

Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio*

Assessment of a Methodology for Measuring the Performance of Electric Power Consumption in Palm Oil Mills

CITACIÓN: Guerrero-Sánchez, A. E., Cala-Amaya, S., Mosquera-Montoya, M., Barrera-Hernández, J. C., & Peña-Mejía, C. (2018). Validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en planta de beneficio. *Palmas*, 39(4), 45-57.

PALABRAS CLAVE: módulo de producción, calidad de energía, uso eficiente de energía, factor demanda.

KEYWORDS: production section, quality of electric power, efficient use of electric power, demand factor.

RECIBIDO: agosto de 2018.

APROBADO: septiembre de 2018.

* Artículo de investigación científica y tecnológica.

ANDERSON E.

GUERRERO SÁNCHEZ

Extensionista, Cenipalma

SILVIA LILIANA CALA AMAYA

Extensionista, Cenipalma

MAURICIO MOSQUERA MONTOYA

Coordinador de la División de Validación, Cenipalma

mmosquera@cenipalma.org

JUAN CAMILO BARRERA HERNÁNDEZ

Auxiliar de investigación, Cenipalma

CRISTHIAN CAMILO PEÑA MEJÍA

Extensionista, Cenipalma

Resumen

Este artículo presenta los resultados obtenidos en la validación de la metodología de medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en una planta de beneficio de la Zona Norte del país. Para las mediciones se utilizó un analizador de redes Fluke 434 Series II y se registraron parámetros asociados a la energía eléctrica como tensión, intensidad, potencia, factor de potencia, energía activa, energía reactiva, energía aparente y pérdidas asociadas a calidad de la energía eléctrica. Luego de reunir la información, se analizó el desempeño actual del uso de la energía eléctrica desde cuatro puntos de vista: generación o suministro, demanda, consumo y calidad. En el análisis de generación o suministro, se identificó que 62,8 % de la electricidad es proporcionada por sistema de cogeneración, 35,5 % por la red externa y 1,7 % por medio de plantas diésel.

A partir de la información histórica de precios, generación o consumos, se estimó un costo ponderado de energía de 218 \$/kWh. En el análisis de demanda, se encontró que la planta de beneficio cuenta con 2.357 kW de fuerza motriz instalada, de la cual solo utiliza, en promedio, el 41 %. En cuanto al consumo, se determinaron los valores de kWh con respecto a las toneladas de fruto procesado para cada área que integra la planta de beneficio. El resultado arrojó que el consumo de energía eléctrica para la planta estudiada es de 25,04 kWh/t RFF. El análisis de calidad de la energía determinó que las principales pérdidas son generadas por la energía activa y reactiva. Por último, se concluye que la metodología propuesta es de fácil implementación y permite medir el desempeño del consumo de energía, así como estimar oportunidades de ahorro al mejorar la calidad.

Abstract

This paper presents the results of a research work aimed at validating a methodology proposed by Cenipalma for measuring the performance of electric power consumption in a palm oil mill (POM). We carried out this research at a POM located in the Colombian Northern Zone, whose milling capacity is 40 t of fresh fruit bunches per hour. We gathered the data with an energy analyzer (Fluke 434 Series II) at the control room of the mill, where the power system is constantly monitored by staff. We considered parameters associated with electric power, such as voltage, current, power, power factor, active energy, reactive energy, apparent energy, and losses associated to power quality. The data related to the use of electric power was analyzed based on four points of view: source of electric power generation, demand of electric power, consumption of electric power, and quality of electric power. The analysis of the source of power showed that 62.8% of the electric power is provided by the co-generation system, 35.5% comes from local generation, and 1.7% is supplied through diesel generators. By using the price of electric power according to the type of source, we estimated a weighted cost of 218 COP/kWh. The analysis on the demand of electric power allowed identifying that the palm oil mill under study has 2,357 kW of installed power, although it only uses 41% of this capacity (*i.e.* 966 kW). The analysis on consumption of electric power yielded an indicator of 25.04 kWh/t FFB. Regarding the power quality analysis, we determined that major losses are due to active energy and reactive energy. Finally, it is concluded that the proposed methodology is quite easy to implement at palm oil mills and that it allows estimating savings opportunities. Our study also provides indication on actions to be taken in order to using electric power more efficiently.

□

Introducción

La estrecha relación entre el consumo de energía y el crecimiento económico siempre ha estado enmarcada dentro de la productividad de las industrias. La energía eléctrica juega un rol clave para obtener la mayor rentabilidad, puesto que su alto costo o derroche afectan directamente los costos de producción. Así mismo, debe considerarse que los sistemas eléctricos son los más grandes emisores de gases de efecto invernadero (GEI). Para el 2010, todo el sector de energía a nivel mundial era el responsable del 35 % de las emisiones de GEI antropogénicas (Yacob *et al.*, 2014). Ante tal escenario, implementar estrategias para reducir el

consumo de energía no solo mejorará el rendimiento económico, sino que ayudará a reducir algunas causas del cambio climático.

Para las plantas de beneficio de fruto de palma, la implementación de fuentes renovables de energía, así como el monitoreo y control del sistema eléctrico, son estrategias necesarias para reducir la generación de gases de efecto invernadero, además de reflejarse en beneficio económico. Proyectos y actividades encaminadas al uso eficiente de la energía eléctrica en el proceso de extracción de aceite pueden reducir hasta en 12 % los costos asociados a consumo de energía (Barrera-Hernández, Ramírez-Contreras, Garcia-Nunez, & Guevara Trujillo, 2016).

Para lograr ahorros de energía, es necesario generar indicadores sobre el desempeño de consumo de energía confiables y de fácil medición que permitan la toma de decisiones en pro de optimizar el uso de la energía. Con el fin de establecer los indicadores apropiados para el sector, el programa de procesamiento de Cenipalma desarrolló una metodología para la medición del desempeño en el consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio (Barrera-Hernández *et al.*, 2016). Posteriormente, se realizó un ejercicio de validación de esta metodología en una planta de beneficio de la Zona Norte, cuyo resultado se presenta en este documento.

Metodología

La metodología del uso eficiente de energía eléctrica está concebida como un ciclo de mejoramiento continuo y se ajusta a la norma ISO 50001. El presente trabajo es un diagnóstico del desempeño en consumo de energía (ISO, 2011) para una planta de beneficio de la Zona Norte, ubicada en el municipio de El Copey (Cesar), con una capacidad instalada de 40 t RFF/h, 2 t almendra/h y un sistema de cogeneración de 1 MW.

Como actividad preliminar, se identificaron las condiciones de la red de distribución de energía eléctrica en las instalaciones de la planta de estudio. En este caso particular, se excluyeron del análisis los consumos correspondientes a las áreas no asociadas a la producción (administrativas y de servicios).

Se identificaron nueve puntos de medición correspondientes a cada área de proceso (generación de vapor, esterilización, recepción de RFF y prensado de tusa, digestión y prensado, clarificación, desfibración, palmistería, extracción de aceite de palmiste y planta de tratamiento de agua). Utilizando un analizador de redes Fluke 434 Serie II se hicieron mediciones de las variables asociadas al consumo de la energía eléctrica: tensión (voltaje), intensidad eléctrica (corriente), potencia eléctrica (potencia activa, reactiva y aparente), factor de potencia, frecuencia, energía eléctrica (activa, reactiva y aparente) y pérdidas por calidad de energía (activa, reactiva, desequilibrios, armónicos y neutro). Adicionalmente, durante el tiempo de estudio se tomaron diariamente los datos de producción necesarios para el cálculo de los indicadores de

consumo específico y de calidad de la energía. Posteriormente a la recolección de los datos, se realizó el análisis considerando cuatro enfoques, a saber:

Análisis de generación, fuente o suministro

Se identificó la relación y cantidad de energía utilizada por la planta de beneficio durante los tres años anteriores al estudio. El costo de la energía eléctrica está asociado a la fuente de donde proviene (planta diésel, red pública y cogeneración) y a la proporción en que esta se utiliza dentro del proceso. Por tanto, se hace necesario establecer la tendencia de consumo en la planta de beneficio (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

Análisis de demanda eléctrica

Para este análisis se caracterizó la fuerza motriz instalada en la planta de beneficio. A partir de un censo de carga realizado se clasificó la fuerza motriz por áreas de producción (generación de vapor, esterilización, recepción de fruta y prensado de tusa, digestión y prensado, desfibración, clarificación, planta de tratamiento de agua, palmistería, palmiste) y por módulos de producción (APC¹, RAPC², RAP³, EAPL⁴ y GVA⁵) (Montero-Vega *et al.*, 2013). Posteriormente, se calculó el factor de carga, factor demanda y la distribución promedio de la potencia instantánea utilizada (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

Potencia instalada o fuerza motriz

La potencia instalada varía dependiendo de la tecnología utilizada y de la disponibilidad de dos o más líneas de producción en paralelo. Con el fin de realizar ejercicios de referenciación tecnológica (*benchmarking*), la potencia instalada se suma de acuerdo a los módulos de producción.

-
- 1 Aceite de palma crudo.
 - 2 Recuperación de aceite de palma.
 - 3 Recuperación de almendra de palma.
 - 4 Extracción de aceite de palmiste.
 - 5 Generación de vapor.

Factor de carga

El factor de carga es la relación entre la carga promedio utilizada y la carga máxima del sistema. A partir de los valores de potencia instantánea medida y la potencia instalada, se procede a calcular el factor de carga para cada uno de los módulos de producción que componen la planta de beneficio. Para calcular el factor de carga se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{carga promedio}}{\text{carga máxima}} = \frac{\text{energía consumida durante un periodo}}{(\text{demanda máxima}) \times (\text{tiempo bajo consideración})} \quad (\text{Ec. 1})$$

El factor de carga es un indicador que relaciona, en la planta de beneficio, el consumo de energía real con el proyectado, bajo un escenario de operación continua durante un periodo de tiempo determinado. El factor de carga puede variar entre 0 y 100 %, siendo preferible un valor cercano al 100 %, para garantizar un aprovechamiento eficiente de la capacidad productiva de la planta.

El factor demanda

El factor de demanda corresponde la relación entre la demanda promedio del sistema y la demanda máxima posible. Su cálculo se hace a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Factor demanda} = \frac{\text{potencia promedio (kW)}}{\text{potencia nominal (kW)}} \times 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

Se calcula a partir de la potencia instantánea promedio medida en las instalaciones y se compara con la potencia instalada. Esta variable tiene como objetivo identificar la relación de potencia que realmente está siendo utilizada en la planta de beneficio. Se busca que el factor de demanda se encuentre cerca del 75 % de carga, ya que en este punto los motores eléctricos son más eficientes. A partir de un factor de carga del 90 %, los módulos de producción se exponen a sobrecargas.

Análisis de consumo específico de energía eléctrica

Se determinó el consumo de energía promedio en una jornada laboral de 16 a 24 horas. La energía es

agrupada según áreas de producción donde se conoce la distribución de la planta de beneficio. En este análisis se determinan los indicadores de consumo específico de energía eléctrica (ICEE), los cuales permiten conocer el desempeño de la planta de beneficio. El indicador consiste en la relación de energía utilizada con respecto a la materia prima procesada (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

Análisis de calidad de energía eléctrica

En este análisis se discriminan las pérdidas asociadas a la calidad de la energía eléctrica:

- Pérdidas por energía activa: asociadas al calor disipado por los conductores a causa del transporte de energía.
- Pérdidas por energía reactiva: relacionadas con el exceso de corriente para compensar el bajo factor de potencia.
- Pérdidas por desequilibrios: corresponden a desbalances de la red trifásica por magnetización de la fase y disipación de calor.
- Pérdidas por armónicos: se generan por superposición de frecuencias parásitas que generan oscilaciones en las redes.
- Pérdidas por neutro: se producen por falta de conexión a polo a tierra.

Las causas más comunes de las pérdidas de energía eléctrica asociadas a la calidad, generalmente corresponden a conductores deteriorados o subdimensionados, fallas en la compensación del factor de potencia, fallas en la distribución y aislamiento de la red eléctrica y, para el caso de pérdidas por presencia de armónicos, fallas causadas por la presencia de variadores de frecuencia (Barrera-Hernández *et al.*, 2016).

Resultados

Análisis de generación, fuente o suministro

En la Figura 1 se ilustra el consumo mensual de la planta estudiada para el periodo 2014-2016. En 2014 la planta de beneficio registró un consumo de 4.983 MWh, en 2015 de 4.974 MWh y en 2016 de 3.447

MWh. Es decir, hubo una disminución de 30,75 % en 2016 con relación al promedio de los años anteriores. El menor consumo de energía eléctrica durante 2016 está asociado a la disminución de la fruta procesada (35 % con relación a los dos años anteriores), como consecuencia de la reducción en la producción de fruta, atribuida al fenómeno El Niño que azotó la región y a la renovación de algunos lotes por parte de la plantación. En la Figura 1 se puede apreciar el aumento del consumo de energía frente al promedio de consumo mensual (372 MWh) durante el primer semestre de 2014 y 2015. Estos aumentos están asociados a picos de producción.

En la planta extractora estudiada, la energía eléctrica utilizada en el proceso es suministrada por tres fuentes:

- Sistema de cogeneración con turbina, el cual suministra entre 60 y 80 % de la energía necesaria para el proceso de extracción de aceite.
- Red eléctrica local, la cual suministra lo restante, entre 20 y 40 % de la energía requerida para el proceso de extracción de aceite.

- Plantas diésel que solo entran en funcionamiento para subsanar cortes inesperados o programados en el suministro de energía por la red local y cuando se realiza mantenimiento al sistema de cogeneración.

Distribución de energía consumida según fuente

La Figura 2 representa la evolución de la proporción en el suministro mensual de la energía eléctrica según la fuente utilizada. Esta información permite proyectar metas de consumo. El cálculo del valor de la energía consumida (\$/kWh) es una herramienta necesaria para determinar oportunidades de mejora y tiempos de recuperación de la inversión.

Para el periodo 2014-2016, el 62,8 % del consumo de energía en la planta de estudio provino de la cogeneración, siendo esta la de menor costo con respecto al total ponderado para el mismo periodo, con un valor de 88 \$/kWh (Tabla 1).

Figura 1. Energía eléctrica histórica consumida por la planta estudiada (2014-2016).

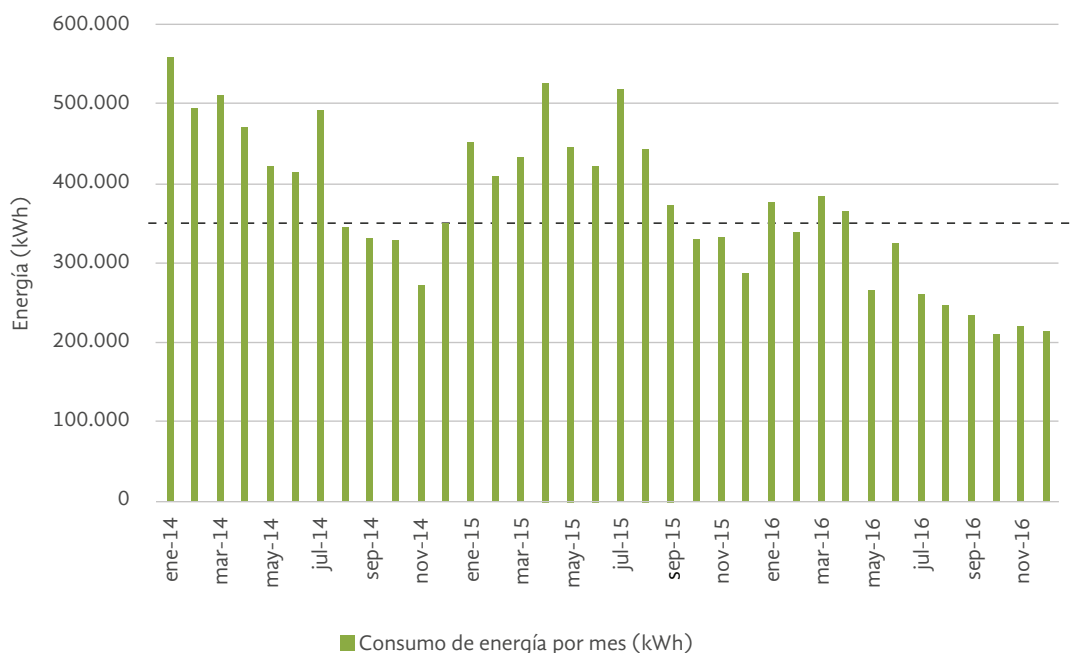


Figura 2. Relación de energía eléctrica consumida según fuente.

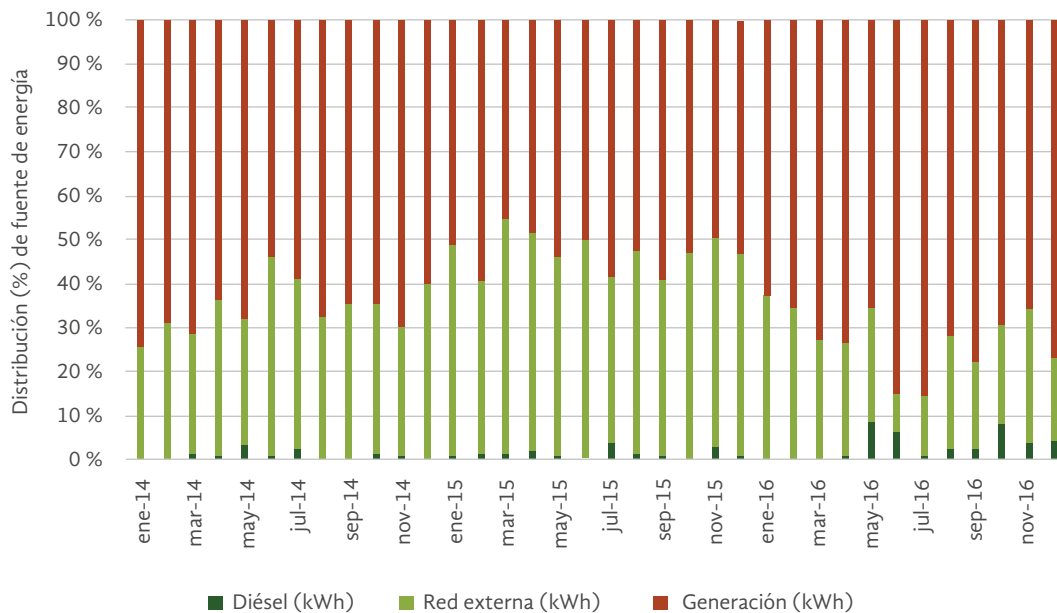


Tabla 1. Costo ponderado de la energía eléctrica para el periodo 2014-2016.

Fuente	Precio (\$/kWh)	Proporción (%)	Precio ponderado por fuente (\$/kWh)	Precio ponderado (\$/kWh)
Cogeneración	140	62,8	88	
Red externa	336	35,5	120	218
Generación diésel	585	1,7	10	

En este orden de ideas, es importante destacar que en el 2016 la planta de estudio instaló un sistema de sincronismo para realizar transferencias automáticas e igualar la frecuencia y el voltaje de las diferentes fuentes de suministro de energía mediante controladores. Durante ese periodo, el 73 % de la energía consumida por el proceso provino de la cogeneración. Esta acción de mejora contribuyó al aumento del factor de carga de la turbina y evitó problemas de contrapresión (menores fallas por operación) y la optimización de los turbogeneradores (mejor administración de la potencia generada).

Análisis de demanda eléctrica

Potencia instalada

A partir de información suministrada por la planta, se agruparon cada uno de los equipos por áreas de proceso mediante un diagrama de Pareto. En total se cuenta con 2.357 kW de fuerza motriz instalada. Se encontró que 80 % de la demanda eléctrica está concentrada en las áreas de generación de vapor, extracción de aceite de palmiste, clarificación, palmistería y recepción de fruta (Figura 3).

En el caso de planta extractora estudiada, se calculó la potencia instalada para cada uno de los módulos anteriormente mencionados. La Figura 4 presenta la fuerza motriz necesaria para el proceso de extracción de aceite, la cual va a depender de la existencia de

equipos en paralelo (*stand by*) y del nivel de tecnología. El objetivo principal del cálculo por módulos de producción es conocer si existen excedentes de fuerza motriz instalada para el procesar una tonelada de fruta.

Figura 3. Diagrama de Pareto de potencia instalada por áreas de producción en la planta estudiada.

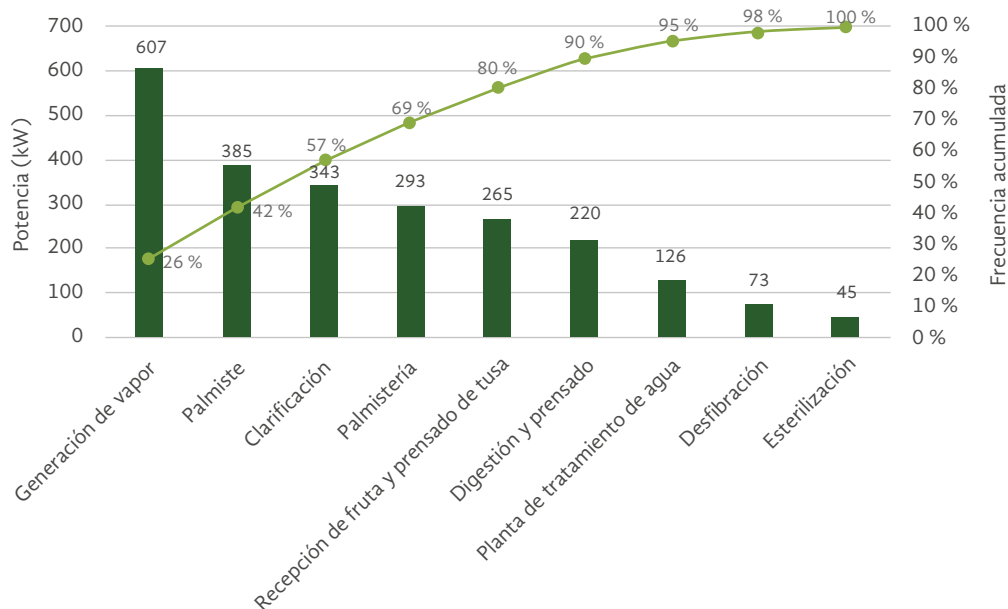
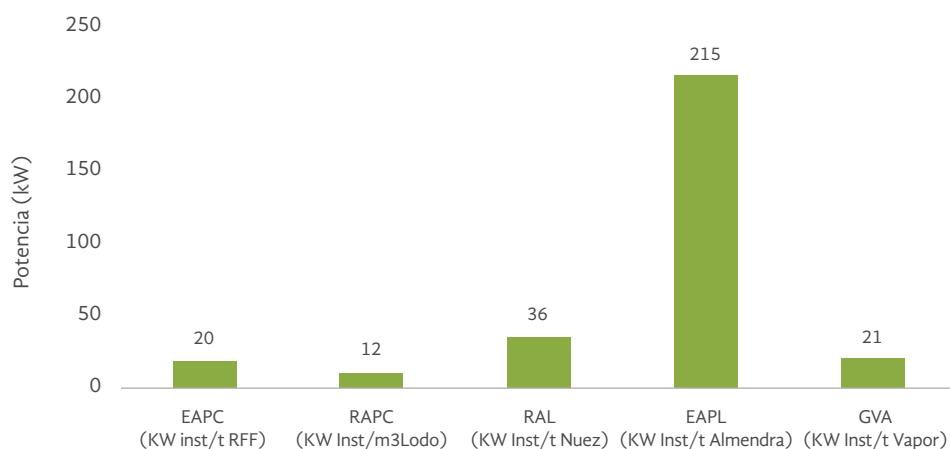


Figura 4. Relación de fuerza motriz instalada por módulos de producción en la planta estudiada.



El módulo de mayor potencia instalada es el de EAPL⁶ como consecuencia del uso de un sistema de doble prensado para extracción de aceite de palmito. Este tipo de tecnología conlleva a tener una línea de prensas tipo *expeller* de igual capacidad para prensar torta. En módulo de RAPC⁷ es el de menor potencia instalada, debido a que la planta en estudio aumenta la capacidad de las centrifugas con el cambio del rotor, manteniendo la misma potencia instalada (Montero-Vega *et al.*, 2013).

Factor de carga

La Figura 5 indica que solo se presentó una etapa (desfibración) con un factor de carga por encima de 60 %, indicando ineficiencia en la utilización de los equipos. En las etapas de generación de vapor y clarificación se presenta un bajo factor de carga debido a que se tienen varios equipos en paralelo (*stand by*). Para otras etapas del proceso como tratamiento de agua, recepción de

fruto o esterilización, la baja utilización se debe a que trabaja por baches o de manera intermitente. El factor de carga no debe ser confundido con el factor demanda, el cual se calcula más adelante.

Con el objetivo de validar la metodología se hicieron mediciones en cada una de las etapas del proceso durante una semana. Sin embargo, se recomienda hacer el cálculo con información mínima de un año. Para obtener un factor de carga más preciso, se sugiere que la planta de beneficio realice individualmente las pruebas de carga en cada motor de la planta o repetir el ejercicio realizado en cada etapa de proceso.

Factor demanda

La planta de beneficio tiene un factor demanda de 41 %. Es decir, solo se utiliza 604 kW de potencia promedio, con respecto a una potencia instalada de 1.472 kW (Figura 6), lo cual indica que existen áreas del proceso en las que se presenta sobredimensionamiento de equipos (como la esterilización) y otras en donde hay equipos en *stand by* (generación de vapor y clarificación).

6 EAPL: extracción de aceite de palmito.

7 RAPC: recuperación de aceite de palma crudo.

Figura 5. Factor de carga por módulos de producción.

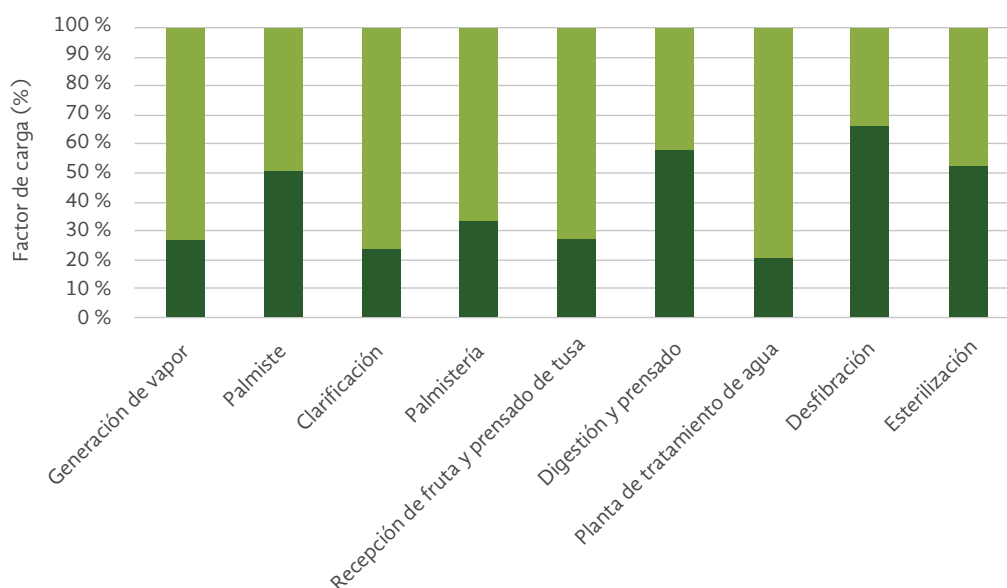
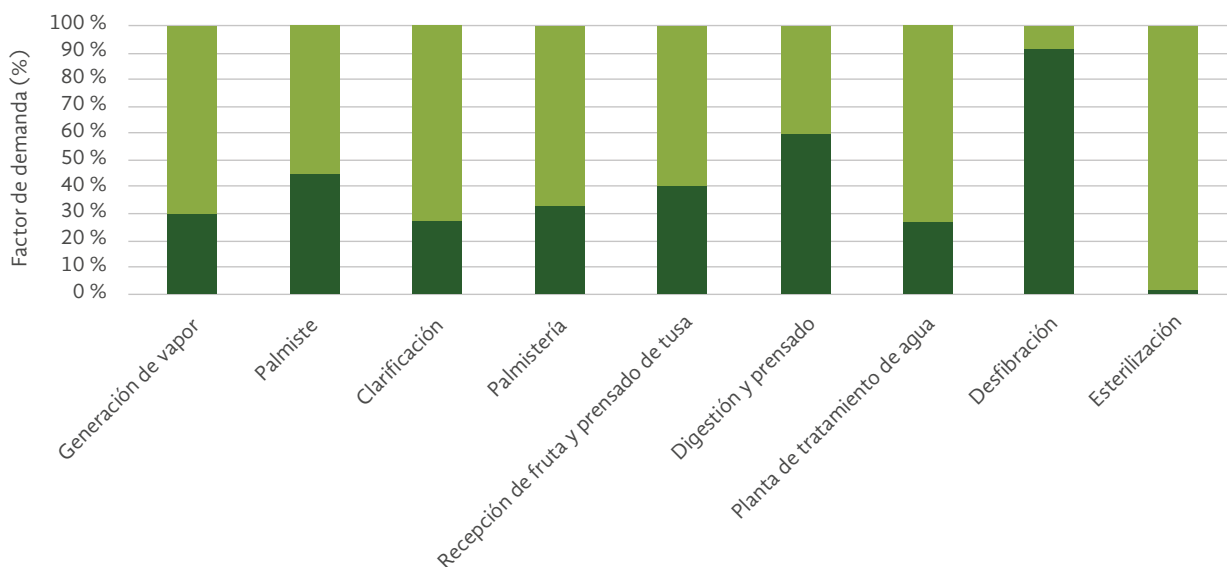


Figura 6. Factor demanda por módulos de producción.



Dado que existe un exceso de fuerza motriz instalada, es necesario aclarar que muchos de los equipos en *stand by* son necesarios debido a la criticidad en el proceso, al uso para mantenimiento de equipos y, en algunos casos, para garantizar la disponibilidad de la planta de beneficio.

Análisis de consumo específico de energía eléctrica

Energía global promedio consumida

La planta extractora de estudio consumió 14.560 kWh por día de producción durante el periodo de evaluación, siendo las áreas de extracción de aceite de palmiste y de generación de vapor las de mayor consumo de energía con 3.697 y 2.561 kWh, respectivamente.

La Tabla 2 presenta la distribución de la energía por cada área de producción de estudio. Adicionalmente, se adjunta el consumo de energía reactiva y el factor de potencia para cada una de las áreas con el objetivo de identificar necesidades de compensación de bajo factor de potencia con banco de condensadores. Es necesario tener en cuenta que se debe mantener un factor de potencia superior a 0,85 con el fin

de reducir al máximo el consumo de energía reactiva. Los bajos factores de potencia en las diferentes áreas de proceso (excepto digestión y prensado) se pueden corregir realizando compensación con banco de condensadores (individuales, por grupos o centralizada). Con la compensación, se reducen la potencia reactiva y la intensidad de la corriente, quedando la potencia real constante; es decir, mejora el factor de potencia.

Indicadores de consumo específico por área de proceso

A partir del ejercicio realizado en la planta de estudio, se determinó un consumo promedio de energía eléctrica de 25,04 kWh/t RFF. El indicador calculado cuantifica la energía utilizada por la planta de beneficio para el proceso, incluyendo la extracción de aceite de palmiste.

La Tabla 3 presenta los valores mínimos, promedios y máximos registrados durante la etapa de medición de consumo de energía eléctrica en la planta de beneficio, de acuerdo con cada área de producción y servicio. Por su parte, la Figura 7 muestra que el área extracción de aceite de palmiste requiere la mayor cantidad de energía para procesar una tonelada de

RFF, con un indicador promedio de 5,24 kWh/t RFF, representando el 20,93 % de la energía consumida por la planta de beneficio. La generación de vapor tiene un indicador promedio de 5,19 kWh/t RFF equivalente a

20,71 %, mientras que la digestión y prensado requieren en promedio 3,35 kWh/t RFF, correspondiente a 13,39 %. Estas tres áreas consumen el 55,03 % de la energía total del proceso.

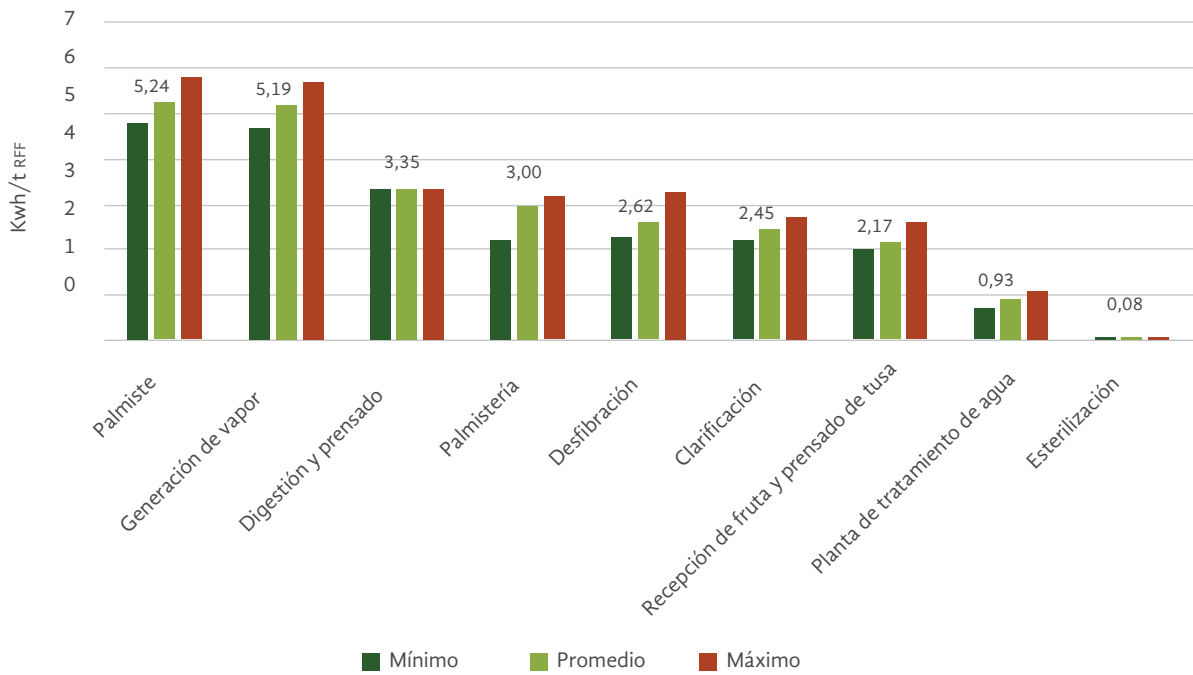
Tabla 2. Energía promedio consumida en la planta de beneficio estudiada.

Áreas de proceso	Energía activa (kWh)	Energía aparente (kVAh)	Energía reactiva (kVArh)	Factor de potencia
Extracción de aceite de palmiste	3.696,61	4.778,85	3.051,09	0,77
Generación de vapor	2.561,21	2.980,94	1.509,40	0,63
Digestión y prensado	1.035,08	1.201,38	601,92	0,87
Palmistería	1.529,90	2.038,73	1.956,59	0,57
Desfibración	901,11	767,12	479,45	0,75
Clarificación	889,44	929,46	876,80	0,71
Recepción de RFF y prensado de tusa	1.754,47	2.731,25	2.045,71	0,72
Planta de tratamiento de agua	564,84	890,81	545,32	0,63
Esterilización	22,27	44,80	34,49	0,26
Total	12.954,92	16.363,34	11.100,78	0,67

Tabla 3. Indicadores de consumo específico de energía eléctrica por módulos de producción.

Energía (kWh/t RFF)	Mínimo		Promedio		Máximo	
	ICEE	Pérdida	ICEE	Pérdida	ICEE	Pérdida
Extracción de aceite de palmiste	4,78	1,13	5,24	1,38	5,82	1,65
Generación de vapor	4,67	1,07	5,19	1,22	5,71	1,37
Digestión y prensado	3,35	0,51	3,35	0,51	3,35	0,51
Palmistería	2,20	0,01	3,0	0,57	3,17	0,68
Desfibración	2,27	0,37	2,62	0,60	3,28	0,83
Clarificación	2,20	0,01	2,45	0,27	2,72	0,44
Recepción RFF y prensado de tusa	2,01	0,30	2,17	0,32	2,59	0,36
Planta de tratamiento de agua	0,73	0,07	0,93	0,07	1,13	0,08
Esterilización	0,04	0,00	0,08	0,00	0,12	0,00
Total	22,26	3,45	25,04	4,94	27,88	5,91

Figura 7. Indicador de consumo específico por módulo de producción.



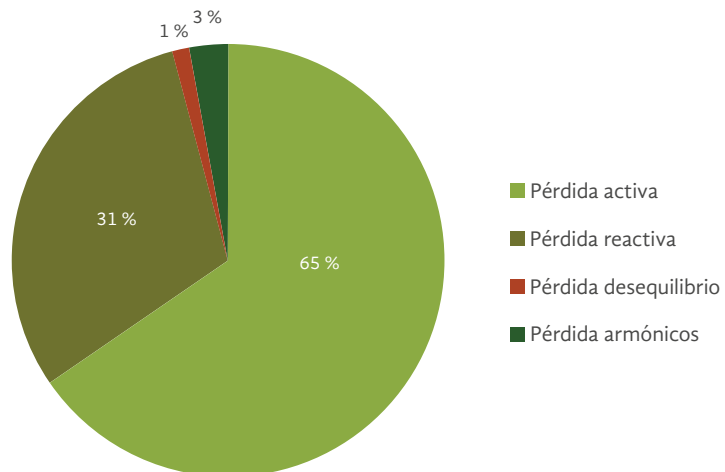
Análisis de calidad de energía eléctrica

Distribución de pérdidas de energía eléctrica asociadas a calidad

La distribución de pérdidas de energía eléctrica permite conocer la relación de cada uno de los componentes de las pérdidas asociadas a la calidad de la energía, de

acuerdo con las condiciones de la planta extractora. La presencia de cada una de las pérdidas mencionadas anteriormente cambia en la medida que mejore la eficiencia de la red. Para el caso de planta extractora de estudio, la Figura 8 presenta la distribución promedio de las pérdidas de energía eléctrica asociada a calidad de la energía eléctrica para el módulo de APC (aceite de palma crudo).

Figura 8. Distribución de pérdidas de energía eléctrica asociadas a la calidad.



Para el caso estudiado, las pérdidas por energía activa y reactiva son las más relevantes. De acuerdo con este resultado, se sugiere la revisión de los conductores de la red de distribución, de modo que se logre reducir al máximo las pérdidas por energía activa. Las pérdidas generadas a causa de energía reactiva deben ser compensadas individualmente en cada uno de los tableros por medio de condensadores. Los tableros de condensadores que actualmente tiene la planta de beneficio solo resuelven los problemas de pérdidas por energía reactiva antes de la red de distribución a las áreas de proceso.

Distribución de pérdidas en indicadores de producción por módulos

La Figura 9 presenta la distribución de las pérdidas por calidad de energía en cada uno de los módulos de producción. Las áreas de prensado, tratamiento de agua, desfibrado y extracción de aceite de palmiste presentan pérdidas promedio por energía activa mayores a 50 % causadas por el nivel de tensión al que operan los equipos (220 V), el estado del cableado y la distancia hasta cuarto de control.

Al respecto, existe una oportunidad de ahorro mejorando las pérdidas por energía reactiva en las áreas de proceso como las de generación de vapor, de esterilización y de palmistería, realizando una compensación del factor de potencia con banco de condensadores.

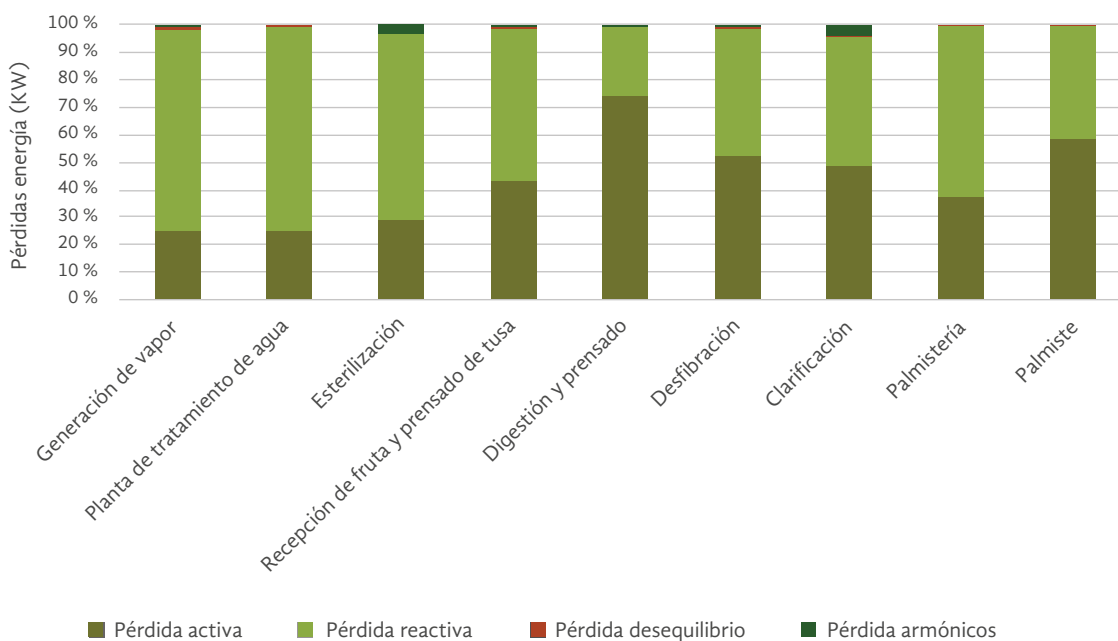
Conclusiones

La metodología de diagnóstico del desempeño en el consumo de energía eléctrica es una herramienta de fácil adopción por parte de las plantas de beneficio, debido a la configuración del sistema energético instalado y a que cuentan con la información necesaria para realizar análisis de generación, fuente de suministro y demanda.

La metodología es una herramienta que permite la identificación de oportunidades de ahorro en el consumo de energía, optimización en el manejo y aprovechamiento de la fuerza motriz instalada. Adicionalmente, discrimina las pérdidas asociadas a la calidad de la energía eléctrica.

La planta de estudio puede disminuir hasta en 16 % el costo ponderado del kW de energía eléctrica, man-

Figura 9. Distribución de pérdidas por áreas.



teniendo el consumo de energía generada por el sistema de cogeneración en un 80 % como en los meses de mayo y junio de 2016.

El potencial de ahorro de pérdidas de energía activa y reactiva de la planta en estudio es de 2 kWh/t RFF. Este ahorro se puede lograr aumentando factor de potencia de 0,67 a 0,90 y subiendo la tensión a 440 V, lo que resulta en un ahorro equivalente al 8 % del costo de la energía eléctrica.

El factor demanda de una planta de beneficio puede verse afectado por un exceso en la fuerza motriz instalada. Sin embargo, en muchos casos, los equipos en *stand by* son usados para asegurar la disponibilidad de la misma. En efecto, su función es la de mantener la capacidad de procesamiento de

la planta, ya que entran en operación cuando hay fallas no programadas. Luego, es necesario hacer un balance entre la criticidad del equipo y su impacto sobre el factor demanda.

Una planta de beneficio que busque ser eficiente debe realizar medición de todas las variables asociadas al proceso productivo, incluyendo la energía eléctrica. Por tal motivo, es necesario implementar indicadores que permita observar las tendencias en el consumo del recurso, tales como el factor de carga, el factor demanda y la relación entre potencia instalada y el consumo de energía específico por áreas de proceso. La cuantificación periódica de estos indicadores permitirá hacer seguimiento al uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

Referencias bibliográficas

- Applus. (2011). *Guía metodológica para el uso eficiente de la energía en el sector de los alimentos*. Bogotá.
- Barrera Hernández, J. C., Ramirez Contreras, N. E., Garcia-Nunez, J. A., & Guevara Trujillo, F. E. (2016). Diagnóstico del desempeño en consumo de energía eléctrica en plantas de beneficio en Colombia. *Palmas*, 37(4), 1-15.
- Edomalt, N. (2013). Optimizing Energy Consumption in Industrial Plants through Effective Energy Monitoring & Targeting. *International Journal of Engineering and Technology*, 2013(7), 1-4.
- EOI Escuela de Negocios & Gas Natural Fenosa. (2008). *Manual de eficiencia energética*. Madrid: Gas Natural Fenosa.
- Grupo de gestión eficiente de energía; Grupo de investigación de energías. (s.f.). *Herramientas para el análisis de caracterización de la eficiencia energética*. Bogotá, Colombia: UPME.
- ISO. (2011). *Sistemas de gestión de la energía ISO/FDIS 50.001*. Geneva: ISO.
- Montero-Vega, J. C., Díaz-Rangel, C. A., Guevara-Trujillo, F. E., Cepeda-Rugeles, A. H., & Barrera-Hernández, J. C. (2013). *Modelo para medición de eficiencia real de producción y administración integrada de información en planta de beneficio*. Bogotá: Cenipalma.
- Yacob, M., Edgar, H., Keywan, R., Thomas, G., & Karsten, N. (2014). *Energy Systems. Mitigation of Climate Change*. New York: Cambridge University Press.