

# Metodología para calcular el tiempo de residencia en sistema digestor-prensa en plantas de beneficio\*

## Methodology for Calculate the Residence Time in Digester-Press System in Palm Oil Mills

### Cómo citar este artículo:

Guayazán, J., Herrera, F., Montero, J. C. & García, J. A. (2013, Junio 30). Metodología para calcular el tiempo de residencia en sistema digestor-prensa en plantas de beneficio. *Palmas*, 34(2), 9-13.

### Autores

**Javier Guayazán J.**  
Ingeniero químico-UN,  
Auxiliar de Investigación,  
Programa de Procesamiento,  
Cenipalma.  
jguayazan@cenipalma.org

**Fray J. Herrera A.**  
Estudiante Ingeniería  
Mecatrónica-UNAB,  
Practicante en Aceites S.A.

**José C. Montero**  
Líder (e) Programa de  
Procesamiento, Cenipalma.  
jmontero@cenipalma.org

**Jesús A. García**  
Coordinador Programa de  
Procesamiento, Cenipalma.  
jgarcia@cenipalma.org

### Palabras CLAVE

Racimos de fruta fresca,  
estandarización, trazabilidad,  
sistema digestor-prensa.

Fresh fruit bunches,  
standardization, traceability,  
digester-press system.

Recibido: mayo 6 de 2013  
Aprobado: mayo 30 de 2013

### Resumen

Ante la necesidad de transformar la palmicultura colombiana en un sector de clase mundial a través del incremento de la productividad en todas sus etapas, desde el campo hasta el procesamiento del fruto en la planta de beneficio, se desarrolló un procedimiento que garantiza la trazabilidad del aceite, desde que ingresa contenido en los racimos de fruta fresca (RFF) hasta que se convierte en licor de prensa, puntualmente en el sistema digestor-prensa. Este procedimiento puede ser aplicado en cualquier planta de beneficio, como parte fundamental en tecnologías que permiten desde asociar el comportamiento de los indicadores de producción, dependientes de la procedencia de la materia prima, hasta la determinación del tiempo estándar de procesamiento, donde este procedimiento cobra importancia cuando la dirección de la planta de beneficio normalice el tiempo que debe tardar en producir una tonelada de aceite en función de su capacidad instalada, condición que impacta positivamente en la competitividad del sector.

\* Artículo de investigación tecnológica cuya metodología es extrapolable a cualquier planta de beneficio, por ser ejecutable en cualquier instalación industrial.

## Abstract

Faced with the need of transforming the Colombian palm oil into a world class player through increased productivity at all stages, from the field to the mill, it is proposed a procedure to ensure traceability of the oil from the oil content in Fresh Fruit Bunches (FFB) to oil palm content in press liquor. The procedure was developed specifically at the Digester-Press system and it may be applied at any Palm Oil Mill (POM), as a key part in enabling technologies associating production indicators according the FFB providers. The goal is to determine a standard processing time. This procedure becomes especially important when the time required for produce one ton of oil is normalized in terms of installed capacity.



## Introducción

En la industria, el control y la optimización de procesos son necesarios cuando el mercado exige productos con altos estándares de calidad. Para ello se diseñan, construyen e implementan estrategias que permiten mantener las variables de las operaciones unitarias en rangos aceptables, a través de la manipulación de las variables del proceso, entre ellas la temperatura, presión, razón de flujo, tiempo de residencia, entre otras [1].

Adicionalmente, estar al tanto del comportamiento de las corrientes a través de las operaciones unitarias que conforman el proceso permite diagnosticar el funcionamiento deficiente del proceso con el simple hecho de observar variaciones repentinas en el comportamiento de alguna variable. Por ejemplo, la distribución del tiempo de residencia en equipos continuos. El tiempo de residencia se define como el tiempo transcurrido desde que la materia ingresa al sistema hasta que lo abandona [2].

En el proceso convencional de extracción de aceite crudo de palma, el sistema digester-prensa es la segunda etapa continua en la que ingresa la materia prima. Conocer el tiempo requerido para procesar la masa de fruto esterilizada en

esta operación unitaria le proporciona al personal de planta una herramienta para el seguimiento y trazabilidad de los indicadores de producción en función del tipo y procedencia de la fruta. Adicionalmente permite establecer tiempos estándares de producción de forma que sea posible asociar el tiempo que realmente se emplea en la producción, identificando espacios temporales ligados a otras actividades que impactan negativamente en el entorno productivo.

La distribución del tiempo de residencia se determina comúnmente a través de pruebas experimentales mediante el empleo de trazadores o ensayos en líneas de flujo. El movimiento de la materia puede presentar diferentes tiempos de residencia [2], debido a configuraciones geométricas de las estructuras, velocidades de flujo, homogeneidad, comportamientos anormales, entre otros. Por ejemplo, si el tiempo de residencia experimental es significativamente diferente del valor calculado, esto puede indicar que existen algún tipo de falla que aumenta o disminuye el tiempo de residencia de la materia dentro del volumen sometido al análisis [3]. Es posible que las partículas caigan en zonas de estancamiento que retardan la salida de las



mismas o que sigan trayectorias alternas que favorezcan su movimiento [4].

Conocer a fondo el comportamiento del proceso de extracción de aceite de palma y controlar las variables implícitas en el mismo, le permitirá a esta agrocadena mejorar su competitividad a través de la reducción de costos e incremento de la eficiencia de producción.

## Materiales y métodos

Este ensayo se ejecutó en la planta de beneficio de la empresa Aceites S.A., que cuenta con cinco digestores de 3.200 litros cada uno, asociado a su respectiva prensa de 9 t<sub>RFF</sub>/h, conjunto de equipos denominado sistema digestor-prensa, de ahora en adelante referenciados por las iniciales de las operaciones unitarias que lo conforman acompañadas de la respectiva ubicación en la planta de beneficio, por ejemplo D1-P1.

Para cuantificar experimentalmente el tiempo de residencia de la masa de fruta esterilizada en cada sistema digestor-prensa, grupos de 50 trazadores<sup>1</sup>, como los que se observan en la Figura 1, se arrojaron desde la parte superior del digestor (punto A en Figura 2) con el fin de recuperarlos en el tambor pulidor de nuez (punto C en Figura 2) (trayectoria 1). Seguidamente, un nuevo grupo de 50 trazadores se arrojó al sistema desde la salida de la torta de prensa (punto B en Figura 2) para recuperarlos nuevamente en el mismo tambor pulidor (punto C en la Figura 2) (trayectoria 2), constituyendo de esta forma una repetición del ensayo.

Tanto para el grupo que ingresó por la parte superior del digestor como para el que se introdujo en la torta de la prensa, con ayuda de un cronómetro se registró el tiempo que tardó cada trazador en abandonar el sistema, alcan-

zando porcentajes de recuperación mayores a 80 % en promedio para cada una de las trayectorias. Se efectuaron 15 repeticiones por cada sistema digestor-prensa, realizadas en condiciones estables del proceso, caracterizadas por la ausencia de paradas fortuitas de los equipos y alimentación constante de materia prima.



**Figura 1.** Trazadores temporales empleados en la determinación del tiempo de residencia en el sistema digestor-prensa.

El tiempo de residencia en el sistema digestor-prensa (en Figura 2, el tiempo que tardan los trazadores en recorrer desde el punto A hasta el punto B) se obtuvo a través de la diferencia entre el promedio del tiempo de la Trayectoria 1 y el promedio del tiempo de la Trayectoria 2, previa verificación de la normalidad de los datos a través de las pruebas estadísticas de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov con un nivel de significancia del 5 %.

La variabilidad que presenta el comportamiento de los datos incluye aspectos como edades de siembra, materiales genéticos y/o condiciones intrínsecas de la planta de beneficio. Por otro lado, los grupos de trazadores siempre se alimentaron cuando la cantidad de fruta en cada digestor alcanzó su nivel de llenado y las operaciones unitarias se encontraban en estado estable.

<sup>1</sup> Los trazadores se elaboraron a partir de residuos de llantas cuyas dimensiones pretendieron simular el comportamiento de la masa de fruto esterilizada. Las dimensiones oscilaron entre 2 y 3 cm de largo, 2 y 3 cm de ancho y, 1 y 2 cm de espesor.

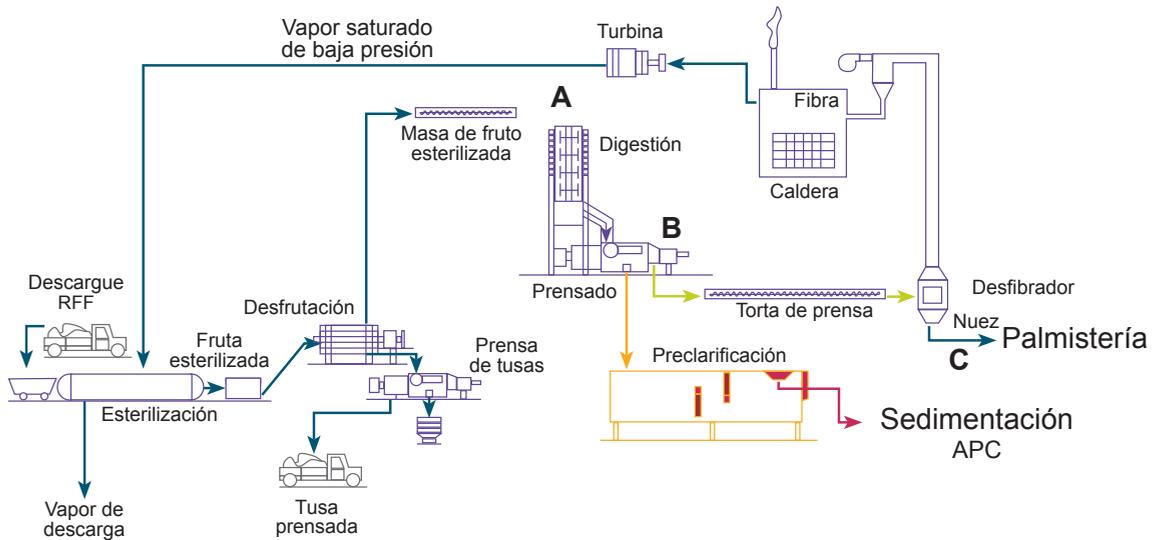


Figura 2. Esquema parcial del proceso de extracción de aceite de palma crudo (editado de [5]).

## Resultados y discusión

El análisis estadístico permitió considerar que los conjuntos de datos se distribuyeron normalmente, de forma que fue posible construir intervalos del 95 % de confianza para la media del Tiempo de Residencia en cada uno de los sistemas, valores que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Estadística descriptiva para cada sistema digestor-prensa evaluado.

Sistema	Promedio t Res (min)	Coeficiente de Variación (%)	Intervalo de Confianza	
			Límite Inferior (min)	Límite Superior (min)
D1_P1	29,46	23,14%	25,68	33,23
D2_P2	26,56	36,48%	21,20	31,93
D3_P3	31,00	20,87%	27,42	34,58
D4_P4	24,67	31,06%	20,42	28,91
D5_P5	40,06	29,36%	33,55	46,57

Para el sistema D<sub>5</sub>P<sub>5</sub>, el tiempo de residencia promedio (Tabla 1) fue considerablemente mayor a sus similares, condición que se le atribuye

al sentido de giro del eje del agitador, opuesto al lado cóncavo de las paletas<sup>2</sup>, condición que se observó durante el registro de los datos.

En la Tabla 1 se observa que los coeficientes de variación mantienen el orden de magnitud para todos los sistemas, comportamiento relacionado con las fuentes de variación intrínsecas a la planta de beneficio.

Para el conjunto de los cinco sistemas, el tiempo de residencia promedio fue de 31 minutos, con un intervalo de confianza de 5 minutos, esto indica que para una cantidad definida de masa de fruto esterilizada el procesamiento de esta misma puede tardarse entre 26 y 36 minutos en el conjunto de sistemas digestor-prensa, siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones bajo las cuales se realizaron las observaciones.

La Ecuación 1 muestra los Tiempos de Residencia calculados a partir de la siguiente expresión:

$$t_{ResCalc.} = \frac{V_{Dig.} \times \rho_{MPD} \times F}{C_{Prensa} \times MPD/RFF}$$

Ecuación 1. Cálculo del Tiempo de Residencia en sistemas digestor-prensa.

<sup>2</sup> Información obtenida a través de conversaciones directas con expertos en el tema.



Donde:

- $V_{\text{Dig}}$ : Volumen de cada digestor: 3.200 litros [6].
- $\rho_{\text{MPD}}$ : Densidad de frutos esterilizados: 0,66 t/m<sup>3</sup> [7].
- $F$ : Factor de llenado del digestor, asumido como 90 %.
- $\text{MPD}/\text{RFF}$ : Porcentaje de masa que pasa por el digestor por cada RFF, igual a 56 % p/p [7].

**Tabla 2.** Tiempos de Residencia Calculados y Experimentales para cada sistema digestor-prensa.

Sistema	Capacidad de Prensado Real (t RFF/h) [6]	Tiempo de Residencia (min)	
		Calculado	Experim.
D1_P1	10,73	18,98	29,46
D2_P2	12,59	16,18	26,56
D3_P3	13,42	15,18	31,00
D4_P4	11,12	18,31	24,67
D5_P5	11,5	17,71	40,06

De los valores registrados en la Tabla 2 se observa que el desempeño de los sistemas digestor-prensa podría estar afectado negativamente debido a que, según el Tiempo de Resi-

dencia Calculado, la masa de fruto digestada debería abandonar el sistema en menor tiempo, comportamiento que permitiría que la planta de beneficio procese mayor cantidad de fruta durante las mismas horas de trabajo.

Caracterizar íntegramente el comportamiento de las operaciones unitarias de un proceso productivo permite conocer a fondo la dinámica que rige las transformaciones de la materia que para el caso de una planta de beneficio, permite asignar los recursos que realmente se requieren en cada una de las actividades que impactan positivamente en la competitividad del sector ya que se suprimen los desperdicios asociados a la ausencia de planeación.

## Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del personal de la empresa Aceites S.A., por su disposición para la realización de este ensayo. A Bernardo Sánchez, Gerente de la empresa Aceites S.A., por su compromiso y gestión durante la realización de estas actividades. A Eloína Mesa Fuquen, Responsable de la sección de Biometría de Cenipalma por sus valiosos aportes. A Fedepalma-Fondo de Fomento Palmero por la financiación de este estudio.

## Bibliografía

- [1] W. C. Dunn, *Fundamentals of industrial instrumentation and process control*, McGraw-Hill, 2005.
- [2] M. Jiménez-González, R. A. González-Herrera, C. A. Quintal-Franco y G. Giacomán-Vallejos, «Distribución de tiempos de residencia en un sistema continuo de flujo bidimensional,» *Tecnología, Ciencia, Educación*, vol. 24, n° 1, pp. 57-65, 2009.
- [3] D. Lelinski, J. Allen, L. Redden y A. Weber, «Analysis of the residence time distribution in large flotation machines,» *Minerals Engineering*, vol. 15, pp. 499-505, 2002.
- [4] R. E. Peña Abreu y C. S. Palanco, «Integración numérica en Microsoft Excel para el cálculo del tiempo medio de residencia en reactores continuos,» *Tecnología Química*, vol. XXVI, n° 1, 2006.
- [5] F. A. Rovira y S. M. Rincón M., «Comportamiento de parámetros de calidad en aceite crudo de palma en función de ciclos de esterilización modificados en planta de beneficio,» Trabajo no publicado, Bogotá, 2012.
- [6] N. Wambeck, «Oil palm process synopsis,» 1999.
- [7] N. Ramírez y V. Otava, «Informe de Auditoría-Planta de Beneficio Aceites S.A.,» División de Servicios Técnicos Especializados-Cenipalma, Bogotá, 2012.
- [8] A. Pinheiro Torres y F. A. R. Oliveira, «Residence time distribution studies in continuous thermal processing of liquid foods: a review,» *Journal of Food Engineering*, vol. 36, n° 1, pp. 1-30, 1998.

