

# Medición del potencial industrial de aceite en plantas de beneficio usando sistemas de medición de caudal tipo vertederos: diseño y operación



Diego Ignacio Nieto Mogollón - Edgar Eduardo Yáñez Angarita  
Jesús Alberto García Núñez - Aldemar Martínez González

Boletín Técnico No. 28

Medición del potencial industrial de aceite  
en plantas de beneficio usando sistemas de  
medición de caudal tipo vertederos:  
diseño y operación

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

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

## **BOLETÍN TÉCNICO No. 28**

### **Medición del potencial industrial de aceite en plantas de beneficio usando sistemas de medición de caudal tipo vertederos: diseño y operación**

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

Contrato N° 012/10 SAC-Fedepalma

#### **Autores**

Diego Ignacio Nieto Mogollón

Edgar Eduardo Yáñez Angarita

Jesús Alberto García Núñez

Aldemar Martínez González

#### **Coordinación editorial**

Oficina de Comunicaciones de Fedepalma

#### **Diseño y diagramación**

Carlos Sandoval – Pigmalión

#### **Fotografía**

Autores

#### **Impresión**

Impresores Molher Ltda.

#### **Cenipalma**

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

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

[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

Bogotá D. C. Colombia

#### **Reimpresión**

Diciembre de 2011

ISBN: 978-958-8360-25-6

## Presentación

Uno de los principales mecanismos para la optimización de los procesos de la agroindustria de la palma de aceite es la caracterización de la materia prima y el análisis de la incidencia que ésta pueda tener sobre el desempeño de las operaciones industriales. Por tal razón, se han evaluado diferentes metodologías para la caracterización física y la determinación del contenido de aceite de los racimos de fruto fresco procesados.

La metodología convencional para el análisis de racimos involucra un gran número de recursos físicos, humanos y tecnológicos para su ejecución por lo que su aplicación se ha visto limitada a ensayos y/o experimentos desarrollados en las distintas áreas del cultivo; no obstante, desde el año 1999 Cenipalma ha venido trabajando en el desarrollo de nuevas metodologías o la adaptación de la existente para facilitar su ejecución y permitir que sea ampliamente utilizada, tanto en las plantaciones como en las plantas de beneficio, como una herramienta para identificar las oportunidades de mejora.

Es así como inicialmente se desarrolló la metodología alterna para el análisis de racimos que reduce el tiempo de análisis de tres horas haciendo uso de la relación existente entre el contenido de humedad del mesocarpio de fruto y su contenido de aceite; posteriormente, se estudió la incidencia que tienen el volumen de fruto analizado y las condiciones de maduración de los racimos sobre el potencial de aceite recibido en la planta de beneficio; y, en los últimos años, se han realizado diversas experiencias para la medición del potencial de aceite dentro de la planta de beneficio como parte de su estrategia de control de la eficiencia de procesamiento.

El presente boletín tiene por objeto la presentación de una nueva metodología para la determinación del potencial de aceite en las plantas de beneficio, basada en la medición del flujo y la composición del licor de prensas, utilizando un dispositivo de medición de caudal de tipo vertedero; dicha metodología ha sido probada industrialmente y ha permitido categorizar diferentes proveedores y determinar el contenido de aceite de los racimos procesados con mayor precisión por lo que actualmente pretende ser implementada en la mayoría de las plantas de beneficio a nivel nacional.

JOSÉ IGNACIO SANZ SCOVINO

Director Ejecutivo

Cenipalma



## Contenido

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| Introducción .....                                                | 7  |
| Definición y clases de vertedero .....                            | 9  |
| Diseño del vertedero tipo rectangular .....                       | 11 |
| Ecuación de diseño .....                                          | 12 |
| Zona de aproximación .....                                        | 14 |
| Consideraciones para la construcción y montaje .....              | 18 |
| Mantenimiento del sistema vertedero .....                         | 20 |
| Instalación de mirilla en el sistema vertedero .....              | 21 |
| Calibración del vertedero .....                                   | 22 |
| Consideraciones para la calibración .....                         | 23 |
| Metodología de muestreo para estimar el potencial de aceite ..... | 26 |
| Estudios de tiempos y movimientos .....                           | 26 |
| Muestreo de licor de prensa y medición de caudal .....            | 27 |
| Cálculo del contenido de aceite en racimos .....                  | 29 |
| Divulgación de resultados .....                                   | 30 |
| Agradecimientos .....                                             | 31 |
| Bibliografía .....                                                | 32 |

## Índice de figuras

|                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Sistema de medición de flujos volumétricos tipo “vertedero” rectangular .....                                                                                                                | 9  |
| Figura 2. Diagrama para selección de vertederos basado en caudal de operación .....                                                                                                                    | 10 |
| Figura 3a. Dimensiones del vertedero. 3b. Dimensiones de la ranura .....                                                                                                                               | 11 |
| Figura 4. Esquema de funcionamiento de un vertedero de pared delgada .....                                                                                                                             | 12 |
| Figura 5. Materiales e instalación del sistema vertedero tipo rectangular .....                                                                                                                        | 18 |
| Figura 6. Mantenimiento del sistema vertedero tipo rectangular .....                                                                                                                                   | 20 |
| Figura 7. Instalación de la mirilla en el sistema vertedero tipo rectangular .....                                                                                                                     | 21 |
| Figura 8. Ajuste de potencia sobre los datos experimentales .....                                                                                                                                      | 22 |
| Figura 9. Alternativa de calibración con aforo de recipiente de volumen conocido. ....                                                                                                                 | 23 |
| Figura 10. Posición del flotador y diferencia de altura de nivel del líquido .....                                                                                                                     | 24 |
| Figura 11. Metodología general para la evaluación del potencial industrial de aceite por medio de sistemas tipo vertedero (Los tiempos mostrados son aproximados y pueden variar en cada planta) ..... | 28 |

## Índice de tablas

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1. Dimensiones del sistema tipo vertedero rectangular .....                                                                  | 12 |
| Tabla 2. Parámetros y variables de diseño de sistema tipo vertedero rectangular para diferentes capacidades de procesamiento ..... | 16 |
| Tabla 3. Tiempos y movimientos desde la recepción hasta el prensado de fruto (caso de referencia) .....                            | 27 |

## Introducción

En las plantas de beneficio es común que se presenten diferencias entre el potencial de aceite del fruto procesado medido por la técnica de análisis de racimos (Yáñez et ál., 2000) y la tasa de extracción de aceite (TEA). Estas diferencias se basan en las condiciones irregulares de maduración de los racimos procesados, teniendo en cuenta que los análisis de laboratorio utilizan racimos con grado normal de maduración debido a que facilita su evaluación. De otro lado, se encuentran las diferencias en las pérdidas de fruto asociado a los procesos de cosecha, transporte y recepción de racimos (Cárdenas et ál., 2000), así como las pérdidas de aceite en planta, valores que no siempre son ajustados durante la metodología de análisis de racimos. Dicha metodología genera información relevante sobre la composición del racimo, que debe ser analizada por grupos interdisciplinarios (agrícola e industrial) y relacionados desde una perspectiva más amplia como es el nivel y tipo de fertilización, grado de polinización, labores agrícolas, factores edafoclimáticos, logística de cosecha y transporte, eficiencia de procesamiento, etc., lo cual permite estudiar la incidencia de múltiples factores sobre el potencial de aceite y, finalmente, en la tasa de extracción de aceite obtenida en planta.

Sin embargo, los costos asociados a la metodología de análisis de racimos, el tiempo empleado y los recursos en personal requeridos son importantes, frente a una necesidad permanente en la planta de beneficio de valorar el potencial de aceite de los racimos procesados orientado, entre otros, a procesos de compra basados en el contenido y calidad de aceite y no únicamente en el peso de los mismos.

De acuerdo con lo anterior, se ha requerido diseñar y validar una técnica sencilla, económica y confiable para estimar el potencial de aceite en racimos procesados en planta, para cochadas específicas correspondientes a proveedores, lotes o plantaciones, sin que existan interferencias del proceso en dicha evaluación.

La técnica propuesta se basa en la implementación de un dispositivo de medición de flujos, en este caso un vertedero, en el tanque de aceite crudo y un análisis de tiempos y movimientos de los procesos de esterilización, digestión y prensado, que permite estimar el caudal del licor de prensa, a través de un balance de conservación de masa en particular para el aceite, haciendo posible cuantificar el potencial de aceite para una cochada específica de racimos procesados. Dentro de las ventajas que tiene esta metodología se tiene que los resultados de potencial obtenidos con el vertedero son de manera inmediata y cercanos al comportamiento real de la planta de beneficio, así como que se puede realizar la cuantificación industrial del potencial de aceite de un material específico, conocer la acidez de cada proveedor, y que puede ser un procedimiento en el cual varias de las actividades en el análisis pueden



ser automatizadas. Además, es un método económicamente viable comparado con la metodología de análisis de racimos, ya que con el vertedero, una persona puede llegar a hacer 120 viajes de RFF por mes, frente a 24-30 análisis que podría realizar un operario con la metodología de análisis de racimos.

## Definición y clases de vertedero

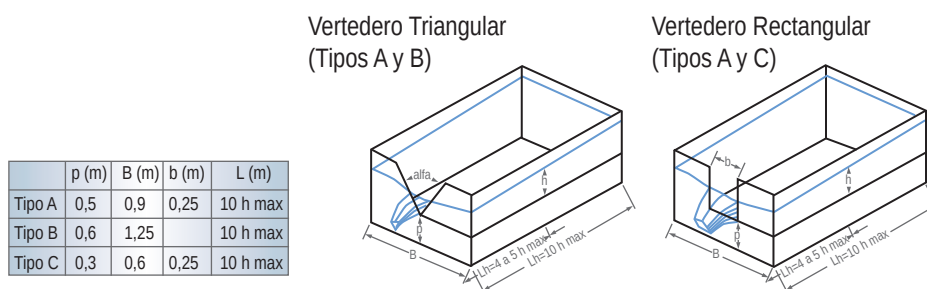
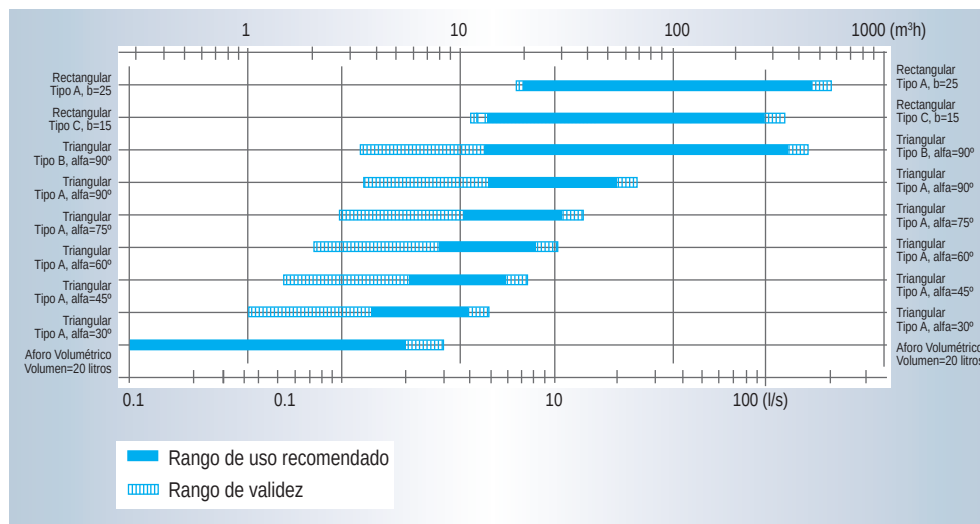
Los vertederos son dispositivos sencillos, de bajo costo de construcción y mantenimiento, y amplio rango de medición utilizados para estimar caudales en fluidos especiales, caracterizados por la presencia de sedimentos y materiales extraños que podrían deteriorar rápidamente y generar mediciones imprecisas a otros tipos de medidores de flujo. Un vertedero de pared delgada consiste básicamente en una lámina plana, rígida, colocada perpendicular a la dirección del flujo y al fondo del canal, como se observa en la Figura 1.



**Figura 1.** Sistema de medición de flujos volumétricos tipo “vertedero” rectangular.

Los vertederos de pared delgada se diferencian por el tipo o forma de la placa de descarga (entre ellos: trapezoidal, triangular, rectangular, orificios calibrados, etcétera). Algunos vertederos recomendados son los de tipo rectangular y triangular (Figura 2), por cuanto además de atender las exigencias de precisión pretendidas, presentan cierta versatilidad en su construcción, son robustos y de gran confiabilidad para el uso en fluidos industriales de baja viscosidad. Asimismo, estos vertederos presentan una mayor documentación y usos respecto a su funcionamiento y control, lo que los hace más atractivos para su implementación.

Como se aprecia en la Figura 2, la elección de la placa obedece a los objetivos del vertedero, entre ellos la precisión requerida en la medición y las condiciones en las cuales funcionarán. Para nuestro caso en plantas de beneficio desde 15 hasta 60 t RFF/h de capacidad de procesamiento, el flujo esperado estaría entre 10 y 40 m<sup>3</sup>/h, que, de acuerdo con lo indicado en la Figura 2, el tipo de vertedero más apropiado es el rectangular. Para capacidades inferiores de procesamiento se sugiere considerar el vertedero de placa triangular.



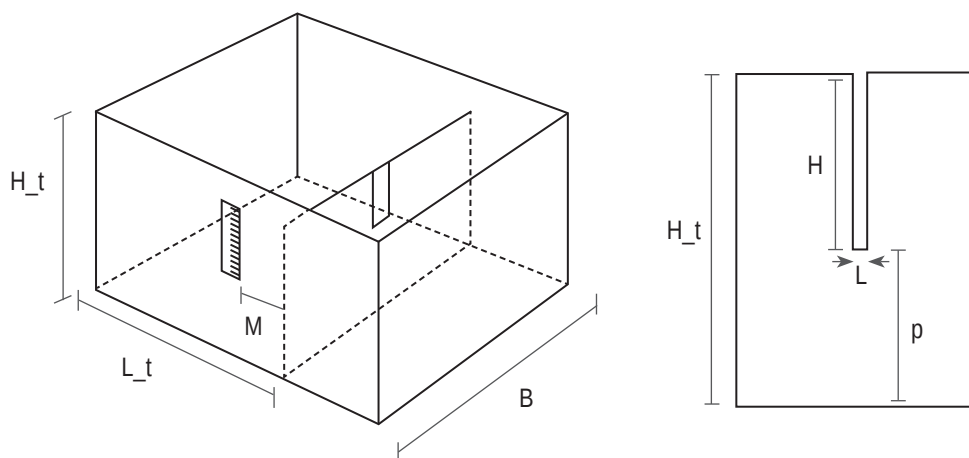
**Figura 2.** Diagrama para selección de vertederos basado en caudal de operación<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Guía para mediciones de efluentes industriales. Dirección nacional del medio ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Oleaga, A., et ál. 2004.

## Diseño del vertedero tipo rectangular<sup>2</sup>

Para el diseño de vertederos se requiere estimar el caudal de licor de prensa en el mayor flujo de operación esperado. Este flujo puede incluir o no la dilución con agua, dependiendo del propósito técnico de la instalación del equipo. Esto es, si únicamente se pretende usar el vertedero para estimar el contenido de aceite en racimos procesados, puede diseñarse para el caudal de licor de prensa diluido. En caso, de pretender instalar el vertedero con el propósito anterior y adicionalmente implementar un sistema de control automático (Díaz, Castillo y Yáñez, 2005), el diseño debe estar basado en el caudal de licor de prensa sin diluir. No obstante, para el cálculo del potencial industrial de aceite, cualquiera de los caudales anteriores es indiferente, dado que solo se requiere la composición volumétrica de aceite y su caudal respectivo.

La Figura 3a ilustra un esquema general del sistema vertedero tipo rectangular, donde se pueden apreciar las principales dimensiones, entre ellas el largo, ancho y altura total del vertedero. Dichas dimensiones definen un volumen tal que el tiempo de retención hidráulico del aceite en el vertedero no supere un minuto de residencia, con el fin de evitar la separación de aceite y lodos. En la Figura 3b se pueden observar las variables que dimensionan la ranura para la descarga del vertedero, correspondientes a la altura y ancho de la misma.



**Figura 3a.** Dimensiones del vertedero. **3b.** Dimensiones de la ranura.

<sup>2</sup> Basado en *Guía para mediciones de efluentes industriales*. Dirección nacional del medio ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

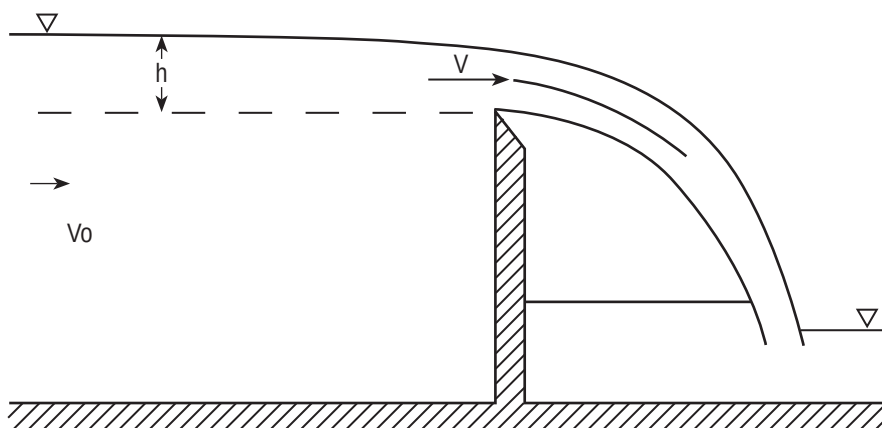
En la Tabla 1 se identifican cada una de las variables características para el dimensionamiento del sistema vertedero presentado en las Figuras 3a y 3b.

**Tabla 1.** Dimensiones del sistema tipo vertedero rectangular

| Dimensiones                               | Variable |
|-------------------------------------------|----------|
| Altura de ranura o descarga del vertedero | H        |
| Altura total de vertedero (H+p)           | H_t      |
| Longitud total del vertedero              | L_t      |
| Ancho total del vertedero                 | B        |
| Posición de la mirilla de nivel           | M        |
| Altura del vértice de la ranura           | P        |
| Ancho total de la ranura                  | L        |

## Ecuación de diseño

A partir de modelos teóricos y el desarrollo del balance de energía mecánica (Ecuación de Bernoulli) entre la cresta del vertedero y una sección próxima a esta, como se indica en la Figura 4, es posible obtener una expresión matemática para la velocidad media del fluido a su paso sobre la placa (Ecuación 1).



**Figura 4.** Esquema de funcionamiento de un vertedero de pared delgada<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> *Guía para mediciones de efluentes industriales.* Dirección nacional del medio ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Oleaga, A., et ál. 2004.

$$V = C_v * \sqrt{2 * g * h}$$

**Ecuación 1.** Velocidad media del fluido sobre la placa.

Donde:

$V$  : velocidad media (m/s)

$g$  : aceleración gravitacional (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : nivel de agua en el canal con referencia a la base del vertedero (m)

$C_v$  : coeficiente de corrección (-)

El paso del fluido por el vertedero provoca una contracción del flujo en torno a este, efecto que puede ser corregido aplicando un coeficiente de contracción a la Ecuación 1, de igual modo, dada la relación existente entre la velocidad media sobre la cresta, el área de pasaje y el flujo total, se obtiene la Ecuación 2 para el caudal sobre la placa.

$$Q = V * S = C_e * S * \sqrt{2 * g * h}$$

**Ecuación 2.** Cálculo de flujo sobre la placa corregido.

Donde:

$Q$  : caudal sobre la placa (m<sup>3</sup>/s)

$V$  : velocidad media en la sección (m/s)

$g$  : aceleración gravitacional (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : nivel de agua en el canal con referencia a la base del vertedero (m)

$C_e$  : coeficiente de descarga (incluye efectos geométricos y propiedades dinámicas del fluido)

Normalmente el coeficiente de descarga suele tomar valores comprendidos entre 0,64 y 0,79, y es tanto menor cuanto menor es  $H$  frente a la altura  $Y$  del vertedero, debido a efectos de vena contracta e incluso de tensión superficial. Una relación empírica de amplia aceptación para el coeficiente  $C_e$ , atribuida a Rehbock, es:

$$C_e = 0,602 + 0,0832 * \frac{H}{Y}$$

**Ecuación 3.** Cálculo de constante de corrección de caudal.

De esto modo, la estimación del caudal se puede efectuar a partir de una sola variable ( $h$ , altura de la cresta sobre el vertedero). En la Ecuación 4 se muestra la formulación de Kindsvater-Shen, siendo esta una de las expresiones matemáticas más usadas y recomendadas para el diseño de vertederos tanto rectangulares como triangulares.

$$h = \left[ \frac{Q}{1.838 * L} \right]^{2/3}$$

**Ecuación 4.** Relación caudal medido y altura de cresta del fluido en la ranura.

Donde:

$Q$  : caudal sobre la placa del vertedero ( $m^3/s$ )

$h$  : altura sobre la cresta del vertedero (m)

$L$  : longitud de la cresta del vertedero (m)

Para el caso particular de los flujos volumétricos de licor de prensas medidos en planta, junto con las dimensiones del tanque, es posible obtener el diseño del vertedero. Este diseño se soporta en la Ecuación 4, donde se recurre a una prueba de ensayo y error para la determinación de la longitud ( $L$ ) de cresta en el vertedero, observando simultáneamente la variación en la altura de la cresta ( $h$ ) sobre el vertedero, para un caudal ( $Q$ ) constante de licor de prensa diluido tal y como se aprecia en la Figura 3b.

De otro lado y a partir de algunos estudios efectuados se ha determinado que en la medida en que se disminuye la longitud de la cresta ( $L$ ) o ranura del vertedero, es más fácil apreciar la perturbación del flujo de licor de prensa, indicando un mayor aumento en la altura ( $h$ ) de la cresta sobre el vertedero.

### Zona de aproximación

Se denomina “zona de aproximación” a la porción del canal que se extiende desde la placa del vertedero hacia la zona de aguas arriba. La longitud mínima recomendada para esta zona es de diez veces la altura de la superficie de agua respecto al vértice del vertedero, mediada a máximo caudal. Para el cumplimiento de las condiciones experimentales en que se obtuvieron las condiciones de descarga, es necesario que en esta zona el canal presente una condición de flujo uniforme para garantizar un flujo uniformemente distribuido.

Podrán instalarse estructuras reguladoras de flujo para la simulación de distribución normal de velocidades, no obstante, su ubicación deberá ser con respecto a la placa del vertedero, al menos igual a la longitud de la zona de aproximación.

Por otro lado, si el vertedero es colocado dentro de una cámara de aforo, su longitud deberá ser al menos la del canal de aproximación. Se recomienda que dicha estructura reguladora sea rectangular en la zona de aproximación, sin embargo, una forma distinta es aceptable si las condiciones de flujo completamente contraído se cumplen. Finalmente, la forma y el canal de aguas abajo del vertedero no deberán afectar la descarga, por lo cual debe presentar una sección y pendiente que asegure una descarga libre.

Con el propósito de facilitar el diseño de los sistemas vertedero para estimar el caudal de licor de prensa en plantas de beneficio, se ha construido una tabla de referencia con las dimensiones calculadas para diferentes capacidades de procesamiento. Estos valores se presentan en la Tabla 2, que incluye no solo los valores de dimensionamiento del vertedero sino las constantes de diseño del sistema. También presenta los parámetros de diseño requeridos para el diseño de vertederos tipo rectangular en función de la capacidad promedio de procesamiento (t RFF/h).



**Tabla 2.** Parámetros y variables de diseño de sistema tipo vertedero rectangular para diferentes capacidades de procesamiento

| Unidades | Parámetros                      | Variable  | Sensibilidad de parámetros de diseño |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----------|---------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t RFF/h  | Capacidad                       | Cap       | 10                                   | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    | 24    | 26    | 28    |
| %        | Concentración                   | Ac */ LPD | 40                                   | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    |
| %        | TEA-promedio                    | TEA_m     | 20                                   | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |
| t/m³     | Densidad aceite                 | D_Ac      | 0,865                                | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 |
| -        | Factor de seguridad             | Fs        | 1,20                                 | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  |
| m        | Ancho total                     | B         | 0,4                                  | 0,4   | 0,4   | 0,4   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| m        | Altura de vértice               | P         | 0,3                                  | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   |
| m        | Ancho de ranura                 | L         | 0,015                                | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| m        | Mirilla nivel - antes ranura    | M         | 0,200                                | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 |
| min      | Tiempo de residencia hidráulico | TRH       | 1,00                                 | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  |
| m³/h     | Caudal LPD                      | Q_LPD     | 5,78                                 | 6,94  | 8,09  | 9,25  | 10,40 | 11,56 | 12,72 | 13,87 | 15,03 | 16,18 |
| m³/h     | Caudal LPD corregido            | Q_LPDc    | 6,94                                 | 8,32  | 9,71  | 11,10 | 12,49 | 13,87 | 15,26 | 16,65 | 18,03 | 19,42 |
| m        | Altura de ranura                | H         | 0,170                                | 0,192 | 0,212 | 0,232 | 0,251 | 0,269 | 0,287 | 0,304 | 0,321 | 0,337 |
| m        | Altura total vertedero          | H_t       | 0,470                                | 0,492 | 0,512 | 0,532 | 0,551 | 0,569 | 0,587 | 0,604 | 0,621 | 0,637 |
| m        | Longitud total vertedero        | L_t       | 0,615                                | 0,706 | 0,790 | 0,869 | 0,755 | 0,812 | 0,867 | 0,919 | 0,968 | 1,016 |
| m³       | Volumen total vertedero         | V_t       | 0,116                                | 0,139 | 0,162 | 0,185 | 0,208 | 0,231 | 0,254 | 0,277 | 0,301 | 0,324 |
| -        | Largo vertedero /alto ranura    | L_t / H   | 3,63                                 | 3,68  | 3,72  | 3,74  | 3,01  | 3,02  | 3,02  | 3,02  | 3,02  | 3,02  |
| -        | Largo vertedero/ancho vertedero | L_t / B   | 1,54                                 | 1,76  | 1,97  | 2,17  | 1,51  | 1,62  | 1,73  | 1,84  | 1,94  | 2,03  |
| -        | Largo vertedero/alto vertedero  | L_t / H_t | 1,31                                 | 1,44  | 1,54  | 1,63  | 1,37  | 1,43  | 1,48  | 1,52  | 1,56  | 1,60  |

Continuación Tabla 2.

| Unidades | Parámetros                      | Variable  | Sensibilidad de parámetros de diseño |       |       |       |       |       |       |       |       |  |
|----------|---------------------------------|-----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| t RFF/h  | Capacidad                       | Cap       | 30                                   | 32    | 34    | 36    | 38    | 40    | 42    | 44    | 26    |  |
| %        | Concentración                   | Ac* / LPD | 40                                   | 40    | 40    | 39    | 40    | 40    | 40    | 40    | 40    |  |
| %        | TEA-promedio                    | TEA_m*    | 20                                   | 20    | 20    | 20,55 | 20    | 20    | 20    | 20    | 20    |  |
| t/m³     | Densidad aceite                 | D_Ac*     | 0,865                                | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 | 0,865 |  |
| -        | Factor de seguridad             | Fs        | 1,20                                 | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  | 1,20  |  |
| m        | Ancho total                     | B         | 0,6                                  | 0,6   | 0,6   | 0,6   | 0,6   | 0,6   | 0,6   | 0,6   | 0,5   |  |
| m        | Altura de vértice               | P         | 0,3                                  | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,3   | 0,4   | 0,4   | 0,4   | 0,3   |  |
| m        | Ancho de ranura                 | L         | 0,020                                | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,020 | 0,015 |  |
| m        | Mirilla nivel - antes ranura    | M         | 0,200                                | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 | 0,200 |  |
| min      | Tiempo de residencia hidráulico | TRH       | 1,00                                 | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  | 1,00  |  |
| m³/h     | Caudal LPD                      | Q_LPD*    | 17,34                                | 18,50 | 19,65 | 21,75 | 21,97 | 23,12 | 24,28 | 25,43 | 15,03 |  |
| m³/h     | Caudal LPD corregido            | Q_LPDc    | 20,81                                | 22,20 | 23,58 | 26,10 | 26,36 | 27,75 | 29,13 | 30,52 | 18,03 |  |
| m        | Altura de ranura                | H         | 0,291                                | 0,304 | 0,317 | 0,339 | 0,341 | 0,353 | 0,365 | 0,376 | 0,321 |  |
| m        | Altura total vertedero          | H_t       | 0,591                                | 0,604 | 0,617 | 0,639 | 0,641 | 0,753 | 0,765 | 0,776 | 0,621 |  |
| m        | Longitud total vertedero        | L_t       | 0,978                                | 1,021 | 1,062 | 1,135 | 1,142 | 1,024 | 1,058 | 1,092 | 0,968 |  |
| m³       | Volumen total vertedero         | V_t       | 0,347                                | 0,370 | 0,393 | 0,435 | 0,439 | 0,462 | 0,486 | 0,509 | 0,301 |  |
| -        | Largo vertedero/alto ranura     | L_t / H   | 3,36                                 | 3,36  | 3,35  | 3,35  | 3,35  | 2,90  | 2,90  | 2,90  | 3,02  |  |
| -        | Largo vertedero/ancho vertedero | L_t / B   | 1,63                                 | 1,70  | 1,77  | 1,89  | 1,90  | 1,71  | 1,76  | 1,82  | 1,94  |  |
| -        | Largo vertedero/alto vertedero  | L_t / H_t | 1,65                                 | 1,69  | 1,72  | 1,78  | 1,78  | 1,36  | 1,38  | 1,41  | 1,56  |  |

Cap: Capacidad de procesamiento

TEA: Tasa de Extracción de Aceite

Ac: Aceite

Q: Caudal

LPD: Licor de prensa diluido

## Consideraciones para la construcción y montaje

**General:** el vertedero debe ser construido con materiales que garanticen durabilidad en las condiciones de funcionamiento y del ambiente que lo rodea. La placa frontal con la ranura debe ser ubicada en el extremo opuesto a la entrada del licor de prensa en el tanque de crudo, como se muestra en la (Figura 5).



**Figura 5.** Materiales e instalación del sistema vertedero tipo rectangular.

**Ubicación:** es usual aprovechar el tanque de licor de prensa para instalar el vertedero dentro de este mismo equipo. La primera sección del vertedero tiene como finalidad normalizar el flujo de entrada que ingresa a la caja, se recomienda que el LPD ingrese al vertedero por la pared vertical opuesta a la ranura ya que este punto permite obtener una muestra homogénea y real del fluido y, por consiguiente, una uniformidad en la cresta. En esta misma sección se puede instalar un baffle para reducir la variación en el nivel del flujo del licor de prensa, pues dependiendo de este nivel se calcula el caudal y posteriormente la tasa de extracción de aceite. Como se indicó, el canal en la zona de aproximación deberá ser de sección uniforme, el piso deberá ser horizontal y las paredes verticales debidamente alisados.

También es de resaltar la conveniencia de que el Licor de Prensa Diluido (LPD) ingrese a un tamiz vibratorio previamente al paso por el vertedero, ya que los sólidos suspendidos que pueda traer consigo el fluido tenderán a taponar la ranura e interferir con la descarga libre del líquido.

El vertedero puede instalarse en tres lugares diferentes:

1. Dentro del tanque de aceite crudo: esta configuración permite aprovechar el mismo volumen del tanque de aceite crudo con el simple hecho de ubicar en

su interior una lámina de acero con un corte tal que se ajuste a las medidas de ranura especificadas en el diseño del equipo. Si el licor de prensa no atraviesa un tamiz vibratorio antes de ingresar al tanque de crudo, esta configuración acumulará sedimentos en el fondo de recipiente hasta un punto en el que la capa de sólidos precipitados interferirá en la observación de la altura de cresta, para ello, se adapta una línea de purga pero esta corriente, con alto contenido de aceite, estará destinada a fluir seguramente a una canaleta de desagüe que conducirá el aceite a los florentinos o a algún tanque intermedio del proceso.

2. Fuera del tanque de aceite crudo: el vertedero ubicado a una altura mayor permitirá descargar la purga dentro del mismo tanque de crudo y adicionalmente activarlo o desactivarlo con el hecho de abrir y cerrar la válvula de purga.
3. Antes del Preclarificador: cuando la planta de beneficio cuenta con este nuevo equipo, se sugiere instalar un *by-pass* que conduzca el fluido, por un lado al preclarificador y por otro al vertedero. Esta configuración puede verse como dos líneas independientes. Por el lado del vertedero, es necesario proporcionar un recipiente que almacene temporalmente el fluido que atraviesa la ranura para efectos de la calibración del equipo, que se mencionará más adelante. Adicionalmente, para darle continuidad al flujo del LPD, es necesario un sistema de bombeo, control de nivel, bomba y motor, que lo conduzca ya sea al preclarificador o a clarificación.

**Material:** teniendo en cuenta el desgaste ofrecido por el tipo de fluido procesado, es recomendable usar láminas de acero inoxidable que mantengan las dimensiones de la ranura y asimismo la precisión en la medición.

**Disposición:** el equipo debe instalarse de manera que permita una fácil lectura del nivel del fluido en la mirilla. El tamaño del mismo está calculado para que genere tiempos de residencia de entre uno y tres minutos dentro del equipo, con el propósito de evitar la separación de la mezcla y sedimentación de lodos. La placa será fijada en una pared o tabique perpendicular al plano de las paredes laterales, de forma tal que el flujo sea perpendicular a la sección de pasaje. La fijación deberá ser lo suficientemente resistente como para asegurar la permanencia futura en la posición de diseño y facilitar las tareas de mantenimiento.

## Mantenimiento del sistema vertedero

El mantenimiento del sistema vertedero tiene un papel muy importante en la precisión de los datos levantados en proceso, dado que la sedimentación de lodos podría generar lecturas erróneas de la altura de cresta del fluido, reduciendo la capacidad del vertedero, así como ocasionar un rebose de licor de prensa superponiendo la cresta del mismo. Por lo anterior, se recomienda instalar una válvula de purga en el fondo del vertedero con el fin de evitar la colmatación de lodos en el sistema. De igual forma, la superficie del licor de prensa a lo largo de la longitud del vertedero debe conservarse libre de lodos, material vegetal u obstáculos que puedan alterar las condiciones de régimen de flujo (Figura 6). Aguas abajo del sistema vertedero también debe permanecer libre de obstrucciones que puedan provocar inundación y perturbar la libre descarga del licor de prensa.



**Figura 6.** Mantenimiento del sistema vertedero tipo rectangular. Nótese que la ranura debe estar libre de obstrucciones en el momento de la medición.

## Instalación de mirilla en el sistema vertedero

Una vez implementado el sistema vertedero en el tanque de aceite crudo, se requiere la ubicación de una mirilla a cierta distancia (se sugiere 20 cm de acuerdo con la Tabla 4) aguas arriba de la ranura, con el fin de visualizar los cambios de altura en la descarga del licor de prensa (Figura 7). De igual modo, se recomienda instalar dicha mirilla en una región de libre turbulencia, con la mínima perturbación en el régimen de flujo de licor de prensa, con el propósito de evitar posibles lecturas erróneas en los niveles de alturas de cresta. También es necesario establecer un punto de muestreo de licor de prensas diluido en el tanque receptor de aceite crudo, debido a la necesidad de tomar muestras para determinar el porcentaje de aceite en el licor, siendo esta una de las variables importantes en la estimación del potencial de aceite en racimos.

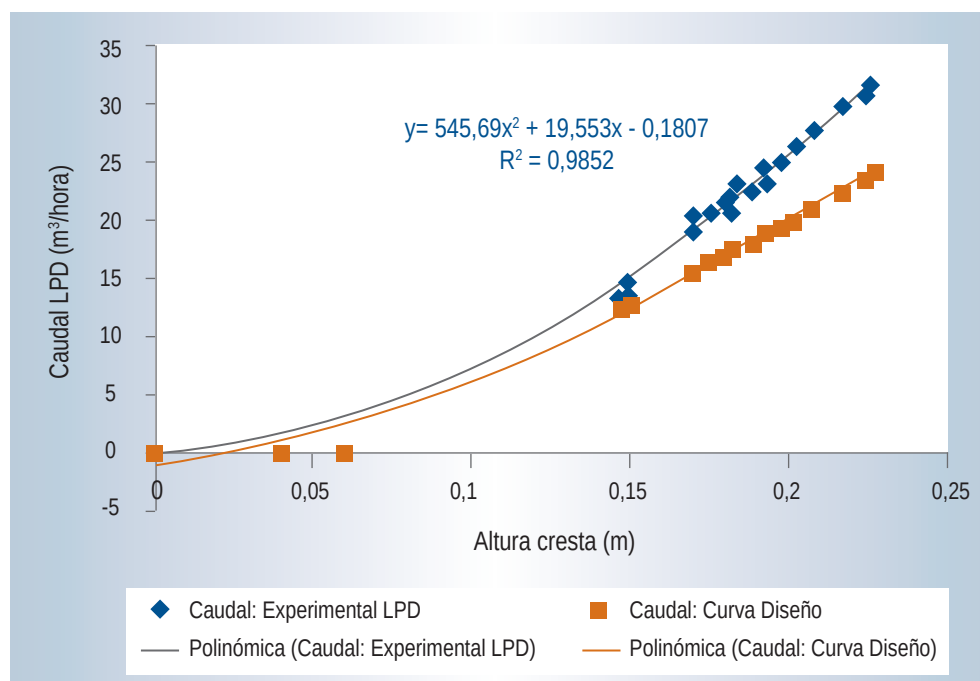


**Figura 7.** Instalación de la mirilla en el sistema vertedero tipo rectangular.

## Calibración del vertedero

Posterior al diseño e instalación del sistema vertedero, se debe realizar la calibración del mismo. Dado que las ecuaciones de diseño para estos sistemas de medición de flujos volumétricos utilizan agua como fluido de trabajo, se hace indispensable la calibración del vertedero con el fluido real. En este caso debe aforarse con el licor de prensa, generando una curva experimental de caudal vs. altura de cresta, como se muestra en la Figura 8. Seguidamente, debe realizarse un ajuste para estos datos experimentales (se sugiere utilizar la herramienta del *software* Excel, “ajuste de tendencia”, el cual se activa con el botón derecho luego de seleccionar el gráfico construido a partir de altura y caudal), utilizando una ecuación de potencia como modelo matemático para la evaluación del flujo volumétrico de licor de prensa en función de la altura de cresta en la descarga del vertedero.

Se recomienda también realizar calibraciones periódicas en el sistema vertedero, que permitan acotar los niveles mínimos y máximos de caudal de licor de prensa presente en cualquier instante del proceso. A continuación se muestra una gráfica ejemplo, que presenta el ajuste de un modelo polinómico al comportamiento de los datos de calibración de licor de prensas diluido (LPD) a diferentes alturas en un vertedero.



**Figura 8.** Ajuste de potencia sobre los datos experimentales.

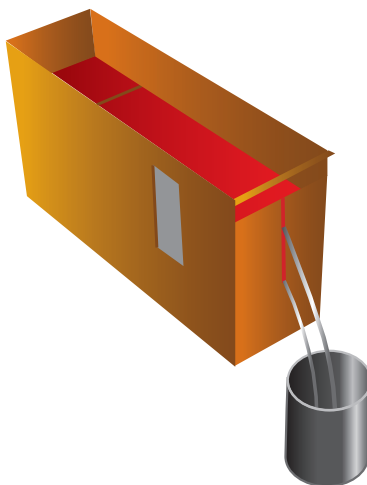


## Consideraciones para la calibración

La calibración consiste en determinar experimentalmente un modelo matemático

$Q \left[ \frac{L^3}{t} \right] = f(h[L])$ , que permita expresar el Caudal (Q) de LPD, definido como la relación entre la cantidad de fluido que pasa a través de la ranura del equipo por unidad de tiempo, en función de la altura de la Cresta (H) que se genera por la retención temporal del LPD. Para establecer la función matemática que relacionará estas dos variables, es necesario cuantificar cada una de ellas paralela e independientemente en el mismo intervalo de tiempo.

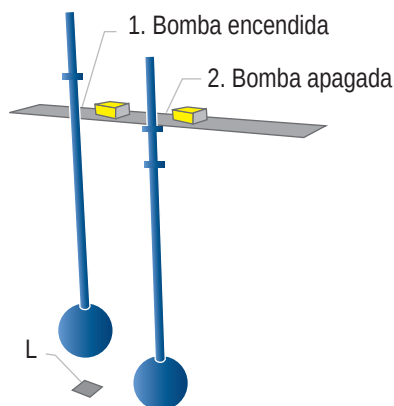
Como se mencionó anteriormente, la variable caudal acotará el intervalo de tiempo durante el cual se observarán las variables. El caudal de una corriente se puede determinar contabilizando el tiempo que tarda el aforo de un volumen conocido, práctica común en las plantas de beneficio. Para medir el tiempo se emplea un cronómetro y el volumen a aforar puede estimarse de dos formas. La primera consiste en ingresar temporalmente el fluido que atraviesa la ranura dentro de un recipiente de volumen conocido (Figura 9).



**Figura 9.** Alternativa de calibración con aforo de recipiente de volumen conocido.

La segunda alternativa consiste en aprovechar un sistema de control de nivel que regule el bombeo del LPD a etapas posteriores. Sin importar la ubicación del equipo, las tres configuraciones deben incluir un sistema de bombeo que puede aprovecharse para calibrar el equipo. Generalmente, el sistema de control que enciende y apaga la bomba es de tipo flotador, el cual está adaptado de tal forma que la bomba se encienda cuando el líquido en el tanque alcance cierta altura; y se apague, cuando el nivel baje lo suficiente para que el flotador descienda.





**Figura 10.** Posición del flotador y diferencia de altura de nivel del líquido.

Como se observa en la Figura 10, con la diferencia de alturas ( $L$ ) y las dimensiones, ya sea del tanque de aceite crudo o del recipiente que contenga el licor que atraviesa la ranura del equipo, se puede calcular el caudal que atraviesa el vertedero con la siguiente expresión.

$$Q = \frac{(Largo * Ancho * \Delta h)}{t_{aforo}}$$

Cabe resaltar que si el LPD que atraviesa el vertedero se recolecta en el tanque de aceite crudo y a este tanque llegan otro tipo de corrientes, durante la calibración es necesario aislarlas del recipiente temporalmente ya que alterarán el tiempo que tarda el aforo de la diferencia de altura que activa el mecanismo de bombeo.

La altura de cresta se observa directamente en la mirilla de vidrio aguas arriba de la ranura de descarga. Independiente de la ruta elegida para medir el caudal de LPD, el tiempo de observación estará relacionado directamente con el volumen a aforar. Durante este intervalo de tiempo debe observarse paralelamente la altura de la cresta con el fin de relacionar las dos variables, caudal y altura de cresta. Durante el tiempo de aforo es conveniente observar y recolectar en repetidas ocasiones la altura de la cresta, ya que es posible que esta no permanezca inmóvil debido al comportamiento intrínseco del proceso. Para ello se sugiere registrar cerca de 30 observaciones de Altura de cresta durante este intervalo de tiempo, con el fin de obtener un promedio aritmético para relacionar con el caudal aforado. Si se presentan variaciones fuertes que impiden la observación de esta variable, se sugiere adaptar un baffle móvil que disminuya la velocidad con la que ingresa el fluido para reducir la turbulencia en la superficie libre que permitirá observar la altura de cresta.

Durante la calibración del equipo es necesario tener en cuenta el comportamiento de otras condiciones del proceso que juegan un papel determinante en esta etapa de la metodología y que se describirán a continuación.

- Prensas en operación: esta condición determina directamente tanto el caudal que atraviesa el vertedero como su altura de cresta correspondiente. Es necesario recolectar datos en diferentes capacidades de prensado para que el modelo matemático se ajuste a las configuraciones de procesamiento más comunes de la planta de beneficio. Igualmente, es necesario mantener constante la velocidad angular de los tornillos de las prensas.
- Agua de dilución: es fundamental garantizar esta condición ya que es un fluido que acompaña al LPD y que ingresa directamente al vertedero. Es conveniente calibrar el equipo con la dilución más común en la planta de beneficio con el fin de no interferir en el desempeño de etapas posteriores como la clarificación.
- Purga del vertedero: antes de iniciar el procedimiento para registrar las parejas de datos  $Q$  vs  $H$ , es necesario verificar que el vertedero no presente acumulación de sólidos en su interior, ya que la presencia de estos puede ocasionar un incremento en la Altura de Cresta que no corresponde al flujo del LPD que atraviesa el equipo.

## Metodología de muestreo para estimar el potencial de aceite

A continuación se describe el procedimiento a seguir para la estimación del potencial de aceite en racimos, por medio de la medición del licor de prensa en el tanque de aceite crudo.

Inicialmente se debe organizar el recibo de fruto en la tolva y marcar las vagonetas que se utilizarán para recibir la cochada (el peso correspondiente al transportado por un camión) de racimos a evaluar y procesar.

Por otro lado, de acuerdo con la capacidad máxima de procesamiento de la planta de beneficio y al peso promedio de un camión que transporta fruto (12 t), se estima el tiempo de duración del muestreo, dependiendo de la capacidad de procesamiento (20 minutos aproximadamente).

Como primer paso, es necesario realizar un estudio de tiempos y movimientos para estimar en qué momento se obtiene el flujo volumétrico de aceite correspondiente al fruto que se está analizando. También se debe identificar las dimensiones del tanque receptor de aceite crudo, los máximos caudales que se obtienen de licor de prensa diluido y con esta información diseñar, calibrar e implementar el vertedero que permitirá determinar la TEA estableciendo una relación matemática entre los flujos de aceite crudo y la altura del vertedero. El anterior procedimiento ha sido estandarizado y validado en varias plantas del país.

### Estudios de tiempos y movimientos

El estudio de tiempos y movimientos se extiende desde las etapas de recepción, esterilización y desfrutamiento hasta la digestión y el prensado para cada uno de los flujos involucrados. En la etapa de recepción se mide el tiempo que tarda el fruto en ser descargado en las vagonetas y trasladado en estas hasta las autoclaves. De otro lado, en la etapa de esterilización se mide el tiempo transcurrido desde el momento en que ingresan las vagonetas a la autoclave hasta cumplir el ciclo de esterilización y llevarlas a la zona de levantamiento de vagonetas. En cuanto a la etapa de desfrutación, se mide el tiempo transcurrido desde el momento en que se levantan las vagonetas hasta que se descargan en el desfrutador, y el tiempo entre la descarga de los racimos de fruta fresca (RFF) en el desfrutador hasta la entrada del fruto al elevador de cangilones. Finalmente, en la etapa de extracción se mide el tiempo transcurrido desde la entrada de fruto al elevador de cangilones hasta la entrada de los digestores y el tiempo de llenado y vaciado de los digestores. En la estimación de todos estos tiempos se debe realizar por lo menos cinco repeticiones para cada etapa involucrada, o más dependiendo de la variación que muestren los datos, aunque estos tiempos

en estos procesos no varían mucho entre una repetición y otra de acuerdo con las pruebas realizadas.

De esta manera, el estudio de tiempos y movimientos permite medir el tiempo total de residencia del fruto desde la recepción hasta la extracción; no obstante, la evaluación de este tiempo es particular para cada planta de beneficio. A partir de este valor se calcula la cantidad de RFF requerido para el análisis, basado en la capacidad de procesamiento de RFF de la planta de beneficio. Como referencia presenta la Tabla 3, que muestra algunos de estos tiempos medidos para una planta de beneficio en particular.

**Tabla 3.** Tiempos y movimientos desde la recepción hasta el prensado de fruto (caso de referencia)

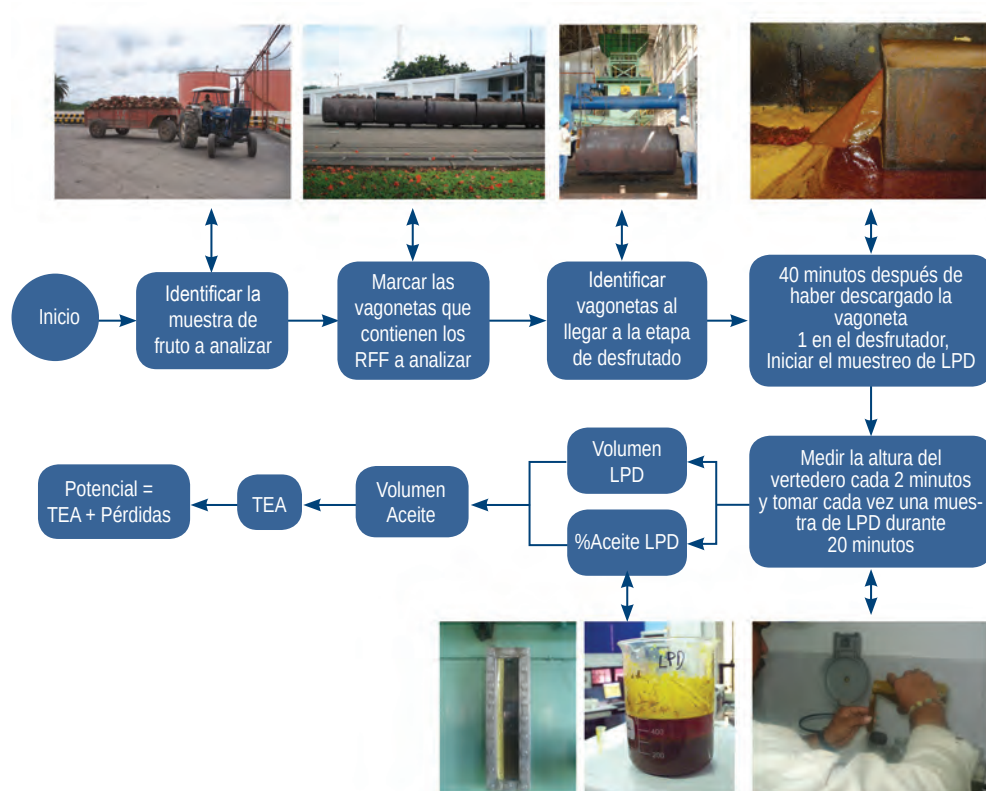
| Etapa          |                                          | Tiempo de operación (min) |
|----------------|------------------------------------------|---------------------------|
| Recepción      | Cargue 5 vagonetas → Entrada autoclave   | 25                        |
| Esterilización | Ciclo de esterilización zona de enganche | 110                       |
| Desfrutamiento | Zona de enganche                         |                           |
|                | (1 vagoneta) → Desfrutador               | 3,95                      |
|                | Desfrutador → Entrada al elevador        | 0,173                     |
| Prensado       | Entrada al elevador → Entrada digestor 1 | 0,282                     |
|                | Entrada al elevador → Entrada digestor 2 | 0,348                     |
|                | Entrada al elevador → Entrada digestor 3 | 0,398                     |
|                | Llenado de digestor 1                    | 2,416                     |
|                | Llenado de digestor 2                    | 9,03                      |
|                | Llenado de digestor 3                    | 13,09                     |
|                | Vaciado de digestor 1                    | 18,31                     |
|                | Vaciado de digestor 2                    | 24,66                     |
|                | Vaciado de digestor 3                    | 19,32                     |

## Muestreo de licor de prensa y medición de caudal

Una vez evaluado el tiempo de espera para el procesamiento de racimos hasta obtener el licor de prensa, se procede a calcular el caudal, midiendo la altura del vertedero cada dos minutos, tomando a su vez la respectiva muestra de licor de prensa. Este procedimiento se describe paso a paso en la Figura 11.

Transcurridos el tiempo de procesamiento de los racimos, se tabulan las alturas y se analizan por centrifugación en el laboratorio las muestras de licor de prensa

para determinar un promedio de la composición volumétrica de aceite, cuidando mantener la temperatura de la muestra. Posteriormente, las alturas registradas en el vertedero se promedian y se calcula el caudal de licor de prensa por medio de la curva de calibración del vertedero.



**Figura 11.** Metodología general para la evaluación del potencial industrial de aceite por medio de sistemas tipo vertedero (Los tiempos mostrados son aproximados y pueden variar en cada planta).

## Cálculo del contenido de aceite en racimos

Finalmente, con el caudal de licor de prensa calculado, la capacidad de prensado, la densidad del aceite y el contenido de aceite en el licor de prensas se puede determinar la tasa de extracción medida en prensa, aplicando un balance de conservación de masa.

$$TEA_{\text{prensado}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) = Q_{\text{Licor}} \left( \frac{m^3}{h} \right) * Aceite_{\text{Licor}} \left( \%v \frac{\text{Aceite}}{\text{Licor}} \right) * \rho_{\text{Aceite}} \left( \frac{t}{m^3} \right) * \frac{1}{Cap} \left( \frac{h}{tRFF} \right)$$

**Ecuación 5.** Cálculo de potencial de aceite en racimos.

Donde:

$Q_{\text{Licor}}$  : caudal de licor de prensa diluido

$Cap$  : capacidad de procesamiento (t/h)

$Tea_{\text{prensado}}$  : tasa de extracción (medida en la estación de prensado)

$Aceite_{\text{licor}}$  : composición volumétrica de aceite en el licor de prensa diluido

$\rho_{\text{Aceite}}$  : densidad del aceite ( $t/m^3 = 0,875$ )

Una vez evaluada la TEA en prensado es posible estimar la TEA global para los racimos procesados, teniendo en cuenta las pérdidas de aceite en planta, para el proveedor de RFF en particular. Este balance se presenta a continuación:

$$TEA_{\text{global}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) = \left[ TEA_{\text{prensado}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) + PE_{\text{condensados}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) + PD_{\text{impregnación}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) + PD_{\text{frutoadh}} \left( \% \frac{\text{Aceite}}{\text{RFF}} \right) \right] * Efc_{\text{clarif}}$$

Donde:

$Tea_{\text{global}}$  : tasa de extracción industrial esperada para los racimos evaluados

$PE_{\text{condensados}}$  : pérdida de aceite en condensados de esterilización

$PD_{\text{impregnación}}$  : pérdida de aceite en desfrutado por impregnación en tusas

$PD_{\text{frutoadh}}$  : pérdida de aceite en desfrutado por fruto adherido

$Efc_{\text{clarif}}$  : eficiencia de clarificación

En estudios realizados por Cenipalma se ha podido establecer que una media esperada para la eficiencia de clarificación es de 82 % para el preclarificador y puede alcanzar valores hasta de 97% cuando se incluye todo el sistema de recuperación de aceite en lodos a través de las centrifugas.

## Divulgación de resultados

En el marco del proyecto orientado a cerrar las brechas de productividad, apoyado por el FLIPA, Fondo Latinoamericano de Innovación en Palma de Aceite. Actualmente se desarrollan algunos proyectos que utilizan la metodología de determinación del potencial de aceite que usan el sistema de medición de caudal de tipo vertedero para establecer las oportunidades de mejora de los pequeños productores asociados a dos núcleos palmeros en las Zonas Norte y Oriental (El Roble y Unipalma de los llanos).

## Agradecimientos

Los autores agradecen al ingeniero Omar Cadena por todos sus aportes iniciales a este proyecto y a los ingenieros Álvaro Moreno, Jairo Prada y Laubher Álvarez, de Aceites Manuelita S.A., por su apoyo durante la ejecución de la investigación que permitió validar esta tecnología para la determinación del potencial de aceite. A Javier Guayazán por la propuesta de calibración del vertedero. Por último, se agradece al Fondo de Fomento Palmero por facilitar esta investigación y al SENA por la financiación de esta publicación.



## Bibliografía

- Cárdenas, L.; Padilla, P.; Yáñez, E.; García, J. 2000. Evaluación de las pérdidas de aceite en campo. Tesis de grado ingeniería agroindustrial. Universidad de la Paz.
- Castellano, S. 2001. Validación de la metodología alterna para el análisis de racimos en la zona palmera occidental. *Ceniavances* (81).
- Díaz R., OM.; Castillo M., EF.; Yáñez A., EE. 2005. Estudio del nivel de dilución apropiado del licor de prensa en el proceso de extracción de aceite de palma, apoyado en el diseño y evaluación de un sistema de control automático. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Tesis de pregrado.
- Durán, Q.; García, J.; Yáñez, E. 2003. Influencia de la calidad de los racimos en el potencial de aceite. *Ceniavances* (102).
- Escandón, A.; García, J. 2006. Determinación del potencial de aceite por medio de la medición de licor de prensa en el tanque de aceite de crudo. *Ceniavances* (143).
- García N., J.; Yáñez A., E.; Amaya C., S. 2000. Aplicación de la metodología alterna para el análisis de racimos y muestreo de racimos en tolva. *Palmas* (Colombia) 21 (número especial): 303-311.
- García, J.; Cadena, O. 2004. Métodos para la estimación del potencial de aceite y su relación con la tasa de extracción de aceite en planta (TEA). *Palmas* (Colombia) 25 (número especial): 509-518
- Oleaga, A., et ál. 2004. Guía para mediciones de efluentes industriales. Dirección nacional del medio ambiente. Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- Yáñez A., E.; García N., J.; Amaya C., S. 2000. Metodología alterna para el análisis de racimos de palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 21 (número especial): 295-302.
- Yáñez A., E.; García, J. Amaya, S. 2000a. Metodología alterna de muestreo y análisis de racimos de palma de aceite. *Ceniavances* (76).

## Colección Boletines Técnicos Fedepalma - Cenipalma

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

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

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



