

METODOLOGÍA PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA INTEGRAL DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA

José Aller¹

Luisa Salazar¹

Alexander Bueno¹

Milagros Peña²

¹Universidad Simón Bolívar – Caracas – Venezuela

²Universidad de Carabobo – Valencia – Venezuela

Tlf. +58-212-9063735, email: jaller@usb.ve

Resumen: El Sistema Integral de Gestión de la Energía permite lograr los requisitos establecidos con el menor gasto energético posible y la menor contaminación ambiental. Es un concepto técnico y económico para reducir el consumo energético, optimizar el uso de la energía, aumentar la productividad, la competitividad y fomentar la innovación. Consta de tres etapas: *Decisión estratégica* donde se caracteriza la empresa y se establece la estructura organizativa, la *Implantación* donde se establecen indicadores, acciones y entrenamiento del personal y finalmente la etapa de *Operación y evaluación* del sistema. El análisis estadístico de las características costos producción, permiten establecer metas e indicadores que orientan las actuaciones de la empresa al objetivo deseado. Jerarquiza los proyectos de baja, media o alta inversión para reducir los costos energéticos de forma rentable. El modelo se ha aplicado en varias empresas de manufactura y servicios en forma exitosa y es capaz de medir los resultados de las inversiones realizadas.

Palabras Claves: Diagnóstico, indicadores, consumo, ahorro energético.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo y la disponibilidad de energía es un factor preponderante en los costos de producción. Por este motivo se pone de manifiesto en el sector manufacturero y de servicios la necesidad de realizar una cuidadosa gestión de la energía para aumentar la competitividad.

El uso racional y eficiente de la energía se puede definir como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía del país, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales. Todo esto incluye aspectos tales como el ahorro de energía, la sustitución de energéticos, la generación eficiente de energía y el mantenimiento de equipos [1-3].

Utilizar eficientemente la energía significa evitar desperdiciarla y realizar las actividades con el mínimo de energía posible, aumentando la productividad y competitividad de la empresa.

Algunos temas relacionados directamente con el consumo de energía a nivel de industrias manufactureras y empresas de servicio son:

- Análisis del sistema de alimentación eléctrica.
- Análisis de la instalación eléctrica desde la acometida.
- Análisis de los puntos de consumo de la energía eléctrica: transformadores, motores, iluminación, conductores, entre otros.
- Análisis del sistema de generación de vapor.
- Análisis del sistema de ventilación, refrigeración y aire acondicionado.
- Análisis del sistema de red regulada.
- Estudio de la iluminación.

El uso racional de la energía causa impactos positivos, de los cuales se benefician, económicamente los usuarios, y se preservan los recursos energéticos disponibles. Estos se logran al realizar ahorros energéticos en las diferentes clases de usuarios, con acciones como sustitución de equipos de alto consumo, iluminación más eficiente y de bajo consumo, corrección de fugas en aire acondicionado y redes de vapor, análisis de eficiencia de equipos instalados, uso de fuerza motriz mediante la sustitución de motores clásicos por motores de alta eficiencia, el cambio de arrancadores estrella triángulo por arrancadores suaves, cambios radicales en equipos de tecnología obsoleta y rediseño de los sistemas productivos.

Como elementos para ser considerados en la búsqueda de la eficiencia energética se pueden citar las siguientes acciones:

- Cambio energético
- Mejoras tecnológicas
- Optimización de procesos industriales, automatización o robotización
- Manejo de temperaturas
- Climatización natural
- Maximización del uso de la luz natural
- Mejora del factor de potencia

En los sectores productivos y de servicios, las tecnologías que hacen uso eficiente de la energía pueden ayudar a los países en desarrollo a lograr el crecimiento económico y a mejorar el nivel de vida, y simultáneamente contribuir a la reducción de emisiones responsables de efecto invernadero. La eficiencia energética no es sólo cuestión de poseer las últimas tecnologías, sino de saber emplear y administrar los recursos energéticos disponibles de un modo hábil y eficaz, lo que requiere *desarrollar procesos de gestión de la energía*.

El uso eficiente de la energía surge como requisito ineludible para todos los actores del mercado energético: productores, consumidores, reguladores, y es una solución concreta que contribuye a una mayor competitividad de la economía, a disminuir los impactos ambientales derivados de una menor producción y consumo de energía, y a reducir a lo estrictamente necesario la expansión que naturalmente requiere el sistema eléctrico nacional.

En los sectores industriales y de servicios, la eficiencia energética tiene por objeto reducir los costos de producción, contribuir al cumplimiento de las exigencias ambientales, disminuir la dependencia energética y mejorar la competitividad global, incorporando una gestión eficiente de la energía.

La Eficiencia Energética produce entre otras las siguientes ventajas:

- Menores costos de producción, al consumir menos energía por unidad producida;
- Mayor capacidad de generación disponible, lo cual permite la utilización del sistema eléctrico para otros usos.
- Menor desperdicio de energía y disminución de contaminantes.

No existe a nivel internacional, una norma que guíe el nuevo diseño organizacional requerido en la empresa para la administración eficiente de sus recursos energéticos y el impacto ambiental que produce el uso de la energía en los procesos productivos. Esto ha

hecho necesario que las empresas planteen sus propios “modelos de gestión” de la energía para motivar e incentivar un desarrollo de la nueva cultura organizacional para el uso eficiente de la energía.

Los “modelos de gestión” energética en las empresa hasta el momento se han desarrollado con alto grado de espontaneidad o tomando como referencia programas o modelos externos. Se han limitado fundamentalmente a los siguientes aspectos [1-3]:

- Diagnósticos energéticos a la tecnología y planes de medidas o de acciones para la reducción de los costos energéticos.
- Supervisión de indicadores energéticos basados en registros para verificación de consumos e identificación de equipos y procesos altos consumidores.
- Cambio de energéticos primarios.
- Cambios tecnológicos.
- Gestión de contratación de energéticos primarios.

Muchas de las actividades de gestión energética realizadas a nivel empresarial constituyen procesos discontinuos en el tiempo. Son acciones reactivas que responden principalmente a la oscilación de los precios de la energía primaria, directrices políticas o económicas puntuales, a los costos de producción o a los saltos del valor absoluto de la factura de la energía de la empresa.

II. GESTIÓN INTEGRAL DE LA ENERGÍA

El Sistema de Gestión Integral de la Energía (SGIE) es el conjunto de procedimientos y actividades estructuradas que integra los componentes del sistema organizacional de la empresa, para alcanzar el consumo óptimo de energía [4,5]. Involucra integralmente todas y cada una de las actividades medulares de la empresa tal como se muestra en la figura 1.



Fig. 1: Integración de actividades en el SGIE

Este proceso se puede estructurar en las siguientes tres etapas, ilustradas en la figura 2 y el cronograma de ejecución del proyecto que se presenta en la figura 3:

Etapa 1: Decisión Estratégica

Generalmente la empresa no está preparada cultural, técnica y organizativamente para comenzar la instalación y operación de un sistema de gestión, sino que necesita de algunas actividades preparatorias que se realizan una sola vez. En esta etapa se identifica el estado actual de la empresa, las metas globales y los impactos en la productividad, el medio ambiente, la utilidad, los gastos operacionales, el rendimiento y las ventajas de la implantación de un sistema de gestión integral de la energía. Esto comprende las siguientes actividades:

- Caracterización energética de la empresa.
- Compromiso de la alta dirección.
- Alineación de estrategias.
- Definición de la estructura técnica y organizacional.

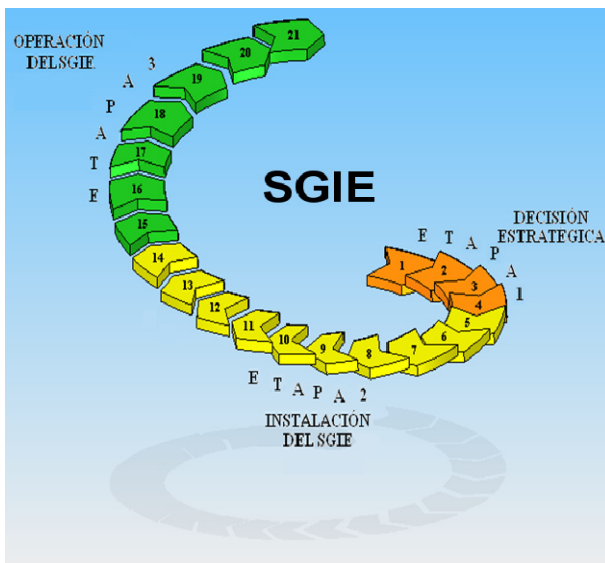


Fig. 2: Etapas en la instalación del SGIE

| | Meses | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| Etapa 1: Decisión Estratégica | | | | | | | | | | | | | |
| Caracterización energética de la empresa | ■ | | | | | | | | | | | | |
| Compromiso de la alta dirección | | ■ | | | | | | | | | | | |
| Alineación de estrategias | | | ■ | | | | | | | | | | |
| Definición de la estructura técnica y organizacional | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Etapa 2: Instalación del SGIE | | | | | | | | | | | | | |
| Establecimiento de indicadores del sistema de gestión | | | | ■ | | | | | | | | | |
| Identificación de las variables de control por centro de costo | | | | | ■ | | | | | | | | |
| Definición de los sistemas de monitoreo | | | | | | ■ | | | | | | | |
| Diagnóstico energético | | | | | | | ■ | | | | | | |
| Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva | | | | | | | | ■ | | | | | |
| Plan de medidas de uso eficiente de la energía | | | | | | | | | ■ | | | | |
| Actualización y validación de la gestión organizacional | | | | | | | | | | ■ | | | |
| Preparación del personal | | | | | | | | | | | ■ | | |
| Documentación | | | | | | | | | | | | ■ | |
| Auditoría y ajustes del plan | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Etapa 3: Operación del SGIE | | | | | | | | | | | | | |
| Seguimiento y divulgación de indicadores | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Seguimiento y evaluación de buenas prácticas energéticas | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Implantación de programas y proyectos de mejora | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Implantación del plan de entrenamiento y evaluación del personal | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Chequeos de gerencia | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Ajustes del sistema de gestión | | | | | | | | | | | | | ■ |
| Evaluación de resultados | | | | | | | | | | | | | ■ |

Fig. 3: Cronograma para la instalación del SGIE

Etapa 2: Instalación del SGIE

La fase siguiente constituye el núcleo fundamental del programa de la gestión integral de la energía donde se realizan los diagnósticos necesarios, se implantan los sistemas de monitoreo, se producen las políticas y acciones de ahorro energético, se prepara el personal y se valida y documenta todo el proceso. En esta etapa se realizan las siguientes actividades:

- Establecimiento de indicadores del sistema de gestión.
- Identificación de las variables de control por centro de costo
- Definición de los sistemas de monitoreo
- Diagnóstico energético
- Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva
- Plan de medidas de uso eficiente de la energía
- Actualización y validación de la gestión organizacional.
- Preparación del personal
- Documentación
- Auditoría y ajustes del plan.

En la figura 4 se enumeran las acciones y relaciones necesarias para la implementación de un SGIE [1].



Fig. 4: Implementación de un SGIE

Como primera etapa en la implementación de un programa para la administración de la energía, se recomienda hacer una auditoría energética y un reconocimiento del sitio. Con lo anterior se tiene información suficiente para definir la base técnica y la estructura organizacional del sistema de gestión. En la figura 5 se muestra el algoritmo para realizar la auditoría necesaria en la implementación del SGIE.

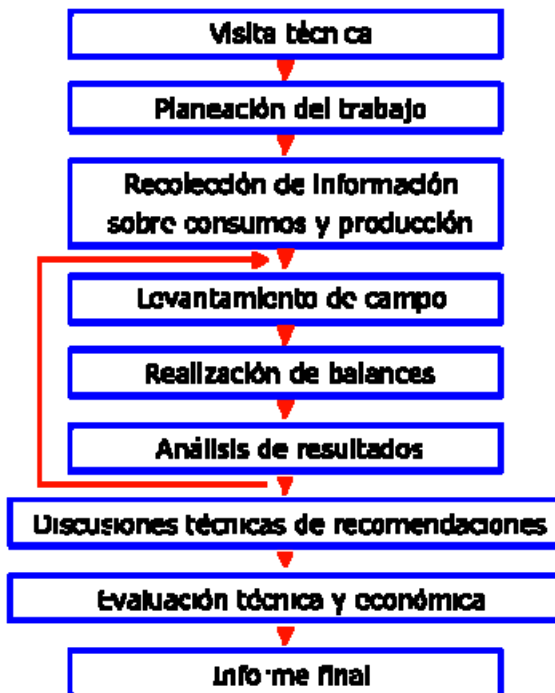


Fig. 5: Algoritmo para la auditoría energética del SGIE

Etapa 3: Operación del SGIE en la Empresa

En esta etapa el modelo de gestión debe asegurar la mejora continua de la gestión energética y evaluar el desarrollo de la cultura por la eficiencia energética del recurso humano, de tal forma que se mantenga el interés y el compromiso de los niveles estratégicos, tácticos y operativos de la empresa. En esta etapa la empresa comienza a manejar de forma autónoma el SGIE y el consultor realiza auditorías y evaluaciones periódicas del sistema. Las principales actividades que se realizan en esta etapa son:

- Seguimiento y divulgación de indicadores.
- Seguimiento y evaluación de buenas prácticas de operación, mantenimiento, producción y coordinación.
- Implantación de Programas y Proyectos de Mejora.
- Implantación del Plan de Entrenamiento y Evaluación del personal.
- Chequeos de gerencia.
- Ajustes del sistema de gestión.
- Evaluación de resultados.

El SGIE pretende realizar una transición en el manejo de la energía tal como se muestra en la figura 6. Esto consiste en pasar de una ineficiencia energética inconsciente a un primer paso donde se continúa con la ineficiencia pero a un nivel consciente. Seguidamente se pasa a la eficiencia consciente, donde aun cuesta mucho esfuerzo esta política empresarial pero da paso a la meta que es manejar la empresa eficientemente de forma totalmente inconsciente. Para poder realizar esta importante transición es necesario un compromiso con la alta gerencia.



Fig.6: Pirámide energética del SGIE

III. CARACTERIZACIÓN DE LA EMPRESA

Para realizar la caracterización de la empresa se utilizan herramientas estadísticas que permiten analizar el desempeño energético mediante indicadores cuantitativos [6]. El primer paso consiste en detectar los equipos y sistemas que tienen mayor consumo. Esto se realiza con diagramas de Pareto similares al que se muestra en la figura 7. Normalmente se dedica el mayor esfuerzo al 20% de los equipos y sistemas que consumen el 80% de la energía, de esta manera se incrementan las oportunidades para obtener el mayor impacto en las medidas tendientes a reducir el consumo [4].

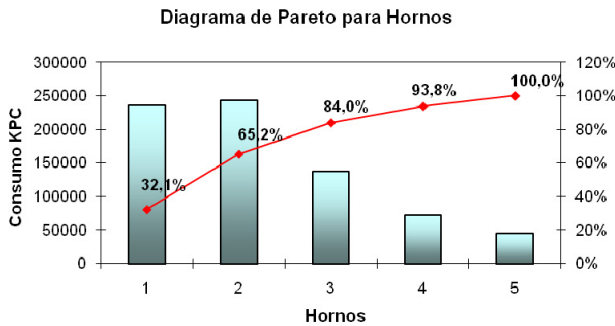


Fig. 7: Ejemplo de diagrama de Pareto

Los gráficos de control, tales como el que se muestra en la figura 8, permiten analizar el comportamiento de las variables que intervienen en los procesos de la empresa. Estos gráficos representan el consumo mensual, el consumo promedio así como las bandas máximas y mínimas.

Los diagramas temporales de consumo energético y producción tales como el que se muestra en la figura 9 permiten identificar comportamientos anómalos en la variación del consumo energético.

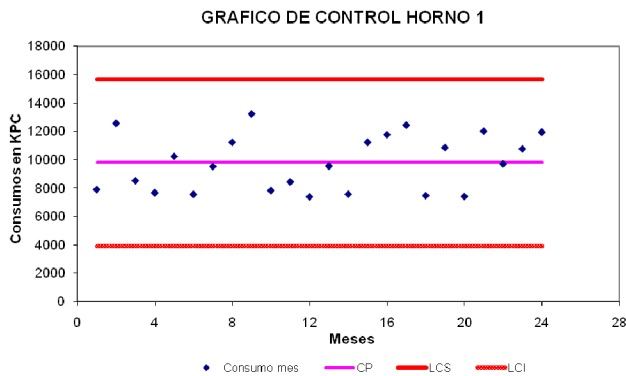


Fig. 8: Gráfico de control

Los gráficos de Energía contra producción tal como el mostrado en la figura 10 indican tanto la energía no asociada a la producción (corte de las abscisas) como el incremento de energía necesario cuando se incrementa la producción (pendiente de la recta):

$$C = E_0 + \frac{\partial C}{\partial P} \times P \quad (1)$$

donde:

- C es el consumo de energía,
- E_0 es la energía no asociada al consumo,
- $\frac{\partial C}{\partial P}$ es el incremental de energía por unidad de producción, y
- P es la producción.

Cuando la correlación es mayor al 70% la relación entre la energía y la producción tiene un modelo prácticamente lineal. Los puntos que se separan del modelo tanto por arriba como por debajo ofrecen información valiosa para detectar pérdidas y esquemas de operación que permitan acciones ahorradoras de energía. También son útiles para determinar objetivos de eficiencia y reducir los consumos no asociados a la producción.

Los diagramas de energía contra producción permiten definir metas de ahorro en los valores fijos de energía no asociada a la producción y en la pendiente del modelo estadístico. Así se puede construir el gráfico de meta que se muestra en la figura 11. Este gráfico es un objetivo a ser alcanzado en períodos posteriores y la meta se obtiene con acciones de ahorro energético.

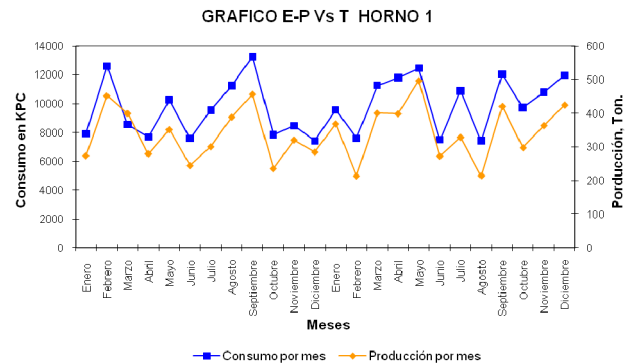


Fig. 9: Diagrama energía & producción con respecto al tiempo

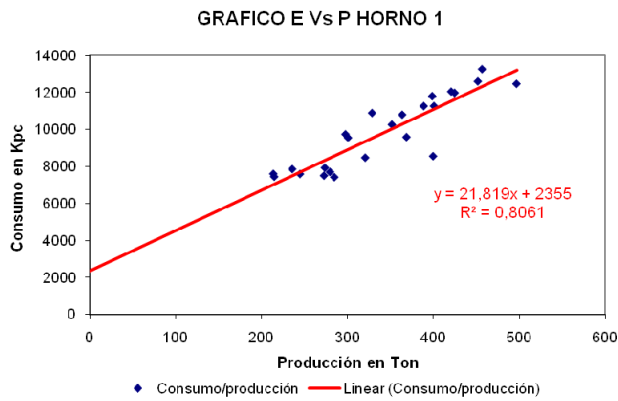


Fig. 10: Diagrama Energía-Producción y modelo estadístico asociado

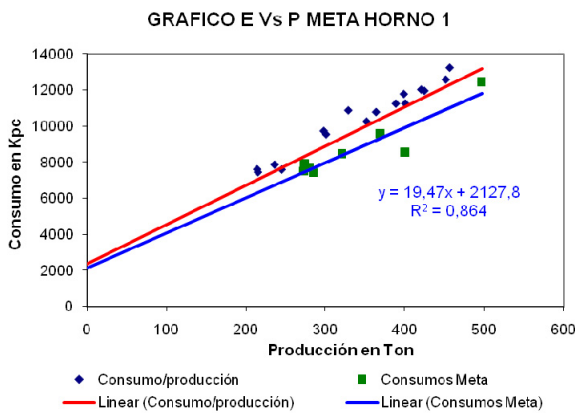


Fig. 11: Gráfico Energía-Producción Meta

En la figura 12 se ha representado el diagrama de índice de consumo con respecto a la producción. El índice de consumo (IC) es un indicador que relaciona la energía con la producción obtenida de esa energía:

$$IC = \frac{\text{Energía}}{\text{producción}} \quad (2)$$

Si el modelo energía-producción es lineal, el índice de consumo es una hipérbola cuya asíntota indica la producción necesaria para obtener una eficiencia energética adecuada. En la medida que la producción aumenta se obtienen mejores índice de consumo, pero este se satura y en ese momento aumentar la producción no incrementa apreciablemente la eficiencia.

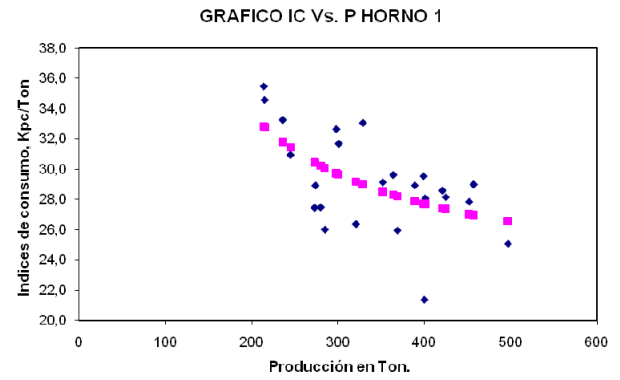


Fig. 12: Gráfico de índice de consumo con respecto a la producción

Finalmente se utiliza el gráfico de tendencias para detectar el nivel de cumplimiento de la empresa con la meta planteada. Este es un diagrama denominado *cusum*. En la figura 13 se muestra un ejemplo de este gráfico donde se observa que existe una tendencia acumulativa positiva. Esto indica que las metas propuestas no están siendo alcanzadas y deben revisarse los objetivos y las acciones emprendidas para llevar a cero este acumulado.



Fig. 13: Gráfico de tendencia (CUSUM)

Finalmente es necesario realizar comparaciones (*benchmarking*) de los indicadores de consumo energético con empresas en el sector, incluso con procesos equivalentes. En la figura 14 se muestran algunos de estos indicadores para varios procesos industriales típicos [2].

| Subsector Industrial | Valor típico de consumo de energía (Toe/año) | Potencial de ahorro energético (%) | Potencial de ahorro (Toe/año) | Potencial total de reducción e CO2 (Ton/año) |
|----------------------|--|------------------------------------|-------------------------------|--|
| Alimentos | 172.275 | 9,3 | 16.098 | 53.652 |
| Hierro y Acero | 521.964 | 5,9 | 30.805 | 102.689 |
| Caucho | 261.820 | 10,1 | 26.420 | 94.739 |
| Cemento | 101.490 | 8,0 | 8.127 | 27.092 |
| Cerámicos | 39.079 | 6,8 | 3.442 | 11.473 |
| Vidrio | 124.354 | 2,6 | 3.295 | 10.983 |
| Papel | 93.682 | 6,5 | 6.063 | 20.210 |
| Madera | 3.872.921 | 23,0 | 890.812 | 2.969.488 |
| Total | 5.207.585 | 9,3 | 987.060 | 3.290.325 |

Fig. 14: Indicadores energéticos y ambientales para varios procesos industriales típicos [2]

IV. RESULTADOS

En Venezuela el SGIE está siendo implantado en diversas empresas tales como industrias de alimentos, empresas eléctricas, fábricas, siderúrgicas, hospitales, hoteles, bancos y universidades. Los resultados varían entre las diferentes empresas pero como regla general se estima que aquellas que han dedicado esfuerzo y recursos al problema de la eficiencia energética y están muy tecnificadas pueden reducir hasta un 10% su consumo energético [7-13]. Cuando las empresas no tienen planes ni indicadores del consumo energético, el mantenimiento no se realiza preventivamente y la gerencia considera que la energía no tiene impacto en la producción, los cambios pueden llegar a reducir hasta en un 50% el consumo energético de estas empresas. La aplicación de un SGIE es un paso básico en el camino a la calidad total e incluso a WCM (Word Class Manufacture) que ha permitido la recuperación de muchas empresas que habían dejado de ser competitivas en los mercados globales.

Algunos de los resultados que pueden esperarse con la implantación del SGIE son:

- Identifica la magnitud y el alcance de las mejoras en el uso de la energía que pueden obtenerse en la empresa.
- Prepara los equipos y el personal clave de la empresa para reducir los costos energéticos.
- Genera las bases cuantitativas y cualitativas para establecer la política, los objetivos y las metas en el uso de la energía de la empresa.
- Permite el control y el análisis de las causas de las variaciones en el consumo y costos energéticos.
- Justifica el orden en que deben implantarse los proyectos de baja, media o alta inversión

para reducir los costos energéticos de la empresa en forma rentable.

- Identifica, establece y mantiene el desarrollo de buenas prácticas de operación y mantenimiento de los equipos y procesos que usan la energía.
- Implanta y mantiene un programa adecuado de conservación de los equipos de medición y control, vitales para el uso eficiente de la energía.
- Eleva y mantienen el nivel de cultura operacional, tecnológica y energética de la organización.
- Establece la estructura técnico-organizativa necesaria para mantener el uso eficiente de la energía.
- Mantiene competente y motivado al personal clave en el uso eficiente de la energía.
- Permite medir el resultado de las inversiones realizadas en la reducción de los costos energéticos.
- Planifica los consumos y la eficiencia en el uso de la energía basada en un ciclo de mejora continua.
- Elimina la posibilidad de improvisación en la compra y manejo de la energía.
- Aplica el benchmarking de los indicadores energéticos con los competidores y con la propia empresa.
- Reduce los costos de mantenimiento de los equipos y procesos que usan la energía.
- Reduce y controla el impacto ambiental del uso de la energía en la empresa.
- Establece métodos para introducir o actualizar y mantener la vigilancia tecnológica y la innovación dirigida a la eficiencia energética de sus procesos.
- Incorpora a la gestión organizacional interna y externa los elementos necesarios para el manejo integral eficiente de la energía en la empresa.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo se plantea un método de gestión integral de la energía SGIE que abarca todas las actividades medulares de la empresa para alcanzar el objetivo de producir bienes y servicios utilizando la menor cantidad de energía posible sin impactar desfavorablemente el medio ambiente.

El SGIE de la energía se ha aplicado exitosamente en Colombia, España, Cuba, México, Venezuela y otros países. Los ahorros energéticos van desde un 10% a un 50% dependiendo de las condiciones iniciales, las

políticas de la empresa y el nivel de compromiso alcanzado por el personal.

Los costos de la implantación del SGIE son recuperables a corto plazo tanto por la reducción en el consumo energético como por el aumento en la productividad logrado al implantar sistemas de mantenimiento preventivo, supervisión de pérdidas e indicadores energéticos objetivos.

REFERENCIAS

- [1] Campos, J.C.; Quispe, E.; Caicedo, O. et al. "Guía para la implementación de sistemas de gestión integral de la energía," Universidad Autónoma de Occidente y Universidad del Atlántico. Colombia.
- [2] Escobar, G; Saludes, D. & Toledo, J. "Manual de Auditorías Energéticas," AEDIE, Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid y Comunidad de Madrid. 2003
- [3] Aníbal E. Borroto Nordelo, "Gestión Energética Empresarial," Centro de Estudios de Energía y Medioambiente, Universidad de Cienfuegos, Cuba, 2002.
- [4] Alvarez, C. "Guía didáctica para el desarrollo de auditorías energéticas," Ministerio de Energía y Minas, Colombia 2007.
- [5] Campos, J.C.; Quispe, E.; Caicedo, O. et al. "Herramientas para el análisis de la caracterización de la eficiencia energética," Universidad Autónoma de Occidente y Universidad del Atlántico. Colombia.
- [6] Turner, W & Doty, S. "Energy Management Handbook," 6th Ed. CRC Press, 2006.
- [7] Lenna Bravo, "Implementación de un Modelo de Eficiencia Energética para Grandes Consumidores del Sistema Eléctrico del Estado Nueva Esparta," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de grado, Diciembre 2009.
- [8] Siulmar Guevara, "Diagnóstico Energético en el Hotel Alba Caracas," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de grado, Enero 2010.
- [9] Julio Orta, "Diagnostico Energetico Edificio Principal Electricidad de Caracas," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de grado, Enero 2010.
- [10] Carlos Moro, "Estudio del Consumo Energetico del Edificio General de la Biblioteca de La Universidad Simón Bolivar," Trabajo final de grado, Enero 2010.
- [11] Tulio Sanchez, "Estudio del Consumo Energético de los Edificios Admisnistrativos MEU, MEM, ENE y EGE de la Universidad Simón Bolívar," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de grado, Septiembre 2009.
- [12] Gleb Machado, "Diagnóstico Energético del Edificio Administrativo y Laboratorio Pesado de la Universidad Simón Bolívar Sede Camúri Grande," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de Grado, Septiembre 2009.
- [13] Ivan Domínguez, "Diagnostico Energético Edificio Residencial Clarisa," Universidad Simón Bolívar, Trabajo final de Grado, Enero 2009.