

# GESTIÓN TOTAL EFICIENTE DE LA ENERGÍA: HERRAMIENTA FUNDAMENTAL EN EL MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD DE LAS EMPRESAS

## RESUMEN

El planteamiento general del presente artículo consiste básicamente en dar a conocer las pautas a seguir en la implementación de un sistema de gestión total eficiente de la energía, que permita mediante la utilización de herramientas simples de planeación y control estadístico, aprovechar mejor los recursos energéticos de uso cotidiano en la industria, mejorando así, los índices de productividad de las mismas, y por lo tanto su competitividad.

**ALVARO HERNÁN RESTREPO V.**

Ingeniero Mecánico, MsC.  
Profesor de Ingeniería Mecánica  
Coruniversitaria de Ibagué  
[arestrep@nevado.cui.edu.co](mailto:arestrep@nevado.cui.edu.co)

**PALABRAS CLAVES:** Gestión energética, Uso racional de la energía

## ABSTRACT

*The general approach of the present article basically is to show the rules to continue the implementation of an efficient total management system of the energy using a simple tools of planning and statistical control. To take better advantage of energy resources of daily use in industry, improving productivity indexes and competitiveness.*

**KEYWORDS:** Energy Management, Energy Administration, Rational use of the energy.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones actuales han obligado al sector industrial a reestructurar sus procesos, buscando con esto un aumento en la eficiencia de los mismos. Esta reestructuración por un lado consiste en realizar un control total del proceso a partir de sistemas avanzados, (Tecnología de punta) y que solo unos pocos sectores productivos poseen por ser demasiado costosa; por otro lado, pequeñas y medianas empresas acuden a las llamadas auditorías energéticas las cuales posiblemente garanticen la estructuración y reducción de los consumos de los energéticos, pero no siempre tienen presente la correlación existente entre estos consumos y la producción de la empresa, generando la mayoría de la veces desaliento e incredulidad por parte del empresario.

Entre otros, los errores más representativos al implementar sistemas de gestión apoyados en auditorías energéticas son:

- **Se atacan los efectos y no la causa de los problemas:** Este error ocurre en aquellas empresas donde existe la cultura de administración por reacción, es decir, los proyectos, si es que se realizan, se enfocan a la solución de la causa aparente o síntomas en dispositivos aislados y por lo tanto sus resultados son temporales e inestables.
- **No se atacan los puntos vitales:** En los sistemas energéticos de las empresas no saltan a la vista los puntos vitales que determinan los altos consumos, su detección requiere de la aplicación de herramientas

estadísticas en diferentes regímenes de trabajo y de herramientas especiales para establecer prioridad en políticas de ahorro y control de la energía

- **Se cree en soluciones definitivas:** Los procesos productivos son alterados por un número alto de variables y por lo tanto la eficiencia global del proceso está variando continuamente. Es por esto que no se puede pensar en implantar soluciones definitivas.

La tecnología expuesta a continuación, garantiza al empresario, con una baja inversión, la implementación de un sistema de gestión y consiste en la aplicación sistemática de un conjunto de herramientas que garantizan prácticas eficientes de control, producción, transformación y uso de la energía, tal como se reglamenta en la ley 697 de 2001 del ministerio de minas y energía.

## 2. CONCEPTOS BÁSICOS

A continuación se describen algunos conceptos importantes a tener en cuenta al momento de implementar la tecnología.

### 2.1 Indicadores Energéticos

Resulta obvio pensar que si se desea evaluar el desempeño o eficiencia de un proceso, se debe relacionar la cantidad de producto manufacturado con la cantidad de energía consumida, estas relaciones llevan por nombre indicadores energéticos. A nivel de empresa es común

*Fecha de Recibo: 21 de abril de 2003*

*Fecha de Aceptación: 15 de julio de 2003*

trabajar con el índice de consumo, el cual indica las unidades de producto terminado por unidad de energía consumida.

Es importante aclarar que si se consumen diferentes tipos de energía para un mismo producto debe determinarse el consumo equivalente haciendo compatibles los diferentes tipos, este índice permite su comparación con las normas de consumo establecidas para la empresa ejemplo: Ton tela producida/ Tn equivalente de petróleo; Kilogramo de vapor generado/ Kilogramo equivalente de petróleo etc. El índice equivalente se expresa en toneladas equivalentes de petróleo y permite dar un mismo peso a todos los portadores.

Las toneladas equivalentes de petróleo (Tep) se determinan mediante factores de conversión que relacionan el valor calórico real del portador energético con el valor calórico convencional asumido. En la tabla No 1, se observan los factores de conversión para algunos portadores energéticos de uso común, para ser expresados en toneladas equivalentes de petróleo.

Tabla No 1. Factores de conversión

Tonelada de	Factor de conversión
Diesel	1.0534
Gasolina	1.0791
Fuel oil	0.9903
Gas Licuado	1.163

Estos valores pueden variar en dependencia del poder calorífico real del portador energético, la actualización de los mismos, puede obtenerse con el ministerio de energía o con empresas explotadoras y comercializadoras

## 2.2 Grupo de Mejora

Para aplicar la secuencia de mejoras propuesta por la Gestión Total Eficiente de la Energía, es necesario establecer determinada organización en la empresa que facilite su ejecución, esta organización debe combinar los aspectos propios de una estructura formal o funcional existente, con los de otra de carácter informal no descrita en el organigrama general de la empresa, que permite gran flexibilidad al operar.

A continuación se da la misión y las funciones que debe desempeñar un grupo de mejora.

**Órgano:** Grupo de gestión de mejora. (Lo que le interesa a un grupo de auditoría energética)

**Integrantes:** Especialistas de diferentes áreas energéticas (Ingenieros Eléctricos, Mecánicos, Industriales, etc) los cuales interactúan directamente con la gerencia a fin de garantizar el compromiso de todos.

**Misión:** Diseñar y aplicar un programa de gestión total eficiente de la energía en la empresa, logrando con esto, el mejoramiento de la eficiencia energética.

**Funciones:** A continuación se describen las funciones básicas a desarrollar por los grupos de gestión

- Elaborar el programa de gestión.
- Establecer metas de eficiencia energética.
- Evaluar técnica y económicamente las medidas de incremento de la eficiencia,
- Evaluar, diagnosticar y dar prioridades a los problemas vitales.
- Diseñar e implantar un sistema de inspección al programa de gestión que opere de forma continua.

## 2.3 Condiciones para la implementación de la tecnología

Para la implementación de la tecnología además de la disposición de la alta gerencia, es de vital importancia contar con instrumentos y equipos de medición, entre los más importantes se tiene: Analizadores de redes y de gases de combustión, termómetros, flujómetros, etc.

## 3. HERRAMIENTAS DE TRABAJO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA GESTIÓN TOTAL EFICIENTE DE LA ENERGÍA

Una vez instaurado el grupo de gestión de mejora, se deben utilizar las herramientas de trabajo, las cuales permiten implementar las secuencias propuestas para la tecnología, por su nivel de complejidad generalmente se clasifican en básicas, medias y avanzadas.

Las básicas son aquellas que se sustentan en métodos estadísticos simples, que permiten desarrollar un proceso deductivo que va de lo general a lo particular determinando así la causa de los problemas.

Las herramientas medias y las de avanzada deben ser conocidas y manejadas por los integrantes del grupo de gestión de mejora ya que requieren de cierto nivel académico y grado de especialización técnica para su comprensión, aplicación e interpretación.

### 3.1 Herramientas Básicas

El propósito de utilizar estas herramientas es que a partir de datos de consumo y producción suministrados por la empresa, se puedan generar, por una parte las condiciones de operación típicas para la empresa, y por otra, indicadores de comparación. Las herramientas básicas fundamentales son las siguientes:

- Diagrama de Pareto
- Histogramas
- Selección ponderada
- Diagrama causa y efecto
- Diagrama de dispersión Estratificación
- Gráficos de control.

A continuación se dará una breve descripción de algunas de ellas, estas no tienen un orden secuencial de aplicación y es agilidad del grupo de gestión determinar cuales son las más adecuadas a la necesidad.

3.1.1 Diagrama de Pareto:

Este esta inspirado en el principio conocido como pocos vitales y muchos útiles. Ley 80-20 que reconoce que en los procesos hay unos pocos elementos o causas realmente importantes (20%) que generan la mayor parte del efecto (80%) En otras palabras, del total de problemas que causan la baja o no deseada eficiencia energética de una empresa, solo unos cuantos de ellos afectan de manera vital su competitividad.

La figura No 1 muestra un diagrama Pareto que indica la distribución de energéticos en una empresa cualquiera y en el que además se observa claramente que los portadores más representativos son la electricidad y el petróleo respectivamente.

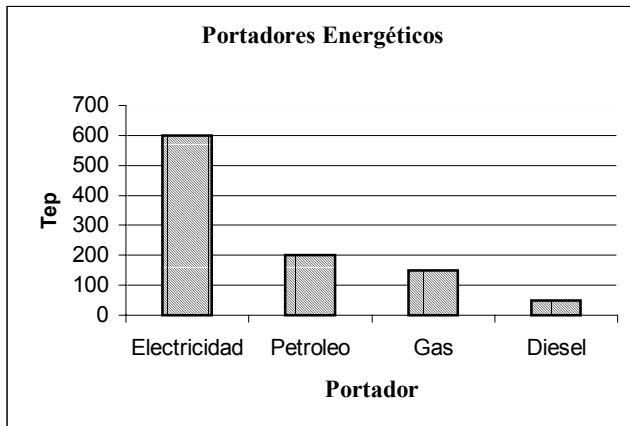


Figura No 1. Diagrama típico de Pareto.

3.1.2 Histograma:

El histograma es una representación gráfica de la distribución de uno o varios factores que se confeccionan mediante la representación de las medidas u observaciones agrupadas en una escala sobre el eje vertical.

El histograma que se presenta más a menudo es aquel que tiene un valor central donde se agrupa el mayor número de observaciones y con frecuencia decreciente a ambos lados del mismo, este se define como "distribución normal". El histograma permite:

- Obtener una comunicación clara y efectiva de la variabilidad del sistema.
- Mostrar el resultado de un cambio del sistema.
- Identificar anomalías examinando la forma.
- Comparar la variabilidad con los límites de especificación.

Por lo general el histograma se muestra como un gráfico de control. El cual se examinará más adelante.

3.1.3 Selección Ponderada:

Es un método que permite a un grupo determinar una escala de prioridad en una lista de elementos no cuantificados, cuya importancia relativa es mensurable solamente a través de las opiniones de distintas personas experimentadas.

Tomemos por ejemplo un grupo de 4 personas que deba elegir entre 8 problemas de una lista. Cada miembro del grupo escoge los 3 problemas que sean prioritarios atribuyéndoles una importancia decreciente de 5 a 1.

A continuación se da una lista de problemas que afectan el consumo de combustible de un generador de vapor:

- A. Baja temperatura del condensado.
- B. Calidad del agua deficiente.
- C. Baja temperatura del combustible.
- D. Mala combustión.
- E. Demanda variable de vapor.
- F. Mala atomización.
- G. Inexperiencia del operador.
- H. Arranque manual.

En la tabla No 2 se puede ver el grado de importancia que cada experto asigno a los problemas que el considero más importantes.

Tabla No 2. Ponderación

Nombres	Puntos		
	5	3	1
1 Manuel	H	G	E
2 Elizabeth	B	H	G
3 Mauricio	H	D	C
4 Alvaro José	H	A	C

Las puntuaciones se suman ahora por problema y se adjuntan a un número que indica cuantos miembros del grupo han clasificado un determinado problema entre los 3 prioritarios. Así lo muestra la tabla No 3. Por comodidad a cada uno de los expertos se le asigno un número.

Tabla No 3. Resultados de la ponderación.

Probl.	Experto				Total	Frecuencia
	1	2	3	4		
A				3	3	1
B		5			5	1
C			1	1	2	2
D			3		3	1
E	1				1	1
F					0	0
G	3	1			4	2
H	5	3	5	5	14	4

Con base en la puntuación total resultan prioritarios los problemas H, G y C. En particular es el problema H el que el grupo considera más importante y será entonces el problema a resolver.

**3.1.4 Gráficos de control**

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos.

Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos presentan un comportamiento denominado normal, es decir, existe un valor medio M del parámetro de salida muy probable de obtener, mientras que a medida que nos alejamos de este valor medio, la probabilidad de aparición de otros valores de este parámetro cae bruscamente si no aparecen causas externas que alteren el proceso hasta hacerse prácticamente cero para desviaciones superiores a tres veces la desviación estándar (3S) del valor medio. Este comportamiento permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influya en desviaciones del parámetro de salida controlado.

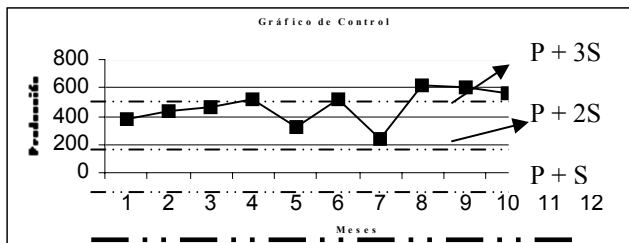


Figura No 2. Diagrama de control típico

Además de las herramientas nombradas anteriormente existen otras igualmente importantes como los son los diagramas causa efecto, sumatorias acumulativas, diagramas de dispersión, etc.

**3.2 Herramientas de nivel medio**

Se denominan herramientas de nivel medio, a aquellas que para su aplicación requieren un determinado grado de especialización en la rama energética, de ahí la importancia en la conformación del grupo de gestión. Este tipo de herramientas están dirigidas fundamentalmente a la aplicación de una tecnología para el ahorro y uso racional de la energía; obviamente se apoya en los resultados obtenidos por las herramientas básicas. A continuación se describen brevemente dos de ellas.

**3.2.1 Prueba de la Necesidad:**

Corresponde a la herramienta más importante de las denominadas intermedias ya que es aquí donde se detecta a partir de las herramientas básicas si existen o no

potenciales que puedan ser aprovechados. Esta presenta como actividades a desarrollar las siguientes:

- Realizar un diagnostico energético de recorrido.
- Identificación de maquinaria y equipos vitales tales como calderas, hornos, motores, compresores, etc.
- Determinación y análisis de índices energéticos globales.
- Realizar las curvas de comportamiento de los índices de consumo energético de la empresa.
- Realizar un diagnostico general al sistema de administración energética de la empresa.
- Identificar potenciales y evaluar su impacto en la economía de la empresa.

El tiempo durante el cual se desarrolla esta actividad oscila de 2 a 4 semanas dependiendo del grado de complejidad de la empresa.

**3.2.1.1 Determinación de indicadores energéticos de la empresa:**

Para determinar los indicadores energéticos de la empresa se hace uso de las diferentes herramientas estadísticas básicas nombradas anteriormente. Los principales indicadores son:

- Índices de gastos energéticos
- Índices de consumo
- Estratificación.

El determinar los indicadores energéticos de la empresa, da poder de decisión al grupo de gestión, además de que permite conocer el estado operacional de la misma. A continuación se indican gráficamente algunos de ellos, resultado de trabajos realizados previamente.

**3.2.1.1.1 Gráfico Consumo Vs Potencia:**

La figura No 3, muestra la curva consumo de energía Vs producción característica de una empresa graficada con los datos suministrados por la gerencia de la empresa

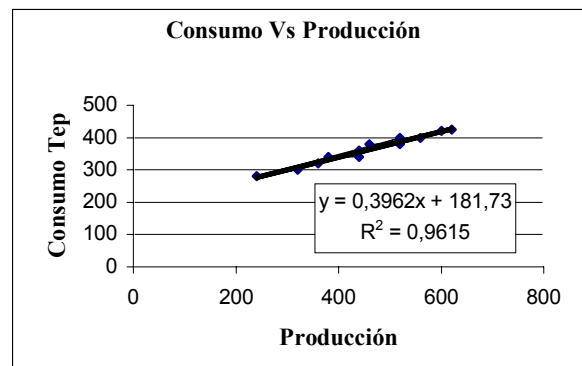


Figura No 3. Gráfico consumo Vs producción

De la figura anterior se pueden extraer algunos comentarios interesantes:

- La ecuación de la línea recta es:  $Y = 0.3962X + 181.73$  lo cual sería equivalente a decir:  $E = 0.3962P + 181.73$  donde E representa energía.
- El valor de 181.73 que según la ecuación de la línea recta es el corte con el eje Y, en este caso la energía consumida, es el valor de la energía no asociada a la producción. Para esta empresa en particular es bastante alta, lo cual indica la existencia de potenciales de ahorro.
- $R^2 = 0.9615$  mayor que 0.8 lo cual demuestra que existe una buena correlación entre la energía consumida y la producción. Esto valida los resultados entregados por la empresa.

**3.2.1.1.2 Gráfico de Índice de consumo:**

La figura No 4, muestra la curva de índice de consumo teórico Vs. Producción.

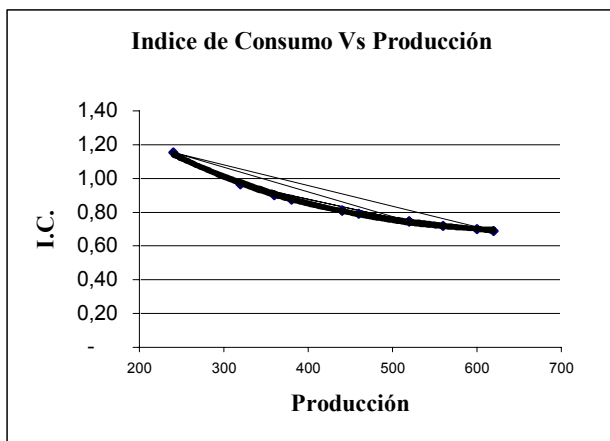


Figura No 4. Gráfico Índice de Consumo Vs Producción

La ecuación que gobierna la curva, surge de tomar la ecuación lineal expresada anteriormente y dividirla toda entre la producción promedio así:

$$IC = \frac{E}{P} = \frac{0.3962P}{P} + \frac{181.73}{P} \Rightarrow I.C.teórico = 0.3962 + \frac{181.73}{P}$$

De la figura anterior se pueden extraer algunos comentarios interesantes:

- La producción que podría considerarse crítica de esta empresa esta alrededor de 500 toneladas, ya que hacia la derecha de este punto la curva tiende a estabilizarse.
- El propósito del grupo de gestión será entonces ubicar el índice de consumo para una producción determinada por debajo de esta curva.

**3.2.1.1.3 Gráficos de Estratificación:**

La principal herramienta es el principio de Pareto. Supóngase que en una empresa se presentan los consumos energéticos mostrados en la tabla No 4 y su equivalente en Toneladas equivalentes de petróleo:

Tabla No 4. Consumos energéticos.

Portado	Cantidad de energía (Tep)
Electricidad	600
Petróleo	200
Gas	150
Diesel	50

De la tabla No 4, se puede concluir que los principales potenciales están en aquellos equipos que emplean electricidad y petróleo como portadores energéticos.

Es fácil determinar que ahorrar 1% en el consumo de diesel solo lleva a ahorrar el 0.05% del total de los energéticos de la empresa, mientras que el ahorrar el 1% en electricidad garantiza un ahorro del 0.6% del total de la empresa.

Ahora, conociendo que se debe atacar el problema en los procesos que utilizan como combustible electricidad o petróleo, se aplica la ley Pareto para saber cuales sectores al interior de la empresa son los mayores consumidores de estos portadores energéticos.

Para el caso de la electricidad, como resultado del análisis de estratificación, se obtuvieron los datos indicados en la figura No 5.

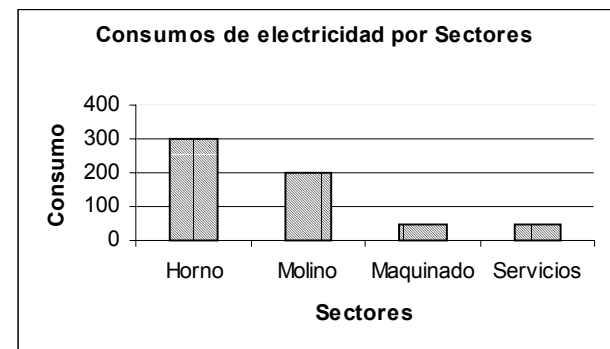


Figura No 5. Consumo eléctrico por sectores en una empresa

Como se puede ver los sectores más representativos son los de Hornos y Molinos ya que representan el 50 y 33.33% del total del consumo eléctrico de la empresa. Por lo tanto, será ahí donde el grupo de gestión deberá dirigir sus esfuerzos de mejora.

**3.2.2 Auditorias energéticas:**

Estas surgen a partir de los diagnósticos energéticos, recordemos que un diagnostico energético es la aplicación de un conjunto de técnicas las cuales permiten determinar el grado de eficiencia con que se produce, transporta y usa la energía. El diagnostico energético pueden ser de 4 tipos:

**Diagnóstico de primer grado:** consiste en la inspección visual del estado de conservación de las instalaciones, en

el análisis de los registros de operación y mantenimiento de rutina diaria que se llevan en cada instalación, así como, el análisis de información estadística de consumos y pagos por concepto de energía eléctrica y combustible.

**Diagnóstico de segundo grado:** consiste en el desarrollo del balance másico y térmico en condiciones reales de operación de áreas, equipos y sistemas con el objetivo de determinar su eficiencia energética e índices de consumos.

**Diagnóstico de tercer grado:** Consiste en determinar no solo el uso eficiente de la energía sino también de su disponibilidad. Se desarrolla el balance másico, térmico, exergético, entrópico y termo económico de cada equipo del sistema en las condiciones reales de operación, se determinan las pérdidas de calidad y cantidad de la energía y sus causas.

**Diagnóstico de cuarto grado:** en este diagnostico se utilizan técnicas de simulación de procesos con la finalidad de estudiar no solo las condiciones de operación nominales, diferentes esquemas de interrelación de equipos y procesos.

Vale la pena recalcar que la prueba de la necesidad y las auditorias energéticas no son las únicas herramientas que hacen parte de las llamadas intermedias. Existen otras igualmente importantes tales como contabilidad energética, confección del banco de problemas energéticos, entrenamiento de personal a cargo de equipos, etc.

### 3.3 Herramientas especiales

las herramientas especiales para aplicar proyectos de mejoras consiste en una serie de técnicas modernas de análisis de procesos de transformación de la energía que permiten integrar conceptos termodinámicos, económicos y matemáticos en sistemas de modelación aplicables al mejoramiento, modernización, transformación, optimización o estudio de sistema. Se destacan entre aplicaciones los sistemas Automatizados de Control y Adquisición de Datos de Tiempo Real de Operación (SCADA), los Sistemas de Control Adaptativos Predictivos (SCADP) y los Sistemas Automatizados de Control y Optimización de la Operación en Tiempo Real.

## 4. CONCLUSIONES

De todo lo escrito anteriormente se puede concluir:

- La Gestión Total Eficiente de la Energía como tecnología, va más allá de lo que una auditoria energética puede ofrecer, tanto así, que la auditoria energética en sus diferentes niveles, se encuentra caracterizada en uno de sus ítem de la herramientas de aplicación intermedia.

- Las mejoras que resulten de aplicar la Gestión Total Eficiente de la Energía a una empresa en particular, no queda en manos de una sola persona, sino que es responsabilidad de los diversos profesionales que conforman el grupo de mejora.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CAMPOS J. C. La eficiencia energética en la competitividad de las empresas, Cienfuegos, Cuba, 2000, 95 paginas
- [2] RESTREPO V. Álvaro Hernán. Memorias del diplomado Gestión Total Eficiente de la Energía, Cienfuegos. Cuba, 1999, 45 paginas
- [3] RONDÓN Germán, Base de datos de medida de eficiencia energética en los principales sectores de la economía Tolimense, Ibagué, Colombia, 2001, 83 paginas.
- [4] COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE ENERGIA. Normas Oficiales Mexicanas de Eficiencia Energética. México: CONAE. Actualización Diciembre 2002. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx>