

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CEMENTO POR PROCESO HÚMEDO A TRAVÉS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA

ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT IN THE CEMENT INDUSTRY BY WET PROCESS THROUGH INTEGRAL ENERGY MANAGEMENT SYSTEM IMPLEMENTATION

ROSAURA DEL PILAR CASTRILLON

MSc., Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia, rcastrillon@uao.edu.co

ADRIANA JANETH GONZÁLEZ

Ing. Química, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia, ajgonzalez@uao.edu.co

ENRIQUE CIRO QUISPE

Ph.D, Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia, ecquispe@uao.edu.co

Recibido para revisar Julio 6 de 2012, aceptado Diciembre 7 de 2012, versión final Enero 8 de 2013

RESUMEN: La tecnología de gestión energética denominada “Sistema de Gestión Integral de la Energía, SGIE” fue propuesta en Colombia en el 2007 como resultado de un proyecto de investigación financiado por el gobierno. Ésta consiste en la aplicación de herramientas estadísticas para el seguimiento de la eficiencia energética en procesos productivos, y de indicadores que se ajustan a los requisitos de la Norma ISO 50001.

Este artículo presenta la metodología y los resultados de la implementación del SGIE en una industria de producción de cemento por vía húmeda, los cuales mostraron un incremento de la eficiencia energética asociado a una reducción del consumo de electricidad de 4,6%, logrados sin inversión por compra de nuevos equipos. Es decir, solo con la innovación de los procesos a través de tecnologías de gestión aplicadas, además de la adopción de una cultura de manejo de la energía en forma eficiente y de mejoramiento continuo.

PALABRAS CLAVE: Eficiencia energética, gestión energética, indicadores de desempeño energético, producción de cemento, SGIE.

ABSTRACT: The technology of energy management called “Sistema de Gestión Integral de la Energía, SGIE” was proposed in Colombia in 2007 as a result of a research project funded by the government. The SGIE technology consists of statistical and monitoring tools, energy efficiency indicators and conforms to the requirements of the Standard ISO 50001.

This paper presents a pilot scheme for the implementation of the SGIE technology in a cement industry with wet process, in order to improve its energy efficiency. The results have shown a reduction of 4.6% of the electric energy consumption in this factory, achieved without investing in new equipment, only with the innovation of the processes through applying technologies of energy management.

The implementation of the SGIE has contributed to the adoption of an energy efficient management’s culture and continuous improvement of the processes with impact on productivity and competitiveness of the company.

KEYWORDS: Cement production, energy efficiency, energy management, energy performance indicators, SGIE

1. INTRODUCCIÓN

Las empresas industriales pueden lograr ahorros de energía de hasta un 40%, algunos sin inversión de capital, mediante la aplicación de métodos de gestión energética [1].

La tecnología de gestión energética denominada SGIE fue desarrollada por la Universidad Autónoma de Occidente y por la Universidad del Atlántico en el marco de un proyecto financiado por Colciencias y la UPME del Ministerio de Minas y Energía. Como producto final de esta investigación se obtuvo una guía para la Implementación de Sistemas de Gestión de la

Energía que propone un modelo con etapas y pasos para su implementación como sistema de gestión integrable con otros existentes como el de calidad y el ambiental [2]. De este modo, se busca la definición de resultados y registros en las etapas de instalación y operación para su aplicación en el sector productivo nacional [1].

La industria del cemento es una industria intensiva en el consumo de energía eléctrica y sus costos están en el orden del 20% entre los costos totales de producción. Se plantea entonces, la importancia de instalar un Sistema de Gestión Energética que logre identificar y recuperar el potencial de ahorros de energía eléctrica e incrementar la eficiencia del proceso, utilizando herramientas de gestión que no requieran altas inversiones de capital. Un SGIE permite obtener una ruta para la administración eficiente de los recursos energéticos comprendida por todos los actores de una organización. Así, se espera que en poco tiempo y con el menor riesgo de inversión, se logren alcanzar los objetivos planteados y el mejoramiento continuo del sistema.

En este artículo se presenta los resultados de la instalación del Sistema de Gestión Integral de la Energía para el caso de una industria de producción de cemento por vía húmeda.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada para la implementación del Sistema de Gestión Integral de Energía en la industria del cemento, se desarrolla en tres etapas según lo propone la guía para la implementación del “Sistema de Gestión Integral de la Energía” [3]: Decisión Estratégica, Implementación del SGIE en la empresa y Operación del Sistema. La primera corresponde a una etapa preparatoria en donde se evalúa el estado de gestión energética actual de la compañía, definiendo metas y actividades de ahorro alcanzables. La segunda hace alusión a la implementación del sistema de gestión energética en la compañía, teniendo en cuenta indicadores de gestión, variables de control, definición de un sistema de monitoreo, diagnóstico energético y un plan de capacitación. Por último, se refiere a cómo operar el sistema y hacerlo sostenible, garantizando el mejoramiento continuo.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en la implementación de las etapas uno y dos en una planta de producción de cemento por vía húmeda.

2.1. Primera Etapa

Como punto de partida para iniciar la instalación y operación del SGIE es necesario el desarrollo de actividades preparatorias que garanticen un potencial de rentabilidad del sistema, como resultado de la ejecución de las actividades propuestas por este modelo. En ésta fase inicial se identifica el estado actual de la estructura energética de la empresa, el nivel de gestión y administración de la energía y la cuantificación de potenciales de ahorro de energéticos en la misma.

2.1.1. Identificación del estado actual de la estructura energética de la empresa

Un requerimiento inicial para el desarrollo de esta etapa es la comprensión general del esquema productivo y de los datos de consumo de energía y de producción. Para esta actividad es indispensable la elaboración de un diagrama energético productivo el cual es un esquema de producción en donde se muestra la contribución de cada energético en el proceso [4]. La producción de cemento por vía húmeda es un proceso intensivo en el consumo de energía eléctrica, este proceso comprende cuatro etapas principales: extracción y molienda de la materia prima, homogeneización de la materia prima, producción del *Clinker* y molienda de cemento [5].

La figura 1 ilustra el diagrama Energético – Productivo del proceso.

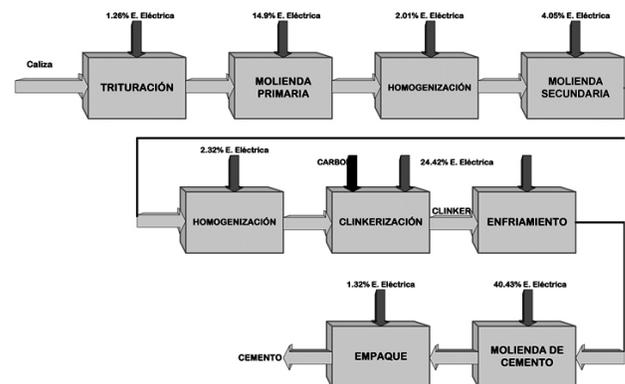


Figura 1. Diagrama Energético – Productivo de un proceso típico de producción de cemento por vía húmeda

Al cruzar la información de los consumos de energía con respecto a las etapas del proceso productivo se

pueden identificar las mayores áreas consumidoras de energía. Esta actividad consiste en cuantificar a través de datos históricos recopilados por contadores de energía, el consumo promedio con respecto a la producción total de cemento realizada en el mismo periodo para los Centro de Costo de Energía, CCE, definidos.

En la tabla 1 se resumen la distribución promedio del consumo de energía eléctrica por producción total en la planta de cemento para los siete CCE establecidos.

Tabla 1. Requerimientos de energía eléctrica para los Centros de Costos de Energía definidos en la planta

Centro de Costo de Energía		CONSUMO ELÉCTRICIDAD [kWh/t cemento]
Molienda de Cemento		46
Clinkerización + enfriamiento	+	35
Molienda Primaria		17
Molienda Secundaria		5
Homogenización y transporte	y	5
Trituración		1
Empaque y Despacho		1
Otros		4
TOTAL		114

A través de la elaboración de un diagrama de Pareto por CCE a partir de los datos de la tabla 1, se identifican el 20% de aquellas que impactan en el 80 % del consumo energético eléctrico en el proceso. Éstas son: molienda de cemento, clinkerización + enfriamiento y molienda primaria. Lo anterior permite centrar esfuerzos e iniciar acciones de gestión energética sobre estas áreas.

2.1.2. Evaluación del nivel de gestión y administración de la energía en la empresa

Una vez se identifica, desde el punto de vista técnico, el estado de gestión energética del proceso a través del análisis de la producción y los consumos energéticos asociados por etapas del proceso, se evalúan todas las

áreas de la compañía incluyendo las no productivas por medio de una serie de encuestas aplicadas al personal seleccionado como clave en cada una de ellas.

Las encuestas constan de preguntas para que las personas entrevistadas de cada una de las áreas de la organización califiquen de forma cuantitativa y desde su apreciación en una escala de 1 a 5 el nivel de gestión energética de la entidad.

El modelo de encuestas se hayan dentro de un software [6] y el resultado cuantitativo de estas permite a las empresas evaluar el nivel en que se encuentra con respecto a la gestión de la energía con su estructura organizacional.

Como resultado total la empresa obtuvo una calificación promedio de 3,2 lo que indica un nivel medio de gestión energética. De tal modo se identifica:

- La no existencia de líderes o equipos de trabajo encargados del análisis del monitoreo, toma de decisiones operativas, evaluación de resultados del manejo de variables y la identificación de nuevos potenciales de incremento de la eficiencia energética.
- Falta de políticas, procedimientos escritos e indicadores en todas las áreas con enfoque al control del gasto energético.
- No fomento en el personal hacia una cultura respecto a la reducción de los costos energéticos, estimulado el trabajo en equipo hacia la eficiencia energética a nivel de todas las áreas de la empresa.

2.1.3. Estimación de potenciales de ahorro por variabilidad operacional

Los potenciales de ahorro energético se encuentran inmersos dentro la llamada energía no asociada a la producción E_{nap} . En un gráfico de dispersión de Energía vs. Producción para un proceso, figura 2, la energía no asociada es el valor del intercepto sobre el eje Y de la línea de mejor ajuste a la dispersión de datos, también conocida como Línea de Base Energética.

La relación entre la producción y el consumo de energía es lineal para la mayoría de industrias. Esto indica que la reciprocidad entre los puntos en un

diagrama de dispersión de consumo de energía frente a producción pueden aproximarse directamente por una línea y expresarse por una ecuación lineal (1) en forma general:

$$E = m \cdot P + E_{nap} \tag{1}$$

Siempre y cuando la relación entre las variables analizadas sea adecuada se considera esta ecuación como la Línea de Base Energética [4], [7-8].

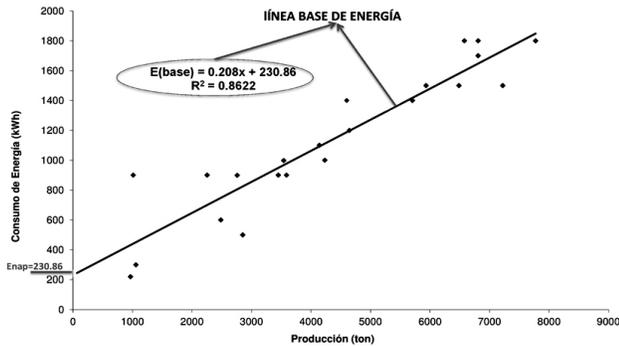


Figura 2. Diagrama de dispersión de consumo de energía frente a producción y estimación de la Línea Base de Energía para un proceso productivo

Los potenciales de ahorro por variabilidad operacional significan, en la gráfica Consumo vs. Producción (Diagrama de dispersión E vs P), ahorros que se pueden lograr analizando y estabilizando la operación, puesto que para una misma producción se observan diferentes consumos energéticos. La idea es estandarizar los valores de operación de las variables con los días de máxima eficiencia para diferentes intervalos de trabajo y tratar de estabilizar el proceso en estos puntos a través de buenas prácticas energéticas o acciones de ahorro de energía.

Para el cálculo de los potenciales de ahorro por variabilidad operacional se requiere establecer una “línea meta”, figura 3, la cual pasa por el centro de los datos relacionados al menor consumo, correspondiente a la prácticas operacionales de mayor eficiencia en el proceso.

Esta línea meta se traza considerando el mismo valor de la pendiente “m” de la línea base, puesto que se supone en el momento que no hay ningún cambio tecnológico sobre los equipos, áreas o procesos sobre los que se realiza el análisis [4], [7].

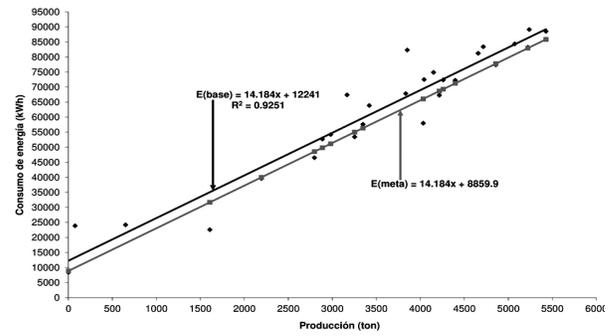


Figura 3. Línea meta de energía estimada en un gráfico de dispersión de consumo de energía frente a producción

Como última actividad de la etapa 1, se cuantifican los potenciales de ahorro de energía eléctrica por variabilidad operacional a partir de la estimación de las líneas bases y metas de energía modeladas a partir del conjunto de datos diarios de consumos de energía y producción del periodo base seleccionado correspondiente a un año.

En cada uno de los centros de costos de energía establecidos se cuantificaron los potenciales de ahorro energético eléctrico por reducción de la variabilidad operacional. Calculados a partir de (2).

$$Potencial\ de\ ahorro = E_{nap\ (base)} - E_{nap\ (meta)} \tag{2}$$

En la tabla 2 se resumen los potenciales de ahorro máximos estimados por variabilidad operacional en cada una de las áreas analizadas, estos se dan con base en la producción total de cemento efectuada durante el periodo base de referencia, kWh/t cemento.

Tabla 2. Potenciales de ahorro energético estimados por reducción de la variabilidad operacional

ÁREA DEL PROCESO	POTENCIAL DE AHORRO [Kwh/t cemento]
Molienda de Cemento	2,3
Clinkerización + enfriamiento	2,8
Molienda Primaria	1,4
Molienda Secundaria	0,2
Homogenización y transporte	0,1
Trituración	0,2
TOTAL	7,0

Los potenciales de ahorro recuperables por variabilidad operacional estimados fueron de 7,0 kWh/t cemento, equivalentes al 6% del consumo total de energía eléctrica.

2.2. Segunda Etapa

La Etapa II corresponde a la Implementación del Sistema de Gestión Energética, la cual se construye a partir de la evaluación del estado inicial de consumo de energía y producción, definiendo metas y actividades de ahorro alcanzables. En ese sentido, esta segunda fase agrupa las acciones por incorporar en la cotidianidad operativa del proceso, permitiendo la administración integral del recurso energético.

El objetivo fundamental de esta fase fue crear procesos para operar el sistema mediante la definición de un sistema - conjunto de indicadores que es la base del seguimiento y análisis energético estratégico, el análisis y control de la variabilidad energética y las condiciones operativas; como estructura de generación y validación de los planes de acción en el mejoramiento continuo del proceso.

La metodología y resultados de las principales actividades desarrolladas en esta etapa se describen a continuación.

2.2.1. Establecimiento de indicadores de desempeño energético del SGIE

Es importante introducir un sistema de indicadores para la medición del desempeño energético que permita analizar el resultado de las acciones o la carencia de la misma. Por ello, el sistema se fundamenta en la comprensión de la relación energía y producción.

La información base para estructurar los indicadores, corresponde a los datos obtenidos durante la caracterización energética, etapa I, en la cual se plantearon los diagramas de dispersión “Energía vs Producción” de los centros de costos de energía establecidos.

Los Indicadores de desempeño Energético propuestos para implementar dentro del SGIE son los siguientes: Indicador de Consumo de energía IC, Indicador de Eficiencia Base 100 e Indicador Gráfico de Tendencia o de Sumas Acumulativas CUSUM.

- Indicador de Consumo de energía IC

El indicador de consumo específico de energía se define como la relación entre la energía consumida y el valor de la producción obtenida con dicha energía, según (3). Debido a que el indicador ofrece información del requerimiento energético unitario para un proceso, es posible hacer comparaciones respecto a estándares nacionales o internacionales para los mismos productos o usos, en áreas o equipos. Asimismo, puede ser la base para el desarrollo de programas de optimización y mejora energética, buscando la reducción de este indicador.

$$IC = \frac{\text{Consumo de energía}}{\text{Producción}} \quad (3)$$

Vista a partir del cálculo de la línea de base (1), se obtiene el Indicador de Consumo base como (4).

$$IC_{Base} = \frac{m \cdot P + E_{nap}}{\text{Producción}} \quad (4)$$

Desde ese punto de vista, en un proceso productivo donde se ha realizado la caracterización energética, se obtienen las ecuaciones características de cada proceso y se puede definir el Indicador de Consumo Base o característico IC, de referencia como (5).

$$IC_{Base} = m + \frac{E_{nap}}{P} \quad (5)$$

La ecuación (5) representa un indicador de Consumo Base, conformado por un término constante (m) y otro que es función de la variable producción ($\frac{E_{nap}}{P}$). Como se observa en la gráfica el Indicador de Consumo de referencia corresponde a una función inversa de la variable producción.

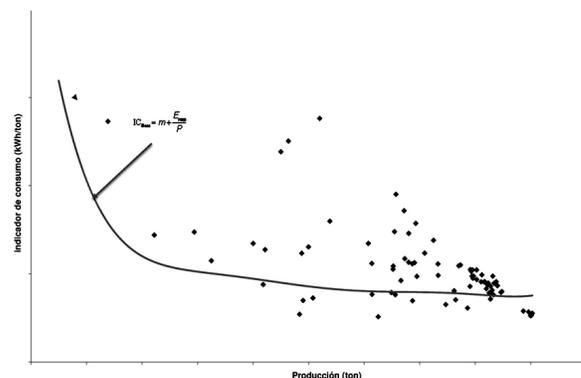


Figura 4. Variación del Indicador de consumo (IC) base respecto a la producción

Teniendo la ecuación base del Indicador de Consumo IC, se puede obtener el valor característico del rendimiento energético base para cada nivel de producción, como se enseñó en la figura 5. Lo anterior plantea que es posible comparar el rendimiento energético medido para cualquier nivel de producción, con un valor de referencia base actualizado sobre el desempeño energético reciente.

- Indicador de eficiencia base 100

El indicador base 100 es una herramienta de gestión del área energética, el cual permite comparar el comportamiento de los resultados de consumo energético medidos en un proceso durante un periodo operativo, respecto a los valores de consumo energético base o de tendencia del mismo, tomando como referencia de cumplimiento un valor adimensional de 100 [9], matemáticamente se define como (6):

$$Eficiencia\ base\ 100 = \frac{E_{Tendencia}}{P_{medida}} \times 100\% \quad (6)$$

Este indicador se calcula a partir de los datos de producción y energía para un periodo de análisis determinado y la ecuación o línea de base energética establecida durante la caracterización energética.

El uso del Indicador Base 100 se puede entender de acuerdo a tres tendencias o estados, resultado del cálculo entre la energía de tendencias y la energía medida, los cuales se pueden encontrar dentro de tres rangos numéricos, < 100, >100 e =100. A continuación se explica cada uno de los casos y se presenta el gráfico correspondiente.

Para el primer caso cuando el indicador es mayor a cien, significa que el consumo de energía del periodo analizado fue menor que el que debería ser según la tendencia estimada a partir de la ecuación base y por lo tanto dentro de la gráfica, figura 5, se ubica en la zona de eficiencia, para el segundo caso en el que el indicador es menor a cien ocurre que en el periodo analizado se consumió mayor energía a la que se debía consumir según la tendencia y éste se haya en la zona de ineficiencia. Finalmente, cuando el indicador es igual a cien no se ha dejado de consumir o, lo que es igual, se ha sobreconsumido energía, es decir, simplemente el consumo es estable y se haya dentro del consumo por tendencia.

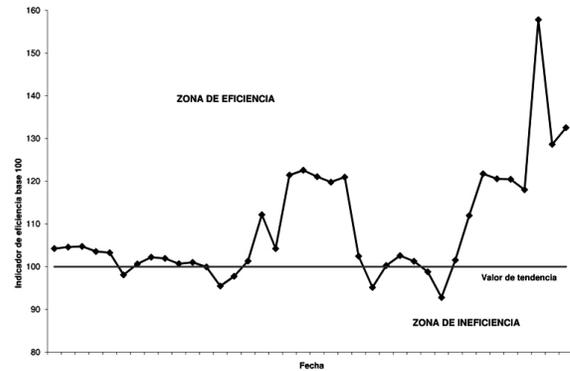


Figura 5. Indicador de eficiencia base 100

En conclusión, el Indicador de Eficiencia Base 100 es una herramienta que 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.

- Indicador Gráfico de Tendencia o de Sumas Acumuladas CUSUM

Este indicador y su gráfico se utilizan para monitorear la tendencia de la empresa, área o equipo en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base dado.

A partir del CUSUM se puede determinar cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha sobre-consumido hasta el momento de su actualización [7].

$$CUSUM = \begin{pmatrix} (E_{REAL} - E_{TENDENCIA})_{I+} \\ (E_{REAL} - E_{TENDENCIA})_{I-1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

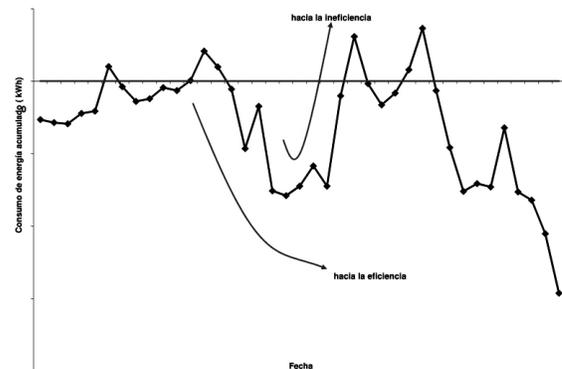


Figura 6. Indicador gráfico de tendencia o sumas acumuladas CUSUM

Según la figura 6, se observa como un valor acumulado negativo significa una tendencia hacia la eficiencia en un proceso, puesto que la suma acumulada de consumos energéticos con respecto a la base establecida es inferior, lo que se traduce en disminución del consumo energético o ahorro.

Respecto a lo expuesto, la tecnología SGIE recomienda establecer una estructura de indicadores de desempeño energético a nivel de empresa o proceso en forma de “árbol de indicadores”, figura 7, de manera tal, que el indicador de eficiencia base 100 de la empresa sea estructurado a partir de los indicadores de eficiencia base 100 de cada uno de las áreas y equipos de uso final que lo componen. Esto permite determinar con facilidad la causa, el momento y el área o equipo donde el indicador de la empresa o proceso sufrió un deterioro o una mejora a la vez que, reduce el tiempo de actuación para ejecutar la actividad correctiva o preventiva correspondiente.

A continuación se observa el árbol de indicadores propuesto para el caso del proceso de preparación de materia prima en la producción de cemento.

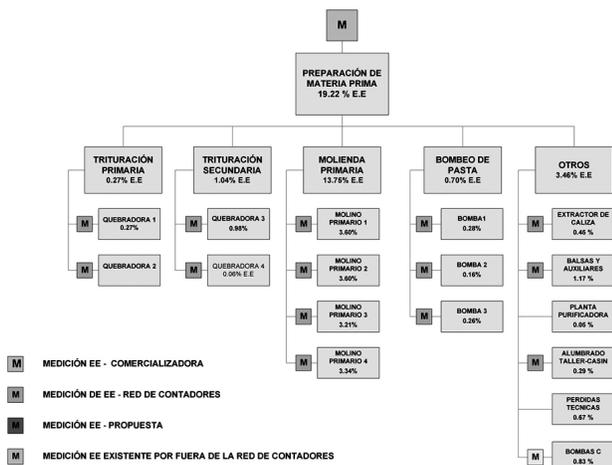


Figura 7. Árbol para el seguimiento y control de indicadores de gestión energética

El monitoreo permite identificar todas las desviaciones y corregir las que sean posibles señalando cuándo se hace necesario efectuar una mejora general en el proceso.

2.2.2. Identificación de las variables de control por centros de costos

Esta actividad consiste en identificar los eventos que impactan los consumos energéticos en cada uno de

los centros de costos de energía establecidos en la organización. A través de la identificación y de la ejecución de acciones asociadas a la estabilización de las variables detectadas a los valores adecuados recomendados, se logran importantes ahorros de reducción de consumo de energía en el proceso.

Para la detección de estas variables se diseñó y aplicó una metodología [10] basada en el uso de herramientas estadísticas y tomando como punto de partida, el análisis de la relación de las variables energía-producción en un diagrama de dispersión y de las líneas bases de energía establecidas. Como resultado se identificaron siete variables con el mayor impacto en el consumo de energía en los centros de costos críticos de clinkerización, molienda de cemento y primaria, las cuales se resumen en la tabla 3.

Tabla 3. Variables de control y potenciales de ahorro asociados identificadas

CENTRO DE COSTO DE ENERGÍA	VARIABLE IDENTIFICADA	POTENCIAL DE AHORRO IDENTIFICADO [kWh/t cemento]
Clinkerización	Exceso de aire en la cámara de los enfriadores.	0,42
	Altura de la cámara de clinker en los enfriadores.	
	Desencomstramientos y enfriamientos súbitos en el horno.	0,40
Molienda de Cemento	Flujo de retorno en los molinos de bolas.	0,36
	Cambio de producto (tiempos de preparación de cementos especiales).	depende del tipo de cemento por producir.
	Tiempos muertos de funcionamiento de equipos auxiliares.	----
Molienda Primaria	Selección adecuada de bombas para la operación de los molinos.	0,25

Con la identificación de estas variables, es posible establecer acciones para recuperar el potencial de ahorro de energía eléctrica identificado, y con

ello procedimientos para mantener las variables controladas en valores recomendados para garantizar la sostenibilidad de las mismas.

2.2.3. Diagnóstico Energético

El objetivo del diagnóstico energético es identificar las oportunidades o proyectos de ahorro energético en los equipos y procesos claves de la empresa [8]. En el diagnóstico energético efectuado se enfocaron tres aspectos: variabilidad operacional en los procesos, tecnología actual de los equipos y cultura energética. Como resultado se detectaron los siguientes aspectos:

- Marcada variabilidad operacional de los procesos especialmente para las áreas de clinkerización y molienda de cemento.
- Operación de equipos en tiempos muertos.
- Motores obsoletos con baja eficiencia y trabajando a baja cargabilidad.
- Uso de lámparas ineficientes en varias secciones de la planta.
- Baja calificación en cuanto el nivel de gestión energética en todas las áreas de la empresa.

Los potenciales de ahorro energético asociados a las principales acciones o proyectos identificados dentro de las tres áreas de estudio en este diagnóstico arrojan el potencial de ahorro estimado que se resumen en la tabla 4.

Tabla 4. Resumen de potenciales de ahorro identificados

OPORTUNIDAD IDENTIFICADA	POTENCIAL DE AHORRO [kWh/t cemento]
Reducción de la variabilidad operacional de los procesos.	7,0
Sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia (>25 HP)	1,6
Implementación de sistemas de velocidad variable en 2 motores de Ventiladores en los enfriadores de <i>clinker</i> .	0,18
Cambio de tecnología en el sistema de iluminación.	0,32
TOTAL	9,1

Como se observa en la anterior tabla el potencial de ahorro total identificado con las acciones recomendadas es de 9,1 kWh/t cemento correspondiente aproximadamente al 8% del total del consumo de energía eléctrica en la planta.

3. RESULTADOS

3.1. Reducción del consumo de energía eléctrica de la planta

Las acciones ejecutadas durante la implementación del SGIE en la planta, son de muy baja inversión y lograron la reducción del consumo de energía eléctrica en un 4,6 % equivalente a 5,2 kWh/t cemento en doce meses comparados a un mismo nivel de producción y con la línea base de tendencia de dos años anteriores.

3.2. Reducción de emisiones de CO₂

En el año 2009 se dejaron de emitir a la atmosfera 3,33 kg de CO₂ por tonelada (t) de cemento producida en el año, producto de la reducción de 4,6% del consumo de energía eléctrica en la planta de cemento, con lo que se garantizó un impacto ambiental positivo.

3.3. A nivel operativo

A nivel operativo se acogieron buenas prácticas operacionales enfocadas al incremento de la eficiencia energética. Nuevos indicadores de Gestión Energética fueron implementados en el sistema de información de la compañía (Indicador de Eficiencia base 100 y el Indicador Gráfico de Tendencia o de Sumas Acumulado CUSUM). Estos permiten analizar la eficiencia energética del proceso productivo y de los equipos críticos en función de las condiciones y variables de operación que impactan en los consumos.

Se desarrollaron procedimientos a nivel operativo para el seguimiento, control y monitoreo de indicadores e instrucciones de trabajo enfocadas al menor consumo energético.

3.4. A nivel estratégico

A nivel estratégico la empresa adoptó la creación de un Comité de Energía, el cual es responsable de la administración de la información energética y la

coordinación con todos los demás componentes de la organización. Este comité tiene como director el Jefe de Gestión Energética y está conformado por coordinadores de los sistemas de mayor consumo energético.

A través del mismo se proponen lineamientos de políticas para la sostenibilidad y permanencia del mejoramiento continuo, contribuye en el cambio de la cultura energética desde el nivel directivo hasta operativo, hace el seguimiento y validación de los indicadores de gestión, propone innovaciones en los procesos y equipos para el incremento en la eficiencia energética con impacto en la productividad y realiza vigilancia tecnológica a través de redes de conocimiento.

4. CONCLUSIONES

En la aplicación de la etapa 1 de la tecnología SGIE, se detectaron potenciales de ahorro de hasta un 6% del consumo energético que se pueden lograr con acciones de gestión de muy baja o nula inversión como son la identificación y estabilización de las variables de control energética en la operación de los procesos.

La implementación del Sistema de Gestión Integral de la Energía como proyecto piloto en la industria de producción de cemento por vía húmeda incrementó la eficiencia energética de los procesos logrando la reducción del consumo y la sostenibilidad del ahorro energético en los procesos. Para el caso de estudio se logró una reducción del 4,6% del consumo de energía eléctrica, lo que equivale a que se dejó de emitir a la atmósfera 3,33 kg de CO₂/t cemento producido en el año de implementación.

Se desarrolló una metodología para identificar variables de control, ésta se aplicó a tres etapas críticas del proceso y se encontraron las siete variables de mayor impacto sobre el consumo de energía eléctrica en las etapas de Clinkerización, Molienda de Cemento y Molienda primaria.

Para el mejoramiento de los indicadores de eficiencia y productividad se requieren cambios primordiales tanto en la cultura organizacional como en los procesos y procedimientos productivos, lo cuales deben estar debidamente documentados y divulgados.

En la Implementación y sostenibilidad del SGIE en una empresa se requieren del compromiso de la alta dirección

de la compañía para lograr ajustes institucionales con definición de responsabilidades y funciones claras dentro de la estructura organizacional de la empresa, como también en las condiciones del ambiente laboral que contribuyan al logro de las metas de gestión eficiente de la energía.

REFERENCIAS

- [1] Campos, J.C., Quispe, E.C., Vidal, J.R., Lora, E. EL MGIE, un modelo de gestión energética para el sector productivo nacional. *El hombre y la máquina*, pp. No 30, 18-31, 2008.
- [2] Fraguera, J. A., Carral, L., Iglesias, G., Castro, A., Rodríguez, M. J., la integración de los sistemas de gestión. Necesidad de una nueva cultura empresarial. *Dyna*, año 78, (167), pp. 44-49. Medellín, Junio, 2011.
- [3] Campos, J.C., Quispe, E.C., Vidal, J.R., Lora, E., EL MGIE. Sistema de Gestión Integral de la Energía. Guía para la implementación. Colombia, UPME-Colciencias, 2008.
- [4] Gestión energética empresarial. Disponible en: http://moodle.uho.edu.cu/file.php/873/Administracion_de_Empresas/Materiales_para_Diplomantes/Libro_Gestion_Energetica_Maestria_Amplio_Acceso_EE.doc [Citado 30 de Mayo de 2012].
- [5] Ahorro de Energía en la industria del cemento. Disponible en: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/cemento.pdf> [Citado 6 de Junio de 2012].
- [6] Herramientas Virtuales – Calificador de Niveles de gestión energética. Disponible en: <http://www.upme.gov.co/Index4.htm> [Citado 14 de Junio de 2012].
- [7] Morvay, Z. and Dusan, G., Relationship between energy use and production volume, in: *Applied industrial energy and environmental management*. Great Britain, Wiley, pp. 88-109, 2008.
- [8] Dušan, G., et al. Development of energy management system – Case study of Serbian car manufacturer. *Energy Conversion and Management*, 51, pp. 2783–2790, 2010.
- [9] Campos, J.C., Quispe, E.C., Lora, E., Nueva herramienta para la medición y el control de la eficiencia energética en la gestión de procesos empresariales. *Memorias de XI Semana Técnica de Ingeniería*. Barranquilla, Colombia, pp. 76-86, 2009.
- [10] Castrillon, R., González, A., Fandiño, D., Quispe, E., Implementación del SGIE en la Industria del Cemento. [Proyecto I+D. Datos no publicados]. Cali, Colombia: Dirección de Investigaciones y Desarrollo Tecnológico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010.