

Propuesta para la disminución de la contaminación ambiental a través del uso racional de la energía

J. Caminos, A. Cozzi, J. Doyharzabal

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Santa Fe

Grupo de Estudios Sobre Energía (G.E.S.E.)

Lavaise 610 – CP 3000 - Santa Fe – ARGENTINA

Te.: +54 342 4601579 Fax.: +54 342 4690348 Email: jcaminos@frsf.utn.edu.ar.

<http://www.frsf.utn.edu.ar/>

(Ponencia recibida para ser presentada en el 2º Congreso Cubano de Ingeniería Mecánica, ISPJAE, Ciudad de la Habana, Septiembre 2000)

Resumen

EL GRUPO DE ESTUDIOS SOBRE ENERGIA esta realizando un proyecto denominado “USO RACIONAL DE LA ENERGIA Y DISMINUCION DE LA CONTAMINACION EN EL SECTOR INDUSTRIAL”, el mismo se orienta hacia el análisis y la evaluación de los sistemas energéticos utilizados en el sector industrial, con miras a obtener un uso eficiente de la energía y una disminución en la emisión de contaminantes.

Este proyecto lo que trata es trabajar sobre dos temáticas que están íntimamente relacionadas entre sí, la primera es la eficiencia energética y la segunda es la emisión de contaminantes por la combustión de distintos tipos de combustibles.

El uso industrial de la energía la podemos dividir en dos grandes áreas, la energía térmica con sus distintos usos y la energía eléctrica

Palabras claves: energía, contaminación, ahorro, combustión, electricidad.

1. Introducción

Durante los últimos años las distintas empresa han visto como la incidencia de los costos de la energía frente a los costos de producción han ido incrementándose hasta tener un alto componente en el precio final del producto.

Experiencias ya realizadas demuestran que con el incremento de la eficiencia energética se obtienen beneficios económicos adicionales a la reducción de los costos de energía, ya que además permite incrementar la producción y reducir la emisión de contaminantes al medio ambiente.

En todos los sectores en donde se consume energía, principalmente la podemos dividir en dos grandes usos tal como muestra el esquema de la figura 1.

Existiendo otros usos de energía, que por considerarse de utilización muy específica, por lo cual no las consideramos.

En la mayoría de las industrias la participación en los usos oscilan entre un 60 a 80 % de energía térmica y un 20 a 40 % de energía eléctrica. Pero si consideramos los

costos de energía eléctrica estas participaciones generalmente se igualan, ya que el costo de la energía eléctrica es sensiblemente mayor que las otras formas de energía.

Por supuesto que es imposible de hablar de ahorro de energía si no se conoce donde y como esta se utiliza, por lo que para poder comenzar con el PROGRAMA DE USO RACIONAL DE LA ENERGÍA es fundamental medir distintos parámetros ya sea para determinar los consumos o para determinar las posibles pérdidas, esto es lo que se conoce generalmente como una auditoría energética.

La auditoría energética permite realizar el análisis detallado en una empresa industrial, comercial o de servicios y establece las bases para las tomas de decisiones sobre la realización de proyectos de ahorros energéticos.

El objetivo final de una auditoría energética es la identificación de medidas técnicas y administrativas rentables para el ahorro de energía en toda la empresa.

La auditoría energética que se realiza en una empresa trata de identificar los ahorros energéticos que no

necesitan grandes inversiones, el cambio de proceso o la incorporación de nuevas tecnologías, serán analizadas en una segunda etapa luego de haber corregido todas las deficiencias encontradas.

Experiencias en varios países indican que en el desarrollo de estas auditorías se pueden encontrar ahorros de energías medios que oscilan entre un 15 a 20 % del total de la energía consumida.

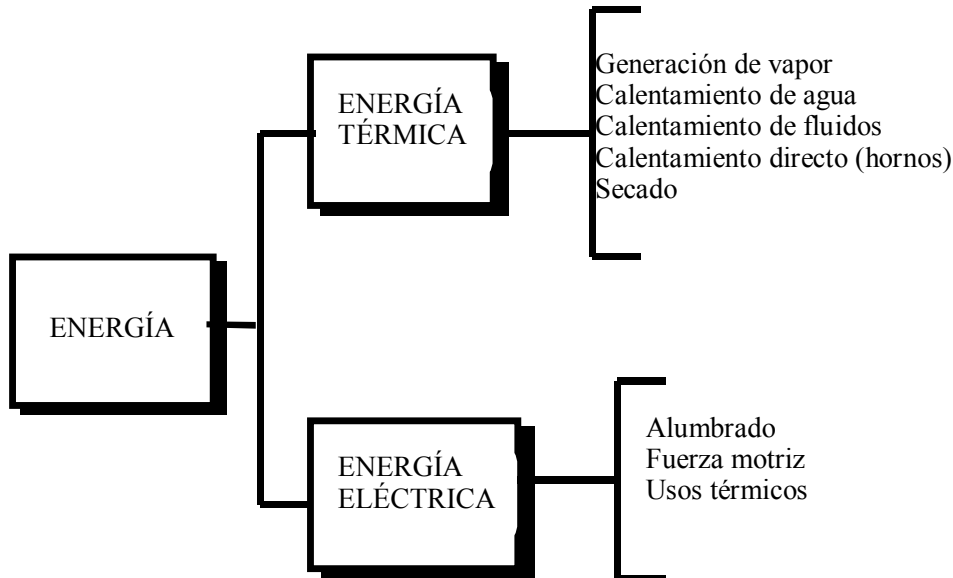


Fig.1

2. Energía térmica

Dentro del este proyecto se han realizado una importante cantidad de auditorías energéticas, las mismas consistieron en realizar un relevamiento integral de los equipos generadores de vapor, hornos, secadores o quemadores que utilicen combustible y las instalaciones relacionadas con los mismos.

Como primera medida fue necesario conocer las principales características técnicas del equipo a analizar, como son consumo y tipo de combustible, características del quemador instalado, potencia de generación, superficie de calefacción, aprovechamiento de la energía de los gases de escape o el agua de purga, capacidad de agua del recipiente, producción de vapor, presión de generación y condiciones operativas reales.

Dentro de las condiciones operativas más relevantes incluimos el estado de conservación, mantenimiento, grado de automatización, régimen de purga, recuperación de condensado, características del agua utilizada y tipo de tratamiento que se aplica.

Los parámetros a medir en los generadores de vapor:

- Análisis de los gases de combustión, a la salida de la cámara de combustión. Se medirá CO₂, CO, O₂, NOx, material particulado, opacidad, etc..
- Tiro, en el mismo punto de medición.
- Temperatura de los gases de combustión
- Temperatura ambiente

- Temperatura de la superficie exterior en distintos puntos.
- Conductividad térmica del agua de la caldera
- Conductividad térmica del agua de alimentación

Además se realiza la observación del estado de la aislación y de la estanqueidad de la red, recabando la siguiente información:

- Longitudes y diámetros de los tramos de tuberías no aisladas, incluyendo válvulas, bridas, etc. cuantitativa y cualitativa de fugas de vapor
- Temperatura de la superficie exterior de un tramo de tubería aislada
- Temperatura de la superficie exterior de un tramo de tubería no aislada

Con esta información se realiza la evaluación de los datos obtenidos.

Todas las actividades de recopilación de la información y los datos medidos nos deberán servir para poder identificar las distintas oportunidades de ahorro de energía.

Estos ahorros se identifican sobre la base de la experiencia del auditor, material bibliográfico, etc.; siempre analizando cada uno de los sistemas por separado

Cada oportunidad de ahorro detectada debe identificar las medidas necesarias para aprovecharlas y su rentabilidad sobre la base del costo de realización y al ahorro esperado.

Veamos cual es el balance de un generador de vapor, en donde intervienen los calores entrantes y los calores salientes, tal como se muestra en el esquema.

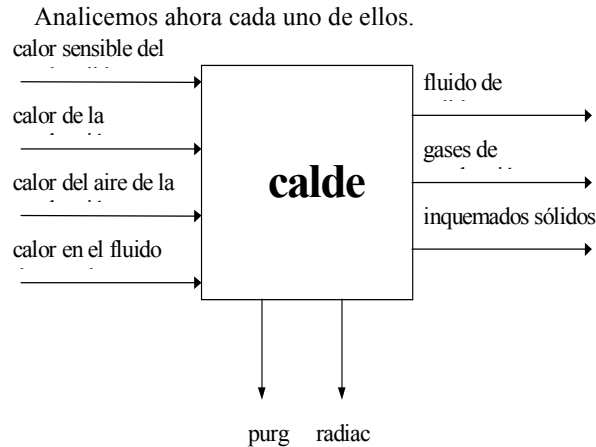


Fig.2.

CALORES ENTRANTES.

Calor sensible del combustible precalentado (Q_C)

$$Q_C = C_C \times t_C \text{ [kCal/kg de combustible]}$$

Donde C_C = calor específico del combustible

t_C = temperatura de precalentamiento del combustible.

Calor de combustión (Q_{CO})

Es la energía química desarrollada en la combustión.

$Q_{CO} = \text{P.C.I. [kCal/unidad de combustible] (poder calorífico inferior)}$.

Calor sensible del aire de combustión (Q_a)

Es el calor con que ingresa el aire de combustión.

$$Q_a = G_a \times C_p \times \Delta t$$

Donde: Δt = variación de temperatura entre lo que ingresa al quemador y el aire ambiente.

G_a = kg de aire/unidad de combustible, este dato se puede obtener en función de los datos medidos de temperatura de humos, O_2 , CO_2 , CO y opacidad.

C_p = calor específico del aire [kCal/kg de aire C]

Calor de fluido de entrada (Q_{fe})

Es la entalpía del condensado

$$Q_{fe} = h_{fe} \text{ [kCal/kg de agua]}$$

CALORES SALIENTES.

Calor en el fluido de salida

Es la entalpía del fluido de salida y se obtiene de tabla en función de la presión de generación del vapor [kg/cm²] y de su temperatura [°C].

Calor sensible de los gases de combustión (Q_{ge})

Es el calor de los gases de combustión, con los datos de % de O_2 y/o CO_2 obtenemos el caudal de humos expresados en [kg de humos/unidad de combustible]. Con la temperatura de los humos y de tabla obtenemos su entalpía específica y expresada en [kCal/kg] de humo].

Calor de inquemados gaseosos (Q_{ig})

El calor de inquemados gaseosos lo obtenemos de la siguiente expresión en % de pérdidas sobre el P.C.I. del combustible.

$$Q_{ig} = \frac{21}{21 - O_2} \left[\frac{CO}{3100} + \frac{CH}{1000} \right]$$

Donde O_2 = concentración de O_2 en humos (%)

CO = concentración de CO en humos (ppm)

CH = concentración de CH en los humos

Generalmente se utiliza que $CO = CH$ ya que es difícil medir CH .

Calor de inquemados sólidos

Se calcula midiendo la opacidad y entrando en tabla se obtiene el % de pérdidas respecto al P.C.I. del combustible.

Nº DE ESCALA BACHARACH	% DE PÉRDIDAS SOBRE COMBUSTIBLE
1	0,67
2	1,33
3	2,00
4	3,32
5	4,65
6	6,00
7	7,00
8	8,00
9	9,00

Calor de las purgas de la caldera (Q_p)

Es el calor que se pierde por purgas de calderas inadecuadas.

$$Q_p = P \times h_p$$

Donde P = es el caudal de purgas [kg/hs]

h_p = es la entalpía de la purga

Calor por radiación (Q_r)

Es la pérdida de calor en las paredes del generador de vapor.

Con toda esta información se puede calcular el rendimiento de la combustión de la siguiente manera:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{humos} + Q_{inq. sol.} + Q_{inq. gas.}}{P.C.I.}$$

Si existe precalentador de aire la expresión nos queda de la siguiente manera:

$$\eta = 1 - \frac{Q_{humos} + Q_{inq. sol.} + Q_{inq. gas.}}{P.C.I. + [G_a \times C_p \times \Delta t]}$$

Además podemos calcular el rendimiento de la caldera por el método indirecto, de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_{\text{util}}}{Q_{\text{aportado}}} \quad \text{Siendo: } Q_{\text{util}} = Q_{\text{aportado}} - Q_{\text{pérdidas}}$$

Por lo tanto las medidas más comunes de ahorro de energía tienden a minimizar las pérdidas ya vistas, para ello podemos hacer el siguiente resumen.

Las oportunidades de AHORRO DE ENERGIA las podemos resumir de la siguiente manera

Ajuste de la combustión

El ahorro es la relación entre el rendimiento de la combustión antes y después de realizado el ajuste

$$\text{Ahorro} = \frac{\eta_{\text{ef}} - \eta_{\text{ei}}}{\eta_{\text{ef}}} \text{ en } [\%]$$

Por lo tanto el ahorro de combustible es el producto del ahorro por el consumo total de combustible.

Optimización de la temperatura del combustible

El poder quemar el combustible dentro de los rangos de temperatura óptimos (70 °C para el F.O.) permite una pulverización ideal y consecuentemente una disminución de inquemados.

Precalentadores de aire de combustión

Se intenta que el aire de combustión ingrese lo más caliente posible a la cámara de combustión.

Purgas

Las purgas consisten en extraer sólidos disueltos y en suspensión de la caldera, ya que al vaporizarse el agua la concentración de sólidos aumenta.

Por lo que hay que calcular perfectamente el caudal de purgas para sacar la cantidad de sólidos disueltos necesarios y no perder una gran cantidad de energía en esta purga.

Este calor de purga puede recuperarse mediante la colocación de algún intercambiador.

Aislamiento de cañerías y de tanques

Toda cañería y tanque no aislado genera una importante pérdida de calor.

El ahorro que se obtiene esta dado por la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro} = \frac{\Delta [\text{kCal/hs}] \times H [\text{hs/año}]}{\eta_{\text{caldera}} \times \text{P.C.I.} [\text{kCal/kg comb}]}$$

Donde Δ diferencia de pérdidas antes y después de aislar.

Eliminación de fugas de vapor

Toda fuga de vapor es energía que se tira y no se puede recuperar, la única manera es reparándolas.

Las pérdidas en un orificio vienen dada por la siguiente expresión:

$$Q = K \times d^2 \times \sqrt{P \times [P+1]}$$

Donde Q = caudal de vapor perdido

d = diámetro del orificio

P = presión manométrica del vapor

K = coeficiente 0,35 - 0,45

El ahorro de energía que se obtiene esta dado por la siguiente expresión:

$$\text{Ahorro} = \frac{Q \times H}{X}$$

Donde H = son las horas año

X = producción específica de vapor [kg de vapor/unidad de combustible]

También existen tablas en donde en función del diámetro del orificio, la longitud del penacho y la presión de generación se pueden obtener las pérdidas de energía.

Recuperación de condensado

Es la recuperación total o parcial del calor sensible asociado con el agua de condensado en equipos que utilizan vapor.

El recuperar condensado significa que puedo introducir a la caldera agua de alimentación a 80 o 90 °C, en vez de 15 °C con el consiguiente ahorro de energía.

4. Conclusiones

De las empresas auditadas un 37 % utilizan como combustible Gas Natural, un 27 % Fuel Oil y un 18% Gas Oil y otros. (Figura 1)

COMBUSTIBLES UTILIZADOS

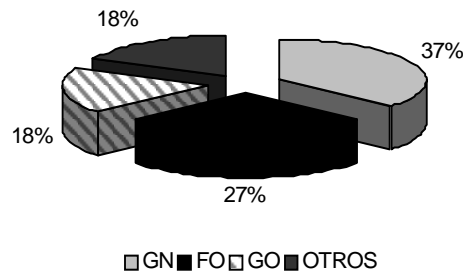


Figura 1

Teniendo en cuenta los datos de CO_2 , O_2 , y las distintas variables de la combustión se pudo determinar que en la mayoría de los casos el rendimiento con que trabajan estos equipos esta muy por debajo de las características de fabricación, con la importante pérdida de energía que esto significa.

Los ahorros potenciales de energía que se han obtenido optimizando la combustión están en un promedio del 12 % del total de la energía consumida, llegando en un caso al 28 % del potencial de ahorro a obtener.

Los ahorros obtenidos en aislación de cañerías, disminución de pérdidas de vapor, etc., varían en cada industria obteniéndose ahorros de hasta un 15,1 % de energía.

Asimismo se ha medido en chimenea la emisión de NOx, que han arrojado valores máximos de 307 [ppm], siendo los valores recomendados según el Decreto 3395/96 para procesos de combustión 219 [ppm].

El ahorro total de energía que se obtendría significa también que existiría una importante disminución en la emisión de CO₂ y CO al medio ambiente.

AREA ELECTRICA

Medidas de parámetros eléctricos en los tableros principales y en los tableros secundarios

Tensión de alimentación
Corriente
Factor de potencia
Potencia
Curva de carga
Demanda máxima
Calidad de energía

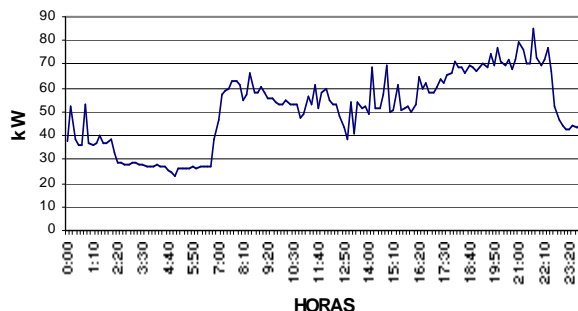
Medidas de ahorro de energía en el sistema eléctrico

Cuando hacemos una auditoria energética de la parte eléctrica, lo primero que debemos estudiar es la facturación de energía eléctrica, de por lo menos el último año. Ello nos dará información de como se comporta la empresa en lo que hace al consumo de energía eléctrica.

Las facturas de energía eléctrica nos da la información básica, en ella tenemos parámetros sobre los cuales fijamos nuestro estudio

La demanda máxima
El consumo de energía activa
El factor de potencia
Horarios en que se produce la demanda máxima

VARIACION DE LA DEMANDA



Los otros parámetro que componen la tarifa son las componentes impositivas, sobre las cuales no podemos actuar.

Además, el análisis de la facturas nos dirá si la tarifa contratada es la adecuada y si se puede acceder a otros tipos de tarifas más económicos.

Posteriormente se deberá determinar el factor de carga de la planta, que se define como la relación entre el consumo eléctrico a la demanda máxima.

El factor de carga anual se determina de la siguiente manera:

$$f_c = \frac{\text{Número de kWh consumidos en el año}}{(\text{Demanda mensual prom máx}) \times (\text{horas en un año})}$$

Un factor de carga bajo podría ser un síntoma de oportunidades para controlar la demanda.

Una vez cumplido este análisis estamos en condiciones de analizar las distintas oportunidades de ahorro de energía más importantes.

Control de la demanda a través de reducción de cargas

Esta alternativa, requiere un claro conocimiento de las distintas demandas de una empresa y de poder discriminar cuales son las menos importantes, para así reubicarlas en diferentes tramos horarios con el fin de aplanar la curva de demanda.

Existen equipos que controlan continuamente la demanda máxima, si esta es superada, automáticamente se procede a la desconexión de los equipos que fueron seleccionados como prescindibles.

Con lo anterior se obtiene un ahorro económico por no exceder la potencia contratada, como así también un ahorro energético con un óptimo aprovechamiento del área bajo la curva de demanda.

Corrección del factor de potencia

La corrección del factor de potencia se debe considerar como una inversión persiguiendo los siguientes objetivos:

Anular los recargos por bajo factor de potencia en las tarifas de energía eléctrica.

Liberar carga en transformadores, líneas de distribución, etc.

Disminución de pérdidas por efecto JOULE en las líneas de distribución.



Desconexión de equipos innecesarios

La desconexión de equipos eléctricos prescindibles podría generar grandes ahorros a muy bajo costo. Para ello es necesario conocer cuando un equipo se encuentra operando y cuando se encuentra en stand-by.

El ahorro de energía se puede calcular de la siguiente manera:

$$\text{Ahorro} = \frac{P \times \text{horas de desconexión}}{\text{eficiencia del equipo}}$$

El factor límite es el tiempo entre el apagado y el reencendido, por ejemplo no se podría considerar el apagado del equipo relacionado con producción por periodos cortos.

Además tenemos que considerar que los motores (mayor de 20 CV) están diseñados para no más de 6 encendidos por hora.

Muchas veces, se comete el error al considerar que una máquina trabajando en vacío consume muy poca energía, lo cual es erróneo por lo tanto en esos casos es aconsejable la desconexión de la misma.

Desconexión de transformadores trabajando en vacío

Otra característica que se observan en algunas industrias es poseer transformadores conectados a la línea como respaldo, pero trabajando en vacío. Esto generalmente ocasiona un gasto de energía innecesario ya que por mas que el transformador no tenga carga, igual existen las pérdidas en el hierro y las de efecto JOULE en el primario, ambas conocidas como pérdidas en vacío.

Es por lo anterior que en los casos que las características de producción lo permitan se aconseja sacar de servicio el transformador de respaldo.

Calidad de energía

La tendencia privatista en la Argentina ha alcanzado también a las empresas distribuidoras de Energía Eléctrica, dentro de este marco, las mismas deben atenerse a ciertas exigencias inherentes a la calidad del servicio que las mismas presta a sus clientes.

Los principales puntos que se analizan son los siguientes:

Calidad del producto técnico:

Nivel de tensión en el punto de alimentación

Perturbaciones:

Variación rápida de tensión

Caidas lentas de tensión

Armónicas

Calidad del servicio eléctrico

Frecuencia de interrupciones

Duración de interrupciones

Calidad de servicio comercial

Errores de facturación

Facturación estimada

Demora en la atención de reclamos

En los contratos de las empresas privatizadas se definen etapas y plazos en los que se deben cumplir cada uno de ellos y los valores máximos admisibles de distorsión.

También se establecen los métodos de control y penalizaciones por incumplimientos de las distribuidoras, como así también ñas bonificaciones a los usuarios afectados.

Los principales efectos que se analizan son:

FLICKER

Es la impresión subjetiva del ojo humano ocasionado por una serie de variaciones rápidas de tensión. El efecto es provocado por los usuarios que tienen importantes variaciones de carga producidos por: máquina de soldar por resistencia, grandes motores de carga variable, hornos de arco, soldadora por arco.

EMISION DE ARMONICAS

Son producidas por dispositivos que contienen elementos de respuesta no lineal, como ser rectificadores de estado sólido, tiristores, amplificadores, variadores de velocidad, etc.

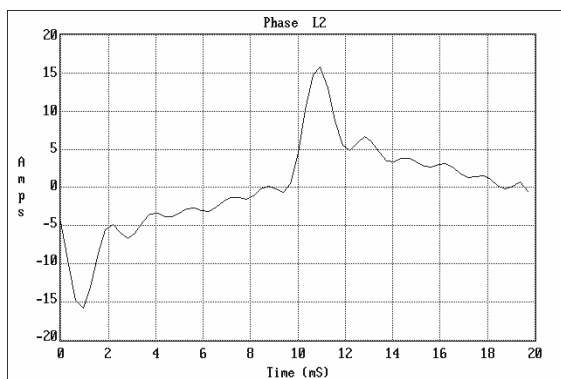
Las ondas senoidales desformadas dan origen a corrientes desformadas, las cuales transitan por la red y alimentan a otros usuarios conectada a la misma.

Esta alimentación con tensiones desformadas, debido a sus diferentes valores eficaces con respecto a la fundamental, ocasionan diversos inconvenientes, como ser: operaciones inadecuadas de los interruptores de baja y media tensión, recalentamiento de los bobinados de motores, error en algunos sensores basados en los valores de la onda senoidal.

¿Cómo contrarrestar el efecto de las armónicas?

Se utilizan filtros para armónicas, los cuales inyectan en la instalación las mismas armónicas pero en oposición de fase y con la misma intensidad. De esta manera anulamos el valor de las armónicas y evitamos la influencia de las mismas en las ondas de tensión y corriente.

A continuación se puede observar la influencia de armónicas en la curva de corriente.



Tomando como muestra las empresas auditadas en el corriente año, trabajando sobre la facturación en conjunto con la eficiencia en concepto de consumo energético, se ha logrado un ahorro promedio del 28%.

6. Bibliografía

1. Energy Managenet Handbook - Ed. Witey Interscience Publication - Autor: Wayne Turner - 1982.
2. Energy Audit Manual - Government Institutes, Inc. - 1984 - Vol. 1 y 2.
3. Uso eficiente de energía en Generadores de Vapor y redes de fluidos - Ed. Idae - 1987.
4. Curso de Ahorro de Energía en Redes de vapor - Autor: G.E.S.E. Santa Fe - 1992.
5. Energy Conservation Standards - Autor: Dubin - Long. - Ed. McGraw-Hill Book Company- 1978.
6. Manual de Uso Racional de la Energía en la Industria - 3 tomos - Secretaria de Ciencia y Técnica de la UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL GRUPOS DE ESTUDIOS SOBRE ENERGIA - 1992.
7. Manual de Auditoria energética Industria - Autor: Hagler, Bailly & Company - U.S.A. -1985.
8. Gestión de energía en la industria - Proyecto de cooperación Técnica S.E.E.I.A.F.C.P./G.T.Z. - Dial. Ing. WOLFGANG LUTZ.
9. Energy Conservation Technology In Industrial Boilers - The Association For Overseas Technical Scholaship - The Energy Conservation Center, Japan - Instituto Nacional De Tecnología Industrial.
10. Vigilancia de la Contaminación del Medio en relación con el desarrollo. Informe de un comité de expertos de la O.M.S.
11. El Fin del Aire Puro. Contaminación del Aire en Latinoamérica y Países Desarrollados. Por Amilcar Arguelles
12. Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Por Montserrat Costa, Josep Calbo, Lazaro Cremades y José Baldasano; del Instituto de Tecnología y Modelización de la Universitat Politècnica de Catalunya.
13. Curso de Contaminación Atmosférica. Institut de Tecnología y Modelitzacion Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya.
14. Decreto N° 3395/96 de la Prov. de Buenos Aires .

Proposal for the decrease of the environmental contamination by means of the rational use of the energy.

Abstract

The ENERGY GROUP OF STUDY is carrying out a project denominated "RATIONAL USE OF THE ENERGY AND DECREASE OF THE CONTAMINATION IN THE INDUSTRIAL SECTOR", the same one is guided toward the analysis and evaluation of energy systems used in the industrial sector, with an eye toward obtaining an efficient use of the energy and a decrease in the emission of pollutants.

This project deals with two thematics that are intimately related to each other, the first one is the energy efficiency and the second is the emission of pollutants for the combustion of different types of fuels.

Key words: energy, contamination, industry, combustion, electricity, thermal..