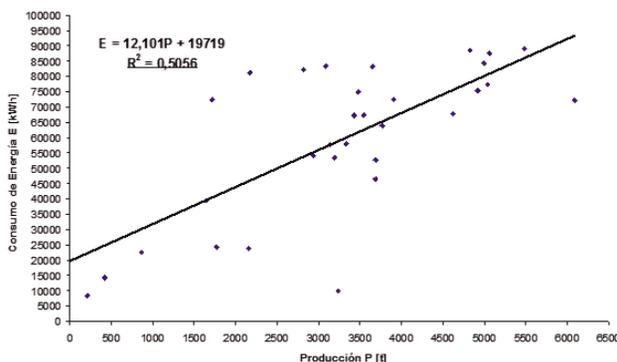
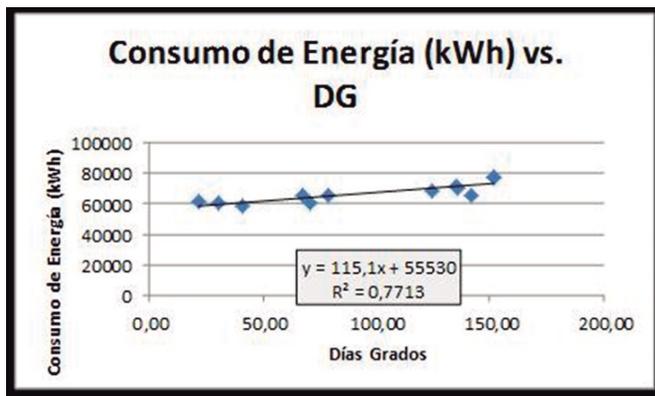


Línea de Base Energética en la implementación de la norma ISO 50001. Estudios de casos

ROSAURA P. CASTRILLÓN MENDOZA¹
JOSÉ P. MONTEAGUDO YANES²
ANÍBAL BORROTO NORDELO²
ENRIQUE CIRO QUISPE OQUEÑA¹



Resumen

La entrada en vigencia de la norma ISO 50001 ha llevado al sector empresarial a su rápida implementación en los procesos productivos o de servicios. Este proceso se ha visto limitado en ocasiones por las dificultades en la definición adecuada de la Línea de Base Energética.

El presente trabajo aborda el proceso de elaboración de la Línea Base Energética en tres empresas: un hotel turístico, una fábrica de cemento y una fábrica de helados. Los casos de estudios muestran que dicha Línea, aunque parecía adecuada, no presentaba una buena correlación entre el consumo de energía y la producción realizada.

La introducción del concepto de producción equivalente agrupa otros factores no considerados inicialmente en los procesos productivos y los transforma en una unidad de producción equivalente, a partir de la energía requerida por cada producto en el proceso de producción. Los estudios de casos muestran cuán útil resulta el concepto de producción equivalente en los momentos en que se expande el uso de la norma ISO 50001

(1) Grupo de Investigación en Energías (GIEN), Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia. Calle 25 N° 11 - 85, km 2 vía Jamundí. PBX: (57) (2) 318 8000. Ext. 11856 - 11325. FAX: (57) (2) 555 3911. Correo electrónico: gien@uao.edu.co.

(2) Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente (CEEMA), Facultad de Ingeniería, Universidad de Cienfuegos. Carretera a Rodas. Km 4. Cuatro Caminos. Cienfuegos. CP 59430. Cuba. Correos electrónicos: jpmynes@ucf.edu.cu, aboroto@ucf.edu.cu.

Fecha de recepción: 16/04/2015 – Fecha de aceptación: 30/06/2015.

Palabras clave: Línea de Base Energética, gestión energética, norma ISO 50001.

Abstract

The enactment of the ISO 50001 standard has led the industry to its rapid deployment in production or service processes. This process has sometimes been limited by difficulties in the proper definition of Base Line Energy.

This paper addresses the process of drafting the Energy Base Line in three companies; a tourist hotel; a cement factory and an ice cream factory. The case studies show that the energy baseline, although it seemed appropriate, did not show a good correlation between energy consumption and production done

The introduction of the concept of Equivalent Production groups not initially considered other factors in production processes and transforms them into a unit equivalent production from the energy required for each product in the production process. The case studies show how useful is the concept of Equivalent Production times when the use of ISO 50001 expands.

Keywords

Energy baseline, energy management standard ISO 50001.

1. Introducción

La experiencia internacional ha demostrado que la implementación de un sistema de gestión energética puede reducir el costo de facturación de energía de una empresa entre el 10 y el 25 %, en un lapso de 1-3 años, con períodos de recuperación de la inversión típicos inferiores a 2 años [1].

Los sistemas de gestión para conducir los programas de calidad y medio ambiente de las empresas, establecidos por las normas ISO 9000 y 14000, han demostrado su efectividad y tienen una amplia y creciente difusión a nivel internacional. Varios países han elaborado e implementado normas nacionales de sistemas de gestión energética y actualmente se trabaja en la implementación de la “Norma ISO 50001. Sistemas de Gestión de la Energía - Requisitos con Orientación para su Uso” [2] en diversas empresas e instituciones.

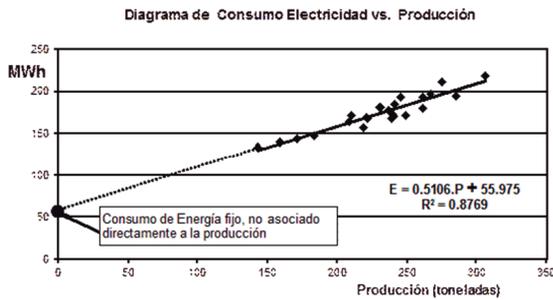
Si bien la norma establece qué hacer en el proceso de implementación, no queda adecuadamente definido cómo o qué herramientas usar al tratar de definir la Línea de Base Energética. El artículo que se presenta en una modesta contribución en este campo y en él se abordan tres casos en los que la definición de la línea de base podría ser cuestionada al no mostrar una adecuada relación entre las variables usadas para su obtención.

2. Desarrollo

Durante la fase de verificación, en el acápite, seguimiento, medición y análisis es que se hace necesario contar con herramientas que posibiliten la acción de control de consumo y eficiencia energética. Para ello la norma ISO 50001 propone como primer elemento la definición de la Línea de Base Energética [3]. Al respecto la norma plantea: como se aprecia en los epígrafes A.4.4 y A.4.5 de la norma ISO 50001 [2], tanto la forma de establecer la Línea de Base Energética, así como la elección de los IDens, corren a cargo de la organización. La norma nos indica “el qué” debe controlarse y sugiere “el cómo”, y es aquí donde el trabajo que se presenta, a consideración de los autores, puede contribuir a esclarecer las vías para la formulación de la Línea de Base Energética.

En los casos de estudios que se muestran, se siguen los criterios establecidos por los sistemas de gestión energéticos elaborados por la Universidad de Cienfuegos, Cuba [1], y la Universidad Autónoma de Occidente, Colombia [4]. En ambas se usa para la definición de la Línea de Base Energética los diagramas de dispersión correlación [5], que en ambos trabajos se les identifican como los diagramas de consumo energético versus producción o servicio. La Figura 1 muestra, a modo de ilustración, un gráfico de consumos versus producción de un proceso productivo. Además, se ofrece la ecuación de consumo energético versus producción de la empresa. El modelo de mejor ajuste a los datos experimentales (Línea de Base Energética) es en este caso una línea recta. El valor de la energía no asociada al proceso productivo y el coeficiente de determinación o coeficiente cuadrático de correlación (R^2) nos muestra la calidad del ajuste del modelo a los puntos experimentales.

Figura 1. Gráfico de consumo energético versus producción de un proceso industrial



Fuente: elaboración propia.

La literatura y la experiencia acumulada por las instituciones citadas [1, 4] indican que se pueden considerar adecuadas, a los efectos de los análisis energéticos, magnitudes del coeficiente de determinación $R^2 \geq 0,75$. Valores inferiores indican una débil correlación entre los parámetros representados en el diagrama de dispersión, y, por tanto, el índice de consumo formado por el cociente entre la energía y la producción no refleja adecuadamente la relación existente entre las variables consumo energético y la actividad productiva de la entidad.

Las causas más frecuentes de la baja correlación entre el consumo energético y la producción están dadas en:

1. Existen errores en la medición o en su procesamiento.
2. No existen manuales de buenas prácticas o se incumple lo establecido en ellos.
3. La producción (P) y el consumo de energía eléctrica (E) son medidos en diferentes períodos.
4. El término producción (P) no ha sido adecuadamente establecido. Existe producción en proceso que ha consumido energía y esta no ha sido considerada.
5. La estructura de producción incluye productos con diferentes requerimientos energéticos.
6. Existen factores que influyen sobre el consumo de energía y no han sido considerados.
7. En el proceso productivo o de servicios se incluyen actividades que consumen energía y no se reflejan en la producción o servicios incluidos en el índice

En los casos en que la correlación sea débil ($R^2 < 0.75$) y descartadas las causas anteriores,

se puede aplicar el criterio de considerar una producción equivalente, con el fin de obtener el diagrama de dispersión correlación, establecer la línea base y definir los indicadores de desempeño energético. El criterio de la producción equivalente se basa en incorporar al parámetro que caracteriza la producción o el nivel de actividad de servicios, factores y actividades que tienen una influencia significativa sobre el consumo de energía y que no son normalmente considerados. Algunos ejemplos darán mayor claridad a la aplicación de este concepto.

2.1 Caso 1. Definición de la Línea Base Energética en un hotel turístico enclavado en una región tropical

Los datos que se presentan en la Tabla 1 corresponden a los consumos de energía (kWh), ocupación habitacional (HDO) y días grados (DG) de un hotel ubicado en una región tropical, donde el efecto del clima tiene una fuerte incidencia en el consumo energético.

Tabla 1. Datos de consumo energético, habitación día ocupado (HDO) y los días grado (DG) correspondientes a un año de explotación

Mes	kWh	HDO	DG
Enero	60951	1281	21,83
Febrero	59920	1224	30,57
Marzo	60183	1387	70,53
Abril	64795	1260	79,00
Mayo	70792	1046	135,11
Junio	70450	716	135,50
Julio	77121	1087	151,64
Agosto	77286	986	151,64
Septiembre	65746	479	141,63
Octubre	68474	863	124,78
Noviembre	65144	1256	67,50
Diciembre	57929	1096	40,82

Fuente: elaboración propia.

La obtención de la Línea Base Energética para la instalación hotelera debe quedar definida relacionando el consumo energético con la principal variable de trabajo del hotel, que es la ocupación habitacional.

En la Figura 2 se muestra la Línea Base Energética propuesta para los datos de la Tabla 1. Un análisis de la Figura 1 permite concluir que la

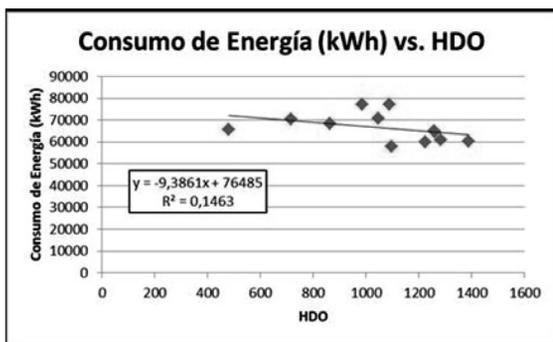
propuesta no debe ser utilizada como Línea Base Energética para el hotel, dado que:

1. No existe una adecuada relación entre las variables. El modelo propuesto que es una línea recta no se ajusta adecuadamente a los puntos obtenidos de forma experimental. Ello queda además confirmado por el bajo valor del Coeficiente de Correlación (R^2) de 0.1463. Debe recordarse que es práctica universal considerar como adecuado en el campo de la gestión de energía valores de $R^2 \geq 0,75$.

2. La pendiente de la línea obtenida en la gráfica es negativa, lo cual se puede apreciar en la ecuación dada en la Figura 1 y que indica que, mientras menor es la ocupación habitacional, mayor es el consumo energético, lo cual no resulta lógico.

3. Del intercepto de la línea recta con el eje de las ordenadas, que muestra el consumo de energía con ocupación cero del hotel, resulta el valor máximo de consumo energético, lo cual se aparta de la realidad.

Figura 2. Propuesta de Línea Base Energética del hotel analizado

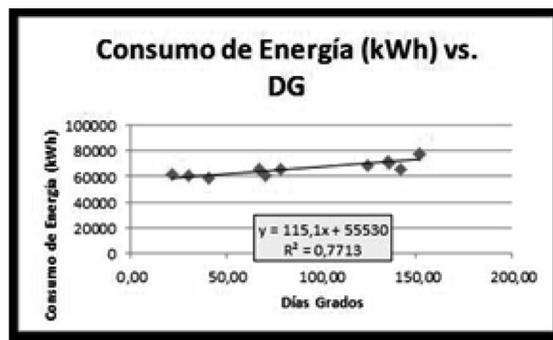


Fuente: elaboración propia.

Lo antes expuesto hace pensar que hay otros factores influyentes en el consumo energético que no han sido tomados en consideración, y, en particular, para la región en que está enclavado el hotel, el efecto del clima puede ser una variable de peso a considerar.

Tomando en consideración los Días Grados de la región para los diferentes meses del año y los consumos energéticos del hotel que aparecen en la Tabla 1, se obtiene la gráfica dada en la Figura 3.

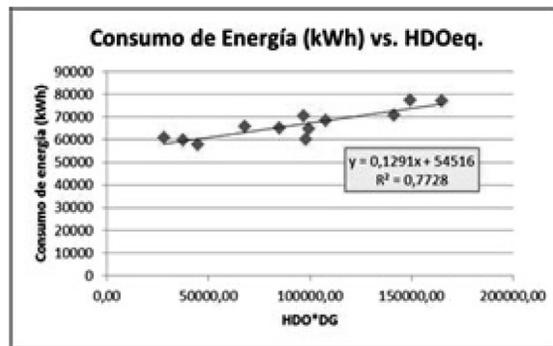
Figura 3. Relación entre el consumo energético y efecto del clima



Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la Figura 3, la relación entre el consumo energético y los Días Grados (GD) es totalmente satisfactoria, pero no es posible realizar el control del hotel a partir de un factor climatológico. Una propuesta de utilidad es colocar en la variable del eje de las abscisas el efecto de la ocupación habitacional y el clima en una sola variable que se integra como el producto de ambos términos. ($HDO \cdot DG$). En la Figura 4 se da el consumo de energía en función del producto de la ocupación habitacional por los Días Grados de los diferentes meses.

Figura 4. Consumo de energía en función del efecto combinado de la ocupación habitacional y el clima



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se da la posible Línea Base Energética del hotel objeto de estudio, considerando en la variable independiente el efecto de la ocupación habitacional (HDO) y el efecto del clima (DG). Tiene como bondades el gráfico que el modelo matemático dado por la línea recta ajusta los valores experimentales de manera

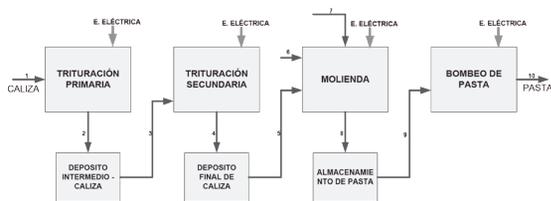
adecuada, con valores del coeficiente cuadrático de correlación $R^2=0,77$.

2.2 Caso 2. Línea Base Energética con corrección del bajo coeficiente cuadrático de correlación (R^2) en la producción de crudo primario de cemento

El proceso de producción de crudo primario consta de cuatro etapas: trituración primaria, trituración secundaria, molienda y bombeo de pasta. Se conoce como crudo primario o pasta al producto obtenido después de que la piedra caliza pasa por estas cuatro etapas.

En la Figura 5 se observa el diagrama de bloques de este proceso, indicando las etapas, el requerimiento de energía eléctrica y las acumulaciones de material semiprocésado.

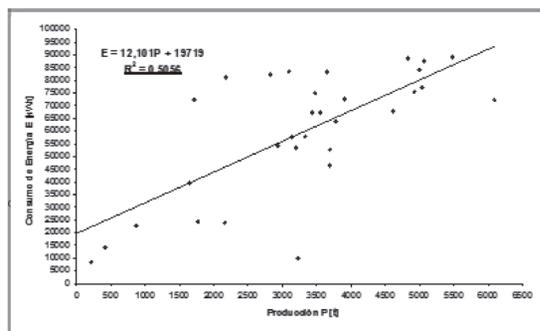
Figura 5. Diagrama energético - productivo del proceso de producción de crudo primario



Fuente: elaboración propia.

La Línea de Base Energética del proceso se estimó tomando como producto final el flujo correspondiente a la pasta bombeada saliente en el punto 10 del diagrama energético productivo. Lecturas diarias de mediciones de pasta y consumo de energía eléctrica del proceso, permitieron realizar el gráfico de dispersión de energía versus producción, y se ajustó la tendencia de los puntos a la ecuación de una línea recta (Figura 6). Como resultado el coeficiente de correlación cuadrático (R^2) entre el consumo de energía eléctrica y la producción fue bajo $R^2=0,5$ y el indicador de consumo (kWh/t), no reflejó adecuadamente la eficiencia energética de este proceso.

Figura 6. Estimación de la Línea Base de Energía en el proceso de crudo primario tomando como producción la pasta bombeada al final del proceso



Fuente: elaboración propia.

Se valoró como problema principal que el actual esquema de producción no es constante. En algunas áreas de este proceso se trabaja por baches, debido a la planeación de la producción y dimensionamiento de las máquinas. Se considera como producción total el producto final correspondiente a la pasta bombeada, sin tener en cuenta el inventario de producto en las etapas intermedias del proceso.

Tomando en consideración la variación diaria en los inventarios de material en las diferentes etapas de producción y el consumo de energía eléctrica en cada una de las áreas y en el total del proceso, se realiza un procedimiento matemático que –tomando en cuenta el potencial energético de estas producciones– permite obtener un producto equivalente, denominado en este caso pasta bombeada equivalente [6].

Partiendo de esta premisa y aplicando las ecuaciones 1 a la 3, se calcula la producción equivalente.

$$P_{\text{pasta bombeada EQ}} = \sum P_{\text{pasta bombeada}} \pm \sum P_{\text{caliza EQ Pasta Bombeada}} \pm \sum P_{\text{pasta alm eq pasta bombeada}} \quad (1)$$

$$\frac{P_{\text{caliza EQ pasta bombeada}} = \Delta P_{\text{caliza-di}} \times (\text{kWh}_{\text{di}}) + \Delta P_{\text{caliza-df}} \times (\text{kWh}_{\text{df}})}{\text{kWh}_{\text{pasta bombeada}}} \quad (2)$$

$$\frac{P_{\text{pasta alm EQ pasta bombeada}} = \Delta P_{\text{pasta alm}} \times (\text{kWh}_{\text{pasta alm}})}{\text{kWh}_{\text{pasta bombeada}}} \quad (3)$$

Donde:

$\Delta P_{\text{Caliza-di}}$: variación en el inventario de caliza del día en el depósito intermedio

$\Delta P_{Caliza-df}$: variación en el inventario de caliza del día en el depósito final

$\Delta P_{pasta-alm}$: variación en el inventario de pasta del día en las balsas.

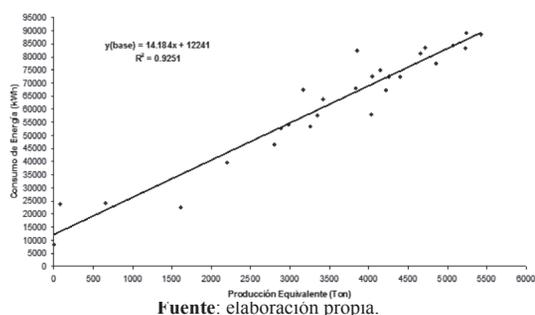
Tabla 2. Cálculo de producción equivalente para el proceso de crudo primario

Días	Pasta Bombreada [t]	INVENTARIOS [t]			FACTORES DE CONSUMO			Prod. Eq. [t]
		Caliza en el DI	Caliza en el DF	Pasta	$\frac{kWh_D}{kWh_{PASTA_BOM}}$	$\frac{kWh_D}{kWh_{PASTA_BOM}}$	$\frac{kWh_{PASTA_ALMI}}{kWh_{PASTA_BOM}}$	
1	4.994	22.096	48.908	4.948	0,0190	0,0654	0,9516	
2	4.828	24.930	48.823	5.523	0,0212	0,0655	0,9494	5.428
3	3.686	22.277	51.355	4.490	0,0214	0,0635	0,9619	2.797
...
31	5.650	15.008	56.889	5.650	0,02634	0,09676	0,94229	4.034

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos se trazó nuevamente el gráfico de correlación de consumo de energía frente a la producción equivalente para el periodo de análisis y se obtuvo una correlación fuerte entre las variables ($R^2 = 0,93$). Ello demuestra que la nueva ecuación base estimada es adecuada para hacer seguimiento a la eficiencia energética del proceso y constituye la Línea de Base Energética del proceso estudiado.

Figura 7. Línea base de energía estimada para el proceso de crudo primario utilizando la producción equivalente



2.3 Caso 3. Definición de la Línea de Base Energética en una fábrica de helados que produce varios productos

La fábrica produce varios productos con diferentes consumos específicos de energía ($kWh/t_{producto}$) y el índice utilizado, $kWh/t_{totales}$, no refleja adecuadamente la eficiencia energética de la fábrica [7].

Aplicando la ecuación 3 y teniendo en cuenta los parámetros de variación en los inventarios y los factores de consumo de energía eléctrica que se resumen en la Tabla 2, se calcula la producción equivalente para el proceso.

Mediante balances energéticos se determina el consumo de electricidad necesario para producir una tonelada de cada producto (helado en masa, helado en paletas y mezcla para batidos) y sobre esta base se encuentra un factor de conversión energético para expresar la producción en toneladas equivalentes al helado en masa, por ser el producto con mayor peso en la estructura de producción. Ver Tabla 1 y la ecuación 4.

$$ton_{EQ} = F_{helado\ masa} \times t_{helado\ masa} + F_{paletas} \times t_{paletas} + F_{batido} \times t_{batido} \quad (4)$$

Los factores de conversión y la producción equivalente se determinan a partir de:

- Factor de helado en masa: $FM = 1$
- Factor de paletas: $FP = 926.5/805.8 = 1.149$
- Factor de batidos: $FB = 255.9/805.8 = 0.317$
- ti. Toneladas de productos procesados

$$ton_{EQ} = 1 \times ton_{helado} + 1,149 \times ton_{paletas} + 0,317 \times ton_{batido} \quad (5)$$

El uso de este nuevo criterio de producción equivalente logró un valor del coeficiente de correlación cuadrático (R^2) superior al obtenido al sumar las toneladas totales de productos elaborador. Ello permitió obtener la Línea de Base Energética de la fábrica de helados.

Tabla 3. Consumo energético específico por productos

Etapa del proceso	Consumo por etapa del proceso de cada producto (kWh/Ton)		
	Helado en masa	Helados en paletas	Mezcla para batidos
Recibo de leche	48.29	-	48.29
Disolución de azúcar	2.893	59.02	2.893
Derretido de grasas	7.152	29.37	7.152
Agua helada Vapor Agua ambiente	Pasteurización		
	171.0	172.81	171.0
	15.27	15.41	15.27
Envejecimiento	10.01	10.10	10.01
Envejecimiento	16.59	16.64	16.59
Congelación	469.38	22.23	-
Máquina rolo	-	503.23	-
Neveras	28.17	29.08	-
Consumo específico total (kWh/Ton)	805.8	926.5	255.9

Fuente: elaboración propia.

3. Conclusiones

1. Los estudios de caso presentados muestran que resulta válido el concepto de producción equivalente para lograr mejoras del coeficiente de correlación cuadrática (R^2) en los diagramas de dispersión que relacionan el consumo de energía y la producción de la empresa, y que posibilitan obtener la Línea de Base Energética de la empresa analizada.

2. La aplicación del concepto de producción equivalente prueba su validez en la obtención de la Línea de Base Energética y con ello la posibilidad de definir los indicadores de desempeño energético en las empresas analizadas.

3. Los trabajos presentados son una muestra de cómo actuar en los procesos industriales de cierta complejidad productiva y poder obtener la Línea de Base Energética, contribuyendo con ello a facilitar el trabajo de aplicación de la norma ISO 50001. ●

Referencias

[1] Ambiente, C. D. (2001). *Gestión Energética Empresarial*. Cienfuegos. Cuba: Universo Sur. Universidad de Cienfuegos. ISBN 959-257-040-X.

[2] Secretaría Central de ISO en Ginebra, Suiza. (2011). *Norma ISO 50001. Sistemas de gestión de la energía - Requisitos con orientación para su uso*. Ginebra, Suiza: © ISO 2011.

[3] Artequim.com. (2012). *Manual de gestión de la energía*. Santiago de Chile: Artequim.com. ISBN 978-956-8819-05-7.

[4] Colectivo de autores. Universidad del Atlántico y Universidad Autónoma de Occidente, Unidad de Planeación Mineroenergética. Ministerio de Energía y Minas. Colombia. (2008). *Sistema de Gestión Integral de la Energía. Guía para la implementación*. Bogotá, Colombia: DÍgitos y Diseños. ISBN 978-958-8123-43-1.

[5] International Standard Equipment. (2012). *ISOCD 50006 Measuring Energy Performance using Energy Baselines & Energy Performance Indicators*. Ginebra, Suiza: Editorial de ISO.

[6] IDEA, España. (1987). *Técnicas de conservación energética en la industria*. Tomo II. Ahorro en procesos. La Habana, Cuba: Editorial Científico Técnica.

[7] Global Footprint Network. (2010). *Ecological footprint atlas 2010*. Oakland, California United States of America: Global Footprint.

[8] Castrillón, R., González, A. & Quispe, E. (2013). *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*. Colombia: Dyna 80, 177, 115 - 123. ISSN 0012-7353.

[9] González, A., Castrillón, R. & Quispe, E. (2012). *Energy efficiency improvement in the cement industry through energy management*. En Cement Industry Technical Conference, IEEE-IAS/PCA 53, 200. Estados Unidos. p. 200. ISBN 978-1-4673-0285-2.