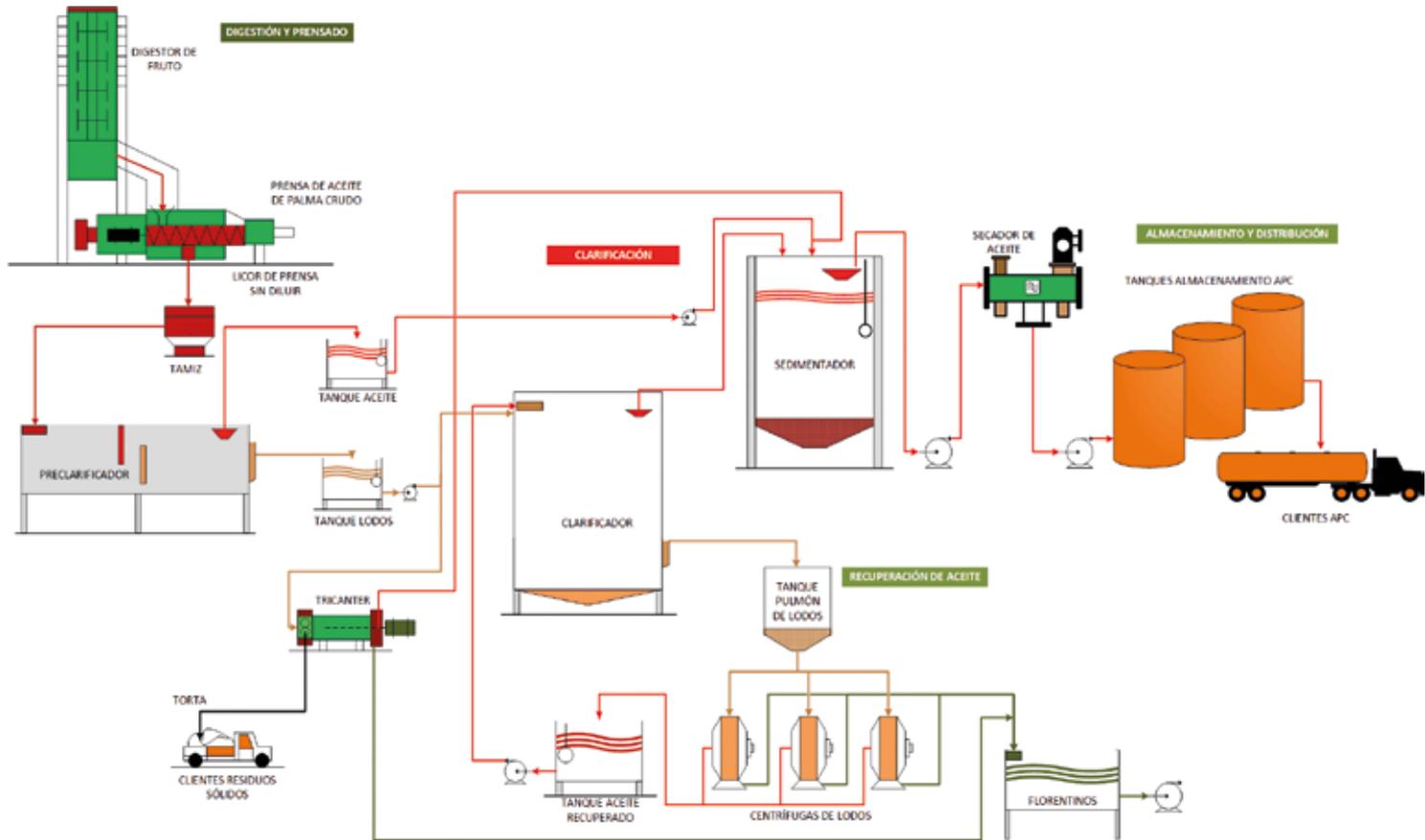


Figura 24. Configuración con equipos tipo decanter.

En la Figura 25 se presenta otro tipo de configuración en la que se elimina por completo el proceso de recuperación estática de aceite y se reemplaza por uno con separadores dinámicos de tres fases. Se debe realizar un acondicionamiento previo que consiste en garantizar la homogenización de la mezcla proveniente del licor de prensa para asegurar una alimentación constante y homogénea a los equipos.

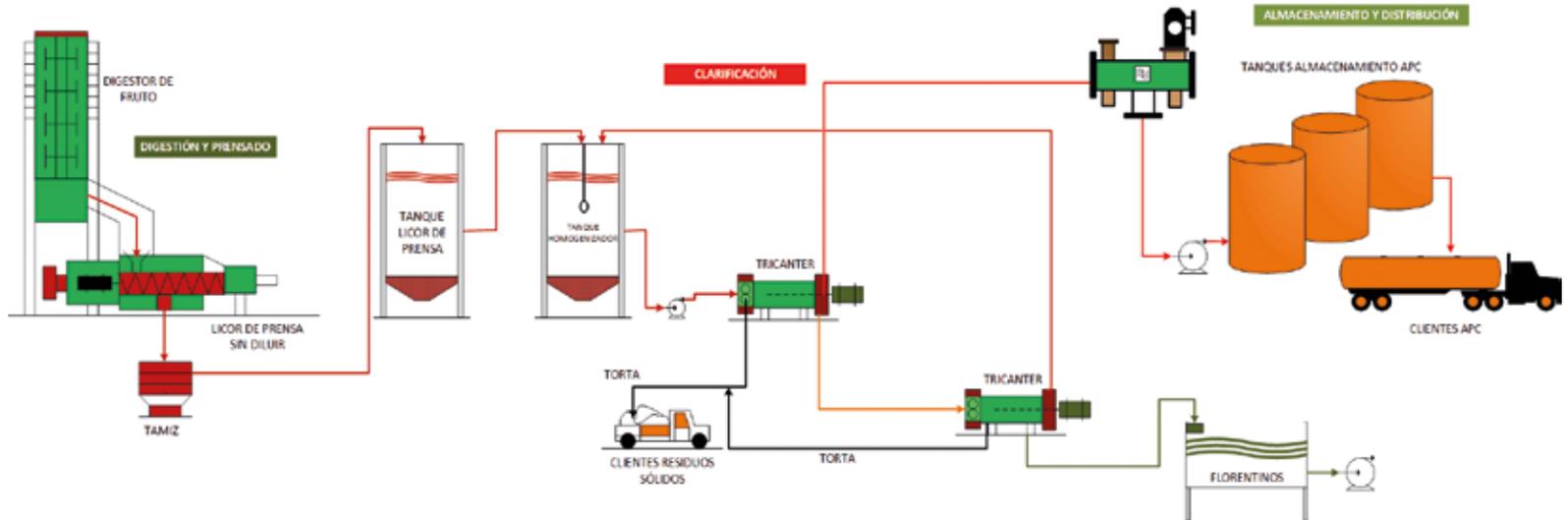


Figura 25. Configuración compuesta netamente por separadores dinámicos de tres fases.

A continuación, se abarcan algunas consideraciones para el inicio, operación y final de proceso de los equipos de centrífugas deslodadoras y separadores dinámicos de tres fases.

Inicio del proceso de centrifugas desludadoras

Revisión del estado de equipos y válvulas

Al inicio de cada jornada de proceso se debe realizar una inspección visual del estado de la centrifuga y confirmar que no presente fugas de aceite sintético por el *hidroflow* (hidroacople)¹².

Revisar el normal funcionamiento de la válvula de entrada de lodo y agua (tanto caliente como fría). Verificar que los rodamientos hayan sido debidamente lubricados, de lo contrario avisar al supervisor o al mecánico de turno.

Es necesario comprobar que las boquillas no se encuentren tapadas. Para esto se debe abrir la válvula de agua y llenar por completo el *bowl*¹³. A continuación se gira de manera manual revisando que el chorro de agua salga por cada boquilla de manera uniforme (Figuras 26 y 27).

También es preciso constatar que las correas del sistema de transmisión de potencia estén completas y ajustadas para evitar que se rompan y causen daño al operador o al equipo. Así mismo, verificar el estado de los tornillos de anclaje a la base para prevenir que el equipo se desbalancee. Adicionalmente, observar que el nivel del tanque pulmón de la centrifuga y tanque de agua estén dentro de los valores de control.



Figura 26. Operador realizando inspección y revisando boquillas.

¹² Es un dispositivo que ayuda a vencer la inercia de manera progresiva.

¹³ Es una pieza en forma de estrella que gira dentro de una carcasa que permanece fija.

Es importante revisar el funcionamiento del compresor y garantizar el suministro de aire a los desarenadores. Además, limpiar el filtro cepillo.



Figura 27. Operador realizando inspección y limpieza de boquillas.

Energizado de equipos

Se debe verificar que las bombas de lodos y centrífugas deslodadoras estén energizadas al momento de inicio del proceso. Una condición fundamental para asegurar un adecuado funcionamiento de la instalación eléctrica, es disponer de un voltaje constante de la red eléctrica de alimentación (Figura 28).



Figura 28. Operador revisando el tablero de centrifuga.

Durante el proceso de la centrifuga desludadora

Controles en la operación

Una vez el rotor haya alcanzado la velocidad de operación (1.400–1.450 rpm.) se debe garantizar el suministro de lodo durante el funcionamiento del equipo.

La centrifuga tiene dos puntos de salida: descarga de recuperados y descarga de lodos. Mientras esté operando, la salida de líquido por estas dos descargas debe ser constante (Figura 29).

Para asegurar la eficiencia en la recuperación de aceite, se debe controlar el recuperado ajustando su válvula de salida y garantizando que el lodo contenga porcentajes de aceite entre 20 y 35 % V/V. El ajuste de la válvula de recuperado se debe hacer bajo la supervisión del analista del laboratorio, encargado de realizar el análisis volumétrico.

Si la centrifuga presenta vibración excesiva puede causar un desbalance del rotor, debido a que no se encuentra totalmente llena de agua lodosa. Es necesario apagar el equipo y revisar si alguna boquilla está tapada. De encontrarse así, se procede a retirar, limpiar y ponerla nuevamente.

Es importante tener en cuenta que la centrifuga siempre debe operar completamente llena, pues de no ser así, se puede presentar vibración excesiva que ocasiona graves daños al equipo.

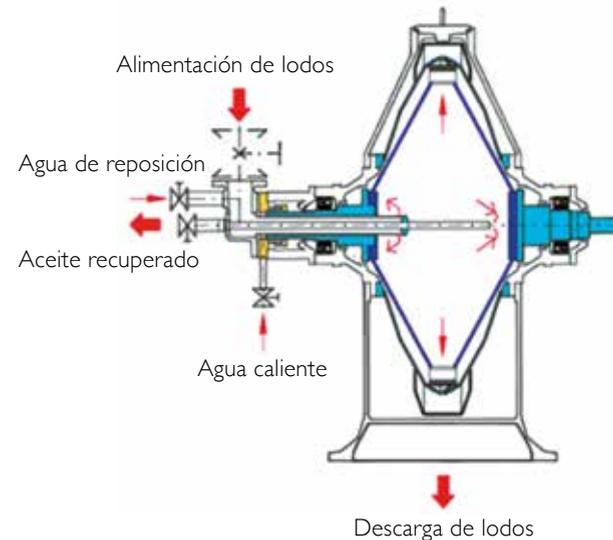


Figura 29. Centrifuga de lodos aceitosos. Fuente: Bernal (2005).

Final del proceso de centrifugación

Se requiere abrir completamente la válvula de suministro de agua caliente y cerrar la de suministro de lodo aceitoso. La centrífuga debe seguir funcionando hasta que todo el lodo haya salido del rotor (*bowl*) de manera que el líquido descargado sea simplemente agua limpia y no lodosa. Al final se cierran las válvulas de agua caliente y recuperado (Figura 30).

Terminado el proceso se debe garantizar la suspensión del suministro de energía eléctrica a las bombas, tamices y centrífugas.



Figura 30. Operario cerrando válvulas de lodos, de recuperado y de agua



UNIDAD
TEMÁTICA
IV

Otros aspectos
importantes en la
operación de clarificación



Buenas prácticas en el mantenimiento

Las buenas prácticas de mantenimiento están definidas como las acciones que se deben hacer sobre los equipos para que funcionen correctamente y cumplan la tarea para la cual fueron construidos. Estas abarcan administración, programación, cambio de repuestos, entre otras.

Atención de contingencias durante el proceso de clarificación

- ▶ **Regueros:** para evitar derrames indeseados es necesario realizar un aseo periódico interno a los tanques, al mismo tiempo que se hace una inspección rigurosa al desgaste del cuerpo de los equipos (láminas).
- ▶ **Atascamiento:** es absolutamente necesario detener el equipo de inmediato para retirar la obstrucción. Con esto se evita que el operario sufra accidentes y el equipo, una avería mayor.
- ▶ **Operación de bombas:** se debe garantizar que no operen en vacío.
- ▶ **Disminución de temperatura en la mezcla:** es indispensable verificar, a lo largo del módulo de clarificación y a diferentes profundidades de la mezcla, que la temperatura se mantenga entre 90 y 95 °C. Al momento de iniciar un nuevo turno, y justo cuando en la noche anterior se detuvo el proceso, se hace necesario inyectar vapor directo para alcanzar esta temperatura.
- ▶ **Aumento de temperatura:** si se sobrepasa los 95 °C se corre el riesgo de que ocurra ebullición de la mezcla en el sistema de clarificación lo que ocasiona el arrastre de aceite a los lodos.

El mantenimiento asociado al proceso de la clarificación

Es la combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión, durante el ciclo de vida de un elemento, destinadas a conservarlo o devolverlo a un estado en el que pueda desarrollar la función requerida. En sentido más estricto y en cualquier industria en general, el mantenimiento sirve para conservar el buen funcionamiento de un equipo reduciendo así los costos de producción y garantizando la seguridad de quien lo opere.

Otras consideraciones sobre el proceso de clarificación

Una falta de control durante el proceso de clarificación puede ocasionar que parte del aceite vaya a los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR), lo que genera altos costos ambientales. Los STAR están diseñados para soportar cierta cantidad de aceite, pero cuando no se calibra el proceso, es inevitable que grandes cantidades de aceite sean dirigidas a las lagunas de oxidación. Como el sistema no permite tratar de manera adecuada estos efluentes, el aceite se va a los vertimientos ocasionando impactos ambientales. Tan solo una gota de aceite basta para contaminar 50 litros de agua.

Salud ocupacional en la clarificación

Los elementos de protección personal (EPP) deben ser usados siempre y de forma adecuada por los operadores que trabajen en el área de clarificación ya que están expuestos a muchos riesgos tales como quemaduras y golpes en diferentes partes del cuerpo, producto de caídas de objetos de los niveles superiores. Así mismo, la exposición constante al ruido puede ocasionar una pérdida parcial o total de la audición, riesgo que se mitiga con el uso constante de tapaoídos cuyo diseño depende del nivel de ruido al que se encuentre expuesto el operador.

Aspectos de la operación relacionados con seguridad en el puesto de trabajo:

- ▶ La seguridad e integridad del trabajador es lo más importante. Se debe contar con todos los elementos de protección personal (Figura 31) descritos en la matriz de EPP de su empresa para la sección de clarificación.



Figura 31. Operador de clarificación usando los elementos de protección personal. Algunos operadores requieren otro tipo de elementos como tapabocas y cinturones ergonómicos para la manipulación de cargas.

Bibliografía

- Alvarado, M. O. (2010). Evaluación del proceso de clarificación en la planta de beneficio. Palmagro S.A. Santa Marta, 2010: 1–53.
- Bernal, G. (2005) Planta de extracción de aceite de palma. Sistemas y proceso. En Wambeck, N. Sinopsis del proceso de la palma de aceite (volumen 1, apéndice 2, 68 p). Bogotá: Fedepalma.
- Cadena, T., Prada, F., Perea, A. & Romero, H. M. (2013). Actividad de la lipasa, contenido de aceite en el mesocarpio e índice de yodo en frutos de palma de aceite *Elaeis guineensis*, *Elaeis oleifera* y el híbrido interespecífico OxG (*E. oleifera* x *E. guineensis*). Palmas 34: 49–61.
- Cala, A. S. L., Yáñez, A. E. E. & García, N. J. A. (2011). Manual de procedimientos de laboratorio en plantas de beneficio. Cenipalma.
- Corley, R. H. V. Composición del aceite de palma y cultivo de palma africana. Palmas n.d.: 5-8.
- Elementos de protección personal, n.d. <https://es.slideshare.net/whiscachoo/elementos-de-proteccion-personal-8554909>.
- Keith, H. F. (1991). Extracción de aceite de palma y nuevos criterios de procesamiento. Palmas 12: 74–101.
- Física JM n.d. <https://fisicajm.wordpress.com/2013/09/02/hidrostatica-vasos-comunicantes-2/> (accessed June 30, 2017).
- García, N. J. A., Nieto, M. D. I. & Rincón, S. M. (2009). Eficiencia de recuperación del aceite en función de la configuración geométrica y del tiempo de residencia en equipos preclarificadores. Palmas 30: 39–48.
- García, N. J. A., Cadena, O. & Rodríguez, N. (2000). Influencia de las diferentes fases (aceite - agua - lodos) en el comportamiento de la clarificación. Palmas 21: 334–9.
- Monroy, E. (2007). Integración energética del proceso de extracción de aceite de palma. Palmas 28: 93–104.
- Nieto, M. D. I., Yáñez, A. E. E. & García, N. J. A. (2011). Preclarificador de aceite crudo de palma: diseño y operación. Cenipalma.

- Prada, F., Ayala, D. I. M., Delgado, W., Ruiz, R. R. & Romero, H. M. (2012). Efecto de la maduración del fruto en el contenido y composición química del aceite de tres materiales de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) cultivados en Colombia. *Palmas* 33: 25–39.
- Prada, P.J.A., Echeverry, C. & Del Hierro, E. (2000). Manejo de la clarificación según los sólidos secos no aceitosos (SSNA). *Palmas* 21.
- Roldán, C. B. (1991). Influencia del procesamiento sobre la calidad final del aceite. *Palmas* 12: 102–7.
- Rossell, J. B., Kmq, B., Downes, M. J. & Turreir, J. A. Criterios sobre la pureza del aceite de palma. *Palmas* n.d.
- Singh, S. (1995) En busca de un proceso simplificado para la clarificación del aceite de palma. *Palmas* 16: 51–64.
- Uribe, L. D. (1996). Clarificación estática y fuerzas cortantes. *Palmas* 17: 67–70.
- Urueta, J. C. (2007). Clarificación estática reducida. *Palmas* 28: 131–7.
- Wambeck, N. (2005). Sinopsis del proceso de la palma de aceite. Fedepalma.
- Yáñez, A. E. E., Díaz, R. O. M., García, N. J. A. & Castillo, M. E. F. (2009). Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático. *Palmas* 29: 21–30.
- Zumaeta, N., Agudelo, M., Castro, N. & González, J. (2004). Clarificación de aceite de palma usando campos eléctricos de alta intensidad. *Palmas* 25: 398–405.

Esta publicación es propiedad del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, por tanto, ninguna parte del material ni su contenido, ni ninguna copia del mismo puede ser alterada en forma alguna, transmitida, copiada o distribuida a terceros sin el consentimiento expreso de Cenipalma. Al realizar la presente publicación, Cenipalma ha confiado en la información proveniente de fuentes públicas o fuentes debidamente publicadas. Contiene recomendaciones o sugerencias que profesionalmente resultan adecuadas e idóneas con base en el estado actual de la técnica, los estudios científicos, así como las investigaciones propias adelantadas. A menos que esté expresamente indicado, no se ha utilizado en esta publicación información sujeta a confidencialidad ni información privilegiada o aquella que pueda significar incumplimiento a la legislación sobre derechos de autor. La información contenida en esta publicación es de carácter estrictamente referencial y así debe ser tomada y está ajustada a las normas nacionales de competencia, Código de Ética y Buen Gobierno de la Federación, respetando en todo momento la libre participación de las empresas en el mercado, el bienestar de los consumidores y la eficiencia económica.