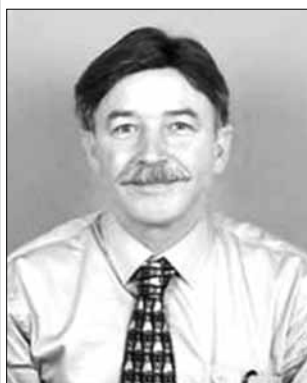


Aplicación de la Tecnología de Ruptura de Células y Flotación (TRCF) inducida por ultrasonido para mejorar las tasas de extracción de aceite en la industria de la palma de aceite

The Application of Ultrasound Induced Cell Rupturing Technology (CRT) to Improve Oil Extraction Rates in the Oil Palm Industry



Gregory L. Foster

Dolphin Applications Sdn. Bhd
greg@dolphineng.com

Palabras CLAVE

Efectos del ultrasonido, tecnología de ruptura de células (TRC), módulo de acondicionamiento de flujos, tasa de extracción de aceite (TEA), racimos de fruta fresca (RFF).

Effects of ultrasound, Crude Palm Oil (CPO), Cell Rupturing Technology (CRT), Flow Conditioning Module (FCM), Oil Extraction Rate (OER), Fresh Fruit Bunch (FFB).

Traducido por Fedepalma

Versión original en inglés
en el Centro de Información
de Fedepalma

Resumen

Las presiones creadas por una onda acústica adecuada introducida en un líquido contenido en un tanque o que fluye por él, generan burbujas de cavitación a microescala que son forzadas a expandirse. Ciclos sucesivos (a una frecuencia y amplitud específica) de compresión y rarefacción, generan, expanden y colapsan de forma violenta las burbujas de cavitación, imponiendo enormes presiones (en la vecindad de 10.000 PSI) sobre los sólidos suspendidos en el líquido.

Nuestras investigaciones sobre los efectos del ultrasonido introducido a una corriente de flujo de licor de prensa de aceite de palma crudo (APC), confirman la destrucción de la materia celulósica, por la implosión de las burbujas de cavitación. El aceite dentro de la materia celulósica es liberado hacia la corriente de flujo de licor de prensa y posteriormente es capturado en el tanque de clarificación.

Cuando la tecnología de ruptura de células (TRC) se instala delante del clarificador, el licor de prensa semidiluido es bombeado hacia las celdas de flujo de la TRC donde los sólidos se rompen para liberar el aceite adicional en la corriente de flujo de licor de prensa. Después de la TRC la corriente de flujo de licor de prensa con la ruptura se bombea al módulo de acondicionamiento de flujos (FCM, por su sigla en inglés), donde se



verifica para la dilución. Cuando se detecta que la corriente de flujo de licor de prensa contiene menos de un óptimo % vol aceite / % vol agua, se inyecta agua a la corriente de flujo de licor de prensa para corregir cualquier relación de dilución adversa. En este punto la masa de APC en la corriente de flujo de licor de prensa se puede determinar y una tasa de extracción de aceite (TEA) se puede calcular en línea. La corriente de flujo de licor de prensa continúa hacia el tanque de desnatado (*skimming*) de APC antes de ser bombeada al clarificador. Los datos registrados confirman una mejora de 48,6% en el rendimiento del clarificador después de la introducción de la TRC.

En una segunda fase de exposición al ultrasonido, el lodo centrifugado fase pesada descargado de las centrifugas al foso de lodos es bombeado a un sistema de flotación secundario en el que el lodo emulsionado se divide en aceite, agua y sólidos. Los datos registrados de los ensayos confirman la recuperación de CPO adicional en el orden del 0,242% de los racimos de fruta fresca (RFF) procesados.

Abstract

Micro-scale cavitation bubbles are generated and forced to expand by pressures created by an appropriate acoustic wave introduced into a liquid flowing through or contained within a vessel. Successive cycles (at specific frequency and amplitude) of rarefaction and compression, generate, expand and violently collapse cavitation bubbles imposing enormous pressures (in the vicinity of 10,000 PSI) on solids suspended in the liquid.

Our research on the effects of ultrasound introduced to a Crude Palm Oil (CPO) press liquor flow stream confirm the destruction of cellulosic matter by imploding cavitation bubbles. Oil contained within cellulosic matter is liberated into the press liquor flow stream and is subsequently captured in the clarification tank.

When Cell Rupturing Technology (CRT) is installed upstream from the clarifier, semi-diluted press liquor is pumped into the CRT flow cells where solids are ruptured to liberate additional oil into the press liquor flow stream. After CRT the ruptured press liquor flow stream is pumped to the Flow Conditioning Module (FCM) where it is checked for dilution. When it is sensed the press liquor flow stream contains less than an optimum % vol oil / % vol water, water is injected into the press liquor flow stream to correct any adverse dilution ratio. At this point the mass of CPO in the press liquor flow stream can be determined and an Oil Extraction Rate (OER) calculated on-line. The press liquor flow stream continues to the CPO skimming tank before being pumped to the clarifier. Our recorded data confirms a 48.6% improvement in clarifier performance after the introduction of CRT.

In a second phase of ultrasound exposure, heavy phase centrifuge sludge discharged from the centrifuges to the sludge pit is pumped to a secondary flotation system where emulsified sludge is split into oil, water and solids. Our recorded data from trials confirm the recovery of additional CPO in the order of 0.242% of the Fresh Fruit Bunch (FFB) processed.



Introducción

El ultrasonido no es de ninguna manera una tecnología nueva. No obstante, en los últimos años se ha vuelto cada vez más popular. Se considera una alternativa ambiental para los di-

solventes utilizados para la limpieza industrial, una tecnología no invasiva utilizada para diagnósticos médicos y la sonoquímica que causa reacciones en soluciones acuosas debido



a las altas temperaturas y presiones que se crean cuando las burbujas de cavitación¹ colapsan violentamente.

Típica secuencia de cavitación

El sonido de baja amplitud se transmitirá a través de medios no elásticos, tales como el agua y la mayoría de los líquidos. Tan pronto como la amplitud de la onda de sonido se incrementa a niveles ultrasónicos, las etapas sucesivas de presión y presión negativa destruyen y crean burbujas de cavitación, respectivamente. Las burbujas de cavitación se crean en la medida en que la presión negativa rompe la estructura molecular del medio líquido. Las burbujas de cavitación son creadas en el sitio de rarefacción o presión negativa y comienzan a oscilar cuando el frente de onda pasa. Estas burbujas oscilantes continúan creciendo en tamaño hasta que finalmente se vuelven tan inestables que implotan violentamente y causan una onda de choque destructiva que irradia desde el sitio del colapso con consecuencias destructivas para la materia sólida en la trayectoria de esta onda de choque (Figura 1).

Los efectos de la cavitación inducida por ultrasonido en los sólidos que contienen aceite

Las fuerzas destructivas creadas por el colapso violento de las burbujas de cavitación estresan y rompen los sólidos celulósicos en la corriente de flujo de licor de prensa. En el proceso, las células que contienen aceite liberan el aceite que de otro modo se habría perdido en la corriente de efluentes y finalmente en la superficie de la laguna de efluentes cuando la materia celulósica que tiene atrapado el aceite se rompe. Si bien la prensa mecánica de tornillo ha sobrevivido durante décadas como el dispositivo más adecuado para extraer el aceite de los frutos, esta no alcanza a liberar todo el aceite atrapado en la fibra celulósica, simplemente debido a su ineficiencia mecánica (Figura 2).

Las células del mesocarpio están unidas por hemicelulosas que atrapan la pared alfa-celulósica que contiene el citoplasma (aceite, masa y agua). No obstante, muchas de las agrupaciones de citoplasma escapan de las fuerzas de la prensa de tornillo y permanecen

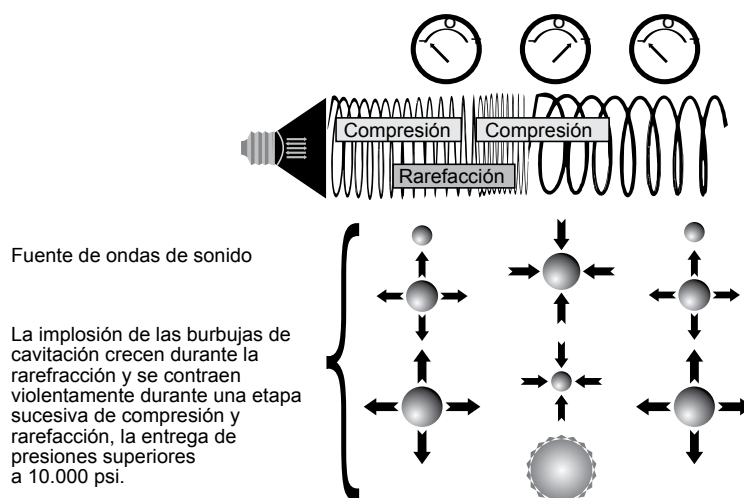


Figura 1. La mecánica de la cavitación

1. La cavitación son microburbujas que crecen y colapsan violentamente con la creación de presiones por encima de 10.000 psi.

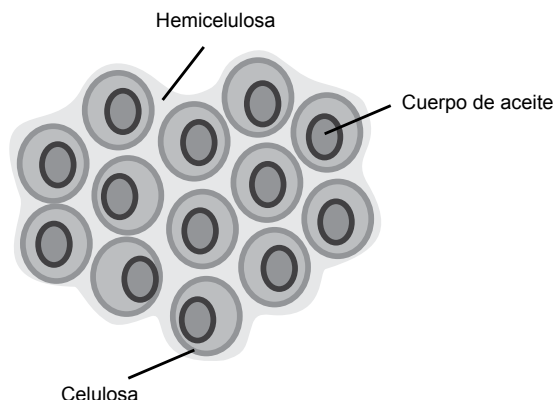


Figura 2. Morfología de las células del mesocarpio por cortesía del Dr. Abdul Azis Ariffin, University Putra Malaysia.

relativamente intactas mientras pasan a través de la jaula de la prensa de tornillo y hacia la corriente del flujo de licor de prensa, lo que comúnmente se denomina sólidos no aceitosos (SNA). No obstante, ahora se sabe por estas pruebas que estos SNA en realidad no son tan no aceitosos. Parece que el aceite permanece atrapado dentro de las hemicelulosas y alfacelulosas (Figura 3) y solamente puede ser liberado si se expone a los efectos de la cavitación en las condiciones adecuadas de flujo, de geometría de la propagación de las celdas de flujo y de intensidad de onda (amplitud y frecuencia).

Cuando las células que contienen aceite, atrapadas dentro de los SNA son expuestas a ultrasonido, los efectos mecánicos de la cavitación rompen el aceite y el agua atrapados en la celulosa y los liberan a la corriente del flujo para ser capturados posteriormente en los equipos de separación (clarificador, centrífuga o decánter) (Figura 4).

La aplicación de la cavitación inducida por ultrasonido TRC mejoró significativamente la eficiencia de la clarificación

Los ensayos a escala industrial para mejorar la eficiencia de la clarificación se iniciaron en Tamaco Mill 2 Lahat Datu Sabah (Malasia) entre el 22 de junio y el 27 de agosto. Casi al mismo tiempo, se comenzaron los ensayos en Taclico

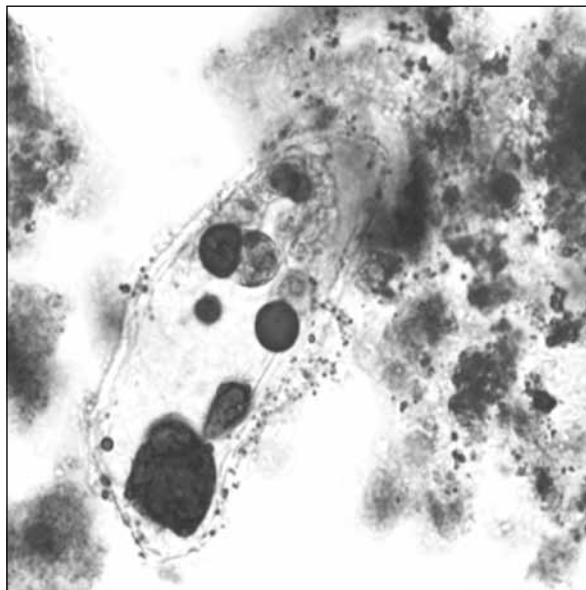


Figura 3. Células de aceite contenidas dentro de una capa de alfacelulosa.

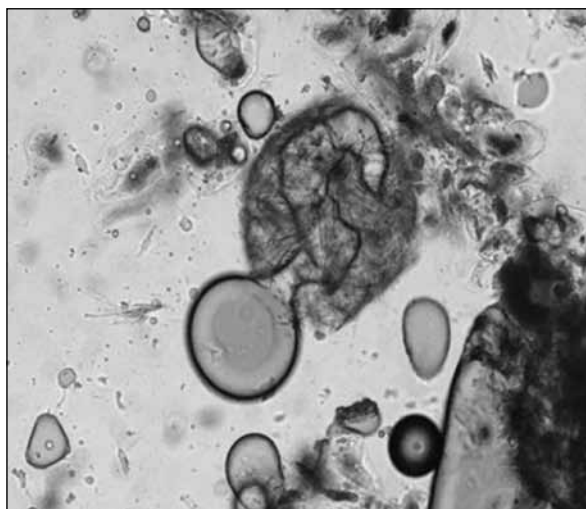


Figura 4. Escape de aceite desde dentro de la pared celular después de la exposición a la cavitación.

Mill in Penang para separar los SNA, el aceite y el agua que salían de la centrífuga como lodo fase pesada.

El sistema de TRC de Tamaco fue instalado delante del clarificador y detrás del separador de tamiz vibratorio (Figura 5).

El sistema bombea desde el tanque de recolección del licor de prensa hacia dos series paralelas de celdas de flujo de ultrasonido. Cada celda de flujo consta de un sonotrodo².

2. El sonotrodo es una sonda de precisión mecanizada de acero inoxidable que conduce las vibraciones inducidas por US hacia la célula de flujo.

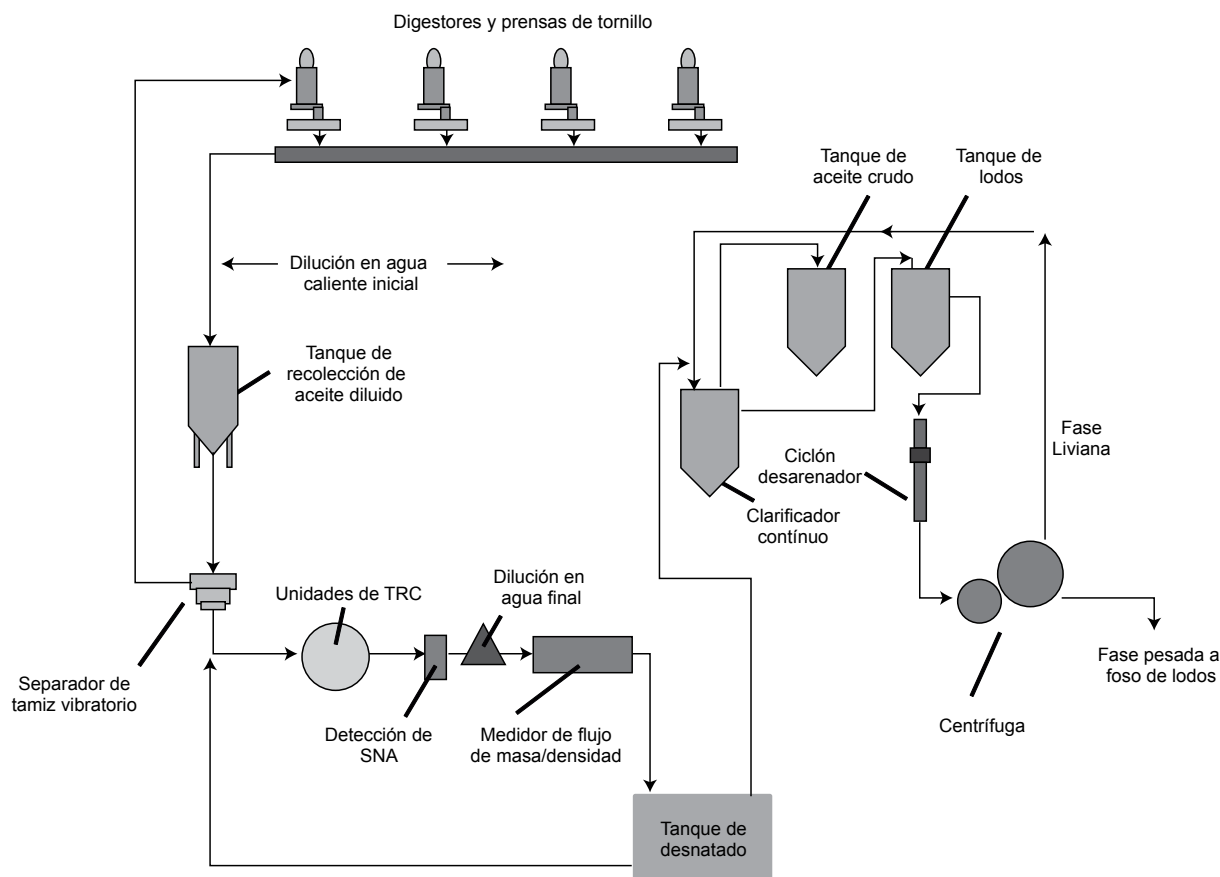


Figura 5. Proceso del flujo de la TRC.

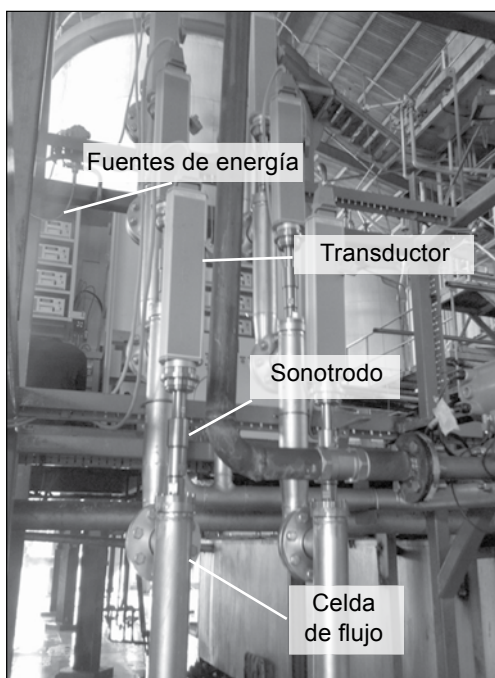


Figura 6. Componentes del Sistema de TRC en Tamaco.

Unido a cada sonotrodo hay un transductor³ que está conectado a la fuente de energía eléctrica situada en un gabinete con aire acondicionado. Cuatro fuentes de energía ocupan un gabinete con aire acondicionado (Figura 6).

Conectado al sistema de TRC hay un módulo de acondicionamiento de flujo (MAF). El flujo sale de las celdas de flujo de la TRC y entra en un MAF en el que el flujo pasa por una sonda de detección de sólidos no aceitosos (SNA) para determinar el %SNA en la corriente del flujo. Después de la detección del %SNA, el flujo se verifica para determinar el %vol agua / %vol aceite y se acaba de llenar a un porcentaje preprogramado de agua caliente con base en los datos de flujos registrados en el medidor de flujo de masa/densidad. El medidor de flujo de masa/densidad mide la masa total (t), la densidad (t/m^3) y el caudal (t/h) (Figura 7).

3. El transductor convierte la energía eléctrica en vibraciones.

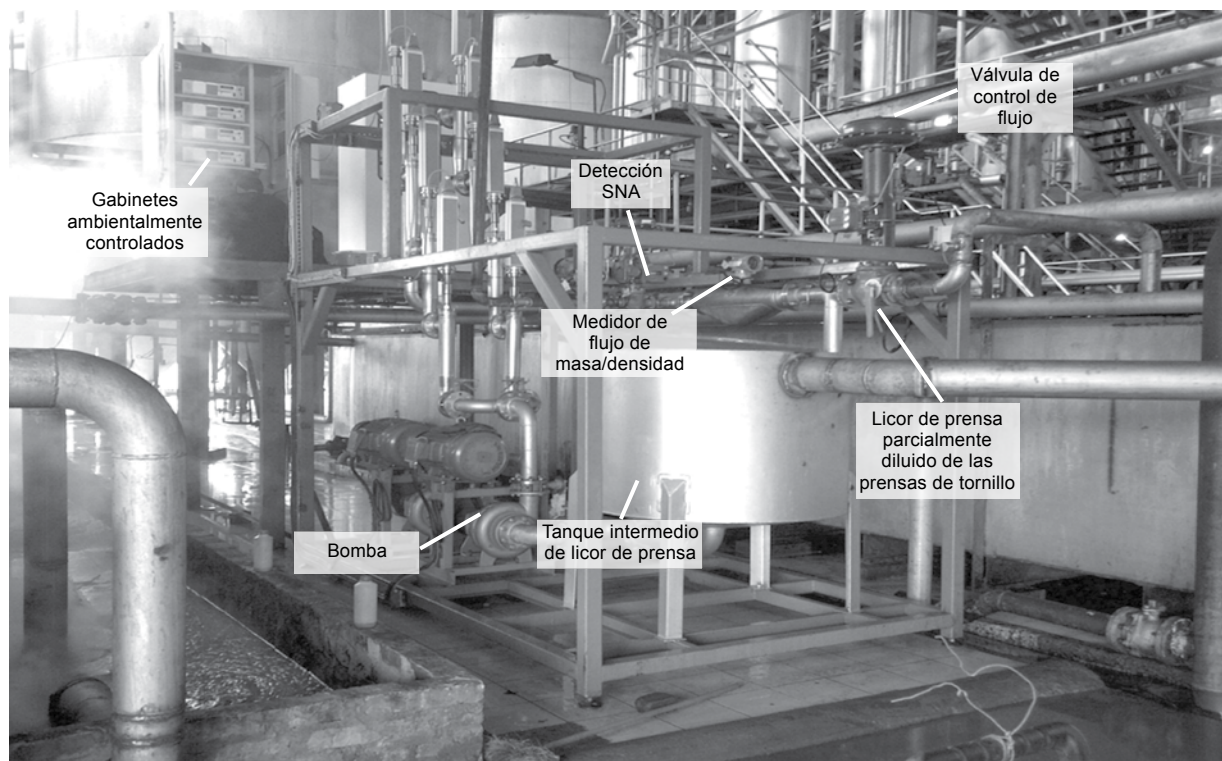


Figura 7. Instalación de TRC y MAF de Dolphin en Tamaco - Lahat Dat Sabah.

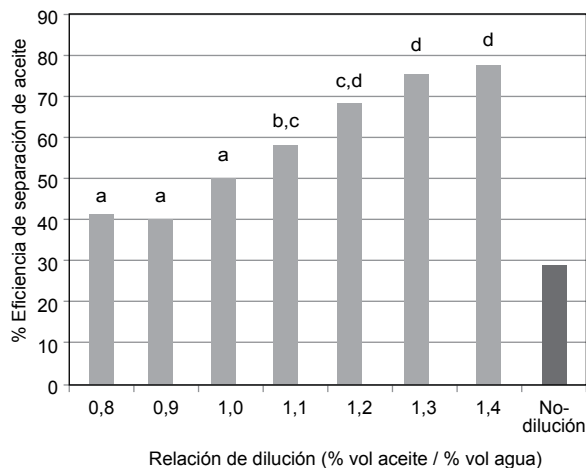


Figura 8. Eficiencia de separación de aceite en el clarificador por relación de dilución (Fuente: Cenipalma).

Los datos recopilados por los respectivos sensores se procesan inmediatamente por un controlador lógico programable (CLP). La dilución real en agua se compara con la dilución teórica, se determina el %SNA en la corriente del flujo, y se calcula el % APC⁴ (Figura 8).

4. %TEA = aceite recuperado / toneladas RFF triturados.

5. %OLWB = % pérdida de aceite en base húmeda = %aceite/(%aceite + %agua + %NOS) .

El ensayo fue una oportunidad para incorporar valiosas investigaciones realizadas por Cenipalma para optimizar la eficiencia de la clarificación. La automatización de la dilución en agua mantuvo una relación efectiva de %vol aceite / %vol agua de 1,4:1, según lo determinado por Cenipalma (Figura 8).

El ajuste de la dilución para reflejar las proporciones volumétricas óptimas fue un factor significativo para causar la separación de aceite libre liberado desde dentro y en los sólidos por el sistema de TRC.

Resultados del ensayo en Tamaco Mill 2

Casi inmediatamente, el clarificador mostró una mejora en la eficiencia de separación. El %OLWB⁵ cayó del 10,5% (base histórica) al 5,44%, esto es, una mejora del 48,19% (Figura 9).

No obstante, en la fase pesada de la centrifuga los resultados del %OLDB permanecieron

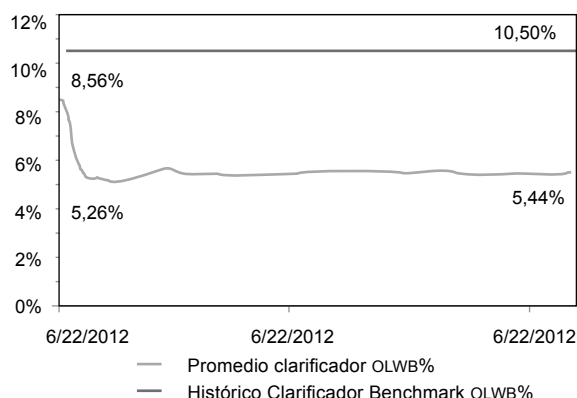


Figura 9. Resultados del promedio del %OLWB del flujo inferior del clarificador.

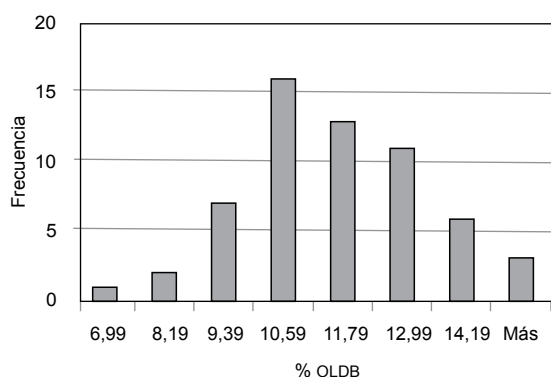


Figura 10. Histograma de OLDB.

en 11,00%. El aceite en el flujo inferior del clarificador pareció estar bloqueado en la emulsión y no se pudo separar más de la corriente del flujo por la centrífuga durante el periodo del ensayo (Figura 10).

También vale la pena destacar que el %TEA cayó durante el periodo del ensayo del 22,46% al 21,56%, debido a la calidad de los frutos (Figura 11).

El rendimiento de la centrífuga pareció estar afectado negativamente por la disminución en la TEA durante el periodo del ensayo. La Figura 12 ilustra el efecto en el %OLDB de la centrífuga a medida que el %TEA disminuyó durante el periodo del ensayo. Si bien no es concluyente, sí indica que el %OLDB en la fase pesada de la centrífuga está afectado negativamente por una disminución de la TEA. Se observó que en la medida en que la TEA disminuyó, la cantidad de aceite emulsionado que quedó en el flujo inferior del clarificador aumentó, lo que afectó negativamente el rendimiento de la centrífuga.

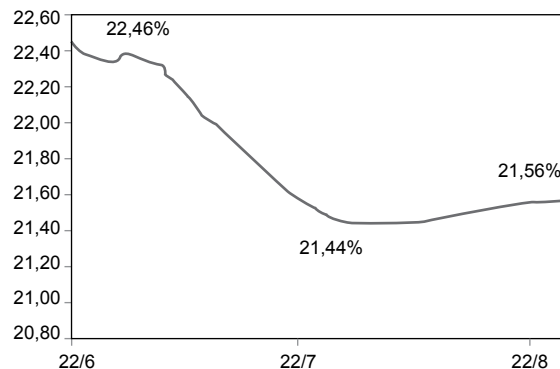


Figura 11. % TEA promedio.

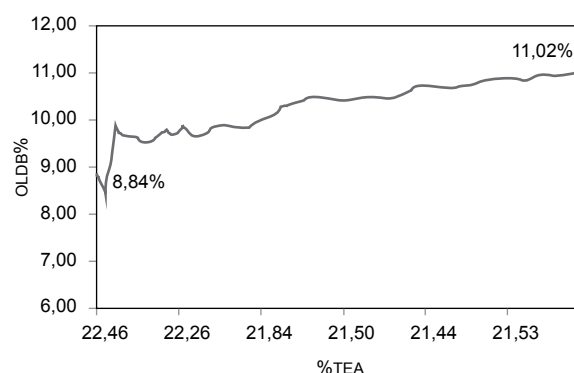


Figura 12. Promedios %OLDB vs. %TEA.

La aplicación de la tecnología de flotación patentada de Dolphin liberó aceite emulsionado a partir de la fase pesada de la Centrífuga

La tecnología de ruptura de células claramente aplicada libera aceite adicional que es capturado en el clarificador. No obstante, el aceite atrapado en la emulsión no puede ser separado en la centrífuga debido a las limitaciones inherentes al equipo. Para los efectos de la ruptura de células para impactar positivamente las pérdidas de lodo atrapado, el aceite atrapado en la emulsión debe ser separado de las fases pesadas, el agua y los sólidos residuales de la centrífuga. En un ensayo llevado a cabo por separado en Taclico Mill en Penang, se promediaron cinco grupos de muestras con base en la dilución y se expusieron a caudales variables para determinar la óptima separación de aceite del flujo de lodo emulsionado (Figura 13).

Los ensayos de flotación produjeron 0,24% adicional de aceite de RFF previamente emulsionado en el flujo inferior del clarificador (Tabla 1).

En la actualidad se encuentra en construcción una unidad de flotación comercial, que se espera entre en funcionamiento antes de finalizar el mes de octubre de 2012. Esta unidad será instalada en Tamaco (Figura 14).

La Figura 15 describe todo el proceso, incluidos el de ruptura, acondicionamiento de flujos y flotación.

Conclusión

Es evidente que las limitaciones de los equipos debidas a un mantenimiento deficiente o

una escasa eficiencia de los equipos convencionales de extracción (prensa de tornillo) y separación (clarificador y centrífuga/decánter) resultan en pérdidas de aceite en lodos. Estas pérdidas pueden ser de hasta el 50% del total de las pérdidas de aceite en el proceso de extracción. La introducción de la tecnología de ruptura de células mejora la eficiencia de la prensa de tornillo convencional al romper las células de aceite atrapadas en la fibra celulósica una vez que se exponen a la cavitación inducida por ultrasonido. En el proceso, la condición física de los sólidos no aceitosos se cambia a una estructura mucho más fina y menos densa que se puede observar parcialmente flotando sobre la capa de aceite antes del desnatado en el tanque de separación

Lodos fase clara enviada al tanque de sedimentación para la recuperación del aceite

Medio frecuencia de ultrasonido transductor de sonotrodo y la celda de flujo

Calibración de ajuste de frecuencia para la separación optima



Cámara de recogida de espuma que contiene aceite



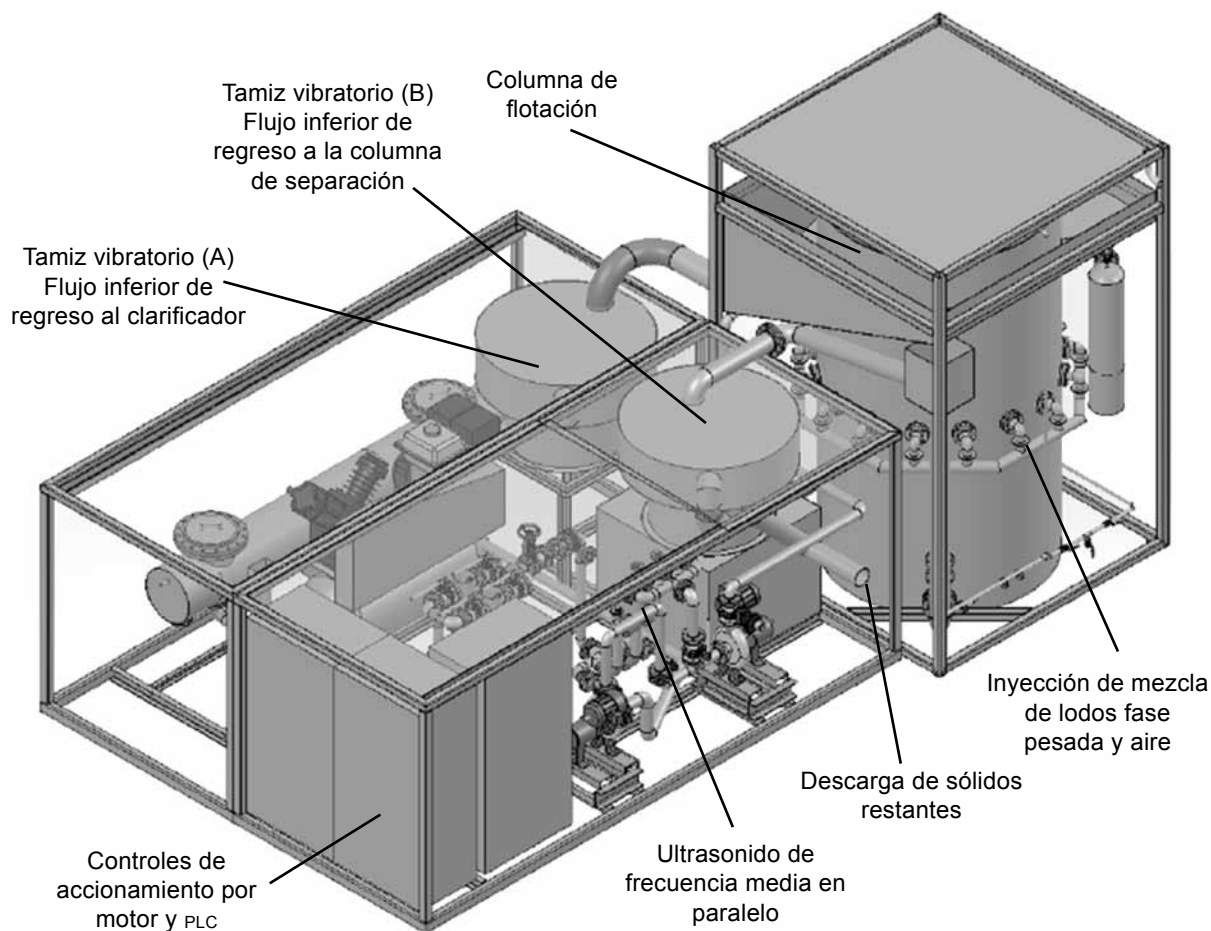
Columna de separación de lodos

Inicio de fase centrífuga pesada

Figura 13. Columna de flotación del ensayo.

**Tabla 1.** Resultados de la flotación en Taclico.

Lote	Lodo Fase Pesada			Lodo recuperado de la fase pesada aireada	
	%OWB antes de la flotación	%RFF perdido antes de la flotación	%OWB después de la flotación	%OWB de espuma después de la flotación	%RFF recuperado en espuma
1	0,50	0,30	0,30	2,20	0,22
2	0,60	0,36	0,30	5,70	0,57
3	0,20	0,12	0,20	0,40	0,04
4	1,70	1,02	0,37	2,20	0,22
5	0,50	0,30	0,27	1,60	0,16
Promedio	0,70	0,42	0,29	2,42	0,24

**Figura 14.** Unidad de Flotación Comercial.

de aceite crudo. La mezcla desnatada compuesta por fibras ligeras de aceite y agua, al entrar en la sección de fase ligera del tanque de clarificación, es separada de manera más eficiente en el clarificador. La porción del flujo infe-

rior del tanque de separación de aceite crudo que comprende sólidos no aceitosos ligeramente más densos, aceite y agua entra en la sección de la fase más pesada del tanque de clarificación que también separa de manera

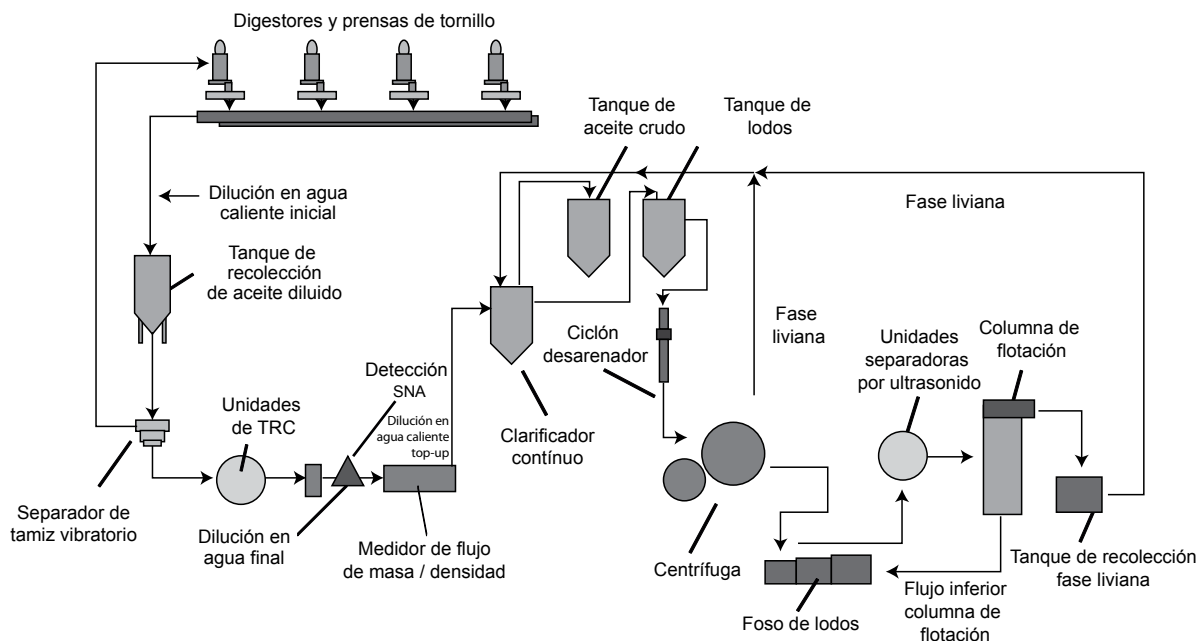


Figura 15. Descripción del proceso completo incluyendo ruptura, condiciones del flujo y flotación.

más eficiente. El efecto neto es un proceso de clarificación mucho más eficiente como pudimos cuantificar durante el período del ensayo.

El aceite que queda en el flujo inferior del clarificador que contiene significativamente menos aceite libre y sólidos no aceitosos más finos depende de las centrifugas para retirar el balance de aceite de la corriente del flujo de lodo. No obstante, debido a las limitaciones en la eficiencia de las centrifugas, resultó difícil extraer el aceite adicional durante el período del ensayo. La separación centrífuga se vio aún más agravada por una menor TEA durante el periodo del ensayo. No obstante, los ensayos de flotación de fase pesada posteriores al centrifugado llevados a cabo en Taclico demostraron de manera concluyente que las limitaciones inherentes a la centrifuga se pueden mitigar una vez que el lodo fase pesada que sale de la centrifuga se coagula y se separa mediante la tecnología de flotación

para extraer el aceite adicional que de otra manera se perdería en la corriente de efluentes.

Nuestros ensayos de Tamaco y Taclico demostraron de manera concluyente que la adición de la tecnología de ruptura de células, de acondicionador de flujos y de flotación mejora la eficiencia del clarificador y extrae el aceite que de otra manera se perdería en la laguna de efluentes, bien sea atrapado en las fibras celulósicas sin romper o en la emulsión.

Por último, la introducción de la técnica de ruptura de células y flotación inducida por ultrasonido es un paso positivo hacia un manejo más responsable de la cadena de suministros por parte de los procesadores. La recuperación de aceite que de otra manera se perdería en las lagunas de efluentes mejora la eficiencia de las plantas de beneficio y reduce el impacto negativo del uso de la tierra simplemente por “hacer más con menos”.



Bibliografía

Ultrasound Induce Cavitation and Sonochemical Yields – Journal of the Acoustic Society of America vol 104. 1998