

Indicators of energetic performance: A path to sustainability. “A case study of a high-roasting industry of coffee”

Jenny Lorena Iburguen-Valverde, Jorge Eduardo Angulo-López, Judith Rodríguez-Salcedo & Omar Prías-Caicedo

Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. ylibarguenv@unal.edu.co, jeangulol@unal.edu.co, jrodriguez@unal.edu.co, jrodriguez@unal.edu.co

Received: May 29th, 2017. Received in revised form: September 14th, 2017. Accepted: October 11th, 2017.

Abstract

The result of the massive production of goods and services; has led our civilization to deal a major challenge: turning industrialized economies into sustainable industrial systems. The indicators of energetic performance achieve to improve the productive-energetic capacity of any organization and contribute to generate economic value, to reach the competitiveness and to mitigate the environmental impact. In the present research established the indicators of thermal energetic performance in one of nine high-roasting industry of coffee which cover more 90% of market in Colombia. The methodology used was based on the integral model of energy management. This study allowed to identify factors that affect directly the use and consumption of energy as the maintenance, the leaks of heat and lack of pressure and air calibration according to required power and to determine the scale of savings and expense in excess of thermal energy and CO₂ amounts.

Keywords: Indicators of energetic performance; sustainability; high-roasting industry of coffee.

Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad. “Caso de estudio una industria torrefactora de café”

Resumen

El resultado de la producción masiva de bienes y servicios; ha llevado a nuestra civilización a enfrentar un importante reto: convertir las economías industrializadas en sistemas industriales sustentables. Los indicadores de desempeño energético logran mejorar la capacidad energético-productiva de cualquier organización, contribuyen a generar valor económico, alcanzar la competitividad y mitigar el impacto ambiental. En el presente trabajo se establecieron indicadores de desempeño de energía térmica en una de las nueve industrias torrefactora de café que cubren el 90% del mercado nacional. La metodología empleada se basó en el modelo de Gestión Integral de la Energía. Se identificaron como variables que impactan negativamente en el uso y consumo de energía: el mantenimiento, fugas de calor y falta de calibración de la presión y aire en el quemador conforme a la potencia requerida; y se determinó la magnitud del ahorro y/o gasto en exceso de energía térmica y toneladas de CO₂.

Palabras Claves: Indicadores de desempeño energético; sustentabilidad; industria torrefactora de café.

1. Introducción

El desarrollo económico basado en la producción masiva de bienes y servicios, ha traído consigo severos daños al ambiente, producto del crecimiento demográfico y el excesivo uso y/o consumo de recursos frente a la capacidad de carga mundial. Dicha situación ha llevado a nuestra civilización a enfrentar un importante reto en el que se deben

replantear los procesos de producción e implementar prácticas orientadas a la sustentabilidad [1,2].

Los indicadores de desempeño energético, son las expresiones y valores usados para monitorear, controlar y/o supervisar cambios en el rendimiento de la energía, y reducir pérdidas energéticas en cualquier proceso productivo lo que permite, a cualquier organización a través de gestión, establecer planes estratégicos para alcanzar metas a corto, mediano y largo

How to cite: Iburguen-Valverde, J. L., Angulo-Lopez, J. E., Rodríguez-Salcedo, J. and Prías-Caicedo, O., Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad "Caso de estudio una industria torrefactora de café" DYNA, 84(203), pp. 184-191, December, 2017.

plazo, así como obtener y mantener altos niveles de eficiencia energética [3,4]; pueden expresarse como una simple medida, un cociente o un modelo más complejo [5].

Dado que el desempeño energético se relaciona con la manera en que la energía es empleada, la cantidad de energía que es consumida, y la eficiencia con la que la energía se usa para lograr un resultado deseado, es importante notar que rara vez este puede ser representado con un solo valor o medida. La aplicación de indicadores de desempeño energético en industrias tales como el cemento, ha permitido identificar ahorros en el área de trituration de 18.346 KWh.día [3]

Los indicadores de desempeño energético deben contar con las siguientes características i) Estar basado en información confiable, ii) Ser transparente y verificable, iii) Estar basado en información específica con relación al proceso/sistema y el tiempo, iv) Poder medir cambios en una condición o situación a través del tiempo, v) Facilitar observar de cerca los resultados de iniciativas o acciones y vi) Ser instrumentos valiosos para determinar cómo se pueden alcanzar mejores resultados en proyectos de desarrollo [6].

Aplicando este concepto en el ámbito ambiental, los indicadores son una importante herramienta de medida, que permiten expresar los resultados relativos al desempeño ambiental y acompañar la evolución de las empresas en la implementación de acciones que conllevan a mejorar en el camino de la sustentabilidad [7].

El concepto de sustentabilidad ha sido ampliamente discutido, analizado y definido, La Comisión Mundial del Ambiente y Desarrollo define el desarrollo sustentable como aquel que permite a la generación actual satisfacer sus necesidades sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus necesidades propias (World Commission on Environment and Development, 1987) [8] dado su difícil delimitación y definición absoluta, a pesar de ello las múltiples discusiones ha contribuido, al menos, a la aceptación de que el desarrollo sustentable constituye un concepto multidimensional que involucra, como mínimo, dimensiones económicas, sociales y ambientales, es decir, se trata de una idea amplia y compleja, que desborda el constructo teórico tradicional de las ciencias, y que deberá abordarse desde un ángulo interdisciplinario y de intercambio racional de ideas [9].

Las empresas en el escenario actual, han venido enfrentando diferentes presiones ciudadanas, que abarca aspectos no solo económico-financiero y de compromiso social; sino que además precisa de un análisis de los distintos grupos de interés y de la visión de las generaciones futuras en la gestión del compromiso ambiental, como parte del eje de la que hoy se hace llamar “empresa sustentable” [10].

En Colombia, los retos del desarrollo sustentable difieren de sector a sector por la naturaleza misma de su actividad económica; sin embargo, en todas las ramas es posible encontrar y destacar algunos ejemplos de compañías comprometidas con la sustentabilidad, tal es el caso de: Colcafe, Cartón de Colombia, Aerorepublica, indupalma, Bavaria y Alpina, quienes han logrado incluir prácticas que contribuyen al desarrollo mediante el compromiso ambiental [11].

En consonancia con estas iniciativas, se ha buscado generar modelos que de manera visual y sencilla puedan

revelar el deterioro o las mejoras ambientales provocadas por las empresas, los procesos o los productos, bajo una óptica de disminución del impacto y del riesgo ambiental y máximo aprovechamiento de energía y recursos naturales [12]; y frente a este panorama se plantea los indicadores de desempeño energético como una ruta hacia la sustentabilidad. Dado que estos no requieren una alta inversión, permiten mejorar la capacidad energética productiva de cualquier organización, contribuyen a: generar valor económico, alcanzar la competitividad y mitigar el impacto ambiental [4].

En el presente trabajo: se establecieron indicadores de desempeño en el portador energético térmico en una de las diez industrias torrefactora de café que abarcan el 90% del mercado interno. La industria de Café representa parte importante en la economía de Colombia, como motor potencial para reducir la pobreza y distribuir el ingreso en la población rural, en el hecho de que esta actividad genera hoy uno de cada tres empleos [13]. El café está presente en casi el 90% de los hogares colombianos; y a pesar de que se registran mayores crecimientos en el consumo de cafés instantáneos debido a su practicidad y al rápido ritmo que la vida moderna impone, la tradición y el rito de preparación del café tostado y molido siguen siendo el preferido; se registran consumos a escala: mundial del 76% (incluye lo consumido en los países productores) [14]; y nacional del 86% (por cada 100 kilos de café consumidos) [15].

2. Metodología

La presente investigación se desarrolló en el marco del proyecto “Optimización Energética en el Proceso Productivo del Café y Valoración del Impacto Ambiental” [16]; el cual está adscrito al Programa Estratégico Nacional en Gestión Energética-PEN: SGIE [17].

2.1. Selección de la empresa piloto

La empresa piloto, se seleccionó de acuerdo a los siguientes criterios:

- La industria torrefactora debía pertenecer a las empresas que manejan el 90% del mercado interno, según información suministrada por el Programa Toma Café; y por [18].
- Debía estar adscrita ante la Federación Nacional de Cafeteros y procesar café 100% colombiano.
- La industria debía aceptar los compromisos y obligaciones correspondientes a las actividades de diagnóstico, caracterización energética y establecimiento de medidas de optimización.

Una vez establecidas las empresas más representativas del sector torrefactor a nivel nacional, se inició el acercamiento con los jefes de producción o mantenimiento de cada empresa. Durante esta fase se realizaron visitas de diagnóstico de recorrido al proceso productivo.

2.2. Cálculo de la huella de carbono

Se estimó la huella de carbono en la industria torrefactora de café en CO₂ equivalente, resultado de la combustión de



Figura 1. Metodología para construcción de indicadores de desempeño energético.
Fuente: Autores

Gas Natural, siguiendo la metodología PAS 2050:2011. [19]. El análisis se limitó al proceso de transformación del café verde a café tostado. El factor de emisión empleado para el gas natural fue de (2.1908 kgCO₂/m³), que proviene de Cusiana (Dato tomado de la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, disponible en: http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html).

2.3. Propuesta de indicadores de desempeño energético como ruta hacia la sustentabilidad

Partiendo del concepto teórico de sustentabilidad definido por [20-23]; se planteó el postulado: indicadores de desempeño energético: una ruta hacia la sustentabilidad; esta premisa se enmarcó dentro de tres dimensiones: I) Económico; concebido desde el ámbito lucrativo de la empresa o de viabilidad técnico-económica., II) Social donde prevalece la integridad y el bienestar del ser humano y III) Ambiental que está ligada a la preservación de los recursos productivos; a la administración eficiente y racional de los recursos naturales y perpetuidad del ecosistema.

2.4. Construcción de indicadores de desempeño energético

Los indicadores de desempeño energético, se establecieron siguiendo la metodología descrita en la Fig. 1.; el cual está basada en la metodología de Rodríguez. et al., 2014 [4]

2.4.1. Diagnóstico energético e identificación actual de la estructura energética-productiva de la empresa

En esta etapa se estudió la distribución, el uso y/o consumo de la energía térmica en el proceso productivo y se analizó el costo del energético en el año 2014. Esto con el fin de establecer el punto de partida de plan de medidas de uso eficiente de la energía. Se realizaron visitas técnicas al proceso productivo y entrevistas al personal de la empresa.

2.4.2. Establecimiento del modelo matemático

El modelo matemático que correlaciona el consumo de Energía en función de la producción, fue definido tomando datos de consumo de Energía térmica y producción diarios desde el mes de julio a diciembre de 2014, se filtró el 15% de datos atípicos que presentaron mayor grado de dispersión o

Tabla 1.
Límites del coeficiente de correlación- r^2

Descripción	Límites de r^2
Correlación Perfecta	$r=1$
Correlación Excelente	$0,90 < r < 1$
Correlación Aceptable	$0,80 < r < 0,90$
Correlación regular	$0,60 < r < 0,80$
Correlación Mínima	$0,30 < r < 0,60$
No hay correlación	$0 < r < 0,30$

Fuente: Tomado de [24]

variabilidad absoluta entre las variables, por el método estadístico de residual estandarizado (eliminar residuales estandarizado por fuera de 1,1/-1,1); y se generó el gráfico de dispersión y la función eq. (1) que expresa el consumo real de energía frente a la producción. La línea de tendencia se aprobó con un nivel de correlación significativo es decir $r^2 > 60$ (observar la Tabla 1.).

$$E_t = mP + E_o \quad (1)$$

De donde:

E_t = Consumo de Energía teórico en el periodo de estudio
 m = Pendiente de la recta, que representa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.

P = Producción en el periodo de estudio

E_o = Intercepto del eje X, que corresponde a la energía no asociada a la producción.

mP = Es la energía utilizada en el proceso productivo.

2.4.3. Generación, análisis y seguimiento de indicadores

Una vez se obtuvo la línea de tendencia o línea base conforme al periodo de estudio, se establecieron los indicadores de desempeño energético: Índice de Consumo-IC, Tendencia o Sumas Acumulativas-CUSUM e Indicador base 100, estos se representaron a través de gráficas que simbolizan diferentes comportamientos que impactan la eficiencia energética, según como se detalla en las Figs. 2-4. Finalmente se realizó un seguimiento al rendimiento energético en los meses de enero y febrero del 2015.

Los indicadores en este estudio fueron expresados en unidades de MBTU/kg.

- Índice de Consumo-IC:

Este indicador que mide el nivel de eficiencia y/o ineficiencia asociado a la producción, se determinó sustituyendo la eq. (2).

La curva de referencia con asíntota en el eje de las abscisas (x); se construyó con valores de consumo de energía teórico hallado en la eq. (1).

$$IC = \frac{E}{P} = m + \frac{E_o}{P} \quad (2)$$

- Tendencia o Sumas Acumulativas-CUSUM

Este indicador que evalúa la variación del consumo de energía conforme a la producción en un periodo base, se elaboró empleando la eq. (3). La magnitud de energía sobreconsumida o dejada de consumir se cuantificó con el valor del gas natural actual que corresponde a \$1.065,97

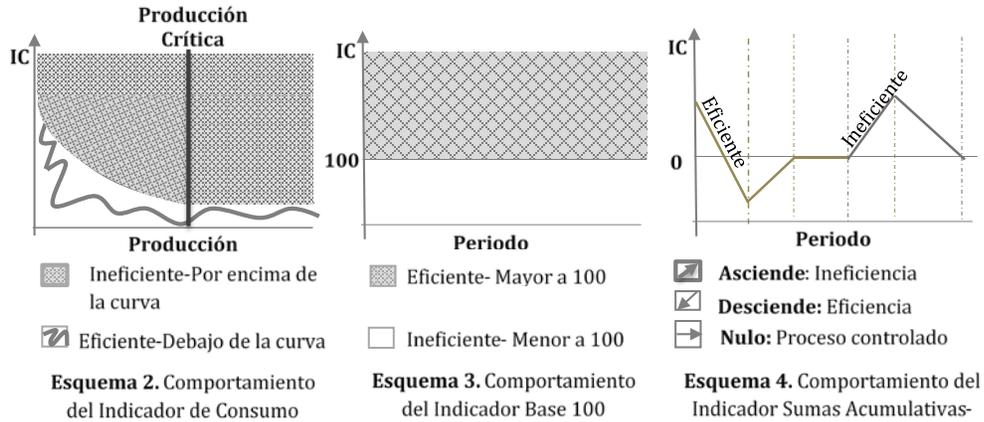


Figura 2. Comportamiento de los indicadores de desempeño energético
Fuente: Autores

$$CUSUM = [(E_{r_i} - E_{t_i}) + (E_{r_{i-1}} - E_{t_{i-1}})] \quad (3)$$

De donde:

E_r =Consumo de energía real

E_t =Consumo de Energía teórica para una producción dada.

- Indicador Base 100

Esta herramienta de gestión que permite analizar el uso de energía en un periodo determinado; tomando como referencia y/o cumplimiento el valor de 100, se obtuvo aplicando la eq. (4).

$$B100 = \frac{E_t}{E_r} \times 100 \quad (4)$$

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados de la investigación.

3.1. Diagnóstico de energético e identificación actual de la estructura energética-productiva de la empresa

La industria piloto, comercializa café tostado y molido y tiene un promedio de producción diaria de 3000 kg. La energía térmica que proviene del gas natural, es utilizada solo en el proceso de tostado en los quemadores que calientan el aire para tostar el café. (Ver Fig. 3). Se cuenta con 1 medidor de gas natural, a partir del cual es posible obtener de manera general, los consumos de energía térmica asociados a las dos tostadoras. El consumo promedio del energético es de 391.98 MBTU/día, que equivale a 858,75 Kg de CO₂ emitidos, este constituye: el 88% del consumo total de Energéticos y el 77% del gasto económico estimado en \$ 139.624.925 anuales; por tal razón se estudió. Es importante destacar que en el año 2014 la empresa de servicios de gas natural incrementó el precio en un 1.2 %, esto debido a los cambios de presión, solicitados por la industria para el mejoramiento del desempeño productivo. La empresa registra la producción en lotes y tienen definido como unidad equivalente: 62 kg equivale a un lote.

3.1.1. Descripción del proceso (Fig. 3.)

Antes de iniciar el proceso de tostado se realizan las mezclas de café en el laboratorio y posteriormente se efectúan en la tolva a donde ingresan todas las variedades de grano verde.

- ✓ **Monitoreo:** Los sacos de café pergamino proveniente de la trilladora, se pasan por el Monitor de almendra, el cual realiza la limpieza a los granos. El equipo dispone de imanes que sirven para retirar las impurezas y residuos de hierro aún presentes.

Los granos de café que han sido monitoreados, caen a unas tolvas hasta completar lotes de 62 kilos y luego son transportados por medio de una banda de cangilones hasta las dos tostadoras con capacidad de 62 a 72 kilos por bache.

- ✓ **Tostado:** El tostado es un proceso complejo que implica cambios principales de los granos verdes de café en términos de peso, densidad, color y sabor; y que involucra la transferencia de energía (del tostador al grano) y la transferencia de masa (vapor de agua y compuestos volátiles desde el grano al medio ambiente). Los granos verdes son tostados a altas temperaturas (160-240 °C) en tiempos comprendidos entre 8 y 20 min; a través del flujo forzado de gases calientes producidos mediante la combustión del gas natural, en esta etapa se le otorga al grano las características de tostado de acuerdo al tipo de café que se procesa. El operario de forma visual determina cuando está listo para continuar en proceso.

Las dos tostadoras de cilindro cuentan con un sistema de inyección de agua (3 litros de agua de acueducto por lote) y aire comprimido, que se encargan de enfriar y/o bajar la temperatura a los granos tostado.

- ✓ **Molienda:** Mediante un elevador de cangilones; los granos son llevados a la sección de molienda o a la sección de empaque en el caso del café tostado tradicional en grano, los granos tostados son empacados en una máquina que tiene una tolva con un sensor que facilita el llenado automático del café tostado en las bolsas.

El café que va hacer molido, sube por el elevador hasta el molino de marca Med Brasileiro, el cual tiene un par de rodillos y motores de 10 hp y 15 hp que logran una mayor

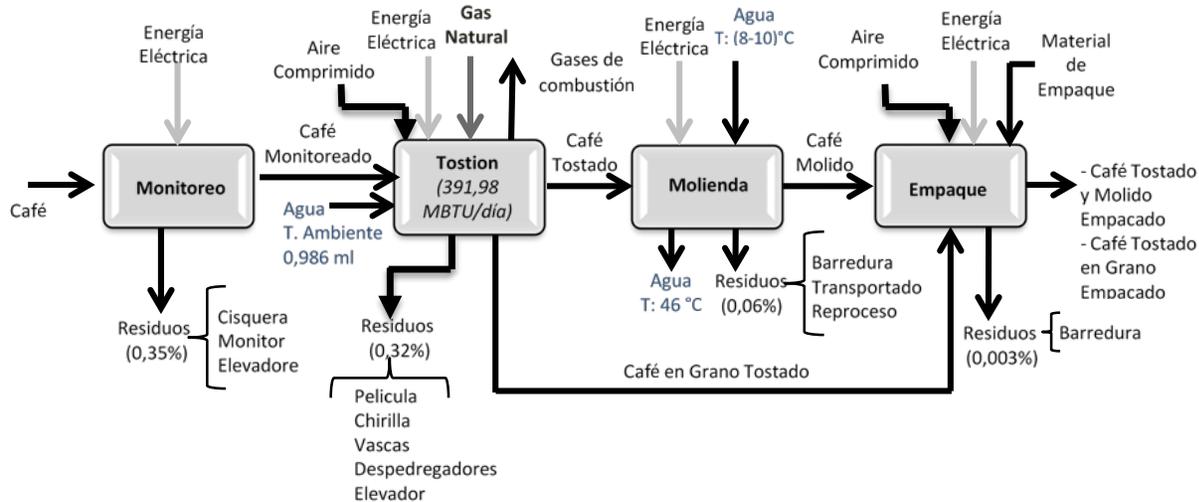


Figura 3. Diagrama energético - productivo industria torrefactora de café
Fuente: Autores

fineza en los granos, en el primer rodillo se da la separación o ruptura del café y en el segundo se homogeniza los cortes y se hace el ajuste. La mezcla de aire y material particulado que se genera en el proceso, son absorbidos por una campana de extracción.

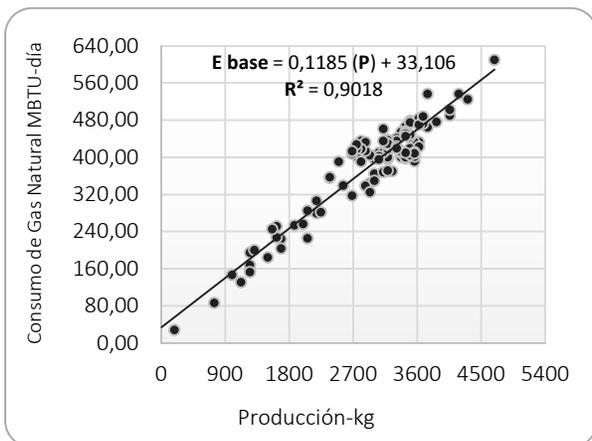
Empaque: Luego de la molienda, el café molido es transportado hasta las empacadoras. Los paquetes tienen un calibre de 3 láminas.

En todo el proceso se extraen muestras de agua, café pergamino, café molido y tostado para verificar la calidad.

3.2. Modelo matemático

La línea base de consumo de energía térmica vs. Producción (ver Gráf. 1), presenta un excelente grado de correlación entre las variables- $r^2=0,9018$.

Para ajustar el r^2 , es decir $r^2>90$; es importante: I) Registrar y adicionar la cantidad de los residuos diarios a la producción. II) Consignar el peso exacto de cada lote de producto procesado.



Gráfica 1. Modelo matemático de regresión lineal. Consumo de energía térmica vs producción.
Fuente: Autores

3.3. Indicadores de desempeño energético

Conforme a las ventajas que ofrecen los indicadores de desempeño energético para el mejoramiento de la eficiencia energética en un equipo, proceso, área y/o planta, se presentan los indicadores tomando como caso de estudio la industria torrefactora de café.

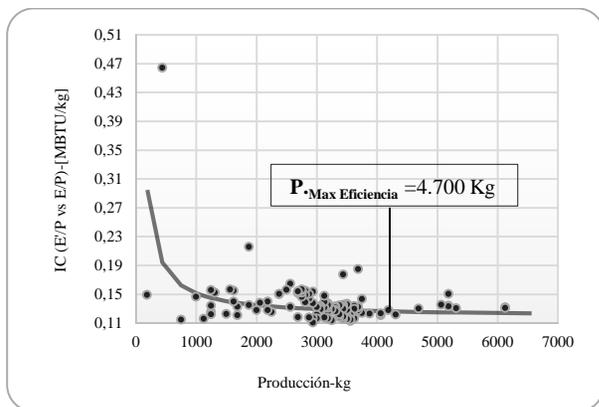
3.3.1. Índice de consumo

Los índices de consumo establecen la relación óptima entre la energía y la producción. De este modo el índice de consumo es una herramienta que contribuye a la programación de la producción [12].

En el análisis de estas dos variables es importante considerar que la variación en los volúmenes de producción impacta positivamente o negativamente el consumo de energía. Se observa que a medida que la producción disminuye es posible que aumente el consumo total de energía, como se aprecia en la ecuación de la línea recta: $E_t=m(P)+E_0$, porque el gasto energético por unidad de producto aumenta, esto debido a que se incrementa el peso relativo de la energía no asociado a la producción respecto a la energía productiva. Autores como Castrillón, R. *et al.*, 2014; Monteagudo, J. & Gaitán, O. 2005 [3,25]; manifiestan que, para lograr mejorar el desempeño energético, se deberá establecer el índice de consumo mínimo alcanzable, que se obtiene cuando se trabaja a niveles productivos iguales o superior a la producción a la máxima eficiencia-PME o producción crítica.

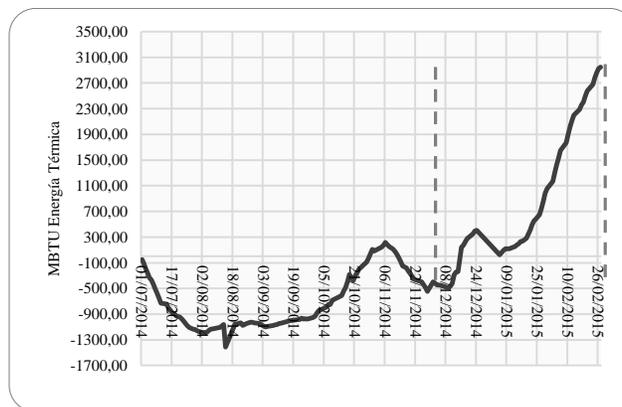
En el caso de la industria piloto, el comportamiento general del energético en relación al índice de consumo real, reflejó que el 48,12 % de los puntos se localizaron por debajo de la curva, lo que evidencia un alto grado de ineficiencia asociada a la producción; (ver Gráf. 2).

El índice de consumo promedio registrado en el proceso fue de 0,13 MBTU/Kg, este valor deberá ser ajustado a 0,12 MBTU/kg que equivale a producir igual o mayor a 4.700 kg



Gráfica 2. Índice de consumo de energía térmica en industria torrefactora de café.

Fuente: Autores



Gráfica 3. Indicador de tendencia o sumas acumulativas-CUSUM en la industria torrefactora de café

Fuente: Autores

día. Por tanto, para mejorar el comportamiento energético, la organización deberá plantear nuevos esquemas de producción, en relación a la planificación.

3.3.2. Tendencia o sumas acumulativas (CUSUM) de energía térmica

El indicador CUSUM monitorea la tendencia de consumo energético en el proceso y determina la magnitud del ahorro o las pérdidas producidas en un periodo actual en relación a un periodo base. [3]. Esta herramienta sirve para establecer los rangos en los cuales debe permanecer variables de proceso que impactan el consumo, para ello es importante graficar en un eje secundario vertical los valores obtenidos de las variables a las que se les efectuó el seguimiento durante el tiempo de estudio del indicador [4].

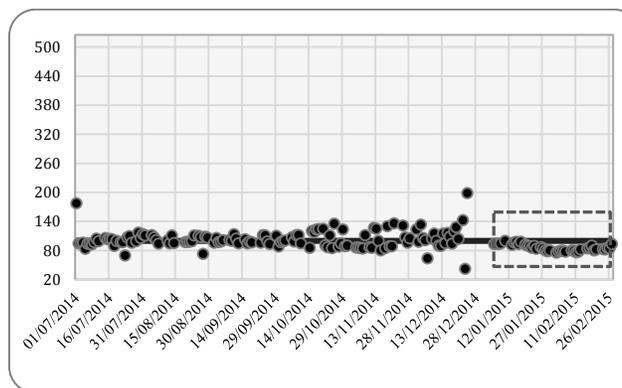
En el proceso de torrefacción de café, es posible identificar lo siguiente: (ver Gráf. 3).

- I. En el mes de Julio el proceso operó de forma eficiente y luego entre el 04 y 28 de noviembre de 2014 se presentó el mismo comportamiento.
- II. Los periodos entre: i) el 06 de agosto hasta el 04 de noviembre y ii) el 03 de diciembre de 2014 hasta el 26 de febrero de 2015, se ha sobre consumido el energético.

Desde enero hasta febrero del año 2015; se presentó un sobreconsumo en el energético de 2.947 MBTU que equivale en pesos a unos \$3.141.413 y un valor de emisión de 6.456,29 Kg de CO₂.

Los periodos de ineficiencia presentados en las diferentes fases de tiempo fueron analizados y evaluados; de acuerdo a los registros de fallas, planes de mantenimiento y conceptos técnicos. Los bajos rendimientos energéticos se relacionaron con (ver Gráf. 4):

- Deficiencias en el aislamiento de los equipos de tostado.
- Falta de mantenimiento de equipos, a causa de los altos volúmenes de producción que se presentaron en los últimos meses; a raíz de que la empresa no disponía de personal suficiente para cubrir al 100% las actividades
- Desgaste de los equipos a causa de la antigüedad de los equipos (> 30 años).
- Variabilidad operacional, resultado de la falta de sistemas



Gráfica 3. Indicador base 100 en industria torrefactora de café.

Fuente: Autores

de regulación y control, principalmente en la temperatura y tiempos de tostado; y la rotación o flujo de gases tostados.

Estudios realizados por Serna., C (2010), han demostrado que un buen mantenimiento en los equipos, procesos y/o áreas, mantendría el consumo de energía dentro de un límite razonable. Citado en [26]. Los tiempos muertos o en vacío de equipos como molinos, y ventiladores, reprocesos, condiciones de continuidad operacional, desgastes, fugas de aire y materia prima; y fallas en los aislamientos térmicos; impactan en el consumo energético. [3] Rodríguez et al (2014) [4] al evaluar variable de gestión sobre el desempeño energético de una caldera bagacera, concluyeron que después de los periodos de mantenimiento la tendencia del índice de desempeño es hacia el ahorro.

3.3.3. Indicador base 100 energía térmica

El indicador base 100, genera alertas en cuanto a variaciones positivas o negativas de la eficiencia del proceso, facilitando el análisis y generación de planes de acción en función de las mejores prácticas energética, los cuales permiten interacciones analíticas entre la producción y el consumo energético con miras a un mejoramiento continuo [3]

En la industria piloto, es posible afirmar que el 52,27% de los días trabajados en el periodo de julio a febrero de 2015, se operó de forma ineficiente la energía térmica. Las posibles causas están asociadas a: Inadecuada relación aire-combustible, falta calibrar la presión y aire conforme a la potencia requerida.; y pérdidas de calor.

Otros casos de aplicación del indicador se evidencian a continuación: Perea, N., & Rodríguez, J. (2013) citado en [4]; estudiaron el impacto de la humedad del Bagazo que alimenta a la caldera a partir del indicador Base 100, dicha humedad oscila entre 45% a 50%, sin embargo, identificaron que después de 48% de humedad la eficiencia de la caldera comienza a verse afectada.

4. Conclusión

Los indicadores de desempeño energético contribuyen alcanzar un crecimiento económico sostenido en las organizaciones, bajo la temática de uso racional de recursos energéticos y económicos; y disminución de gases de efecto invernadero, es posible hacer comparaciones de indicadores respecto a estándares nacionales o internacionales para los mismos productos o usos, en áreas o equipos.

En la industria piloto se evidenció a través de la verificación de indicadores energéticos que el proceso está operando de forma ineficiente en un 60% y que es importante verificar continuamente la gestión de los energéticos, planear la producción basada en el punto crítico de producción dado por el análisis del índice de consumo, logrando así definir niveles de producción que contribuyan a disminuir los gastos por unidad de producto.

La aplicación de la gestión total eficiente de la energía en numerosas industrias empleando indicadores de desempeño ha logrado demostrar la efectividad de estos, como sistemas de monitoreo y control energético; permitiendo: i) detectar potenciales de ahorro de energía y ii) establecer e implementar medidas técnico organizativas sin inversión con rápida recuperación, así como también diseñar e desarrollar programas de concientización, motivación y capacitación especializada para el personal, redundando todo ello en una reducción significativa de los consumos y costos energéticos.

Agradecimientos

Los Autores expresan los agradecimientos A Colciencias y la Universidad Nacional de Colombia por el financiamiento, Al Programa Estratégico Nacional de Gestión Integral de la Energía-PEN: SGIE [27] por el apoyo y contribución. A la Industria Torrefactora de Café por permitirnos desarrollar la investigación y asumir los compromisos y obligaciones; y A la Sra. Ana María Sierra, Coordinadora Ejecutiva del Programa de Promoción de Consumo de Café de Colombia, por toda su colaboración en el acercamiento con las industrias.

Referencias

- [1] Bustillo, L. y Martínez, J.P., Los enfoques del desarrollo sustentable Interciencia, [en línea]. 33(5), 2008, pp. 389-395. [Consultado 18 de octubre de 2016]. Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442008000500014&lng=es&tlng=es
- [2] Cervantes, M.G., Sosa, R., Rodríguez, G. y Robles, F., Ecología industrial y desarrollo sustentable. Ingeniería, enero-abril, pp.63-70, 2009.
- [3] Castrillón, R., Quispe, E., González, A., Urhan, M. y Fandiño, D., Metodología para la implementación del sistema de gestión Integral de la energía: Fundamentos y casos prácticos, 1^{ra}. edición, Universidad Autónoma de Occidente - Cali, pp.119-136, 2014.
- [4] Rodríguez, J., Prias, O., Perea, N., Ibarguen, J. y Gutiérrez, M, Guía para la identificación de áreas, procesos y equipos críticos energéticamente e implementación de indicadores de desempeño energético. 1^{ra}. Edición, Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, pp. 24-25, 29-40, 50, 2014.
- [5] Carretero, A. y García, J.M., Gestión de la eficiencia energética: Cálculo del consumo, indicadores y mejora. Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR ediciones, 2012.
- [6] Pinzón, J.D., Corredor, A., Santamaría, F., Hernández J.A. y Trujillo, C.L., Implementación de indicadores energéticos en centros educativos. Caso de estudio: Edificio Alejandro Suárez Copete - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Revista EAN, [en línea]. (77), pp.186-200, 2014. [Consultado 31 agosto de 2015]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602014000200010&lng=en&tlng=es.
- [7] Moraes, J., Torres, E. and Kiperstok, A., Aplicação da ferramenta SIG para obtenção de indicadores energéticos em edifícios. XII encontro Nacional de Tecnologías do Ambiente Construído-ENTAC Geração de valor no ambiente construído: Inovação e Sustentabilidade, [online]. 2 P., 2014. Available at: http://teclim.ufba.br/site/material_online/publicacoes/pub_art76.pdf.
- [8] Mercado, A. y Cordova, K., Desarrollo sustentable – industria: Más controversias menos respuestas. Ambiente & Sociedade, [en línea]. VIII (1), 2005. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=31780103>
- [9] Ramírez, A., Sánchez, Núñez, J. y García, A., El desarrollo sustentable: interpretación y análisis. Revista del Centro de Investigación. Universidad La Salle, julio-diciembre, [en línea]. pp.55-59, 2004. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34202107>
- [10] Suárez, A., Sustentabilidad empresarial, seguridad energética y ética ambiental en Chile. Acta Bioethica, 19(2), pp. 199-208, 2013. DOI: 10.4067/S1726-569X2013000200004
- [11] Empresas sostenibles: Del dicho al hecho. [en línea]. [Revisado 08 de agosto de 2015]. Disponible em: <http://www.dinero.com/edicion-impresa/especial-comercial/articulo/empresas-sostenibles-del-dicho-hecho/77403>
- [12] Salazar, C., Pamplona, O. y Vidal, J., La Eficiencia energética como herramienta de gestión de costos: Una aplicación para la identificación de inversiones en eficiencia energética, su evaluación económica y de riesgo. Revista del Instituto Internacional de Costos, Edición Especial XII Congreso, [en línea]. 50 P., 2012. Disponible en: http://www.revistaic.org/articulos/numesp/articulo3_esp.pdf
- [13] Cano, G., Vallejo, C., Caicedo, E., Amador, J. y Tique, Y., El mercado mundial del café y su impacto en Colombia. [en línea]. pp. 14-15, 2012. [Revisado 11 de mayo de 2015]. Disponible en: http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/be_710.pdf
- [14] Centro de Comercio Internacional. Demanda de café tostado y molido. [en línea]. [Revisado: 08 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.laguiaidelcafe.org/guia-del-cafe/los-mercados-del-cafe/Demanda%e2%80%93cafe-tostado-y-molido/?menuID=2919>
- [15] Federación Nacional de Café. Edición N°27 colombianos tomando café. [en línea]. [Revisado: 16 de agosto de 2015]. Disponible en: http://www.federaciondefaeteros.org/algrano-fnc-es/index.php/comments/colombianos_tomando_cafe
- [16] Ibarguen, J., Angulo, J. y Rodríguez, J., Optimización energética en el proceso productivo de café y valoración del impacto ambiental. Proyecto Joven Investigador Colciencias 2014-2015. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira, Colombia.

- [17] Sistema de Gestión Integral de la Energía SGIE. Universidad Nacional de Colombia. Programa para la consolidación de la red colombiana de conocimiento en eficiencia energética RECIEE. Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación, 2015.
- [18] Chaves, L., El café tostado y molido: Caracterización de la industria torrefactora nacional. *Umbral Científico*. [en línea]. 14, pp. 98-106, 2009. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30415059009>
- [19] PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. [online]. Recuperado de <http://shop.bsigroup.com/upload/Shop/Download/PAS/PAS2050.pdf>
- [20] Cervantes, B., Pelayo, M. y Castañón, A., Sustentabilidad ambiental, del concepto a la práctica. Una oportunidad para la implementación de la evaluación ambiental estratégica en México. *Gestión y Política Pública*. [en línea]. XXI(2), pp. 292, 2012. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-10792012000200001&lng=es&tlng=es.
- [21] Sachs, I., *Desenvolvimento incluyente, sustentável, Capitulo: Desenvolvimento é ética para onde ir na America Latina*, Rio de Janeiro, Editorial Garamond, 2008, pp. 13-23.
- [22] Almeida, F.O., *Bom negócio da sustentabilidade*, Rio de Janeiro: Nova Fronteira, [en línea]. 2008. [Consultado: 12 de agosto de 2015]. Disponible en: <http://www.fernandoalmeida.com.br/livros/livro-fernando-almeida-sustentabilidade.pdf>
- [23] Siche, R., Agostinho, F., Ortega, E. é Romero, R., Índices versus indicadores precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. *Revista Ambiente & Sociedade*. Campinas X(2), pp. 137-148, 2007. DOI: 10.1590/S1414-753X2007000200009
- [24] Martínez, C., *Estadística básica aplicada*, Cuarta Edición., Bogotá: Ecoediciones. 219 P., 2011.
- [25] Monteagudo, J. y Gaitán, O., Herramientas para la gestión energética empresarial. *Scientia Et Technica*, [en línea]. XI(29), pp. 169-174, 2005. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84911948015>
- [26] Rodríguez, J., Ibarguen, J. y Angulo, J., Gestión energética: Una alternativa para la producción de alimentos ecoeficientes. *Revista Facultad Nacional de Agronomía-Medellín*, 67(II), pp.404-406, 2014.
- [27] Universidad Nacional de Colombia, Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, Universidad Pontificia Bolivariana y Universidad Industrial de Santander. Informe Proyecto PEN-SGIE entregado a Colciencias. Programa estratégico para la innovación en la gestión empresarial mediante la asimilación, difusión y generación de nuevos conocimientos en gestión energética y nuevas tecnologías e implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía en empresas de cinco regiones del país. Código: 1101-454-22024-Contrato RC No. 700-2008, 2014.

fermentación alcohólica y láctica, probióticos; y alimentos funcionales en la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, en los grupos de investigación: Eficiencia Energética y Energías Alternativas-GEAL y Bacterias Ácido Lácticas; y sus Aplicaciones Biotecnológicas-Industriales-GIBALABI. Beneficiario de la Beca pasantía Joven Investigador-Colciencias (Convocatoria 525-2011 y 617-2013). En el Ingenio Manuelita (2016/4 -2016/9) lideró el proyecto de actualización, validación y valoración de descripciones de posición en diferentes gerencias. Actualmente es instructor del programa Técnico en Agroindustria Alimentaria en el SENA. Sus intereses de investigación incluyen: Alimentos funcionales, Biotecnología, Energías Alternativas, Uso eficiente de la energía, residuos agroindustriales.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2909-0743>

J. Rodríguez-Salcedo, Ingeniera Química de la Fundación Universidad de América en 1984. Especialista en Ecología, Medio Ambiente y Desarrollo de la Universidad INCCA de Colombia en 1997. Especialista y Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad del Valle en 2002 y 2004 respectivamente; Candidata a Doctorado en Agroecología de la Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Se ha desempeñado como, docente adscrita al Departamento de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira desde 1999; en docencia, investigación y extensión en el tema de Energía. Coordina el Grupo de Investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas-GEAL. Áreas de desempeño académico incluyen: Termodinámica; Balance de Masa y Energía en sistemas productivos; Energía y Ambiente, Energía y Desarrollo, Biocombustibles, Eficiencia Energética y Valoración de flujos de Energía en Agroecología. Miembro activo de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética-RECIEE. Miembro del Comité 186 de Combustibles líquidos y biocombustibles de-ICONTEC.

ORCID: orcid.org/0000-0001-5308-375X

O.F. Prías-Caicedo, recibió el título de Ingeniero Electricista en 1989, Especialización en Gerencia de Tecnología en 1997 de la Escuela de Administración De Negocios - E.A.N.; Maestría en Eficiencia Energética en 2005 de la Universidad de Cienfuegos, Cuba. Ha trabajado como consultor con el BID, PNUD, USAID, con especial interés en: la formulación del Programa Nacional para el Uso racional y Eficiente de Energía y Fuentes No Convencionales PROURE 2008, 2009-2015 2009-2010; el marco regulatorio Uso Racional de Energía-URE; para el Ministerio de Minas y Energía; y la Unidad de Planeación Minero Energética-UPME. Director proyecto BID-CCB, OPEN Promoción de Oportunidades de Mercado para Energías Limpias y Eficiencia Energética, se ha desempeñado como jefe del Programa Nacional de Investigaciones en Energía y Minería del Ministerio de Minas y Energía de Colciencias ; y en la actualidad es profesor Asociado adscrito al Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Universidad Nacional de Colombia desde 2008, director del Grupo de Investigación del Sector Eléctrico Colombiano-GRISEC; y director de la Red Colombiana de Conocimiento en Eficiencia Energética-RECIEE.

ORCID: orcid.org/0000-0001-9764-0677

J.L. Ibarguen-Valverde, recibió el título de Ingeniera Agroindustrial en 2012 de la Universidad Nacional de Colombia. Certificada como líder Energético por el Consejo Mundial de Energía y el Consejo Mundial de Energía Colombia en el año 2016; Gestora Energética de la Universidad del Valle, Nacional de Colombia y Autónoma de Occidente y Auditora en las Normas de Eficiencia Energética ISO 50001 del ICONTEC y Sistemas de Gestión Ambiental basado en la NTC ISO 14001:2004 de la Universidad Nacional de Colombia, Joven investigadora COLCIENCIAS 2013-Convocatoria No. 617. Desde el año 2010 es miembro del grupo de investigación en Eficiencia Energética y Energías Alternativas-GEAL de la Universidad Nacional de Colombia y ha trabajado en proyectos de eficiencia energética en el sector industrial y de servicios con: la Universidad Nacional de Colombia para el PROGRAMA ESTRATÉGICO NACIONAL SISTEMAS DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA PEN-SGIE y la Universidad Autónoma de Occidente.
ORCID: orcid.org/0000-0003-4051-8501.

J.E. Angulo-López, Ingeniero Agroindustrial (2010) Universidad Nacional de Colombia; Tecnólogo en Alimentos (2008) Universidad del Valle, Especialización Tecnológica en Producción y Consumo Sostenible-Servicio Nacional de Aprendizaje SENA (2017). De 2010 a 2017 trabajó en proyectos de investigación aplicados al área de eficiencia energética, energías alternativas, uso de residuos agroindustriales, biotecnología,