

## **ESTUDIOS GERENCIALES**

No. 73	Octubre - Diciembre 1999
--------	--------------------------

ESTUDIOS GERENCIALES	Cali Colombia	P.P. 96	ISSN 0123-5923
-------------------------	------------------	------------	-------------------

# GESTIÓN ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA

HEBERT JARAMILLO DÍAZ

*Ingeniero Mecánico, Máster en Ciencias Técnicas (Termodinámica y Máquinas Térmicas) de la Universidad Patricio Lumumba, de Moscú, Rusia. Especialización en Administración Universitaria Ascún-Icfes. Profesor Universitario de las Universidades Autónoma e ICESI, Asesor en Gestión Energética y Ahorro de Energía Térmica.*

## RESUMEN

El presente artículo tiene como objetivo introducir a los ejecutivos interesados en el ahorro de energía en sus procesos productivos, en conocer las nuevas herramientas para administrar los recursos energéticos, evaluar y diagnosticar los sistemas y máquinas térmicas. El tema se inicia con la gestión energética, enumerando objetivos, funciones, estructura y medios, para pasar al análisis exergético, como única herramienta que indica cómo, dónde y cuánto se consume energía, para concluir con la gerencia exergética.

## GESTIÓN ENERGÉTICA

La gestión energética puede concebirse como un esfuerzo organizado y estructurado para conseguir la máxima eficiencia en el suministro, conversión y utilización de los recursos

energéticos. Esto es, lograr un uso más racional de la energía, que permita reducir el consumo de la misma sin perjuicio de la comodidad, productividad, calidad de los servicios y, de un modo general, sin reducir el nivel de vida. Puede considerarse como el mejor de los caminos para conseguir los objetivos de conservación de energía y medio ambiente, tanto desde el punto de vista de la propia empresa como en el nivel nacional.

En la medida que la situación energética se deteriora y con la globalización de la economía, se hace patente la necesidad de que la energía sea considerada como un factor de costos que requiere especial atención.

En la mayoría de las empresas, y en especial en aquellas en las que el costo energético representa un porcentaje importante de los costos de pro-

ducción o explotación, cabe plantearse un sistema de gestión energética, conducente a una optimización en el uso eficiente de la energía, justificado por su rentabilidad en la reducción de los costos energéticos.

La dificultad que se puede presentar para la implantación de una gestión energética suele ser, en general, la insuficiente especialización del personal técnico en el área de termoenergética.

## OBJETIVOS

El objetivo fundamental de la gestión energética es sacar el mayor aprovechamiento posible a las cantidades de energía que la empresa necesita. Dentro de esta idea general, los objetivos a plantearse pueden ser:

- Optimizar la calidad de las energías disponibles. No siempre es más idóneo adquirir las energías de mejor calidad. Para cada uso habrá una calidad de energía óptima.
- Mantener e incluso aumentar la producción, reduciendo el consumo de energía. Es necesario demostrar que la producción de los procesos y servicios puede mantenerse, e incluso aumentarse reduciendo el consumo y costo de la energía.
- Conseguir, de modo inmediato, los ahorros que no requieren inversión apreciable. Demostrar que existen importantes posibilidades de ahorros energéticos.
- Lograr los ahorros posibles con inversiones rentables. Demostrar que se pueden acometer

importantes mejoras, que se paguen con el ahorro que ellas generan.

- Demostrar que se puede ahorrar energía sin necesidad de culpar a ineficiencias o incapacidades de situaciones anteriores. Si no se cuida permanentemente este aspecto, puede fracasar cualquier plan de ahorro de energía.

## FUNCIONES

Para poder alcanzar los objetivos anteriormente establecidos, el sistema de gestión habrá de responder a unas determinadas funciones, que tendrán que implantarse en relación con los servicios de la empresa. En un sentido amplio pueden ser:

- *Aprovisionamiento:* Comprende la elección de la fuente de energía, las negociaciones con los proveedores y el control de los suministros, almacenamiento y distribución.
- *Análisis energético y exergético:* Cabe establecer dos tipos de análisis energético, uno de control de consumo y otro de auditoría o diagnóstico. Lo primero que se necesita para establecer un plan de ahorro de energía es saber qué, cómo, dónde y cuánto se consume. Para ello es necesario implantar un sistema de contabilidad energética que permita conocer los consumos de cada fuente de energía en cada uno de los centros de consumo. Para conocer la situación energética de los diferentes equipos y operaciones básicas, es necesario realizar una auditoría

energética en profundidad que nos permita conocer los consumos instantáneos, pérdidas por radiación, pérdidas por efluentes, rendimientos energéticos y exergéticos, estado de los equipos y las posibles medidas para mejorarlos.

- *Programa de ahorro de energía:* A partir de los datos obtenidos por el análisis anterior, sería posible establecer un amplio plan de ahorro que considere en primer lugar las mejoras que no requieren de inversión apreciable: capacitación del personal, mantenimiento de mejoras de operación y organización. En segundo lugar, aquellas que necesitan inversiones : modificación de equipos, innovaciones tecnológicas que cambien los procesos y la optimización e integración de los mismos.

### **ESTRUCTURA Y MEDIOS**

Para poder efectuar una gestión energética eficaz es necesario implantar un “servicio de energía”, que por otra parte no debe cambiar la organización de la empresa, sino que ha de establecerse una estructura paralela mínima que se ocupe de la gestión energética.

La estructura idónea puede ser la creación de un comité de ahorro de energía, presidido por el director o gerente de la empresa o persona en quien delegue, y del que forme parte un coordinador de energía y miembros de producción, mantenimiento, ingeniería, administración y control de calidad y asesor externo.

El coordinador o gerente de energía será el encargado de mantener la gestión energética siguiendo las directrices del comité, colaborar en todos los proyectos que implique la energía, dirigir los estudios de análisis , elaborar el plan de ahorro, definir los programas de acción y controlar los mismos.

Para poder realizar las funciones atribuidas serán necesarias medidas de estudio, control, ensayo, mantenimiento, asistencia técnica y capacitación.

### **ANÁLISIS ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO**

Existe una explosión de la utilización de los métodos termodinámicos de análisis de procesos en las diferentes ramas de la industria moderna en la última década. La necesidad de su utilización se ha establecido para poder encontrar una magnitud equivalente entre los distintos tipos de energía que en forma combinada usan los centros industriales y de servicios. Sin esta magnitud equivalente sería imposible evaluar correctamente los costos de las diferentes corrientes energéticas y de sus pérdidas, aspecto imprescindible en la evaluación económica de inversiones para el ahorro y conservación de la energía y el establecimiento de programas para la reducción de los costos energéticos. La calidad de la energía, disponibilidad o exergía, como se le denomina a esta propiedad termodinámica que no depende del tipo de corriente energética que la porte, permite además evaluar un nuevo tipo de pérdidas energéticas no distinguida hasta el momento por los tradicionales méto-

dos de análisis aplicando el primer principio de la termodinámica, donde la cantidad de la energía es invariable y no se mide la pérdida de su capacidad o valor de uso. Un sistema técnico de transformación de la materia, de transformación de la energía o aquel que involucre a ambos será eficiente energéticamente no sólo porque gaste poca cantidad de energía, sino porque utilice la energía de la calidad necesaria y no destruya innecesariamente la disponibilidad de realizar trabajo de una corriente energética dada, incrementando la contaminación ambiental y elevando sus costos energéticos. Esta propiedad de la energía, no tenida en cuenta muchas veces en el diseño de los sistemas energéticos de la pasada década, abre también nuevas oportunidades de perfeccionamiento y mejoramiento de la eficiencia energética y de la optimización de los procesos, agregando a las medidas de conservación de la cantidad de la energía conocidas, nuevos conceptos y medidas para la disminución de las pérdidas de su calidad, lo que requiere de métodos y procedimientos de evaluación particulares basados fundamentalmente en las consecuencias del segundo principio de la termodinámica.

Hoy los métodos exergéticos y termoeconómicos de análisis se emplean con frecuencia y efectividad para la optimización de parámetros de funcionamiento, la identificación de potenciales económicos de ahorro, la evaluación de diferentes variantes de inversiones o alternativas de solución de un problema energético y el diseño de equipos termoenergéticos. La solución de problemas tales como la diferenciación cuantitativa de las

pérdidas de calidad de la energía en recuperables y no recuperables y el desarrollo de tecnologías para la recuperación de las pérdidas de la disponibilidad de la energía, deben convertirse en el próximo siglo a esta propiedad de la energía en una herramienta de explotación muy útil para optimizar la operación, diagnosticar operacionalmente el mantenimiento y monitorear con mucha más efectividad el uso adecuado de la energía.

### **EL PASO DEL PENSAMIENTO ENERGÉTICO AL EXERGÉTICO**

La energía se ha convertido en elemento inseparable de toda técnica desarrollada por el hombre. Por ello es natural que entre todas las vías existentes para su estudio, proyección, explotación, perfeccionamiento y modernización, el lugar más importante lo ocupe la energética. Para la utilización efectiva de esta vía es imprescindible contar con un modelo teórico capaz de analizar el objeto técnico real o proyectado, en cada uno de los elementos componentes, en sus relaciones internas y externas, en forma sistemática. El análisis termodinámico a través del método exergético constituye hoy día el único modelo capaz de ejercer esta función y ha contado con especial efectividad en aquellos sistemas técnicos que se ocupan de producir transformaciones energéticas (producción de frío, calor, fuerza, electricidad, etc.) y de las sustancias (producciones químicas, metalúrgicas, alimenticias, etc.).

El paso del pensamiento energético al exergético en la industria moderna se ha caracterizado con el término “Exergy management” que significa el control y acción sobre los pro-

cesos tecnológicos basados en los resultados de la simulación termodinámica.

La información recibida por el gerente energético en la aplicación del modelo exergetico permite de forma rápida y segura tomar decisiones y realizar análisis correspondientes a los niveles de desarrollo, el nivel práctico y el nivel óptimo.

#### **En el nivel práctico el modelo permite**

- Determinación de los consumos de combustibles y energía en todos y cada uno de los elementos que intervienen en el proceso tecnológico, detección de elementos críticos, establecimiento de tarifas y normativas de explotación.
- Determinación de las máximas potencialidades energéticas, valoración y comparación del uso más eficiente de recursos principales, secundarios y de desechos.
- Determinación de las posibilidades energéticas de inclusión de nuevos procesos y nuevos agregados, comparación de variantes.
- Control y corrección de parámetros termodinámicos del proceso para garantizar el ahorro y uso racional de la energía o sustancia del trabajo invertida en el proceso.
- Determinación de las pérdidas de capacidad de trabajo de la energía en el proceso tecnológico, lugar donde ocurren y causas de las mismas.

#### **En el nivel óptimo el modelo permite**

- Optimización termodinámica de los sistemas que intervienen en el proceso para la elección de regí-

menes y parámetros de trabajo más ventajosos.

- Optimización y análisis termo-económico del sistema y técnico-económica de inversiones capitales.
- Establecimiento de las relaciones entre las características termodinámicas de los objetos técnicos con las características técnico-económicas y ecológicas.

La falta de información en la práctica de la ingeniería energética actual sobre el método exergetico hace insuficiente su aplicación y frena el desarrollo en la dirección de la disminución de los gastos específicos de energía y recursos naturales. La intención de este curso consiste en presentar los fundamentos de la base teórica del método exergetico que permita al ingeniero la transformación del acostumbrado pensamiento energético al exergetico e iniciar sus trabajos en la simulación termodinámica de los procesos productivos de transformaciones de energía y de las sustancias para lograr la aplicación de este nuevo potencial energético en el primer nivel de desarrollo.

También pretendemos prestar atención a las principales tendencias y sus resultados en el segundo nivel de desarrollo, el cual aun en los días de hoy constituye motivo de estudio y perfeccionamiento para muchos especialistas en las más diversas ramas de la técnica.

### **¿POR QUÉ GERENCIA EXERGETICA Y NO ENERGÉTICA?**

El análisis termodinámico persigue dos objetivos: el cálculo del grado de perfección termodinámica de los pro-

cesos de trabajo de las instalaciones energéticas y la indicación de las vías para incrementar el ahorro de combustible o energía eléctrica suministrada a las instalaciones.

La termodinámica nos enseña que todos los procesos perfectos son reversibles. El proceso de conversión de calor en trabajo puede considerarse perfecto en el caso que sea reversible, y en este caso con la misma cantidad de calor como energía inicial del proceso obtendremos el mismo trabajo posible o para un trabajo dado gastaremos la mínima cantidad de calor.

Teniendo en cuenta que los procesos reales, como regla, no pueden ser perfectos, para ellos se toma en cuenta como grado de perfección aquel que caracteriza la aproximación del proceso real al proceso ideal. En una instalación de fuerza esto significa la relación del trabajo real obtenido con respecto al máximo posible; para las instalaciones refrigerantes, es la relación del consumo mínimo posible de energía eléctrica con respecto al consumo real.

Como el aumento del grado de perfección se reduce el consumo específico de combustible en las instalaciones de fuerza y el de energía eléctrica en las instalaciones refrigerantes.

Los sistemas energéticos modernos son complejos de instalaciones que incluyen calderas de vapor, intercambiadores térmicos, turbinas de vapor o gas, motores de combustión, bombas calóricas, instalaciones refrigerantes, centrales termonucleares, hidroeléctricas, etc. La perfección de cada proceso energético en cualquiera de sus etapas, incluye en la magnitud del consumo general de

combustible, calor, electricidad u otro tipo de energía inicial del sistema energético. Por ejemplo, si todos los procesos que se producen en una central termoeléctrica moderna fueran ideales (reversibles) el consumo de combustible necesario para producir 1 kW sería de 86g, sin embargo, las más eficientes hoy consumen más de 200g.

El análisis termodinámico de los modernos y complejos esquemas de las instalaciones energéticas, hasta mucho más de la primera mitad de nuestro siglo se ha desarrollado a partir del sistema de coeficientes energéticos, que aunque han jugado un rol muy importante en la disminución y utilización de la energía, no lo han hecho así en el perfeccionamiento termodinámico de los procesos, ya que estos no son capaces de valorar totalmente el grado de perfección termodinámica de los mismos.

Tomemos por ejemplo un coeficiente tan universal como el rendimiento térmico ( $N_t$ ). Imaginemos dos instalaciones de fuerza que trabajan según el ciclo de Carnot y que tienen una misma fuente de enfriamiento  $T_0=300^\circ\text{K}$ , pero fuentes de calor diferentes  $T_1=1000^\circ\text{K}$  y  $T_2 = 2000^\circ\text{K}$ .

El rendimiento térmico de la primera instalación es 0.7 mientras el de la segunda es 0.85, sin embargo, esto no significa que la primera es menos perfecta que la segunda termodinámica, pues en ambas todos los procesos son reversibles. Este coeficiente sólo ha sido capaz de caracterizar las diferencias de temperatura límites en las que trabajan ambos ciclos.

Todos conocemos que debido a esta in-

capacidad de Nt fue necesario establecer muchos y nuevos coeficientes en el análisis de las instalaciones de fuerza, estos complican sobremanera su estudio, no alcanzan a lograr una relación coherente entre ellos y tienden a confundir la esencia física de los procesos que debemos perfeccionar. Otra dificultad principal de los métodos energéticos de análisis utilizados hasta la primera mitad del siglo es que los mismos no establecen diferencia entre la calidad de la energía que se distribuye. Tal calidad está relacionada con la capacidad

para efectuar un trabajo útil y la imposibilidad de realizar un análisis de los cambios de calidad de la energía, a través de la instalación nos deja una vía de perfeccionamiento no explotada para el ahorro de combustible o energía eléctrica.

Veamos un ejemplo de esto, a partir del trabajo presentado por Reistad sobre una comparación entre las pérdidas energéticas y exergéticas en una planta de generación de vapor a partir de carbón.

**Tabla 1**

Pérdidas de energía en una CTE de carbón, según Reistad.

Componente	Pérdida de energía	Pérdida de exergía
	% de la energía inicial	
Generador de vapor	9	49
Turbinas	0	4
Condensador	47	1.5
Calentadores	0	1.0
Misceláneas	3	5.5
Total	59	61

Como se aprecia, el total de las pérdidas no presenta diferencias significativas pero la distribución de las mismas no muestra marcada incompatibilidad. Por tanto, la dirección en que trabajan los ingenieros energéticos por mejorar la eficiencia de la instalación también es significativamente distinta. En este diferente punto de vista es donde se encuentra el elemento clave para obtener en la actualidad ideas provechosas en el ahorro de energía. A partir de los resultados del método energético, los

ingenieros se preocupan por disminuir las pérdidas en el condensador, cuando en realidad las pérdidas de capacidad de trabajo de la sustancia ocurren en el proceso de combustión del generador de vapor.

Las consecuencias sociales de no tener en cuenta en las instalaciones energéticas los balances de la cantidad de la energía, al mismo nivel de los balances de la calidad de la energía, son incalculables. Hoy día existirían instalados masivamente los sistemas combinados de producción



de calor y trabajo disminuyendo el gasto específico de combustible en la producción de energía eléctrica, contaríamos en explotación con elementos de transformación directa del combustible en energía eléctrica, (fuel-cell), tendríamos invertida mucha menor cantidad de recursos combustibles, materiales y humanos en los procesos productivos de transformación de sustancia y energía, tendríamos desarrollados los sistemas

integrados de producción y uso de energía sin afectaciones ecológicas, existiría una mejor caracterización y explotación del uso de las fuentes renovables y no convencionales de energía.

Analicemos la comparación entre las eficiencias energéticas y exergéticas de diferentes procesos característicos del desarrollo económico-social actual presentado por Kenney.

**Tabla 2**  
Comparación entre las eficiencias energéticas y exergéticas de diferentes procesos

Unidad de operación o procesos	Eficiencia	
	Primera ley	Segunda ley
Calentador residencial	60	9
Calentador de agua doméstico	40	2-3
Caldera de vapor de alta presión	90	50
Secado de tabaco	40	4
Gasificación del carbón	55	46
Refinación de petróleo	90	10
Regeneración del vapor para uso industrial y social	100	40
Altos hornos	76	46

Es evidente que muchas de estas instalaciones no fueron concebidas a partir de alcanzar altas eficiencias en el aprovechamiento de la calidad de la energía, destacándose especialmente aquellas que utilizan vapor de altos parámetros para procesos de baja temperatura. Sus consecuencias son un gasto innecesario de combustible

que recibe la atmósfera en forma de calor y sustancias tóxicas.

La dirección correcta hoy es sustituir estos procesos o perfeccionarlos para alcanzar altas eficiencias de utilización de la calidad y cantidad de energía invertida. Un pequeño incremento de la eficiencia exergética para el número de procesos y operaciones que

consumen en la actualidad una cantidad considerable de energía produciría un fuerte impacto en la cantidad de combustible consumido.

Afortunadamente, a partir de los trabajos elaborados por muchos investigadores, en el marco de una rigurosa fundamentación teórica del análisis termodinámico es posible ya dar al ingeniero la dirección hacia la aplicación práctica del método exergético que tiene en cuenta tanto las variaciones de cantidad como de calidad de la energía y utilizar el potencial energético insuficientemente explotado.

### CONCLUSIONES

- El manejo adecuado de la calidad de la energía en los procesos industriales se ha convertido en la última década en uno de los potenciales fundamentales para la reingeniería de los sistemas energéticos, la optimización de parámetros de funcionamiento, la identificación de potenciales económicos de ahorro, la selección entre diferentes variantes de inversiones o alternativas de solución de un problema energético y el diseño de equipos termoenergéticos.
- El concepto de exergía permite una definición más precisa del rendimiento de un proceso que los rendimientos tradicionales. En efecto, los análisis energéticos convencionales, que están basados en el primer principio de la termodinámica, constituyen en realidad una simple contabilidad energética. Por el contrario, el análisis exergético basado en el segundo principio tiene en cuenta no sólo

la cantidad de energía sino su calidad. Esto permite definir la eficiencia con todo rigor.

### BIBLIOGRAFÍA

1. BRADIANSKY V.M. *El método exergético y sus aplicaciones*. Editorial Energía Atómica. Moscú, 1988.
2. CAMPOS AVELLA, Juan C; SANTOS MACÍAS, Leonardo. *El análisis termoeconómico en los proyectos de conservación de la energía*. Memorias del VII Congreso Nacional de Ahorro de Energía de México, 1996.
3. EL-SAYED Y.M.; TRIBUS M. *Strategic use of Thermoeconomics for System Improvement*. Proceedings of Efficiency and Costing ACS Symposium, Ser N235, 1993
4. KENNEY, W.F. *Energy Conservation in the Process Industries*. / W.F.Kenney./s.1/: Academia Press, 1969, 329 p.
5. KOTAS, T.J. *The exergy method of thermal plant analysis*. Anchor Brendon Ltd, Tiptree, Essex. Gran Bretaña, 1985.
6. TSATSARONIS, G.; KRANE, R.J. *Exergy analysis and thermoeconomics in search of cost effective solutions. V.1: Exergy analysis*. Lilburn, The Fairmont Press, 1993.
7. TSATSARONIS, G.; KRANE, R.J. *Exergy analysis and thermoeconomics in search of cost effective solutions. V.2: Thermoeconomics*. Lilburn, The Fairmont Press, 1993. ☀

