

## HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN ENERGÉTICA EMPRESARIAL

### RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología para el estudio de la Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía, que consiste en la aplicación de herramientas técnico-organizativas que, aplicadas de forma continua con la filosofía y procedimientos de la gestión total de la calidad, permiten identificar y utilizar todas las oportunidades de ahorro, conservación de energía y reducción de los gastos en los distintos sistemas energéticos de una empresa.

**PALABRAS CLAVES:** Gestión, Energía, Herramientas, Calidad.

### ABSTRACT

*This paper presents a methodology to the study of the Technology of Efficient Total Administration of the Energy, that consists on the application of tools technician-organizational that, applied in a continuous way with the philosophy and procedures of the total administration of the quality, they allow to identify and to use all the saving opportunities, energy conservation and reduction of the expenses in the different energy systems of a company.*

**KEYWORDS:** Administration, Energy, Tools, Quality

### 1. INTRODUCCIÓN

Los análisis realizados en numerosas empresas ponen de manifiesto el insuficiente nivel de gestión energética existente en muchas de ellas, así como las posibilidades de reducir los costos energéticos mediante la creación en las empresas de las capacidades técnico organizativas para administrar eficientemente la energía [1,4].

El desarrollo actual y prospectivo de la industria y los servicios, en una economía abierta y globalizada, requiere de acciones encaminadas a reducir costos y aumentar la competitividad. En la actualidad las empresas han visto como los energéticos han pasado de ser un factor marginal en su estructura de costos a constituir un rubro importante en los mismos, a la vez que, la necesidad de lograr un mayor equilibrio entre economía y medio ambiente, han convertido al ahorro y uso eficiente de la energía en una herramienta fundamental para lograr este objetivo, manteniendo el nivel de rentabilidad empresarial.

Hasta el momento el problema de explotar el recurso eficiencia energética se ha efectuado de una forma muy limitada, fundamentalmente mediante la realización de diagnósticos energéticos para detectar las fuentes y niveles de pérdidas, y posteriormente definir medidas o proyectos de ahorro o conservación energética. Esta vía, además de obviar partes de las causas que provocan baja eficiencia energética en las empresas, generalmente tiene baja efectividad por realizarse muchas veces sin la integralidad, los procedimientos y los equipos requeridos, por limitaciones financieras para aplicar los proyectos, pero sobre todo, por no contar la empresa con la *cultura*

### JOSÉ P. MONTEAGUDO YANES.

Ingeniero Mecánico, Ph.D.  
jpmyanes@fmec.ucf.edu.cu.  
Investigador adscrito a CEEMA:  
Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente.  
Universidad de Cienfuegos, Cuba.

### OSCAR GEOVANY GAITAN R.

Ingeniero Mecánico.  
gema@nevado.cui.edu.co  
Investigador grupo GEMA: Grupo de Estudio en Eficiencia Energética y Medio Ambiente.  
Universidad de Ibagué.

ni las *capacidades técnico administrativas* necesarias para realizar el seguimiento y control requerido y lograr un adecuado nivel de consolidación de las medidas aplicadas.

La Tecnología de Gestión Total Eficiente de la Energía, ha demostrado la posibilidad de reducir los consumos energéticos de las empresas, fundamentalmente con medidas técnico-organizativas y de baja inversión, así como organizar el control y gestión de ahorro y conservación de los portadores energéticos, identificando el grupo de soluciones técnicas más favorables a los problemas de suministro de energía. Ha sido diseñada con la filosofía de las ISO 9000, por lo que su implementación se inserta en los procesos de certificación y perfeccionamiento, contribuyendo a la cultura de la organización [1,3,5].

### 2. PRUEBA DE LA NECESIDAD

La prueba de la necesidad constituye el primer paso para implantar un sistema de gestión total por la eficiencia energética en la empresa. De los resultados de esta prueba depende que los especialistas y la alta dirección, decidan, con elementos técnicos y económicos, continuar con la implantación y dedicar recursos materiales y humanos a esta actividad. La metodología que se presenta sirve de guía para alcanzar los objetivos planteados en esta etapa y confeccionar el informe que debe presentar a la alta dirección de la empresa. La prueba de la necesidad, en sí, constituye un resultado importante, al caracterizar e identificar los principales problemas energéticos de la empresa en el ámbito general. En el orden práctico, sus resultados permiten la

planificación objetiva de los índices de consumo, la modelación de los comportamientos históricos, y la cuantificación de la influencia de diferentes factores globales en los consumos, costos energéticos y gastos totales de la empresa, aspectos todos que se usan en las etapas subsiguientes de la implantación del Sistema de Gestión Total Eficiente de la Energía[1,5]. Para comenzar se establecen los siguientes objetivos;

- Caracterizar el estado de eficiencia energética y de impacto ambiental de la empresa.
- Determinar potenciales globales de disminución de consumos, costos energéticos e impactos ambientales en la empresa.
- Determinar la necesidad de la empresa de implantar un sistema de gestión total eficiente de la energía.

**3. ETAPAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA**

En general, en todos los sistemas de gestión energética o de administración de energía se pueden identificar tres etapas fundamentales:

- Análisis preliminar de los consumos energéticos.
- Formulación de un programa de ahorro y uso racional de la energía (Planes de Acción).
- Establecimiento de un sistema de monitoreo y control energético.

Debe señalarse que en muchos casos la administración de energía se limita a un plan de medidas de ahorro de energía, no garantizándose el mejoramiento continuo[5].

**3.1 Actividades.**

- Recopilación de información y datos.
- Diagnóstico de recorrido en las instalaciones de la empresa.
- Entrevistas a dirigentes, técnicos, operadores y obreros de la empresa.
- Procesamiento de la información.
- Elaboración del Informe Final de la Prueba de la Necesidad.

**3.2 Análisis preliminar de los consumos energéticos.**

Para establecer un sistema de gestión energética, un primer paso es llevar a cabo un análisis de los consumos energéticos, caracterizar energéticamente la empresa y establecer una estrategia de arranque. Esta etapa tiene como objetivo esencial conocer si la empresa efectivamente se viese significativamente beneficiada si implantara un sistema de gestión energética que le permitiera abatir costos por sus consumos de energía, alcanzar una mayor protección ante los problemas de

suministro de la energía, reducir el impacto ambiental, mejorar la calidad de sus productos o servicios, y de esta forma elevar sus beneficios.

Proceso	CONSUMO ENERGÉTICO				Efluentes Energéticos					
	Portador 1		Portador 2		Gases		Líquidos		Sólidos	
	Unid. Caract.	Unid. Equiv.	Unid. Caract.	Unid. Equiv.	Unid. Caract.	Unid. Equiv.	Unid. Caract.	Unid. Equiv.	Unid. Caract.	Unid. Equiv.
<b>Total</b>										

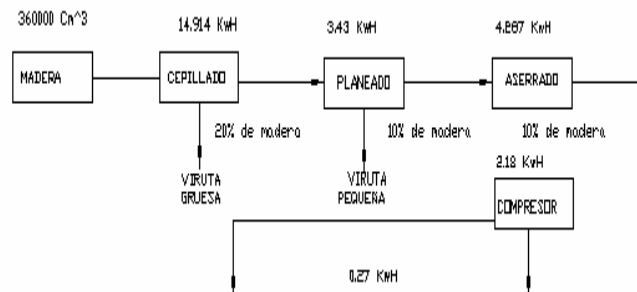
Tabla 1. Consumos y efluentes energéticos.

Contar con un buen sistema de gestión energética resulta particularmente importante para las industrias energointensivas, y en general, para las empresas en las cuales la facturación por energéticos puede llegar a representar una elevada fracción de los gastos totales de operación[2,3].

**4. HERRAMIENTAS PARA ESTABLECER UN SISTEMA DE GESTIÓN TOTAL EFICIENTE DE LA ENERGÍA**

**4.1 Diagrama Energético – Productivo.**

Esta herramienta consiste en desarrollar el flujograma del proceso productivo, agregándole todas las entradas y salidas de materiales (incluidos residuos) y de energía, con sus magnitudes características para los niveles de producción típicos de la empresa. También en el diagrama se muestran los niveles de producción de cada etapa, así como entradas externas al proceso de materiales semiprocesados si los hubiera. Es conveniente expresar las magnitudes de la energía consumida en cada etapa del flujograma por tipo de energía consumida y en porcentaje con respecto al consumo total de cada tipo. Figura1. Esquema de un flujograma. Ejemplo.



La utilidad del Diagrama Energético – Productivo, es que muestra la relación entre las diferentes etapas del proceso productivo y las etapas mayores consumidoras por tipo de energético, muestra donde se encuentran concentrados los rechazos de materiales y los efluentes energéticos no utilizados, muestra las posibilidades de cambio en la programación del proceso o introducción de modificaciones básicas para reducir los consumos energéticos. Facilita el establecimiento de indicadores de control por áreas, procesos y equipos mayores

consumidores. Permite determinar la producción equivalente de la empresa[1,3,5].

#### 4.2 Gráficos de Control.

Los gráficos de control son diagramas lineales que permiten observar el comportamiento de una variable en función de ciertos límites establecidos. Se usan como instrumento de autocontrol y resultan muy útiles como complemento a los diagramas causa y efecto “pareto”, para detectar en cuales fases del proceso analizado se producen las alteraciones. Su importancia consiste en que la mayor parte de los procesos productivos tienen un comportamiento denominado normal, es decir existe un valor medio (M) del parámetro de salida muy probable de obtener, y 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 ( $3\sigma$ ) del valor medio.

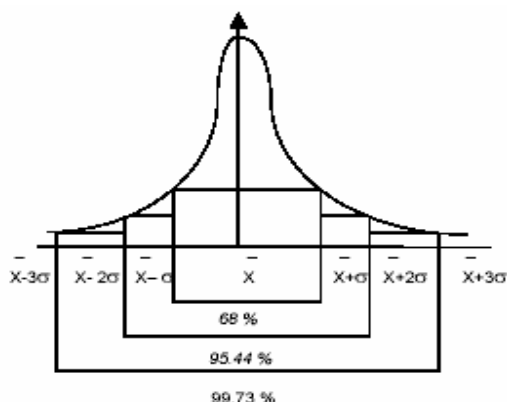


Figura 2. Campana de Gauss.

Este comportamiento (que debe probarse en caso que no exista seguridad que ocurra) permite detectar síntomas anormales actuando en alguna fase del proceso y que influyan en desviaciones del parámetro de salida controlado.

El gráfico consta de la línea central y las líneas límites de control. Los datos de la variable cuya estabilidad se quiere evaluar se sitúan sobre el gráfico.

Si los puntos situados se encuentran dentro de los límites de control superior e inferior, entonces las variaciones proceden de causas aleatorias y el comportamiento de la variable en cuestión es estable. Los puntos fuera de los límites tienen una pauta de distribución anormal y significan que la variable tuvo un comportamiento inestable. Investigando la causa que provocó la anomalía y eliminándola se puede estabilizar el proceso.

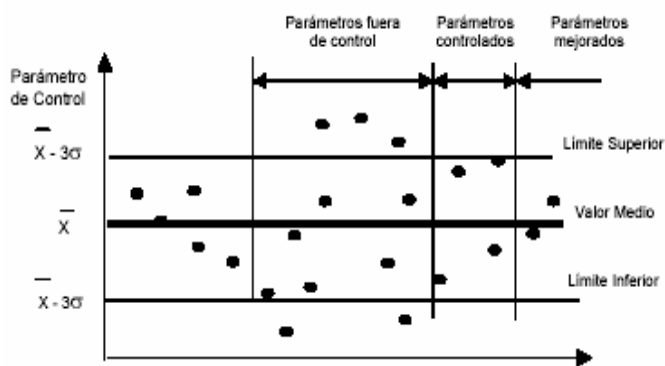


Figura 3. Gráfico de control.

La utilidad de los gráficos de control es conocer si las variables evaluadas están bajo control o no, conocer los límites en que se puede considerar la variable bajo control, identificar los comportamientos que requieren explicación e identificar las causas no aleatorias que influyen en el comportamiento de los consumos, y conocer la influencia de las acciones correctivas sobre los consumos o costos energéticos[3].

#### 4.3 Gráfico de consumo y producción en el tiempo (E – P vs. T).

Consiste en un gráfico que muestra la variación simultánea del consumo energético con la producción realizada en el tiempo. El gráfico se realiza para cada portador energético importante de la empresa y puede establecerse a nivel de empresa, área o equipos.

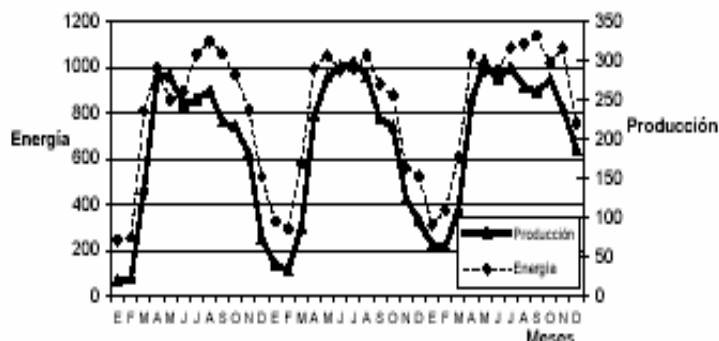


Figura 4. Gráfico E-P vs T.

La utilidad de los gráficos E-P vs. T, radica en que muestran de períodos en que se producen comportamientos anormales de la variación del consumo energético con respecto a la variación de la producción. Permiten identificar causas o factores que producen variaciones significativas de los consumos[3,5].

#### 4.4 Diagramas de dispersión y correlación.

Es un gráfico que muestra la relación entre 2 parámetros. Su objetivo es mostrar en un gráfico x,y si existe

correlación entre dos variables, y en caso de que exista, qué carácter tiene esta.

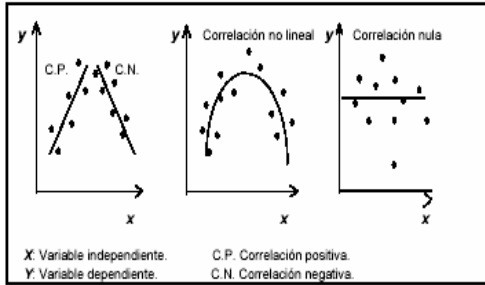


Figura 5. Tipos de correlación.

La utilidad de los diagramas de dispersión y correlación, es que muestra con claridad si los componentes de un indicador de control están correlacionados entre sí y por tanto si el indicador es válido o no.

- Permite establecer nuevos indicadores de control.
- Permite determinar la influencia de factores productivos de la empresa sobre las variables en cuestión y establecer nuevas variables de control.

**4.5 Diagramas de consumo – producción (E vs. P).**

Para las empresas industriales y de servicios, realizar un diagrama de dispersión de la energía usada por mes u otro período de tiempo con respecto a la producción realizada o los servicios prestados durante ese mismo período, revela importante información sobre el proceso.

Este gráfico de E vs. P puede realizarse por tipo de portador energético, y por áreas, considerando en cada caso la producción asociada al portador en cuestión. Por ejemplo: una fábrica de helados graficará el consumo de combustible o electricidad versus las toneladas de helados producidas, mientras que en un hotel turístico se puede graficar el consumo de electricidad o de gas versus los cuartos-noches ocupados[4,5].

La utilidad de los Diagramas E vs. P, es determinar en que medida la variación de los consumos energéticos se deben a variaciones de la producción. Mostrar si los componentes de un indicador de consumo de energía están correlacionados entre sí, y por tanto, si el indicador es válido o no.



Figura 6. Diagrama de consumo Electricidad Vs producción.

Después de recolectados los datos de consumo de energía y producción asociada para un mismo periodo de tiempo (día, mes, año), se gráfica los pares (E,P) y utilizando el método de los mínimos cuadrados o algún paquete estadístico, se determinan el coeficiente de correlación entre E y P. Después se traza la recta que más ajuste a los puntos situados en el diagrama o línea de tendencia.

Luego se calcula analíticamente la pendiente y el intercepto de la recta, expresando su ecuación de la forma:

$$E = m.P + Eo \tag{1}$$

Donde:

- E; Consumo de energía en el período seleccionado.
- P; Producción asociada en el período seleccionado.
- m; Pendiente de la recta que significa la razón de cambio medio del consumo de energía respecto a la producción.
- Eo; Intercepto de la línea en el eje y, que significa la energía no asociada a la producción.
- m.P; Es la energía utilizada en el proceso productivo.

La energía no asociada al proceso productivo en una empresa puede corresponder a:

- Iluminación de plantas, electricidad para equipos de oficinas, ventilación.
- Áreas climatizadas, tanto de calefacción como de aire acondicionado.
- Energía usada en servicios de mantenimiento.
- Trabajo en vacío de equipos eléctricos o térmicos.
- Energía perdida en salideros de vapor, aire comprimido, deficiente aislamiento térmico, etc.
- Pérdidas eléctricas por potencia reactiva.
- Pérdidas por radiación y convección en calderas.
- Precalentamiento de equipos y sistemas de tuberías.

El porcentaje de energía no asociada (Ena) se determina como:

$$Ena = (Eo/Em).100, \% \tag{2}$$

Donde:

Em; Es el valor del consumo medio de energía determinado como el valor de la línea central del gráfico de control de consumo del portador energético correspondiente. El valor del porcentaje de energía no asociada a la producción debe ser tan pequeño como sea posible. Este valor varía con el tipo de producción y de proceso tecnológico utilizado para una producción dada.

**4.6 Diagrama índice de consumo – producción (IC vs. P).**

Este diagrama se realiza después de haber obtenido el gráfico E vs. P y la ecuación,  $E = m.P + Eo$ , con un nivel de correlación significativo. La expresión de la función  $IC = f(P)$  se obtiene de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} E &= m.P + Eo \\ IC &= E/P = m + Eo/P \\ IC &= m + Eo/P \end{aligned} \tag{3}$$

El gráfico IC vs. P es una hipérbola equilátera, con asíntota en el eje x, al valor de la pendiente m de la expresión  $E = f(p)$ .

A continuación se presentan un gráfico real de IC vs. P, en que se observa la influencia del nivel de producción sobre el índice de consumo[3,4,5].

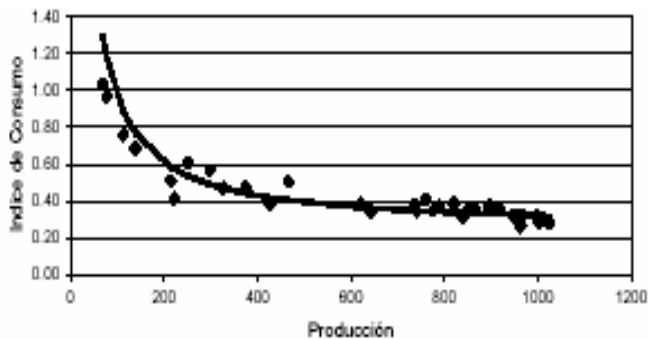


Figura 7. Diagrama Índice de consumo Vs producción.

La curva anterior muestra como el índice de consumo aumenta al disminuir el nivel de la producción realizada. En la medida que la producción se reduce debe disminuir el consumo total de energía, como se aprecia de la expresión  $E = f(P)$ , pero el gasto energético por unidad de producto aumenta. Esto se debe a que aumenta el peso relativo de la energía no asociada a la producción respecto a la energía productiva. Si la producción aumenta, por el contrario, el gasto por unidad de producto disminuye, pero hasta el valor límite de la pendiente de la ecuación  $E = f(P)$ . En el gráfico IC vs. P existe un punto donde comienza a elevarse significativamente el índice de consumo para bajas producciones. Este punto se puede denominar *punto crítico*. Producciones por encima del punto crítico no cambian significativamente el índice de consumo; sin embargo, por debajo del punto crítico éste se incrementa rápidamente. El gráfico IC vs. P es muy útil para establecer sistemas de gestión energética, y estandarizar procesos productivos a niveles de eficiencia energética superiores. Valores de IC por debajo de la curva que representa el comportamiento del índice durante el periodo de referencia comparativa, indican un incremento de eficiencia del proceso; en el caso contrario existe un potencial de disminución del índice de consumo igual a la diferencia entre el IC real (sobre la curva) y el IC teórico (en la curva) para igual producción. También se pueden establecer sobre este gráfico las metas de reducción del índice proyectadas para el nuevo periodo e ir controlando su cumplimiento.

**4.7 Gráfico de tendencia o de sumas acumulativas (CUSUM).**

Este gráfico se utiliza para monitorear la tendencia de la empresa en cuanto a la variación de sus consumos energéticos, con respecto a un período base de

comparación dado. A partir de este gráfico también puede determinarse cuantitativamente la magnitud de la energía que se ha dejado de consumir o se ha consumido en exceso con relación al comportamiento del periodo base hasta el momento de su actualización[4,5].

La utilidad del gráfico de tendencia radica en conocer la tendencia real de la empresa en cuanto a variación de los consumos energéticos, en comparar la eficiencia energética de períodos con diferentes niveles de producción, en determinar la magnitud del ahorro o gasto en exceso en un período actual respecto a un período base y, en evaluar la efectividad de medidas de ahorro de energía.

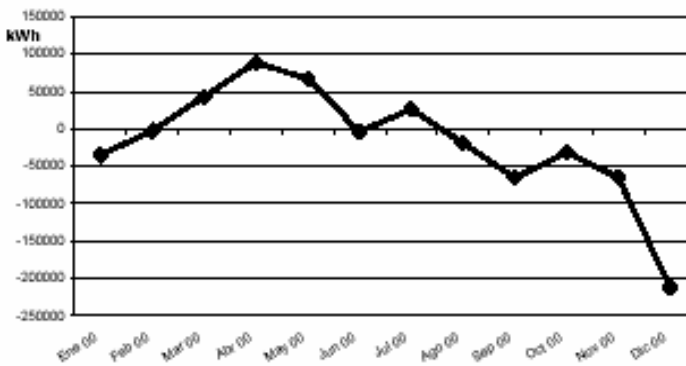


Figura 8. Diagrama Tendencia- Consumo -Electricidad.

**4.8 Diagrama de Pareto.**

Los diagramas de Pareto son gráficos especializados de barras que presentan la información en orden descendente, desde la categoría mayor a la más pequeña en unidades y en porcentaje. Los porcentajes agregados de cada barra se conectan por una línea para mostrar la suma incremental de cada categoría respecto al total. El diagrama de Pareto es muy útil para aplicar la Ley de Pareto o Ley 80 – 20, que identifica el 20% de las causas que provoca el 80% de los efectos de cualquier fenómeno estudiado.

La utilidad del diagrama de Pareto es la de identificar y concentrar los esfuerzos en los puntos clave de un problema o fenómeno como puede ser; los mayores consumidores de energía de la fábrica, las mayores pérdidas energéticas o los mayores costos energéticos, la de predecir la efectividad de una mejora al conocer la influencia de la disminución de un efecto al reducir la barra de la causa principal que lo produce, y la de determinar la efectividad de una mejora comparando los diagramas de Pareto anterior y posterior a la mejora[5].

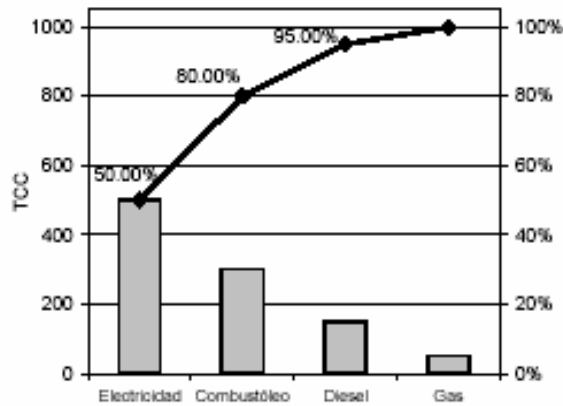


Figura 9. Diagrama de Pareto de portadores energéticos.

#### 4.9 Estratificación.

Cuando se investiga la causa de un efecto, una vez identificada la causa general aplicando el diagrama de Pareto, es necesario encontrar la causa particular del efecto, aplicando sucesivamente Pareto a estratos más profundos de la causa general. La estratificación es el método de agrupar datos asociados por puntos o características comunes pasando de lo general a lo particular. Pueden ser estratificados los gráficos de control, los diagramas de Pareto, los diagramas de dispersión, los histogramas y otras herramientas de descripción de efectos.

La estratificación es un método de análisis, no consta de un diagrama particular. Consiste en utilizar las herramientas de diagramas para profundizar en las capas interiores de las causas. Si se estratifica un diagrama de Pareto, en cada capa se utiliza un diagrama de Pareto para encontrar las causas particulares más influyentes en el efecto estudiado. Si se estratifica un gráfico de control, se subdivide el gráfico en períodos, máquinas, áreas, etc., para encontrar la influencia de estos elementos en la variabilidad del gráfico. Si se aplica la estratificación a un diagrama de dispersión, se agrupan los puntos por materiales, fabricantes, períodos, etc., para encontrar las causas de una alta dispersión, etc[3,5].

### 5. RESULTADOS ESPERADOS

Determinar la influencia del gasto en energéticos en el costo de producción.

Demostrar si la empresa gasta más energía de la que debiera gastar.

Identificar los principales potenciales de reducción de los consumos y de los gastos energéticos aprovechables en forma rentable.

Identificar los riesgos e impactos ambientales más generales que existen en la empresa por manejo de energía y los potenciales de su disminución.

### 6. CONCLUSIONES

Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice el mejoramiento continuo.

Es más importante un sistema continuo de identificación de oportunidades que la detección de una oportunidad aislada.

Para el éxito de un programa de ahorro de energía resulta imprescindible el compromiso de la alta dirección de la empresa con esa administración.

### 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] AVELLA., Juan Carlos. La Eficiencia Energética en la Gestión Empresarial. Editorial Universidad de Cienfuegos, Cuba, ISBN 959 – 257 – 018 – 3, 1997.
- [2] BORROTO., Nordelo, A., Monteagudo Yanes J.P. Al Ahorro de Energía en Sistemas Termomecánicos. CEEMA. Universidad de Cienfuegos. Editorial U.C. Unión Eléctrica. Ministerio de la Industria Básica. La Habana Cuba. 2002.
- [3] Colectivo de Autores. Gestión Energética Empresarial. CEEMA. Universidad de Cienfuegos. Editorial U.C. Unión Eléctrica. Ministerio de la Industria Básica. La Habana Cuba. 2002.
- [4] Técnicas de Conservación Energética en la Industria. Tomo II. Ahorro en Procesos. Ediciones Revolucionaria. Editorial Científico - Técnica. La Habana Cuba. 1987.
- [5] Dr. MONTEAGUDO., YANES J.P. U.C. CEEMA. Diplomado en Gestión Energética, en convenio con la Universidad de Ibagué, Sept. 2004