

Recuperación del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas mediante la aplicación de vibraciones mecánicas

Recovery crude palm oil content in press liquor by applying mechanical vibrations

Gustavo Alfredo Cuesta Juliao¹, Franklin Barraza Campo²

¹ Especialista en Gerencia de Producción y Operaciones, Jefe Control de Calidad y Pérdidas en los Procesos, C.I. Tequendama SAS, gacjuliao@hotmail.com.

² Especialista en Gerencia de Producción y Operaciones, Ingeniero Químico, Jefe de Procesos, Razu Reyna Blanca SAS.

Recibido 14/10/13, Aceptado 07/12/2013

RESUMEN

En la búsqueda de reducir las pérdidas de aceite crudo de palma en el efluente líquido final de las plantas extractoras, se plantea recuperar todo el aceite contenido en el licor de prensas en la etapa de pre-clarificación del proceso de extracción. El presente estudio propone la aplicación de un sistema físico de vibración mecánica, que genere un comportamiento de separación dinámica del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas, bajo condiciones óptimas de control de temperatura entre 90 y 95 °C. Con el ensayo de vibración realizado al licor de prensas en planta, se observó una gran velocidad de sedimentación de los lodos y la formación de una definida capa de aceite en 2 minutos, 45 segundos, y por el método Soxhlet se determinó un 0,08% de contenido de aceite crudo de palma en los lodos. La recuperación eficiente del total de aceite del licor de prensas, ayuda a disminuir la carga de aceite a las plantas de tratamiento de aguas residuales, y recuperar económicamente el promedio mensual de los últimos cuatro años \$ 120.485.735 en pérdida de aceite crudo de palma en los efluentes líquidos, con un costo promedio de \$1.873/ kilo aceite.

Palabras clave: Licor de prensas, Aceite crudo de palma, Vibración mecánica, Velocidad de sedimentación, Soxhlet, económica.

ABSTRACT

In seeking to reduce losses of crude palm oil in the final liquid effluent from the mills, we propose to recover all the oil contained in the press liquor in the pre - clarification of the extraction process. This study proposes the application of a physical system of mechanical vibration, which generates a dynamic separation behavior of crude palm oil containing press liquor, under optimal temperature control between 90 and 95 ° C. With the vibration test conducted in the press liquor plant , a sedimentation rate of sludge and the formation of a layer of oil defined in 2 minutes, 45 seconds was observed , and was determined Soxhlet 0.08 % content of crude palm oil in the sludge. Efficient recovery of total liquor oil presses, helps reduce the burden of oil treatment plant wastewater and recover economically monthly average of the last four years \$ 120,485,735 in lost crude palm oil in liquid effluents, with an average cost of \$ 1,873 / kilo oil.

Keywords: Press liquor, Crude palm oil, Mechanical vibration, Sedimentation rate, Soxhlet, Economic.

1. INTRODUCCIÓN

El aceite crudo de palma es un recurso renovable y año tras año cobra una gran importancia en su uso, actualmente es materia prima para su transformación en muchos procesos de las industrias de alimentos, de oleoquímicos, y como combustible alternativo llamado biocombustible (biodiesel), que gracias a las características químicas se comporta similarmente al ACPM en el funcionamiento automotriz. La extracción del aceite crudo de palma se realiza en pro-

cesos continuos, mecánicos y físicos, en las etapas de esterilización, desfrutado, prensado, clarificación, secado y almacenamiento, sin la adición de insumos químicos. En la etapa de prensado se genera el licor de prensa y en la de clarificación se separa en proceso estático, por la diferencia de densidades con los lodos donde se obtiene una eficiencia de separación del aceite del 68%. El aceite no separado en esta etapa se recupera en parte en centrifugas industriales y a su vez se generan pérdidas de aceite hacia las aguas residuales cercanas al 1%. En la última etapa del proceso parte del

aceite se recupera en las trampas de grasas, disminuyendo su calidad fisicoquímica y la tasa de producción, generando un problema ambiental y económico.

A nivel investigativo han sido muchos los trabajos realizados al licor de prensas en la etapa de clarificación, buscando una mejor recuperación del aceite crudo de palma en esa sección, experimentalmente se ha comprobado que el factor de dilución de 1,4 vol. aceite /vol. agua, es la de mayor eficiencia y velocidad de sedimentación, con valores de 75% y 7,71 ml/min respectivamente en medios estáticos y con una temperatura de 95 °C para bajar la viscosidad en el licor [1]. Se analizan, los parámetros que se establecen para disminuir la viscosidad y optimizar la velocidad de separación en el fluido del licor de prensas como la temperatura, la dilución y el esfuerzo cortante [2]. Se realiza un análisis al sistema tradicional de separación estática que se basa en la separación por diferencia de densidades y se confirma que en el licor, las gotas de aceite desde el punto de vista de la mecánica de fluidos se comportan con la ley de Stokes, por la fricción entre las capas del fluido [3].

Se ha diseñado un preclarificador que funciona con separación estática, se demuestran ventajas de mejoramiento de la calidad del aceite con referencia a la acidez, se obtiene el producto en menor tiempo de trabajo, simplifica etapas del proceso de clarificación, minimiza el esfuerzo físico, disminuye la cantidad de aceite en los lodos de la sección de clarificación, no necesita intercambiador de calor y su fabricación es sencilla y económica [4]. Se identifica la formación de emulsiones estabilizadas en el licor de prensas por agentes tensoactivos que se hallan naturalmente en el fruto de la palma y que se pueden tratar con técnicas como la electrocoagulación, la coagulación por sales, coagulación por biopolímeros y coagulación por polímeros, pero son procesos muy complejos y costosos, y lo que se requiere es que el aceite crudo de palma se obtenga de forma física y mecánicamente natural [5]. Se ha aplicado el ultrasonido, en la sección de preclarificación en una planta extractora de aceite de palma, con frecuencias superiores a los 16.000 hercios (Hz), mejorando en un 48,19% la eficiencia en clarificación. Además la asistencia por ultrasonido utiliza sonidos de alta frecuencia, con el fin de desprender un compuesto buscado en los materiales vegetales, los cuales proveen un recurso de materia prima a las industrias farmacéutica, cosmética y de alimentos, la partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica [6,7].

Se propone en el presente estudio el diseño de un sistema a nivel de laboratorio para realizar ensayos y demostrar la recuperación del aceite en el licor de prensas cerca al 100 %, en estado dinámico mediante los efectos de frecuencias vibratorias mecánicas. Entre los elementos y conceptos que hacen parte en la propuesta para el diseño del equipo a nivel de laboratorio están el resorte y muelle de comprensión,

la ley de Hooke es matemáticamente aplicable cuando se le ejere una fuerza externa para su elongación o comprensión [8]. Las vibraciones que se generan en las vibraciones mecánicas dan un movimiento de vaivén a las moléculas de un cuerpo, de tal modo que sus puntos oscilen sincrónicamente en torno a sus posiciones de equilibrio. También hay un intercambio de energía cinética entre cuerpos con rigidez [9]. De acuerdo a la amplitud de onda generada, vertical u horizontal se crean numerosas ondas que propagan energía de un lugar a otro sin la transferencia de materia, una onda puede variar su frecuencia y su longitud, la frecuencia que representa el número de oscilaciones por segundos y se mide en Hertzios [10]. Fundamental la sedimentación que de las fases sólida y líquida de una suspensión diluida se obtiene una suspensión concentrada y un líquido claro. Y la velocidad de sedimentación puede calcularse a partir de la pendiente de la representación gráfica de la altura de la interface frente al tiempo [11]. Adicionalmente, variaciones de concentraciones de partículas o de temperatura producen variaciones de densidad en el flujo y originan corrientes cinéticas o térmicas, generando cortocircuitos hidráulicos en las unidades [12]. La figura 1, muestra la obtención del licor de prensas y la figura 2 representa la separación del aceite crudo de palma en la sección de clarificación en estado estático a nivel industrial.

Figura 1. Extracción del licor de prensas.
Figure 1. Liquor extraction presses.

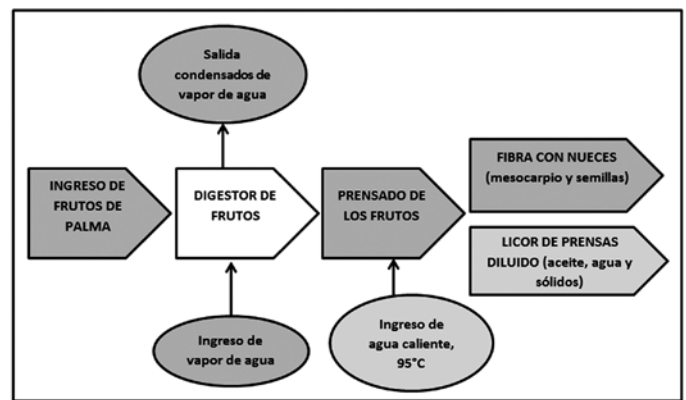
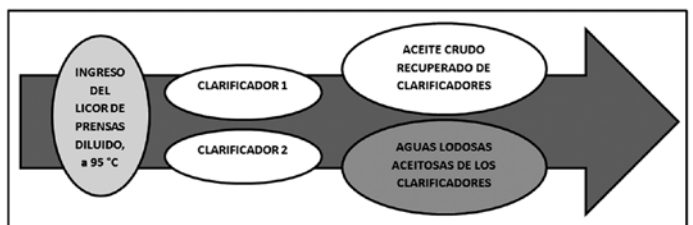


Figura 2. Proceso de separación estática del aceite crudo de palma en la sección de clarificación.

Figure 2. Static separation process crude palm oil in the clarification section.



2. METODOLOGÍA

El método definido para el desarrollo de esta investigación se establece con la revisión de trabajos asociados con el tema, la implementación de los procedimientos para los ensayos con la identificación de los escenarios de gestión, el físico-mecánico, donde se somete el licor a las vibraciones mecánicas y el químico, con solvente hexano se determina el contenido de aceite que queda emulsionado con los lodos, por el método Soxhlet, [13,14]. La figura 3, muestra el procedimiento de la metodología.

Figura 3. Procedimiento metodológico para el proyecto.
Figure 3. Methodological procedure for the project.



Para el desarrollo eficaz del ensayo se estableció el control de las variables para analizar la eficiencia de separación como son, la temperatura, el factor de dilución, la frecuencia de vibración, el porcentaje de aceite en los lodos después del ensayo y el porcentaje de eficiencia del proceso.

Para el ensayo de vibraciones mecánicas se utilizó como referencia el tamiz vibratorio de palmisteria, ubicado en una sección de la planta de extracción. El tamiz, opera con un motor de 2 HP y 1750 rpm (30 Hertz), dos pesas excéntricas de 1,05 kg cada una, que ejercen el “desequilibrio” en el sistema induciendo a dos muelles en forma elipsoidal, que se comprimen y expanden generando las vibraciones mecánicas. El principio del funcionamiento de la vibración mecánica es generar ondas con longitudes y amplitudes muy pequeñas que hace el ciclo repetitivo para accionar un movimiento dinámico de las partículas de aceite y de lodos. La figura 4 representa acciones de un resorte de comprensión que genera vibraciones con amplitudes de ondas verticales, con el accionar de un agente externo, un muelle con forma elipsoidal también tendría el mismo comportamiento.

En la figura 5 los puntos blancos representan las partículas de aceite y los grises a las partículas de lodos. En la figura 5a representa el licor de prensa antes del inicio de la vibración mecánica vertical, donde las partículas de lodos en estado estático tiende a contener las partículas de aceite, por eso al licor se le debe condicionar la temperatura para disminuir la viscosidad para que se separen los componentes por la diferencias de densidades, y el agua sirve como vehículo ayudando a emerger a las gotas de aceite, las amplitudes de las ondas generadas tienen dirección a la superficie. En la secuencia 5b en el accionar de la repetitividad de las vibraciones se generan ondas haciendo que el medio sea dinámico y la fricción entre partículas de aceite y lodos sea menor, así las gotas de aceite se sueltan de los lodos y emergen inducidos por el agua y por la diferencias de densidades, los lodos tienden a precipitar. Así en las secuencias 5c y 5d la vibración genera amplitudes de ondas de forma horizontal y tienden a dirigirse hacia las paredes del recipiente que contiene al licor de prensas, generando acción dinámica en el licor, para separar las gotas de aceite de los lodos. Las vibraciones mecánicas facilita la separación de tres componentes que son insolubles entre sí, el aceite, el agua y los lodos.

Figura 4. Generación de ondas por vibraciones verticales.
Figure 4. Wave generation by vertical vibrations.

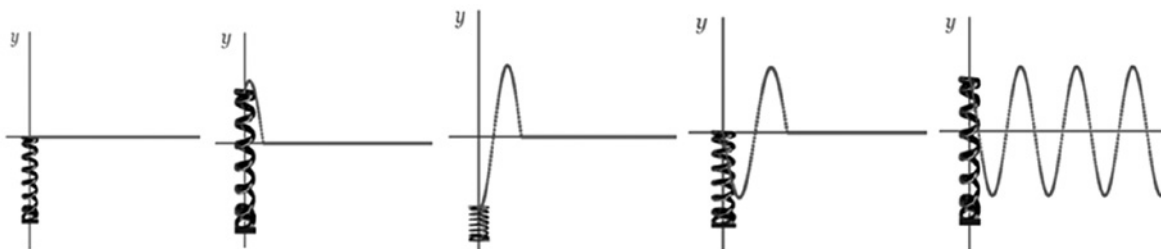
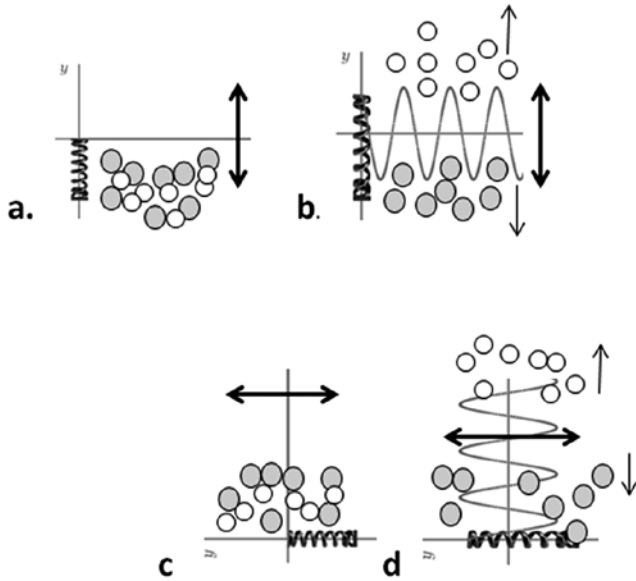


Figura 5. Accionar de la separación del aceite y los lodos mediante vibración mecánica.

Figure 5. Actions separation of the oil and sludge by mechanical vibration.

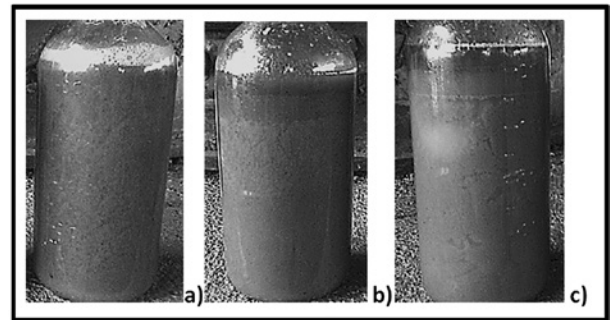


El licor de prensas en el proceso industrial está a una temperatura entre 65 y 70 °C y preliminar al ensayo, la muestra se calentó introduciéndola en un beaker con agua caliente para proporcionar condiciones de baño María y acondicionar la temperatura entre los 90 y 95 °C para facilitar la separación del aceite presente en el licor de prensas mediante centrifuga a nivel de laboratorio, el aceite crudo de palma se obtiene por proceso continuo y los tiempos de residencia en su recuperación son bajos que no afectan sus propiedades físicas y químicas, lo que se corrobora con mediciones de DOBI que es el índice de blanqueabilidad, que indica que tan fácil o difícil se puede blanquear un aceite crudo en el proceso de refinación y la experiencia muestra valores promedios favorables de 3,340 indicando que el aceite no se quema por efecto de la temperatura, el límite inferior que indica que un aceite es difícil de blanquear es de 2,5. El resultado de la centrifugación arrojó porcentajes volumen/volumen de 32 % de aceite, 50% de agua y 18% de lodos, con esta información se tiene un factor de dilución de 0,64. Con el valor de referencia del 32% de aceite en el licor de prensas, se realizó el ensayo con 500 mL de muestra sin modificarle el factor de dilución, y previamente se ajustó la temperatura entre 90 y 95 °C de igual forma sumergida en baño María, seguidamente se ubicó en el tamiz vibratorio, donde se analiza el comportamiento de separación de los componentes de la muestra, tomando el registro del tiempo y la cantidad de aceite separado para determinar la eficiencia del proceso. La figura 6, presenta la secuencia del licor de prensas con el ensayo de vibración mecánica, la 6a muestra el licor al inicio del

ensayo, se notan puntos de aceite de color rojo rodeados de partículas de lodos de color café, la 6b muestra el licor ya sometido al ensayo de vibración parcial, donde se observa un tercio de la muestra de color café, sin puntos rojos indicando la ausencia del aceite y los dos tercios de muestra con muchos puntos de color rojo de aceite dirigiéndose a la superficie y en la tercera parte o superior de la muestra se observa una capa definida de aceite completamente de color rojo y la 6c muestra una capa superior con aceite bien definida y sin lodos y la otra capa de lodos color café con agua y no se aprecia visualmente puntos rojos que indiquen la presencia apreciable de aceite crudo de palma.

Figura 6. Separación dinámica con vibración mecánica. a) Muestra previa al ensayo, b) Muestra con ensayo parcial, c) Muestra final.

Figure 6. Separation dynamic mechanical vibration. a) Pre-test sample, b) Depicts partial test c) Final sample.



Para verificar la eficiencia del ensayo se determinó el contenido de aceite en los lodos que no se separó en la muestra, aplicando el procedimiento analítico por extracción Soxhlet descrito en el manual de Procedimientos de Laboratorio en Plantas de Beneficio [13]. Se retiró la capa de aceite que muestra la figura 6c, el restante de la muestra con agua, lodos y el aceite a determinar se homogenizaron y se tomaron 30 mL (0,030 L), se secó en horno convencional durante 2 horas, se empacó en un cartucho de papel filtro y se realiza el montaje en el extractor soxhlet durante 4 horas, utilizando solvente hexano.

3. RESULTADOS

El contenido de aceite en la muestra en estado dinámico por el método Soxhlet es de 0,024 g de aceite, que equivale a 0,08% en base húmeda y 0,8 g aceite/L de efluente, que con referencia al 32% de aceite en el licor de prensa previo al ensayo dinámico, representa que se ha separado volumétricamente el 31,92% para una eficiencia del 99,75%, como se muestran en las figuras 6c, 7 y 8 respectivamente. Las vibraciones disminuyen la fricción, formando una capa definida de aceite, el color del lodo da la señal del escaso contenido de aceite (color café). El ensayo se procesó en 2 minutos, 45

segundos con la muestra de 500 mL en estado dinámico, lo que indica la presencia de 160 mL de aceite (32%) de acuerdo a la eficiencia del 99,75%, se ha separado 159,6 mL de aceite a una velocidad de 65,14 mL/min.

En la planta de extracción industrial están instalados dos clarificadores en estado estático y su composición de los efluentes es de 10% de aceite, 3% de lodos livianos, 63% de agua y 25 % de lodos pesados como lo indica la figura 9, con base a los resultados obtenido en el ensayo de vibración como lo indica la figura 6, y el método de extracción Soxhlet se realiza una proyección de simulación de los dos procesos a nivel industrial, se observa que ingresa un 32% de aceite crudo de palma con el licor de prensas, y en los clarificadores en estado estático salen respectivamente 10% de aceite para una eficiencia de separación del 68,8%, y en el sistema dinámico con vibración mecánica daría una eficiencia del 99,75% o el 31,92 % de aceite recuperado, figura 4c, con referencia al 32% del volumen de la capa de aceite que se determinó en el análisis preliminar al licor de prensas. Estos comportamientos lo muestra la figura 10, que indica la comparación del contenido de aceite entre los procesos estático y dinámico, la figura 11 indica comparación de la cantidad de aceite recuperada por cada uno de los sistemas y la figura 12 ilustra la comparación de eficiencia de los sistemas, todo con base a los cálculos que se indican de la figura 7.

Figura 7. Resultados de la extracción Soxhlet.
Figure 7. Soxhlet extraction results.

INFORMACIÓN DEL RESULTADO DEL PROCESO SOXHLET EN MUESTRA APLICANDO VIBRACIÓN MECÁNICA	
Procedimiento soxhlet	Resultados
PESO GR. BALON LIMPIO Y SECO	107.237
PESO GR DE PAPEL FILTRO Y ALGODÓN SECOS	2.322
PESO GR PAPEL FILTRO Y ALGODÓN + M. HUMEDA	32.571
PESO GR P. FILTRO Y ALGODÓN + M. SECA ACEITOSA	3.415
PESO GR DEL MATRAZ SECO	107.237
PESO GR MATRAZ+ACEITE EXTRAÍDO	107.261
MUESTRA HUMEDA, gr	30.25
MUESTRA SECA, gr	1.09
% HUMEDAD	96.39
ACEITE EXTRAÍDO, gr	0,024
% ACEITE (BASE HUMEDA)	0,08
% ACEITE (BASE SECA)	2.20
gr de aceite / Lt de efluente	0,800
Observación: Ensayo soxhlet con solvente hexano durante 4 horas	

Con base a los resultados eficientes demostrados en ensayos previos y representados en las figuras 6c, 7 y 12, se propone el diseño de un sistema de vibración mecánica a nivel de laboratorio, que mediante ensayos conlleve a la confirmación de la hipótesis de la separación o recuperación dinámica, cercana al 100% del aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas. Con referencia a las características del equipo vibrador utilizado en el presente proyecto, se debe

diseñar un sistema similares con un motor con capacidad de 2 HP y 1700 rpm, con dos pesas excéntricas de 1,05 kg cada una, con dos muelles en forma elipsoidal para ejercer la vibración y adaptar un sistema opcional de calefacción para realizar un montaje de baño María para adecuar la temperatura del licor de prensas entre los 90 y 95°C durante los ensayos o realizar el calentamiento preliminar a la muestra del licor de prensas ante de los ensayos en horno convencional o en baño María por separado. Con el sistema se plantea ejecutar ensayos de vibración mecánica que generen ondas con amplitudes de desplazamientos horizontales, que origine un dinámico zigzag disminuyendo la fricción entre las partículas de los lodos y las gotas aceite. Y ondas con amplitudes de desplazamientos verticales hacia la superficie de la muestra del licor de prensas. Se debe estudiar el comportamiento entre los dos sistemas, junto al diseño de varias pesas excéntricas de diferentes masas y la aplicación de un motor con diferente potencia, con los dos tipos de ensayos en el sistema de vibración se compararan las eficiencias de separación de aceite, la velocidad de sedimentación de los lodos, el comportamiento sin variar el factor de dilución y modificando el factor de dilución, además determinar el contenido de aceite emulsionado no separado de los lodos, mediante el método Soxhlet en base seca. Todo que conlleve a escoger el sistema de vibración mecánica más eficiente de separación y recopilar toda la información de la parte experimental que conlleve al diseño de un sistema de vibración mecánica a nivel industrial. Para que la vibración ejerza una eficaz función, el licor de prensas en los procesos industriales debe ingresar al sistema por gravedad sin ser impulsados por bombas centrifugas porque emulsionan un porcentaje del aceite que queda atrapado con los lodos y retardaría la separación del crudo.

Figura 8. Eficiencia de recuperación del aceite crudo de palma.
Figure 8. Recovery efficiency of crude palm oil.



Figura 9. Comparativo de simulación industrial de las eficiencias del estado estático y vibración mecánica.

Figure 9. Comparative industrial simulation static state efficiencies and mechanical vibration.

COMPARATIVO DEL CONTENIDOS DE ACEITE A LA SALIDA DE LOS CLARIFICADORES , EN ESTADO ESTÁTICO Y LOS LODOS DEL ENSAYO CON VIBRACION MECÁNICA				
Licor de Prensas Diluido	Separación Estática en Planta Industrial			Ensayo con Separación Dinámica
Composición del Licor de Prensas	% Licor de Prensas ingreso a Clarificadores	Salida Clarificador 1	Salida Clarificador 2	% Aceite en lodos ,por método soxhlet ,muestra sometida a vibración mecánica
%Aceite Crudo de palma	32	10	10	0,08
%Lodos livianos	3	3	3	NA
%Agua	40	62	64	NA
%Lodos Pesados	25	25	23	NA
Eficiencia de Separación del Aceite Crudo de Palma		68,8%	68,8%	99,75%

Figura 10. Contenido de aceite en los lodos de los dos sistemas.

Figure 10. Oil content sludge from the two systems.

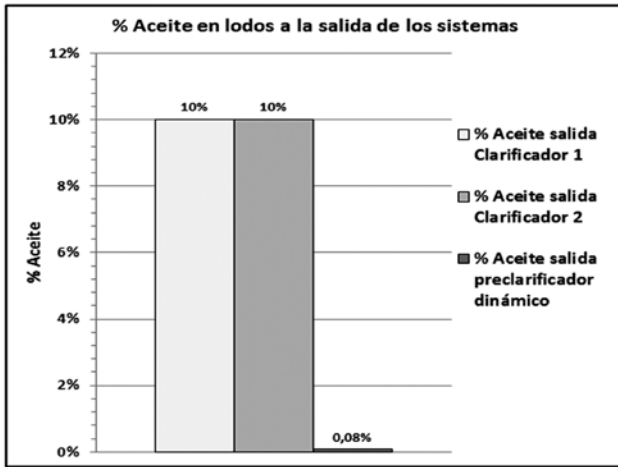


Figura 11. Recuperación de aceite por los dos sistemas.

Figure 11. Oil recovery for the two systems.

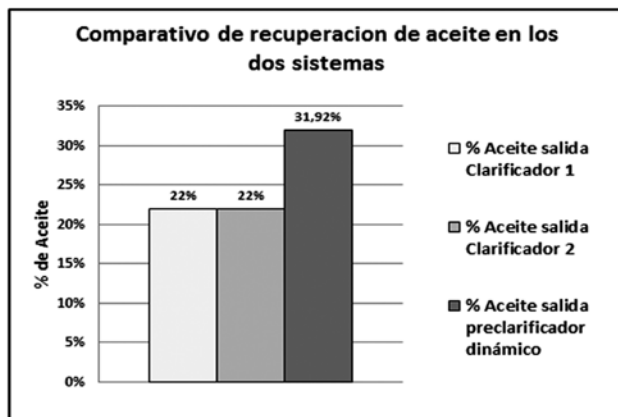
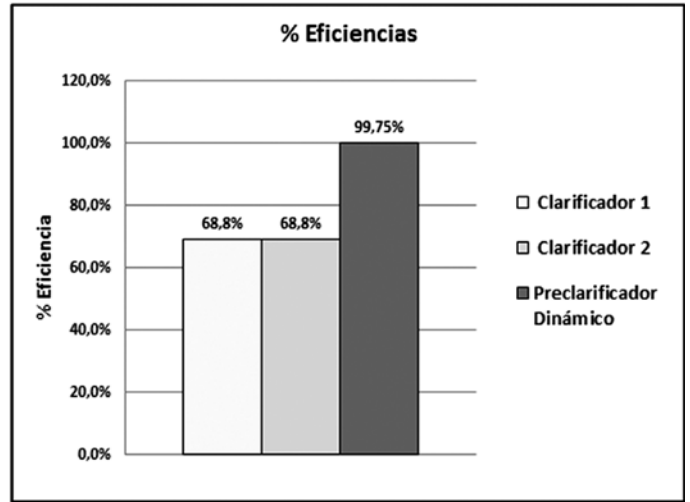


Figura 12. Eficiencias de recuperación de aceite de los dos sistemas.

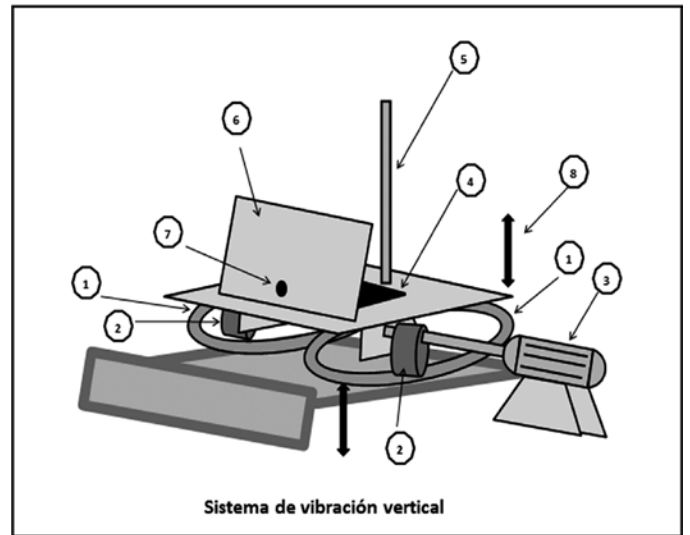
Figure 12. Oil recovery efficiencies of the two systems.



Las figuras 13 y 14, muestran el sistema propuesto de vibración mecánica con sus respectivos accesorios que lo componen a nivel de laboratorio y ser adaptado para operar de forma vertical y horizontalmente.

Figura 13. Sistema de vibración mecánica vertical a nivel de laboratorio.

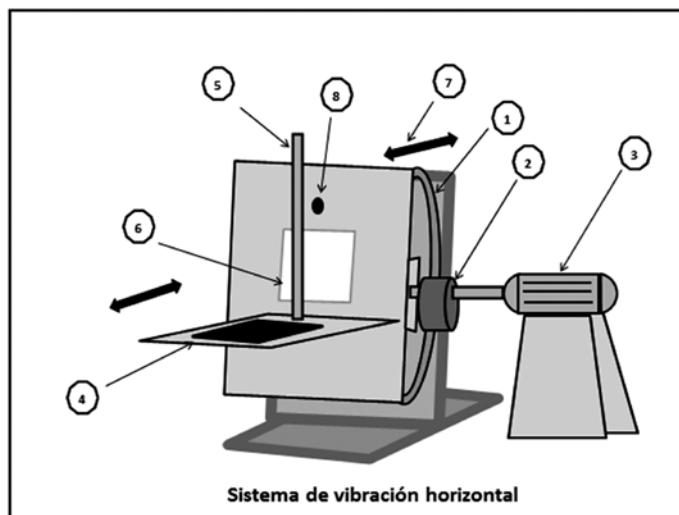
Figure 13. Vertical mechanical vibration system at laboratory level.



1. Muelles de vibración en forma elipsoidal.
2. Pesas excéntricas.
3. Motor.
4. Sistema de calefacción (opcional).
5. Soporte universal adaptable.
6. Base para ejecución de vibraciones horizontales.
7. Orificio para instalar soporte universal en vibraciones horizontales.
8. Dirección de las vibraciones.

Figura 14. Sistema de vibración mecánica horizontal a nivel de laboratorio.

Figure 14. Horizontal mechanical vibration system at laboratory level.



1. Muelles de vibración en forma elipsoidal, (2).
2. Pesas excéntricas, (2).
3. Motor.
4. Sistema de calefacción (opcional).
5. Soporte universal (adaptable).
6. Espacio para adaptar sistema de calefacción para el sistema vertical (opcional).
7. Dirección de las vibraciones.
8. Orificio para instalar soporte universal en vibraciones verticales.

4. CONCLUSIONES

- Con el control de las variables en el proceso de vibración mecánica, se facilita la ejecución del proceso dinámico recuperando el aceite crudo de palma contenido en el licor de prensas en un tiempo corto de 2 minutos y 45 segundos.
- La acción inducida de la vibración mecánica separó con mayor velocidad las gotas del aceite crudo de palma de los lodos, sin variar el factor de dilución de 0,64 e industrialmente se debe procesar el licor de prensas en un sistema automatizado continuo-batch-continuo, en las etapas de prensado y pre-clarificación recuperando todo el aceite y la salida de operación de las centrifugas instaladas en el proceso.
- Con el ensayo realizado en planta y la simulación de comparación de los resultados obtenidos de los procesos en estado estático y dinámico, como lo indican las figuras 7, 8, 9 y 10, demuestran que el sistema de vibración mecánica es una herramienta fundamentalmente aplicable al proceso de extracción del aceite crudo de palma ya que el dinámico movimiento

ondulatorio irradia energía para desplazar la materia pero sin modificarla, factor importante para conservar las propiedades naturales del aceite crudo de palma.

- El proceso dinámico de vibración mecánica ayuda a incrementar la tasa de extracción de aceite crudo de palma en un 0,52%, adicionando ingresos económicos. Además ayuda a mejorar la calidad del aceite crudo de palma, con respecto a la baja acidez porque en la etapa de clarificación tiende a hidrolizar, oxidar y a ranciar, ayuda a mejorar la calidad del color, porque tiende a oscurecer o quemar con el calentamiento con vapor de agua, que es un parámetro de calidad fundamental para los procesos de refinación, disminuyendo tiempos en los procesos y la aplicación de insumos químicos, reflejados en bonificaciones económicas para el aceite crudo de palma.
- La máxima recuperación de aceite también conlleva a disminuir las pérdidas de aceite crudo de palma en el proceso, específicamente en la etapa de clarificación y recuperación en centrifugas que es donde se generan las más altas pérdidas, ayudando al sistema de tratamiento de aguas residuales, y al medio ambiente con el agua tratada, ajustándose a la normatividad exigente para elementos contaminantes. Y ayudaría recuperar económicamente unos cien millones de pesos mensuales promedio por las pérdidas de aceite en los efluentes líquidos.

REFERENCIAS

- [1] Nieto D. I., Yáñez E.E., García J.A., Preclarificador de Aceite crudo de palma, diseño y operación, Impresores moler Ltda., Bogotá, 2011.
- [2] Díaz, O. M. (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. Tesis de pregrado, Universidad de Santander, Bucaramanga, 2012.
- [3] Alvarado, T., Mercedes O. (2010). Evaluación del Proceso de Clarificación en la Planta de Palmagro S.A. Tesis de Especialización, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Agronomía, 2011.
- [4] Reunión anual comité de asesores de investigación de cenipalma, 2005. Santafé de Bogotá, (2005). Análisis del comportamiento del Pre-clarificador, Extractora bella Esperanza, Urueta U. Juan C.
- [5] Duarte L. E. (2010). Estudio de Diferentes Métodos de Rompimiento de Emulsiones en la Etapa de Clarificación

de Aceite de Palma. Tesis de pregrado, Universidad UIS, Facultad de ciencias, 2012.

[6] Greg, dolphineng, (2012).Cell Rupturing and Separation Technology, [internet], Malaysia, Fedepalma. Disponible desde: <http://www.dolphineng.com/>, [Acceso 15 de Julio 2012].

[7] Azuola, R., Vargas, P., (2007).Extracción de Sustancias asistida por Ultrasonido (EUA), [on line], Tecnología en marcha vol. 20-4, 11.Disponible desde: www.tec-digital.itcr.ac.cr > Inicio > Vol 20, No 4 (2007), [Acceso 12 de octubre de 2012].

[8] Meruane, V., vibraciones mecánicas, departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Chile, Chile, 2012

[9] Díaz, F., vibraciones mecánicas, Facultad de estudios Superiores Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, 2011.

[10] Marín, M. D. & Ruiz, M., Vibraciones y Ondas. [Internet]. Disponible desde: webs.ono.com/mariadoloresmarin/PDF/F2b_12_VO_MO.pdf, [Acceso 10 de junio de 2013].

[11] Pérez, C. J., Avances en Sedimentación, CEPIS, Lima, 1977.

[12] Maldonado, V., Tratamiento de agua para consumo humano plantas de filtración rápida, Manual I, capítulo 7, Cepis, Lima Perú, 2004.

[13] Cala S., Yáñez E., García J., Manual de Procedimientos de Laboratorio en Plantas de Beneficio, Corporación centro de investigación en palma de aceite, Santa fe de Bogotá, 2011.

[14] Institutiut Penyelidikan Minyak Kelapa Sawit Malasia, PORIM Método de prueba, Instituto de Investigación de Aceite de palma de malasia, Malasia 1995.