



# Alcances y limitaciones de la gestión de la energía en un ingenio panelero del Valle del Cauca

## Reaches and limitations of energy management in a panela factory from Valle del Cauca

Raquel Vélez-Peña<sup>a\*</sup>, Luis Octavio González-Salcedo<sup>b</sup> y Judith Rodríguez-Salcedo<sup>b</sup>

Recibido: Marzo 07 de 2016

Recibido con revisión: Junio 16 de 2016

Aceptado: Junio 30 de 2016

<sup>a\*</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración  
Carrera 32 vía a Candelaria  
Palmira, Valle del Cauca, Colombia.  
Tel: 2868888 ext. 35746  
rvelezp@unal.edu.co

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración  
Carrera 32 vía a Candelaria  
Palmira, Valle del Cauca, Colombia.  
Tel: 2868888 ext. 34350 - 35746  
logonzalezsa@unal.edu.co  
jrodriguezsa@unal.edu.co

Energética 47, Junio (2016), pp 09-14

ISSN 0120-9833 (impreso)

ISSN 2357 - 612X (en línea)

www.revistas.unal.edu.co/energetica

© Derechos Patrimoniales

Universidad Nacional de Colombia



### RESUMEN

En el presente estudio se presentan los resultados de la evaluación del estado de Gestión Energética y Ambiental en un “Ingenio panelero” del Valle del Cauca, estructurada con la ayuda del Modelo de Gestión Integral de la Energía (MGIE), propuesto por Colciencias y la Unidad de Planeación Minero Energética UPME, integrando además, aspectos ambientales. Se encontró que el nivel de desarrollo técnico-organizativo del sector panelero en el Valle del Cauca, podría llegar a facilitar la integración del Sistema de Gestión de la Energía (SGIE) al modelo de gestión administrativa de las empresas, con el objetivo de eliminar el uso improductivo de la energía, alcanzar los mínimos consumos y costos de la energía posibles sin sacrificio de la productividad ni la generación de empleo y el logro de la mitigación del impacto ambiental asociado al uso de los recursos energéticos..

### PALABRAS CLAVE

Gestión Energética y Ambiental; Ingenio panelero; Valle del Cauca distribución.

### ABSTRACT

The present study shows the results of the evaluation of state's Energy and Environmental Management at panela Factory from Valle del Cauca, structured using the Integral Model Energy Management (MGIE) proposed by Colciencias and Unidad de Planeación Minero energética UPME, also integrating environmental aspects. It was found that the level of technical and organizational development of panela sector in the Valle del Cauca, could facilitate the integration of the Management System for Energy (SGIE) in the administrative management model of enterprises, with the aim of eliminating the unproductive use of energy consumption and achieve the minimum possible energy costs without sacrificing productivity or job creation and achieving the environmental mitigation associated with the use of energy resources.

### KEYWORDS

Energy and Environmental Management; Panela Factory; Valle del Cauca.

## 1. INTRODUCCIÓN

La panela es un alimento de origen natural proveniente del jugo purificado y concentrado de la caña de azúcar. Por sus características y composición es denominada por la FAO como azúcar no centrifugado. Su nombre hace referencia al acto de panificar el jugo de caña, deshidratándolo y solidificándolo en paneles rectangulares o moldes de diferentes formas. (Castellanos, Torres, & Diego H, 2010).

En el ámbito mundial, Colombia es el segundo mayor productor de panela y el mayor consumidor per cápita. (30 kg/año). Su agroindustria se posiciona como el primer renglón generador de empleo rural, (superando al cultivo del café), siendo parte básica de la canasta familiar, y en quinto lugar de los cultivos del país en términos de área cultivada, por lo cual se considera como un soporte a la economía nacional en el mercado interno (Castellanos, Torres, & Diego H, 2010) (Osorio, 2007).

La producción de panela se realiza en medianas y pequeñas explotaciones campesinas mediante procesos artesanales con capacidades de producción inferiores a los 300 kilogramos de panela por hora, en los que prevalece una alta intensidad de trabajo en su mayor parte de carácter familiar (Castellanos, Torres, & Diego H, 2010) (Osorio, 2007).

En el Valle del Cauca se encuentran los grandes productores de panela del mapa panelero nacional conocidos como “Ingenios Paneleros” por su cercanía con la industria azucarera, la producción se desarrolla de forma semi-industrial con capacidad de 500 a 800kg/h. La tecnología de este reducido segmento de unidades de producción se considera “moderno” y exige niveles intensivos de uso de capital (IICA, 2011).

De acuerdo con la Asociación Colombiana de paneleros “ACOPANELEROS”, que agremia los 14 “Ingenios paneleros” del Valle, la producción de Panela anual es cercana a 65.000 toneladas, con un valor de \$100.000'000.000, la cual genera cerca 55.000 empleos entre directos e indirectos y más de 1,5 millones de jornales anualmente. La caña panelera en el Valle del Cauca se cultiva en 39 Municipios, concentrándose en Palmira, Candelaria, Florida, Dagua, San Pedro, Bugalagrande, Versalles, Restrepo, El Dovio, Bolivar, entre otros. Es un eje importante de la economía en 500 veredas. Existen cerca de 3.000 unidades agrícolas y más de 570 trapiches paneleros. El 90% de los productores poseen menos de 5 hectáreas. El área dedicada a la producción de caña panelera es cerca de 10.000 hectáreas (Cruz, 2013).

El proceso de fabricación de panela ilustrado en la figura 1, inicia con el cultivo de la caña el cual requiere de

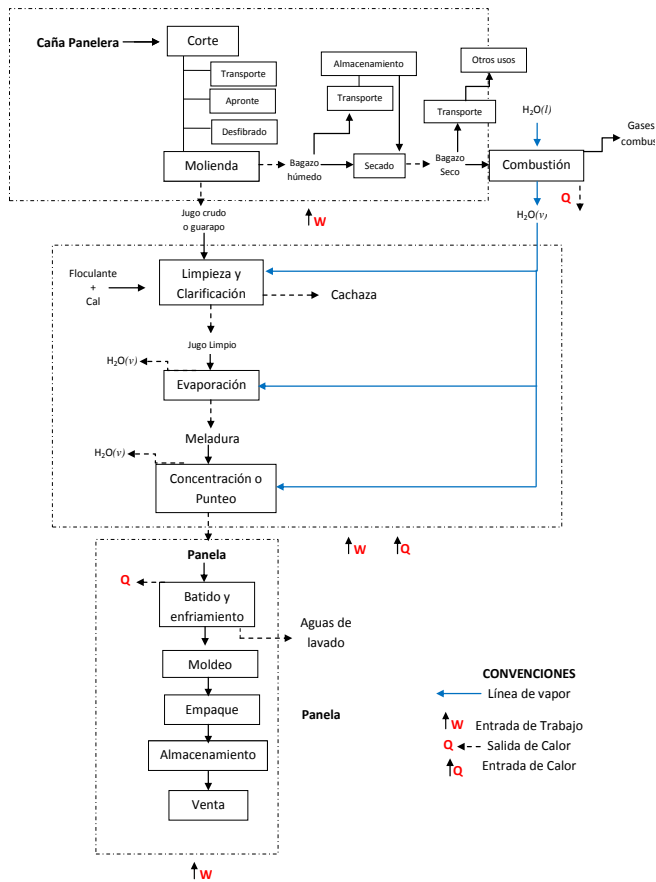
terrenos adecuados para su desarrollo, así como de agro insumos y mano de obra necesarios para el corte, levante y transporte de la misma hasta el trapiche.

Una vez la caña es aprontada, es decir almacenada y alistada para su posterior molienda, pasa por una operación previa de desfibrado en la cual se acondiciona (se parte en trozos más finos) para optimizar la extracción del jugo. Como resultado de la molienda, se separa el jugo crudo de caña o “guarapo” del bagazo o material vegetal. Este jugo sin clarificar se compone de sólidos disueltos (18%-22%), sólidos insolubles ( $\leq$  15%), y Agua (80%) aproximadamente.

El bagazo dependiendo de la eficiencia del molino puede variar su contenido de humedad entre 30-50%, y es reutilizado como biocombustible en las etapas de beneficio del jugo de caña (incluye el conjunto de operaciones tecnológicas posteriores al corte de la caña que conducen a la producción de panela: prelimpieza, clarificación; evaporación del agua y concentración de las mieles). También es utilizado como abono en el cultivo (compost), y en menor medida como alimento para animales (Osorio, 2007).

El jugo pasa a la etapa de limpieza y clarificación en tanques donde mediante la adición de cal (con el propósito de regular la acidez de los jugos a un valor de pH de 5,8) y floculantes químicos o naturales (mucilagos vegetales obtenidos de la maceración de las cortezas de árboles como balso (*Eleocarpus popayanensis*), cadillo (*Triumfetta lapulla*), y guácimo (*Guasimo ulmifolia*)), se separa por decantación de la cachaza (Osorio, 2007).

La cachaza es un subproducto de naturaleza coloidal con un 20% de materia seca, compuesto por sacarosa, azúcares reductores, y algo de ceniza y proteína (Sarria, Solano, & Preston, 1990)



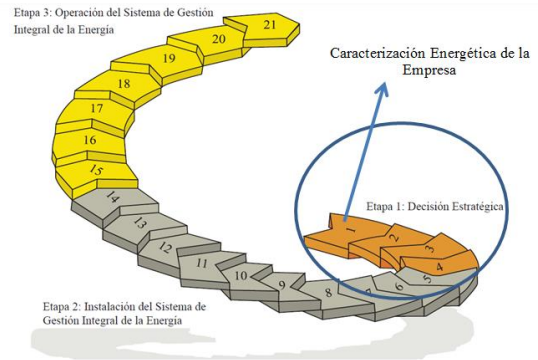
**Figura 1.** Diagrama de Flujo del Proceso de Fabricación de Panela con tecnología vapor.  
**Fuente:** Autor, adaptado de: (ASIAVA, 1992) y (Fonseca, 2002)

El jugo limpio (8–20°Brix) (% sólidos solubles) pasa a evaporación la cual se puede efectuar al vacío, pero que generalmente se realiza abierta, siendo menos eficiente. La temperatura de ebullición de los jugos es de 96-97°C, de allí se obtiene la miel o meladura (70°Brix). A las mieles en ebullición (120-125°C) se le adiciona cera vegetal (cera de laurel) para controlar la espuma y evitar que se pegue en el recipiente, y posteriormente, pasan a la etapa de concentración o punteo hasta alcanzar 91-92 °Brix. El jugo a punto de panela se mece en bateas manualmente, pasa a moldeo donde se deja reposar mientras se enfría y finalmente pasa a empaque y embalaje para su posterior comercialización (García, Peña, López, Durán, & Olvera, 2011), (Osorio, 2007).

## 2. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se desarrolló las dos primeras etapas del modelo de gestión integral de la energía (MGIE) en un ingenio panelero del Valle del Cauca. El modelo ofrece una serie de 21 actividades distribuidas

en tres etapas basadas en el ciclo PHVA de las normas internacionales como se ilustra en la figura 2, que conducen al establecimiento de un Sistema de gestión de la energía (Campos, y otros, 2008).



**Figura 2.** Modelo de Gestión Integral de la Energía  
**Fuente:** (Campos, y otros, 2008)

Se culminó con las cuatro actividades de la etapa 1 denominada “decisión estratégica”, centrándose en la actividad de caracterización energética (primer eslabón), que consiste en identificar la situación actual de consumo energético y evaluar la eficiencia con que la empresa administra y usa todos los tipos de energía requeridos en su proceso productivo, mediante herramientas de caracterización como línea base de consumo, el establecimiento de una línea meta y el seguimiento de indicadores, así como encuestas cualitativas (aspectos energético-ambientales).

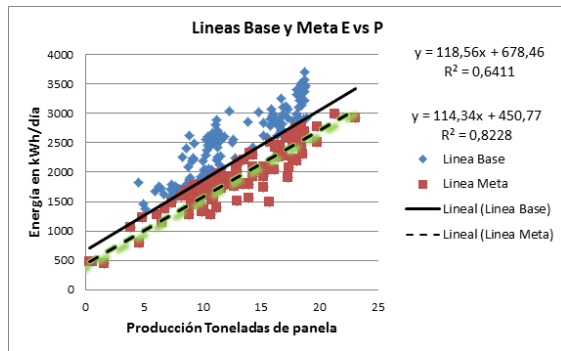
## 3. RESULTADOS

Utilizando la información histórica proporcionada por la empresa se realizó un análisis del consumo de energía eléctrica vs producción de panela, para identificar los patrones de operación dentro del proceso productivo, y determinar la relación entre la energía asociada a la producción y la no asociada, que corresponde generalmente al arranque de equipos, paradas y jornadas de mantenimiento entre otros, y por lo tanto se espera que mediante ajustes operativos su consumo puede disminuir.

Los datos de producción diaria suministrados se manejan en términos de cajas de panela x 40 kg. A partir de esto, se hizo la conversión a toneladas (T) de panela/día. Los datos estudiados corresponden a un periodo de 12 meses (Junio del 2012 a Junio de 2013). Así mismo, se tuvo en cuenta el comportamiento de los consumos de electricidad facturados en los mismos periodos de tiempo.

Como resultado del análisis de datos, se obtuvo una línea de tendencia de consumo de electricidad, denominada “línea base” y una “línea meta” que se construyó teniendo en cuenta datos óptimos de producción y consumo de electricidad. Los datos atípicos se filtraron por el método de residuales. En la figura 3, se presentan las dos líneas filtradas y ajustadas.

En la línea base, se identificó una cantidad de energía no asociada a la producción de 678,46 kWh (diarios), la cual respecto a la línea meta, sugiere un potencial de ahorro diario de 227,69 kWh.



**Figura 3.** Líneas base y meta de consumo eléctrico asociado a niveles de producción filtradas.

**Fuente:** Elaboración propia

Se realizó el cálculo del potencial de ahorro económico horario, diario, mensual y anual, basado en el análisis anterior y teniendo en cuenta la tarifa promedio reportada en la facturación eléctrica (\$225,27/kWh), los resultados se muestran en la tabla 1.

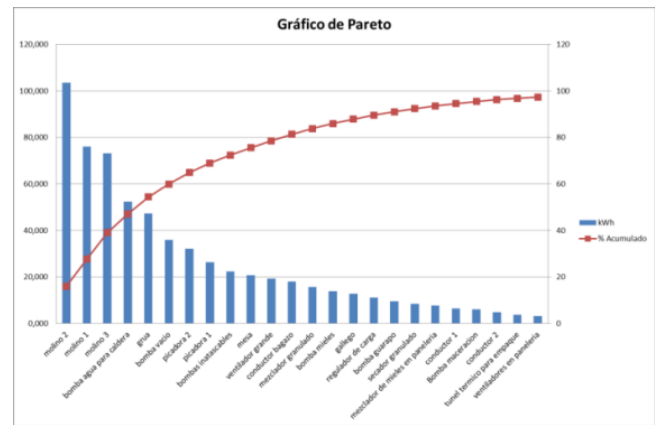
Tiempo	Ahorro kWh	Ahorro \$
Hora	9,49	2.137,2
Diario	227,69	51.292,72
Mensual	6.830,83	1.538.781,74
Anual	81.970	18.465.380,92

**Tabla 1.** Potenciales de Ahorro de Energía por reducción de energía no asociada a la producción

**Fuente:** Elaboración propia

En términos generales los principales inconvenientes en cuanto a la gestión eficiente de la energía eléctrica en el proceso productivo, estuvo relacionado con la falta de uso racional del recurso en aspectos como el funcionamiento y operación de algunos equipos que no son apagados durante las jornadas de receso o en cambios de turnos, al igual que el sistema de iluminación de la fábrica; sumado a la baja eficiencia de los motores, y la obsolescencia de los equipos.

Con las herramientas de caracterización empleadas y diagnósticos de recorrido se construyó el diagrama de Pareto que permitió identificar las operaciones responsables del 80% del consumo de electricidad (ver figura 4).



**Figura 4.** Diagrama de consumo eléctrico asociado a equipos.

**Fuente:** Elaboración propia

De acuerdo al gráfico se observó que la operación de los motores de los molinos (especialmente del molino 2), así como la moto-bomba del agua a caldera y la grúa, es de especial interés para la reducción de consumos eléctricos.

### 3.1 Análisis térmico

Por otro lado, se tuvo en cuenta las condiciones del uso de energía térmica (vapor de agua generado en caldera mediante la combustión de bagazo), evaluando la eficiencia de la combustión y de la transferencia de calor, con el fin de eliminar el uso de leña y aumentar el stock de bagazo; para lo cual se realizó la cuantificación del bagazo consumido aplicando distintas metodologías en diferentes escenarios, encontrándose que en promedio el flujo de alimentación es de 38,5 kg/min, 2,3 T/h y el indicador (1,6-1,8) kg bagazo/ kg de panela ó (64-72) kg bagazo/caja (40kg –panela).

### 3.2 Determinación de la Eficiencia de la Caldera:

Datos de Diseño: Producción de vapor 12.000 lb/h (5.443 kg/h); Presión de diseño:  $P_{diseño}$ : 120 psi; Temperatura del agua:  $^{\circ}T_{H_2O}$ : 80°C, Poder calorífico del bagazo:  $PC_{bgzo} = 3.500 BTU/lb$  (8.141 kJ/kg).

Teniendo en cuenta los datos de diseño de las calderas y el poder calorífico del bagazo, se utilizó los valores

reportados en las tablas termodinámicas para determinar la eficiencia de la combustión del bagazo ( $n$ ), en términos de la masa requerida para la generación del calor teórico a condiciones de diseño. En la tabla 2 se resumen los cálculos.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Q = m_{vapor} \Delta H</math></li> <li>• <math>\Delta H = H_g - H_l</math></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Q_{entra} = Q_{sale}</math></li> <li>• <math>Q = m_{c\ bagzo} \cdot P_{c\ bagzo}</math></li> <li>• <math>m_{bgzo} = Q/P_{c\ bagzo}</math></li> <li>• <math>m_{bzo} = 1.139\ kg \approx 1,14\ T</math></li> </ul>
$H_g 120\ psi = 2.039\ kJ/kg$ $H_l 80^\circ C = 335\ kJ/kg$	
$Q = 5443 \frac{kg}{h} \left( 1704 \frac{kJ}{kg} \right)$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>n = \frac{Combustible\ real}{combustible\ teórico}</math></li> </ul>
$Q = 9.275.035 \frac{kJ}{kg}$	
$n = (1,14\ T)/(2,3\ T) = 49,5\% \quad Ec. (1)$	

**Tabla 2.** Cálculos empleados en determinación de la eficiencia de la caldera

**Fuente:** Elaboración propia

El resultado fue 49,5% de eficiencia en términos de consumo de biocombustible (bagazo), es decir el flujo de alimentación de bagazo que teóricamente generaría la cantidad de calor de acuerdo a los parámetros de diseño es de 1,14 T/h vs las 2,3 T/h, cuantificadas en los ensayos experimentales.

Por otro lado se realizó una termografía a los equipos diagnosticando pérdidas de calor en tuberías y recalentamientos y/o fallas en las conexiones eléctricas.

#### 4. CONCLUSIONES

- El consumo de Energía Eléctrica es uno de los aspectos de mayor atención por parte de los productores de panela (después de la compra de la caña), sin embargo hay desconocimiento de sistemas alternativos de autogeneración y falta de asistencia técnica.
- Con adecuada gestión de los recursos energéticos, planeación de la producción, e implementando cultura de uso racional de energía, se puede alcanzar ahorros equivalentes a \$ 18.465.380,92 en un proceso semi-industrializado a vapor. Para ello es fundamental que el liderazgo de la implementación y aplicación del modelo de gestión esté en la gerencia.
- Las actividades de gestión relacionadas con el mejoramiento de la eficiencia energética en la producción de la panela, así como el cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, es un campo de acción que es de sumo interés desarrollar de manera conjunta y

coherente a las necesidades reales de cada empresa en cuestión, esto se hace posible proponiendo estrategias operativas que integren la gestión energética a la gestión ambiental.

- El incumplimiento de las normas ambientales y de gestión de la energía por razones de tipo social, económico y cultural ha representado una de las principales falencias del sector panelero. Por lo anterior es importante para el país aportar conocimiento en términos de Gestión Energética que conduzca a desarrollar innovación, así como la asignación de recursos para la reconversión tecnológica de la infraestructura y la promoción del consumo.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

A COLCIENCIAS, al Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas GEAL de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira, Facultad de Ingeniería y Administración.

#### 6. REFERENCIAS

- ASIAVA. (1992). Caña azúcar y panela 500 años. Palmira [Colombia] 88 p.
- Campos, J. C., Llorca, E., Meriño, L., Iván, T., Quispe, E., Vidal, J., y otros. (2008). *Sistema de Gestión Integral de la Energía. Guía para la Implementación*. Bogotá: Colciencias- UPME.
- Castellanos, O., Torres, L. M., & Diego H, F. (2010). *Agenda Prospectiva de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Cadena Productiva de la Panela y su Agroindustria en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Proyecto Transición de la Agricultura. Grupo de investigación Biogestión*. Recuperado el febrero de 2011. .) [En línea]. Disponible en: Biblioteca digital Universidad Nacional Repositorio institucional: <http://www.bdigital.unal.edu.co/>
- Cruz, A. (14 de Octubre de 2013). Continúa sin solución la crisis del sector panelero Colombiano. *El País*, pág. B1.
- Fonseca, S. (2002). *Guía Ambiental para el Subsector Panelero. República de Colombia. Ministerio del Medio Ambiente*. Recuperado el 19 de Octubre de 2013 [En línea]. Disponible en: [http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia\\_ambiental\\_panelera.pdf](http://www.fedepanela.org.co/publicaciones/cartillas/guia_ambiental_panelera.pdf)



- García, H., Peña, A., López, R., Durán, E., & Olvera, G. (2011). *Desarrollo de un sistema de evaporación y concentración de jugos de múltiple efecto para mejorar la eficiencia térmica y Productividad y disminuir el impacto ambiental en la producción de Panela*. Recuperado el 19 de Octubre de 2013. [En línea]. Disponible en: Corpoica: [http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/1876/1/Microsoft%20Word-MINAGRICULTURA.-\\_proyecto%20Pa.pdf](http://201.234.78.28:8080/jspui/bitstream/123456789/1876/1/Microsoft%20Word-MINAGRICULTURA.-_proyecto%20Pa.pdf)
- IICA. (2011). *Bases para un acuerdo de desarrollo de la cadena agroindustrial de la panela*. Recuperado el 23 de Mayo de 201 [En línea]. Disponible en: IICA Technical information center: <http://repiica.iica.int/docs/B0126E/B0126E.PDF>
- Osorio, G. (2007). *Manual Técnico: Buenas Prácticas Agrícolas -BPA- y Buenas Prácticas de Manufactura -BPM-en la Producción de panela*. Recuperado el febrero de 2012 [En línea]. Disponible en: FAO: <http://www.fao.org.co/manualpanela.pdf>
- Sarria, P., Solano, A., & Preston, T. R. (July de 1990). Utilización de jugo de caña y cachaza panelera en la alimentación de cerdos. *Livestock Research for Rural Development*, 2(2).