

Notas del Director

Una sedimentación gravitacional ofrece economía, simplificación y confiabilidad, siendo quizás el único método efectivo para las separaciones sólido-líquido con altos volúmenes de flujo. En las plantas de beneficio este procedimiento es comúnmente utilizado para la recuperación del aceite en el licor crudo de prensas por medio de los equipos clarificadores. Uno de los parámetros de operación de mayor importancia en estos quipos, es la relación volumétrica aceite/agua (%vol aceite/%vol agua) técnicamente llamada dilución, que puede oscilar entre 1.0/1.0 a 1.4/1.0, cuya eficacia está directamente relacionada con el potencial de aceite de los racimos, y de las condiciones de operación en la planta.

En este Ceniavances se describe la metodología utilizada en los trabajos de investigación del programa de Plantas de Beneficio para la evaluación de la velocidad de sedimentación de lodos y eficiencia de recuperación del aceite en la etapa de clarificación.

Esta metodología también es útil para definir los criterios de diseño de los equipos preclarificadores, que son unidades de separación de aceite previas a la clarificación en las plantas extractoras, con las cuales pueden incrementarse la productividad del aceite y disminuir el contenido de ácidos grasos libres (AGL)

Jesús Alberto García
Director de División de Usos y
Procesos Industriales
Cenipalma

Metodología de las pruebas de sedimentación para el estudio del proceso de clarificación del aceite crudo de palma*



El proceso de clarificación del aceite de palma corresponde a un conjunto de operaciones unitarias que tienen como objetivo separar y purificar la fase aceitosa del licor crudo. Este licor se genera exactamente durante el prensado mecánico del fruto, en donde se extrae el aceite del mesocarpio (fase continua) con cantidades variables de impureza vegetal que se presentan como sólidos insolubles (fase dispersa), los cuales a través del proceso de decantación son retirados del sistema. Para ello se realiza una adición de agua que diluye el licor de prensa con el fin de incrementar las velocidades de separación, disminuir la concentración de los sólidos en suspensión, y favorecer el transporte de la mezcla hasta los tamices vibratorios filtrantes.

Una de las maneras de concebir el proceso de sedimentación es cuando las partículas sólidas de la fase dispersa (lodos) se desplazan libremente a través de la fase continua o medio fluido (aceite) por la acción de la gravedad. Esta separación se ve favorecida por la inmiscibilidad de las fases presentes, formando dos capas en donde el aceite al poseer menor densidad, asciende. Para este tipo de procesos de separación, las plantas de beneficio del fruto de la palma de aceite utilizan ampliamente los decantadores gravitacionales, por ser equipos que recu-

peran alrededor del 85% del volumen total de aceite presente en el licor crudo a bajos costos. La eficiencia del proceso de la clarificación estática se ve limitada por factores como el tamaño de las gotas de aceite, la viscosidad de la mezcla, la diferencia de densidad entre las fases, la concentración de los sólidos en suspensión y el régimen de flujo de la mezcla previa a la separación, factores tales que emulsifican los lodos con el aceite, evitando que desciendan fácilmente y se realice la separación.

Actualmente en las plantas de beneficio se manejan condiciones estables de operación que proporcionan una buena separación del aceite crudo de palma, entre las que se pueden mencionar:

- **Temperatura:** se recomienda que la temperatura en el licor sea de $90^{\circ} \text{C} \pm 5^{\circ} \text{C}$, con lo que se asegura una viscosidad baja de la fase continua, que disminuye el grado de fricción que se opone a la separación de las gotas de lodo y se favorece la diferencia de densidades que promueven la separación. Cabe anotar que excesos de temperatura ocasionan daños de tipo fisicoquímico y dificultan el proceso de clarificación.

*Sandra Milena Rincón Miranda
Laura Yohanna Rueda Castañeda
Édgar Eduardo Yáñez Angarita
Jesús Alberto García Núñez.

• **Dilución:** una elevada concentración de sólidos en la fase continua ocasiona una mayor viscosidad de la suspensión, lo que dificulta el proceso de separación. Por lo tanto, se realiza una dilución volumétrica 1,4/1.0 aceite:agua (% Vol. Aceite/% Vol. Agua) en el licor crudo de prensas, para mejorar la fluidez en el medio y obtener una mayor velocidad de sedimentación y eficiencia en la recuperación del aceite[1]. De esta forma se evitan capas de lodos superficiales sobre el aceite y taponamientos en las tuberías. Vale la pena resaltar que la clarificación con exceso de agua se vuelve ineficiente, pues ascienden con facilidad materias mucilaginosas (gomas) y forman una capa intermedia o tercera capa (lodos livianos) que evita la separación posterior de las dos fases principales.

En este *Ceniavances* se describe la metodología para la realización de pruebas de sedimentación en laboratorio, que ha sido utilizada durante los últimos años en los trabajos de investigación implementados por el Programa de Plantas de Beneficio de Cenipalma, descritos en la Tabla 1 como una herramienta de evaluación de la velocidad de sedimentación de lodos y eficiencia de recuperación del aceite, donde se estudió la influencia de la relación aceite/agua en el proceso de clarificación.

Tabla 1. Proyectos de investigación que utilizaron la metodología de pruebas de sedimentación

Título	Año	Zona Empresa	Ejecutores
Aplicación y evaluación de los efectos de campos magnéticos en el rendimiento de la extracción de aceite crudo de palma	2004	Central- ECOPETROL/ICP- Agrónce	Luisa Fernanda Núñez, Edgar Eduardo Yañez, Jesús García
Influencia de la composición y la temperatura en el proceso de decantación estática de los recuperados de centrifuga en la agroindustria de la palma de aceite	2005	Oriental – Aceites Manuelita S.A.	Camilo Andrés Cruz, Edgar Yañez, Jesús García
Estudio del nivel de dilución apropiado del licor de prensa, apoyado en el diseño y evaluación de los sistemas de control automático.	2005	Norte – Aceites S.A.	Oscar Mauricio Díaz, Edgar Eduardo Yañez
Estudio de alternativas para la reducción del consumo de agua de dilución y el efluente líquido generado en las plantas de beneficio	2005	Oriental – Aceites Manuelita S.A.	Victoria Urrea, Guido Alberto Sierra R.
Determinación de la incidencia de la adición de agua y el drenaje de aceite sobre la eficiencia del sistema digestor-prensa	2006	Occidental Astorga – Palmal Santa Helena	Paula Andrea Pataú Carlos Alberto Fernández
Estudio del fenómeno de separación de aceite y los parámetros básicos de diseño para los sistemas de recuperación tipo preclarificador	2006	Oriental- Entrepalmas S.A.	Laura Yohanna Rueda, Sandra Milena Rincón M.
Estudio del fenómeno de separación de aceite para los sistemas de recuperación tipo preclarificador.	2007	Oriental – Aceites Manuelita S.A.	Diego Ignacio Nieto, Jesús Alberto García

Definición

Una prueba de sedimentación es un ensayo realizado en el laboratorio, donde se dispone una probeta graduada dentro de un baño termostático para simular el proceso de clarificación del aceite, en el cual se observa la sedimentación de partículas lodosas y se registra la altura de la capa de aceite formada en función del tiempo.

El fenómeno observado sigue la siguiente secuencia de eventos (Figura 1): al principio de la prueba de sedimentación la concentración de los

sólidos es uniforme y las partículas lodosas se encuentran en reposo con respecto al fluido en el que están inmersas (Figura 1a). En un corto tiempo, una fracción del material suspendido cae a través del fluido concentrándose a una velocidad máxima y proporcionando una zona de líquido claro; como la concentración de las partículas es suficientemente alta y la sedimentación de las partículas individuales se ve impedida por otras, se generan las condiciones de una sedimentación obstaculizada en donde los sólidos, a un nivel dado y con un tamaño de partícula aproximadamente igual, caen al mismo tiempo y forman una delgada línea de demarcación entre la mezcla y el líquido claro sobrenadante (Figura 1b) [2].

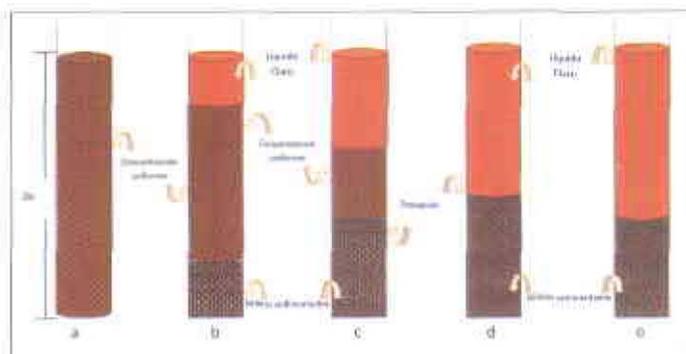


Figura 1. Proceso de sedimentación intermitente visto en una probeta de laboratorio.

A medida que el proceso continúa, se producen apilamientos de partículas desde el fondo del recipiente, que forman capas con niveles sucesivos de diferente concentración de sólidos, siendo la zona más baja en la probeta la de mayor concentración. La acumulación gradual de los lodos ejerce presión sobre el material del fondo, comprime la capa más profunda y el líquido atrapado se expelle hacia las zonas altas [3].

Las figuras 1b, 1c y 1d señalan la formación de una capa de transición, descrita como una zona poco definida, situada encima del material sedimentado y cuya concentración varía, y con canales internos por donde puede subir el fluido. Transcurrido un tiempo, los límites de las zonas intermedias entre el líquido claro y los lodos más concentrados tienden a desaparecer, porque se generan aumentos en la densidad de las partículas en suspensión, que caen y conllevan a un decrecimiento en la velocidad de sedimentación (Figuras 1c y 1d).

Esta velocidad continúa disminuyendo hasta volverse muy lenta y se da inicio a un periodo conocido como zona de sedimentación retardada, en la cual los lodos se compactan uniformemente hasta alcanzar un balance entre el peso de los sólidos y la fuerza de empuje. En éste momento el proceso de sedimentación se detiene y se alcanza la última altura de la suspensión con una máxima compactación de los sólidos que rodean al fluido aceitoso (Figura 1e). Este punto del proceso es llamado la zona de compresión [3].

Montaje de la prueba de sedimentación

El montaje de la prueba se realiza en un beaker de cinco litros, en el cual se calienta agua hasta los 90° C para proporcionar las condiciones de un baño María a una probeta graduada de 250 ml que se sumerge dentro de él (Figura 2).

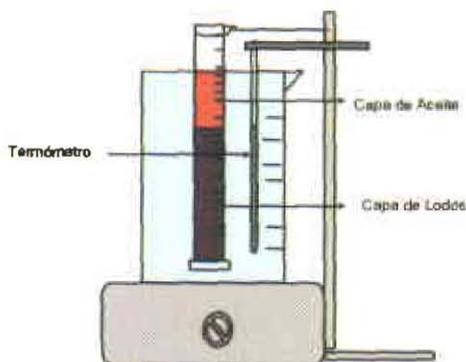


Figura 2. Montaje de la prueba de sedimentación.

El experimento se desarrolla a temperatura uniforme y constante para evitar movimientos del líquido o corrientes de convección que generen variación en la temperatura y en las densidades. El procedimiento que se sigue se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 3.

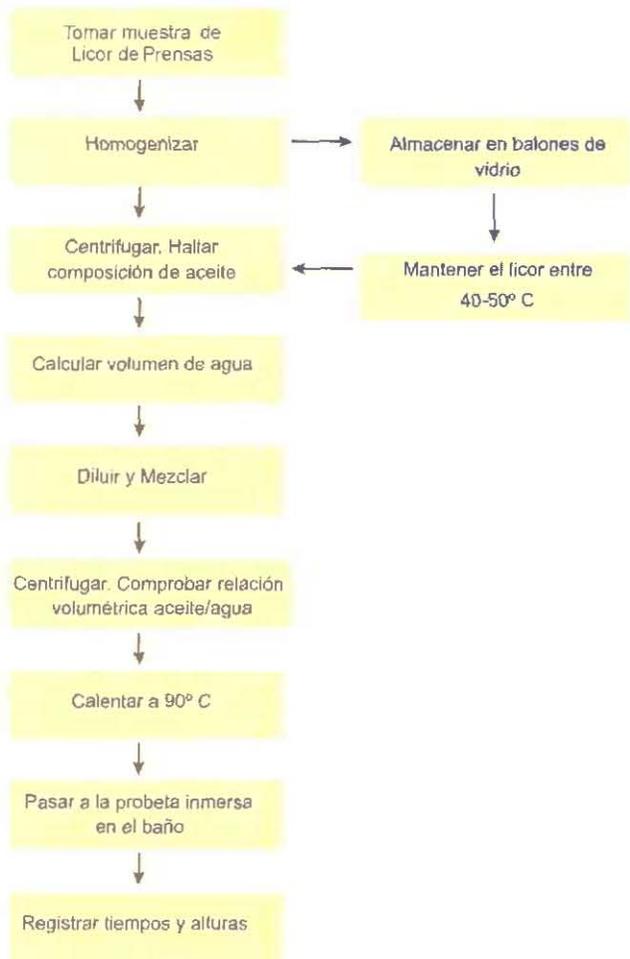


Figura 3. Procedimiento para el desarrollo de las pruebas de sedimentación en el laboratorio.

Inicialmente, se toma una muestra de 1000 ml de licor crudo, sin agua de dilución, del canal colector de las prensas de la planta de beneficio. La muestra se homogeniza para dosificar un volumen de aproximadamente 330 ml en tres balones de vidrio, procurando que la temperatura del licor en todas las unidades experimentales se mantenga entre los 40° C y 50° C; si no se mantiene esta condición, la mezcla cambia sus propiedades

físicas y por tanto afectan el desarrollo de las pruebas de sedimentación de las partículas.

Posteriormente se realiza una prueba de centrifugación en la que se determina el contenido de aceite. Con este valor se hace el cálculo de la cantidad de agua necesaria para preparar una unidad experimental de 250 ml de licor de prensas con base en la ecuación 1:

$$V_{H_2O} = \frac{V_{LP} X_A}{D} \tag{1}$$

Donde,

- V_{H2O} Volumen de agua de proceso, ml.
- V_{LP} Volumen licor de prensas sin diluir, ml.
- X_A Composición de aceite en el licor prensas sin diluir.
- D Relación dilución aceite: agua, adimensional.

La muestra del licor de prensas se calienta hasta llegar a 80° C; luego, la suspensión se diluye con el agua de proceso que debe estar a la misma temperatura que el licor y en la cantidad calculada según la ecuación 1. Cuando la mezcla se encuentra homogenizada, se centrifuga nuevamente para confirmar la relación aceite/agua del licor de prensas diluido (LPD) antes de iniciar la prueba de sedimentación.

Una vez se comprueba numéricamente la correlación de dilución, se calienta el LPD hasta llegar a los 90° C sin excesos de calor y/o descontrol en la temperatura que pueden causar la quema de los lodos (formación de pastas negras en el fondo del recipiente) o la ebullición de la mezcla. Si la temperatura no se maneja adecuadamente, se generan problemas en la sedimentación de las partículas y errores en la toma de datos al realizar el ensayo.

De esta mezcla diluida y a la temperatura establecida, se homogenizan 250 ml que se llevan a la probeta, previamente inmersa en el agua. Desde este momento la prueba consiste en registrar el tiempo que tarda el aceite en separarse de los lodos cada 2 ml, durante 40 minutos.

La correcta lectura de los datos en las pruebas de sedimentación depende, en gran medida, de la visualización que se tenga del incremento de la capa de aceite en la probeta; por lo tanto, es de gran importancia contar con agua muy limpia y transparente en el baño, en lo posible estar filtrada, pues el contenido de material particulado se distribuye por todo el beaker al incrementarse la temperatura, lo que dificulta la visibilidad.

Adicionalmente, se debe evitar el burbujeo del agua, ya que al generar un movimiento sobre la probeta, ocasiona una reacomodación de los lodos que puede incrementar o disminuir la capa de aceite y generar falsos resultados en los tiempos de separación.

En el desarrollo de las pruebas de sedimentación se observa que, transcurridos 40 minutos de ensayo, desaparecen las zonas de sedimentación intermedias y se estabiliza la zona de compresión y de líquido claro. Ante tiempos de exposición adicionales se presenta un incremento de volumen en la capa de aceite, entre 4 y 8 ml, debido a que esta fase se estabiliza a la temperatura del baño (Aprox. 95° C) y cambia la densidad. Ante este fenómeno se debe tener en cuenta en el montaje un cubrimiento total de la escala de la probeta por el agua del baño, para evitar que se produzca un delta de temperaturas que afecten la viscosidad del aceite y la separación de las partículas; e impedir que éste incremento de volumen se salga del agua.

Cálculos

Velocidad de Sedimentación

La velocidad de sedimentación de las partículas lodosas se calcula utilizando el método de la bisectriz [4] sobre una curva de altura de lodos en función del tiempo de separación. El método 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 sobre el cual se traza una recta tangente. A este punto se le denomina punto de compresión, y define el estado en el cual las partículas lodosas alcanzan velocidades prácticamente constantes cuando se encuentran en la zona de transición, es decir, cuando se encuentran aglomeradas y bajo la condición del proceso de sedimentación obstaculizada, arrojando velocidades de sedimentación mínimas.

Con el procedimiento anterior se establecen los siguientes tres puntos sobre la curva de sedimentación, con los cuales se calcula la velocidad: (i) Tiempo último t_u , que corresponde a la intersección de la tangente trazada con la línea P2, que señala el tiempo que tardan los sólidos en formar el volumen de compresión; (ii) Altura Z_i , definido por la intersección entre la tangente y P1 y (iii) Altura Z_u , hallada por la intersección entre la tangente y P2, que son los límites de la zona de sedimentación retardada. (Figura 4)

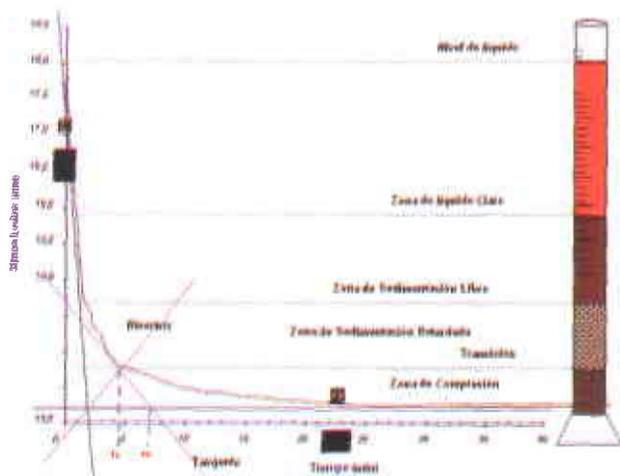


Figura 4. Curva de sedimentación y trazos según el método de la bisectriz para hallar la velocidad y las zonas de sedimentación.

Finalmente, la velocidad de sedimentación se calcula utilizando los valores de Z_i , Z_u y t_u , por medio de la siguiente ecuación

$$v = \frac{Z_i - Z_u}{t_u} \quad (2)$$

Donde:

- Zi: Inicio zona de sedimentación; cm.
- Zu: Limite zona de sedimentación; cm
- Tu: Tiempo último de separación; s.

Eficiencia de sedimentación

La eficiencia de sedimentación es definida como la relación que existe entre el porcentaje de aceite separado en la prueba, respecto al total contenido en la muestra diluida. Dicha relación se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{V_A}{V_{LPD} \times \% A} \times 100 \quad (3)$$

- V_{LPD} Volumen de la muestra en la probeta, ml.
- V_A Volumen total de la capa de aceite formada en el ensayo, ml.
- $\%A$ Composición de aceite en LPD.

Conclusiones y recomendaciones

Se observó que la mayor separación de aceite se alcanza aproximadamente a los 10 minutos de haber iniciado el ensayo. Las gráficas muestran que pasado este tiempo las partículas entran a una zona de compresión, donde la velocidad y eficiencia se encuentran prácticamente constantes, por lo que las gotas de aceite atrapadas en los lodos pueden ser liberadas mucho más fácil bajo una separación dinámica.

La metodología desarrollada es útil para la toma de decisiones operacionales en la etapa de clarificación del aceite y para el establecimiento de los parámetros de diseño de los equipos. Es un avance en el conocimiento del fenómeno observado, ya que las variables que causan las variaciones en el sistema no han sido medidas, tales como: la tensión superficial, viscosidad de mezcla, tamaño de partículas, densidad de la solución, entre otros, que en posteriores trabajos de investigación permitirán simular el comportamiento del sistema en función de estas.

Agradecimientos

Al Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma y a las plantas extractoras: Aceites S.A., Aceites Manuelita S.A., Astorga S.A., Entrepalmas S.A., El Roble S.A., y Palmar Santa Helena S.A., por el apoyo brindado en la implementación y ejecución de los trabajos de investigación del programa de plantas de beneficio.

Bibliografía

- [1] Yáñez E.; Díaz, O.; García, J.; Castillo, E. 2008. Determinación del nivel de dilución apropiado en el proceso de clarificación y diseño de un sistema de control automático de la dición del licor de prensa. Palmas 29 (3). Págs. 1- 20.
- [2] Brown, G. 1951. Unit Operations. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- [3] McCabe, Warren L. 2002. Operaciones unitarias en ingeniería química. Sexta edición. Págs. 1117-1129.
- [4] Foust, Alans. 1987. Principios de operaciones unitarias. México: Continental. p. 610 · 636.

cenipalma

Director: José Ignacio Sanz Scovino
 Revisión de textos: Comité de Publicaciones de Cenipalma
 Coordinación editorial: Oficina de Comunicaciones
 Diseño y diagramación: Briceño Gráfico
 Impresión: Molher Ltda. Impresores

Esta publicación contó con el apoyo del Fondo de Fomento Palmero