CONF-921105--

13th national seminar on the rational use of energy and exposition of equipment and services. Transactions. [Selected Papers]

ASOCIACION DE TECNICOS

Y PROFESIONISTAS EN

APLICACION ENERGETICA, A. C.

XIII SEMINARIO NACIONAL SOBRE EL USO RACIONAL DE LA ENERGIA Y EXPOSICION DE EQUIPOS Y SERVICIOS

M E M O R I A

[Selected Papers]

MEXICO, D.F. NOVIEMBRE DE 1992

FIDEICOMISO DE APOYO AL PROGRAMA

DE AHORRO DE ENERGIA

DEL SECTOR ELECTRICO

DISCLAIMER

Portions of this document may be illegible in electronic image products. Images are produced from the best available original document.

MX9800097

PRESENTACION DE PLANTAS TERMOSOLARES PARA GENERACION DE CALOR Y ENERGIA ELECTRICA

V. Estrada-Cajigal[1], F. Manzini[2] y A. Sánchez[2]

1 SOLARTRONIC S.A. de C.V. Morelos Sur 1301-E, Cuernavaca 62050, Morelos. FAX (73) 188609

2 LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR IIM-UNAM Centro Cultural Xochicalco, Temixco 62580, Morelos.

RESUMEN

Se presenta la tecnologia termosolar de concentracion puntual para producción de calor y de energia en pequeña y gran escala, se enfatiza su capacidad de combinación con las tecnologías actuales que utilizan combustibles fósiles para producción de electricidad y vapor de proceso, aumentando la eficiencia global de las plantas y reduciendo notablemente sus emisiones contaminantes a la atmosfera durante las horas de insolacion. Se le compara exitosamente con otras tecnologías termosolares.

INTRODUCCION

De las tecnologías comerciales desarrolladas para la conversión de la energía térmica solar en energía eléctrica y/o térmica, la de Plato Cuadrado (Square Dish™) con concentración puntual de la compañía Power Kinetics Inc., es la que ofrece mejores perspectivas para su aprovechamiento en la industria debido a su modularidad y presenta una buena posibilidad de acoplamiento con las tecnologías actuales de generación de energía eléctrica

A continuación se describe sección por sección una planta solar de pequeña escala 50 kW_e, como el sistema de captación es modular se presentan aplicaciones de generación a mayor escala y sus usos industriales. Se realiza un estudio comparativo con la tecnología termosolar de mayor uso en la actualidad y una evaluación económica.

DESCRIPCION DEL SISTEMA

Un sistema de producción en pequeña escala capaz de producir 50 kW_e, consiste en un *concentrador solar* de foco puntual tipo Square Dish (SD), de 300 m^2 de superficie reflectora formada por un arreglo de 382 espejos de vidrio rectangulares y ligeramente cóncavos para concentrar la luz del sol en el foco, ver fig. 1B. Una computadora guía automáticamente a los espejos para seguir al sol en dos sentidos: primero moviéndose toda la estructura de este a oeste para seguir al sol durante el día, lo que se conoce como un sistema polar de seguimiento, y luego moviendo cada hilera de espejos, como una persiana "veneciana" que los mueve hacia arriba y hacia abajo para seguir al sol estacionalmente.

En el foco del captador, a unos 15 m sobre éste, se encuentra un *receptor solar* (fig. 1C) formado por una tubería en espiral colocada donde se concentra la energía dirigida por los espejos, donde llega a intensificarse hasta en 1000 veces la energía del sol (1000 "soles"). Las temperaturas en la cavidad pueden incrementarse hasta los 1000 °C, pero normalmente es mantenida por computadora entre 350 y 550 °C, dependiendo de la aplicación. El agua a alta presión que se encuentra pasando por una espiral de

tubería en el receptor, se calienta rápidamente y se convierte en vapor de alta presión, la temperatura de salida del vapor se controla variando la velocidad de la bomba de alimentación de agua, a través de un algoritmo que incluye la insolación (disponible a través de los sensores seguidores del sol) y de la temperatura de salida.

El vapor proveniente del receptor es conducido a través de tubería aislada hacia el *módulo de potencia* el cual es operado de forma automatizada por una computadora la cual asegura el funcionamiento correcto del sistema evaluando su comportamiento y administrando su mantenimiento (fig. 1D). Además de realizar el seguimiento al sol, la computadora ajusta el alineamiento correcto del colector y el flujo de agua hacia el receptor, de tal manera que el vapor sale a la temperatura adecuada.

Una vez que el sol generó suficiente vapor, la computadora enciende el motor de vapor, el cual es un motor Diesel tipo Lister adaptado por investigadores de la Universidad Nacional de Australia (ANU) con válvulas especiales. El vapor mueve a los pistones impulsando a través de una flecha a un generador para producir electricidad (fig. 2). El vapor proveniente de un solo colector Square Dish impulsando a un motor ANU de cuatro cilindros genera alrededor de 50 caballos de potencia o cerca de 50 kW_e de electricidad.

Las tuberías que conectan las partes, las cuales son de diámetro pequeño y comienzan a trabajar por la mañana al vacío, el tiempo requerido para la energía para llevar a la tubería del sistema a temperaturas de trabajo es de unos cuantos minutos en un campo pequeño y alrededor de 20 min en un campo con más de 10 concentradores. Los tiempos de respuesta tan reducidos permiten maximizar la entrega de vapor y un mayor aprovechamiento de las horas de insolación.

Este tipo de plantas modulares pueden instalarse de manera distribuida como en Molokai Hawai [1,2] donde se producen 50 kW_e en cada uno de los cinco concentradores, estos sistemas cuentan con una caldera de combustóleo para permitir su uso continuo. Los módulos de concentración también pueden instalarse de manera centralizada, donde los requerimientos de energía son mayores y el costo de una sola planta de mayor potencia es menor a la suma de varias de menor capacidad, además de presentar una mayor eficiencia.

En sistemas centralizados con potencias que varían entre los 10 y 50 MW_e, los cuales involucran de 168 a 624 colectores, presentan las siguientes características. [3]:

+ Los concentradores tipo Square Dish entregan más del 80% de la energía disponible.
+ Menos del 4% de la energía colectada se pierde en la conducción del vapor a través de tuberías.
+ Se pierde entre 2 y 3% de la potencia eléctrica generada en el bombeo de agua de alimentación.
+ La eficiencia de cada colector y sus conexiones de tubería varía entre 62% y 78%, considerando a la eficiencia térmica solar como el calor entregado entre calor radiante incidente en el área del colector.

ANALISIS COMPARATIVO

Comparando el sistema Square Dish™ (SD) de PKI con el sistema termosolar más utilizado en la actualidad que es el de Canal Parabólico (CP) de la compañía Luz (que produce alrededor de 350 MW_e en el estado de California E.U.), las plantas PKI ofrecen ventajas notables comparando plantas de la misma potencia, una con módulos SD ocupa un 30% menos de terreno y requiere solo el 60% del equipo Solar.

Los colectores Square Dish™ (Plato Cuadrado®) realizan un seguimiento al sol en dos direcciones, una horaria y la otra estacional, de tal manera que siempre están orientados directamente al sol manteniendo siempre la misma área de asoleamiento a lo largo de todo el año. En cambio, los colectores tipo canal parabólico sólo se orientan en una dirección y rara vez están orientados directamente al sol, de tal manera que requieren de mayor área de captación para obtener una cantidad dada de energía.

Los SD tienen menores pérdidas debido a que concentran el calor en un área mucho menor (receptor) que en cientos de metros de captador de tubo evacuado con dificultades en el sello metal-vidrio.

El CP requiere de un fluido de trabajo sintético del campo de colectores a la central de potencia, el cual es costoso, requiere de tanques de almacenamiento, un sistema de bombeo independiente y el paso por un intercambiador de calor, mientras que un concentrador SD produce vapor de una manera mucho más económica al eliminar un proceso de transferencia de calor, permite un arranque rápido en las mañanas.

La eficiencia térmica de los SD al producir vapor de alta temperatura 550 °C es del 73%, en comparación el CP al necesita calentar grandes cantidades de aceite para transportar el calor de los tubos receptores al intercambiador donde se produce vapor de vapor de menor temperatura 390 °C su eficiencia térmica solar es del 52%.

Las plantas tipicas de Luz requieren entre 6 y 10% de su producción de electricidad para su fluido de transporte y para las bombas de alimentación [4].

Mientras que el concentrador de Plato Cuadrado de PKI demostró durante tres años de operación en Hawai [1,2] y pruebas en los Laboratorios Sandia en Nuevo México E.U., dependiendo de la presión de operación del sistema y de la insolación, que la carga parásita corresponde al 3.1% para una planta de 40 kWe, con una eficiencia global de conversión de energía térmica a eléctrica del 18%. Se calcula que en una planta de 10 MWe la carga parásita disminuiría al 2% de la producción de electricidad y la eficiencia global de conversión de energía térmica a eléctrica, aumentaría al 30%. [4]

USO EN GRAN ESCALA

Concordamos con la opinión de que no es tecnológicamente posible cambiar súbitamente las plantas termoeléctricas convencionales (gas, carbón y combustóleo) por fuentes alternas de energía [5], sin embargo creemos que éstas pueden y deben aplicarse en las estrategias para moderar las emisiones de los gases provenientes de la combustión de estos energéticos (CO_2, NO_x y SO_x principalmente), una de las estrategias más accesibles es la EXPLOTACION EFICIENTE DE LOS COMBUSTIBLES la cual es la más economica y es muy atractiva ambientalmente.

Una tecnología convencional de generación de potencia que ofrece gran capacidad de interacción con tecnologías termosolares, derivada del desarrollo de turbinas para aeroplanos, es el sistema de Turbina de Gas con Inyección de Vapor (STIG, del inglés Steam-Injected Gas Turbine), donde el combustible fósil es quemado para impulsar una turbina de gas que a su vez impulsa a un generador de electricidad (ver fig. 3). Los gases de salida son canalizados hacia una caldera para producir vapor que no se conduce a una turbina de vapor (como en un ciclo combinado) sino directamente a la cámara de combustión. La inyección de vapor incrementa la salida de energía y la eficiencia reduciendo las emisiones de NO_x. Durante el día la inyección de vapor puede realizarse mediante concentradores tipo Square Dish de PKI. En una turbina de gas de 100 MWe la eficiencia global de conversión del circuito se incrementa de 35% a 45% , se reduce el consumo de combustible en un 25% y la emisión de gases disminuye notablemente, además de alargar su vida útil.

Debido a que los sistemas STIG pueden ser pequeños, son adecuados para la industria así como para plantas productoras de electricidad.

Otro uso a gran escala puede ser la utilización de vapor en turbinas de vapor para impulsar generadores de electricidad y reutilizar el vapor de salida para procesos industriales (fig. 4). Aquí se presenta otra ventaja de los SD sobre los CP ya que producen vapor a mayor temperatura, 550 °C sobre 390 °C, el cual cuando es utilizado en turbinas de vapor convencionales produce más electricidad.

USOS EN LA INDUSTRIA

Mientras siga siendo bajo el precio de los combustibles, el uso de vapor producido mediante energía solar para aplicaciones industriales no es la mejor inversión, sin embargo en áreas con restricciones en las emisiones a la atmósfera durante las horas pico del día la opción solar ofrece una inmediata ventaja en costos.

Por ejemplo, los concentradores SD pueden proveer de vapor solar a turbinas de vapor y utilizar el vapor de salida para procesos industriales y de servicios mientras se produce electricidad.

Debido a que los concentradores SD producen alta temperatura por radiación, sin emisión de gases y sin flama, son muy útiles en procesos cerrados donde el aire, el oxígeno o los gases de combustión pueden interferir con la reacción.

El equipo que mejor recolecta la radiación solar para procesamiento de materiales es un horno solar con foco estacionario, el cual concentra 2000 veces la radiación incidente con una intensidad de 200 W/cm^2.

Esta densidad de energía es suficiente para la fundición de aluminio, el haz concentrado puede enfocarse directamente sobre el metal o sobre el agente de fusión que lo rodea, el control de las emisiones se puede realizar de manera segura permitiendo así un proceso industrial limpio.

La energía solar concentrada también se puede utilizar en en reactores químicos: para la disociación de sustancias peligrosas, o producción de combustibles renovables como Hidrógeno al disociar agua o carbón, al respecto el Dr. David Gregg del Lawrence Livermore Laboratory en California dice que: "un horno solar es la manera más limpia y eficiente de covertir carbón en gas " [3]. El *Syngas* producido (compuesto principalmente por Hidrógeno y Monóxido de Carbono) además de ser combustible es la materia prima para muchos procesos químicos industriales como la síntesis de amoniaco, alcohol metilico, y varios monómeros de plásticos. Tambien puede convertirse en metano e inclusive en gasolina para transporte.

ANALISIS ECONOMICO

Es difícil comparar proyectos que entregan una combinación de calor-electricidad a los que producen sólamente electricidad, ya que la electricidad tiene mayor valor económico que la energía térmica, sin embargo, comparando las diferentes opciones sobre la misma base al transformar todo a unidades de energía térmica útil, el costo nominal por $kW \cdot hr_{th}$ (en dólares) producido en una planta gasoeléctrica con capacidad de cogeneración es de 3.1¢ [6] mientras que de las aplicación más competitiva de los SD de PKI, en un sistema STIG, cuesta 4¢ o sea sólo un 29% más caro, mientras que la opción solar más utilizada que es la de CP de Luz cuesta 26.8¢, casi siete veces mayor a la SD-STIG. En el caso del SD con el motor reciprocante de vapor ANU el costo por $kW \cdot hr_{th}$ es 5.9¢, y finalmente el costo de la opción SD – turbina de vapor es 6.3¢, que sigue siendo es 4.5 y 4.2 respectivamente más cara la opción de Luz por lo que las tecnologías PKI se vuelven las más rentables disponibles en el mercado.

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

La tecnología termosolar de Disco Cuadrado de PKI para producción de calor y electricidad, ha alcanzado un grado de desarrollo y madurez tales que se pueden considerar listas para su comercialización. La implementación de un programa con el fin de reducir emisiones contaminantes en la Ciudad de México utilizando fuentes alternas tanto en la industria privada como en los servicios públicos puede ya ser una realidad.

En el Valle de México existen aproximadamente 4,000 industrias instaladas desde hace 50 años con tecnologías actualmente obsoletas, aunadas a unos 12,000 establecimientos de servicios (balnearios, baños públicos, hospitales etc..) que tienen procesos de combustión e incineración, así como cuatro plantas termoeléctricas que contribuyen significativamente a la emisión de contaminantes.

Cuando se encuentran centrales termoeléctricas en áreas urbanas, como es este caso, la combinación de plantas tipo STIG (preferentemente con gas natural como combustible) y el vapor producido mediante aplicaciones termosolares, se perfila como una solución que a la vez que satisface la demanda energética reduce la polución del aire a niveles aceptables.

Creemos que el mercado ha señalado una oportunidad para el cambio. Nuevas tecnologías solares pueden ser combinadas con los equipos convencionales de producción de energía eléctrica, para cumplir con las necesidades de un mercado que enfatiza sobre alternativas del uso de energías limpias. Para lo cual deben de crearse incentivos que apoyen los desarrollos solares a largo plazo.

REFERENCIAS

[1] BILODEAU, E.A.; BORTON, D.N.; ROGERS, W.E. . y INALL, E.K. Design of the small community program at Molokai, Hawaii *Proceedings IXth ASME Solar Energy Conference* (1987)

[2] ROGERS, W.E.; BORTON, D.N.; BILODEAU, E.A. y INALL, E.K. Design of a solar/oil hybrid plant for the small community solar experiment 2 at Molokai, Hawaii. *Proceedings Xth ASME Solar Energy Conference* (1988)

[3] POWER KINETICS INC. Memorandum of Information *Comunicación personal* (1992)

[4] ROGERS, W.E. System performance for a distributed field of large point-focusing sollectors producing steam. *Proceedings XIth ASME Solar Energy Conference* (1989)

[5] FULKERSON, W.; JUDKINS, R. y SANGHVI, Energy From Fossil Fuels *Sci. Am.* (Sep 1990)

[6] POWER KINETICS INC. Creating a level playing field for the solar industry *Memorias XVI Conf. Asoc. Nac. de Energía Solar,* (Oct 1992)

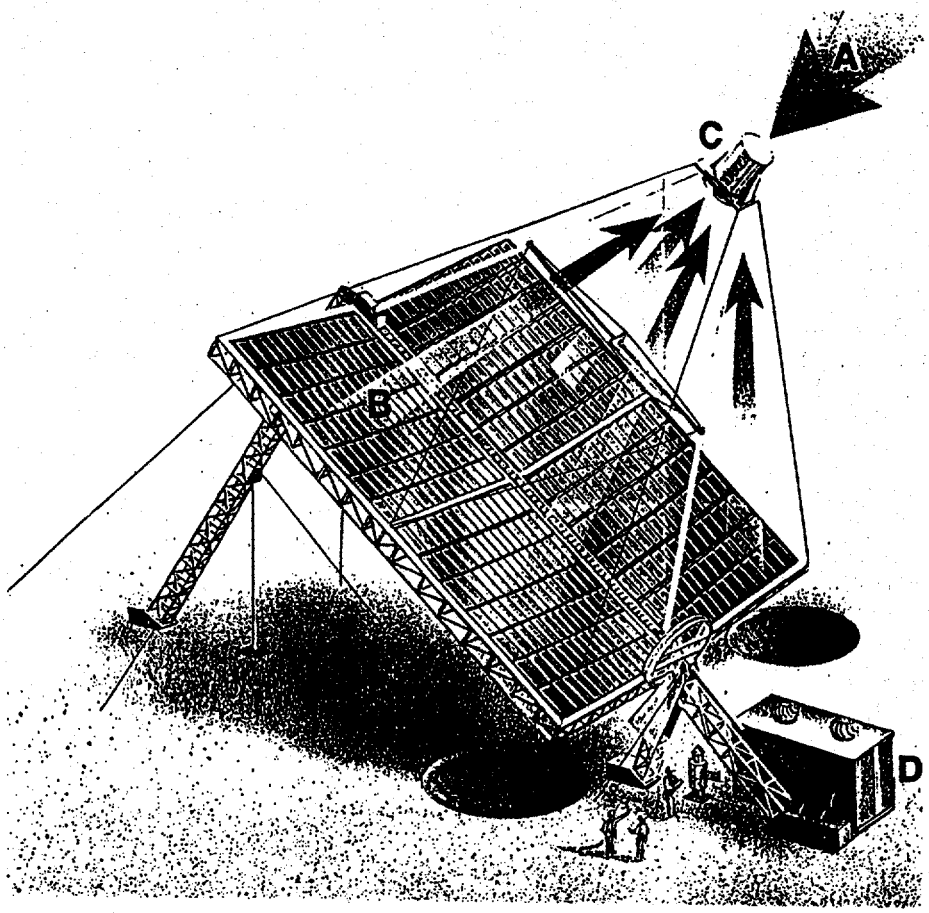


Figura 1. Colector tipo Square Dish de 300 m²

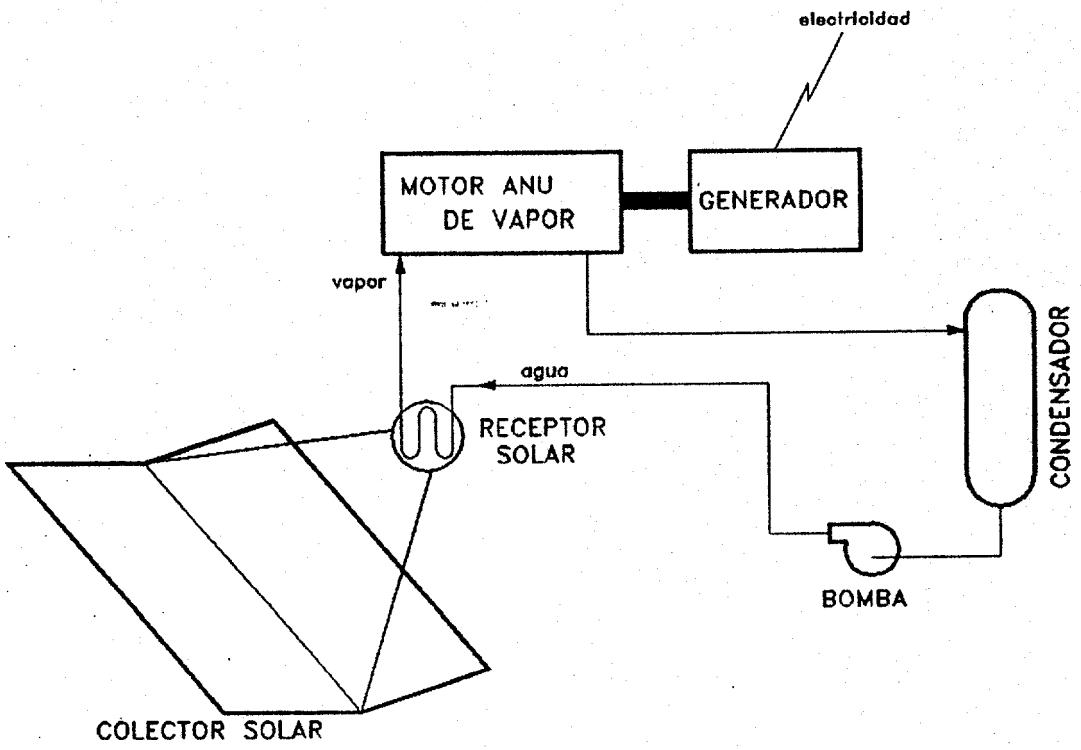


Figura 2. Sistema SD con motor de vapor.

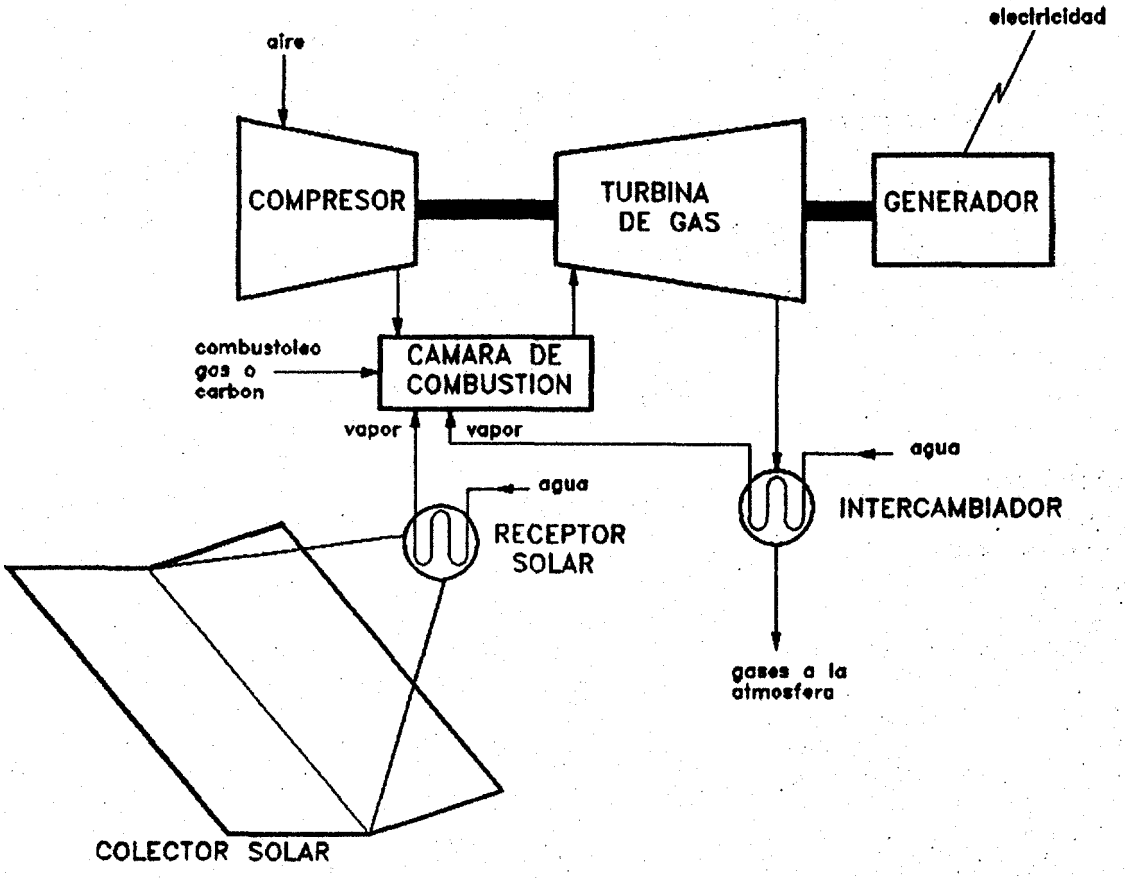


Figura 3. Sistema STIG con concentradores SD.

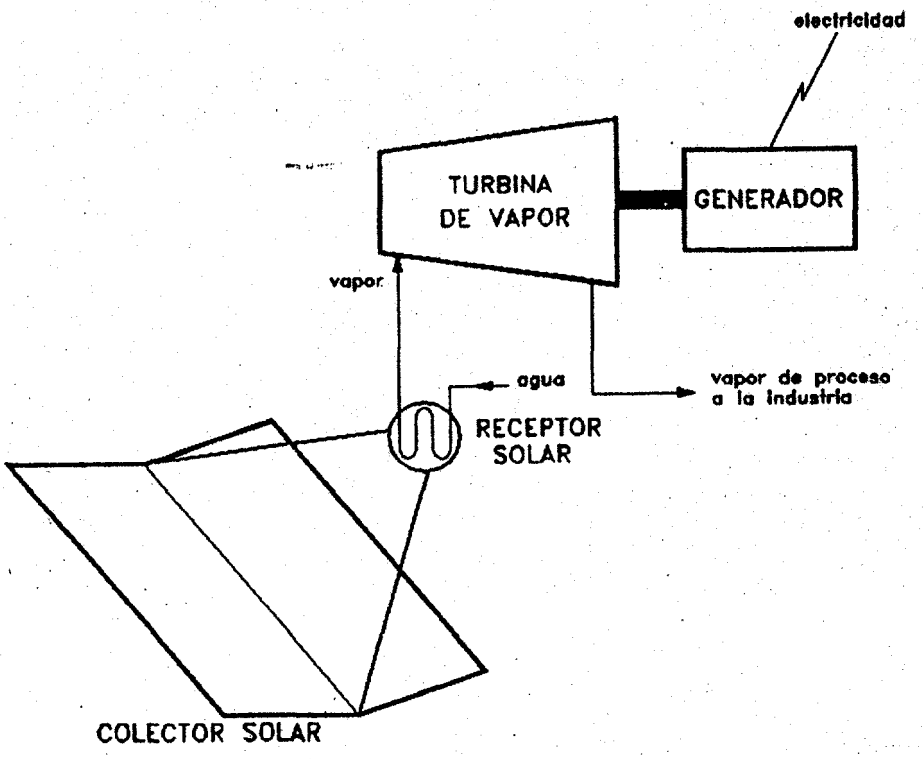


Figura 4. Turbina de vapor con concentradores SD.

MX9800098

ANALISIS DE FLUIDOS REACTIVOS Y EMISIONES CONTAMINANTES.

* RAMON MUÑOZ LEDO, * MARCOS LEY KOO, ** RUBEN VARELA HAM
*INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
** UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

RESUMEN

Se plantea un problema de un flujo reactivo que se lleva a cabo en un ducto de salida de gases exhaustos, para lo cual se reduce a un problema de condiciones iniciales (temperatura, presión y concentración de especies), y dejando en libertad la selección de mecanismos de reacción.

Mediante algunos algoritmos preestablecidos se pueden programar las rutinas de calculo en problemas especificos de cinetica química.

Con las rutinas de calculo planteadas en base al mecanismo seleccionado, las condiciones de temperatura, presión, etc. se obtiene un programa general que contiene las ecuaciones diferenciales para el mecanismo y con su solución se puede predecir con cierto grado de incertidumbre los gases a la salida de un ducto, los gases exahustos llevaran, particulas inquemadas y productos que pueden ser contaminantes ó no, si hacemos variación en las condiciones de trabajo podemos encontrar los valores optimos para trabajar con equipos que producen gases exhaustos, previendo con ello el uso más eficiente de los equipos y la energía con la menor contaminación posible.

INTRODUCCION

El flujo de gases, producto de una combustión, a lo largo del ducto que conecta la camara de combustión con el ambiente es un problema relevante en el analisis de emisiones contaminantes. Esta relevancia se basa en el hecho de que, dependiendo de la presión temperatura y concentraciones, pueden llevarse a cabo reacciones quimicas en el ducto adicionales a las que ocurren en la camara. La solución a este problema involucra varias componentes como lo son las reacciones quimicas posibles, la variación de la temperatura a lo largo del ducto, la longitud del ducto y la velocidad de generación de gases de combustión. Las 3 ultimas componentes pueden pensarse como condiciones iniciales y de frontera para el conjunto de ecuaciones diferenciales cuya solución proporciona la variación de las concentraciones como función del tiempo en un punto del ducto. Para establecer dichas ecuaciones es necesario proponer las posibles reacciones que pueden ocurrir (mecanismo); una vez establecidas las ecuaciones, su solución puede ser obtenida a traves del uso de métodos numéricos como el GEAR(1), EPISODE (2), los cuales pueden ser encontrados en forma de rutinas de computo en paqueteria comercial como el IMSL ó NAG. Sin embargo, para poder hacer uso de esta paqueteria es necesario proporcionar las ecuaciones diferenciales a resolver de la manera como dichas rutinas las requieran, tarea que se vuelve tediosa cuando se tratan de analizar mecanismos complejos (que involucran muchas reacciones) como pudiera ser el caso cuando se usan combustibles residuales;

para los cuales es posible esperar que los productos sean reactantes en posiciones posteriores a lo largo del ducto.

OBJETIVO

El proposito de este trabajo es el de describir un procedimiento (3) que pueda simplificar la tarea de probar diferentes mecanismos haciendo uso de las rutinas comerciales para obtener la variación de las concentraciones como funcion del tiempo y la posición dentro del ducto.

ASPECTOS TECNICOS

Para establecer la ecuación diferencial que describe la evolución temporal de la concentración de un componente químico, conviene tomar en cuenta que, por ejemplo, una reacción quimica con dos reactivos y obteniendo 2 productos,puede escribirse como:

$$mA + nB ____ iC + jD \qquad (I)$$

donde los reactantes A y B, en cantidades m y n, generan los productos C y D en cantidades i y j. Esta reacción esta caracterizada por la llamada constante de equilibrio, la cual se define como: (1).

$$K = (C\hat{}i*D\hat{}j)/(A\hat{}m*B\hat{}n) \qquad (II)$$

el cociente del producto de las concentraciones de "productos" y del productos de las concentraciones de reactantes. Esta constante varia con la temperatura a la que se lleva a cabo la reacción e interviene en el tiempo en el que se alcanzara el equilibrio. Para determinar este tiempo es necesario calcular la velocidad de reacción que, en este ejemplo, sera :

$$-dCA/dt-dCB/dt+dCC/dt+dCD \qquad (III)$$

donde "dC" es la diferencial de concentración, "dt" es la diferencial de tiempo y se señala con el signo si la componente interviene como producto o como reactante.
En el análisis de un flujo de gases, producto de combustión, las reacciones químicas seran tales que las especies reactivas o resultantes pueden estar presentes en varias reacciones como reactantes, por ejemplo :

$$mA + nB ____ iC + jD \qquad (IV)$$
$$mC + nE ____ jD \qquad (V)$$

con lo cual la expresión para la evolución temporal de la concentración de la componente "D" es :

$$dCD/dt = k1CACB + k2CCCE$$

donde k1 es la constante de equilibrio para la reacción IV y k2 es la constante de equilibrio para la reacción V. Lo anterior intenta ilustrar lo complejo que podria volverse el proceso de escribir las expresiones para cada uno de los componentes que intervienen en el mecanismo de reacción cuando se utilice sistemas comerciales para resolver las ecuaciones diferenciales resultantes.

Dada la estructura de las ecuaciones resultantes y los requerimientos del metodo de GEAR en la biblioteca de IMSL, se implemento el sistema GPIMSLI Este sistema construye una matriz con la información relativa a las reacciones probables entre las especies presentes, los coeficientes de las reacciones, las constantes de reacción, la temperatura y la variación de tiempo a la que se quiere determinar la concentración de los gases reactivos.

Dicha matriz es leida por el programa principal a traves de una funcion denominada "LECTOR", y contiene la información en el siguiente orden :
Nombre del archivo de datos.

Nombre del archivo de resultados.

Lectura de datos de control del sistema de ecuaciones difernciales.

Identificador

Temperatura

Tiempo inicial

Tiempo final

Tolerancia

Paso de integracion

Número de iteraciones

Lectura datos de la matriz de control

Número de reacciones (NRT).

Número de especies del mecanismo (NCT).

Lectura de la matriz de control

de 1 a NRT

Número de reacción.

Reactivo 1

Reactivo 2

Producto 1

Producto 2

Tercer cuerpo

Constantes de la ecuación de ARRHENIUS.
termina la lectura por reacción.

Con esta información se genera las subrutinas:

APOYO (datos para solución del sistema)
FCN (Sistema de ecuaciones diferenciales).
DFCN (Jacobiano del sistema de ecuaciones diferenciales).
TASAS (datos de las constantes de equilibrio).

Todos los datos entran y salen del programa en codigo ASCII.

RESULTADOS

Por el momento el sistema GPIMSLI ha sido probado con los mecanismos propuestos por (4, 5, 6 y 7), obteniendose resultados en el mismo orden de magnitud que aquellos que los autores reportan y quienes implementaron las expresiones a resolver, manualmente.

CONCLUSIONES

Se tiene un sistema de computo "GCPIMSLI" (grupo de programas de computo (1) que para mecanismos de reacción que involucran 1 ó 2 reactivos y dan 1 ó 2 productos puede genera el sistema de ecuaciones diferenciales en subrutinas de lenguaje de programación FORTRAN asi como los datos y funciones caracteristicas para la solución del mismo.

Este sistema permite reducir el tiempo de programación (solo necesita una matriz de coeficientes y las constantes de reacción) para generar el codigo de programación interfasable a los metodos (IMSL, GEAR, NAG, etc.), lo cual redunda en mayor cantidad de tiempo para poder probar diferentes temperaturas, tiempos y algunas otras variables.

Este sistema es una herramienta de ayuda para personas que conocen la cinetica química y que no tiene mucho tiempo para estar programando sus mecanismos y verificando su buen funcionamiento, asi como un método que reduce la posibilidad de tener errores de dedo; con lo cual es posible analizar el

comportamiento, a diferentes tiempos y en diferentes puntos, de un flujo de gases de combustión en un ducto.

BIBLIOGRAFIA

1.- Numerical Methods, Software and Analysis.
J. R. Rice
Mc. Graw Hill 1983.

2.- Hindmarsh, A. C.
GEAR: Ordinary Differential Equation System Solver.
Lawrence Libermore/Laboratory University of California
Libermore California / USA.
Report USID 30001
Rev. 3 Computer Documentation.

3.- Sistema GCPIMSLI registrado ante la Dirección General del Derecho de autor, con número de registro: 5039/92
libro : 14
fojas : 197

4.- SLOANE T. M.
Comb. Sci. Techn.
63,287-313(1989)

5.- H. Niki, E. E. Daby, and B. Weinstock
Mechanisms of Smog Reactions Photochemical Smog and Ozone Reactions.
American Chemical Society
Washington, D. C.19-57(1972)

6.- C. H. Muller III K.Schofield M. Steinberg and H.P. Broida
Sulfur Chemistry in Flames
XVII Simposium on Combustion
pages 867-879 (1978)

7.- TESIS MODELO DE MULTICELDAS PARA LA PREDICCION DE OZONO Y SUS PRECURSORES.
Facultad de Ingenieria
Universidad Nacional Autonoma de México
Mexico D. F. Octubre 1992.

MX9800099

POTENCIAL CANCERIGENO DE EMISIONES NOCIVAS EN MOTORES A DIESEL

Alejandro F. Romero López
Departamento de Mecánica, Térmica y Fluidos
Instituto de Ingeniería
Universidad Nacional Autónoma de México
04510 México, D.F.

Dedicado especialmente a Rodolfo Aguilera López, en su lucha contra el cáncer.

1. Resumen

Los efectos cancerígenos de las partículas sólidas de carácter carbonáceo, generadas durante el proceso de combustión de los motores Diesel, han sido preocupación de organismos públicos y privados en los países desarrollados, en especial durante las últimas dos décadas. El trabajo incluye una revisión breve de publicaciones recientes y anteriores, que se encuentran en la literatura técnica.

Las empresas fabricantes de motores han llevado a cabo cambios espectaculares en el diseño interior de los motores a Diesel[1], para disminuir tanto como sea posible, la generación de partículas dentro del motor mismo. El esfuerzo no puede provenir de una sola parte, también las empresas productoras de combustibles en países desarrollados han llevado a cabo esfuerzos sustanciales para mejorar tanto los combustibles como los lubricantes. El objetivo de todas estas medidas es eliminar prácticamente el contenido de azufre en especial en el combustible, puesto que la generación de partículas parece depender linealmente, entre otros factores, del contenido de este elemento nocivo en el Diesel.

Finalmente, se incluye una discusión breve de algunos sistemas de tratamiento posterior de los gases de escape, que parecen ser inevitables para poder alcanzar los estándares rigurosos que para 1994 y años posteriores han sido establecidos por la Agencia de Protección al Medio Ambiente de los USA (Environmental Protection Agency, EPA para abreviar en lo sucesivo). Se analiza también la legislación mexicana, a través de las Normas *Técnicas Ecológicas (NTE), emitidas por la SEDUE, ahora SEDESOL, simplemente para tener una referencia de* comparación con la legislación internacional.

2. Introducción

La EPA, agencia federal de los Estados Unidos ha especificado el uso de combustible Diesel con contenido casi nulo de azufre (%S ≤ 0.05 en peso), para su consumo en todo tipo de autobuses para servicio urbano de pasajeros, en tanto que en el área metropolitana de la ciudad de México (AMCM en lo sucesivo para abreviar), con problemas muy severos de contaminación ambiental, el monopolio paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX), ha especificado que un combustible Diesel "desulfurado", se distribuye en el área, para combatir la contaminación ocasionada por partículas sólidas. El contenido de azufre de dicho combustible es de 1% o más!

La generación de partículas y los procesos de oxidación que se llevan a cabo en la cámara de combustión, permanecen como fenómenos que desafían su descripción formal a pesar de esfuerzos significativos que han llevado a cabo investigadores en diferentes lugares del planeta. La razón de esta falta de conocimiento parece ser que en la mayoría de los enfoques, se parte de la consideración general de analizar los procesos químicos y físicos, tales como la pirólisis, nucleación y aglomeración en la generación de partículas sólidas (hollín). A pesar de que existe un sinnúmero de teorías con respecto a este problema, hay muy pocos resultados experimentales susceptibles de encontrarse en la literatura. Entre otros varios factores, la microestructura de la flama juega un papel físico importante en la generación de partículas. Una inspección cuidadosa y detallada del desarrollo casi instantáneo de la flama dentro de una cámara de combustión Diesel, sólo puede lograrse con arreglos experimentales sumamente costosos, en los que se utilice cámaras fotográficas de alta velocidad (≥ 150 000 exposiciones por segundo (16 mm)) {1}[2]. Detalles de la formación de hollín se revisan más adelante en el cuerpo del trabajo.

La preocupación con respecto al potencial

1.En honor al Dr. Rudolph Diesel, inventor del motor que lleva su nombre, en todo este trabajo se escribirá con mayúscula, aún cuando se refiera específicamente al combustible y no al motor en sí.

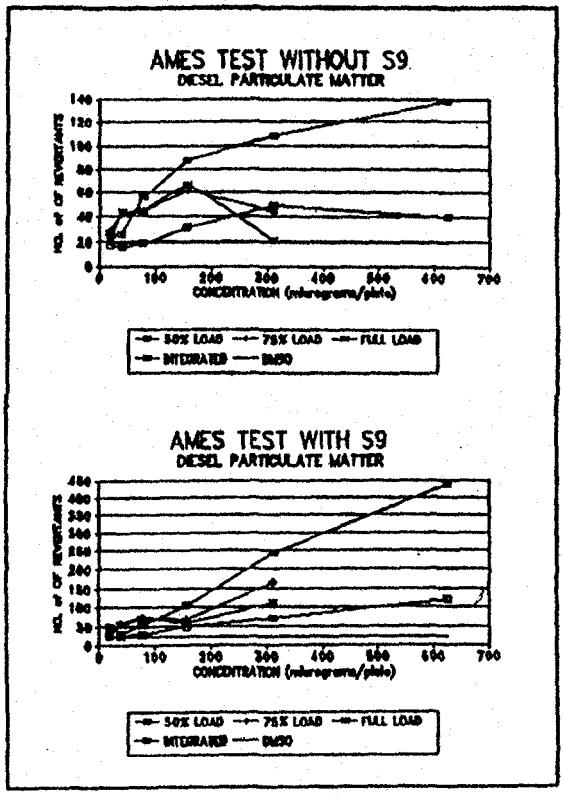


FIG. 1 ***ENSAYOS DE AMES, LLEVADOS A CABO EN PARTICULAS GENERADAS EN UN MOTOR CATERPILLAR DE 100 HP {3}***

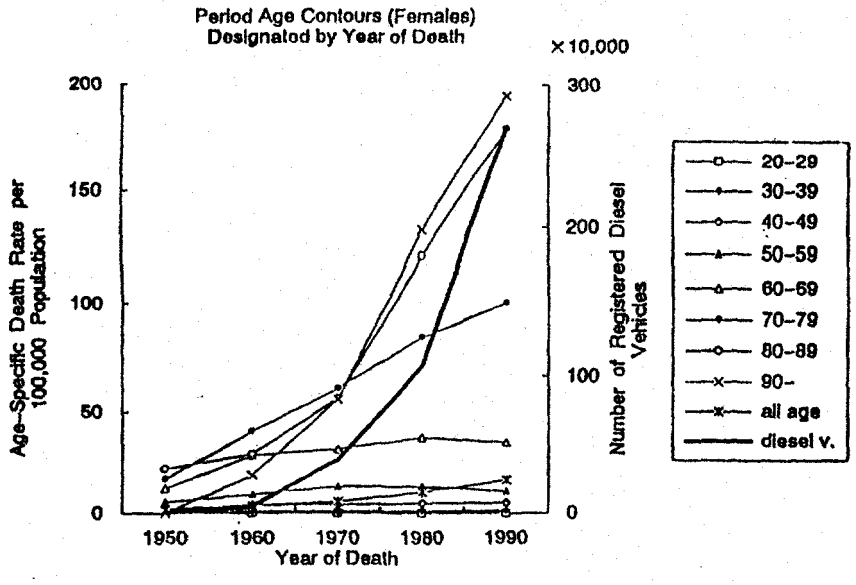


FIG. 2 ***TENDENCIAS SECULARES (1950-1990) DE MORTANDAD FEMENINA DEBIDA A CANCER PULMONAR Y DEL NUMERO DE VEHICULOS A DIESEL REGISTRADOS EN EL AREA METROPOLITANA DE TOKYO (GTA) {4}***

cancerígeno de los gases de escape del motor Diesel, no es nueva en {2}, Lipkea et. al., mencionan referencias fechadas en 1955 con énfasis especial en los efectos negativos en la salud producidos por los gases producto de la combustión en motores Diesel. El aspecto del potencial cancerígeno se analiza con un poco más de detalle en el siguiente subtema.

3. Potencial Cancerígeno

A pesar de que, como ya se mencionó antes, la preocupación con respecto al potencial cancerígeno de los gases de escape de los motores Diesel, lleva varias décadas de existir, no existen muchos estudios experimentales en la literatura. No obstante, en un trabajo reciente, presentado por un grupo de la Universidad de Virginia Occidental (West Virginia University WVU), en una reunión de la Sociedad de Ingenieros Automotores (Society of Automotive Engineers, SAE), llevado a cabo en septiembre de 1992 {3}, se pueden analizar algunos resultados de interés. En este reporte se establece claramente que estudios de inhalación en animales muestran una asociación directa entre la exposición a partículas Diesel y cáncer pulmonar u otros tipos de cáncer. Esta afirmación se basa también en dos publicaciones del Instituto Nacional de Seguridad y Riesgos de Trabajo (National Institute on Occupational Safety and Hazards, NIOSH) de 1987 y 1989. Después de revisar varios estudios epidemiológicos humanos, el NIOSH concluye que los estudios sugieren una asociación entre la exposición a emisiones de motores Diesel y cáncer pulmonar y recomienda que **"los gases de escape de motores Diesel se consideren como un cancerígeno potencial"**, (NIOSH, 1989).

El equipo de WVU utilizó un motor Diesel marca Caterpillar modelo 3304 de 7.0 litros de desplazamiento volumétrico para generar hollín, alimentando los gases de escape a un mini-tunel de dilusión. Las partículas fueron entonces sometidas al ensayo bilógico denominado "Reversión de Ames en una Salmonela Typhimurium Histidine", normalmente usada para determinar los mutantes genéticos ocasionados por el hollín (partículas) de los gases de escape de motores Diesel. Los agentes cancerígenos humanos conocidos, siempre producen positiva la prueba de Ames. La mayor parte de las pruebas mostró resultados positivos, como puede apreciarse en la Figura 1, en especial los ensayos en que el motor se sometió al 50% de su carga nominal.

Un reporte muy interesante fué presentado por Michinori Kabuto et. al., del Instituto Nacional de Estudios Ambientales del Japón en la referencia {4}. El estudio muestra una corrrelación entre mortandad debida a cáncer femenino pulmonar y exposición a gases de escape Diesel en la zona metropolitana de la ciudad de Tokyo (Greater Tokyo Area, GTA en el trabajo original). El reporte presenta un análiis estadístico estandar de las tasas de mortalidad debidas a cancer pulmonar femenino, durante tres periodos diferentes 1969-73, 74-78 y 79-83 para el área metropolitana de Tokyo, correlacionado a la vez con el "crecimiento poblacional" de vehículos a Diesel, o incremento en el número de los mismos, para la misma área. La razón principal de restringir el estudio a la población femenina tuvo como objetivo principal, eliminar la posible confusión entre cáncer pulmonar debido al efecto de fumar, ya que en el Japón, casi no existe incidencia del hábito de fumar en la población femenina. La Figura 2 muestra algunos resultados finales de esta investigación. Aún cuando no existe un estudio similar para el Area Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM), o alguna otra área similar de importancia en el país, tal vez como Monterrey o Guadalajara, es de esperarse que una situación similar prevalezca en las grandes áreas urbanas del país.

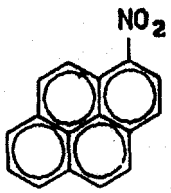
La formación de agentes mutantes en los gases Diesel de escape se describe en forma brillante en el excelente trabajo de Barale, et al., de la Universidad de Pisa en Italia {5}. La principal hipótesis de su trabajo es demostrar que la combustión incompleta dentro de la cámara de combustión del motor Diesel, produce una mezcla muy compleja de hidrocarburos policíclicos aromáticos (HPA), entre ellos nitro- y dinitro-pireno (Figura 3), se identifican cuatro etapas. La primera produce alkenos, después etileno seguido de la formación de varios compuestos. Finalmente, los HPA se forman mediante un mecanismo de radical libre, que conduce a vinilacetileno, bencina y otras moléculas de forma anular.

Algunos otros parámetros influyen considerablemente en la actividad mutagénica, tales como la carga del motor, el diseño de la cámara de combustión, calidad del combustible y lubricantes, etc. Estos efectos se analizarán de nuevo, al revisar los aspectos de la generación de partículas y técnicas de control.

4. Generación de Materia Particulada

Las emisiones de partículas sólidas en los gases de escape de motores Diesel, tienen un espectro amplio de variación en el tamaño, desde partículas muy pequeñas de 0.01 μm hasta cadenas largas y aglomerados en el orden de 10 hasta 30 μm, aun cuando en todos los estudios y en las caracterizaciones de la Agencia de Protección al medio Ambiento (EPA) de los EUA, cuando se refiere a las partículas, se considera tamaño estandar el de

1-Nitropyrene
$C_{16}H_9NO_2$



1,8-Dinitropyrene
$C_{16}H_8N_2O_4$

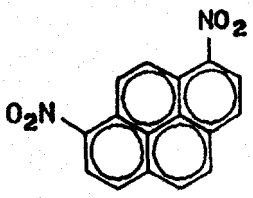


FIG. 3 ***FORMULA ESTRUCTURAL DE 1-NITRO-PIRENO Y 1,8 DINITRO-PIRENO {5}***

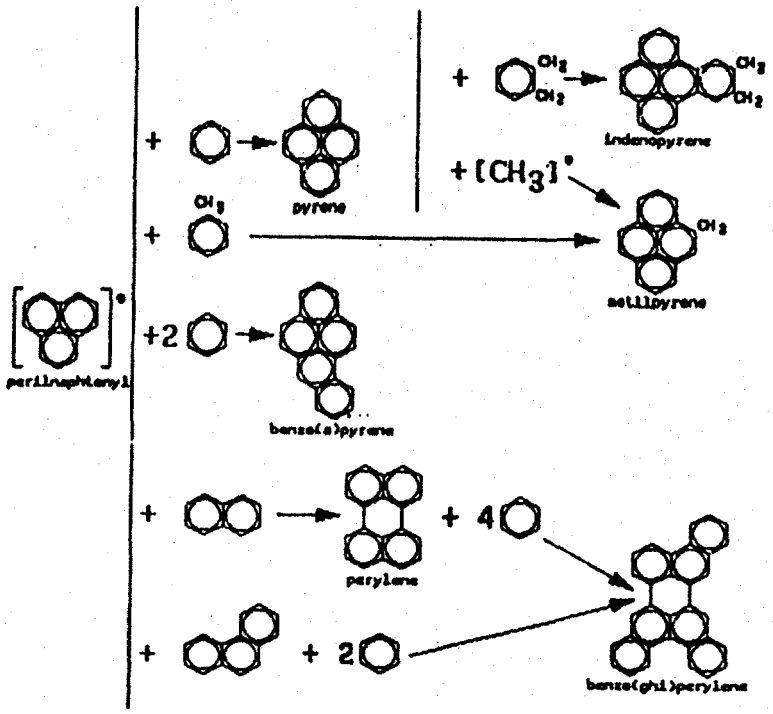


FIG. 4 ***FORMACION DE HIDROCARBUROS POLICICLICOS AROMATICOS {5}***

10 μm (PM_{10}, en las publicaciones relacionadas). Los tipos de partículas varían en un rango muy amplio de naturaleza química y fase física, empezando de todo líquido a todo sólido, con mezclas que incluyen carbono, hdrocarburos (líquidos), sulfatos de metal y agua.

Es un hecho generalmente aceptado que el humo (partículas a base de carbono), resulta de la combustión incompleta del Diesel. A partir de consideraciones termodinámicas de equilibrio, el carbono libre no puede existir a las temperaturas y presiones típicas de combustión {6}. La combustión completa es casi imposible de alcanzar en motores reales, por lo que cantidades muy variables de productos de combustión parcial se emiten a la atmósfera. La mayor parte de los mismos se consideran contaminantes y se encuentran bajo reglamentos muy estrictos, por ejemplo en los Estados Unidos de Norteamérica, bajo los estándares de la EPA.

Los factores básicos que afectan la formación de humo en los motores de inyección directa, son el tiempo de inyección, movimiento del aire y calidad de los inyectores. Al incrementar la tasa de ignición para un tiempo dado de inyección, reduce usualmente la producción de humo, puesto que una porción considerable del combustible permanece en la cámara de combustión, durante más tiempo antes de que se inicie la combustión. Para un motor dado, un incremento en los torbellinos de la cámara reducirá el humo en el escape. La calidad del rocío que puedan lograr los inyectores, combinada con un diseño óptimo en la geometría de la cámara de combustión, son tal vez, los factores más críticos que deben considerarse en lo que se refiere al diseño de los motores Diesel.

Base carbono.- La fuente del carbono en las partículas de los gases de escape es, por supuesto, la molécula misma. Estas son tendencias generales, por ejemplo, se incrementa el humo cuando el número de carbono se incrementa, pero también hay muchas excepciones. Empezando con una molécula de alrededor de 10-20 átomos de carbono y de 20-40 átomos de hidrógeno. Un esquema simple de de-hidrogenación se muestra en la Figura 5 anterior. Otro esquema simplificado fué desarrollado por Broome y Kahn {7}, mostrando las etapas posibles que conducen a la formación de una partícula a partir de una molécula de combustible (Figura 6).

5. Niveles de emisión

El futuro de los motores Diesel en autobuses urbanos, especialmente en los países industrializados, se encuentra bajo la amenaza de leyes más estrictas en lo que se refiere a estandares de emisiones en los gases de escape. Las modificaciones en el diseño de los motores pueden no ser suficientes para alcanzar por si mismas los requisitos establecidos. Consecuentemente, el tratamiento posterior de los gases de escape y combustibles alternativos, se encuentran bajo fuertes programas de investigación actualmente. En lo que se refiere al mercado de los USA, uno de los más vigorosos del mundo, los autobuses para servicio urbano están sometidos a las regulaciones más estrictas en todo el mundo. El estandar de 0.1 g/bhp-h originalmente programado para 1991, fue pospuesto por dos años, cuando los fabricantes de motores, demostraron que dicho estandar sólo podría lograrse mediante tecnología no probada y muy costosa. En intercambio por el retraso, requerimientos aún más estrictos entraron en vigor para 1994 y años posteriores. Tanto los estándares de los USA como los Europeos obligan a una reducción drástica del contenido de azufre a menos del 0.05% en peso para todos los vehículos en circulación, a más tardar para 1994. En tanto que en México, sólo se ha emitido una legislación muy débil, basada en mediciones de opacidad {8,9}, sin ninguna indicación con respecto a las partículas mismas u otros contaminantes producidos por los motores Diesel.

Internacionalmente, los niveles de emisión para flotillas de autobuses urbanos son muy severos y por supuesto, son aún más estrictos en los U.S.A. Como resultado de esta política especialmente adecuada para la salud de la sociedad, tanto los fabricantes de motores como las compañías petroleras han puesto un esfuerzo sustancial en investigación y desarrollo para mejorar la calidad de los motores Diesel, así como prácticamente eliminar el contenido de azufre en combustibles y lubricantes {10}. Todos estos esfuerzos junto con la psoibilidad de utilizar dispositivos de tratamiento posterior de los gases de escape, para usarse a mediados de los 1990s, dará probablemente mas vida al motor Diesel de servicio pesado, que por otra parte, en México mueve el 90% de la carga que se transporta en el país. La tabla siguiente es una recopilación de la legislación internacional al respecto {10}.

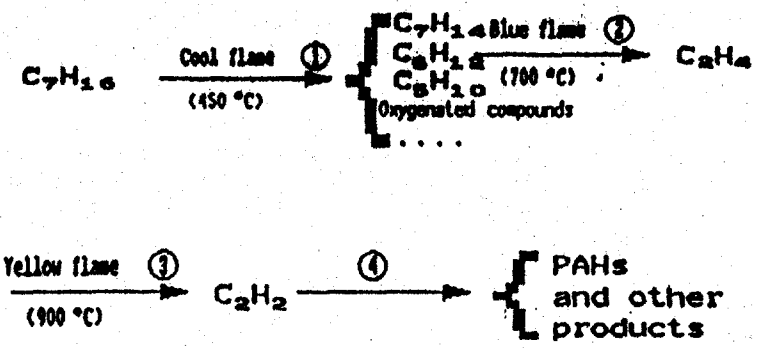


FIG. 5 ***DE-HIDROGENACION PROGRESIVA DE UN HIDROCARBURO TIPICO: n-HEPTANO {5}***

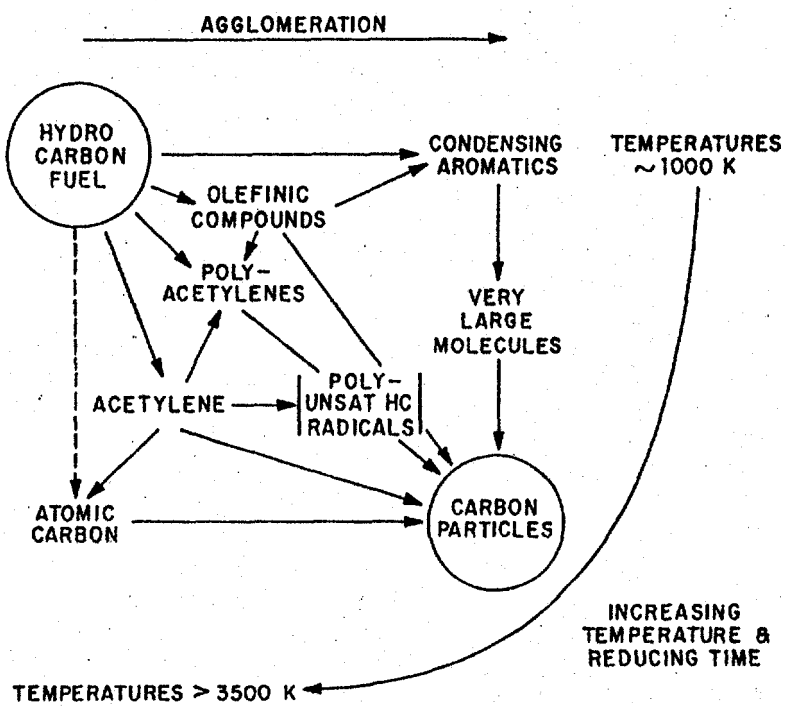


FIG. 6 ***ETAPAS EN LA FORMACION DE UNA PARTICULA CARBONACEA A PARTIR DE UNA MOLECULA DE COMBUSTIBLE {7}***

TABLA 1. LEGISLATION INTERNACIONAL DE EMISIONES PARA FLOTILLAS DE AUTOBUSES URBANOS.

U.S. (g/bhp-h)

Modelo año	NO_x	HC	CO	Particulas
1991	5.0	1.3	15.5	0.25
1993	5.0	1.3	15.5	0.10
1994	5.0	1.3	15.5	0.05
1998	4.0	1.3	15.5	0.05
Comunidad económica europea (EC) en terminos equivalentes a estándares de los U.S.A.				
Nuevos 1992, Existentes 1993	6.0	1.4	2.8	0.36
Nuevos 1995, todos 1996	5.2	1.4	2.5	0.14
Propuestos en Japón (g/kW-h)				
1994	6.0	---	---	0.70
1995	4.5	---	---	0.25
México, (números de opacidad solamente)				
Nuevos (vehículos en planta) = 50 unidades Hartridge				
Usados o en trafico = 76.4 unidades Hartridge				

6. Técnicas de Control

Partiendo del hecho que la formación y oxidación de partículas en los cilindros de los motores Diesel, son procesos cuya naturaleza no es del todo dominada o comprendida por la tecnología actual, las técnicas de control se basan fuertemente en empiricismo y soluciones prácticas. Como se estableció anteriormente en este trabajo, la generación de partículas, se lleva a cabo en forma significativa, durante el mezclado, evaporación y combustión del combustible líquido. La materia particulada que abandona el motor es el resultado integral de los procesos de formación y oxidación. La formación relativa y las tasas de oxidación se llevan a cabo bajo la influencia de muchos parámetros, incluyendo la presión de inyección, geometría de los inyectores, turbulencia y torbellinos en los cilindros, temperatura, presión, etc. Adicionalmente a estos parámetros físicos, deben adicionarse los efectos de carga del motor y características de combustibles y lubricantes. 18 referencias relacionadas con el tema se citan en el trabajo de Pipho et al. {11}.

Como ya se mencionó anteriormente en el cuerpo de este trabajo, la combustión incompleta es causante principal de la formación de HPA. En un trabajo más reciente de Andrews y colaboradores {12}, se hace de nuevo referencia a las fuentes posibles de formación de HPAs, principalmente combustible parcialmente quemado y aceite lubricante.

Teniendo el conocimiento, por lo menos empírico, de algunas de las causa que contribuyen a la formación de partículas, es posible llevar a cabo medidas que por lo menos reduzcan considerablemente la emisión de partículas sólidas. Algunas de las tecnologías aplicables actualmente se describen brevemente a continuación, sin embargo cabe hacer notar, que debido al hecho de que la mayor parte de ellas se encuentran aún en proceso de desarrollo, principalmente debido a que se intenta alcanzar los estándares federales de emisiones para 1994 y años posteriores, no puede considerarse exhaustiva, la lista de acciones que se presenta a continuación, e.g., puede haber medidas adicionales que en el momento de escribir el presente trabajo escapan a la memoria del autor:

- Abatir el contenido de azufre a niveles de traza (<0.05% en peso), puesto que el azufre parece influir linealmente en la formación de partículas
- Mejoramiento de aceites lubricantes

y prácticamente eliminar el contenido de azufre, puesto que algunos de los HPAs y la fracción orgánica solvente (FOS), están relacionados con los lubricantes {13}

- Mejoramiento de los parámetros internos del motor Diesel (cámara de combustión, presión de inyección, geometría, etc.) {14}

- Tratamiento posterior de los gases de escape, como el filtrado mecánico de partículas Diesel. Esto puede llevarse a cabo mediante filtros de cerámica o de fibra, con cubierta catalizadora o sin ella

- Utilizar combustible Diesel sin azufre, puede permitir el uso de baños catalíticos en los subestratos, en forma similar a las aplicaciones ya probadas en motores Otto {15}

- La regeneración de filtros mecánicos, es un medio efectivo de limitar la emisión de partículas, a pesar de que es un problema no del todo resuelto en la tecnoiogía actual de control de emisiones

7. Conclusiones

Se ha llevado a cabo una revisión breve de la literatura técnica relacionada con la generación de partículas sólidas emitidas por lo motores Diesel en sus gases de escape, lo que permite llegar a algunas conclusiones de utilidad para prevenir la contaminación ambiental:

- La emisión a la atmósfera de partículas Diesel, fundamentalmente ocasionada por combustión incompleta y otros parámetros, con el potencial cancerígeno asociado a su composición física y química, ha sido objeto de estudio y preocupación durante varias décadas de diversos grupos de investigación.

- En los Estados Unidos de Norteamérica, tanto la EPA como el NIOSH, han aceptado implícitamente que este tipo de emisiones representa un riesgo cancerígeno ocupacional, especialmente para personas que trabajan en atmósferas sobrecargadas de partículas Diesel.

- Las tendencias tecnológicas parecen apuntar a la dirección adecuada para alcanzar los estándares federales establecidos por la EPA, para 1994 y años posteriores.

- Actualmente se llevan a cabo intensos programas de investigación en los países desarrollados, en entidades de diversa índole, tales como fabricantes de motores, empresas productoras de combustibles y lubricantes, instituciones de investigación e incluso organismos estatales.

- Se debe dar atención especial a las áreas metropolitanas de países en vías de desarrollo, donde se requiere un esfuerzo adicional muy grande en inversiones tanto de capital como de recursos humanos que se dediquen exclusivamente a atacar el problema de la contaminación ambiental.

- Las soluciones que se puedan emprender serán muy costosas desde el punto de vista monetario, la sociedad debe estar consciente de ello y estar preparada para afrontar las fuertes erogaciones que será necesario efectuar para limpiar el medio ambiente.

- Es increíble que no exista legislación en México para limitar la emisión de agentes cancerígenos y mucho menos medios para hacer que se cumplan las normas débiles {8,9} en vigor. Por tanto debe promoverse la promulgación de leyes más estrictas, sobre todo si el tratado de libre comercio de Norteamérica (NAFTA), debe suscribirse en breve.

- Si las normas federales de emisión de los EUA (EPA), no pueden adoptarse de inmediato para México, un esquema de incrementos graduales sería susceptible de aplicarse, siempre que exista voluntad política para ello.

8. Reconocimientos

El autor agradece profundamente a la Dirección del Departamento de Investigación de Emisiones (Department of Emissions Research, DER), del Southwest Research Institute, por su apoyo en programas de investigación inovativos, que permitieron una estancia de investigación del autor en las instalaciones del DER. La estancia también fué posible gracias a una licencia sabática de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y apoyo parcial del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT).

9. Referencias

{1} Kamimoto, T., and Yagita, M., "Particulate Matter Formation and Flame Structure in Diesel Engines", SAE Paper 890436, Detroit, MI 1989

{2} Lipkea, W.H., Johnson, J.H., and Vuk, C.T., "The Physical and Chemical Character of Diesel Particulate Emissions- Measurement Techniques and Fundamental Considerations", SAE Special Publication 430, 1978

{3} Nussear, D.L., Gautam, M., Hong-Guang, G., Clark, N., and Wallace, W.E. "Respirable Particulate Genotoxicant Distribution in Diesel Exhaust and Mine Atmospheres", SAE Paper 921752

{4} Kabuto Michinori, Imai Hideki, Matsumoto Yukio, and Murakami Masataka, "Associations Between Road Side Diesel Exhaust Pollutions and Female Lung Cancer Mortality in the Greater Tokio Area (GTA)", Fourth Annual Meeting of the International Society for Environmental Epidemiology (ISEE) and the International Society of Exposure Analysis, Cuernavaca, Mor., Mexico, August, 1992.

{5} Barale, R., Bulleri, M., Cornetti, G., Loprieno, N., and Wachter, W.F., "Preliminary Investigaction on Genotoxic Potential of Diesel Exhaust", SAE Paper 920397, February, 1992.

{6} Gordon S., and McBride, B.J., "Computer Program for Calculation of Complex Chemical Equilibrium", NASA SP-273, Washington, D.C., calculations made by the authors of Ref. {2}

{7} Broome, D., and Kahn, I., "The Mechanism of Soot Release from Combustion of Hydrocarbon Fuels", from Air Pollution in Transport Engines, p. 185, Institution of Mech. Eng. London, 1971

{8} Anonymous, NTE-CCAT 010-88 Technical Ecological Norm, Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), published in the "Diario Oficial de la Federación" (oficial Government newspaper) "Maximum opacity level for new or in plant Diesel engines" December 14,1988

{9} Ibid., NTE-CCAT 011-88, "Maximum opacity level for On-Road Diesel Vehicles", December 14, 1988

{10} Anonymous, Lubrizol NewsLine, Vol. 10, No. 1, January, 1992

{11} Pipho, M.J., Kittelson, D.B., Luo, L., and Zarling, D.D., "Injection Timing and Bowl Configuration Effects on In-Cylinder Particle Mass", SAE Paper 921646

{12} Andrews, G.E., Abdelhalim, S., Abbass, M.K., Asadi-Aghdam, H.R., Williams, P.T., and Bartle, K.D., "The Role of Exhaust Pipe and Incylinder Deposits on Diesel Particulate Composition", SAE Paper 921648

{13} Fetterman, G.P., "Crankcase Oil", Lecture at the Blue Ribbon Panel of the 1992 SAE Off-Highway & Powerplant Congress & Exposition, Spet. 16, 1992, Milwaukee, WI

{14} Khair, M.K., "Progress in Diesel Engine Emissions Control", ASME Paper 92-ICE-14

{15} Khair, M.K., and Bykowski, B.B, "Design and Development of Catalytic Converters for Diesels", SAE Paper 921677

MX9800100

COMBUSTIBLES EMULSIONADOS.
SU UTILIZACION EN FUENTES ESTACIONARIAS.

Gilberto Campos Morales
Moises Magdaleno Molina
Victor M. Vargas Y.
A. Gavira D.

I M P

SUBDIRECCION GENERAL DE TECNOLOGIA DE TRANSFORMACION INDUSTRIAL

RESUMEN

Se exponen aspectos básicos de los combustibles de hidrocarburos pesados (HC), los principios, preparación y particularidades de la combustión con emulsiones, que actualmente representan una alternativa por si solos o en combinación con otras tecnologías para utilizar hidrocarburos pesados, obteniéndose ventajas en la reducción de emisiones de contaminantes de partículas y **NOx**, lo cual permite continuar operando dentro de los límites que establecen las normas técnicas ecológicas.

INTRODUCCION

Los combustibles son actualmente un campo muy importante de investigación y desarrollo, el cambio hacia la utilización de combustibles más limpios y con procedimientos de quemado más eficientes es obligado desde los flancos normativos, para la protección ambiental y el ahorro y uso eficiente de la energía, el primero es apoyado por leyes, normas y reglamentos cada vez más estrictos y el segundo por la presión de obtener productos con mayor valor agregado elaborados con energía de combustibles, procedimientos y esquemas aplicados en forma más racional.

La reformulación de combustibles es una de las actividades que se desarrolla en forma muy intensa en gasolinas y diesel para el consumo automotriz, para contribuir a tener vehículos con baja emisión de contaminantes.

En combustibles industriales, en forma semejante, se llevan a cabo cambios muy importantes para continuar operando, dentro de las normas establecidas y con el menor costo posible.

Los estudios de combustibles industriales, han llevado a las autoridades y a la industria has

ta el grado de reducir su utilización y en algunos casos hasta la sustitución parcial y total de combustibles pesados y residuales.

Para los sistemas de combustión de flama abierta se han logrado adelantos, en quemadores y accesorios "post flama", para aprovechar el calor y tratar las emisiones de combustión. Las mejoras en los procesos de combustión, se han logrado desarrollando y probando alternativas, algunos de ellos ya en aplicación industrial. Las emulsiones de combustibles han sido tema de investigación y actualmente se utilizan en plantas generadoras, de servicio en la industria y comerciales, para aprovechar los recursos energéticos abundantes y disponibles en ciertas regiones.

Consumo de Energía

	Consumo 1988 (mtoe)*	Relación de Incremento 1979-89
Carbón	2428.0	2.4
Petróleo	3038.5	0.2
Gas Natural	1631.0	2.3
Nuclear	438.8	9.1
Hidroeléctrica	537.2	2.6

* Miles de toneladas de petróleo equivalente.
B.P Statistical Review & World Energy 1989

El uso de emulsiones de combustibles es una de las alternativas más ecónomicas en la industria, para tratar de continuar operando, con combustibles pesados y residuales, dentro de normas que limitan las emisiones de partículas y NOx principalmente y con mayor eficiencia operativa.

El presente artículo dedica atención en aspectos relevantes, de las emulsiones de combustibles, para calderas y calentadores industriales.

DESTILADOS Y RESIDUALES

Actualmente los estudios de combustibles se desarrollan en forma contínua, por los cambios que tienen lugar en la producción misma, en la carga de crudos a los procesos de refinación y en la formulación de los componentes del combustible.

Los hidrocarburos pesados son combustibles que por su alto poder calorífico, resultan ser muy conveniente para la industria, sin embargo, por su alta viscosidad, para su manejo es necesario la utilización de instalaciones adicionales a los sistemas de combustión estacionarios, para suministro de calor, con el propósito de mantenerlo fluído y en consistencia adecuada para su atomización en el quemador, además del uso de aditivos, deshollinadores, remoción de incrustaciones, sistema de tratamiento de emisiones y lavado de gases. La presencia de heteroátomos y compuestos inorgánicos en su constitución, hacen que este recurso sea igualmente menospreciado en el mercado de combustibles.

El combustible pesado esta clasificado ampliamente en dos tipos más importantes, destilado y residual. Los aceites destilados son utilizados principalmente en aplicaciones domésticas y en aplicaciones comerciales pequeñas, en la cual es requerido el quemado fácil del combustible.

Los destilados son más volátiles y menos viscosos que los aceites residuales al mismo tiempo que más limpios, teniendo menores contenidos de cenizas, nitrógeno, azufre y metales.

Los aceites residuales, por otro lado, son utilizados principalmente en aplicaciones de servicio, a escala industrial y a

escala comercial. En la cual el equipo sofisticado puede ser utilizado, debido a que son producidos de los residuos de fracciones ligeras (gasolina, querosina y aceites destilados), que han sido removidos del crudo en los procesos de refinación, se han acumulado cantidades significativas de asfaltenos, nitrógeno, azufre y substancias inorgánicas.

COMBUSTION.

La combustión consiste en reacciones químicas de oxidación de hidrocarburos, con liberación de calor y producción de luminosidad, en estas reacciones se conservan los átomos, pero las especies químicas son transformados a sus correspondientes productos de oxidación.
La reacción básica de combustión es:

Hidrocarburo + Oxigeno—— CO_2+H_2O
combustible

En los procesos de combustión estacionarios, es permisible considerar que estos procesos, transcurren a presión constante y de aquí que termodinámicamente la combustión se define por la Primera Ley, la cual en este caso se expresa en términos de entalpías:

$$HHV-muHHV-ni\,1040N-[\Sigma\, npCp(Tt-To)]=Q$$

HHV.- Calor total.
muHHV.- Pérdidas por combustible
ni1040N.- Pérdidas por húmedad.
Σ npCp(Tt-To).- Pérdidas en chimenea.
Q.- Calor disponible.

En este tipo de procesos de combustión, se tienen pérdidas. De lo anterior, se observa que un combustible limpio produce únicamente CO_2 y H_2O, sin embargo, el oxígeno y el nitrógeno del aire de combustión, bajo condiciones de alta temperatura dan lugar a la formación de NOx y la inadecuada relación de aire a combustible o el mezclado deficiente de los mismos, produce contaminantes de CO e HC. El combustible de hidrocarburos pesados, incrementa la formación de contaminantes, por su composición química, sus propiedades de formación de carbón, viscosidad y temperaturas de inflamación e ignición.

EMISIONES

Las emisiones de la combustión de hidrocarburos pesados, son dependientes del grado y la composición de éstos combustibles, el tipo y tamaño de la caldera, las prácticas de quemado, carga utilizada y el nivel de mantenimiento del equipo, se hace notar que los factores de emisión, para las calderas industriales y comerciales están divididos para categorías de aceites destilados y residuales, debido a que en la combustión cada uno produce diferentes emisiones de partículas de: **CO, SOx, NOx e HC.**

Partículas. La emisión de partículas es más dependiente del grado de quemado de los hidrocarburos pesados, los destilados producen significativamente menor formación de partículas, que los aceites residuales.
Entre los aceites residuales, los más ligeros, producen menos partículas, que los más pesados.

TECNOLOGIAS NUEVAS

Para resolver problemas inherentes a la utilización de hidrocarburos como combustibles en la industria, paralelamente al desarrollo de procesos y procedimientos para mejorarlos, se tienen tecnologías avanzadas, en el con

trol de emisiones y para mayor eficiencia de combustión.

En el cuadro siguiente incluyen tecnologías que estan en aplicación y algunas de ellas todavía en desarrollo.

Avance	Tecnología
Mejora del combustible	*Reducción de azufre
Cambio de combustible	* A más limpios
Control de combustión	* Recuperación de calor. * Flujo de aire
Método de combustión	* Aire de combustión * Carga * Precalentamiento de aire * Quemadores de bajo NOx * Combustión de 2 etapas * Estequiometría * Recirculación * Inyección de H_2O * Denitración
Tratamiento de emisiones	* Precipitados * Filtros * Lavadores * Centrífugas * Fuerzas de inercia * Gravedad * Desulfuración * Denitración * Tratamiento total
Otros	* Reubicación * Suministro central * Chimeneas más altas

CONTROL DE COMBUSTION.

Para el control de la combustión de combustibles pesados, se han identificado una serie de características que son determinantes en el comportamiento de los combustibles, algunas simples propiedades físicas de medición, otras que son motivo de investigación actualmente, asimismo, los procedimientos de suministro de combustible a la cámara de combustión y el tratamiento de emisiones "post flama", que conforman tecnologías, algunas en aplicación, otras en desarrollo todavía. Como ejemplo se describe el significado de las siguientes:

Contenido de metales.- Principalmente niquel, vanadio, sodio, etc., que se acumulan en los combustibles pesados debido a los procesos de refinación.

Contenido de azufre y nitrógeno. Son elementos que estan unidos químicamente a los hidrocarburos, son acumulados en los HC en procesos de refinación y contribuyen significativamente con las emisiones contaminantes de **SOx**, **NOx** y **particulas.**

Viscosidad.- El efecto de la temperatura en la viscosidad de los combustibles pesados, se puede apreciar que el efecto es ligero a bajas viscosidades, existen limitaciones sobre la aplicación de temperaturas, debido a la formación de carbón en las tuberías esto último es influenciado por el contenido de asfaltenos en el aceite y por el oxigeno disuelto.

Punto de inflamación e ighición. El punto de "flash" es la temperatura mínima, a la cual suficiente vapor es generado, para provocar una inflamación en la

superficie, el punto de ignición es la temperatura mínima, en la cual el aceite genera suficiente vapor, para quemarse continuamente.

Carbón residual Conradson.- Es determinado cuando el aceite es calentado, en un ambiente inerte en condiciones "estandard", el porcentaje de carbón residual es llamado **Carbón Residual Conradson** y es similar al análisis de Carbón Fijo, en carbón combustible.

Asfaltenos.- Los asfaltenos contenidos en el combustible pesado, son la parte insoluble en hidrocarburos parafínicos ligeros tales como heptano pero son solubles en benceno, son compuestos aromáticos de varias especies, entre los que es posible encontrar del tipo pirrólico, tiofénico y furánico, algunos de los asfaltenos intervienen en la formación de **cenosferas** y en la producción de **hollín** en los equipos de combustión.

Formación de cenosferas.- La emisión de humo por la combustión de combustibles pesados, es frecuentemente causado por la formación de **cenosferas**, que son esferas huecas de 50-100 μm de residuos carbonosos; las cenosferas se forman por la pirólisis en fases líquida de las gotas de combustible y se distinguen del hollín, en que éste es formado por la fase gaseosa, las gotas más grandes son más susceptibles a formar cenosferas que las gotas pequeñas, por ésto la atomización fina es una variable crítica en la reducción de emisiones de partículas causadas por cenosferas.

De las investigaciones realizadas, se ha definido, que no todos los asfaltenos son los mismos, se continuan los estudios e investigaciones, para delucidar cuales son los que intervienen en la formación de cenosferas, la emisión de partículas es correlacionada con la determinación del porcentaje de **Carbón Conradson**, algunos aditivos como el **metilciclopentadienil manganeso tricarbonilo** (MMT que contiene 24.7 de Mn) puede ayudar en la oxidación de cenosferas, por catálisis heterogenea oxidativa de carbón sólido, se tiene una correlación semi - empírica para evaluar la reducción de hollín por manganeso.

$$\Delta C = \frac{K_1 (Mn)}{K_2 (Mn) + K_3}$$

ΔC.- Reducción de carbón debido a el aditivo Mn.
(Mn).- Concentración de Mn en el combustible.,
K_1, K_2 y K_3.- Constantes que dependen del sistema de combustión y de la historia de temperatura.

Importancia de la Atomización.- Notables avances se han dado en centros de investigación y desarrollo, así mismo en empresas que producen equipo de combustión, parte de éstos avances corresponden a la atomización del combustible, que han permitido mejorar los procesos de combustión, haciendolos más eficientes y con abatimiento de emisiones contaminantes, cabe mencionarse los **quemadores** en los que por cambios en la aerodinámica de la flama, se controla el NOx.

No obstante, los principios básicos de atomización siguen vigentes, en éstos se fundamenta que los combustibles líquidos no se queman como tales, sino en fase gaseosa, primero deben ser suministrados al quemador a temperatura adecuada, para favorecer su transporte y el mezclado con vapor o aire de atomización, en éste proceso, el combustible es

transportado y conformado en una película líquida, en las boquillas del quemador, la cual es fragmentada en sus ligamentos, en gotas y partículas con amplia distribución de tamaño, en ésto, tiene gran influencia, la viscosidad, la tensión superficial y la densidad del combustible; las gotas son agrupadas en forma de una nube por aspersión; en cada gota o fragmento, tiene lugar la vaporización o destilación de los hidrocarburos más ligeros del combustible, por el incremento de su temperatura. De ésta manera, se produce una atmósfera gaseosa que por turbulencias se mezcla con el aire secundario o terciario, en la cámara de combustión, dando lugar en éstas condiciones a las reacciones de oxidación, en estado gaseoso de los componentes del combustible y el residuo carbonoso que se produce se quema lentamente.

Atomización secundaria.- La atomización secundaria ocurre cuando grandes gotas de combustible "explotan", al ser calentadas dentro de la cámara de combustión, éste es un fenómeno deseable debido a que produce un gran número de pequeñas **gotas satélites** a partir de gotas grandes. La atomización secundaria se efectúa si se tiene una mezcla heterogénea ú homogénea de componentes del combustible.

a) Mezclas heterogéneas, tales como emulsiones de agua en aceite, este tipo de mezclas permite que el agua, que es el componente más ligero, se vaporice más rápidamente antes que alcance la superficie de la gota, causando una **microexplosión**, ésto requiere que el agua este dentro de la gota de aceite. Las emulsiones de agua en aceite pueden mitigar las emisiones de carbón mejorando la atomización a través de **microexplosiones.**

b) Las mezclas homogéneas que contienen una mezcla de componentes ligeros, tales como isopropanol y un componente pesado, pueden dar lugar a atomización secundaria. Aquí, el componente ligero es primero destilado de las capas cercanas a la superficie de la gota, así el calor es transferido a la gota, por tal efecto, la masa del componente ligero vaporiza y la gota explota.

Para lo anterior, se requiere que los componentes tengan una gran diferencia en las temperaturas de ebullición, en sus principales constituyentes y que su calentamiento sea rápido.

EMULSIONES

El uso de emulsiones, de los tipos agua en aceite y de aceite en agua, es una de las tecnologías de las menos costosas, para utilizar los combustibles pesados, con abatimiento de **NOx** y **partículas**, esta en aplicación en unidades industriales y en unidades piloto. La elaboración y utilización de estas emulsiones, integra procesos en algunos casos desde su preparación en el laboratorio, hasta su aplicación en unidades de combustión.

El uso de emulsiones actualmente esta ganando atención para su aplicación en fuentes estacionarias de combustión, motivado por las ventajas de reducir la emisión de materia particulada e inhibir en gran medida las condiciones de formación de los óxidos de nitrógeno, durante la combustión de hidrocarburos.

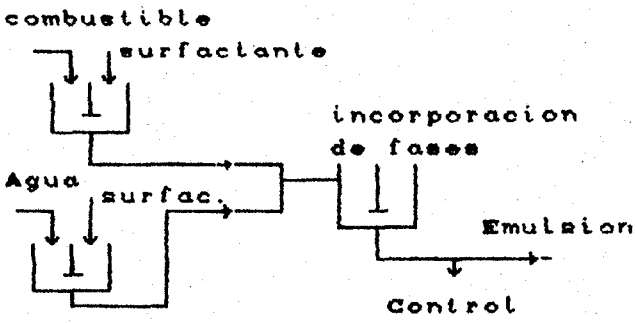
Mecanismos de Atomización de Combustibles Líquido.

- Atomización, fragmentación del combustible en gotas.

- Gasificación por evaporación y o destilación.
- Ignición e inicio de combustión.
- Formación de carbón (cenosferas u hollín).
- Combustión total.
- Atomización secundaria por microexplosión de gotas.
- Gotas satélite más pequeñas que las de primera atomización.

Existen un número considerable de referencias y reportes que informan sobre estas tecnologías de emulsiones combustibles, algunas en estudio, otras en desarrollo y otras más ya en aplicación piloto e industrial, los autores de este tema reportan resultados y opiniones muy diversos, sin embargo, en lo que respecta a la aplicación de emulsiones de agua-combustible formulado con hidrocarburos pesados y residuales de bajo y alto contenido de azufre, coinciden en que durante la combustión, si se manifiesta la reducción de partículas y en la reducción de óxidos de nitrógeno por el efecto de enfriamiento de la flama, causado por la presencia de agua. Lo que está en duda, es el aspecto de reducción en el gasto de combustible y en el mejoramiento de la eficiencia de combustión, esto último, a causa de la compensación, en la mejora de combustión con la pérdida de calor, por la presencia de agua en el combustible.

Preparación de las Emulsiones Combustibles.- Las características importantes de estabilidad, como separación en capas, inversión de fases, separación, etc., son atribuidos a la naturaleza de los componentes, surfactantes y técnicas de preparación; se formulan las emulsiones de combustibles utilizando equipos de incorporación, como agitadores de alta velocidad, molinos coloidales, agitación por ultrasonido, etc., adicionando surfactantes en diversas etapas del proceso de incorporación.



Surfactantes.- Actualmente se tiene una base considerable de productos tensoactivos y para casos muy especiales se sintetizan los activos modificando su estructura molecular, para impartirles las propiedades que modifican la tensión superficial de los sustratos combustibles. Entre los tensoactivos más utilizados para el propósito de emulsificación de hidrocarburos pesados, se tienen los que corresponden al tipo de nonilfenol etoxilado, nonilfenol propoxilado o copolímeros de éstos. Los tensoactivos generalmente son utilizados en forma de un paquete de aditivos que estan compuestos por el activo, vehículo inhibidor de corrosión, bactericida y en combinación con aditivos de combustión.

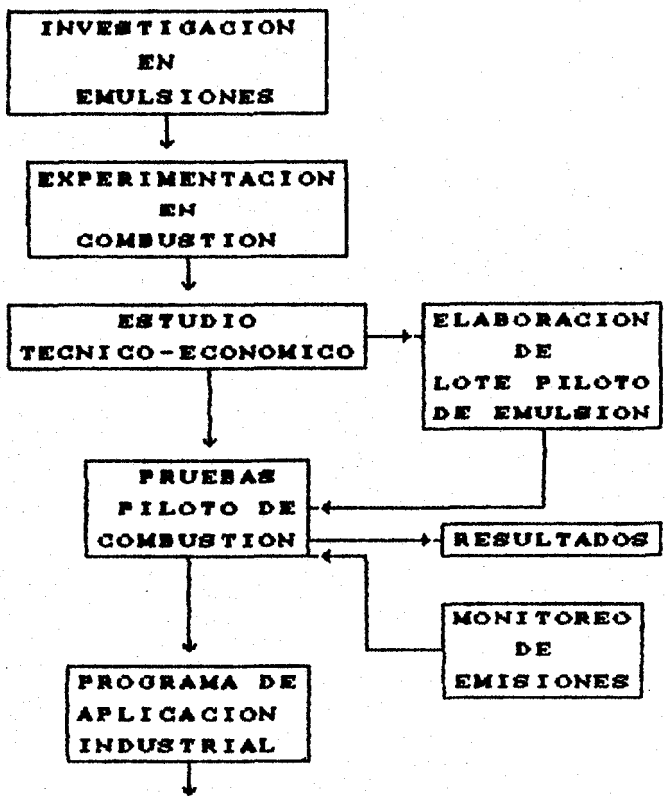
Experimentación.- Para la aplicación de emulsiones de combustóleo, es necesario llevar a cabo investigación y desarrollo en la formulación de tensoactivos compatibles, con las diferentes fracciones pesadas del petróleo, que produzcan sistemas de emulsiones en agua, con características de composición, tamaño de partícula y estabilidad adecuadas para el manejo, almacenamiento y transporte, en instalaciones y plantas de combustión.

La experimentación de combustión, es requerido llevarla a cabo en una instalación, en la que sea posible obtener información del comportamiento y en la que sea posible realizar todas las mediciones requeridas de flujos, temperaturas y emisiones para balances completos de materia y energía.

Perspectivas.- Ante la grave situación de contaminación del aire en Zonas Críticas, principalmente en épocas de invierno y primavera y cuando se presentan condiciones de estabilidad, que favorece a las reacciones fotoquímicas de los contaminantes presente en la atmósfera. Se han aplicado en la ZMCM medidas para el control en fuentes móviles y fuentes estacionarias, para éstos últimos el cambio de combustóleo por gas natural y gasóleo ha permitido una reducción muy importante en SO_2 y partículas.

Sin embargo, existe la inquietud y preocupación en las autoridades, por el probable aumento en la generación de NO_x, debido a la temperatura que el gas natural produce en la flama y en menor proporción el gasóleo industrial. Por tal razón, se presentan las emulsiones como una de las alternativas para abatir la temperatura de flama y reducir la emisión de NO_x, que es uno de los contaminantes precursores del ozono en la ZMCM.

La aplicación de emulsiones en fuentes estacionarias de la ZMCM, naturalmente involucra toda una estrategia en la que se estiman las siguientes etapas principales, las cuales se mencionan en forma esquemática a continuación:



DISCUSION.

Es necesario continuar en forma permanente, los estudios sobre combustibles, particularmente para fuentes estacionarias, con el propósito de estar actualizados en estas áreas y en las diferentes alternativas para su combustión apropiada, ya que en las fuentes de hidrocarburos estos cambian sus características.

La experimentación de emulsiones con combustóleos pesados y desulfurados, en combinación con hidrocarburos desulfurados de tipo gasóleo, diesel y querosina, es una de las alternativas para combustión y lograr con éllo el abatimiento de partículas y **NOx** por abajo de los límites establecidos por la norma técnica ecológica para Zonas Críticas. Esta alternativa, apoyará en los programas de producción de combustibles, con materias primas disponibles en el país y cumpliendo

con los requerimientos de protección ambiental vigentes.

La utilización de emulsiones combustibles en la industria, involucra una serie de etapas de integración, para crear toda una infraestructura de elaboración y distribución del combustible emulsionado. Asimismo supone la capacitación de personal para todas las fases del proceso, incluyendo la combustión en calderas, hornos y calentadores.

Esto último quiza, sea el problema más difícil, sin embargo, se hace notar, que es una alternativa de las más económicas, frente otras que supone una inversión considerable, como el uso de quemadores de bajo **NOx**, la instalación de lavadores de gases y la reducción catalítica de **SOx** y **NOx** entre otras que se tienen desarrolladas.

MX9800101

TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE DIOXIDO DE AZUFRE Y OXIDOS DE NITROGENO GENERADOS POR LA COMBUSTION EN CAMARA ABIERTA

ING. QUIMICO MARIA DOLORES SALAZAR VILLALPANDO

I.M.P.

RESUMEN

En términos generales, sólo existen 3 maneras de evitar que de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno generados por la combustión en cámara abierta sigan contaminando el aire, la primera es utilizar un combustible de bajo contenido de S y N, la segunda es controlar los párametros que afectan la combustión, y la tercera es tratar y/o limpiar los gases antes de emitirlos a la atmósfera (Tabla 1). En este documento se presentan algunos tratamientos para disminuir las emisiones de contaminantes generados por la combustión en cámara abierta.

INTRODUCCION

A la familia de los óxidos de nitrógeno, incluyendo al NO y al NO_2, se les denomina NO_x. Estos compuestos se forman durante la combustión de carbón, combustibles líquidos y gas natural debido a la oxidación del nitrógeno elemental de l aire o a la oxidación del contenido en el combustible. El NO_2 es un compuesto venenoso que ha sido designado como un contaminante ambiental por sus efectos a la salud. Además, estos compuestos contribuyen a la formación de oxidantes fotoquímicos y son precursores, junto con los SO_x, de la lluvia ácida.

Los SO_x, al igual que los NO_x se forman durante la combustión de combustibles fósiles. También son contaminantes que provocan daños a la salud pública y son precursores de la lluvia ácida. La cantidad de SO_x que se forma durante la combustión de combustibles fósiles dependen directamen de la cantidad de azufre que contengan, por lo que es deseable utilizar aquellos que tengan la menor cantidad.

Por los efectos que estos contaminantes provocan en la salud humana, se hace necesario que investigadores e ingenieros responsables de las unidades de combustión estudien las diferentes alternativas y tecnologías que eviten la formación y emisión de contaminantes, con el fin de evitar el deterioro del ambiente.

TABLA 1 TECNOLOGIAS DE CONTROL DE EMISIONES DE SOx, NOx Y PARTICULAS

CATEGORIA	TECNOLOGIA	EFECTOS REDUCTIVOS			FACILIDAD DE APLICACION A ESCALA:
		SOx	NOx	PARTICULAS	
MEJORAMIENTO DEL COMBUSTIBLE	REDUCCION DEL AZUFRE CONTENIDO EN EL COMBUSTIBLE (LA REDUCCION DE NITROGENO ES DIFICL)	GRANDE	ALGUNOS	ALGUNOS	TODAS
CAMBIO DE COMBUSTIBLE	DE ACEITE PESADO A GAS NATURAL O DIESEL	GRANDE	EFECTIVO	EFECTIVO	TODAS
MEJORAMIENTO DE LA COMBUSTION (AHORRO DE ENERG.)	1.- APROVECHAMIENTO DEL CALOR RECUPERADO. 2.- OPTIMIZACION DEL FLUJO DE AIRE. 3.- BAJA PROPORCION DE AIRE DE COMBUSTION.	REDUCCION DE EMISIONES COMO RESULTADO DE LA REDUCCION EN EL USO DEL COMBUSTIBLE (INDIRECTO)			TODAS
MEJORAMIENTO DE LOS METODOS DE COMBUSTION	1.- MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACION. - BAJA PROPORCION DE AIRE DE COMBUSTION. - REDUCCION DEL LLENADO EN LA CAMARA DE COMBUSTION. - REDUCCION DE LA TEMPERATURA DEL AIRE DE PRECALENTAMIENTO.	- - -	EFECTIVO EFECTIVO EFECTIVO	INCREMENTO DECRECE TIENDE A INCREMENTARSE	TODAS TODAS GRANDE
	2.- MEJORAMIENTO DEL EQUIPO - QUEMADORES DE BAJO NOx. - COMBUSTION EN DOS ETAPAS. - COMBUSTION FUERA DE ESTEQUIOMETRIA. - RECIRCULACION DE GAS AGOTADO. - INYECCION DE VAPOR O AGUA. - DENITRACION DE LA COMBUSTION DENTRO DEL HOGAR (METODO OTA O METODO NACI).	- - - - - - -	20-45% 20-45% 20-45% 20-45% 20-45% 30-40% 50%	INCREMENTO EN ALGUNOS QUEMADORES. LIGERA TENDENCIA A INCREM. " " " LIGERO INCREMENTO "	PEQ. O MED. GRANDE FACIL CON 2 O MAS QUEMAD. GRANDE TODAS GRANDE GRANDE
	3.- COMBUSTION DE EMULSIONES.	EFECTIVO PARA LA ABIC. DE METALES ALCALINOS	30-50%	20-40%	TODAS

OBJETIVO: Presentar tecnologías para el tratamiento de dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno generados por la combustión en cámara abierta.

ELIMINACION DE NOx POR REDUCCION CATALITICA

La reducción catalítica selectiva remueve los NOx presentes en el gas de combustión al hacerlos reaccionar con amoníaco para formar nitrógeno y agua. Se dice que es selectiva por el hecho de que el amoníaco puede reaccionar también con el oxígeno presente en el gas de combustión, el catalizador hace posible que la reacción sea selectiva con NOx.

La reacción que se lleva acabo es la siguiente:

$$NOx + NH_3 \rightarrow N_2 + H_2O$$

Para mantener esta selectividad, el catalizador debe operar a la temperatura adecuada, la cual debe ser lo sufucientemente alta para proporcionar una actividad útil, pero lo suficientemente baja para evitar la oxidación secundaria del amoníaco.

En general, la mayoría de los catalizadores son de dos tipos: óxidos inorgánicos y metales nobles. Ya que los productos de la reacción son componentes del aire, la reacción no deja rastros cuando se efectúa en proporciones estequiométricas.

REMOCION SIMULTANEA DE SO_2 Y NOx MEDIANTE ABSORCION Y ELECTRODIALIS

Es un proceso que remueve simúltaneamente dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno de los gases de chímenea mediante el lavado húmedo con un licor de bisulfito de amonio y Fe-EDTA.

PROCESO DEL BISULFITO DE AMONIO

El gas de chímenea se precalienta y se introduce en un prelavador donde se inyecta agua para enfríar el gas y remover la mayoría de las partículas sólidas y el acido clorhídrico que pudiera llevar. Posteriormente, el gas se envía a la torre donde se lava la solución acuosa de bisulfito de amonio y FE-EDTA, como se muestra en la fig. 1.1.

Las principales reacciones son:

$$(NH_4)SO_3 + H_2O + SO_2 \text{--} 2NH_4HSO_3$$

Fe-EDTA+ NO----FE-EDTA-NO

El gas limpio se libera a la atmósfera a través de una chimemea. El absorbente agotado se bombea a través de un filtro hacia el compartimiento de díluido de una pila de electrodiálisis, donde un campo eléctrico provoca que los iones amonio y bisulfito, permeables en las membranas aniónica y catiónica respectivamente, vuel-

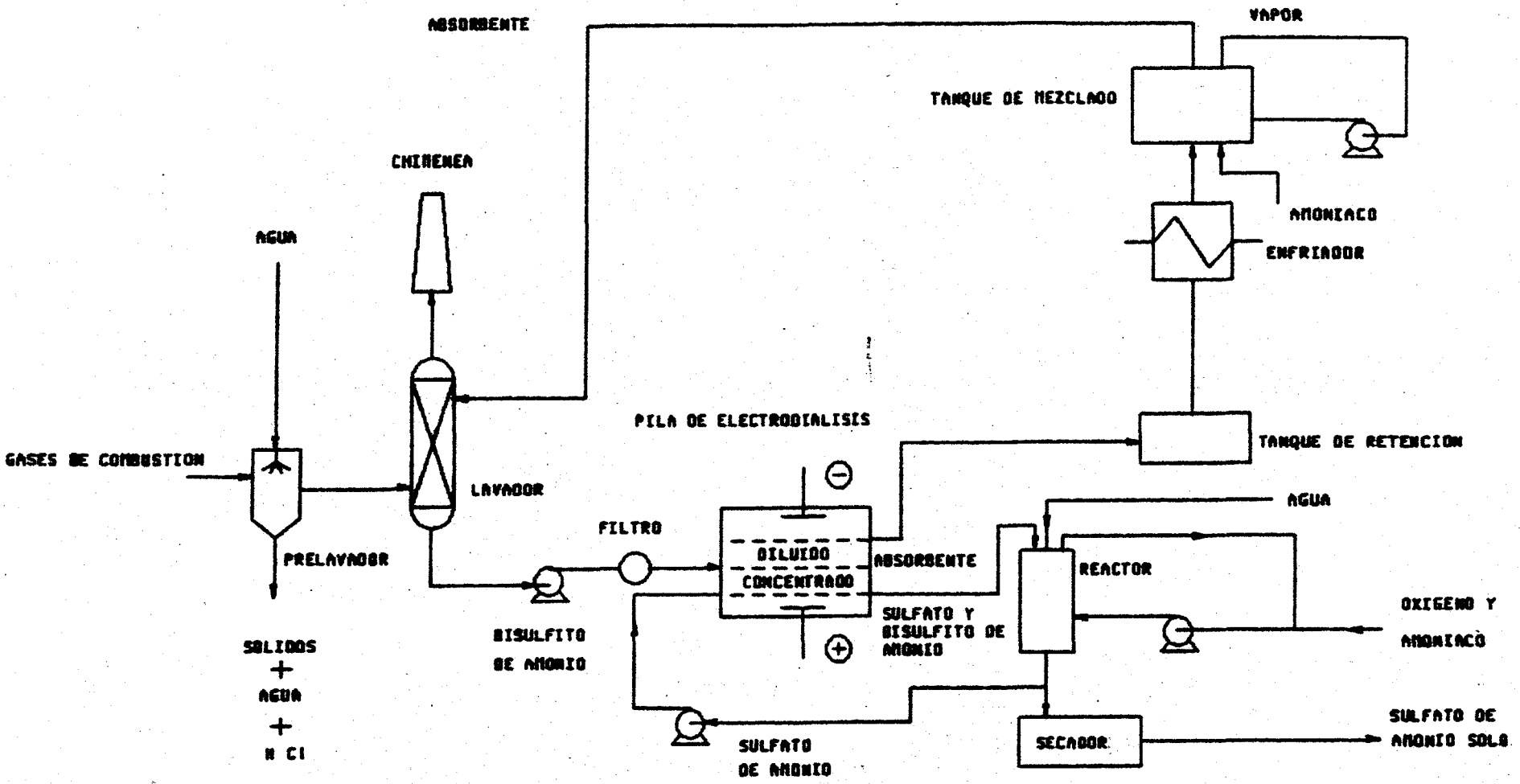


FIGURA 1.1 PROCESO DEL SULFATO DE AMONIO

van al absorbente más díluido. Este parcialmente regenerado va hacia el tanque de retención donde se llevan a cabo las siguientes reacciones de oxido reducción:

$2Fe(III)\ EDTA + SO_3^{-2} + H_2O \longrightarrow SO_4^{-2} + 2H^+ + 2Fe(II)\text{-}\ EDTA^{-2}$

$2Fe(III)\ EDTA + NO + SO_3^{-2} + H_2O \longrightarrow SO_4 + 2H^+ + 2Fe(II)\text{-}\ EDTA^{-2}$

El arreglo de las membranas y la transferencia de iones en la pila se muestran en la figura 1.2.

El absorbente pasa a un absorbedor donde los iones amonio, removidos de la pila de electrodiálisis, son reemplazados con una alimentación de amoníaco. Efectuándose la siguiente reacción:

$NH_4HSO_3 + NH_3 \longrightarrow (NH_4)_2SO3$

El absorbente retorna a una cámara de lavado, mientras que el concentrado de los compartimientos de la pila de electrodiálisis entra a un circuito de separación, empleado para producir el producto principal. El bisulfito de amonio se alimenta a un reactor que contiene un catalizador apropiado. Se adiciona amoníaco para producir sulfito de amonio y oxígeno para producir sulfato de amonio. Esta solución se recircula hacia el compartimiento de concentrado de la pila de electrodiálisis varias veces para minimizar la polarización. Así que la solución resultante es predominantemente de sulfato de amonio. Una pequeña parte de la corriente se envía a un secador donde se obtiene sulfato de amonio seco como producto.

ELIMINACION SIMULTANEA DE SO_x Y NO_x POR MEDIO DE AMINAS

En este proceso los NO_x y SO_x se convierten a H_2S y N_2 respectivamente mediante una hidrogenación. Con una eficiencia de más del 99%

Las reacciones de hidrogenación

$SOx + H_2 \text{--} H_2S + H_2O$
$NOx + H_2 \text{--} N_2 + H_2O$

DESCRIPCION DEL PROCESO

Las etapas principales del proceso son: (FIG. 2.1)

* En el reactor de hidrogenación ocurren simultáneamente la reducción de óxidos de azufre a ácido sulfhídrico, los óxidos de nitrógeno a nitrógeno elemental y el oxíno a agua.

* Recuperación selectiva de ácido sulfhídrico en presencia de cantidades significativas de CO_2 del gas efluente del reactor de hidrogenación.

*Producción de azufre elemental a partir del gas rico en H_2S.

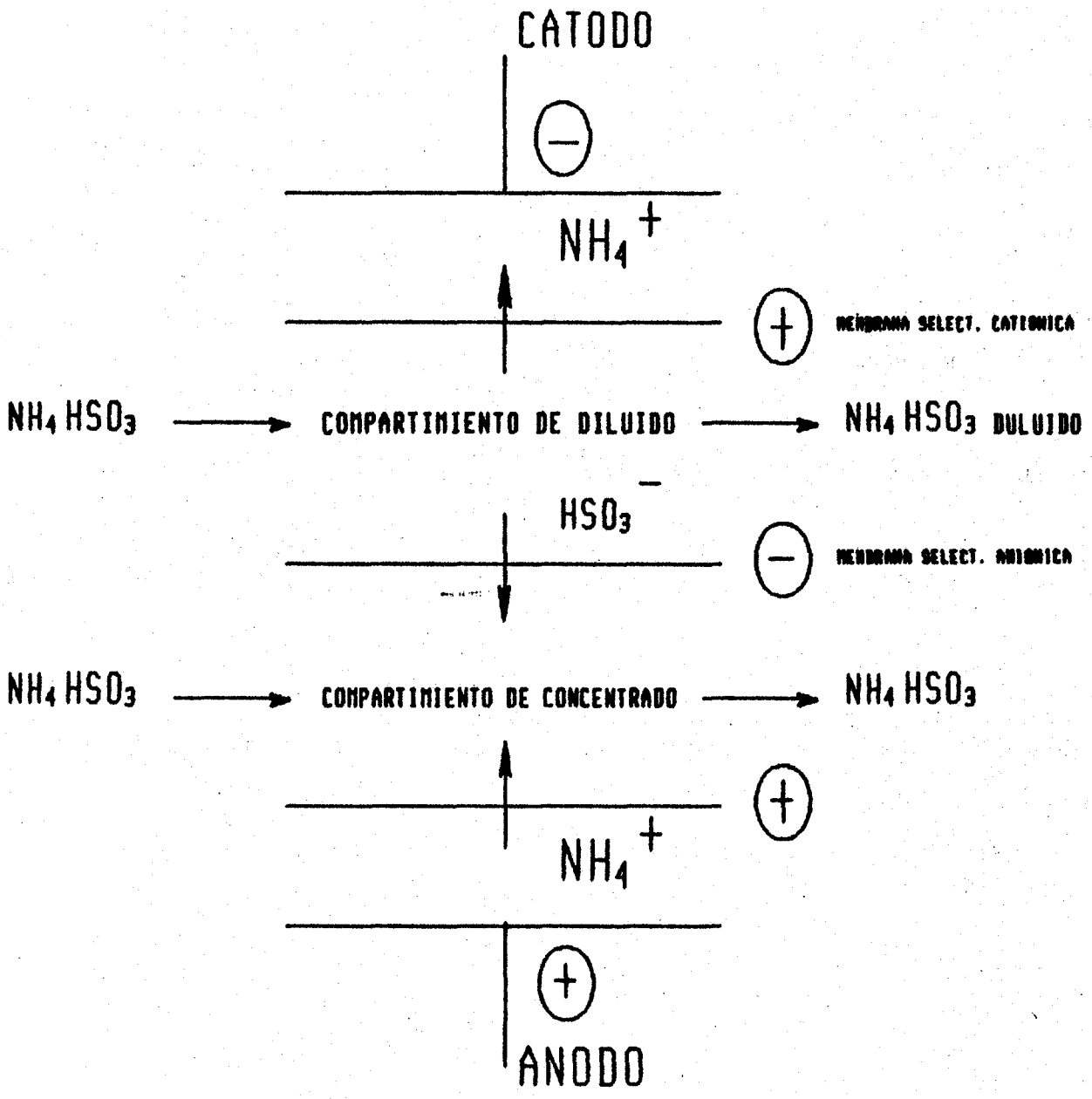

CATODO
NH4+
MEMBRANA SELECT. CATIONICA
NH4HSO3
COMPARTIMIENTO DE DILUIDO
NH4HSO3 DILUIDO
HSO3−
MEMBRANA SELECT. ANIONICA
NH4HSO3
COMPARTIMIENTO DE CONCENTRADO
NH4HSO3
NH4+
ANODO

FIGURA 1.2

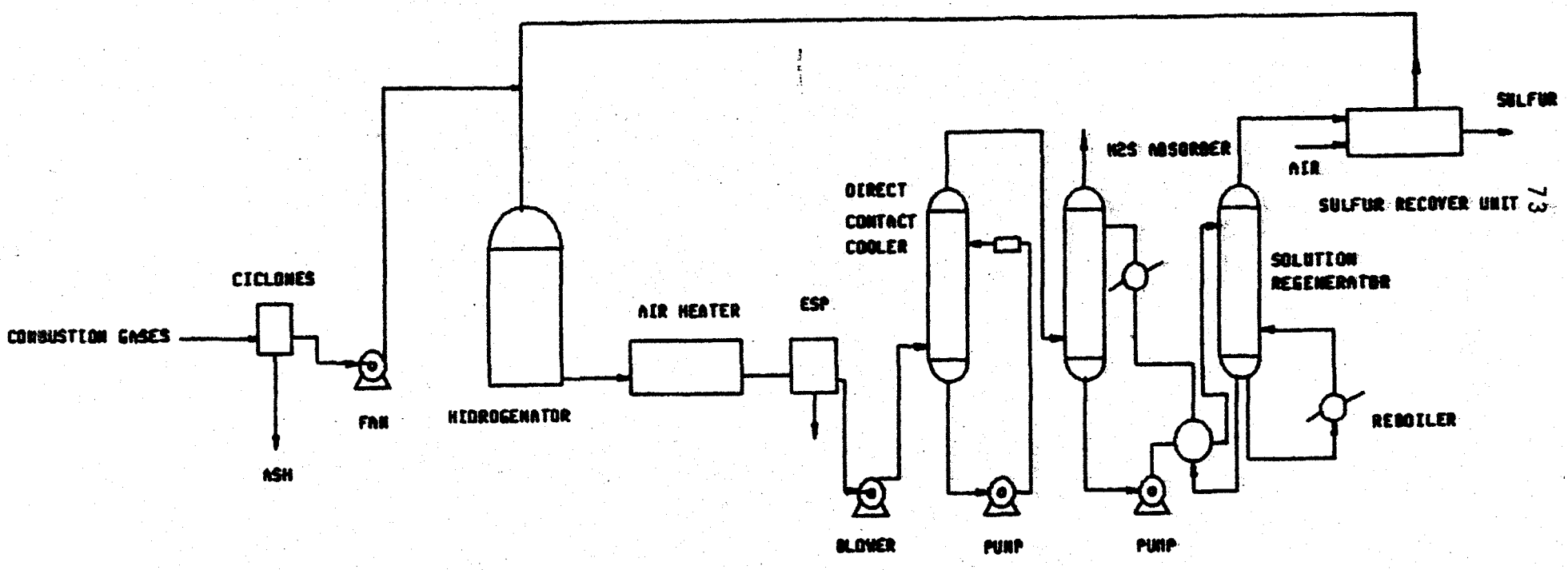


FIGURA 2.1 PARSONS FLUE GAS CLEANUP PROCESS

El gas de chimenea se alimenta a la planta de tratamiento de gases y se pasa a través de un arreglo multiciclónico donde se remueven las partículas más grandes de ceniza. El gas resultante se mezcla posteriormente con una corriente de gas metano a alta temperatura, y corriente abajo con el reciclado del gas residual de la planta de azufre para formar la alimentación del hidrogenador catalítico donde ocurre la reducción SO_2, NO_2 y O_2.

La ceniza remanente en el gas de chimenea se remueve posteriormente dentro de un precipitador electrostático y el gas limpio se alimenta a un condensador de contacto. Aquí el gas se enfría y la mezcla se separa por condensación. El agua condensada del gas de chimenea se elimina de la corriente para remover el H_2S que puede ser reciclado como condensado de alta calidad para el uso en la planta.

El gas de chimenea proveniente del condensador de contacto entra a una columna de absorción donde se pone en contacto con un solvente selectivo de ácido sulfhídrico (monoetanolamina MEA).

Esencialmente, todo el H_2S y una pequeña cantidad del CO_2 se absorbe en el solvente. El efluente del absorbedor contiene menos de 10 ppm de H_2S, que es un nivel aceptable ambientalmente, y es liberado a la atmósfera.

La solución enriquecida de H_2S abandona el fondo el fondo del absorbedor y entra al regenerador, donde se calienta y la corriente libera los gases ácidos de la solución. El H_2S contenido en la salida de gas en el domo del regenerador, se envía a una planta que convierte el H_2S a azufre elemental.

CONCLUSIONES

Como se puede observar en la tabla 2, en general, los tratamientos para eliminar las emisiones contaminantes de los gases de combustión son eficientes pero complejos, que requieren de espade espacios grandes en las plantas, y adecuado manejo de subproductos. Por esto, a pesar de que estas tecnologías podrían tener un amplio campo de aplicación en las industrias mexicanas, a la fecha, es prácticamente nulo su uso, y se prefiere utilizar otras opciones más prácticas y económicas:

a) MEJORAR EL COMBUSTIBLE : para obtenerlo con bajo contenido de azufre, nitrógeno, metales, adecuada viscosidad, etc.

b) CAMBIO DE COMBUSTIBLE: usar emulsiones como combustibles.

c) MEJORAMIENTO DE LAS CONDICIONES DE OPERACION.

d) MEJORAMIENTO DEL EQUIPO DE COMBUSTION.

Como apoyo a estos programas, es necesario investigar las alternativas mencionadas en equipos experimentalmente adecuados y actualizados que de un conocimiento profundo y adecuado del fenómeno de la combustión, con el fin de controlar los parámetros involucrados en la disminución de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. También se deben estudiar los tratamientos de gases contaminantes en plantas a nivel piloto para lograr que el efecto de costo/beneficio, mantenimiento y seguridad sea favorable a las industrias.

BIBLIOGRAFIA

1.-Walter J. Richard and Henry W. Pennline. " Absorption, Electrodialysis, and Additional Regeneration in Two Flue Gas SO_2/NO_x Cleanup Process." Enviromental Progress (Vol. 7 No. 4) November 1988.

2.- Kwong Vincent K., Meissner E. Roland, Ahmad Saif and Wendt J. Carl. "Application of Amines for Treating Flue Gas from Coal-Fired Power Plants." Enviromental Progress (Vol. 10 No.3) August, 1991.

3.-Burns R. Kenneth " Use of catalyst for VOC`s Control" New England Enviromental EXPO, Boston Massachusetts, April 10-12, 1990.

TABLA 2 COMPARACION DE TRATAMIENTOS DE GASES CONTAMINANTES

METODO	REACCIONES	MATERIAL Y REACTIVOS
1.- Remoción simultánea de SO_2 y NO_x mediante absorción y electrodiálisis.	$(NH_4)_2SO_3 + SO_2 + H_2O \rightarrow 2NH_4HSO_3$ $Fe\text{-}EDTA + NO \rightarrow FeEDTA.NO$ $NH_4HSO_3 + NH_3 \rightarrow (NH_4)_2 + SO_3$	Sol. ac. de $(NH_4)_2SO_3$ y Fe/EDTA, amoníaco ó carbonato de sodio, ó bicarbonato de sodio.
2.- Eliminación simultánea de SO_x por medio de aminas.	$SO_x + H_2 \rightarrow H_2S + H_2O$ $NO_x + H_2 \rightarrow N_2 + H_2O$ $H_2S \rightarrow S + H_2$	Solución acuosa de MEA.
3.- Eliminación de NO_x por reducción catalítica.	$NO_x + NH_3 \rightarrow N_2 + H_2O$	Amoníaco. Catalizador.

TABLA 2 COMPARACION DE TRATAMIENTOS DE GASES CONTAMINANTES

METODO	EQUIPO REQUERIDO	PRODUCTOS FINALES	EFIC. EN LA REMOCION
1	Torres de absorción, pila de electrodiálisis, reactor catalítico, secador.	Sulfato de amonio	SO_2 : 99.4% NO : 92.8% NO_2 : 99.0%
2	Reactor de hidrogenación catalítica, torre de absorción, ciclones (si existen partículas de ceniza), precipitador electrostático.	H_2S que se puede usar para producir S. N_2	Mayor de 99%
3	Reactor catalítico de lecho fijo Precipitador electrostático, intercambiador de calor, red de distribución de amoníaco.	N_2	80 - 90%

MX9800102

MODELO DE PLUMA GAUSSIANO PARA EL SO_2 EN UNA CENTRAL TERMOELECTRICA.

Reyes L., C., Muñoz-Ledo C., R.
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Interior Internado Palmira S/N, Col. Palmira
62000 Cuernavaca, Morelos.

RESUMEN.

El Modelo de Pluma Gaussiano es una extensión analítica para simular la dispersión de las concentraciones de SO_2 a nivel del piso en función de los cambios de las emisiones en las fuentes puntuales, así como, la dispersión del contaminante en la Rosa de los Vientos cuando se le alimentan los parámetros necesarios. El modelo fue elaborado en una computadora personal (PC) y los resultados que proporciona los genera en modo texto.

INTRODUCCION.

El Modelo de Pluma Gaussiano (MPG), desarrollado por varios investigadores (Pasquill *et al.*, 1958a, Turner, 1964a), se puede utilizar para estimar la concentración de contaminantes, tal como el SO_2 o contaminantes no reactivos, en los alrededores de una Central Termoeléctrica o cualquier tipo de fuente puntual. Además, ha tenido otro tipo de aplicaciones en emisiones como: fuentes de línea (por ejemplo carreteras) o de área (zonas urbanas) (Finlayson, 1986); Turner en 1970b, Pasquill en 1974b y Seinfeld en 1978 han desarrollado y discutido el MPG y sus limitaciones en sus aplicaciones como modelo. El MPG es una aproximación analítica simple a la solución de la ecuación de difusión atmosférica, y a pesar de su simplicidad básica, el modelo requiere de cálculos los cuales tienden a relacionar las variables de entrada como parámetros meteorológicos y de emisión con la dispersión de la concentración del SO_2 en la atmósfera. El propósito de este trabajo es simular en una computadora personal (PC) la dispersión de las concentraciones promedios del SO_2 emitidos por una central termoeléctrica, bajo diferentes condiciones de la emisión de SO_2, parámetros meteorológicos y la Rosa de los vientos.

PARAMETROS PARA EL MPG.

Las concentraciones promedio del SO_2 calculadas, viento abajo, a nivel del piso estan dadas por la siguiente ecuación:

$$\chi(x,y,0,H) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2} - \frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right)$$

donde:

χ es la concentración del contaminante ($\mu g/m^3$) calculada por el programa Pasquill a basado en la ecuación anterior.

Q es la velocidad de la emisión del contaminante (g/s) determinada en la chimenea.

u es la velocidad del viento (m/s) que desplaza al contaminante en la

dirección del eje.

H es la altura de la chimenea (m) más el incremeto por la elevación de la pluma expresada como:

$$H=H_{chimenea}+\Delta H_{penacho}$$

donde $H_{chimenea}$ es la altura efectiva de la chimenea (m) y $\Delta H_{penacho}$ (m) se calcula con la expresión de Holland siguiente:

$$\Delta H=\frac{V_s d}{u}\left(1.5+2.68x10^{-3}P\frac{T_s-T_a}{T_s}*d\right)$$

siendo V_s es la velocidad de salida del gas (m/s), **d** es el diámetro interno de la chimenea (m), **u** es la velocidad del viento (m/s), **P** es la presión atmosférica (mb), T_s es la temperatura del gas (°K), T_a es la temperatura ambiente (°K) y 2.68×10^{-3} es una contante ($mb^{-1}m^{-1}$).

y y **z** son las distancias horizontal y vertical (m), respectivamente, a la sección transversal de la dirección del viento.

σ_y es el parámetro de dispersión en la sección transversal a la dirección del viento en función de la distancia **x** viento abajo (m).

σ_z es el parámetro de dispersión vertical en función de la distancia viento abajo (m).

Las clase de estabilidades (A-F) para la atmósfera fueron desarrolladas basandose en la velocidad del viento, radiación solar, tipo de nube y condición de cielo (Turner, 1967). Los valores discretizados en la Figura 1 muestran la asignación del parámetro de dispersión $\sigma_z(x)$ para 6 clases de estabilidades atmosféricas. Las curvas de la Figura 1 corresponden a la siguiente aproximación analítica (Fuentes, 1991):

$$\sigma_z = ax^b$$

donde **a** y **b** se proporcionan en la Tabla 1.

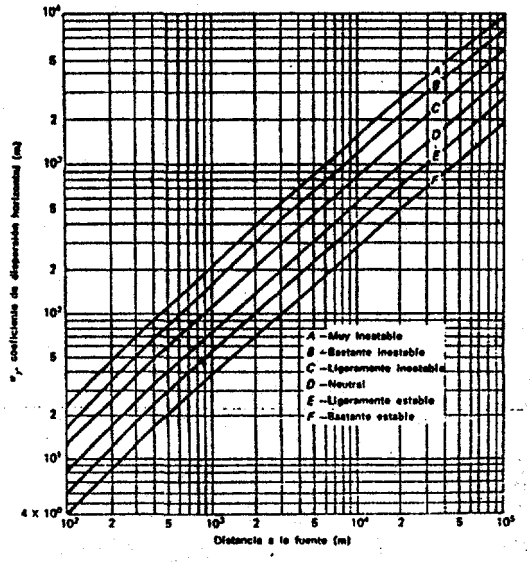


Figura 1.

Los valores de la Figura 2 muestran los parámetros de dispersión de las $\sigma_y(x)$ para 6 clases de estabilidades atmosféricas. Las curvas en la Figura 2 corresponde a la siguiente aproximación analítica (Fuentes, 1991)

$$\sigma_y = cx^d$$

donde **c** y **d** se proporcionan en la Tabla 2.

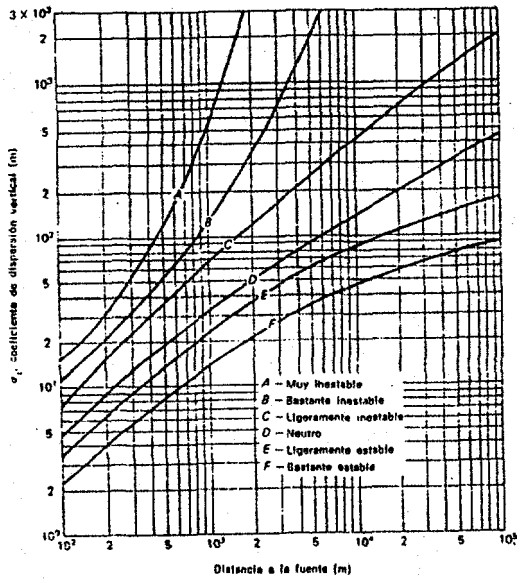


Figura 2.

RESULTADOS.

El programa PASQUILL versión 1.0 es un programa elaborado en compilador QBASIC 4.5 que simula la dispersión del SO_2 a partir de la ecuación de difusión atmosférica, este programa en su primera fase fué desarrollado en el Instituto de Investigaciones Eléctrica en el Departamento de Sistemas de Combustión. Este tipo de modelos solo se puede emplear para contaminantes inertes. Sin embargo, se han desarrollado algunos modelos derivados de éste para contaminantes reactivos con un decaemiento de primer orden. Un ejemplo de los resultados que genera este modelo se presentan en la Figura 3 con las variables necesarias que se presentan en la Tabla 3. Los resultados que genera este programa son propuestos teóricamente y alimentados en su mayoría manualemente, presentandose en una computadora personal en modo texto.

RECOMENDACIONES.

Una propuesta para ampliar la capacidad de este programa sería anexar algunos programas de ayuda que proporcionen al programa principal datos como: las estabilidades atmosféricas a partir de las condiciones meteorológicas (radiación solar, condición de cielo, tipo de nubes y velocidad de viento). También sería factible generar isolíneas de concentraciones promedios de SO_2 diarias, semanales, mensuales o anuales. En cuanto a las emisiones sería, conveniente medir contínuamente el SO_2 de la fuente y almacenar las mediciones en un adquisitor de datos. Con todo lo anterior, se puede tener un programa que determine la dispersión del SO_2 en "tiempo real" de una fuente puntual.

REFERENCIAS.

Finlayson-Pitts, B. and Pitts, J. N. (1986) "Atmospheric Chemistry: Fundamental and Experimental Techniques", John Wiley and Sons, New York, U.S.A.

Fuentes G. V. (1992) "Comunicación Personal", División de Estudios de Posgrado Facultad de Ingeniería, Sección de Ingeniería Ambiental, UNAM, México, D.F.

Ley, M. K. "Comunicación Personal", Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Fisicoquímica Aplicada, Cuernavaca, Morelos.

Pasquill, F. and P. J. Meade (1958) "A study of the average distribution of pollution around Staythoope", Journal Air Pollution Control Association, 1:60.

Pasquill, F. (1974b) "Atmospheric Diffusion", John Wiley and Sons, New York, U.S.A.

Seinfeld, J. H. (1978) "Contaminación Atmosférica: Fundamentos Físicos y Químicos",

Instituto de Estudios de Administración Local, Madrid, España.

Turner, D. B. (1964a) "A diffusion model for an urban area", Journal of Applied Meteorology, 3:83.

Turner, D. B. (1970b) "Workbook of atmospheric dispersion estimates", EPA, Research Triangle Park, NC.

Tabla 1. Parámetros de dispersión de las σ_z para 6 clases de estabilidades atmosféricas.

Estab. Atmos.	a			b		
	x <500	500≤x<5000	x≤5000	x<500	500≤x<5000	x≤5000
A	0.0383	0.000254	0.00025	1.2810	2.0890	2.0889
B	0.1393	0.049400	0.04940	0.9467	1.1140	1.1140
C	0.1220	0.101000	0.11500	0.9100	0.9260	0.9110
D	0.0856	0.259000	0.73700	0.8650	0.6870	0.5640
E	0.1094	0.245200	0.92040	0.7657	0.6358	0.3665
F	0.0560	0.193000	1.50500	0.8050	0.6072	0.3665

Tabla 2.Parámetros de dispersión de las σ_y para 6 clases de estabilidades atmosféricas.

Estabilidad Atmosférica	c		d	
	x≤10000	x>10000	x≤10000	x>10000
A	0.4950	0.6060	0.8730	0.8510
B	0.3100	0.5230	0.8970	0.8400
C	0.1970	0.2850	0.0908	0.8670
D	0.1220	0.1930	0.9160	0.8650
E	0.0934	0.1410	0.9120	0.8680
F	0.0625	0.0923	0.9110	0.8690

Tabla 3. Parámetros atmosféricos y de emisión para el MDPG.

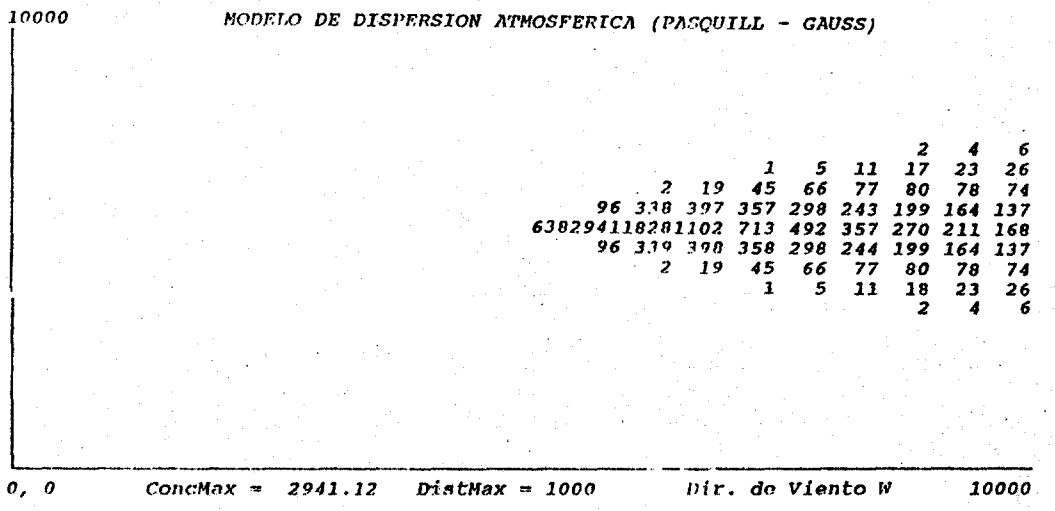
MODELO DE DISPERSION ATMOSFERICA (PASQUILL - GAUSS)

PARÁMETROS ATMOSFERICOS

01. Tipo de estabilidad A, B, C, D	A
02. Seleccione la dirección del viento	W
03. Temperatura ambiente (°C)	20
04. Velocidad del viento (m/s)	2.5
05. Presión atmosférica (mb)	1000

PARAMETROS DE EMISION

06. Temperatura del gas (°C)	135
07. Velocidad de salida (m/s)	12
08. Altura de la chimenea (m)	120
09. Diámetro de la chimenea (m)	6
10. Emisión del contaminante (g/s)	4000
11. Coordenadas X,Y (m) del emisor	5000, 5000
12. Inicia programa	



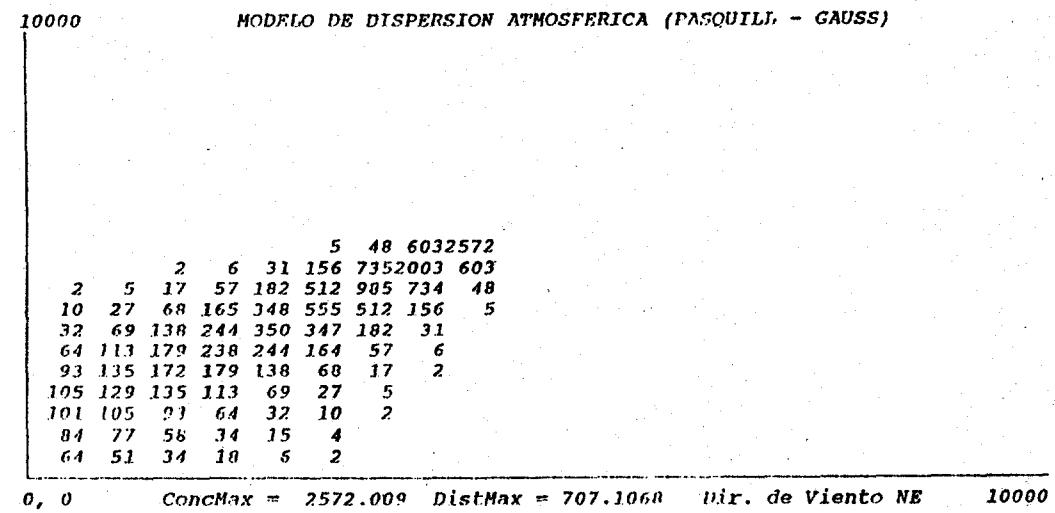


Fig. 3. Resultados de un ejemplo del MDPG.

MX9800103

METODOLOGIA PARA DIAGNOSTICO DE ENERGIA EN LINEAS DE DISTRIBUCION DE VAPOR

M. Almanza, J. J. Ambriz, H. Romero-P.
Area de Ingeniería en Recursos Energéticos
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
A.P. 55-534 C.P. 09340, México, D.F. Tel. 724-46-45

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra una metodología que resulta de gran utilidad en el desarrollo del análisis energético de una planta industrial, en la cual se emplee el vapor como medio de transporte de la energía y en donde el equipo que utiliza el vapor se encuentre físicamente en un lugar apartado de la zona de generación.

Aquí se mencionan las características del equipo que se puede utilizar para dicho diagnóstico, los parámetros de mayor importancia para identificar en forma rápida y eficiente las fallas que se presentan en el sistema de distribución de vapor en las plantas industriales y los formatos que contribuyen a llevar los registros correspondientes para mantener operando eficientemente la red de vapor, en conjunto con los accesorios que en ella se involucran.

I. INTRODUCCION.

El uso del vapor cada día toma mayor importancia, es por eso que se han realizado estudios respecto a mejorar las condiciones para su generación y uso adecuado, ya que los costos energéticos que presentan se incrementan día con día.

Muchos de los estudios realizados se enfocan principalmente al estudio de los sistema de generación de vapor y al aprovechamiento en cada uno de los equipos que tienen al vapor como principal fuente energética. Frecuentemente se da por hecho que los puntos para analizar en la industria son los sistemas de generación y las máquinas de vapor, dejando a un lado el sistema que los une, es decir, el sistema de distribución de vapor.

Se puede tener un alto valor en la eficiencia de las calderas y en el equipo que utiliza el vapor como fuente energética, pero, simultáneamente, operar con deficiencias en el sistema de distribución. Este último caso puede presentarse y llegar a afectar las condiciones de operación de la máquina, con los subsecuentes elevaciones del consumo de vapor y combustible.

En este contexto, se presenta la ventaja que resulta al considerar la importancia del transporte del vapor como una oportunidad más de ahorro de energía. Por lo tanto, debe efectuarse el diagnóstico de operación del sistema de distribución para identificar las condiciones de operación óptima y reducir, de esta forma, las pérdidas de energía por este rubro.

Además, el análisis de la red de distribución de vapor es la parte complementaria del estudio de diagnóstico industrial desde la generación de vapor, hasta el análisis de los consumos finales por tipo de usuario. De esta forma, sí se puede considerar el estudio del vapor en su forma integral.

II. OBJETIVO.

El objetivo del trabajo es mostrar una metodología de diagnóstico efectiva, que permita la realización del estudio de las líneas de distribución del vapor, e indique algunas opciones para su desarrollo y aplicación en la industria.

Además, se recomiendan algunas técnicas de medición para los purgadores de vapor y formatos para la recopilación de los parámetros de mayor importancia de acuerdo al presente estudio.

III. DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA.

La metodología sugerida se presenta mediante un sistema de actividades que se pueden realizar de manera secuencial; algunas acciones es posible realizarlas en forma paralela, para disminuir el tiempo requerido en el estudio. Tales acciones se pueden observar de acuerdo con el diagrama 1.

La metodología se basa en determinar el valor de los parámetros que influyen en la pérdida de energía y la cantidad que ello implica en el incremento de las pérdidas provocadas por las siguientes causas:

- falta de aislamiento
- trampas de vapor con descarga a la atmósfera o al drenaje
- trampas de vapor con descarga de vapor a la línea de retorno de condensado
- fugas de vapor

Para disminuir la pérdida de calor provocada por las causas arriba mencionadas se analizarán principalmente los purgadores de condensado, el aislamiento y las pérdidas provocadas por la longitud equivalente de la tubería para cada diferente tipo de diámetro.

Paso número 1.

Para llevar a cabo este método se identifican las líneas de distribución desde el cabezal de vapor hasta cada uno de los usuarios.

Es importante que si no se cuenta con un conocimiento de la distribución y ubicación correcta de las líneas de distribución se realice una inspección previa mediante el uso del diagrama correspondiente. En ese diagrama se debe de contar con la información correspondiente a la presión y diámetro de la tubería; si es posible, también debe contener información de la ubicación de las diferentes áreas de la planta y de la colocación de los diversos accesorios que se presenten en cada línea.

En caso de no contar con el diagrama pertinente, se puede tener la opción de trazarlo conforme se realiza la inspección de los accesorios de la línea.

El equipo y materiales empleados para esta metodología, permiten la realización del estudio de manera práctica y segura. Se emplea lo siguiente:

- pirómetro óptico
- cinta métrica
- guantes de cuero

Con el pirómetro óptico se obtiene el valor de la temperatura de la tubería o del equipo en lugares de difícil acceso, siendo riesgoso intentar sustituirlo mediante el empleo de termómetros de superficie.

Los parámetros que se tienen que registrar deben de ser los siguientes:

- presión del vapor,
- diámetro de la tubería,
- longitud equivalente de la tubería, en tramos por cada

sección o hasta cada accesorio o desperfecto de la línea,
- longitud de la tubería sin aislante,
- temperatura exterior de la tubería,
- temperatura ambiente,
- caracterización del tipo de accesorio (el cual se debe de codificar para su posterior registro),
- para las fugas, registrar el diámetro aproximado del orificio de escape de vapor,
- en el caso de trampas de vapor, indicar si descarga al drenaje, a la atmósfera o a la línea de retorno de condensados,
- Arreglo de las tuberías.

Paso número 2.

Posteriormente, se recopilarán las características de diseño, es decir, la presión y el diámetro de la tubería a la cual opera la planta, los diferentes tipos de trampas de vapor que se encuentran instaladas, con las características de capacidad de descarga, presión diferencial y el diámetro nominal.

Para el aislamiento térmico, se debe saber el tipo y espesor que se encuentra instalado.

Paso número 3.

El punto principal es identificar las características de operación, para lo cual es recomendable conocer las diferentes formas en que puede estar conectada una trampa de vapor, el tipo recomendable para ese servicio y los problemas más frecuentes que se presentan en su operación.

Para el análisis del aislamiento térmico, se define el espesor óptimo aquel al que la línea debe de operar en función de los costos del material aislante y precios de la energía.

Para el resto de la línea, se identifica el número y tipo de accesorios, las fugas presentes en alguna sección de la tubería o accesorio.

Las trampas de vapor son válvulas automáticas que permiten eliminar el vapor condensado en la línea, el aire y los gases incondensables como el CO_2. Estos gases se forman y mezclan con el vapor, reduciéndole el contenido de calor y afectando la eficiencia general del sistema. Por ello, es muy importante conocer las diferentes formas de identificar las fallas en una trampa de vapor.

Para revisar el funcionamiento de los purgadores de vapor se presentan tres modalidades que permiten llevar a cabo la evaluación de manera rápida y sencilla.

El primer caso es el denominado "método de prueba con pirómetro". En el se debe de medir la temperatura de entrada y la de salida de la trampa de vapor; si ambas temperaturas no difieren considerablemente es una señal de que está dejando pasar el vapor, pero si la diferencia de temperatura es notoria y además las descargas son intermitentes (variando la temperatura de la salida) indica que la trampa de vapor opera satisfactoriamente. Si las descargas no son intermitentes significa que la trampa se encuentra bloqueada.

El segundo método es el llamado "prueba con oído", mediante el cual se emplea una varilla redonda en la parte superior de la trampa y el otro extremo de la varilla se coloca en el oído. Las descargas intermitentes se pueden oír claramente, un ruido de maraca dentro de la trampa indica pérdida de vapor. Debe de tenerse la suficiente precaución de no confundir las descargas intermitentes de la trampa con el sonido ocasionado por el llamado golpe de ariete.

Un tercer método es el de la "prueba con guantes", la cual consiste en el empleo de guantes de cuero de carnaza. Se coloca una mano en la entrada de la trampa y la otra en la salida. Si se detecta diferencia de temperatura y ciertas vibraciones periódicas indican la buena operación de la trampa. Si las temperaturas son iguales indican pérdida de vapor por mal funcionamiento de la trampa.

Mediante los alguno de los tres métodos anteriormente mencionados se analizan cada uno de los purgadores de vapor, llenando el formato que se anexa.

Para facilitar el levantamiento de información en las líneas, se recomienda dividirlas por secciones, las que posteriormente faciliten la rápida ubicación del lugar donde se vayan a realizar las modificaciones recomendadas.

Una vez conocida la forma de identificar el correcto funcionamiento de las trampas de vapor se procede a realizar el levantamiento de la línea, en la que se revisa cada uno de los accesorios, anotando las observaciones que se tengan para cada caso específico.

Paso número 4.

Los cálculos que se deben realizar son los siguientes:

- Pérdidas de calor por la falta de aislamiento, que están en función de las condiciones de la ubicación de la tubería (a la intemperie o en algún área cubierta); así como de su temperatura y la del ambiente. Los valores estimados de la pérdida del calor se pueden obtener de algunas tablas o gráficas que existen en la literatura.

- Determinar el espesor óptimo de aislamiento en la tubería, que está en función de la relación que se presenta al incrementar el espesor del aislante, lo cual disminuye las pérdidas de calor, pero incrementa los costos de inversión.

- Disminución del agua de retorno de condensados, la cual se presenta por las trampas de vapor que se encuentran descargando a la atmósfera y de las fugas presentes en la línea. Para el caso de las trampas que descarguen a la atmósfera (condensado limpio), se calcula el flujo de la descarga de la trampa de acuerdo con las características que tenga (modelo, tamaño y presión de operación). Cuando la pérdida de calor se debe a una fuga en la línea se debe de considerar el diámetro aproximado del orificio de la fuga y la presión a la que se encuentra la línea.

- Trampas de vapor fuera de operación. Para considerar este caso se tiene que sumar el número de trampas de toda la línea, hasta llegar a la máquina de vapor, para evaluar el condensado que no se ha desalojado. Este condensado se acumula en la máquina y para cada caso específico se debe de identificar el cambio de la eficiencia del equipo considerando una película de agua que se interpone entre el vapor y la superficie de intercambio de calor.

- También se debe de tomar en cuenta el número de accesorios que se encuentran por línea, anotando aquellos en los que no sea de importancia su colocación actual, y el valor de la longitud total de la línea. Con esto se obtiene la longitud equivalente que le corresponde. Posteriormente se procede a calcular las pérdidas de energía debidas a la fricción producida dentro de la

tubería. Si se tiene un valor alto en la fricción producida por un número grande de accesorios se presenta una caída de presión que afecta nuevamente la eficiencia del equipo, además de que se debe de compensar con el incremento de la presión en los generadores de vapor.

Paso número 5.

En forma paralela a los cálculos anteriores se debe calcular el precio por la generación de vapor, el cual se expresará en pesos/tonelada de vapor a la presión que se genera. Se obtiene de la siguiente manera:

- Se divide el flujo de vapor entre el flujo de combustible en la misma unidad de tiempo.

$$(kg/h)/(m^3/h) = kg_{vapor}/m^3_{comb}$$

- Se obtiene el costo unitario del combustible entre el valor anteriormente calculado.

$$(\$/m^3_{comb}) / (kg/m^3_{comb})$$

$$= \$ / kg_{vapor}$$

- Una vez conocido el precio del kilogramo de vapor se obtiene el costo de la kilocaloría producida, dividiendo el $/kg de vapor entre la entalpía del vapor a la presión de trabajo.

$$(\$/kg_{vapor}) / (kcal/kg_{vapor})$$

$$= \$/kcal$$

Con esto se puede obtener el costo de los beneficios al realizar las modificaciones pertinentes al calcular las pérdidas de calor en las líneas.

IV. RESULTADOS.

De los cálculos realizados se pueden obtener las observaciones y sugerencias para las posibles modificaciones al sistema de distribución del vapor.

Dentro de las modificaciones más frecuentes se presenta la mala instalación de las trampas de vapor, la selección inadecuada de la trampa para el tipo de servicio y la falta de mantenimiento a las mismas.

En lo correspondiente al aislamiento térmico, se tiene la ausencia de parte del aislante, además algunas veces se deja de operar alguna línea y no se desconecta completamente, dejando únicamente cerrada una válvula de paso. Esto permite sugerir la periodicidad de la supervisión de las líneas y el banco de refacciones necesario para el oportuno mantenimiento.

Cada uno de los casos de fallas en la línea se identifica con pérdidas pequeñas, pero que al sumarse representan ahorros hasta de 10% respecto del vapor total generado.

Para traducir el ahorro de la energía a valores económicos se multiplica la cantidad de energía ahorrada por el costo de la energía por concepto del consumo de combustible extra que se tendría que quemar si no se llevan a cabo estas modificaciones.

Además del costo de la energía que se desperdicia por la mala operación de los accesorios de las líneas, se le puede sumar la cantidad de condensado que finalmente se recupera, que al recircularse disminuye el flujo del agua tratada para su uso en las calderas.

La inversión realizada en la sustitución de accesorios que se encuentren en pésimas condiciones o aquellos que se pueden reparar, indican el nivel de la inversión a realizar. Esto permite evaluar la rentabilidad del mantenimiento dichos accesorios, que varía de

acuerdo con las condiciones específicas de cada planta.

Las tasas de recuperación de la inversión en cada caso deben de dividirse de acuerdo al grupo que pertenezcan, ya sea de aislamiento, trampas de vapor o accesorios de la tubería. Esas tasas que se obtengan deben de resultar, normalmente, dentro del valor de un año. Para el caso del aislamiento debe tomarse en cuenta el tiempo de vida estimado para el tipo de aislante específico.

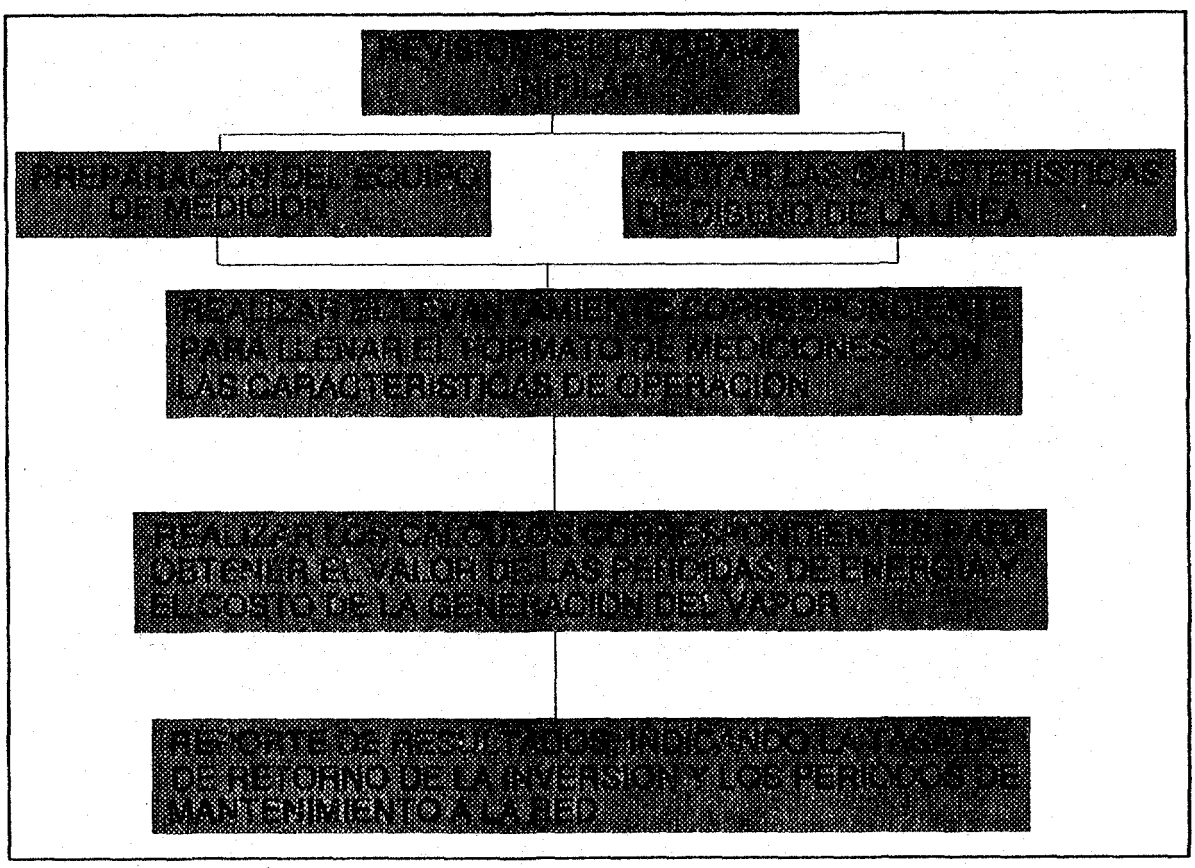
V. CONCLUSIONES.

La falta de inspección y mantenimiento a las líneas de distribución de vapor y un desconocimiento de la importancia que representa el funcionamiento correcto de las trampas de vapor, provoca que en algunas secciones se encuentren en malas condiciones y que se tengan purgadores en mal estado hasta en un 45% del total instalado; además, se encuentran descargando a la atmósfera o al drenaje, lo que provoca disminución en la eficiencia del equipo.

Para el caso del aislamiento se identifica que las plantas industriales en sus instalaciones a la intemperie es donde tienen problemas más frecuentes de ruptura en el aislante. No obstante, es frecuente encontrar que la tasa de amortización sobrepasa valores de 3 años.

Agradecimiento:

Los autores reconocen y agradecen el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el desarrollo de este estudio.



FORMATO DE MEDICION.*

Número de línea_____ Presión_____ Diám.tubo_____ Flujo_____

Longitud (m)	Accesorio	$T_{entrada}$	T_{salida}	Notas

* Para el caso de accesorios como válvulas, codos, etcétera, es recomendable anotar el tipo de accesorio y las notas correspondientes al estado del aislamiento. Cuando se tiene una tubería o accesorios sin aislar es necesario anotar todos los datos, en el lugar correspondiente a la Tsalida se debe anotar la temperatura ambiente y en Tentrada se anotará la temperatura de la superficie sin aislamiento. En el caso de tener trampas de vapor no es necesaria la longitud, en el lugar correspondiente a Notas se debe indicar el tipo de trampa, las condiciones de la instalación y si se encuentra operando o no.

MX9800104

APLICACION DEL SISTEMA EXPERTO "SEILUM" PARA LA EVALUACION ENERGETICA DE LA ILUMINACION EN LA UNAM, FASE I: ACATLAN

Nicolás Kemper Valverde (*)
Felipe Lara Rosano (*)
Augusto Sánchez Cifuentes (**)

(*) Laboratorio de Inteligencia Artificial
Instituto de Ingeniería, UNAM
(**) Programa Universitario de Energía, UNAM

RESUMEN

En este trabajo se discuten las características del Sistema Experto "SEILUM" y su primera validación luego de haber sido empleado para comparar la auditoría energética de las instalaciones de iluminación llevada a cabo en la Unidad de ACATLAN de la UNAM.. De acuerdo a estos resultados se plantean las perspectivas de su empleo generalizado en las demás unidades, así como en la pequeña y mediana industria mexicana.

1. ANTECEDENTES

Actualmente se está confirmando en los países desarrollados y en algunos casos en México, la gran utilidad de los sistemas expertos cuando son aplicados a resolver problemas complejos de ingeniería y otras áreas del conocimiento. Precisamente bajo tales antecedentes, en el Instituto de Ingeniería de la UNAM se orientó la aplicación de esta técnica computacional al desarrollo de sistemas expertos como herramientas de apoyo dentro de la pequeña y mediana industria, para desarrollar programas de ahorro y uso eficiente de la energía sin tener que recurrir a consultores externos o técnicos especializados en temas energéticos, siendo SEILUM uno de ellos aplicado a la iluminación industrial (1).

Por otro lado, el Programa Universitario de Energía de la UNAM está patrocinando el Gran Proyecto Universitario denominado "La UNAM un Modelo Nacional de Eficiencia Energética", cuyo objetivo general es: racionalizar los consumos energéticos de la U.N.A.M., investigar, desarrollar y demostrar formas novedosas o pioneras de suministrar y utilizar la energía con el menor impacto en el medio ambiente, y en general fomentar una cultura de racionalidad energético-ambiental, adecuando a este propósito la enseñanza, la investigación y la difusión. Dentro del mencionado proyecto se plantean entre las actividades del arranque del mismo la realización de diagnósticos energéticos en las instalaciones de la UNAM, como un proyecto técnico aplicado.

Una de las etapas en la implementación de sistemas expertos es la validación del mismo a través de su empleo en casos reales. Es por ello que aprovechando el desarrollo del proyecto de Racionalización Energética de la UNAM, en la evaluación de la iluminación se está empleando el sistema experto SEILUM para comparar las mediciones realizadas en el campo, así como para confirmar que tanto las bases de datos y de conocimientos de este sistema son correctas, de tal modo que se esté en condiciones de promocionar su divulgación dentro de la pequeña y mediana

industrias mexicanas. Precisamente en este trabajo se presentan los resultados de la primera fase de esta aplicación-validación..

2. SEILUM Y EL AHORRO DE ENERGIA EN ILUMINACION

SEILUM afronta el problema del uso eficiente de energía eléctrica en la iluminación de plantas industriales respondiendo a las siguientes preguntas (2):

.¿Cuáles son los niveles de iluminación recomendables para cada tipo de actividad?
.¿Cuáles son los niveles de iluminación actuales para cada tipo de actividad?
¿Qué tanta energía eléctrica consume la instalación de iluminación?
¿Qué tanta potencia eléctrica ha sido instalada para iluminación?
¿Qué tan eficiente es la instalación de iluminación?
¿Cómo mejorar la eficiencia de la instalación de iluminación en el consumo de energía eléctrica?
¿Qué ahorros de energía se obtendrían al mejorar la eficiencia de la instalación?
¿Cuánto costaría la implementación de tales mejoras energéticas?
¿En que tiempo se recuperaría las inversiones adicionales?

No hay respuesta simple ni universal para todas las situaciones, pero SEILUM permite que la instalación existente o propuesta sea examinada razonadamente, por lo que en la mayoría de los casos identificará oportunidades de ahorro tanto energéticos como económicos.
Está claro que el problema general de aplicación de SEILUM es el diagnóstico energético de sistemas de iluminación revizando los siguientes problemas específicos:

a)Indentificación y evaluación de medidas de ahorro, que comprende los siguientes problemas:

.Asignación de los niveles de iluminación recomendables para cada actividad.
.Evaluación de los niveles de iluminación actuales para cada tarea o actividad.
.Evaluación del equipo e instalaciones: lámparas, luminarios y balastros.
.Evaluación de la utilización del alumbrado y su integración con la luz natural disponible.
.Evaluación de la conservación y mantenimiento del equipo e instalaciones.
b)Evaluación económica y selección de medidas, que abarca la evaluación de:

.Inversiones adicionales para cada medida de ahorro
.Ahorros energéticos y aconómicos de cada medida
.Periodo de recuperación de las inversiones adicionales.

3. DESARROLLO DE SEILUM

SEILUM fué diseñado y desarrollado con la finalidad de ofrecer al personal de la pequeña y mediana industria, así como a técnicos y consultores interesados en el tema una alternativa que les apoye en el logro de la optimización energética de los sistemas de iluminación.

Las características del desarrollo de SEILUM se describen en cada una de las etapas de este proceso.

3.1 Adquisición del conocimiento

Para capturar el conocimiento experto se consideraron los siguientes aspectos principales: sitio de observación, fuentes y niveles de conocimiento experto, criterios para la selección de conocimiento experto, características de las entrevistas a expertos y tipo de preguntas, registro y selección del conocimiento adquirido.

3.1.1 Sitio de observación

Dado que SEILUM está orientado a los sistemas de iluminación industrial, la definición del lugar o sitio de observación está inherente a la direccionalidad o sujeto del proyecto, en este caso cualquier industria. Sin embargo para delimtar el universo de sujetos de la aplicación, se tuvo que visitar varias industrias de las diversas ramas y tamaños a fin de:

.Identificar características generales y específicas para la definiciónde tareas y zonas de trabajo, lo cual nos permite asignar valores de niveles de iluminación recomendados.

.Identificar características generales y específicas reales del uso de la iluminación artificial y natural.

.Identificar el vocabulario familiar sobre iluminación que se emplea en la industria.

.Identificar las características del uso de energía eléctrica para iluminación, principalmente en lo referido a tarifas y al control del consumo.

.Seleccionar las ramas industriales comunes para su agrupación respectiva según la Clasificación Mexicana de Actividades Económicas y de Productos.

3.1.2 Fuentes y niveles de conocimiento

Las fuentes de conocimiento empleadas son:

a)Fuentes escritas: tratados de iluminación, manuales técnicos de iluminación y de uso eficiente de energía, revistas diversas, catálogos de fabricantes, etc.

b)Conocimiento experto humano. en esete caso se recuperó el conocimiento de los usuarios de sistemas de iluminación (pequeña y mediana industria), fabricantes de tecnologías de iluminación (Philips, Holophone, General Electric, Crouse Hinds, Osram, etc.), consultores en el área de iluminación y auditorías energéticas, y profesores e investigadores universitarios.

Los diferentes niveles de conocimiento experto considerados para la elaboración de las reglas de producción y las bases de datos, se agruparon como sigue:

a)De las fuentes escritas, en los tratados de iluminación se localizó conocimiento formal como son los cálculos generales de estos sistemas. En los manuales técnicos se localizan diversas recomendaciones globales para el uso eficiente de la energía siendo el conocimiento más específico pero no de aplicación inmediata, aunque permitió elaborar muchas reglas heurísticas. En las revistas y catálogos de fabricante, se encontró conocimiento más específico de uso inmediato, especialmente aquella información técnica para la elaboración de las bases de datos, y también para la elaboración de algunas reglas para la toma de decisiones.

b)En cuanto al conocimiento experto, prácticamente todos los consultados tienen al menos un grado universitario y con un mínimo de 5 años dedicados a aspectos de energía e iluminación, tanto en el uso como en la fabricación y distribución (venta). En ese sentido, el conocimiento experto recuperado de expertos humanos está prácticamente al mismo nivel y el tipo de información obtenida son conocimientos detallados que nos permitió mejorar la estructura de la base de conocimientos adicionándole muchas reglas prácticas de decisión y selección de equipos. Conviene anotar que prácticamente no surgieron conflictos de opiniones de expertos, más bien todas versionesa dads para la solución de los componentes del problema del sistema fueron complementarias entre sí reforzadas con los conocimientos rescatados de las fuentes escritas.

3.2 Representación e implementación

3.2.1 Elección del shell

Para la representación del conocimiento experto capturado, es decir para el manejo y ejecución de la produción de las reglas que conforman la base de conocimientos de SEILUM, se empleó el paquete (Shell) para desarrollar sistemas expertos EXSYS Profesional (12).

3.2.2.Arquitectura de SEILUM

Puesto que la identificación y análisis de mejoras que permiten el ahorro de energía en instalaciones de iluminación requiere el empleo de un conjunto de conocimientos empíricos y técnicos estructurados en un flujo secuencial de información y toma de decisiones, la arquitectura de SEILUM se conforma de varias fases sucesivas de ejecución, cada una de las cuales brinda información procesada (resultados parciales) para la ejecución de la fase subsiguiente hasta la toma de decisión final, que sería la elección de las medidas más atractivas técnica y económicamente.

Cada una de las fases se estructuró como módulos interrrelacionados por un flujo secuencial de información entre ellos. Estos módulos son:

.Modulo 1: Análisis del servicio de alumbrado
.Módulo 2: Análisis de la utilización del alumbrado
.Módulo 3: Análisis de la conservación del alumbrado
.Módulo 4: Análisis del equipo e instalaciones de alumbrado
.Módulo 5: Análisis económico de las medidas de ahorro.

3.2.3. Base de conocimientos

La base de conocimientos de SEILUM está integrado por reglas de producción, las cuales están ligadas a bases de datos y programas externos. Las reglas son partes del conocimiento que permiten al sistema experto establecer conlusiones hasta arribar a las recomendaciones de ahorro. Cada regla tiene el siguiente formato:

IF, condiciones
THEN, condiciones y alternativas
ELSE, condiciones y alternativas
NOTE
REFERENCE.

Puesto que todos los módulos requieren de información adicional a la que brinda el usuario, SEILUM está provisto de interfaces externas para ser empleadas según necesidades específicas. En el sistema se manejan dos tipos de archivos externos:

a)Bases de datos, creadas en lotus 123, para obtener información referente a: niveles de iluminación recomendables, características técnicas de equipos(rendimientos luminosos de lámparas, coeficientes de utilización de luminarias, factores de mantenimiento, etc), factores luz del día para ventanas, claraboyas, techos dientes en sierra, etc.

b)Programas externos elaborados en lenguaje BASIC, para calcular los periodos de recuperación de las inveriones adicionales de las medidas de ahorro que recomienda el sistema experto.

3.2.3. Interfaces con el usuario

Para que SEILUM esté en la capacidad de razonar requiere información que debe ser brindado por el usuario a través de lo que se concoce como "interfáz con el usuario". Estas interfaces son pantallas de texto donde SEILUM consulta al usuario a través de preguntas con varias respuestas de las cuales el usuario debe elegir solo una de ellas. Este grupo de respuestas a cada pregunta, son todas las posibilidades de información que puede tener el usuario según sea el caso o tipo de insdutria.

De igual modo se ha provisto al sistema de pantallas gráficas para orientar las respuestas del usuario. Por otro lado, también cuenta con hipertextos para que el usuario obtenga una explicación adicional sobre algún término que no conozca o del cual tenga duda. Estas palabras generalmente se le presenta al usuario sobreiluminadas. Por otro lado, ya que generalmente las reglas no se muestran al usuario cuando se está corriendo el sistema, exsite la alternativa "WHY" (porqué?) para que el usuario consulte que regla está empleando el sistema en su razonamiento, esto puede ser durante la corrida, o al final, para consultar el porqué de algún resultado obtenido.

4. CARACTERISTICAS DE OPERACION DE SEILUM

SEILUM a través de una comunicación directa con el usuario en una computadora, obtiene de éste la misma información necesaria que requeriere para su razonamiemto. La información básica debe ser consolidada por el usuario y es principalmente:

.Características de la industria: rama industrial y características de las actividades que se realizan asi como de los trabajadores que las ejecutan.
.Clasificación de los ambientes en zonas de trabajo: oficinas, almacenes, naves industriales, estaciones de proceso, etc.
.Características de los ambientes: altura, anchura, longitud, forma, color de paredes y techos, acceso a luz natural, tipos de ventanas, claraboyas o techos dientes en sierra, dimensiones de las fuentes de luz natural, etc.

.Características de las instalaciones: Tipo de lámparas y lumiarios que se están empleando, altura de montaje de luminarios, potencia de lámparas y balastros, número de lámparas, costos, etc.

.Características de la utilización: horas de uso de luz artificial y luz natural, número de interruptores, tipo de control de la luz natural, etc.

.Características del mantenimiento: periodos de limpieza, tipo de atmósfera del ambiente de trabajo, periodos de reemplazamientos de lámparas y luminarios, etc.

.Características generales: tarifa de energía eléctrica, nuevas inveriones, costos diversos, etc.

Las funciones operativas de SEILUM que efectuan cada módulo son las siguientes:

Módulo 1 :Análisis del servicio de alumbrado.: Este módulo asigna los niveles de iluminación recomendados, determina el nivel de iluminación actual y evalúa si está de acuerdo con el nivel recomendado. Así también, evalúa el consumo de energía, la potencia instalada, las exigencias ambientales, excesos de iluminación, y posibles ahorros. Las recomendaciones se refieren al cambio de color de paredes y techos.

Módulo 2 :Análisis de la utilización del alumbrado: Evalúa cómo se utiliza la instalación de alumbrado en el tiempo y en el espacio, así como si su uso se armoniza con la disponibilidad de luz natural. Las medidas que recomienda el módulo pueden ser: incrementar el uso de interruptores, instalar sensores para emplear la luz natural, instalar sensores de ocupación y de temperatura, eliminar luces innecesarias, instalar temporizdores en lugares cuya ocupación es intermitente, cambiar horarios de trabajo y de limpieza, etc.

Módulo 3 :Análisis de la conservación del alumbrado: Con este módulo el usuario puede analizar cómo se conservan los equipos de alumbrado, obteniendo recomendaciones de métodos y programas de conservación (mantenimiento) que deben adoptarse. Las medidas que recomienda el módulo pueden ser: programas de limpieza de lámparas y luminarias y programas de reemplazamientos.

Módulo 4 :Análisis del equipo de alumbrado: Este módulo permite realizar un análisis de la instalación actual para determinar aquellos equipos que influyen negativamente en el balance energético del alumbrado o en su economicidad, diagnósticar la posibilidad de reemplazamientos, modificaciones, etc. También analiza si la instalación permite una operación racional identificando medidas correctoras que puedan implantarse. Las recomendaciones del módulo son: sustitución de lámparas ineficientes, empleo de balastros mas adecuados, cambiar luminarias, etc.

Módulo 5 : Análisis de la rentabilidad. A tarvés de este módulo se calculan las inversiones adicionales, los ahorros económicos y los periodos de recuperación de para cada medida y en base a este análisis, se seleccionan las medidas más apropiadas técnica y económicamente.

El tiempo de consulta puede oscilar entre 10 a 30 minutos, en función de los datos proporcionados por el usuario, de las bases de datos que consulte el sistema al realizar la evaluación energética del sistema de iluminación, y de las necesidades de consulta..

SEILUM es aplicable tanto para evaluar instalaciones de iluminación existentes (mejoras puntuales o específicas), como instalaciones de iluminación nuevas (mejora total de la instalación) y puede ser usado por un usuario no necesariamente especializado en iluminación industrial, ni en computación.

5. PLANEACION DE LA APLICACION

Ya se ha manifestado al inicio de esta ponencia que la presente aplicación persigue dos objetivos intimamente complemenrios: por un lado apoyar al proyecto de racionalización energética que se viene desarrollando en la UNAM, y por otro lado, validar las bases de concocimiento de SEILUM así como sus bases de datos.

4.1 Programa de Racionalización energética de la UNAM

La primera etapa del proyecto de racionalización energética en la UNAM es el

diagnostico energetico realizado en las instalaciones de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Acatlan, cuyo objetivo fué evaluar los potenciales de ahorro que se tienen en la misma asi como analizar cuales serian las medidas mas adecuadas que se pueden efectuar con la finalidad de tener un uso racional de la energia, con el consiguiente beneficio economico para la UNAM.

Las diferentes medidas de ahorro producto de este diagnóstico se dividen en tres categorías:

a)Medidas de implementación inmediata con muy poca o nula inversion economica pero que implican cambios de actitud y una supervision administrativa.
b)Medidas que requieren algo de inversion con el fin de tratar de optimizar la programacion y el mantenimiento para mejorar las condiciones de operacion de los sistemas y equipos consumidores de energia.
c)Medidas que implican inversiones de consideracion para modificar o complementar el diseno original de los sistemas consumidores de energia.

4.2 Alcance de la aplicación de SEILUM en la UNAM

Por las características de la aplicación y del desarrollo del proyecto de racionalización energética de la UNAM,, se han considerado dos fases:

-Fase 1: Aplicación del módulo 1 de SEILUM para establecer los niveles de iluminación recomendables y los actualmente instalados para cada ambiente seleccionado. Estos valores fueron comparados con los realmente medidos a fin de establecer las desviaciones de cálculo o detectar los errores del sistema experto en las bases de datos y bases de conocimiento.

Fase 2: En base al análisis de la comparación de resultados y la detección de incongruencias, se llevará a cabo los ajustes necesarios en SEILUM. Luego de ello, se harán las aplicaciones completas, es decir, se coorerán todos los módulos del sistema, a fin de obtener las recomendaciones de ahorro y los ahorros respectivos para cada ambiente a evaluar.

Fase 3: Comprende la aplicación de SEILUM en las otras unidades de la UNAM, y posiblemente en Ciudad Universitaria.

6. RESULTADOS Y PERSPECTIVAS

Los resultados que se comentan son los referentes a la validación de SEILUM, ya que los resultaos de ahorro de energía del proyecto de racionalización energética de a UNAM es tema de otro informe. En ese sentido, podemos decir que esta primera validadción cumple sus objetivos, por tratarse de una validadción no de laboratorio sino de campo.

La comparación de datos medidos y estimados por SEILUM se hace considerando el cálculo de las desviación o error de estimación. Para ello se tomo como:

.Valor calculado por SEILUM = Valor ideal
.Valor medido = Valor real

$$\% \text{ Variación} = \frac{\text{Valor ideal - Valor real}}{\text{Valor real}}$$

De acuerdo a ello, en la Tabla 1 se incluyen los resultados obtenidos al avaluar un total de 134 ambientes entre salones de clase, auditorios y cubículos de profesores..

Estos resultados nos indican que alrrededor del 60% de los casos están dentro del rango aceptable, lo que nos indica que las bases de datos yde conocimientos de SEILUM son aceptables. Analizando los datos se observa que las variaciones más significativas se presentan en los valores de los niveles de iluminación natural, por lo que se revizarán los factores luz del día, ya que los que actualmente se emplean fueron tomados curvas desarrolladas para España. Sin embargo también es posible que se estén cometiendo algunos errores de medición, ya que éstas fueron planificadas no con fines de validación del sistema experto.

En cuanto a las perspectivas de utilización de SEILUM, una vez que esté completamente validado, estas pueden orientarse basicamente hacia dos aspectos importantes:

a)Para apoyar el ahorro y uso eficiente de energía en los sistemas de iluminación de la

TABLA 1: VARIACION ENTRE NIVELES DE ILUMINACION MEDIDOS Y NIVELES DE ILUMINACION CALCULADOS POR "SEILUM"

RANGO DE VARIACION	NRO. DE AMBIENTES	% DE AMBIENTES
Hasta el 10%	34	25.37
Entre 10% y 20%	57	42.53
Entre 20 y 30%	29	21.64
Mas del 30%	14	10.46

industria mexicana. Con pequeñas modificaciones y ampliaciones de bases de datos y reglas, se puede aplicar en centros comerciales, complejos habitacionales, universidades y otras instalaciones.

b)Podría ser usado para la evaluación del personal encargado de hacer mediciones energéticas, ya que por comparación de los datos del sistema experto y los medidos, es posible detectar sesgos de error del medidor, de tal forma que el personal corriga tales actitudes que generalmente se presentan en cual tipo de medición que se haga.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Kemper N. "Sistema Experto Aplicado al Uso Eficiente de Energía en Iluminación Industrial", Tésis de Maestría, División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1991.

[2] Kemper N., Lara R., Viqueira L. ,"Aplicacion de Sistemas expertos al uso eficiente de energía en lluinación industrial", APTAE,1991.

[3] "Manuales técnicos y de instrucción para conservación y ahorro de energía. Tomo 10: Iluminación Industrial", Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía-IDAE.,Madrid, España 1983.

[4] "Manual de Eficiencia Energética Eléctrica en la Industria", Centro para el Ahorro y Desarrollo Energético y Minero S.A., CADEM, Bilbao, España, 1984.

[5] Chapa C.J., "Manual de Instalaciones de Alumbrado y Fotometría", Editorial Limusa S.A. y Noriega Editores. México, 1990.

[6] Ramiréz V.J. "Luminotécnia: Enciclopédia CEAC de Electricidad, Ediciones CEAC, S.A., Barcelona, España, 1974.

[7] "Manual de Alumbrado", Centro de Ingeniería y Diseño de Alumbrado de N.V. Philips. Editodrial Paraninfo S.A., Madrid, Esoaña, 1976.

[8] "Catálogo de Iluminación" ,Crouse-Hinds, Edición Julio 1990. México.

[9] "Catálogo Condensado 1990", Holophane S.A de C.V., México, 1990.

[10] Frost R. ,"Bases de datos y Sistemas Expertos, Ingeniería del Conociemiento", Ediciones Díaz de Santos, S.A. .Madrid, 1989.

[11] Intelligence Ware, INC. Experteach-III, Los Angeles 1988.

[12] EXSYS,Inc. Exsys Professional Expert System Develpment Package. Albuquerque, USA, 1988 .

MX9800105

INTRODUCCION DE CRITERIOS Y CONCEPTOS DE AHORRO DE ENERGIA EN LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS

ING. JORGE A. RINCON NADER
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
DIVISION DE SISTEMAS ELECTRICOS

R E S U M E N

Se describe el proyecto " **INTRODUCCION DE CRITERIOS Y CONCEPTOS DE AHORRO DE ENERGIA EN LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS** ", que tiene como objetivo inmediato recomendar, y en algunos casos reglamentar el uso de equipos y dispositivos -- ahorradores y la adopción de actitudes y procedimientos que conduzcan a un ahorro y- uso racional y eficiente de la energía eléctrica.

A T E C E D E N T E S

Con el fin de contar con una estructura organica rectora de acciones y lineamientos para garantizar la suficiencia -- energetica a traves de una mejor productividad y del ahorro y uso eficiente de energía, el 28 de septiembre de 1989, - se creó, por decreto presidencial, la - " **COMISION NACIONAL PARA EL AHORRO DE - ENERGIA** " **("CONAE")**, a la cual pertenece la Comisión Federal de Eléctricidad, entidad que en congruencia con éste esfuerzo nacional configura el " **PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO** " **(PAESE)**, poniendolo en marcha en diciembre de 1989.

El 14 de agosto de 1990 se constituyó - el " **FIDEICOMISO DE APOYO AL PROGRAMA- DE AHORRO DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO** " **(FIDE)**. Entre sus objetivos figura el otorgamiento de recursos para - la realización de estudios y trabajos - para optimizar el uso de la energía - - eléctricas.

Autorizado por su consejo técnico, el - **FIDE** inicia en 1991 una serie de proyectos, uno de ellos es el de " **REVISIONES Y MODIFICACIONES A LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS PARA INTRODUCIRLES CRITERIOS Y CONCEPTOS DE - AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA** ", para lo cual solicitó al Instituto de Investigaciones eléctricas su desarrollo y coordinación.

El Instituto a su vez, solicitó que todas las modificaciones y ampliaciones - propuestas por personal técnico del mismo, fueran discutidas y avaladas por ingenieros de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, Comisión Federal de Eléc-- tricidad, Petroleos Mexicanos, Compañía - de Luz y Fuerza del Centro, AMEFACE, CIME, AMERIC, FIDE, UNAM Y PAESE. Para esto desarrolló reuniones con dichas organizaciones y de estas surgió un producto final - que fue presentado ante la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial.

ESTADO ACTUAL DE LAS NORMAS TECNICAS PARA INSTALACIONES ELECTRICAS.

Las normas técnicas para instalaciones -- eléctricas son expedidas en México por la Secretaría de Comercio y Fomento Indus- - trial (SECOFI) a traves de la Dirección - General de Normas (D.G.N.) Este documento, cuya única edición data de 1981, es útilizado a nivel nacional por los peritos en instalaciones eléctricas, ya sean indus-- triales, comerciales, domesticas, etc., y hasta hace algunos años su contenido era extraordinario y cumplia perfectamente su objetivo que es la protección de equipo e instalaciones y la vida humana.

Siendo esto de muchisima importancia, sobre toda la vida; en las condiciones que se encuentra el país en cuanto al constante incremento en la demanda, incremento - que no se debe frenar cuando se trata del desarrollo, actualmente se requiere de la inclución en las mencionadas normas, de - conceptos sobre ahorro y uso racional de

de la energía eléctrica que ayuden a -- aliviar el cada día mayor problema.

DESCRIPCION DE LAS MODIFICACIONES HE - CHAS A LOS CAPITULOS 1,2,4 y 6

Despues de haber hecho un análisis a - las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, se concluyó que en los articulos 3 y 5 no tiene cabida ningun concepto de ahorro de energía, razón - por la cual se sugiere que se queden - como estan. En seguida se describen -- las modificaciones más sobresalientes hechas a los capitulos marcados en el titulo de esta sección.

C A P I T U L O 1

GENERALIDADES

Este capitulo resulta de mucho interes porque en el se introdujeron definiciones importantes tales como:

- Ahorro de energía
- Uso eficaz de la energía eléctrica
- Uso racional de la energía eléctrica
- Equipos y dispositivos ahorradores - de energía eléctrica.

Teniendo este tipo de definiciones se - procedió a introducirlas en todos los - articulos donde procedia, sin alterar - su configuración original, por ejemplo podemos anotar el articulo 102.1, Aplicación:

Actual.- Esta sección contiene requisitos de caracter general aplicables a las instalaciones para el uso de energía eléctrica.

Proyecto.- Esta sección contiene requisitos de caracater general a-- plicables a las instalaciones para el uso **eficiente, racional y seguro de energía eléc - trica.**

Otros de los puntos importantes que se sugieren en este capitulo son:

- Seleccionar los conductores en base a la caida de tensión y ésta calcularla utilizando el valor de la impedancia de los mismos.

- Se recomienda utilizar en toda instalación eléctrica equipos y dispositivos eficientes y ahorradores de energía .

C A P I T U L O 2

PROYECTO Y PROTECCION DE INSTALACIONES

Este capitulo contiene modificaciones y ampliaciones muy interesantes, destacando la creación de la sección 207, " **DISPOSITIVOS Y EQUIPOS AHORRADORES DE ENERGIA** ". Damos a continuación una relación de los puntos más importantes que - se incluyeron:

- Se propone la instalación en todas las acometidas de un dispositivo que impida que se sobrepase la demanda contratada.

- Se pretende incluir que los circuitos sean operados por controladores para - obtener ahorros de energía.

- Se mencionan las caracteristicas de los dispositivos y equipos ahorradores de energía.

- Se señalan algunos de los dispositivos ahorradores de energía recomendados, - tales como sensores de presencia, temporizadores, fotoceladas, etc.

- Se elaboró la tabla " **APLICACIONES DE DISPOSITIVOS AHORRADORES DE ENERGIA** "- en el que se marca el dispositivo recomendado de acuerdo a la funsión por -- desempeñar.

C A P I T U L O 4

EQUIPO ELECTRICO DIVERSO

En el capitulo 4 se recomienda en los articulos que lo permiten el uso de equipos y dispositivos ahorradores de energía,- los materiales adecuados para clavijas y contactos, el evitar arrancar simultaneamente un grupo de motores cuando esté alimentado por un mismo alimentador para disminuir perdidas y evitar " PICOS " en el consumo de energía, etc. Pero lo de - mayor interes es, sin duda la inclución de una sección nueva denominada " **FACTOR DE POTENCIA** " cuyos articulos más importantes son:

- Definiciones, sección en la que se define lo que es factor de potencia, fac

tor de potencia adelantado, atrasado, potencia activa, reactiva, aparente, etc.

- Métodos para mejorar el factor de potencia. En este artículo se mencionan los métodos para mejorar el factor de potencia, indicando que el más simple y económico es mediante el uso de capacitores y se indica la ubicación que deben tener en las instalaciones.

- Se marca en que porcentaje disminuyen las perdidas por efecto Joule al corregir el factor de potencia.

- Se menciona como calcular el factor de potencia en un período e instante determinados.

- Se indica en esta sección que el valor del factor de potencia reglamentado no debe ser inferior al 90 % y desde el punto de vista de ahorro de energía y eficiencia debe permanecer lo más cercano posible al 100 %.

C A P I T U L O 6

SUBESTACIONES

En este capítulo de subestaciones, como en todos los modificados, se introducen en los artículos que lo permiten, todas las definiciones relacionadas con ahorro y uso eficiente y racional de la energía eléctrica; además de agregar varios puntos más que aquí mencionamos.

- **MANTENIMIENTO** .- Se indica que todo el equipo que forma las subestaciones debe ser sometido a un buen mantenimiento predictivo y preventivo a fin de aumentar la confiabilidad, eficiencia y ahorro de energía.

- **ALUMBRADO** .- Con el objeto de reducir consumos y visualizar mejor las fallas, (Los arcos eléctricos se detectan fácilmente en la obscuridad) en una subestación se debe mantener el minimo nivel de alumbrado mientras no sean momentos de maniobras. Para optimizar el uso de energía se recomienda la instalación de lamparas y luminarios como los contenidos en el nuevo capítulo 7, Iluminación. Se indica que se debe tener un buen mantenimiento de limpieza y evitar falsos contactos ó fallas a tierra ajustando conexiones para asegurar un buen aprovechamiento de la energía.

- **TRANSFORMADORES** .- Este punto es muy importante en este capítulo de subestaciones. Aquí se indica que los transformadores de potencia deben ser selecciona dos para trabajar lo más próximo al 100% de su capacidad para obtener un máximo rendimiento. Se presenta una tabla en la que se dan las sobrecargas que pueden soportar, dependiendo de su tipo de enfriamiento, sin dañar significativamente su tiempo de vida útil.

DESCRIPCION DEL CONTENIDO DE LOS DOS NUEVOS CAPITULOS (7 y 8)

Considerando que las modificaciones hechas a los capítulos 1,2,4 y 6 no son suficientes para que se cumpla ampliamente el objetivo del presente proyecto, se crearon dos más, el No. 7, " **ILUMINACION** " y el No. 8, " **USO OPTIMO DE ENERGIA ELECTRICA** ", de tal manera que de acuerdo al proyecto, las nuevas normas estarian integradas por ocho capítulos. A continuación hacemos una descripción del contenido de estos dos nuevos capítulos propuestos.

C A P I T U L O 7

ILUMINACION

Este capítulo esta proyectado en torno a la iluminación interior y exterior; en el se recomienda lo relacionado con el tema para lograr un uso eficiente y ahorro de energía. A continuación hablamos de su contenido.

- Se dan las definiciones más usuales en iluminación, como cantidad de luz, eficacia y rendimiento luminoso, intensidad luminosa, etc.

- En una tabla se da un resumen de los parametros luminotecnicos fundamentales.

- Se describe un sistema de iluminación mencionando, entre otros puntos, que debe ser el óptimo aquel con el que se obtiene la iluminación necesaria con el menor consumo posible de energía.

- Se dan recomendaciones de construcción

de paredes y canceleria de edificios para que existan intercambios de luz entre distintas areas.

- Se haba de los colores de moviliario y paredes para obtener un mejor aprovechamiento del sistema de ilumina-- ción, mejorando, entre otras cosas - las reflectancias en interiores.

- Se indica que los espacios con va- - rias areas de utilización deben te-- ner control de alumbrado para cada - una de ellas, evitando así ilumina-- ción innecesaria.

- Respecto a la tensión de operación - se dice que toda lampara debe ser -- alimentada con la nominal para obtener una buena operación y un máximo rendimiento.

- Siempre que sea posible se recomienda la utilización de luz natural en interiores, instalando domos, ventanas grandes, etc.

- Se presenta una tabla que contiene - los tipos de lamparas recomendados - para distintos lugares de utilización.

- Para obtener considerables ahorros - de energía se recomienda el uso de - equipos y dispositivos ahorradores - de energía así como tomar axiones de control; esto es muy importante en - la iluminación de anuncios.

- En la selección de equipo se sugiere tomar en cuenta factores como rendimiento luminoso, color, caracteristicas opticas, factor de balastra, factor de potencia, factor de eficien-- cia de la balastra, luminarias de -- acuerdo a su caracteristica de dis-- tribución, coeficiente de utiliza- - ción, etc.

- Se dan factores de perdida de luz -- que se deben tomar en cuenta en el - diseño de un sistema de iluminación. También se listan las consideracio-- nes de diseño que conducen a un ahorro y uso racional de la energía. Se da la relación de datos fotométri-- cos que se deben útilizar.

- Referente a balastros se indica que se recomienda el uso de los termopro tegidos. Se dan recomendaciones de instalación para controlar su temperatura de operación. Se recomienda compatibilidad de lamparas y balastros. Para -- ahorrar energía se recomienda el uso de los de encendido rápido.

EN ESTE ARTICULO, EN LO QUE SE REFIERE A ALUMBRADO PUBLICO CONTIENE LO SIGUIENTE.

- Requisitos que se deben satisfacer en - un sistema de alumbrado público.

- Se muestra una tabla que contiene los - niveles promedio de iluminación recomendados en vias públicas y otra que muestra la relación de uniformidad.

- Se dan detalles de instalación de un -- sistema de alumbrado público.

- Se recomienda el control y calibración del equipo de lumbrado público tomando en cuenta la duración de la luz solar.

- Se dan indicaciones generales para proyectar los sistemas de alumbrado público de acuerdo a la siguiente clasificación:

  1) Avenidas y calles
  2) Pasos a desnivel
  3) Parques, zonas recreativas y deportivas
  4) Decorativo.- para este caso se da - una tabla guia con la cantidad de - luxes para distintos tipos de material por alumbrar.

- Se dan lineamientos de diseño para alumbrado público en zonas suburbanas y rurales.

- Se describen los elementos utilizados - en un sistema de alumbrado público.

  1) Tensión de alimentación
  2) Transformadores
  3) Equipos de protección y desconexion
  4) Conductores
  5) Fuentes luminosas
  6) Balastros
  7) Luminarios
  8) Postes y brazos
  9) Controles
  10) Fotoceldas

- Se dan los requisitos de una instalación eléctrica.

1) Tendido de conductores
2) Empalmes y derivaciones
3) Conexion de puesta a tierra
4) Tensión y caida de tensión
5) Balance de cargas
6) Pruebas de funcionamiento

C A P I T U L O 8

USO POTIMO DE ENERGIA ELECTRICA

El capítulo " **USO OPTIMO DE ENERGIA ELECTRICA** " es considerado de mucha importancia para el fin que persigue este proyecto. Consta de dos secciones, " **CRITERIOS Y CONCEPTOS PARA EL USO OPTIMO DE ENERGIA ELECTRICA** " que contiene, generales, motores, y transformadores y mantenimiento y " **RECOMENDACIONES PARA EL USO Y APLICACION DE DISPOSITIVOS AHORRADORES DE ENERGIA** ". Hacemos un resumen de dichas secciones.

CRITERIOS Y CONCEPTOS PARA EL USO OPTIMO DE ENERGIA ELECTRICA.

GENERALES.

- En esta sección se tocan puntos como los siguientes.

Se recomienda elegir las trayectorias más cortas posibles en alimentadores y evitar dobleces innecesarios y bruscos.- En toda instalación principalmente industrial y comercial se recomienda mantener la demanda máxima lo más baja y constante posible. También se pide sostener los niveles máximos de tensión con el fin de mantenerla lo más proximo a los valores nominales. Para darle una eficiente utilización, se recomienda que toda instalación eléctrica cuente con un dispositivo detector de fallas a tierra. Se sugiere hacer en las instalaciones eléctricas (industriales, comerciales, etc.) estudios de armonicas. Se recomienda utilizar equipo electromécanico de alta eficiencia.

MOTORES Y TRANSFORMADORES

- Esta parte de la sección contiene articulos sumamente interesantes en lo referente al ahorro de energía, ya que toda instalación requiere de un motor, un transformador ó ambos. Aquí mencionamos los más importantes.

Los motores deben ser seleccionados para trabajar lo más próximo al 100 % de su capacidad. Se recomienda la utilización de controles estaticos, especialmente para motores de velocidad variable. En la operación de motores se recomienda:

a) Tratar de reducir al minimo necesario los tiempos de operación.

b) Evitar el funcionamiento en vacio

c) Alimentarlos con frecuencia y tensión nominales.

- Se recomienda compensar la energía reactiva demandada por los motores de corriente alterna, principalmente los de mayor capacidad y número de horas en servicio. Siempre que sea posible se deben usar motores síncronos. Las perdidas eléctricas en los diversos componentes de un motor se transforman en calor, por esto se deben vigilar estrictamente los siguientes:

a) Bobinados aislados
b) Bobinados sin aislar
c) Colectores y anillos rozantes
d) Cojinetes
e) Paquetes magnéticos

Entre motor y máquina arrastrada se debe seleccionar un tipo de transmisión adecuada para evitar sobrecorrientes.

- Siempre que se tengan transformadores conectados en paralelo, deben tener la misma relación de transformación. Cuando un transformador vaya a permanecer mucho tiempo sin carga, se recomienda desconectarlo. La distribución de las cargas entre las fases de un transformador debe ser equilibrado en tensiones y corrientes para aumentar su eficiencia y el ahorro de energía. Siempre que sea posible, se recomienda útilizar transformadores que tengan cambiador de derivaciones.

MANTENIMIENTO

- Se recomienda que toda industria cuente con un programa continuo de inspección y mantenimiento de su instalación de su instalación eléctrica y lleve su estadistica. Se da una tabla en la que

se mencionan los puntos más importantes que se deben contemplar en un buen mantenimiento electromécanico con el fin de - obtener una operación eficiente y con esto evitar consumos innecesarios de energía.

RECOMENDACIONES PARA EL USO Y APLICACION DE DISPOSITIVOS AHORRADORES DE ENERGIA.

- Esta sección contiene recomendaciones de uso deequipos y dispositivos ahorradores de energía eléctrica en sistemas de fuerza, alumbrado y generales. Se dan definiciones relacionadas con el tema. Se recomienda conectar y desconectar todo equipo eléctrico de acuerdo a un programa de utilización. Se pide el uso de - - equipos y despositivos ahorradores de -- energía que permitan el control en las - instalaciones de alumbrado. Esto mismo se recomienda para control de aire acondicionado y ventilación. Se recomienda utilizar equipos y dispositivos ahorradores de energía para vigilar continuamente que la demanda máxima no exceda los - valores prefijados por el usuario. Se recomienda la utilización de equipos y dispositivos ahorradores de energía para -- reducir el consumo sin afectar el servicio, atraves del paro automático de los equipos que no se requieran permanente-- mente, tales como extractores de baño, - hidromasajes, equipos deportivos, etc.

IMPACTO

Los beneficios que se pueden obtener si se pone en practica lo escrito en este - proyecto son muchos y variados. Los más importantes son los grandes ahorros económicos y la continuidad y confiabilidad del servicio. Esto último, de una manera indirecta lleva, en muchos casos (**INDUSTRIA, COMERCIO, ETC.**) a una buena -- productividad, la cual representa también beneficios económicos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Despues de haber terminado el proyecto y haberlo estudiado y discutido detenida-- mente, se concluye que su contenido es - de gran interés para los habitantes y el país de México dada la situación por la que ahora pasa, ya que no es facil la -- construcción de centrales generadoras de energía eléctrica por el alto costo de - la instalación por kilowatt, lo que obliga a evitar derroches y consumos innecesarios, con el resultado lógico del ahorro.

Siendo este el primer proyecto de introducción de critérios, conceptos y sistemas de ahorro de energía en las Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas, es de recomendarse que se haga lo posible por llevar a cabo lo que en ellas - se indica, y además, que con las observaciones y experiencias que se obtengan, se hagan periodicas modificaciones o agregados para mejorarlas y cumplan mejor su buen objetivo hasta que llegue el momento en que casi todas las recomenda-- ciones se transformen en obligaciones.

MX9800106

BREVE EXEGESIS SOBRE LEGISLACION EXISTENTE EN LA APLICACION DE AISLAMIENTOS TERMICOS EN EL MUNDO

> PROPUESTA PARA MEXICO <

Ing Luis Felipe Ordóñez C.

Aislantes Minerales, S.A. de C.V.
ATPAE, Noviembre de 1992

RESUMEN

En distintos países del mundo, derivado de su gran preocupación por la conservación de la energía, de los recursos naturales y de la preservación del medio ambiente; por el alto costo que representa el uso desmedido de los energéticos y sus efectos secundarios, se han aprobado legislación y reglamentación en materia del uso de aislamientos térmicos en edificaciones de tipo comercial, industrial y habitacional.
Estas acciones han redituado ahorros muy significativos, tanto en referencia a las macro-economías nacionales como a las micro-economías familiares individuales. En consecuencia directa de la reducción en el consumo energético, se reduce en forma proporcional la emisión de los contaminantes derivados de la combustión. La reducción se realiza en su gasto diario y transfiere sus beneficios en forma directa e inmediata. Otros efectos secundarios benéficos son; se mejora sensiblemente la calidad de vida de los habitantes de viviendas mas confortables, se generan nuevos empleos y necesidades de mayor capacitación al personal de la construcción y se amplía la oferta de alternativas de sistemas constructivos.
En primer término, se hace una presentación resumida y explicada de la legislación y reglamentación adoptada en una amplia lista de distintos países del mundo; líderes en este aspecto.
Posteriormente, se hace una presentación de las medidas que se pudieran implementar a este respecto en México y se sugieren valores específicos de aislamiento relativos a las distintas regiones climatológicas Mexicanas.

PAISES CUYA LEGISLACION FUE INVESTIGADA

Los Países líderes en la adopción de legislación concerniente con el uso de aislamientos térmicos en la edificación, son los que destinan mas esfuerzos tendientes a mejorar el nivel de vida de sus habitantes. Notablemente, los países europeos y los Estados Unidos de América. De América latina, se ha usado el ejemplo puesto por Chile, cuya norma ya tiene 14 años de haber sido adoptada.

OBJETIVOS ALUDIDOS POR LAS LEGISLACIONES

En todos los casos analizados se hace mención a algunos objetivos comunes adoptados. Estos son:

1.- Alcanzar un nivel adecuado de confort de vida de las edificaciones de vivienda, comerciales o industriales.

- Que la temperatura interior no sea menor o mayor a las de confort. Que esto se logre

sin dispendio exagerado de consumo de energía, por lo que se debe regular la capacidad de transferencia de calor de los principales elementos de cubierta y muros exteriores de los edificios.

- La norma española usa 18º C para habitaciones, 15º C para comerciales, 12º C para industriales y 10º C para bodegas, como temperaturas mínimas deseables. La norma francesa menciona que "La reglamentación en vigor, insiste en: Obtener una temperatura interior de 18º C, cualquiera que sea la temperatura exterior".

- Las normas de los Estados Unidos de América, varían para cada estado, sin embargo se basan en el modelo denominado "CABO" para vivienda y ASHRAE 90.1 para construcciones comerciales.

2.- Realizar economías en el consumo de energéticos, que por concepto de calefacción y adecuación de temperaturas interiores de edificaciones, utiliza una ciudad o país durante las distintas épocas del año.

- La norma inglesa menciona específicamente el objetivo de reducir el consumo de energético por este concepto en un 20% para el año 2000.

- Aunque en Canadá aún no se publican normas específicas de aislamiento de edificaciones a nivel nacional, en una acción ejemplar, como es el caso de la ciudad de Toronto, se tiene el proyecto de reducción en el consumo de energéticos necesarios para la calefacción y acondicionamiento de vivienda, de 20% para el año 2000. Las normas de aislamiento a nivel nacional están bajo elaboración en este momento.

- En todos los países Escandinavos y los del norte de Europa, mencionan como objetivo fundamental la reducción y control en el consumo de energía de las edificaciones comerciales, industriales y de vivienda. Cuando en el año de 1983, se hicieron los mayores esfuerzos por controlar el consumo de energía por concepto de calefacción y acondicionamiento de edificaciones y debido al alto potencial de ahorro que se tenía en ese tiempo, las metas se fijaron muy elevadas mencionando reducciones hasta del 75% en el requerimiento de energía para edificios nuevos y del 50% mediante el tratamiento de edificaciones existentes. A partir de esa fecha, los objetivos se han actualizado y las normas han sido revisadas varias veces.

3.- Reducir emisiones contaminantes producidas por la combustión en los calentadores de ambiente o por los generadores de energía que proveen de electricidad a las ciudades y sus edificaciones. Estas emisiones están formadas principalmente por el gas carbónico, producto de la combustión y causante fundamental del efecto de invernadero de las ciudades. En todas las legislaciones revisadas, este se encontró como un objetivo principal.

4.- Reducir el consumo de energía requerido por aparatos usados en la edificación. Los mas comunes sean: los calentadores de agua y sus recipientes de almacenamiento, los calentadores ambientales, los equipos de aire acondicionado y las tuberías de conducción de aire caliente o de agua caliente o enfriada.

- Las normas inglesas incluyen en el cálculo de eficiencia térmica de una edificación, la eficiencia térmica del aparato calefactor de agua y su recipiente.

- Las normas de los estados de los E.U.A. mencionan espesores mínimos para cada

tipo de aparato o instalación para distintos tipos de climas.

- Casi todos los casos europeos y los estados de E.U.A., mencionan características mínimas de equipos de control que deberán ser instalados en las edificaciones para el debido mantenimiento de las condiciones deseadas de confort interior.

CARACTERISTICAS QUE DETERMINAN EL CUMPLIMIENTO DE NORMAS

Anexo presento una gráfica (Fig.1) mostrando los espesores aislantes que se encuentran en uso en los países cuya reglamentación se utilizó en este estudio.
La exigencia de las normativas son principalmente de tres tipos:

SE FIJAN LIMITES A LOS ELEMENTOS ENVOLVENTES"

En casi la totalidad de los casos, esta fue la manera de iniciar la legislación a partir de los primeros años de la década de los ochentas. Establecen niveles máximos de conductividad térmica de muros, techumbre y pisos en forma aislada.
Muchos países aún continúan con este sistema de medición de cumplimiento de normas y utilizan uno de dos conceptos de medición;
- Conductancia térmica, usando los símbolos "U" o "K" alternativamente (W/m2.K, Kcal/m2.C, BTU/ft2.f)
- Resistencia térmica, usando el símbolo "R" (m2.K/W, m2.C/Kcal, ft2.f/BTU)
En algunos casos como en los E.U.A., en donde los sistemas constructivos de vivienda son muy consistentes, se menciona que el elemento de envolvente deba incluir algún material aislante con resistencia térmica de algún valor mínimo, sin embargo da a lugar a otros sistemas constructivos y su propio valor de eficiencia térmica.
En otros como en Alemania, se toma en cuenta el valor total de conductancia del elemento envolvente, incluyendo las ventanas, puertas y otras aberturas.
Otros países toman en cuenta el tipo constructivo del elemento de envolvente, como son los casos de España y de Finlandia, en donde la conductancia límite depende del peso de la envolvente. De esta manera le dan valor a la capacidad del elemento de balancear las ganancias o pérdidas de energía y las variaciones naturales de temperatura a lo largo del día y la noche.
En el resto de los casos, se toma en cuenta la composición de materiales de la envolvente para el cálculo de la conductancia sin tomar en cuenta aberturas. Cuando esto es así, en algunos casos se limita el área de ventanas a un proporción máximo, ya sea techo o muro, como en el caso de Inglaterra.
En otros casos mas simplistas, como el de Chile, se establece la máxima conductancia permisible para el elemento envolvente total, sea este muro o techo.

SE FIJAN LIMITES A LA CONSTRUCCION TOTAL

Conforme se han ido desarrollando los conceptos de normatividad de las construcciones por motivo de pérdidas o ganancias de calor, y se han ido buscando maneras mas justas y completas de evaluar el cumplimiento de una obra para su aprobación se han integrado, los conceptos de diseño total de la edificación.
Los casos mas notables de esto son:

FRANCIA: La mas desarrollada en este concepto de todos, con métodos de cálculo y verificación muy simplificados y claros. La reglamentación francesa establece "*Aislar las construcciones de manera de obtener un coeficiente Reglamentario G*".

El coeficiente G se define como "las pérdidas de calor en unidades de energía térmica referidas a un grado de temperatura de diferencia entre el interior y el exterior y esto dividido por el volúmen habitable de la edificación, expresado en W/m3.C". Este cálculo debe tomar en cuenta los efectos de pérdidas o ganancias dadas por renovación del aire del interior de la edificación.

Este concepto se complementa con la definición de otro coeficiente "B", definido como "las necesidades de calefacción de la edificación" y esta expresado en las mismas unidades al coeficiente "G". Toma en cuenta lo mismo que el coeficiente "G", pero resta a las pérdidas de calor, las ganancias por estancia de los habitantes de la edificación y las ganancias dadas por la admisión de energía suministrada por el sol a través de las ventanas, según su orientación y ubicación.

Finalmente, las edificaciones deben cumplir con los requerimientos de los coeficientes "G" y "B", variables para distintas regiones geográficas de Francia. También son variables según su disposición relativa a otras construcciones adyacentes.

SUECIA: Con el objeto de dar la mayor flexibilidad al diseño de las construcciones y la mayor libertad a la imaginación creativa arquitectónica y de materiales usados en las edificaciones, en Suecia se ha optado por cambiar la legislación a incluir conceptos semejantes a los de la legislación francesa.

Establecen un valor de conductancia máximo designado con el símbolo "U" para la edificación completa, tomando en cuenta todas las partes de la envolvente y sus detalles y aberturas tales como puertas y ventanas Le dan al arquitecto toda la amplitud necesaria para decidir las conveniencias de diseño y del uso de los materiales para cumplir con la normatividad.

ESPAÑA: La reglamentación española define el coeficiente Kg del edificio variable según el factor de forma del edificio, de su ubicación geográfica y del tipo de energético que utiliza para el acondicionamiento de su temperatura interior.

A pesar de que se cumpla este concepto, se deben cumplir máximos de conductancias de los elementos de envolvente en forma individual, definidos por sus coeficientes K individuales y variables por zona geográfica.

Se suma un concepto dado por la posibilidad de condensaciones en el interior del edificio. Llamado comportamiento higrotérmico de los cerramientos, este protege al edificio de la degradación por humedad derivada de la condensación en el interior de la envolvente.

Se establecen máximos permisibles de permeabilidad al aire de algunos elementos tales como las ventanas y puertas, a las que se les conoce bajo el término genérico de "Carpintería".

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA: Aunque las limitantes se fijan por cada elemento constructivo, sean muros o techumbre; en algunos estados de la unión E.U.A. se cuenta con reglamentación extremadamente extensa y

compleja, que involucra cada parte y componente mecánico incluido en edificios. Se establecen mínimos de resistencia térmica por cada componente sean estos calentadores de agua convencionales, o solares, o sean de ambiente, tuberías de agua caliente o enfriada, transmisión a través de ventanas, su permeabilidad al aire, coeficientes de sombreado, tipos de calefactores y de acondicionadores de ambiente y el combustible que usan, todo esto relativo a su posición geográfica.

Cada estado de la unión tiene reglamentación distinta. Algunos tienen métodos mas simples de calculo y verificación. Otros, como en el caso de Florida, la legislación es extremadamente compleja. En el caso del estado de California y otros, se les da a los constructores distintas alternativas de límites mínimos de resistencia "R" aceptable de los materiales aislantes insertados en los muros y techos, dependiente del tipo de energético usado y de otras condiciones de diseño.

SE ESTABLECEN ESPESORES MINIMOS DE AISLAMIENTO

Siendo este el caso mas simplista, se ha adoptado en algunos países que por su tamaño y condiciones específicas, no justifican diseños de legislación mas complicada, o los tiempos y el desarrollo de su legislación así lo han permitido. Tal es el caso de países tales como Bélgica e Italia.

En estos, la reglamentación exige un espesor mínimo aislante en el interior de algunos tipos de sistemas constructivos usados en muros y techos. La práctica común en estos países, es inferior a estos mínimos establecidos por una legislación que solo cubre parcialmente a su territorio.

ANTECEDENTES EN MEXICO:

La legislación Mexicana no hace mención específica sobre requerimientos de aislamiento térmico en edificaciones de cualquier tipo. Sin embargo, mucho se ha dicho y se ha escrito sobre este tema, en foros a nivel nacional, en "PLEA 84" y en cada una de las reuniones de "ATPAE" a partir de 1987.
Específicamente, las "Normas de Diseño Bioclimático de Vivienda INFONAVIT" (1985), divide el territorio nacional en 7 tipos de climas, en 5 de los cuales recomienda el uso de aislamiento térmico en muros y techos, aunque no haga mención detallada de la calidad aislante (espesor y características) que debiera ser especificada para cumplir con su recomendación.

EL TERRITORIO NACIONAL

En esta ponencia, no pretendo hacer una descripción muy detallada de la climatología de México, por lo que en la Bibliografía menciono las fuentes de información usadas para la elaboración de los planos de la República Mexicana, que sirvieron de base para el análisis de los climas típicos mencionados mas adelante. Tampoco espero que estos planos sirvan de fuente geográfica para trabajos que expandan en el tema principal que cubro, por lo que los incluyo como representación gráfica del concepto.

En primer término (Fig.2), muestro un plano de climas en el que observamos que mas de dos terceras partes del territorio nacional son del tipo Semi-Arido, Arido y Desierto.
En seguida, comparamos este, con un plano de isotermas del mes de

Enero (Fig.3) y otro de temperaturas mínimas extremas absolutas (Fig.4), de los cuales obtenemos uno denominado Zona "A" (Fig.5) que describe una zona de temperatura de frío extremo invernal de clima seco, con promedios inferiores a 15ºC en Enero y temperaturas extremas invernales inferiores a -6ºC.
En tercer lugar, comparamos un plano de isotermas del mes de Julio (Fig.6) con otro de temperaturas máximas extremas absolutas (Fig.7) y el plano de climas, de los cuales resulta otro denominado Zona "B" (Fig.8) que describe una zona de clima caluroso y seco en verano, con promedios superiores a 25ºC en Julio y temperaturas máximas extremas de verano mayores a 44ºC.
De esta misma comparación, extraemos el plano denominado Zona "C" (Fig.9) que delimita aquella de climas Sub-Húmedos a Muy Húmedos muy calurosa en verano.
El resto del territorio nacional que no esta incluido en los planos "A", "B" y "C", se presenta (Fig.10) denominado como Zona "D".
Se muestran a continuación los planos de Oscilación media anual de la temperatura (Fig.11) y de Humedad relativa anual (Fig.12), los cuales sirven para la elaboración final de la delimitación de las Zonas climatológicas, que a mi parecer, deban servir de base en el diseño del requerimiento de aislamientos térmicos de edificaciones de cualquier tipo, sean de vivienda. comerciales o industriales.

ZONAS CLIMATICAS Y SUS CARACTERISTICAS

ZONA I de CLIMA MUY EXTREMOSO Y SECO

La zona geográfica (Fig.13) en la que coinciden las Zonas "A" y "B" definidas anteriormente y cuya oscilación media anual de temperatura es mayor o igual a 20ºC.
Esta zona tiene condiciones climáticas parecidas a la definida por la zona Tipo "C" de las Normas Españolas y cercana a la zona de 3000 Grados-Dia (ºf) de calentamiento definida en la geografía de los Estados Unidos de América.
Se caracteriza por tener temperaturas muy extremosas de calor de verano y de frío de invierno. Por ello, el aislamiento térmico será útil durante todo el año. Debido a lo extremoso de la época invernal, los espesores aislantes están dados por los requerimientos de la epoca de invierno, siendo estos mayores a los calculados bajo condiciones de verano. En esta zona, el aislamiento térmico es un elemento fundamental en la consecución del nivel de confort de vida en el interior de la edificación.

ZONA II de CLIMA EXTREMOSO Y SECO

La zona geográfica (Fig.14) en la que coinciden las Zona "A" y "B" definidas anteriormente y cuya oscilación media anual de temperatura es mayor o igual a 14ºC y menor a 20ºC.
Esta zona tiene condiciones climáticas parecidas a la definida por la zona Tipo "B" de las Normas Españolas y cercana a la zona de 1000 Grados-Dia (ºf) de calentamiento definida en la geografía de los Estados Unidos de América.
Las características de diseño para esta zona son muy semejantes a las descritas para la Zona I, mencionadas anteriormente, solo que las condiciones no son tan extremas en ambas temporadas de calor y de frío, por lo que las normativas de mínima calidad aislante requerida pudieran ser menores.

ZONA III de CLIMA CALIDO MUY SECO

La zona geográfica (Fig.15) de la Zona "B" no comprendida en la Zona "A" y cuya humedad relativa media anual es menor o igual a 50%.

Se caracteriza por tener temperaturas muy extremosas de calor de verano. La presencia del aislamiento será muy apreciado durante los días de frío extremo del año, que en ocasiones llegará hasta los -10ºC. Por ello, el aislamiento térmico será útil durante todo el año, aunque los espesores aislantes estén demandados por la epoca de verano. En esta zona, el aislamiento térmico es un elemento fundamental en la consecución del nivel de confort de vida en el interior de la edificación.

ZONA IV de CLIMA CALIDO NO MUY SECO

La zona geográfica (Fig.16) de la Zona "B" no comprendida en la Zona "A" y cuya humedad relativa media anual es mayor a 50%.

Las características de esta zona geográfica son muy semejantes a los de la Zona III mencionados anteriormente. La gran diferencia la representa la humedad relativa media anual, la que por ser mayor, impone condicionantes al diseño de los aislamientos térmicos por posible condensación sobre superficies con acondicionamiento de interiores.

ZONA V de CLIMA FRIO EXTREMO INVERNAL Y SECO

La zona geográfica (Fig.17) comprendida en la Zona "A" definida y no comprendida en la Zona "B", es decir que los veranos no son tan extremosos.

Se caracteriza por tener temperaturas muy extremosas de frío de invierno. La presencia del aislamiento será muy apreciado durante los días de temperatura extrema de verano, en los que se puede alcanzar mas de los 40ºC. Por ello, el aislamiento térmico será útil todo el año y el cálculo del espesor aislante se realiza bajo condiciones de frío. En esta zona, el aislamiento térmico es un elemento fundamental en la consecución del nivel de confort de vida en el interior de la edificación.

ZONA VI de CLIMA CALIDO MUY HUMEDO

La zona geográfica (Fig.18) demarcada precisamente por la Zona "C" ya definida anteriormente.

Se caracteriza por tener temperaturas muy extremosas de calor de verano. Esta zona geográfica esta casi totalmente contenida en la región del territorio nacional que tiene muy poca variación de temperatura a lo largo del año, por lo que el aislamiento térmico será apreciado también todo el año. Por ser clima muy húmedo, la humedad relativa ambiental es un factor crítico del diseño del aislante. En esta zona, el aislamiento térmico es un elemento fundamental en la consecución del nivel de confort de vida en el interior de la edificación.

ZONA VII de CLIMA TEMPLADO SECO

La zona geográfica (Fig.19) comprendida en la Zona "D" definida y cuya humedad relativa media anual sea igual o menor a 50%.

Esta es la zona geográfica del territorio nacional con temperaturas medias menos extremosas. Sin embargo, las temperaturas extremas invernales son menores a 0ºC y llegan a mínimos de -10ºC. En toda esta zona, las temperaturas medias mensuales invernales son inferiores a las temperaturas de confort de vivienda. Por ello, es muy común encontrar la necesidad de calefacción de la vivienda tradicional. En esta

zona, el aislamiento térmico es un elemento muy conveniente en la consecución del nivel de confort de vida en el interior de la edificación.

ZONA VIII de CLIMA TEMPLADO SUB-HUMEDO

La zona geográfica (Fig.20) comprendida en la Zona "D" ya definida y cuya humedad relativa media anual sea mayor a 50%.
Esta zona geográfica tiene las mismas características de la Zona VII mencionada anteriormente. La diferencia esencial entre ambos se define por la humedad ambiental, que en esta zona obliga a tener mayor cuidado en los espesores y tratamientos aislantes.

RECOMENDACIONES DE AISLAMIENTO:

Anexo una tabla en la que se resumen las recomendaciones de espesores y calidades aislantes para los componentes de envolvente de edificaciones y algunos equipos para las distintas zonas climatológicas del territorio nacional.
Son importantes en el diseño del confort de vida, el control de la permeabilidad de ventanas, puertas y otras aberturas, al viento frío.
En los climas húmedos es muy importante tener en cuenta el efecto que tiene la humedad ambiental en el cálculo de espesores aislantes y del diseño de barreras de vapor
Es importante un buen diseño de aleros, quiebrasoles y orientación para hacer uso de las ganancias posibles de energía solar en los meses fríos, limitándolas el resto del año, ya que el País, goza en general de buenos niveles de radiación solar (Fig.21) todo el año.
Se ha visto ya muy reiteradamente, que la inversión en aislamientos térmicos se justifica plenamente desde el punto de vista económico, por los ahorros en el consumo mensual de energéticos y en el valor de compra de los equipos de acondicionamiento ambiental.

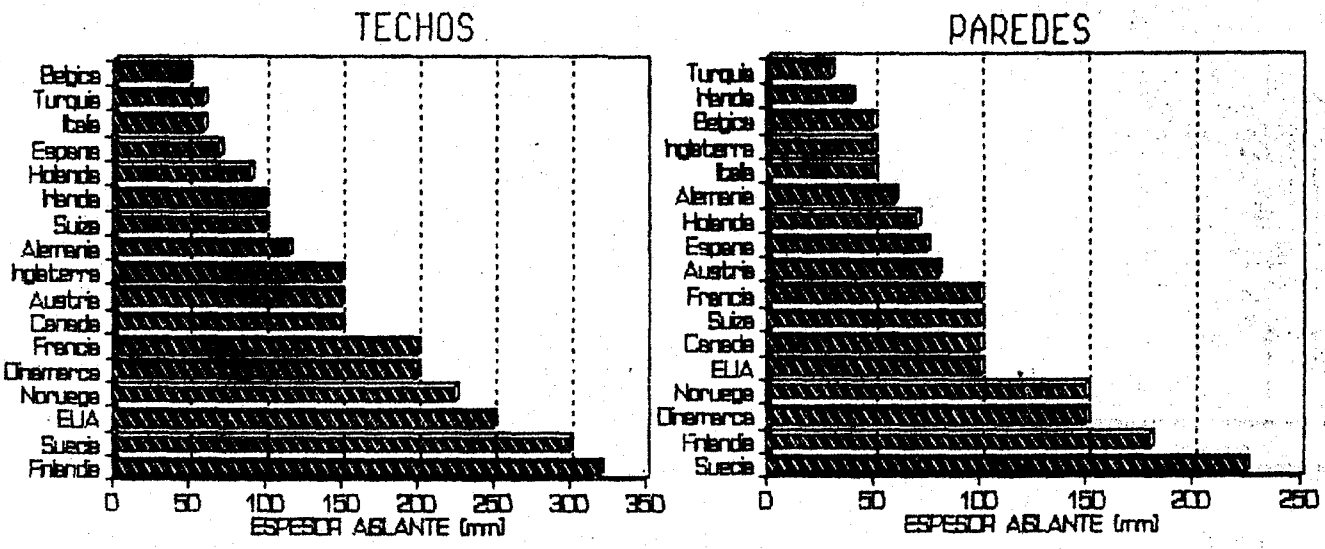
BIBLIOGRAFIA Y FUENTES

-The Building Regulations Part L
Department of the Environment and the Welsh Office (GB)
-Norma Oficial Chilena NCh1079 1978
-Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 (España)
-Isolation; Réglementation Décret no 82-269; At R111-6 Francia
-California Code of Regulations Title 24, Part2, Chapter 2-53 Sections 2-5350 to 2-5352 1991, California, EUA
-Department of Community Affairs Energy Code Program 1991 Florida, EUA
-Thermal Insulation Standards in Housing in Europe EURIMA, 1991
-Model Energy Code (MEC) CABO, 1992, EUA
-ASHRAE 90.1 ASHRAE, 1992, EUA
-NAIMA (National Insulation Manufacturers Asociation), EUA
-NECA (Natinal Energy Conservation Association) Winnipeg, Canada
-Atlas Nacional del Medio Físico INEGI, México
-Escenario Geográfico SEP/INAH, México, 1974
-La Distribución de la Radiación Global en México E. Hernández, 1976
-UNAM, Inst. de Geofísica R. del Arenal C. Memoria 1968-1969
-Ecotécnicas para la Vivienda en México, PLEA 84, 1984
-El Caso Infonavit PLEA 84, 1984
-Normas de Diseño Bioclimático de Vivienda Infonavit, 1985
-Atlas del Agua SRH, México

ESPESORES AISLANTES

ATPAE, 1992

COMPARACION DE EJEMPLOS PRACTICOS 1990



CONDICIONES POSIBLES PARA MEXICO

	Climas Extremoso a Templado			Un
Techos	**0.25**	**a**	**0.45**	**W/m2.C**
Muros	**0.45**	**a**	**0.60**	**W/m2.C**
Pisos	**0.60**	**solo extremoso**		**W/m2.C**
Recipientes	**0.33**	**en todo clima**		**W/m2.C**
Vivienda	**0.50**	**a**	**1.40**	**W/m3.C**

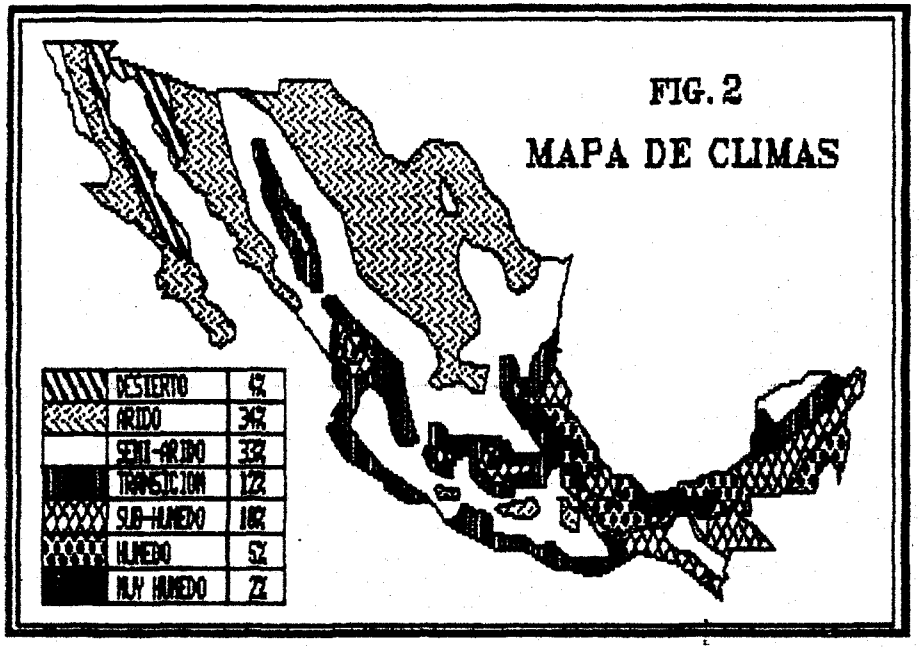


FIG. 2

MAPA DE CLIMAS

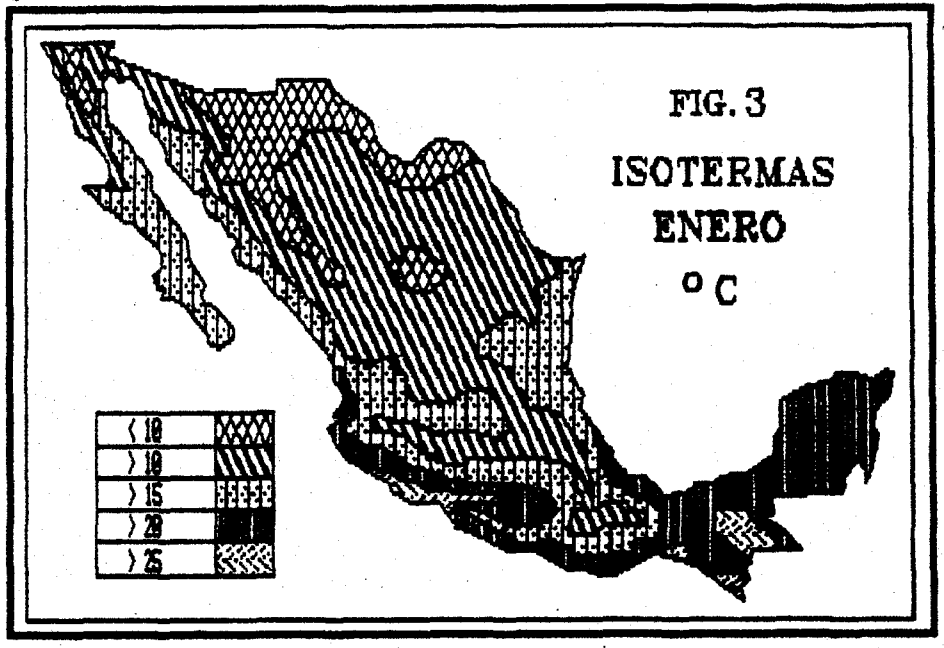


FIG. 3

ISOTERMAS

ENERO

°C

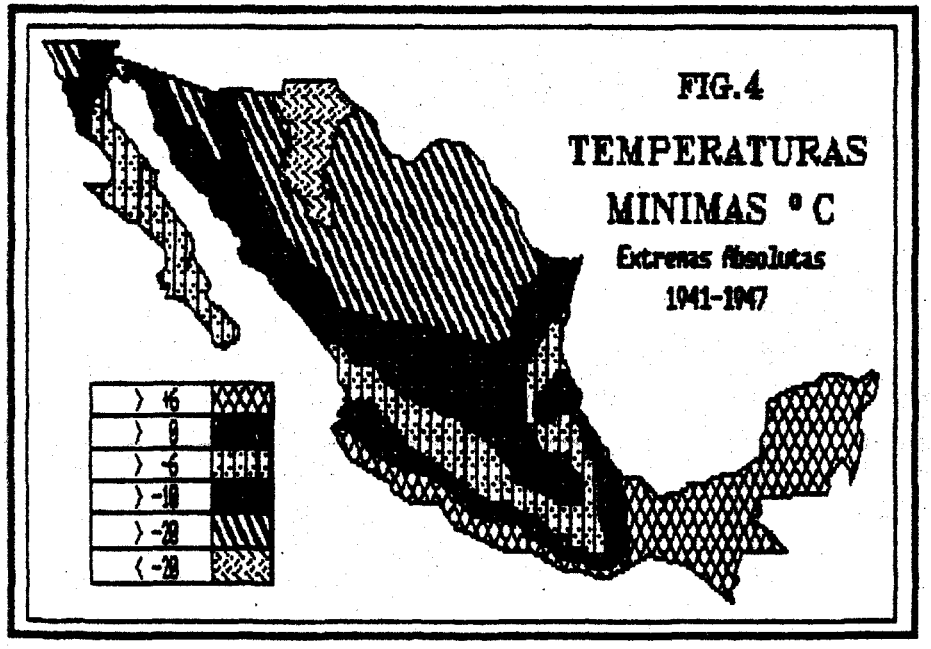


FIG. 4

TEMPERATURAS

MINIMAS °C

Extremas Absolutas

1941-1947

FIG. 5

ZONA "A"

FRIO EXTREMO

INVERNAL

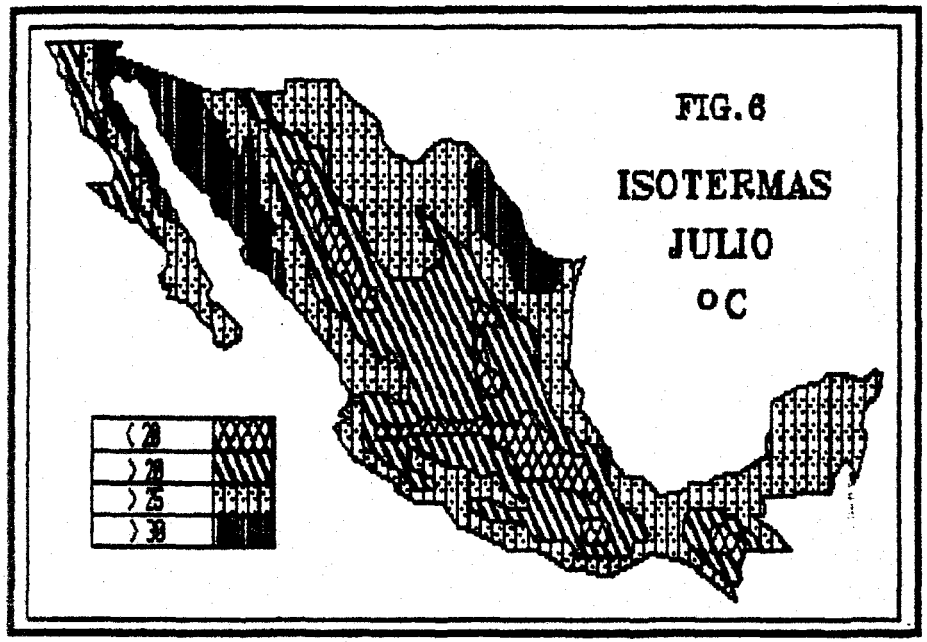


FIG. 6
ISOTERMAS
JULIO
°C
< 28
> 28
> 25
> 30

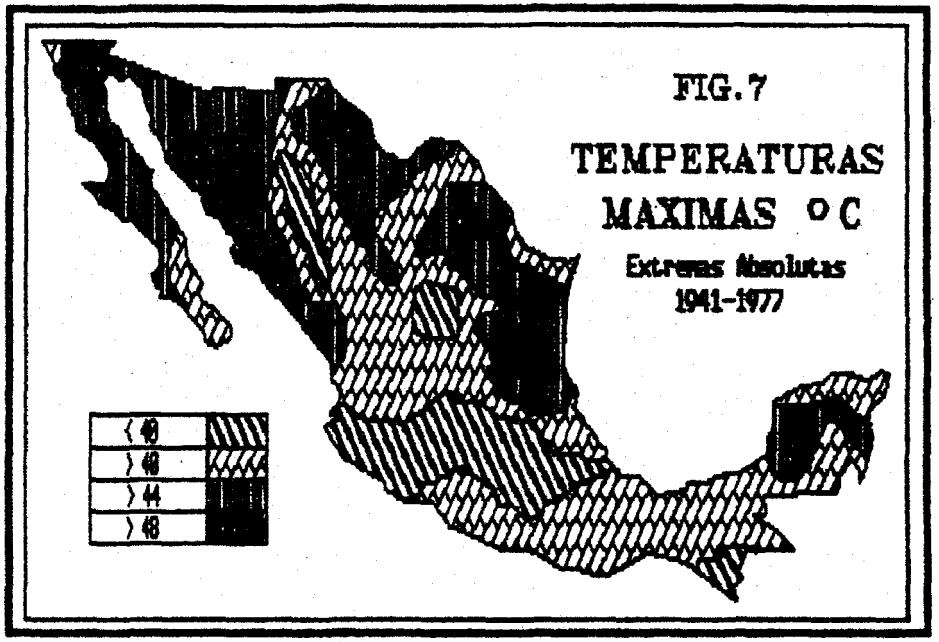


FIG. 7
TEMPERATURAS
MAXIMAS °C
Extremas Absolutas
1941-1977
< 40
> 40
> 44
> 48

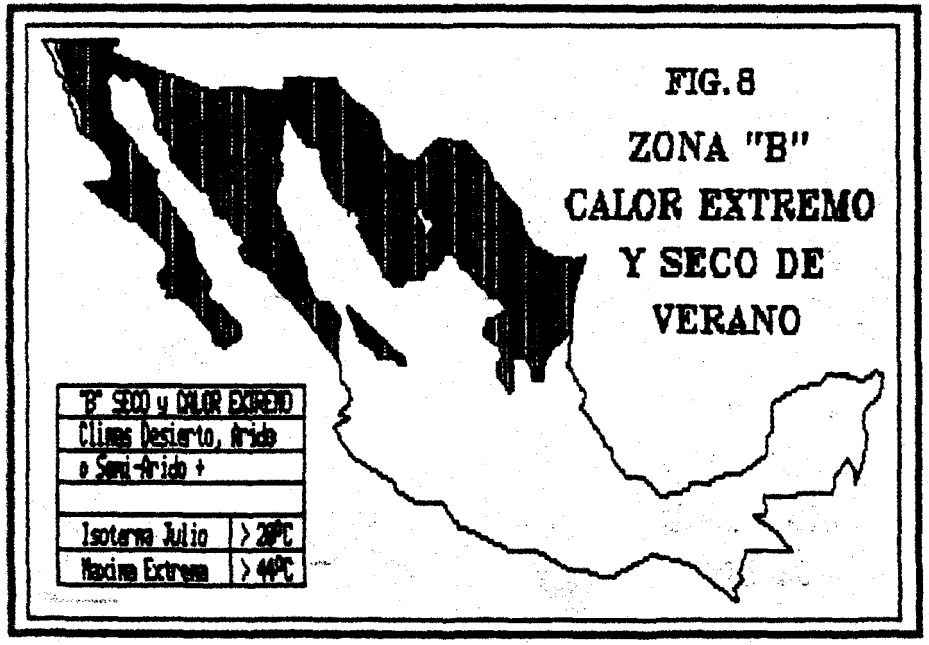


FIG. 8
ZONA "B"
CALOR EXTREMO
Y SECO DE
VERANO
"B" SECO y CALOR EXTREMO
Climas Desierto, Arido
o Semi-Arido +
Isoterma Julio
> 28°C
Maxima Extrema
> 44°C

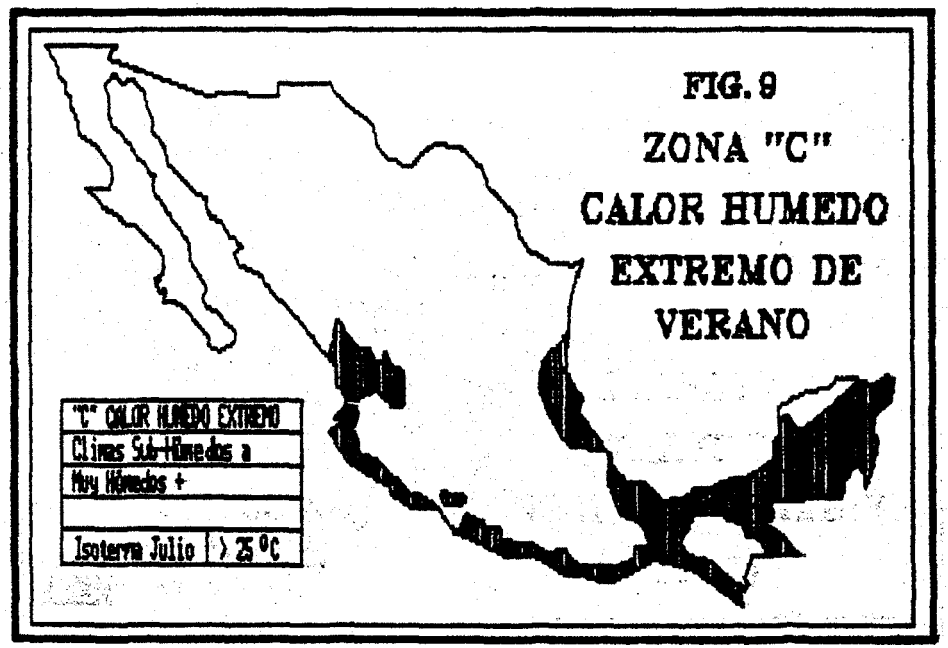


FIG. 9
ZONA "C"
CALOR HUMEDO
EXTREMO DE
VERANO
"C" CALOR HUMEDO EXTREMO
Climas Sub-Humedos a
Muy Húmedos +
Isoterma Julio
> 25 °C

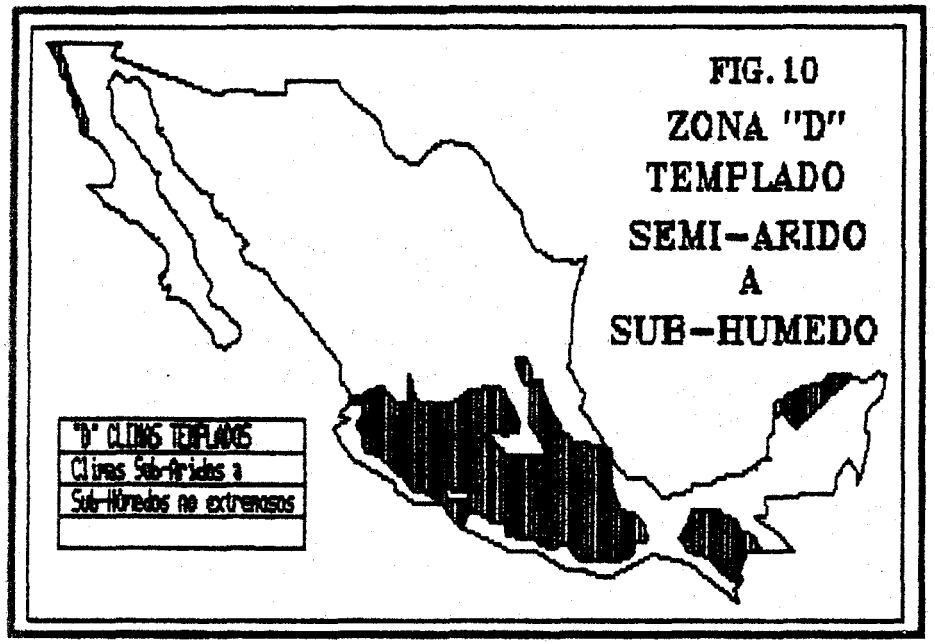


FIG. 10
ZONA "D"
TEMPLADO
SEMI-ARIDO
A
SUB-HUMEDO

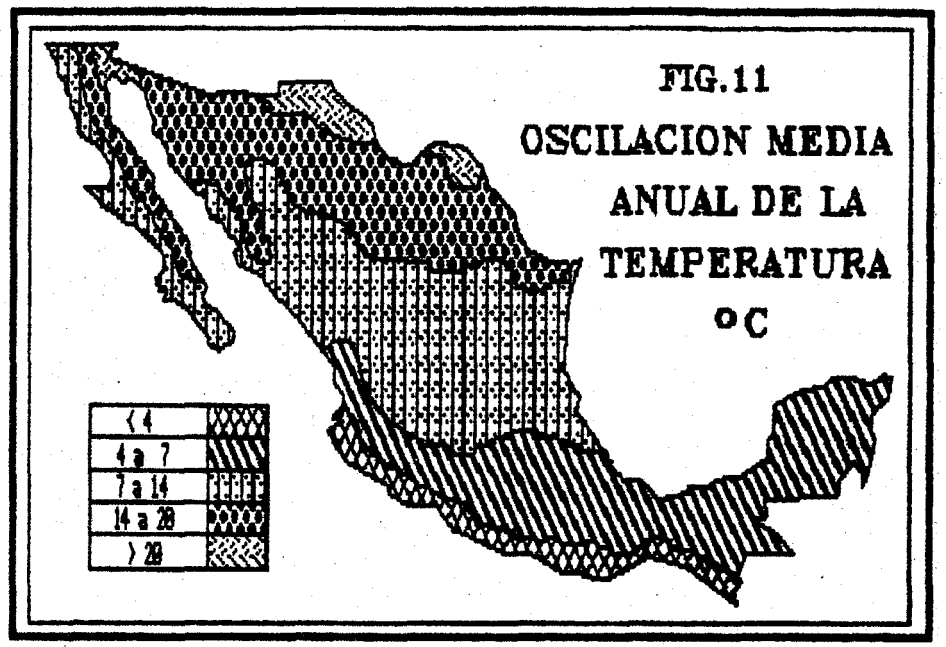


FIG.11
OSCILACION MEDIA
ANUAL DE LA
TEMPERATURA
°C

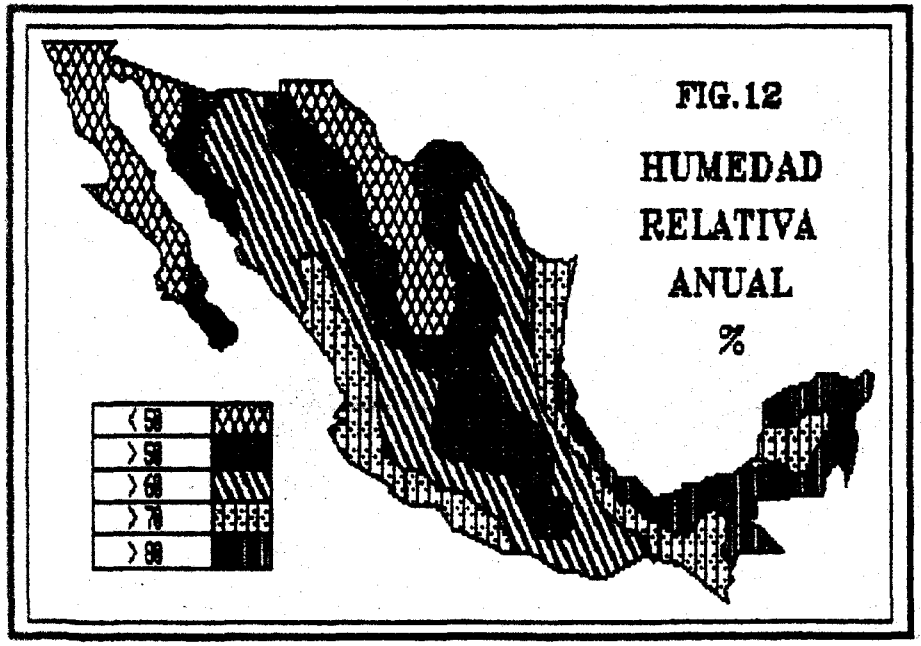


FIG.12
HUMEDAD
RELATIVA
ANUAL
%

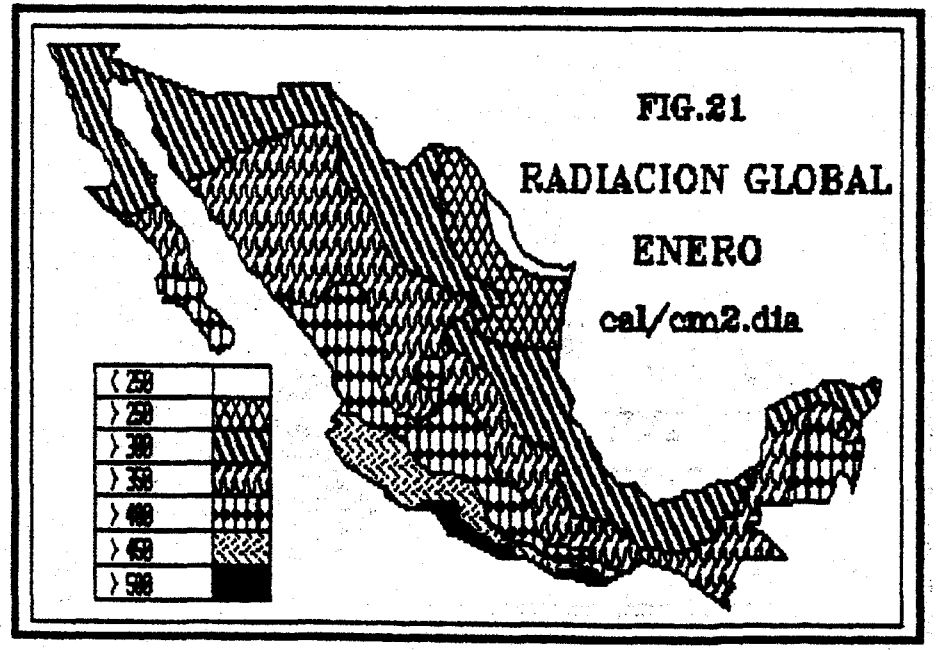


FIG.21
RADIACION GLOBAL
ENERO
cal/cm2.dia

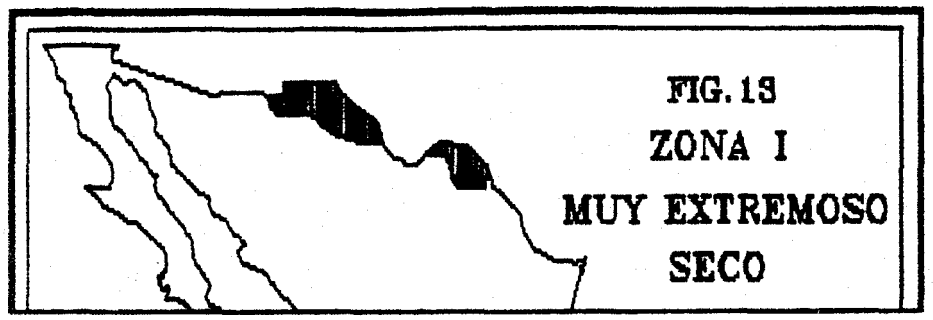


FIG. 13
ZONA I
MUY EXTREMOSO
SECO

FIG. 14
ZONA "II"
EXTREMOSO
Y SECO

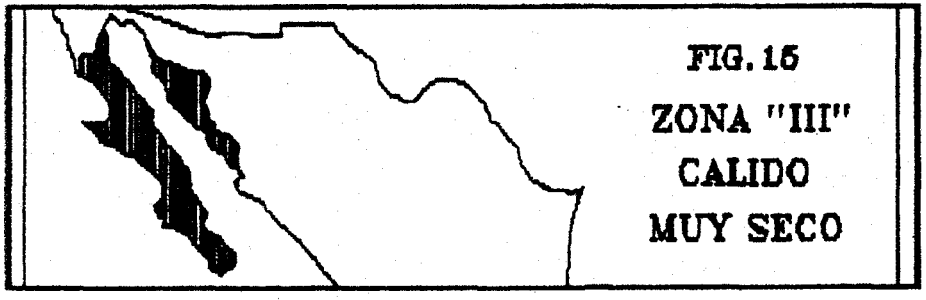


FIG. 15
ZONA "III"
CALIDO
MUY SECO

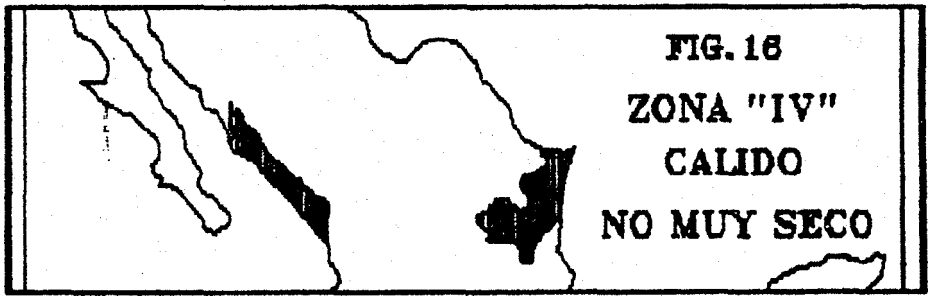


FIG. 16
ZONA "IV"
CALIDO
NO MUY SECO

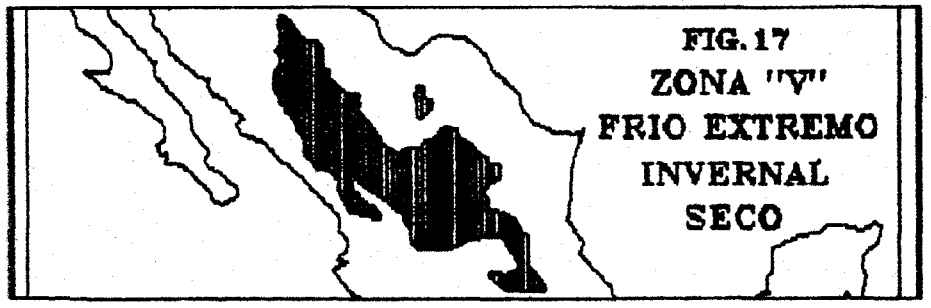


FIG. 17
ZONA "V"
FRIO EXTREMO
INVERNAL
SECO

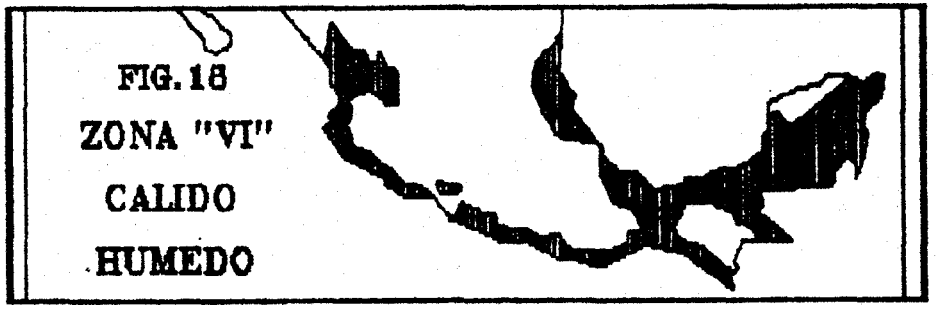


FIG. 18
ZONA "VI"
CALIDO
HUMEDO

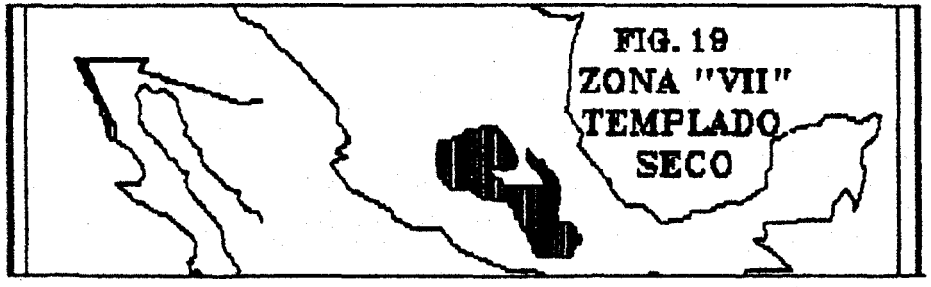


FIG. 19
ZONA "VII"
TEMPLADO
SECO

FIG.20
ZONA "VIII"
TEMPLADO
SUB-HUMEDO

MX9800107

AUTOMÓVILES SOLARES Y ELÉCTRICOS: UNA IDEA CUYO TIEMPO HA LLEGADO

Beatriz Padilla
Escudería Tonatiuh,
Academia de la Investigación Científica, A.C.

Dada la dependencia de nuestro sistema de transporte en hidrocarburos -combustibles que, además de generar graves niveles de contaminación eventualmente escacearán, afectando severamente la economía mundial- es imperativo desarrollar transportes no contaminantes capaces de operar con energías alternativas. En la vanguardia de esta avanzada tecnológica se encuantran los autos solares de carreras, los cuales han hecho grandes aportaciones (particularmente por la aplicación rigurosa de los principios del DISEÑO PARA EFICIENCIA) al desarrollo de tecnología aplicable a vehículos eléctricos. TONATIUH es el primer auto solar de carreras que se construye en México. En 1993 TONATIUH competirá en La Carrera Fórmula Sol en México y en el World Solar Challenge de Australia. Una comparación somera de vehículos eléctricos con motores de combustión interna, demuestra las grandes ventajas de los primeros, sobre todo a la luz de los actuales avances tecnológicos propiciados por leyes que exigen la venta de vehículos eléctricos. Esta naciente industria presenta una GRAN OPORTUNIDAD PARA MÉXICO, ya que los mercados no están saturados y existen amplias áreas de investigación y desarrollo. Para mejorar la calidad del aire en la Ciudad de México, los vehículos eléctricos tendrían un impacto muy positivo, sobre todo aplicados en el transporte público.

ALERTA!

Toda economía nacional depende de energía y de transporte. Gran cantidad de industrias están sujetas a energéticos derivados del petróleo tanto para la obtención de materia prima, como en los procesos productivos y para la distribución de productos. Esta dependencia en la disponibilidad de hidrocarburos hace súmamente vulnerable la economía de países -productores o importadores de petróleo- cuya infraestructura productiva está diseñada para operar con combustibles fósiles, pues se estima que, si se mantiene la tasa de consumo actual, las reservas petrolíferas conocidas mundiales, alcanzarán sólo hasta el año 2030 [1].

Aún cuando el cálculo optimista de las reservas petrolíferas aún no conocidas es equiparable a las reservas conocidas, el aumento exponencial de la tasa de consumo de hidrocarburos, la creciente dificultad para explotar yacimientos menos accesibles y la inevitable escacés paulatina futura, traerán consigo un inevitable e irreversible encarecimiento del petróleo, lo cual tendrá repercusiones drásticas en la economía global.

Para darnos una idea de la dimensión de esta amenaza, recordemos que aproximadamente el 73.5% de la electricidad producida en México se genera en plantas termoeléctricas consumidoras de hidrocarburos [2].

ENERGÍA PARA EL TRANSPORTE

Particularmente suceptible es el sector transporte ya que éste necesita de una carga energética que le permita desplazarse con independencia. Hasta ahora, los vehículos con motor de combustión interna, dependientes del petróleo, son prácticamente la única opción comercialmente disponible.

Además de la amenazante futura escacés de petróleo, el transporte cuya operación depende de hidrocarburos

contamina tremendamente. Todo auto que sale de la línea de producción está admirablemente bien equipado para producir tóxicos. Cada motor de combustión interna que se fabrica es una amenaza ecológica.

Problemas ambientales derivados del consumo de hidrocarburos incluyen el efecto de invernadero, la lluvia ácida y problemas de salud, tales como el cáncer, asociados con el "smog" o con contaminación por plomo.

EL RETO ECONÓMICO Y ECOLÓGICO QUE EL PRESENTE NOS IMPONE ES DISEñAR TECNOLOGÍAS NO-CONTAMINANTES. Qué opciones existen para el transporte?

AUTOS SOLARES DE CARRERAS: LA UTOPÍA HECHA REALIDAD

La punta de la flecha en la transición hacia tecnologías de transporte no-contaminante son los AUTOS SOLARES DE CARRERAS.

Es en el diseño de autos para competencias donde se han desarrollado la mayor parte de los avances tecnológicos aplicados hoy en los autos que nos transportan cotidianamente.

De manera similar, la tecnología que se está desenvolviendo para autos solares de carreras ha resultado en valiosas aportaciones para el desarrollo de vehículos no contaminantes, particularmente los eléctricos, para el público en general.

DISEñO PARA EFICIENCIA

La aportación más importante radica en una observación minuciosa de los principios del DISEñO PARA EFICIENCIA.

Un auto solar de carreras dispone de un panel fotovoltáico cuya área está restringida por cuestiones prácticas. El reglamento de la carrera australiana WORLD SOLAR CHALLENGE, por ejemplo, especifica que el panel fotovoltáico de los autos, en ningún momento durante su desplazamiento en horas de competencia, puede exceder las dimensiones de una caja de 2 m de ancho, 4.41 m de largo y 1.6 m de altura.

Ya que la disponibilidad de energía es limitada y las distancias por recorrer diariamente deben ser lo más largas posibles, cada decisión acerca del diseño de un auto solar de carreras debe ser tomada en base a la eficiencia global del vehículo. Aspectos claves del diseño incluyen los siguientes:

AERODINÁMICA: El coeficiente de arrastre aerodinámico es una medida de la eficiencia energética con la cual un objeto se mueve a través de un fluido tal como la atmósfera terrestre.

La potencia disponible para conducir un auto solar es aproximadamente 700-1000 watts, poco más de un caballo de fuerza. Desplazarse a más de 60 km/h con esta potencia (la velocidad promedio máxima hasta ahora alcanzada en el World Solar Challenge es de 66.9 km/h), requiere un coeficiente de arrastre aerodinámico cercano a 0.13 [3]. Esto implica atención minuciosa a cada detalle de la forma del auto, tanto considerando su desplazamiento hacia el frente, como al recibir vientos laterales.

Aspectos que afectan el coeficiente de arrastre aerodinámico incluyen el área frontal (menor área frontal resulta en menor resistencia al avance pues el auto se enfrenta a una "pared" de aire más pequeña), superficies lisas (texturas granuladas, elementos protuberantes y cavidades generarán turbulencias), contornos simplificados (para que el flujo del aire sea lo más liso posible) y ventilación controlada (el auto debe estar bien sellado pues el aire que entra, si no se canaliza adecuadamente, actúa como paracaídas).

PESO: Ligereza permite rápida aceleración, menor resistencia al rodamiento de las llantas, subir colinas velozmente y menor gasto energético al desplazarse. El bajo peso de los

vehículos se logra utilizando materiales compuestos tales como kevlar, nomex y fibra de carbono. Estructuras de aluminio también resultan ligeras.
PANEL SOLAR: La forma y el ángulo del panel, deben optimizar las dimensiones permitidas y la radiación solar global.

ELECTRÓNICA DE POTENCIA: Celdas fotovoltáicas de alta eficiencia (que transforman a electricidad gran parte de la luz que reciben), motores eficientes, electrónica de potencia con bajo coeficiente de pérdidas, componentes ligeros y adecuada capacidad de acumulación de energía son cruciales para sostener altas velocidades.

SUSPENSIÓN: El amortiguador ideal impide la dispersión energética y canaliza el impacto de las irregularidades del terreno en la dirección del movimiento del auto.

NEUMÁTICOS: Los autos solares suelen utilizar llantas de bicicleta, pues la delgada superficie de rodamiento de estos neumáticos y sus elásticas paredes laterales proporcionan baja resistencia al rodamiento.

DIMENSIONES: Mientras más pequeño sea el auto, menos materiales utilizará y por ende será más ligero, utilizando menos energía para moverse.

La disciplina del DISEÑO PARA EFICIENCIA es aplicable a todo proceso productivo, aún a los motores de combustión interna, repercutiendo en ahorros considerables: disminución en costos de operación, menor inversión energética por unidad de producto y mayor competitividad en mercados nacionales e internacionales.

El diseño para eficiencia no solamente contribuye al desarrollo de nueva tecnología, sino también al entrenamiento de personal técnico preparado para las necesidades presentes y futuras del planeta.

TONATIUH
PRIMER AUTO SOLAR MEXICANO DE CARRERAS

TONATIUH Son of the Sun es el Primer Auto Solar de Carreras que se construye en México; es la respuesta de los mexicanos a los alarmantes niveles de contaminación emitidos por el transporte.

La Escudería Tonatiuh está integrada por un grupo interdisciplinario de estudiantes de las universidades Nacional Autónoma de México, Iberoamericana, Autónoma Metropolitana, Panamericana y Tecnológico de Monterrey. La participación de nuevos estudiantes dispuestos a trabajar para lograr los objetivos del proyecto está bienvenida.

También se integran al equipo profesionales en los campos del diseño de sistemas eléctricos, energía fotovoltáica, almacenaje de energía, materiales compuestos e integración del grupo. Diseñar y construir TONATIUH es sin duda un gran aprendizaje.

COMPETENCIAS DE AUTOS SOLARES MéXICO

LA CARRERA FÓRMULA SOL es la primera competencia de autos solares y eléctricos en México. Están invitadas escuderías de todo el mundo, especialmente de México y América Latina. El primero de estos eventos se llevará a cabo en julio de 1993 en el "Circuito Ecoturístico del Mar de Cortés": 1,200 kilómetros de excelente carretera de cuatro carriles desde Nogales, Sonora, hasta Mazatlán, Sinaloa. Este será el escenario de la primera competencia de TONATIUH, SON OF THE SUN.

En el Noroeste de México, el recurso más abundante es la energía solar. Existe la posibilidad de que la carrera se inicie en Phoenix, Arizona, recorriéndose así 1,500 kilómetros en total.

A través de FÓRMULA SOL se busca estimular en México, en América Latina y en el mundo, el aprovechamiento de

la energía solar, el desarrollo y uso de tecnología fotovoltáica y de vehículos eléctricos.

AUSTRALIA

El reto por excelencia en competencias de autos solares, la carrera más difícil, es el WORLD SOLAR CHALLENGE en el que se recorren 3,007 kms atravezando Australia desde Darwin en la costa norte, hasta Adelaide en la costa sur.

El tercer WORLD SOLAR CHALLENGE se inicia el 7 de noviembre de 1993. Participarán setenta autos de más de catorce países incluyendo UN AUTO MEXICANO: TONATIUH, SON OF THE SUN.

OTROS PAíSES

Otras carreras de autos solares en el mundo incluyen las siguientes. En Estados Unidos: "American Tour de Sol" (Nueva Inglaterra, autos solares y eléctricos), "SEER, Solar Energy Expo and Rally" (California), "Phoenix S&E 500" (Arizona, autos solares y eléctricos), "SUNRAYCE '93" (de Texas a Minnesota, autos solares trans-continentales universitarios), y "Electric Grand Prix" (California).

Europa: En 1985 se llevó a cabo la primera carrera de autos solares en el mundo, el "Swiss Tour de Sol", en el cual también participan autos eléctricos. Otras carreras europeas incluyen, en Dinamarca, "SOLAR CUP", y en Italia el "GRAN PREMIO '4E'" (Ecología, Energía Solar, Electricidad, Europa).

En Japón se efectúan el "Grand Solar Challenge" y el "World Solar Rally", en el último de los cuales (agosto '92) participaron más de cien autos solares.

Si bien a corto y a mediano plazo los autos solares no son una opción práctica, han generado valiosas aportaciones para el desarrollo de los vehículos de cero emisiones de contaminantes: los autos eléctricos.

VEHÍCULOS ELéCTRICOS VS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Hasta ahora sólo los transportes eléctricos califican como vehículos de cero emisiones. Aún aquéllos recargados con energía derivada de plantas de electricidad contaminantes contribuyen a reducir la polución total del aire. Esto se debe a que las plantas productoras de electricidad son más eficientes y más limpias que los motores automotrices.

Un motor a cuatro tiempos de combustión interna tiene una efficiencia pico aproximada de 25% [4]: aprovecha tan sólo una cuarta parte de la energía química del combustible para producir energía mecánica; el 75% restante representa calor inútil. Este proceso de combustión emite contamina demasiado.

Si bien el uso de gas natural contamina MENOS, su combustión también produce gases tóxicos, sobre todo óxidos de nitrógeno [1].

De acuerdo con el Consejo de los Recursos del Aire de CAlifornia, un vehículo eléctrico recargado con electricidad derivada de combustibles fósiles contamina tan sólo un 10% comparado con las emisiones de un auto con motor de combustión interna [4].

Si bien en México esta cifra puede ser diferente, dada la probable diferenecia en la eficiencia de nuestras termoeléctricas (32% en plantas mexicanas [5]), no deja de ser cierto que los vehículos eléctricos, dada la optimización energética indispensable en su diseño, utilizan la energía disponible con alta eficacia.

Si las baterías de los autos están recargadas con energía derivada de fuentes no-contaminantes, tal como la energía solar, el desplazamiento del vehículo produce cero contaminantes.

Las ventajas de los vehículo eléctricos incluyen:

- **Cero emisión de contaminantes.**
- **Operación silenciosa.**
- **Mantenimiento reducido:** la menor cantidad de partes móviles, la ausencia de bujías, filtros de aceite, tanque de gasolina, anticongelantes, sistemas de

escape, bombas de gasolina y de agua, el prescindir de afinaciones y de cambios de aceite, implican menor costo y frecuencia de mantenimiento.
- Esto a su vez genera **menos basura** pues casi no hay partes deshechables.
- **Confiabilidad:** el menor número de refacciones necesarias reduce las posibilidades de fallas en el sistema.
- **Mejoras en la salud.**
- **Seguridad al conducir.**
- **Menor costo energético:** cuando un auto eléctrico se detiene, sea en un semáforo o en un congestionamiento de tránsito, no gasta nada de energía.
- **Disminución en la incidencia de derramas** de petróleo a los océanos y de **fugas** de los tanques de almacenaje al subsuelo. [4]

Al igual que los autos solares, los eléctricos deben aplicar los principios del DISEÑO PARA EFICIENCIA. Con una carga muy limitada de energía, almacenada en baterías típicamente bastante pesadas, un vehículo eléctrico debe recorrer largas distancias en irregular topografía.

El auto eléctrico altamente eficiente debe ser diseñado desde cero, observando con sumo detalle las cuestiones de aerodinámica, peso de los materiales, resistencia de arrastre de las llantas, superficie frontal, eficiencia del motor y de controles eléctricos, etcétera.

CONVERSIONES

Si bien el auto eléctrico ideal es aquél diseñado desde cero, circulan ya millones de vehículos consumidores de hidrocarburos. Deshacernos de éstos en favor de nuevos diseños sería altamente costoso. Cambiar su sistema motriz a eléctrico resulta sencillo, accesible y eficiente.

Típicamente, una conversión bien hecha permite al vehículo desplazarse de 60 a 100 kilómetros, según la administración que se haga de las baterías.

En varios países del hemisferio norte existen varias compañías que venden paquetes de conversión, instructivos impresos y en video, y realizan conversiones en sus talleres con verdadero éxito pues las conversiones han demostrado funcionar con eficiencia sobre todo en medios urbanos.

VEHÍCULOS HÍBRIDOS

La opción de vehículos híbridos, cuya recarga de baterías se efectúa mediante un pequeño motor de combustión interna, es una etapa tecnológica práctica en la transición hacia un sistema de transporte con vehículos de cero emisiones. Al circular en ciudad basta la carga de baterías obtenida con electricidad de la fuente estacionaria. Al circular largas distancias o en carretera, existen autos que ofrecen la opción de que un pequeño motor de combustión interna se use no para generar directamente energía mecánica, sino electricidad para las baterías. También existen diseños de autos híbridos en los que el motor de combustión interna si se utiliza directamente para energía mecánica.

Una ventaja importante del vehículo híbrido es que hace posible la operación del motor cargador a velocidad y potencia constantes, lo cual puede disminuir notablemente la contaminación al aumentar la eficiencia en el uso del combustible.

LIMITACIONES TECNOLÓGICAS

BATERÍAS

Los ojos del mundo están puestos en las investigaciones llevadas a cabo en materia de almacenaje de electricidad. Las baterías ideales combinan alta densidad energética (ligereza y gran capacidad de almacenaje), breve tiempo de recarga, larga vida en estantería, capacidad de tolerar muchas descargas profundas, retención de la energía, poca sensibilidad a la temperatura, estabilidad, precio accesible (que no

utilicen metales preciosos) y materiales reciclables, recuperables [6].

La batería ideal aún no ha sido lograda. Lo mejor que nos ofrece el mercado hoy en día son las clásicas baterías de plomo-ácido. Estas pueden almacenar substanciales cargas energéticas; con alto voltaje toleran recargas rápidas, son aguantadoras, de precio razonable y altamente reciclables. El gran problema con estas baterías es que son muy pesadas.

Por el contrario, las baterías de plata-zinc, las más utilizadas para autos solares de carreras, tienen alta densidad energética: son las baterías más ligeras existentes. Sin embargo se arruinan si se cargan o se descargan demasiado rápido, aguantan un máximo de quince descargas profundas, su vida máxima de estantería es de dos meses y son prohibitibamente caras [3].

Otras opciones de acumuladores son baterías de niquel/hierro, niquel/cadmio, zinc/aire, sodio/azufre, sodio/niquel, litio-aluminio/sulfuro de hierro, zinc/bromo, niquel/hidruro de metal, litio/monosulfuro de hierro [6] y el volante de inercia.

TIEMPO DE RECARGA: El momento ideal para recargar un auto eléctrico es durante la noche, cuando por varias horas no se usa. También es conveniente efectuar la recarga mientras el auto permanece parado por horas afuera del lugar de trabajo.

La limitante del tiempo de recarga de baterías ya ha sido franqueada por algunos sistemas y en ciertos tipos de baterías. Algunos sistemas ofrecen la opción de recarga rápida o lenta. Otra manera de atravesar este umbral es cambiando las baterías descargadas, por un segundo juego de baterías cargadas mediante un práctico sistema.

RANGO LIMITADO DE DISTANCIAS: La distancia típica por carga de baterías de un vehículo eléctrico es de 80 a 160 kms por día, lo cual los hace excelentes vehículos para ciudad, mas no para mayores distancias. Los vehículos híbridos son ideales para quienes salen a carretera con frecuencia.

INFRAESTRUCTURA

Tal y como los vehículos de combustión interna dependen de gasolinerías ubicadas a distancias no mayores de un cierto radio de acción, los vehículos eléctricos también requieren infraestructura para recargar sus baterías.

Instalar dicha infraestructura en los hogares, estacionamientos empresariales, públicos y a lo largo de carreteras es relativamente sencillo dada la amplia red de distribución eléctrica existente.

Páneles fotovoltáicos en los techos y paredes de las construcciones han demostrado ser eficientes, sobre todo en lugares a donde no llega la red eléctrica.

Un aspecto importante que se debe procurar desde el principio es la estandardización de los mecanismos de recarga para que los autos se puedan conectar a la fuente de energía en cualquier instalación de la ciudad. sin necesidad de aparatosos acopladores.

La tecnología de carga inductiva ofrece la posibilidad de recargar baterías, aún en condiciones lluviosas, sin riesgo de electrocutarse.

PRECIO: Si bien no hay vehículos eléctricos diseñados desde cero en el mercado, se dice que los más económicos costarán a partir de $12,000 dólares E.U.A. Una vez que sean producidos en serie, el precio disminuirá considerablemente.

LEGISLACIÓN

Recientemente el Consejo de los Recursos del Aire de California mandó que para 1998 el 2% de los vehículos que un fabricante saque a la venta deben ser de cero emisiones (eléctricos), cifra que asciende al 10% para el año 2003 [4], lo cual representará 200,000 vehículos. Los estados del Noreste y

otras entidades federativas de Estados Unidos están prontos a adoptar leyes similares.

Esto ha estimulado enormemente el desarrollo tecnológico de los vehículos eléctricos al obligar a todo fabricante que desee vender autos en estos estados a ofrecer vehículos eléctricos comerciales.

Esta ley ha tenido tal impacto, que en 1991 General Motors, Ford y Chrysler formaron el Consorcio de Baterías Avanzadas de Estados Unidos (USABC) para la investigación y desarrollo de tecnologías avanzadas de baterías a ser usadas por vehículos eléctricos.

Una legislación similar es imperativa para la Ciudad de México.

AUTOS ELéCTRICOS HOY

En varios países se está desarrollando sustancialmente la tecnología de los vehículos eléctricos. Las grandes compañías manufactureras de autos han creado ya varios prototipos, tales como el "Ecostar" y el "Ghia Connecta" de Ford, el Dodge "Epic", el "Citroen Citella", el "VW Chico", el "Nissan FEV", el "Impact" y el "HX3" de General Motors, el "E1", "E2" y el "3-Series" de BMW, el Mercedes-Benz "190E" y el "Opel Twin" [6]. Ninguno de estos está ya a la venta. Sin embargo, están surgiendo pequeñas compañías que ofrecen a la venta sus diseños de autos eléctricos produciéndolos en pequeñas cantidades, o realizando conversiones de autos con motor de combustión interna a eléctricos.

Los autos eléctricos son una idea cuyo tiempo ha llegado. La era del transporte eléctrico ha nacido. Existen amplias áreas de investigación y gran cantidad de nichos en el mercado. La demanda está creciendo vertiginosamente, la industria está surgiendo.

AUTOS ELéCTRICOS EN MéXICO

Sin duda esto representa una **GRAN OPORTUNIDAD PARA MéXICO:** involucrándonos desde ahora en el desarrollo tecnológico y en la producción de vehículos eléctricos, México podría ocupar un lugar competitivo destacado en los mercados automotrices mundiales y, sobre todo, México se fortalece internamente al contar con esta industria nacional que abastece nuestra necesidad de ver por la salud propia.

El giro tecnológico que significa contrarrestar sin rodeos la asfixiante atmósfera exalada por la actual tecnología de transporte, debe ser implementado con decisión. Depende en gran medida de la disponibilidad de autos eléctricos en el mercado y esto, a su vez, depende de los mexicanos: no podemos esperar a que las grandes transnacionales se decidan a ofrecernos autos eléctricos. Tenemos que crearlos nosotros mismos.

TRANSPORTE PúBLICO ELéCTRICO

Es evidente que la tecnología del uso de combustibles fósiles para el transporte conlleva negativas repercusiones atmosféricas. En la Ciudad de México y municipios aledaños, por ejemplo, circulan 2'963,367 vehículos de combustión interna [9], los cuales son responsables del 76% de la contaminación del aire en el Valle de México [7].

El transporte público con motor de combustión interna en la Ciudad de México y municipios vecinos representa tan sólo 134,311 unidades (incluyendo autobuses, colectivos y taxis) [8], las cuales, dado su uso intensivo, son responsables del 25.2% de la contaminación del aire debida al transporte en la Capital Metropolitana [9], lo cual representa 19.15% de la contaminación atmosférica total en la Ciudad de México y municipios adyacentes.

Esto indica que el transporte público es un sector ambientalmente

estratégico. Convertir 134,311 vehículos de motor de combustión interna a eléctricos es relativamente fácil y mejoraría sustancialmente la calidad del aire en la zona metropolitana: pocas unidades, impacto certero.

COMPLEMENTOS AL PANORAMA GLOBAL

Un buen sistema de transporte debe ser manejado de manera altamente eficiente para evitar los insufribles congestionamientos del tránsito.

El Manejo de Sistemas de Transporte (MST) propone medidas para desalentar el uso excesivo de autos particulares y el flujo óptimo vehicular. Algunas de las medidas que sugiere el MST incluyen: reducir el número de viajes de autos con un solo ocupante, promover el uso del transporte público y de bicicletas, y opera en gran medida con empresas que tienen muchos empleados. A estas les propone horarios flexibles u horarios que ni impliquen que el trabajador viaje en las horas de mayor tráfico; y, otorgando lugar preferencial en el estacionamiento de la empresa, promover la organización de "carpools", es decir que viajen en un mismo vehículo los empleados que habitan en una misma zona.

Cabe destacar la importancia de solicitar a las autoridades locales que, mediante la creación de vías exclusivas para bicicletas, se promueva el uso de esta alternativa de transporte tan popularmente utilizada en varias ciudades de Asia, Europa y Norteamérica con excelentes resultados.

Para contrarrestar la contaminación debida al consumo de hidrocarburos para transporte, industria y electricidad, es indispensable el AHORRO DE ENERGíA. Para esto es importante primero tomar conciencia del despilfarro energético continuo operante en nuestro actual modelo de desarrollo, y aprender eficiencia en nuestro consumo de energéticos.

En suma, los transportes con motor de combustión interna son responsables de un muy elevado porcentaje de la contaminación atmosférica en los centros urbanos. A la vez, el transporte juega un papel estratégico en las economías nacionales. Por ende, es importante desarrollar y poner a la disposición del público cuanto antes vehículos no contaminantes. Los autos solares de carreras impulsan el desarrollo de los vehículos eléctricos. Estos son hoy en día la única opción limpia práctica, cuya tecnología ha alcanzado suficiente madurez para implementarse y popularizarse a gran escala de inmediato.

BIBLIOGRAFÍA:

[1] Meadows, D.H.; Meadows, D.L.; Randers, J., (1992), Beyond the Limits, Chelsea Green Publishing Co., Vermont.

[2] Informe de Operación 1991, C.F.E.

[3] Kyle, Ch., (1991), Racing with the Sun, Society of Automotive Engineers, Pensylvania.

[4] Terpstra, P, (1991), Electric Vehicle Directory, Spirit Publications, Arizona.

[5] Comunicación personal con el Ing. Luis Rolando Figueroa Noriega, Presidente de la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética, A.C., noviembre 1993.

[6] Birch, S.,(1992), Battery and Electric Vehicle Update. En Automotive Engineering, septiembre, vol. 100, #9. SAE Internacional.

[7] Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica (1990), Ciudad de México, Octubre de 1990.

[8] Del Rosal García, M, (1992), Lineamientos Esenciales para la Modernización del Transporte. En: Ensayos sobre la Economía de la Ciudad de México, Ed: Ciudad de México Librería y Editora, S.C.

MX9800108

AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA DE CELULOSA Y PAPEL

EL CASO DE CELULOSA Y PAPEL DE MICHOACÁN

FIDEICOMISO DE APOYO AL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA DEL SECTOR ELÉCTRICO
(FIDE)

GERENCIA DE INDUSTRIA

RESUMEN

En este trabajo se describen los resultados del Proyecto de Demostración de Ahorro de Energía Eléctrica que es una de los veinticuatro proyectos, en los que el FIDE financia tanto el diagnóstico como la aplicación de medidas. Se presentan tanto las áreas de oportunidad, potenciales y medidas aplicadas y en aplicación, así como las inversiones requeridas y los períodos de recuperación de las mismas.

INTRODUCCION

La experiencia ha demostrado que los resultados obtenidos en proyectos relacionados con la optimización del consumo de energía en las plantas industriales permite aumentar su rentabilidad operativa, y que los mejores resultados se logran cuando las acciones se organizan en forma "integral", abarcando todo tipo de energía, todas las áreas de la planta y todos los ahorros posibles.

Este es el fundamento metodológico de la realización de los proyectos demostrativos que ha venido desarrollando el Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), cuyos resultados son de alcance nacional, ya sea por la magnitud de los consumos de las ramas seleccionadas o por la posibilidad de extrapolar los resultados a un gran número de empresas semejantes.

La industria nacional de Celulosa y Papel muestra un potencial de crecimiento importante que resulta de su sensibilidad a las variaciones de la actividad económica. Esto le brinda amplias posibilidades de crecimiento, aunque es necesario superar algunas de las dificultades que enfrenta en las diferentes fases del proceso productivo.

Una de esas dificultades es el aprovechamiento racional de la energía eléctrica, combustóleo y agua. Insumos de los que la rama es una gran consumidora.

Este folleto sobre ahorro de energía eléctrica en la Industria de la Celulosa y el Papel, pretende dar a conocer los

resultados del diagnóstico energético en la empresa Celulosa y Papel de Michoacán, S.A. de C.V. Las medidas de ahorro de energía sugeridas aquí, pueden servir como referencia cualitativa para cualquier planta del sector.

En la primera parte de esta presentación, se muestran las características más relevantes de la estructura energética de la empresa. Posteriormente, se caracterizan las posibilidades de conservación y uso eficiente de la energía en las diferentes áreas de la planta.

El tercer apartado muestra un concentrado de las medidas de ahorro de energía por áreas de la planta.

Finalmente, se presenta un esquema integral de inversión y el consiguiente beneficio económico de las medidas ahorradoras.

I. CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LA EMPRESA

Celulosa y Papel de Michoacán, S.A. de C.V. (CEPAMISA), es una de las 10 plantas con procesos integrados en la producción de celulosa y de papeles para impresión que operan en México.

La principal materia prima que utiliza en su proceso productivo son las maderas de pino y de encino.

PRODUCCION DE CEPAMISA
(Dic. 90 a Nov. 91)

Producto	Promedio Mensual (Tons)	Total (Tons)
Papel Bruto	4734	56,804
Celulosa	8128	97,536
Celulosa Laminada	5882	70,583

CONSUMO DE ENERGÉTICOS

Los principales insumos energéticos de CEPAMISA son la electricidad y el combustóleo. La carga eléctrica conectada en la planta es de 27,648 KW.

La demanda de electricidad se satisface con el 55.5% de consumo externo (comprada a C.F.E.) y 45.5% de generación interna (se tiene una capacidad de 7 MW).

Los principales indicadores de la demanda energética de CEPAMISA se expresan en el cuadro siguiente:

CONCEPTO	PROMEDIO MENSUAL	
Consumo eléctrico	9'959,203	KWh
Cap. de generación eléctrica.	4'533,203	KWh
Factor de potencia	87.4	%
Factor de carga	79.2	%
Consumo de combustóleo	3'525,000	Lts.
Consumo de agua	1'100,000	M3

II. AREAS DE OPORTUNIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA

El análisis del comportamiento de los diversos sistemas de proceso en la fabricación de celulosa y papel en CEPAMISA, mostró potenciales interesantes en la optimización del consumo energético. A continuación se presentan las conclusiones de dicho análisis.

Sistema de Bombeo

La planta tiene dos sistemas de bombeo.

Cada uno de ellos opera tres bombas para satisfacer el flujo requerido

Su comportamiento revela desgaste de partes internas

El sistema de tratamientos de efluentes está trabajando con ocho aereadores durante las 24 horas.

Iluminación

Las áreas que presentan grandes potenciales son aquellas en las que no se desarrolla actividad durante la noche como: **a)** el patio de madera y el astillador, **b)** los cuartos de máquinas de algunas secciones y **c)** la iluminación en las calles.

Control de la Demanda

La planta ha modificado la operación de sus áreas para reducir la demanda durante el horario PICO.

En este horario la interrupción de la carga es manual, por lo que su comportamiento es variable.

La variación de la demanda en horario pico es de entre 7,100 y 8,200 KW, y en el horario base de hasta 9,000 KW.

Factor de Potencia

El factor de potencia promedio es de 87% global

La corrección del valor a 90% implica la generación de energía reactiva mediante capacitores y turbogeneradores.

El costo del KVAR generado con turbogeneradores es mayor que el de la generación con capacitores de bancos fijos y bancos automáticos.

Cogeneración

El sistema de cogeneración tiene una capacidad de 7 MW, con dos turbogeneradores gemelos.

El esquema no tiene flexibilidad a los rechazos de vapor, obligando a disminuir la generación interna cuando no se utiliza vapor en proceso.

Producción y Distribución de Vapor

En la operación de la caldera de fuerza y de paquete se observaron valores altos de exceso de aire y altas temperaturas de gases en chimenea.

En las líneas principales de distribución de vapor se encontraron válvulas, tuberías y bridas sin aislar, lo que trae como consecuencia pérdidas importantes de calor.

III. DESCRIPCION DE LAS RECOMENDACIONES Y/O MEDIDAS Y SU IMPACTO EN EL CONSUMO ENERGETICO.

La implantación de las medidas para la optimización y uso eficiente de la energía eléctrica redundan en importantes y rápidos beneficios económicos para las empresas, ya sea porque contribuyen a reducir costos de producción, disminuyendo las pérdidas de recursos por desperdicios en el proceso, como por su contribución a la competitividad internacional de nuestras empresas y productos.

Sistema de Bombeo

- Mantenimiento de las partes internas de las bombas.
- Operar dos bombas y mantener dos de reserva en cada sección.
- Sacar de operación los aereadores y las bombas de agua de río, de efluentes generales y de alimentación de calderas en horario pico (de las 18 a las 22 hrs., de lunes a sábado).
- Verificar los parámetros de calidad del agua antes de sacar de funcionamiento los aereadores.
- En caso de cero demanda de vapor a proceso, sacar de servicio una bomba de alimentación de agua de calderas y no recircular agua al deareador.

Sistema de Iluminación

- Iniciar una campaña de concientización para mantener fuera de operación las luminarias de las áreas donde no se desarrolla ninguna actividad durante la noche (salas de máquinas de las secciones de digestión, lavado y laminado de celulosa; salas de rectificadores y subestaciones).
- Seccionar las instalaciones de control de alumbrado a fin de utilizar únicamente iluminación localizada.
- La iluminación en calles debe reducirse al 50% terciando el apagado de las luminarias.
- Instalar sensores de presencia

Control de la Demanda

- Instalar un sistema automático de control de la demanda eléctrica, en las siguientes secciones de la planta: preparación de madera, tratamiento de efluentes, hidrapulpers, refinadores, compresores y en las bombas de la planta de tratamiento de agua.

Cogeneración

- Ampliar la capacidad instalada de capacitores a 3669 KVAR.
- La cogeneración con turbina condensante y de extracción múltiple ofrece flexibilidad de mantener una generación eléctrica máxima.
- Ampliar la capacidad del sistema de cogeneración a 12 MW con la adición de un turbogenerador con capacidad de 5 MW.

AHORROS ANUALES POR IMPLANTACION DE MEDIDAS ELECTRICAS

Areas Potenciales de Ahorro	Potenciales de Ahorros Anuales		Ahorro Facturación (%)
	KW	KWH (miles)	
Sistema de Bombeo	505	1'716.3	3.06
Iluminación	112	441.0	0.5
Control de la Demanda	1,020	-	3.8
Cogeneración			
. Bancos de Capacitores	-	31'524.0 Kvarh	4.2
. Turbogenerador condensante	4,905	29'690.9	29.7

Generación de Vapor

- Calibrar la relación aire/combustible y limpieza del precalentador de aire de la caldera de fuerza y paquete.
- Recuperar purgas mediante la expansión de la misma desde 38 kg/cm2 hasta 0.4 Kg/cm2 instalando un sistema de flasheo.

Distribución de Vapor

- Reparar o instalar aislamientos deteriorados o faltantes en válvulas y tuberías de alta, media y baja presión.
- Establecer y aplicar un programa permanente de detección y reparación de fugas en válvulas y bridas.
- Establecer y aplicar un programa de verificación continua del funcionamiento de trampas de vapor.
- Reemplazar las trampas de vapor que no operan adecuadamente
- Efectuar la recuperación integral de condensados

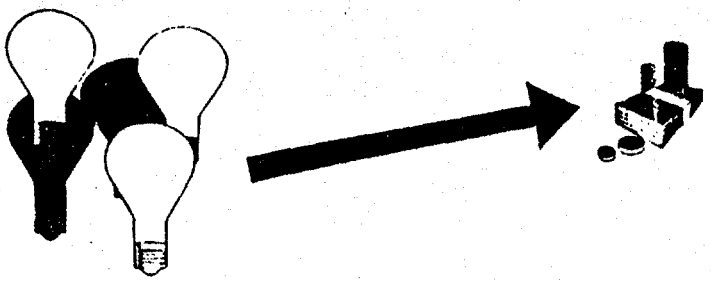
AHORRO POR IMPLANTACION DE OTRAS MEDIDAS

Areas Potenciales de Ahorro	Potenciales de Ahorro Anuales		Ahorro en Facturación	
	Combust. (Lts)[1/]	Agua (M^3)[2/]	Combust. (%)	Agua Tratada (%)
Generación de Vapor				
. Purgas	465,465	7,505	1.1	2.05
. Calderas	1'263,126	-	3.0	-
Distribución de Vapor	1'537,516	16,903	3.6	4.6

1/ Combustóleo pesado
2/ Agua desmineralizada

IV. IMPACTO ECONOMICO DE LAS MEDIDAS AHORRADORAS DE ENERGIA ELECTRICA.

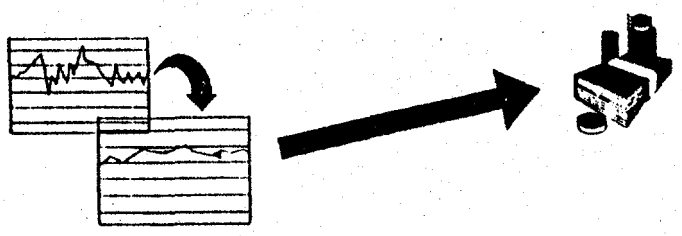
AHORROS POR ILUMINACION



SENSORES DE PRESENCIA

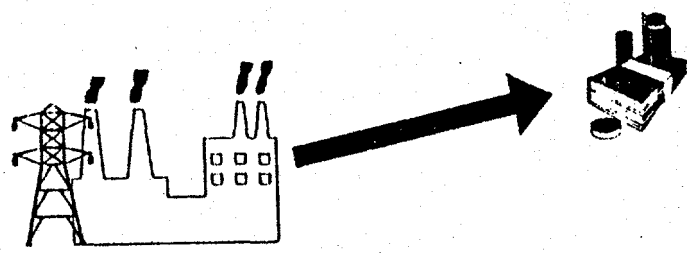
Inversión (Millones de pesos)	$ 5,000.00
Ahorro (KWH/mes)	5,760 KWH
Ahorro en factura (Miles de pesos/mes)	$ 624.34
Período de recuperación de la inversión (meses)	8.0

AHORRO ELECTRICO POR CONTROL AUTOMATICO DE LA DEMANDA



Inversión (Miles de pesos)	4 245,000.00
Ahorro (KWH/mes)	107,890 KWH (2.1%)
Ahorro en factura por consumo (Miles de pesos/mes)	$ 17,348.61 (2.2%)
Reducción en demanda base	310 KW (3.3%)
Reducción en demanda pico	1,090 KW (12.9 %)
Ahorro en factura por demanda	$ 24,695.89 (3.2%)
Ahorro Total en factura (Miles de pesos/mes)	$ 42,044.50 (5.4%)
Período de recuperación de las inversiones (Meses)	5.8

AHORRO ELECTRICO POR AMPLIACION EN ELSISTEMA DE COGENERACION



Ahorro anual por demanda eléctrica externa	$ 4,800'000,000
Costo adicional por mantenimiento	$ 600'000,000
Costo por combustible extra	$ 1,700'000,000
Inversión requerida	$ 9,610'000,000
Período de recuperación	3.8 años
Ahorro con respecto a la factura	29.1%

CONCLUSIONES

Los esfuerzos de reducción del consumo de energía eléctrica en CEPAMISA con la aplicación de las medidas recomendadas en este folleto, tendrán seguramente un impacto positivo en la reducción del costo de la factura energética.

Las ventajas más evidentes se encuentran en las medidas de orden administrativo, como las referentes a las actividades de promoción, supervisión y control del flujo eléctrico que se incorpora como insumo en cada etapa del proceso y en las áreas generales de la planta. Solo con éstas acciones se obtendría una reducción de 11.5% de la factura de consumo ante C.F.E. Ello no implica inversión en recursos monetarios, más bien requieren importantes acciones de participación de administradores y trabajadores de CEPAMISA.

Ampliar la capacidad de cogeneración resulta atractivo debido a que permitiría desplazar el 46% del consumo externo, además de los beneficios que traería la próxima legislación sobre compra-venta de energía eléctrica.
Un programa integral de optimización de energéticos encuentra su conclusión en el ahorro de combustóleo del orden de 7.7% del consumo actual, cuyo volumen representa poco menos del consumo mensual promedio de la planta.

EMPRESA	GIRO O ACTIVIDAD INDUSTRIAL
. EUZKADI	FABRICACION DE LLANTAS
. QUIMICA CENTRAL DE MEXICO	SALES DE CROMO
. CELULOSA Y PAPEL DE MICHOACAN	CELULOSA Y PAPEL
. NEGRO DE HUM NEGROMEX	NEGRO DE HUMO
. SEDAS REAL	TEXTIL
. INDUSTRIA DEL HIERRO	BIENES DE CAPITAL
. HOVOMEX	CELULOSA Y PAPELES ESPECIALES
. ABB MOTORES	MOTORES ELECTRICOS
. SWECOMEX	BIENES DE CAPITAL
. CENTRO INDUSTRIAL BIOQUIMICO	FARMOQUIMICOS
. MINERA AUTLAN	MINERALES
. FORJAS Y MAQUINAS	BIENES DE CAPITAL
. INDUSTRIAS HORTICOLAS DE MONTEMORELOS	ALIMENTICIA
. BECTON DICKINSON	JERINGAS DESECHABLES
. GRUPO PRIMEX	P.V.C.
. DUPLAY DE CHIHUAHUA	AGLOMERADOS Y RESINAS
. FILTROS GONHER	FILTROS AUTOMOTRICES
. RESISTOL	QUIMICA
. JUGOS DEL VALLE	ALIMENTICIA
. METALSA	BIENES DE CAPITAL
, UCAR CARBON DE MEXICO	ELECTRODOS DE GRAFITO
. PENNWALT DEL PACIFICO	SOSA Y CLORO
. SICARTSA	SIDERURGIA

MX9800109

ASPECTOS DE DISEÑO Y CONSERVACION DE CARRETERAS EN EL AHORRO DE ENERGIA

por

Carlos S. López Cajún
Roberto Aguerrebere Salido

Instituto Mexicano del Transporte
76700 Sanfandila, Querétaro

Resumen

En este trabajo se presentan los efectos que sobre consumo de combustible se tienen, debido a las pendientes y rugosidades de las carreteras. Se presenta un modelo matemático que muestra la relación entre la pendiente, el coeficiente de rodamiento y la potencia requerida para vencer las resistencias correspondientes; lo anterior con el fin de predecir el consumo de combustible y, por lo tanto, los niveles potenciales de ahorro de energía correspondientes a este rubro.

ASPECTOS DE DISEÑO Y CONSERVACION DE CARRETERAS EN EL AHORRO DE ENERGIA

Introducción

No hay duda de que la relativa abundancia y el relativamente bajo precio del petróleo y de los combustibles que a partir de él se obtienen, ha seguido favoreciendo el uso y desarrollo de las máquinas de combustión interna, principal medio de locomoción a nivel mundial de los vehículos que hacen posible el transporte moderno en sus principales manifestaciones: carretero, ferroviario, marítimo y aéreo.

Como en muchos otros países, en el nuestro han sido posibles niveles de bienestar social que no podrían imaginarse si no se hiciera uso de los combustibles fósiles, pero ello ha implicado la adopción de un modelo de desarrollo dependiente de altos consumos de energía y, fundamentalmente, del carbono, sea a partir de carbón mineral, madera, petróleo o gas natural. A tal grado ha llegado dicha dependencia y su aceptación, que entre los indicadores de bienestar o estándar de vida utilizados para dar cuenta del desarrollo de los países es frecuente encontrar al consumo energético.

Es comprensible, debido al nivel de desarrollo de México y a la naturaleza tecnológica del transporte, que ésta sea una de las actividades con mayor consumo energético en nuestro País, como puede verse en la Fig.1. También es sencillo comprender que el uso de vehículos automotores destaque en dicho consumo, sobre todo teniendo en cuenta que una de las características de la vida moderna es el uso del automóvil, símbolo de libertad individual, aunque también de status socioeconómico. Estos hechos, comunes a la mayoría de los países, aunados al incremento de la población mundial y al creciente uso de otros productos tecnológicos que demandan directa o indirectamente la quema de combustibles fósiles, explica los crecientes volúmenes de bióxido de carbono contenidos en nuestra atmósfera (Fig. 2).

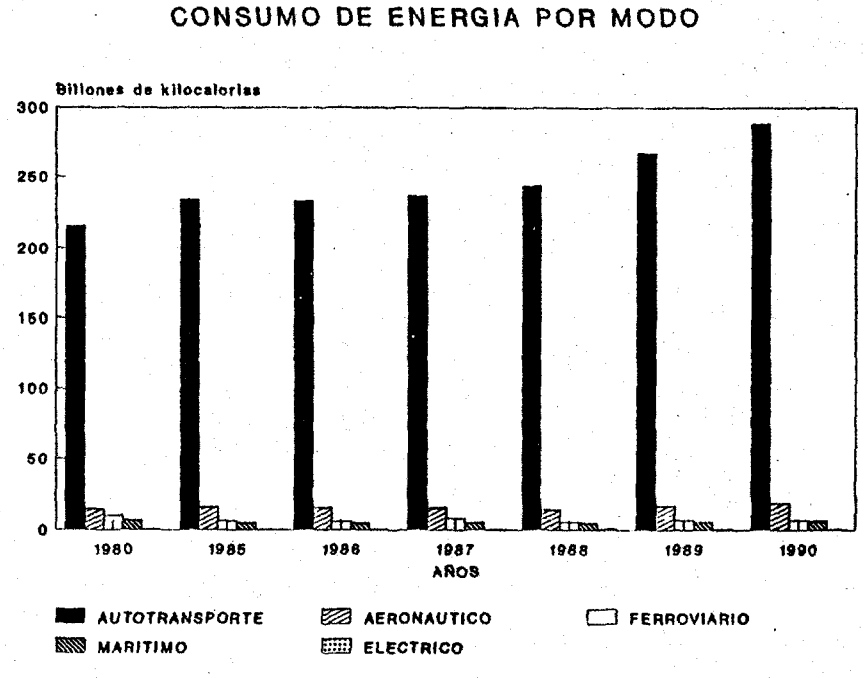


Figura 1. Evolución del consumo nacional de energía por modo de transporte.

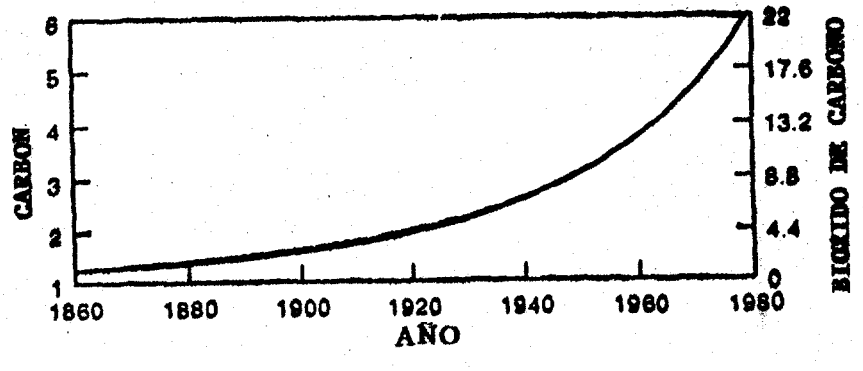


Figura 2. Producción mundial de carbono y bióxido de carbono a partir de la combustión de combustibles fósiles [2].

La concentración de CO_2 (anualmente se acumulan alrededor de 3,000 millones de toneladas [3]) es uno de los factores que propician el calentamiento global, con lo que contribuye a una eventual catástrofe climática de magnitud mundial. Se sospecha que tan sólo el CO_2 contribuye aproximadamente, a la mitad del llamado efecto de invernadero, pues junto con el metano, los clorofluorocarbonos, los óxidos de nitrógeno, el ozono y el vapor de agua, absorbe la energía infraroja reflejada de la luz solar que llega a la Tierra.

Para atacar los problemas derivados del uso de los combustibles fósiles actualmente existen y se desarrollan diversas estrategias a nivel mundial enacaminadas a sustituir paulatinamente los combustibles basados en carbono por otras fuentes de energía que no produzcan CO_2; sin embargo, la aplicación económica de fuentes alternas, tales como la solar, la nuclear y la eólica, se ve todavía muy limitada.

Por otro lado, en cuanto a las magnitudes del consumo, la cantidad de energía utilizada en transporte es tal, que seguramente hará se dediquen muchos esfuerzos a reducirla buscando mayor eficiencia, optimizando los recorridos y, en el caso extremo, racionando los combustibles.

En síntesis, energía, eficiencia y medio ambiente son tres de los principales retos que tendrá que afrontar la industria del transporte en los próximos años. Dada la relación que existe entre el transporte mismo, el uso racional de la energía y el medio ambiente, el Instituto Mexicano del Transporte ha iniciado el estudio de recomendaciones enfocadas a difundir y promover la eficiencia tanto en lo referente al diseño y mantenimiento de la infraestructura como a la operación de algunos modos de transporte. Se espera que la futura atención de estas recomendaciones repercuta en ahorros sustanciales de combustible y, como consecuencia, en menores niveles de emisiones. En este trabajo en particular, se presentan algunos avances del estudio de los efectos sobre el consumo de combustible, de las pendientes y rugosidades de las carreteras. Se formula un modelo matemático que se espera permita predecir el consumo de combustible y, por lo tanto, los niveles potenciales de ahorro de energía correspondientes a este rubro.

Fundamentos Teóricos

En general, la potencia necesaria para un vehículo, está dada por la suma de las potencias necesarias para vencer las fuerzas de resistencia al rodamiento, a la pendiente y a la resistencia del aire. En seguida se escriben las expresiones de las mismas [4].

La potencia de resistencia al rodamiento, N_f, está dada por:

$$N_f = W\ f\ V \cos \alpha\ /\ 270 \qquad (1)$$

donde:

W : es el peso del vehículo,

f : el factor de resistencia al rodamiento,

α : el ángulo de inclinación de la pendiente y

V : la velocidad.

En tanto que la potencia de resistencia a la pendiente, N_p, está dada por:

$$N_p = W\ V \text{ sen } \alpha /270 \qquad (2)$$

Finalmente, la potencia de resistencia del aire, N_a :

$$N_a = (0.049\ C_x\ A\ V^3)/270 \qquad (3)$$

donde:

C_x : coeficiente aerodinámico

A : área proyectada equivalente

En este trabajo por simplicidad y como parte inicial se tomaron los modelos lineales (en la velocidad), esto es, sólo las ecuaciones (1) y (2). Sumando las expresiones (1) y (2) se tiene la potencia consumida por la resistencia del camino, Nc, esto es,

$$N_c = (W\ V\ (f \cos\alpha + \text{sen}\,\alpha))/270 \qquad (4)$$

Más aún, el consumo específico de combustible, g_e, y la potencia total, N, están relacionadas por:

$$g_e = 1000\ Q_h/N \qquad (5)$$

donde

Q_h : es el consumo de combustible por hora,

en tanto que la potencia N se calcula como:

$$N = V_{cil}\, p_{me}\, n/(450k) \qquad (6)$$

siendo

V_{cil} : cilindrada (en l)

p_{me} : presión media efectiva (en kg/cm^2)

n : revoluciones por minuto del árbol cigüeñal del motor (en rpm)

k : constante que depende del número de tiempos de un motor. Para un motor de 4 tiempos k=2, para un motor de 2 tiempos k=1.

Por otro lado, la dependencia entre el valor del coeficiente de resistencia al rodamiento de un neumático y la velocidad del mismo se determina mediante diversas ecuaciones empíricas [4]. Una de ellas es:

$$f = P^{-0.64}\{0.02+V^{3.7}/[P^{1.44}(142 \times 10^7)]\} \qquad (7)$$

donde

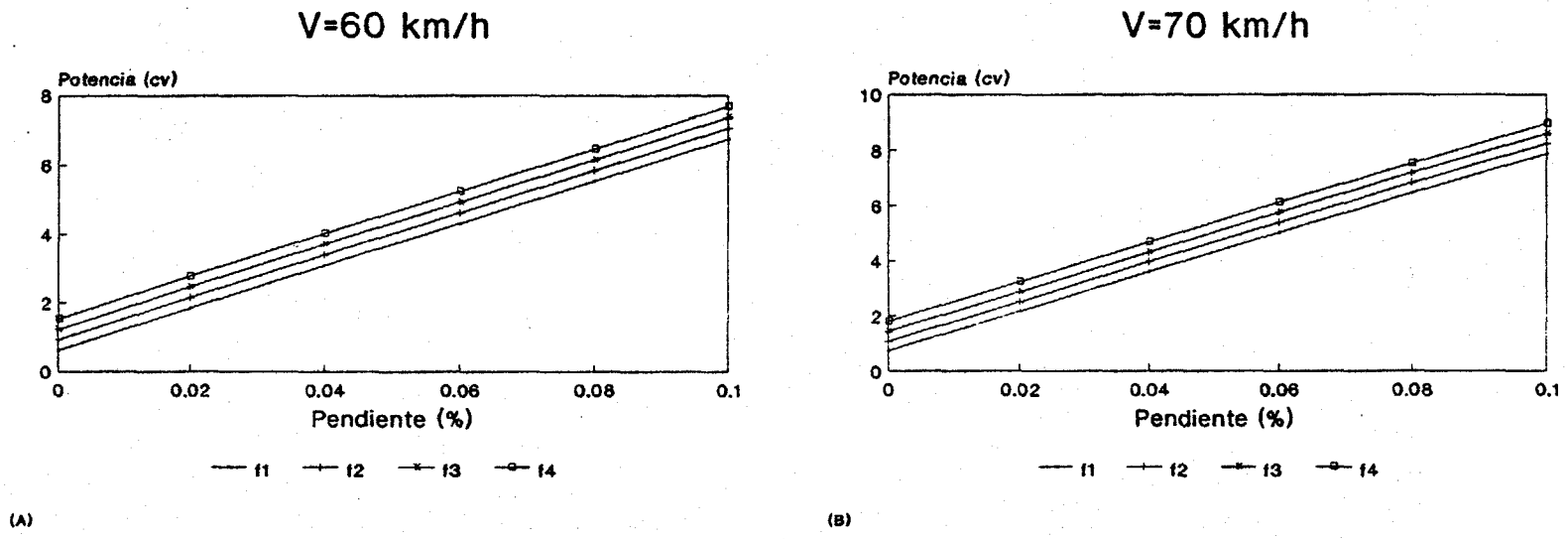
P : presión de aire en el neumático (kg/cm^2)

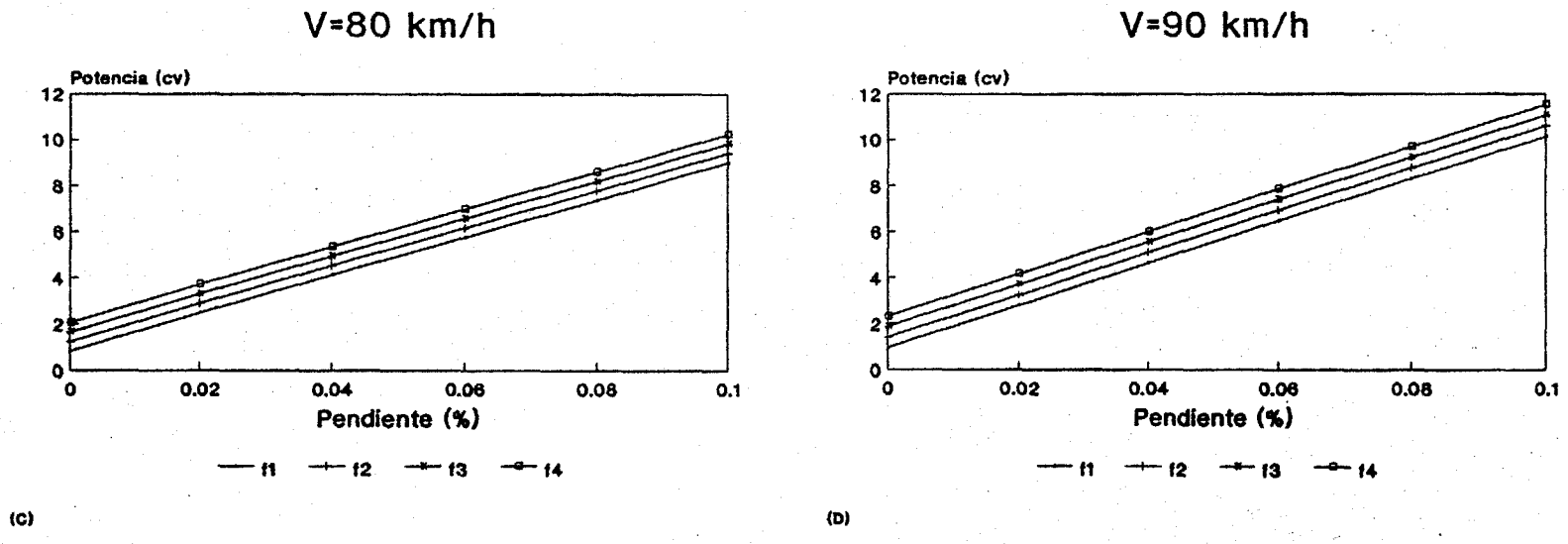
V : velocidad (km/h)

En el Anexo 1 se muestran algunos valores medios del coeficiente de resistencia al rodamiento en función del tipo de camino y su estado.

La ecuación (4) muestra claramente la relación entre la potencia, y por lo tanto el consumo de combustible, como funciones del coeficiente de rodamiento y de la pendiente.

En las Figs. 3a-d, se muestran diferentes gráficas que muestran la variación de la potencia requerida para diferentes valores de las variables indicadas. Como se indicó anteriormente, este es sólo un avance de un estudio más completo que actualmente se realiza en el Instituto Mexicano del Transporte.





$F_1 = 0.010$ $F_2 = 0.015$ $F_3 = 0.020$ $F_4 = 0.025$

Figura 3. Variación de la potencia para diferentes valores de f y α

CONCLUSIONES

Se presentó un modelo simple que relaciona las pendientes y los coeficientes de rodamiento con la potencia requerida para vencer las resistencias correspondientes. Claramente, el consumo de combustible aumenta conforme aumenta ya sea la pendiente o la rugosidad. De aquí, que los aspectos de diseño y conservación de carreteras jueguen un papel importante en los costos de operación de la flota vehicular a nivel nacional.

REFERENCIAS

[1] Amann, C. A., 1989, "The Automotive Spark-Ignition Engine-An Historical Perspective", *History of the Internal Combustion Engine*, ASME ICE-Vol.8, pp.33-45.

[2] *National Wildlife Federations Conservation 90*, 1990, Vol. 8 No. 6. Aug. 17.

[3] *Excelsior*, 1992, No.27,509

[4] Szczepaniak, C., 1982, **Fundamentos de diseño del automóvil**, Compañía Editorial Continental S. A., Ciudad de México.

Anexo 1

Valores medios de f [4]

Tipo de camino	En buen estado	En mal estado
Hormigón, asfalto	0.010-0.017	-
Adoquines	0.012-0.020	0.02-0.032
Apisonado	0.014-0.025	0.025-0.050
Tierra suelta	0.022-0.050(dura)	0.050-0.138(blanda)
Arena	0.100-0.150(húm.)	0.150-0.300(seca)

MX9800110

CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA REFINERIA "MIGUEL HIDALGO".

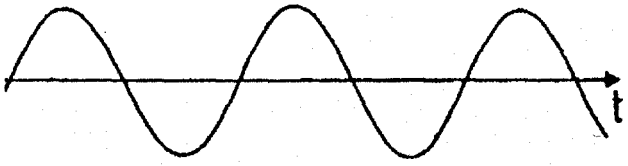
ING. GUSTAVO DOMINGUEZ GONZALEZ.
PETROLEOS MEXICANOS
REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"
Km. 26 1/2 carretera Jorobas-Tula
Apartado Postal No. 1, Codigo Postal 42800
TULA DE ALLENDE, HIDALGO.

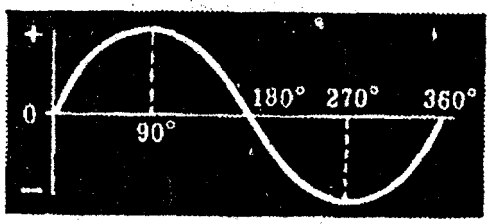
RESUMEN:

En el presente trabajo se analizan los fundamentos teóricos y fórmulas del "factor de potencia" y se muestra la relación entre kilowatts, kilovars y factor de potencia; también trata al factor de potencia combinado de grupos de cargas, así como el cálculo numérico de los KVAR necesarios para la mejora deseada del factor de potencia. Además se contemplan aspectos técnicos y económicos de los capacitores y los motores síncronos, así como la ubicación de los mismos en el sistema eléctrico para lograr los máximos beneficios. Finalmente se explican las ganancias económicas que se obtuvieron al instalarse capacitores en el sistema eléctrico de potencia de la Refinería "Miguel hidalgo".

INTRODUCCION:

La energía eléctrica es suministrada a los usuarios en un voltaje de C.A., cuya forma de onda se muestra en la siguiente figura.





Este voltaje alterno varía continuamente entre un máximo positivo y un máximo negativo. Un ciclo completo incluye una alternativa positiva y una negativa. El número de ciclos por segundos es la frecuencia la cual es designada con el símbolo *"f"* y se expresa en unidades de Hertz (Hz).

La estandarización de la frecuencia fué iniciada antes de la 1a. guerra mundial, pero no se pudo terminar dada las condiciones de la guerra. 50 y 60 Hz son las dos frecuencias usadas a través de todo el mundo hoy en día. En México los voltajes de alimentación en baja tensión son suministrados predominantemente en 220 V y 440 V a una frecuencia de 60 Hz.

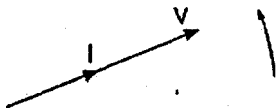
ELEMENTOS DE UN CIRCUITO.

Cuando una carga es conectada a la red, (cuyo voltaje es expresado en volts, V), entonces una corriente I fluirá (expresada en amperes, A). En términos generales se pueden distiguir tres tipos de cargas.

Resistencia.- Un horno eléctrico, una lámpara incandescente de luz, un radiador, etc, son todas ellas cargas resistivas. Tales cargas son referidas como si tuvieran una cierta resistencia. Una resistencia es designada con el símbolo "R" y se expresa en unidades de Ohm. Gráficamente la resistencia es representada así:

En un circuito puramente resistivo, la corriente está en fase con el voltaje y es una función inmediata del voltaje. Por lo tanto, si el voltaje y la corriente están en fase, tenemos que:

$$I = (V) / (R)$$

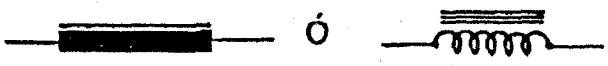


Una resitencia absorve potencia (en watts) igual a:

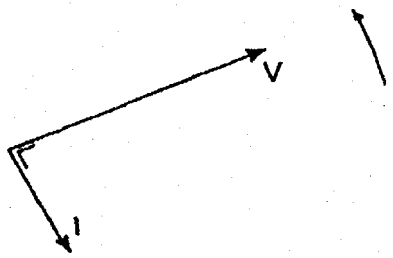
$$P = (V)(I) = (R)(I)^2 = (V)^2 / (R)$$

Inductancia.- Al igual que la resistencia el circuito más comúnmente encontrado es el circuito inductivo. Cargas inductivas son encontradas en cualquier lugar donde haya embobinados involucrados, por ejemplo, en transformadores, motores, balastros para lámparas de descargas.

La inductancia es dominada por la letra "L" y expresada en unidades de Henrys (Hy). Gráficamente, la inductancia (bobina) se representa así:



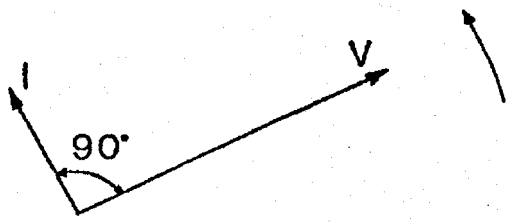
En un circuito puramente inductivo la corriente no está en fase con el voltaje ya que va retrasada en 90° eléctricos.



En un circuito puramente inductivo la potencia activa es nula, no existe un consumo a pesar de que la corriente ha fluido. La inductancia consume potencia reactiva, usualmente expresada en Volts-Amperes reactivos ó vars. Un circuito inductivo puro no existe en la práctica, los alambres conductores de la bobina tienen una cierta resistencia y hay pérdidas en el circuito magnético, sin embargo, puede decírse que la inductancia consume una "pequeña cantidad" de energía activa.

Capacitancia.- El capacitor es el tercer tipo de carga en un circuito. La capacitancia es designada por la letra "C" y expresada en unidades de Faradays (F). El símbolo gráfico del capacitor es el siguiente:

En un circuito capacitivo la corriente adelanta al voltaje en 90°.

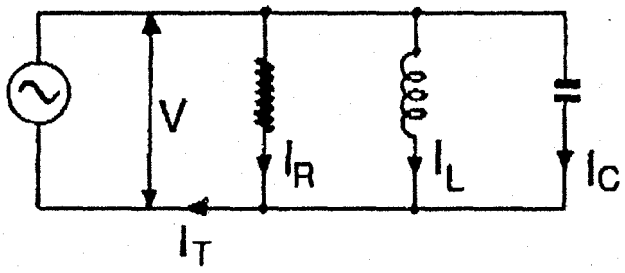


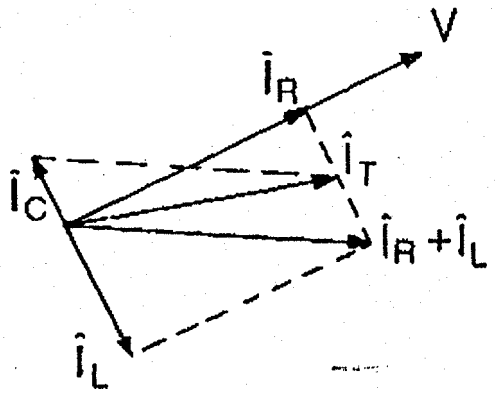
En un circuito puramente capacitivo, no existe consumo de energía aún si hay una corriente circulando. No obstante, el capacitor genera potencia reactiva expresada en Volts-Amperes reactivos. Del valor de la capacitancia podemos calcular la potencia reactiva.

$$Q = 2(\P)(f)(C)(V)^2$$

Cargas Combinadas.- En la práctica una carga no está constituida solamente por resistencia, inductancia ó capacitancia; estas tres cargas con frecuencia coexisten. Las diversas cargas son usualmente abastecidas directamente de la red principal de suministro eléctrico.

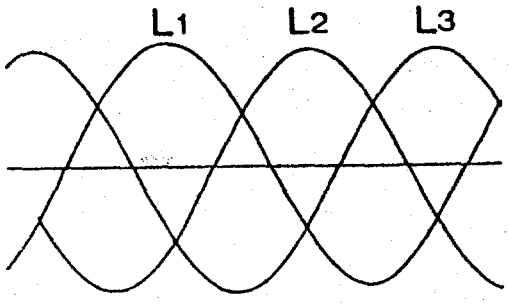
Estas cargas se describen siendo conectadas en paralelo. El elemento común en este caso es la fuente de voltaje, es tomada al inicio del diagrama del vector. La corriente total es la suma vectorial de las corrientes parciales.





DISTRIBUCION DE 3 FASES.

Un sistema se describe como sistema trifásico balanceado, cuando es de un grupo de 3 voltajes, con el mismo periodo y el mismo valor r.m.s., defasados entre ellos por 1/3 del periodo (120° eléctricos).

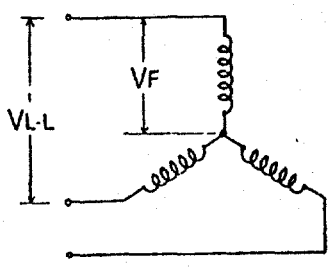


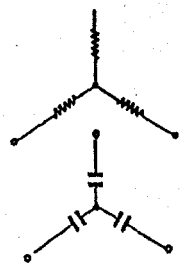
A fin de que el sistema pueda ser posible, es obvio que la suma algebraica de las corrientes debe ser nula durante cualquier intervalo de tiempo, no importando que tan pequeño sea.

CONEXION ESTRELLA-DELTA.

El generador ó la carga puede ser conectado ya sea en estrella ó en delta. En una conexión estrella, el voltaje principal es igual a $(3)^{1/2}$ veces el voltaje por fase y la corriente principal igual a la corriente de fase.

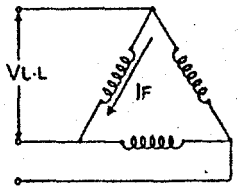
$V_l = (3)^{1/2} V_f$ $\qquad$ $I_l = I_f$

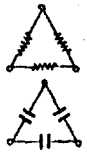




En una conexión delta, los voltajes de fase son iguales, la corriente principal es igual a $(3)^{1/2}$ veces la corriente de fase.

$$P = \sqrt{3}\ VI \cos\varphi$$





1.1 CONSIDERACIONES FUNDAMENTALES PARA CORREGIR EL FACTOR DE POTENCIA EN LOS SISTEMAS INDUSTRIALES.

En las plantas de energía eléctrica modernas que alimentan zonas industriales, han aumentado continuamente las reactancias del sistema (Kilovar ó KVAR), debido al uso cada vez mayor de equipo que produce cargas inductivas. Algunas fuentes de este tipo de cargas son los motores de inducción (principalmente cuando operan a menos de plena carga), transformadores, soldadoras de arco, rectificadores, lámparas fluorescentes, etc.

El sistema de suministro público tiene que alimentar la potencia (útil) y también la potencia reactiva (no útil) que necesiten estas cargas inductivas. Esto impone una carga adicional a la capacidad del sistema de suministro.

En una planta industrial que opere con un factor de potencia bajo puede:

* Reducir la capacidad del sistema y su rendimiento debido a cables y transformadores sobre-cargados.

* Aumentar las pérdidas debido a la resistencia en los conductores.

* Reducir el nivel de voltaje, afectando en forma adversa la eficiencia de operación de los motores.

* Reducir la iluminación de las lámparas incandescentes.

* Aumentar el costo de la energía cuando la compañía de suministro impone las condiciones del factor de potencia.

El método más simple y económico para mejorar el factor de potencia en las plantas industriales es mediante el uso de capacitores. Cuando los capacitores se conectan adecuadamente a un sistema, suministran la corriente reactiva de magnetización y eliminan la corriente reactiva del circuito de la planta, mejorando así el factor de potencia global. Los capacitores también mejoran la eficiencia de una planta industrial liberando la capacidad eléctrica del sistema (KVA), elevando el nivel de voltaje y reduciendo las pérdidas para poder admitir cargas adicionales en el mismo sistema.

El uso de capacitores para mejorar el factor de potencia es el medio más económico para sistemas en los que no se emplean motores síncronos. Durante los últimos 20 años, el costo por KVAR de los capacitores ha disminuido continuamente en comparación con otros medios de suministro de KVAR, como generadores y condensadores síncronos.

Los motores síncronos se usan para mejorar el FP principalmente en las plantas que necesitan nuevas tomas de fuerza mecánica de gran capacidad. Si éste no es el caso, el uso de capacitores es la mejor opción.

Un condensador síncrono es una máquina rotatoria similar al motor síncrono. Sin embargo, el condensador síncrono mejora el FP pero no acciona carga alguna. Los condensadores síncronos generalmente se usan en las plantas de suministro eléctrico pero rara vez en instalaciones industriales.

FACTOR DE POTENCIA.

Las cargas inductivas como las que se mencionaron anteriormente requieren de dos clases de corriente; corriente de magnetización y corriente productora de trabajo.

La corriente de magnetización, también conocida como no suministradora de watts, reactiva ó no útil, proporciona el flujo para los campos magnéticos de los dispositivos de inducción. Sin corriente de magnetización la energía no puede fluir a través del núcleo de los transformadores ó en el entrehierro de los motores de inducción.

Sin embargo, los generadores y motores síncronos se magnetizan mediante corriente directa proveniente de sus excitadores de CC. Los transformadores y motores de inducción se magnetizan con la "componente de retraso' de la corriente alterna de la línea. La energía utilizada en formar el campo magnético fluye hacia atrás y hacia adelante entre el generador y la carga. Esta corriente de magnetización es la causa real de un factor de potencia bajo en el sistema.

La corriente productora de potencia, también conocida como activa,corriente de trabajo ó útil, se convierte en trabajo útil como la rotación de un ventilador, el calentamiento ó bombeo de agua, etc. La unidad de medición de la

potencia activa es el Kilowatts, la de la potencia reactiva es el Kilovars.

La corriente total es la leída con un amperímetro en el circuito y está formada tanto de la corriente de magnetización como de la corriente productora de trabajo.

El total de voltamperes, conocido también como potencia aparente, se expresa en Kva.

Corriente activa y reactiva.

Las cargas inductivas requieren las dos componentes de corriente, la corriente de magnetización (corriente reactiva) y la corriente productora de trabajo (corriente activa). Estas dos componentes de corriente se representan vectorialmente a 90 grados una de la otra, en la figura 1.

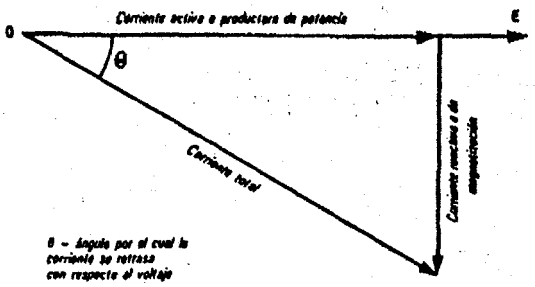


Figura 1 Corrientes componentes en cargas inductivas de CA

La corriente total se puede determinar de la expresión:

(corriente total)² = (corriente activa)² + (corriente reactiva)²

En un punto de voltaje común, los KVA y los KW son proporcionales a la corriente. Entonces decimos que:

$(KVA)^2 = (KW)^2 + (KVAR)^2$

Como se muestra en la figura 2.

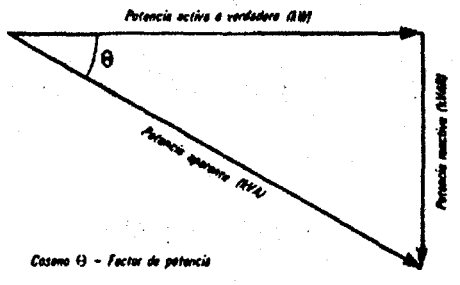


Figura 2 Potencias componentes en cargas inductivas de CA

¿ QUE ES EL FACTOR DE POTENCIA ?

El factor de potencia se define como la relación de la potencia activa (KW) a la potencia aparente total (KVA):

FP = (KW) / (KVA)

Trigonométricamente:

FP = (KW) / (KVA) = Coseno ß

Frecuentemente el FP se expresa como porcentaje, pero como es una relación, es mejor expresarlo en forma decimal, que es la forma usual de expresarlo en fórmulas y tablas.

RELACION ENTRE VOLTAJE Y CORRIENTE.

En un circuito de corriente alterna, el voltaje tiene forma senoidal a 60 Hz. En el caso de una carga puramente resistiva tal como un calentador ó una lámpara incandescente, la corriente está en fase con el voltaje. Esto significa que la corriente pasa a través de los valores cero, máximo y mínimo en el mismo instante que lo hace el voltaje, como se muestra en la figura 3.

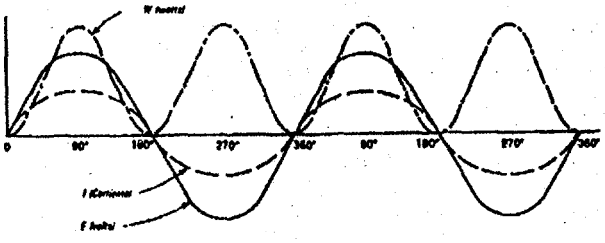


Figura 3 Relación entre voltaje, corriente y potencia en una carga puramente resistiva

En cualquier instante, la cantidad de "watts" es igual a los volts multiplicados por los amperes. Cuando la corriente y el voltaje son positivos en el mismo instante, los watts son positivos. Cuando ambos son negativos en el mismo instante, los watts también son positivos.

Sin embargo, en el caso de cargas inductivas, la corriente y el voltaje no están en fase. La corriente se retrasa con respecto al voltaje, como se muestra en la figura 4. La corriente alcanza los valores cero, máximo y mínimo

posteriormente al voltaje. En este caso la corriente y el voltaje no son siempre ambos positivos ó negativos en el mismo instante.

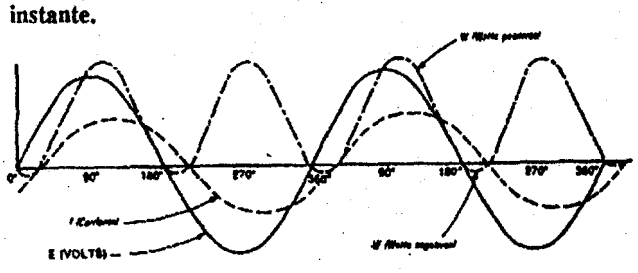


Figura 4 Relación entre voltaje, corriente y potencia en una carga inductiva

Cuando la corriente y el voltaje son positivos ó negativos en el mismo instante, la potencia (watts) es también positiva. Cuando uno de los dos es positivo y el otro es negativo, la potencia es negativa. La potencia neta real ó útil es la diferencia entre las áreas positiva y negativa, respectivamente arriba y abajo del eje cero. El FP definido por la fórmula: FP = (KW) / (KVA) es la relación de esta diferencia a los KVA totales. En este caso, el FP es de retraso. El FP es de retraso cuando la carga requiere KVAR (cargas inductivas) y decimos que es de adelanto cuando la carga suministra KVAR (cargas capacitivas).

Los motores de inducción tienen un FP de retraso debido a que su corriente de magnetización debe ser suministrada por la fuente de potencia. La componente reactiva disminuye solo un poco al disminuir la carga. La componente de potencia real, disminuye casi en proporción directa a un decremento en la carga. Esto significa que un motor de inducción ligeramente cargado tiene una componente de retraso de gran magnitud ya que la relación de los KVAR a los KW aumenta bastante. Por lo tanto, es importante que todos los motores de inducción operen lo más cerca posible a sus capacidades nominales.

GENERADORES DE KILOVARS.

Los capacitores tienen un FP en adelanto porque pueden suministrar KVAR. El FP de adelanto de los capacitores y el factor de potencia unitario ó de adelanto de los motores síncronos se puede usar para mejorar el factor de potencia de retraso de las cargas inductivas. Así, se mejorará el FP total de la planta.

Los capacitores también pueden considerarse como generadores de Kilovars porque pueden suministrar la corriente de magnetización requerida por las cargas inductivas. Esto se explica en términos de almacenamiento de energía. Un capacitor instalado en el mismo circuito de un motor de inducción tiene como efecto un intercambio de corriente reactiva entre ellos y decimos que la corriente en adelanto almacenada por el capacitor entonces alimenta la corriente de retraso requerida por el motor de inducción. En la figura 5 se muestra el efecto al instalar un capacitor en un motor de inducción.

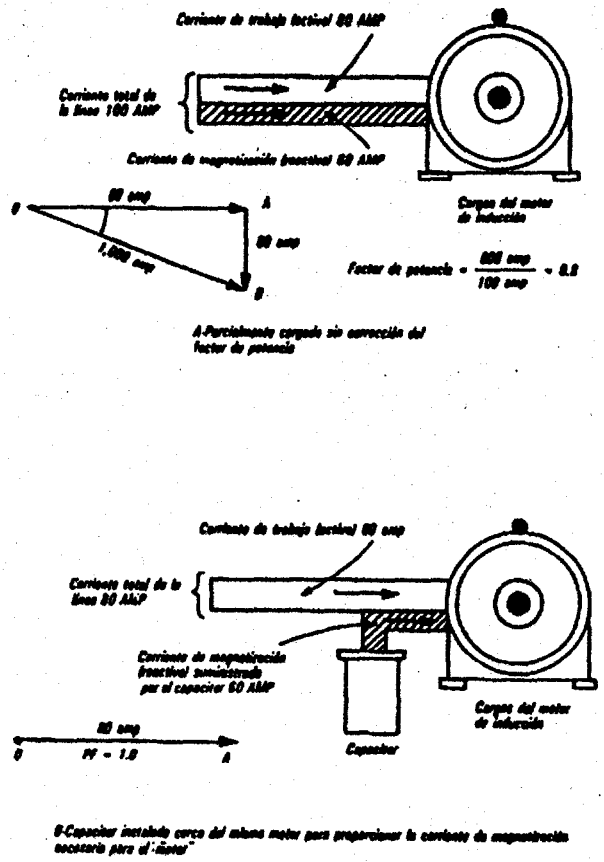


Figura 5 Motores de inducción

1.2 CORRECCION DESEABLE DEL FACTOR DE POTENCIA Y FACTOR DE POTENCIA PARA UN GRUPO DE CARGAS.

El FP de cargas individuales se puede combinar para calcular el FP de un grupo de cargas diferentes. Esto se hace usando las fórmulas de la primera sección. El método consiste en sumar aritméticamente los KW y sumar algebraicamente los KVAR. Las dos componentes se combinan entonces vectorialmente.

Como ejemplo para obtener el FP combinado de un grupo de cargas, supóngase que una subestación eléctrica alimenta 3 tipos de cargas, con factores de potencia en adelanto, en retraso y unitario como se muestra en la figura 6.

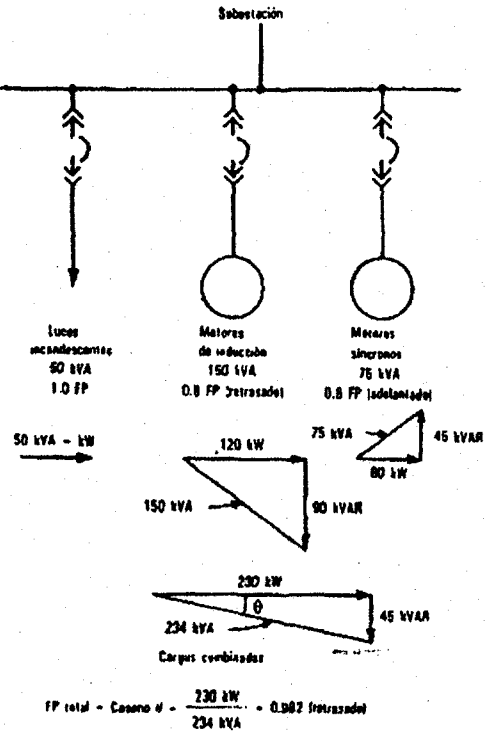


Figura 6 Factor de potencia combinado de un grupo de cargas con diferente FP

El método numérico para calcular el FP total de una subestación usa el total de KW y KVAR de los 3 tipos de cargas como sigue:

Carga de 50 KVA de alumbrado. La carga de las lámparas incandescentes tienen un FP igual a la unidad, por lo tanto, decimos que:

$$KVA = KW \qquad 50\ KVA = 50\ KW$$

Carga de 150 KVA de los motores de inducción que operan con un FP en retraso de 0.8

$$KW = (KVA)(FP) = (150)(0.8) = 120\ KW$$

$$KVAR = [(KVA)^2 - (KW)^2]^{1/2} = [(150)^2 - (120)^2]^{1/2} = 90\ KVAR$$

Carga de 75 KVA de un motor síncrono con un FP en adelanto de 0.8

$$KW = (KVA)(FP) = (75)(0.8) = 60\ KW$$

$$KVAR = [(KVA)^2 - (KW)^2]^{1/2} = [(75)^2 - (60)^2]^{1/2} = 45\ KVAR$$

Si la capacidad del motor se proporciona en HP en lugar de KVA, la conversión se efectúa de la siguiente manera:

$$KVA = (HP)(0.746) / (\text{Eficiencia a plena carga})(\text{FP a plena carga})$$

Los KW que la subestación debe suministrar se calculan sumando:

Lámparas	50 KW
Motores de inducción	120 "
Motor síncrono	60 "
TOTAL	230 KW

Los KVAR que la subestación debe suministrar se

calculan sumando:

Lámparas	0 KVAR
Motores de inducción	+90 "
Motor síncrono	-45 "
TOTAL	+45 KVAR

Un motor síncrono sobre-excitado (FP adelantado), tiene la capacidad para alimentar KVAR de la misma manera que un capacitor. Esto explica por qué en la subestación el sistema tiene que suministrar solo 45 KVAR de los 90 KVAR que necesitan los motores de inducción. Los motores síncronos sobre-excitados efectúan trabajo útil y mejoran el FP total.

En el ejemplo, el FP total y los KVA totales de la subestación son:

$$KVA = [(KW)^2 + (KVAR)^2]^{1/2}$$
$$= [(230)^2 + (45)^2]^{1/2} = 234 \text{ KVA}$$

$$FP = (KW) / (KVA)$$
$$= (230) / (234) = 0.982 \text{ atrasado}$$

¿CUANTO SE DEBE MEJORAR EL FP?

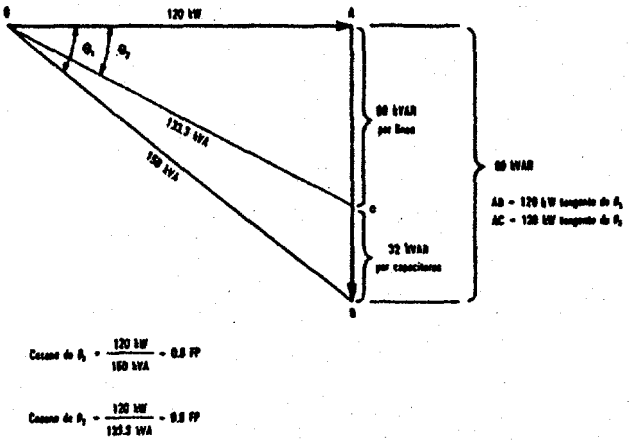
Después de calcular el FP total de un grupo de cargas con diferentes factores de potencia, el siguiente paso es el cálculo de los KVAR necesarios para la corrección deseada del FP total. Al disminuir la corriente reactiva, disminuye la corriente total. La corriente que produce KW no cambia y el FP mejorará sólo si la corriente reactiva se reduce.

Si la corriente reactiva se redujera a un valor igual a cero, toda la corriente sería solo de KW y el FP sería de "1" (100%). Sin embargo, en la practica no es necesario ni económico mejorar el FP al cien por ciento. Generalmente se usan los capacitores ó los motores síncronos para alimentar parte de las necesidades de KVAR de la carga hasta un punto económico. El sistema de alimentación suministra la parte restante.

Existen 4 métodos para calcular la corrección deseada del FP:

* Numérico.
* Gráfico.
* Mediante el uso de tablas.
* Mediante el uso de curvas.

Como un ejemplo del método numérico, supóngase que el FP total de un grupo de cargas de 120 KW es de 0.8 (ver figura 7). Sin embargo, el FP deseado y determinado por la tarifa es de 0.9, si se usan capacitores para mejorar el FP hasta 0.9, la cantidad necesaria de capacitores se calcula como sigue:



Carga = 120 KW $\qquad$ $FP_{actual} = 0.8$

$$KVA_{actual} = (KW) / (FP) = (120) / (0.8) = 150 \text{ KVA}$$

$$KVAR_{actual} = [(KVA)^2 - (KW)^2]^{1/2}$$
$$= [(150)^2 - (120)^2]^{1/2} = 90 \text{ KVAR}$$

$$FP_{deseado} = 0.9$$

$$KVA_{nuevos} = (120) / (0.9) = 133.33 \text{ KVA}$$

$$KVAR_{nuevos} = [(133.33)^2 - (120)^2]^{1/2} = 58 \text{ KVAR}$$

Por lo tanto los capacitores deben suministrar un total de:

$$KVARc = 90 - 58 = 32 \text{ KVARc}$$

1.3 LA UBICACION EN LA PLANTA DE LOS CAPACITORES Y MOTORES SINCRONOS.

La corrección del FP se puede lograr instalando capacitores en las líneas de alimentación, en circuitos derivados de motores ó directamente conectados a los motores ó grupos de motores. Para lograr el máximo beneficio, los capacitores deben conectarse tan cerca como sea posible de la carga ó de las terminales de los alimentadores. Cuando se especifica el equipo para mejorar el FP, el Ingeniero debe recordar que la corrección se lleva a cabo sólo del punto considerado ala fuente de energía y no en dirección opuesta.

Cuando los capacitores conectados integralmente a los motores, están localizados entre el motor y el relevador de sobre-carga, la corriente de la línea que activa al relevador será menor en valor que la corriente del motor a cualquier carga. Al conectar los capacitores de esta manera, se recomienda que la capacidad del relevador de sobre-carga se base en el valor disminuido de la corriente de la línea. Por lo tanto, se necesita un relevador de menor capacidad. Por ejemplo, la corriente de la línea para operación del motor a plena carga con un FP mejorado es igual a:

$$Im = (Ipc) (\text{Coseno } \beta_1) / (\text{Coseno } \beta_2)$$

Donde:

Im = corriente mejorada

Ipc = corriente a plena carga

Coseno teta 1 = FP del motor a plena carga

Coseno teta 2 = FP del motor corregido

El porciento de reducción de amperes (AR) es igual a:

$$AR = 100 [(1.0) - (\text{Coseno } \beta_1) / (\text{coseno } \beta_2)]$$

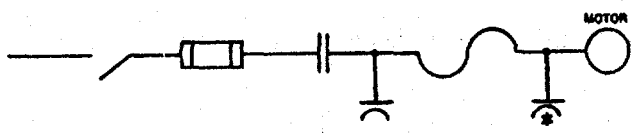


figura 8

No hay tanta libertad para ubicar los motores síncronos como la hay para los capacitores. El mismo principio usado para ubicar los capacitores se aplica a los motores síncronos, o sea conectarlos a la barra de carga cuyo FP se desea mejorar.

Debido a sus excitadores y a su manejo complicado, el mantenimiento del motor síncrono es más caro que el de la combinación de un motor de inducción y capacitor.

1.4 CORRECCION DEL FACTOR DE POTENCIA EN LA REFINERIA "MIGUEL HIDALGO".

De acuerdo a mediciones efectuadas en las barras que interconectan el sistema eléctrico de la Refinería con el de CFE, se detectó que operaban con demasiada frecuencia a un factor de potencia de 0.85, lo cual ocacionaba pagos de multas mensuales hasta de 45 millones de pesos cuando el sistema eléctrico de CFE aportaba al sistema de la Refinería.

El objetivo principal era evitar pagar las penalizaciones por bajo factor de potencia, el cual es de 0.9 mínimo por CFE. Esto nos llevó a instalar capacitores en la parte del sistema eléctrico de la Refinería.

En la siguiente tabla se muestran las subestaciones eléctricas donde fué necesario colocar capacitores para corregir el factor de potencia.

RECUPERACION DE LA INVERSION

El costo de las 78 unidades de capacitores fué de $ 68' 496, 162.00, por la instalación y puesta en marcha un costo de $ 265' 340, 100.00, lo que dá como resultado un total de inversión de $ 333' 836, 262.00.

Ahora bien, tomando como base el consumo de energía eléctrica del año de 1990, se tienen los siguientes

SUBESTACIONES ELECTRICAS CON CAPACITORES

SE	KVA	FP_N	KW	KVAR D*	KVAR I**	FP_C	KVA L***
5	2000	0.83	1660	1115	630	0.96	271
71	260	0.83	218	141	80	0.96	33
711	400	0.88	352	190	60	0.94	26
61	600	0.85	510	316	140	0.94	57
62	110	0.85	94	57	30	0.96	12
63	260	0.87	226	128	40	0.94	20
53B	160	0.83	133	89	40	0.94	19
2B	260	0.84	218	141	80	0.96	33

* demandados ** instalados *** liberados

resultados de valores promedio mensuales:

KW-H = 2' 882, 378

KVAR = 1' 800, 514

D.M.M. = 9, 462

F.P. = 0.8481

C.P.M. = [(D.M.M.)($ KW) + (KW-H)($ KW)] (I.V.A.)
(FP / FP_o)

De acuerdo con la tarifa 12:

Cargo por demanda: $ 23, 161.11

Cargo por KW.H: $ 93.42

C.P.M. = [(9, 462)(23, 161.11) + (2, 882,378)(93.42)]
(1.15)(0.9 / 0.8481)

$ 596' 058, 190.00

Esto representa el importe promedio mensual que hubiera pagado PEMEX al consumir energía con un factor de potencia de o.8481 y teniendo CFE un valor mínimo de 0.9 en el factor de potencia.

C.P.M. = costo promedio mensual

D.M.M. = demanda máxima medida

De acuerdo con la publicación del Diario Oficial del día 10 de noviembre de 1991:

FACTOR DE POTENCIA: El usuario procurará mantener un factor de potencia (FP), tan aproximado al 100% (ciento por ciento) como le sea posible, pero en elcaso de que su factor de potencia durante cualquier periodo de facturación tenga un promedio menor de 90% (noventa por ciento) atrasado, determinado por métodos aprobados por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, el suministrador tendrá derecho a cobrar al usuario la cantidad que resulte al monto de la facturación el porcentaje de recargo.

C.P.M. = [(9, 462)(23, 161.11) + (2, 882,378)(93.42)]
(1.15)(0.9 /0.9)

$ 561' 685, 501.91

Esto representa el importe promedio mensual que hubiera pagado PEMEX al consumir energía con un factor de potencia igual a 0.9.

Por lo tanto, el ahorro promedio mensual al instalar los capacitores nos representa un monto de:

$ 34' 372, 688.99

Considerando el ahorro por pérdidas de distribución, es:

$ 35' 108, 875.99

Con lo cual la recuperación de la inversión por parte de PEMEX se logra en un tiempo aproximado de 9 1/2 meses.

De el mes de julio a la fecha actual se tiene un factor de potencia promedio de "95.37" en las barras que interconectan los sistemas de Refinería y CFE.

MX9800111

METODOLOGIA PARA ANALISIS ENERGETICO DE SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

T. Ramírez, J.J. Ambriz y H. Romero
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Area de Ingeniería en Recursos Energéticos
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
A.P. 55-534; 09340, México, D.F., Tel. 724-4645 FAX 686-1717

R E S U M E N

En este trabajo se presenta una metodología para diagnosticar sistemas de aire comprimido, para identificar los potenciales de ahorro de energía. La metodología consiste en detectar el mayor número de posibles medidas de ahorro, para lo cual se divide en tres partes:

1. Generación de aire comprimido.
2. Distribución del aire comprimido.
3. Usuarios de aire comprimido.

Para cada una de las partes se indica el tipo de información requerida para realizar el estudio de diagnóstico, así como el uso de equipo necesario de medición. Después se analizan las posibles medidas de ahorro que se pueden encontrar y las que pueden ser viables.

i. INTRODUCCION.

En la actualidad no se presta la atención adecuada al área encargada de la producción de aire comprimido, ya que ésta no presenta un porcentaje importante en el consumo de energéticos totales en la planta. No obstante, la mayor parte de las instalaciones industriales cuenta con un área encargada de la producción de aire comprimido y si se acumulan los ahorros pueden llegar a alcanzar valores relevantes.

Los sistemas de aire comprimido pueden tener ahorros en los consumos de electricidad, energía térmica (generación de vapor en caso de turbina) y de recursos (agua, para el caso de compresores que su sistema de enfriamiento sea con este recurso).

ii. METODOLOGIA DE DIAGNOSTICO.

La metodología se divide en tres etapas, que están en función de la trayectoria del aire en las instalaciones, desde donde se genera hasta que se utiliza. Las etapas se describen a continuación.

ii.1. Análisis Energético en la Generación de Aire Comprimido.

Es la etapa en que se produce el aire comprimido a las diferentes presiones de trabajo y gasto requerido en la instalación. El aire comprimido en su mayoría se produce con compresores.

1. Recopilación de información.

Es necesario contar con la información histórica de por lo menos un año, de la producción de aire comprimido, para las distintas áreas. Es conveniente obtener los manuales de los compresores que contengan: tipo de compresor, capacidad de producción de aire comprimido, potencia, tipo de accionamiento, relación de presiones, el número de revoluciones (r.p.m.), y, para los compresores que consumen agua, el flujo. Las curvas de eficiencia de los compresores es un dato fundamental para realizar el estudio energético. También es necesario verificar si los compresores tienen instalados equipo de medición o se tienen puntos de muestreo en los equipos.

Se debe de contar con el equipo de medición siguiente:

* Un medidor de flujo de aire comprimido y agua.
* Un termómetro para medir la temperatura del agua.
* Un manómetro.
* Un amperímetro.

2. *Análisis de posibles medidas de ahorro para generación.*

Es necesario contar con la mayor parte de los datos que se muestran en la tabla 1 y con el equipo necesario para llevar a cabo las diferentes mediciones. Aquellos datos con los que no se cuenta, se deben estimar, en caso de que se utilicen para cálculos posteriores. Las alternativas de ahorro se pueden clasificar en los siguientes rubros:

• Uso Eficiente.

Consiste en identificar qué tan bien está funcionando el equipo (compresores). Para esto se pueden comparar las eficiencias de los diferentes tipos de compresores que se tienen. Un compresor del grupo es más eficiente cuando se produce la misma cantidad de aire comprimido con el menor costo y a cantidad de aire igual, es decir que la presión de entrega de los compresores a comparar sea igual. La eficiencia será función de su índice energético: los KWH al año entre la capacidad.

Para el cálculo del índice energético se evaluarán los costos de operación, éstos incluyen el consumo de electricidad o generación de vapor en caso de que el accionamiento sea por turbina de vapor y el consumo de agua de enfriamiento para aquellos compresores que lo requieran. El cálculo se realizará para la misma cantidad de aire comprimido; por ejemplo: $1m^3$.

Para identificar qué compresor está trabajando mejor, se realiza un listado con los parámetros de interés (tabla 3). El compresor que tenga el menor índice energético será el más eficiente del grupo: llame a éste Ci, y al compresor con el que se esté comparando Cn, y realice la interpretación del índice para cada uno de los compresores con igual presión a la descarga. Para los compresores que tengan otra presión de entrega deben realizarse los mismos pasos, si existe otro compresor con el cual se pueda comparar: en caso contrario se introduce una mayor presión de entrega, tendrá un mayor índice energético. Esto se debe a que para producir la misma cantidad de aire comprimido, a una presión mayor es necesario una potencia mayor.

La interpretación que se dará al índice será:

Cuando Ci < Cn

* Analizar si el accionamiento de los compresores es diferente. Si el índice energético es tres veces mayor que el óptimo, entonces es recomendable contemplar un cambio de accionamiento.

* El compresor Cn es muy viejo e ineficiente. Cuando éste es el caso, es conveniente que el índice energético sea varias veces mayor que el Ci; de ser así, se podrá contemplar la posibilidad de un compresor nuevo. Se recomienda cotizar compresores que cumplan con las características de Cn y calcular en cuanto tiempo se pagaría. El tiempo de recuperación de una inversión de esta magnitud varía mucho dependiendo de la planta en la cual se esté trabajando. En caso de encontrarse dentro de este tiempo, proponerlo como medida de ahorro.

Si la opción es la inversión de un nuevo compresor debe incluirse los siguientes parámetros para seleccionar el adecuado; costo del compresor, consumo de energía para su tiempo de vida media y costos por mantenimiento.

Otra opción de uso eficiente consiste en analizar qué tan bien está trabajando cada compresor. Esto se detecta con la eficiencia que da el fabricante e indicará el estado real del equipo de aire comprimido.

Es necesario medir el flujo de aire comprimido a la salida del compresor y la presión. Cuando se compra un compresor se tiene la eficiencia a la cual debe de estar funcionando, con el tiempo ésta puede disminuir.

Si:
Ed = Eficiencia de diseño.
Er = Eficiencia real.

La diferencia refleja que tan importante es la variación en la eficiencia por cada magnitud que disminuye o aumenta. Es decir, con la gráfica de eficiencia del compresor se calcula cuanto cuesta el tener operando el compresor a una magnitud más pequeña; después realiza para varias magnitudes arriba y abajo de la eficiencia que tiene dicho compresor, se comparan costos y se decide que tan importante puede ser un cambio en la eficiencia.

Las posibles situaciones son:

* Ed < Ed.

Cuando se encuentra este resultado, se debe a que al compresor se modificó con algún aditamento y la gráfica de eficiencia ya no corresponde al equipo actual. Entonces se debe desechar está opción porque se necesitará una nueva gráfica de eficiencia para el compresor modificado.

* Ed = Er.

El compresor actual funciona en óptimas condiciones y se está operando correctamente. De ser este el caso no habrá nada por hacer.

* Ed > Er.

Si la diferencia no es muy grande, se puede deber a diferentes causas:

Cuando el compresor que se está estudiando tiene tiempo operando, se considerará que entre más tiempo ha estado funcionado, su eficiencia disminuye, en función del tipo de compresor y marca. Después de realizar lo anterior, se comparará si el compresor trabaja de manera adecuada.

Si la diferencia es grande entonces el compresor trabaja de manera deficiente. Esto puede ser, por que el compresor está operando mal o no se le da el mantenimiento adecuado. Se puede recurrir al personal que está a cargo de mantenimiento u operación y corroborar si en realidad estos servicios son deficientes. En caso de serlo, se debe proponer medidas en las que se mencione el tiempo de mantenimiento de cada una de las partes del compresor y, para operación, la manera correcta de manejarlo.

Para los casos que la solución sea por mantenimiento u operación la solución se llevará a cabo sin inversión, dado que la planta tiene partidas para este fin.

* Ed >> Er.

En este caso se contemplará la opción de un cambio en una parte del compresor que mejore su estado actual e, inclusive, el cambio por un nuevo compresor. Si es una parte la que se le va a cambiar, se debe ver que tanto mejora su rendimiento, calcular el costo que tiene el compresor actualmente y compararlo con el costo que tendrá después del aumentó de eficiencia.

Cuando se quiera realizar el cambio de un compresor, se debe calcular el costo por estar trabajando a baja eficiencia. Si

este costo es grande, se cotiza un compresor que cumpla con las características de demanda del compresor actual, se calcula el tiempo en que se puede pagar y el tiempo de amortización.

• No Desperdicio.

En los compresores que utilizan agua para su sistema de enfriamiento y ésta se tira al drenaje, puede proponerse su recirculación. Cuando se trata de un grupo de compresores esta propuesta se hace más atractiva.

Para llevar a cabo este tipo de propuesta es necesario que se cumplan los siguientes puntos de la tabla 4. Posteriormente, se calcula el costo del flujo de agua y se examinan si es posible enviarla a un lugar cercano para su almacenamiento y uso (Tabla 5).

En los compresores que utilizan aire para su sistema de enfriamiento puede proponerse la recuperación de calor en una instalación, con la inclusión de un ventilador, que envíe el aire caliente al área de utilización. El aprovechamiento del calor contenido en el aire puede hacerse en forma directa o indirecta mediante intercambiadores de calor aire-líquido.

El costo de la recirculación considera el costo de la bomba, la tubería, los accesorios, la instalación y el mantenimiento. No se incluyen costos de obra civil porque varían según el lugar donde se encuentre la planta.

• Alternativas Energéticas.

Existen dos tipos de accionamiento para los compresores: el motor eléctrico y la turbina de vapor.

Como se mencionó en el índice energético, sólo aquellos que cumplan con esta condición podrán contemplar un cambio en el accionamiento. Para el caso que se quiera cambiar un motor eléctrico por una turbina de vapor, es necesario que se cumplan los siguientes puntos:

* Que la planta produzca vapor de las características necesarias para una turbina; que haya excedentes y que no exista ningún problema para suministrar esta demanda.

* Comparar el costo por 1 HP eléctrico y un HP de vapor al año. La diferencia por los HP totales será el ahorro por cambio de accionamiento.

A continuación se calculará el costo de la turbina necesaria para el compresor y en cuanto tiempo se pagaría. Cada planta tiene diferente tiempo de recuperación para las inversiones. Con este límite se pondrá decidir si es rentable la propuesta y se propondrá si es una medida de ahorro.

• Alternativas tecnológicas.

En estos últimos años la tecnología ha logrando grandes avances, mejorando la eficiencia de un gran número de equipos. Actualmente, se tienen una infinidad de alternativas para realizar el mismo trabajo, a continuación se mencionan algunas opciones al respecto.

Opción 1. Cambio por algún otro tipo de compresor que sea más eficiente que el instalado.

Por ejemplo, en lugares donde el costo del agua se ha incrementado notablemente, se debe contemplar la posibilidad de un compresor de tornillo, en razón de que no utiliza agua para su sistema de enfriamiento. Para analizar si es viable la sustitución, se calcula el costo por tener operando el compresor actual y el compresor de tornillo.

Opción 2. Cambio de motor eléctrico de inducción y banda por motor síncrono acoplado.

Primero se realiza una lista que indique las ventajas y desventajas del motor actual, contra el que se quiere instalar, después se calcula el ahorro que se tendrá al realizar el cambio. Este ahorro será el costo por el incremento de aire comprimido producido y el consumo de electricidad con el cambio.

Opción 3. Actualmente, en las salas de compresores se usan refrigeradores posteriores con ventiladores que ayudan a la ventilación de la sala y mejoran la eficiencia del grupo de compresores.

ii.2. Método de Análisis Energético en la Distribución del Aire Comprimido.

En esta etapa se realiza el estudio de las líneas de distribución de aire comprimido, que abarca de la salida de la sala de compresores hasta la entrada al usuario.

1. Recopilación de información.

Para esta etapa se deberá contar con los planos de la red de aire comprimido. Identificar las líneas principales de la salida de la sala de compresores hasta la entrada a usuarios, también es necesario identificar el equipo de almacenamiento y los secadores. Se requiere la siguiente instrumentación:

* Un manómetro
* Un cronómetro
* Un flexómetro

2. Análisis de los posibles medidas de ahorro.

Del total del aire producido en la sala de compresores y almacenado posteriormente, llega únicamente al usuario una parte, ya que durante la trayectoria existen pérdidas. En el caso de aire comprimido se considera razonable un 5% de pérdidas en industrias bien mantenidas.

Existen plantas que en un principio la distribución de aire comprimido funcionó de manera adecuada pero debido a cambios y ampliaciones, la red puede ser muy ineficiente, esto se detecta en las siguientes oportunidades.

- Líneas de Distribución.

En las líneas de aire comprimido pueden existir pérdidas difícilmente detectables; puede deberse a que existan tuberías fuera de servicio, para lo cual debe hacerse el seguimiento de las líneas de aire comprimido, anotando si existen algunas que conducen a usuarios fuera de servicio.

Otra posible causa de pérdidas es la realización de ampliaciones en la demanda de aire comprimido, debido a una disminución en la presión.

Otro punto a observar es que el aire comprimido se tome de la parte superior de la tubería para que el aire se obtenga lo más seco posible.

- Anillos de distribución.

Es más eficiente construir el sistema de tuberías en forma de anillo cerrado alrededor del área donde se produce el consumo de aire. A partir de ese circuito principal se conectan las tuberías secundarias hasta los diferentes puntos de consumo de aire. Así, el suministro de aire es más uniforme. También es recomendable que las líneas de aire comprimido estén montadas en las paredes, para que la red principal evite puertas y ventas.

- Fugas en las líneas de distribución.

La medición por fugas es un parámetro importante para saber que

tan eficiente es la red de distribución. Existen varios métodos para la medición de fugas; uno se aplica para detectar cuando la tubería tiene orificios (éstos se detectan fácilmente); un segunda, es por sección ya que es más útil cuando se quiere cuantificar zonas grandes.

- Secadores de aire comprimido.

Para revisar los secadores se realiza un recorrido por la planta, identificando por área los secadores y el estado en que se encuentran.
Es conveniente auxiliarse de una lista o formato para organizar la información como el de la tabla 6. Los secadores manuales que no se purguen adecuadamente, bajan la calidad del aire.

- Equipo de almacenamiento de aire comprimido.

Verificar que el equipo esté funcionando en óptimas condiciones. En un diagrama se localiza el equipo y se certifica que cumpla con las condiciones de diseño. En las líneas largas de aire comprimido, con una gran demanda de aire, es recomendable un sistema de almacenamiento para no tener problemas de suministro y se trabaje en condiciones adecuadas.

ii.3. Método de Análisis Energético de los Usuarios de Aire Comprimido.

Se entiende por usuarios a todas las áreas en las que se utiliza este recurso. Esta etapa del estudio consta de los siguientes pasos:

1. Recopilación de información.

Para esta etapa se deberá contar con datos de consumo de aire comprimido de todas las áreas de la planta, de preferencia de un año y en caso de tenerse de mayor tiempo es mejor porque así será posible identificar si existieron cambios importantes en cuanto a la demanda de aire comprimido. Para el estudio de cada usuario en particular se deberá contar con la suficiente información del equipo o estadísticas sobre el funcionamiento, para fundamentar los ahorros encontrados en las diferentes áreas.

Es importante contar con el siguiente equipo de medición:

* Un medidor de flujo de aire comprimido.
* Un manómetro.

2. Análisis de posibles medidas de ahorro.

Se realizará una lista con los principales consumidores de aire comprimido y se ordenará en forma creciente, de acuerdo con su importancia. De esta forma se comenzará el estudio de los más importantes y al final los de menor consumo. Si el estudio se realiza en poco tiempo es preferible realizar un estudio que abarque un 80% del consumo de aire comprimido total.

Después de realizar una relación que contenga el nombre del área, el porcentaje de aire comprimido que consume, el uso que se le da y el tipo de equipo involucrado, se descartarán del estudio los lugares donde no se consume aire o lo sea en bajas cantidades. Para aquellos equipos que el consumo sea grande, se analizará si se está empleando la cantidad correcta. En caso de que ésta sea mayor a la de diseño se pueden tener las siguientes alternativas.

- Uso racional.

Para usar el aire comprimido de manera adecuada, sin que haya ningún desperdicio, se verificará que llegue a los usuarios el

flujo de aire correcto a la presión adecuada.

Resulta que en algunos casos se tiene equipo que trabaja a una presión más alta de la indicada, esto tiene como consecuencia que el equipo de producción de aire comprimido esté trabajando más de lo que debería. Los compresores cuando producen aire comprimido a mayores presiones necesitan mayor potencia porque realizan mayor trabajo. Si se detecta este problema, se procede a calcular el costo por producir aire comprimido a la presión adecuada, el costo que actualmente se tiene por el aire comprimido. La diferencia será el ahorro que se tendrá si se trabaja en condiciones adecuadas.

Si existen dos usuarios que realicen la misma función es conveniente comparar los consumos para cada caso. Es necesario que los usuarios trabajen el mismo intervalo de tiempo. Si existe una diferencia conviene llevar a cabo las siguientes sugerencias:

* Comparar los consumos de los equipos en caso de que exista una variación pronunciada.

* Analizar el consumo de aire con la producción que realice el equipo.

Si el problema no se explica con estos dos puntos, investigar cual es la causa. En caso de que la solución sea con inversión, debe calcularse si es rentable en el tiempo permitido.

Otra opción importante para eliminar los desperdicios es registrar los vicios de operación que se tienen en el caso del aire comprimido (tabla 7). Estos rubros no tienen un impacto grande en el consumo, pero debe hacerse énfasis en la concientización. Además de los vicios de operación se identificará el diámetro de la tubería y la presión. Se calculará el costo que implica producir este flujo de aire comprimido a la presión de trabajo por el tiempo que se está utilizando. Después de que se tienen todos estos datos se realiza la suma de estos consumos y se observa si son representativos.

- Sustituciones.

Existen equipos que se utilizan actualmente en la planta como son válvulas e instrumentos que han mejorado de forma rápida y se han hecho más eficientes, consumiendo menor cantidad de aire comprimido. Si estos equipos son muchos, quizás valdrá la pena cotizarlos y ver cuanto es el ahorro por cambiar uno nuevo. Calcular en cuanto tiempo se pagaría y si es rentable la medida. También es recomendable proponer que este análisis se haga cuando el equipo haya terminado su tiempo de vida útil. Se ha observado que cuando un equipo cumple su plazo de vida útil deja de ser eficiente y en el transcurso de este tiempo los adelantos tecnológicos son más rápidos para algunos equipos que se pueden mejorar aún más.

- Alternativas tecnológicas.

En esta fase se considera el usuario que utiliza aire comprimido en un equipo, que le entrega una cantidad de trabajo, pero que actualmente este trabajo se realiza mejor con otro, que utiliza otro combustible para funcionar y es mucho más económico. Se cotizará el equipo, se verán que beneficios tendrá su instalación y si es rentable.

ii.4. Ahorros Obtenidos en las Tres Etapas.

Una vez que se encontraron oportunidades de ahorro en las tres etapas y se evaluaron los ahorros, solo resta el reportar los resultados, para todos los cambios que se proponen, ya sea sin

inversión o con inversión. Para estos últimos se indicará en cuanto tiempo se recupera, para lo cual se considera el tiempo de recuperación que proponga la planta.

Realizar una suma de ahorros por etapa y una global para indicar que tan eficiente es el sistema de aire comprimido y que lugar ocupa en los consumos de energía en la planta.

iii. CONCLUSIONES.

El estudio de los sistemas de aire comprimido en la industria arroja interesantes resultados en cuanto a la optimización del uso de la energía. Si bien son equipos que normalmente pasan desapercibidos, por varias razones conviene dedicarles cierto tiempo en el análisis de su eficiencia energética y posibilidades de ahorro.

La metodología desarrollada en este estudio reconoce los tres niveles en los que se puede optimizar un sistema de aire comprimido: generación, distribución y uso. En cada fase se presentan medidas que van desde la eliminación de vicios operativos, hasta la sustitución de equipos por otros más modernos y eficientes. En todos los casos se insiste en la importancia del análisis económico para examinar la rentabilidad de las inversiones propuestas.

iv. BIBLIOGRAFIA

* Manual del Ingeniero Técnico, Vol. VIII.
  Motores y Máquinas.
  Dr. Ing. Asmus Thomas Hansen.
  Ediciones Urmo.
  Impreso en España 1972.

* Manuales Técnicos y de Instrucción para Conservación de Energía. Compresores. Sistemas de distribución de aire comprimido.
  Centro de Estudios de la Energía.
  Altamira, S.A. Industria Gráficas, Madrid 1983.

* Compresores. Selección y mantenimiento.
  Richard W. Greene.
  McGraw-Hill.
  México 1989.

* Energía mediante vapor, aire o gas.
  W. H. Severns, M.S.
  Edit. Reverté, S.A.
  México 1976

* Compressed Air and Gas Data
  Charles W. Gibbs.
  Ingersoll-Rand Company
  E.U.A.

* Manual del Ingeniero Mecánico Marks. Volumen 3.
  Mc Graw-Hill.

* Manual de eficiencia energética térmica en la industria.
  Centro para el ahorro y Desarrollo CADEM.
  Bilbao 1984.

Agradecimiento:

Los autores reconocen y agradecen el apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología para el desarrollo de este estudio.

Tabla 1. Cédula de Recopilación de Información.

Número de compresor	
Tipo	
Capacidad	
Potencia	
Accionamiento	
Flujo de agua	
Relación de presiones	
RPM	

Tabla 2. Mediciones Reales.

Flujo de producción de aire comprimido	
Presión a la salida del compresor	
Flujo de agua	
Temperatura del agua de enfriamiento	
Amperaje	

Tabla 3. Parámetros de interés para el análisis de un compresor.

Número de Compresor		
Accionamiento		
Capacidad		
Indice Energético		
Costos de Operación		

Tabla 4. Mediciones para la recirculación de agua.

Que el agua no contenga aceite		
Medir la temperatura del agua		
Medir el flujo de agua		

Tabla 5. Lista de posibles lugares a considerar para el depósito de agua.

Lugar		
Distancia de la sala de compresores al lugar a enviar		
Flujo del agua		
Temperatura		

Tabla 6. Registro de secadores de aire comprimido.

Area		
Número de secadores		
Frecuencia de purgado		
Indicar si es automático o manual		

Tabla 7. Vicios de aire comprimido.

Barrer		
Limpiar		
Secar		
Enfriar motores		
Otros		

MX9800112

CONSUMO ENERGETICO EN EL SECTOR INDUSTRIAL EVOLUCION Y PERSPECTIVAS

Lic. Arturo Vieyra Fernández
Lic. Carlos Cortés Méndez

El artículo tiene como finalidad analizar los determinantes principales del consumo energético del sector industrial, destacando las implicaciones de carácter económico, social y tecnológico que conllevan a un patrón específico de consumo, a partir del cual se evalúan -con indicadores de primera mano- las condiciones de eficiencia bajo las cuales se realiza dicho consumo.

Asimismo, se propone una desagregación por rama para el análisis, tomando como punto de referencia la importancia de cada una de éstas en el consumo global del sector, así como la información disponible para cada una.

Finalmente, se propone un ejercicio de prospectiva con un horizonte hasta el año 2005 tomando en consideración un escenario macroeconómico en general y el potencial de ahorro para cada subsector en particular.

INTRODUCCION

Resulta relevante observar como el análisis de la economía energética adquiere gran importancia en el ámbito de las investigaciones gubernamentales y académicas, en virtud de que la energía ha llegado a constituirse como un elemento estratégico de los procesos de crecimiento económico en las sociedades actuales.

Si bien la problemática del abasto energético se remonta a la existencia del hombre y su lucha por la sobrevivencia es a partir de la revolución industrial cuando se consolidan los patrones de consumo energético actuales que revolucionaron las características de la base energética en todas sus fases (producción, transformación y consumo final). Los incrementos en la productividad derivados de las innovaciones tecnológicas, la necesidad de movilización de los medios de producción y la fuerza de trabajo, así como el crecimiento sustancial del comercio internacional, fueron las causas fundamentales que dieron origen al uso intensivo de los recursos energéticos.

El problema energético actual es, por tanto, un problema que surge con el nacimiento de las sociedades industriales y las nuevas modalidades que éstas recrean a través de la modificación y perfeccionamiento de los distintos procesos productivos en un contexto económico y social determinado.

En este sentido, resulta necesaria la definición y ubicación de los determinantes fundamentales del análisis, de tal forma que se contemplen la diversidad de factores tecnológicos, económicos, sociales e incluso políticos que involucra el análisis energético.

Actualmente, gran parte del abasto energético depende de los hidrocarburos cuya producción y distribución han enfrentado severas crisis en la economía mundial durante las dos décadas pasadas, hecho que ha obligado a las naciones industrializadas importadoras de petróleo a prevenir desajustes futuros entre la oferta y demanda mediante una acción coordinada de esta última, al mismo tiempo que impulsan políticas de ahorro y uso eficiente de la energía entre los diferentes sectores consumidores.

En el caso particular de la economía mexicana, el problema energético se presenta en una dimensión distinta, pues se trata de una economía exportadora de petróleo en donde el abasto interno se satisface casi en su totalida con la producción propia. Es decir, si bien la economía mexicana reciente directamente las oscilaciones de los precios en el

mercado internacional del petróleo, la demanda interna de éste no corre los riesgos que se deriven por limitaciones de la oferta de energía primaria.

En este sentido, hacia finales de la década de los setenta y principios de los ochenta, ante la abundancia relativa de los recursos energéticos, la demanda interna ocupa un segundo plano, circunscribiendo la problemática y política energética a un problema de financiamiento del desarrollo vía exportaciones.

Los altos precios del petróleo y las expectativas de que éstos continuarían en el futuro, sustentaron una política de precios subsidiados de los energéticos hacia el mercado interno, generando distorsiones en el consumo que se traducen en un uso ineficiente e irracional de la energía, al mismo tiempo que se acentuó la dependencia de los hidrocarburos. Para ilustrar este punto basta señalar que de la producción de energía primaria en 1991, el 90.3% correspondió a los hidrocarburos, en tanto que dentro de el consumo final en sus usos energéticos, el gas y los productos petrolíferos ocuparon el 78.3% en el total de energía primaria y secundaria. 1/

No obstante la prioridad de la política de exportación en el ámbito energético y la dependencia de los hidrocarburos, en la producción y consumo nacionales, existen otros factores muy importantes a considerar al interior de la Base Energética, cuya evolución y estructura vienen determinadas por los recursos naturales con que cuenta el país, la dinámica de la acumulación y sus efectos sobre la estructura industrial, distribución del ingreso, financiamiento del desarrollo, y de la propia política económica que determina el uso de los recursos y la naturaleza de la acumulación.

De acuerdo con la contabilidad de los distintos flujos energéticos se distinguen tres grandes rubros que se catalogan como oferta, transformación y consumo final de energía, la que a su vez puede clasificarse ya sea en términos de energía primaria (carbón, petróleo, leña, etc.), o energía secundaria (gasolina, gas, coque, kerosinas, etc.). Con la interacción de todos estos elementos se elabora el Balance Nacional de Energía, cuya finalidad radica en la descripción del panorama energético nacional en un año determinado. 2/

1. PRODUCCION, TRANSFORMACION Y DEMANDA FINAL DE ENERGIA

En virtud de que el objetivo del presente análisis radica en establecer las interacciones fundamentales que existen entre el crecimiento económico y el caso particular del consumo energético del sector industrial mexicano, conviene destacar las características del consumo final de energía descritas en los balances nacionales, debido a que se parte de la premisa básica de que la demanda energética del país depende del crecimiento económico que este tenga y de las opciones tecnológicas que se definen en los distintos procesos productivos, de tal suerte que la producción y transformación de energía evolucionan por un lado, en función de las necesidades que el nivel de actividad económica y el desarrollo generan, y por otro, del nivel de eficiencia y productividad en el uso de los recursos energéticos en los distintos procesos productivos en particular y en el consumo final de energía en general.

Asimismo, es claro ver como en el caso de la exportación de energía, particularmente el petróleo crudo, parte de su producción depende de las condiciones del mercado internacional y de los esfuerzos de las economías importadoras por diversificar su base energética e implantar políticas de ahorro.

En este sentido y con arreglo a la información disponible en el Balance Nacional de Energía puede analizarse la demanda final energética del país cuya estructura se clasifica a nivel general en cuatro grandes sectores: a) transporte; b) industrial; c) residencial, comercial y público; y d) agropecuario.

La dinámica del crecimiento y estructura de estos sectores interactúa directamente sobre la producción y transformación de energía. Por el lado de la demanda final, los sectores industrial y transporte constituyen la parte sustancial al absorber el 74.7% del consumo energético final total durante 1991, particularmente la industria participa con el 34.8% en dicho rubro, en tanto que los sectores transporte y residencial, comercial y público absorben el 39.9% y 22.6% respectivamente durante el año citado.

1/ Balance de Energía SEMIP 1991.

2/ El análisis de la energía debe entenderse en una concepción dinámica, es decir, la producción, transformación y consumo de energéticos descritos en los balances nacionales evolucionan con tendencias hacia "La Homologación y la Homogenización" que bajo la concepción de A. Rojas, implica un proceso de sustitución de los energéticos. Al respecto Rojas afirma "La sustitubilidad se vincula indisociablemente al conjunto de las propiedades naturales de los combustibles o de las fuerzas motrices humánicas o caloríficas, analizadas y comparadas en un momento histórico social determinado con un grado de desarrollo científico-tecnológico igualmente determinado A. Rojas (1987) P.36

2. ESTRUCTURA DEL CONSUMO ENERGETICO INDUSTRIAL

En el caso particular del consumo energético industrial, es necesario precisar sus características principales a fin de comprender mejor las interacciones que existen entre el crecimiento económico y el consumo energético del sector. En el cuadro 1 se detallan la evolución y estructura del consumo final energético del sector industrial y en el cuadro siguiente se muestra la estructura del consumo en términos de la participación porcentual de cada energético en cada año del período 1965-1991. Se aprecia que la industria mexicana consumio principalmente tres energéticos: electricidad, combustóleo y gas natural, que en conjunto durante 1991 representaron el 83.2% del consumo energético industrial.

Por otra parte, a lo largo del período histórico de referencia (cuadro 2), el consumo energético del sector industrial ha venido mostrando algunos cambios en su estructura, principalmente en lo que se refiere al proceso de sustitución de combustóleo por gas natural, proceso que se revierte a partir de 1984 hasta 1989 para finalmente, sustituir nuevamente el combustóleo por gas natural en los últimos 3 años.

El efecto de sustitución de gas natural por combustóleo hasta 1983, y el proceso inverso durante la segunda parte del período son consecuencia de la orientación de la política energética que favoreció en un principio el consumo de gas natural dadas las falsas expectativas acerca de la abundancia de este energético,[3]/ dicha política y su retracción se manifiestan claramente al observar los precios de ambos energéticos y su relación en la figura No. 1.

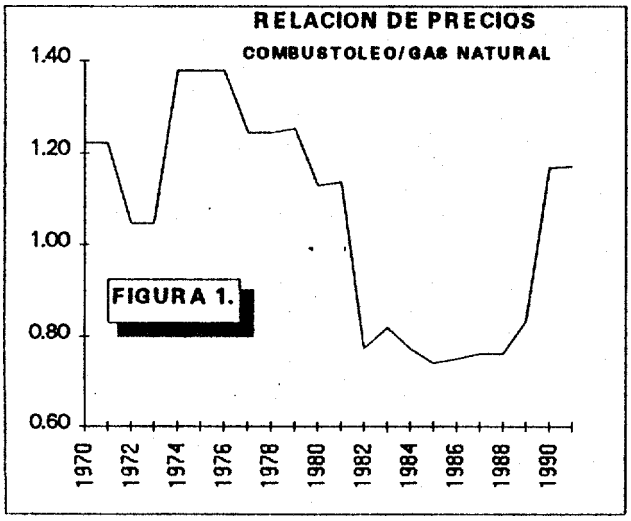


FIGURA 1.

En los primeros años la relación de precios del combustóleo y del gas natural era muy cercana a la unidad, (salvo en el período 74-76), es decir, el diferencial entre los pecios resultaba poco significativo, hecho que fortaleció el consumo de gas dadas sus características naturales (pureza, menor grado de contaminación, etc.), sin embargo, particularmente a partir de 1981 el diferencial se acentúa notablemente, y finalmente los últimos tres años la relación vuelve a ser cercana a la unidad fortaleciendo el consumo de gas.

Otro aspecto que se manifiesta en el cuadro 2 se refiere al incremento de la participación de la electricidad en el consumo del sector, pues pasa de representar el 7.5% en 1965 a 15.1% en 1991, lo cual obedece principalmente a la mayor electrificación de los procesos productivos que viene implícita en las nuevas tecnologías adquiridas.[4]/

3. EFICIENCIA DEL CONSUMO ENERGETICO INDUSTRIAL

El comportamiento del sector industrial después de haber alcanzado altas tasas de crecimiento del PIB en el período 1966-79 (incluso por arriba del 9% anual), a partir de 1980 empieza a registrar altibajos, mismos que tienen su explicación en la crisis económica por la que atravesó el país entre 1982 y 1988.

En el cuadro 3 se puede observar la estrecha relación mantenida entre el crecimiento económico industrial y el del consumo de energía de la propia industria en particular. Mientras que el Producto Interno Bruto industrial alcanzó una tasa media de crecimiento anual (TMCA) de 4.7% en el período 1965-91, el consumo final energético del sector industrial creció 4.9%, logrando así que la intensidad energética se mantuviera por debajo de los 200 kilocalorías por peso producido, con una TMCA de 0.16% en esos años.

Este crecimiento no ha sido homogéneo a lo largo del último cuarto de siglo. En el período 1982-87 la TMCA del PIB Industrial decreció a el -0.71%, en tanto que el consumo energético de la industria aumentó 0.69%. A partir de 1988 el PIB logra una recuperación, alcanzando una TMCA de 6.8%, en tanto el consumo energético industrial registró una tasa negativa de (3.2%).

[3]/ Lajous, A. (1983).

[4]/ Por ejemplo, la industria siderúrgica ha fortalecido la producción de acero mediante el proceso de horno eléctrico de arco, incrementando así el consumo de electricidad en esta rama.

El menor crecimiento del consumo frente al ingreso se traduce en la disminución de la intensidad energética en los últimos tres años, al ubicarse en un rango de 197.66 a 179.29 kilocalorías por peso producido, mientras que en años anteriores se había ubicado en un rango superior, de hasta 236.01 kcal/$ producido.

6. DETERMINANTES DEL CONSUMO ENERGETICO INDUSTRIAL

Hasta aquí los elementos propuestos para el análisis del consumo de energía industrial y su vinculación con el crecimiento económico toman como referencia la información agregada de dicho sector, sin embargo, la elaboración de un diagnóstico completo que detalle las causas del comportamiento del consumo requiere llevar el análisis a la composición interna del consumo energético industrial.

Un análisis de este tipo posee necesariamente un carácter interdisciplinario, en virtud de que el nivel de eficiencia del consumo energético en los procesos productivos se define en función del nivel de obsolescencia y avance tecnológico de cada rama industrial, al interior de las cuales también existen diferencias tanto en el uso como en los componentes técnicos de los procesos [5/], esto implica una evaluación de los usos de la energía no solamente en términos de energía útil con el fin de evaluar el rendimiento de los procesos productivos en cada una de sus fases, explorando las posibilidades para su optimización e incluso las de sustitución.

El patrón de consumo energético industrial viene determinado principalmente por el avance en el proceso de industrialización, y por consiguiente por el grado de complejidad tecnológica asociado a este proceso, en consecuencia, países en vías de desarrollo como México, presentan un comportamiento del consumo energético diferente en relación con los países altamente industrializados, hecho que puede traducirse en un consumo más alto por unidad de producto [6/] para los primeros.

Sin embargo, esta apreciación no debe conducir necesariamente a la conclusión de que se derrocha energía (a pesar de que en los hechos exista), más bien, como se ha dicho es el nivel de desarrollo industrial alcanzado y su impacto sobre otros factores económicos y sociales los que caracterizan la estructura del patrón de consumo energético; al respecto Alonso Concheiro afirma: Mientras que los países industrializados están transformándose en sociedades posindustriales, poniendo cada vez más énfasis en las industrias de la información y el conocimiento, México sigue apenas profundizando sus procesos de industrialización, reduciendo la importancia relativa del sector primario e incrementando la del sector manufacturero. Adicionalmente, mientras los países industrializados pasaron ya por una transición demográfica que ha practicamente estabilizado su población total, los países en desarrollo siguen teniendo tasas de crecimiento demográfico elevadas. Aún más, estos últimos han vivido en los últimos 30 años un acelerado proceso de urbanización por lo que los primeros pasaron hace más de 50 años [7/].

En el cuadro 4 se muestran algunos indicadores referentes al consumo energético de las principales ramas industriales clasificados en dos grandes módulos:

a) Módulo de Base, que incluye aquellas ramas que se caracterizan por su heterogeneidad en sus procesos de producción y donde el cálculo, de la intensidad energética es a partir del valor agregado ó PIB; y,

b) Módulo IGCE (Industrias grandes consumidoras de energía) cuya producción se realiza sobre la base de uno o dos procesos y la intensidad energética se calcula a partir de la producción física.

Se aprecia que un poco más de la mitad del consumo industrial se concentra en las ramas del Módulo IGCE, hecho que facilita en buena medida los esfuerzos encaminados a lograr un ahorro y un uso más eficiente de la energía. Asimismo, se observa que la producción de la mayor parte de las industrias se orienta hacia la elaboración de insumos de amplia difusión cuyos efectos multiplicadores -por ejemplo en la estructura de costos- en otras industrias es considerable.

Por otra parte, diversos estudios [8/] señalan la existencia de un fuerte potencial de ahorro energético en estas industrias derivado de la comparación de las intensidades energéticas (relación energía/producción) [9/] de las ramas industriales mexicanas con respecto a las observadas a nivel internacional y que por supuesto resultan más eficientes. (figura 2)

5/ Véase los estudios sectoriales en Guzmán (1985)
6/ Harry Albiason (1987).

7/ Alonso Concheiro A. (1986) p.231
8/ Bazán y Díaz (1985), Guzmán D. y otros (1985), SEMIP (1988).
9/ En algunos casos la relación Energía/Producción (volumen físico) suele denominarse como "contenido energético" de la producción o bien "consumo específico".

La presencia de un fuerte potencial de ahorro energético en los principales consumidores industriales, implica tomar en consideración un programa de ahorro, uso eficiente y racional de la energía como una parte sustancial de la política energética, no sólo por el efecto cuantitativo que genera un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos nacionales; sino también por la importancia decisiva que puede cobrar este aspecto en el proceso de desarrollo económico.

5. VENTAJAS COMPARATIVAS Y CONSUMO ENERGETICO

A partir de la crisis de 1982, se propone una estrategia de cambio estructural para la economía mexicana en donde la magnitud del ajuste y los mecanismos de salida de la crisis económica no implican un reordenamiento formal del funcionamiento del sistema económico, más bien, se trata de una transformación de las formas de producción y de participación del mercado mundial, cuyas características principales radican en la necesidad de incrementar la productividad y en corregir las desproporcionalidades de la estructura económica. Como estrategia en la economía mexicana se propone incrementar el peso relativo de las exportaciones no petroleras en la composición del Producto Nacional.

De manera general, este modelo de crecimiento privilegia el papel de los factores de la producción por el lado de la estructura de costos, tratando de minimizarlos a fin de competir en el mercado internacional, a diferencia del esquema tradicional, en donde el nivel de demanda agregada resulta ser la variable clave para el dinamismo del mercado interno hacia el cual está destinada la producción.

No se pretende afirmar aquí que en la estrategia de crecimiento futuro las exportaciones adquieran el papel de notar básico del crecimiento económico, lo que si resulta claro, es que las exportaciones no petroleras, particularmente las manufactureras han dinamizado en buena medida su ritmo de crecimiento y su contribución al producto, y se pretende que consoliden esta tendencia·

Una política de ahorro, uso eficiente, y racional de energía se presenta como complementaria a la estrategia de crecimiento señalada; en la medida que de aprovecharse el gran potencial de ahorro energético de estas industrias, las repercusiones pueden ser bastante favorables si se considera la alta ponderación que tienen los energéticos en la estructura de costos de las industrias grandes consumidoras. Asimismo, como lo hemos señalado, dada la naturaleza de la producción como insumo de alta difusión de las mismas, el efecto tendiente a reducir los costos por la vía de un mejor aprovechamiento de la energía puede multiplicarse al resto del sector industrial.

Ahora bien, el aprovechamieto de este potencial de ahorro requiere de una visión clara de las causas que le dan origen así como una estrategia definida orientada para este fin, en este sentido, es prudente preguntarse acerca de la viabilidad técnica y económica que requiere una estrategia de este tipo.

El cálculo del potencial de ahorro para las distintas industrias se realiza sobre la base de comparar el consumo específico de cada industria mexicana con respecto al promedio internacional, lo que supone cierta homogeneidad tecnológica en las condiciones de consumo energético, lo cual no necesariamente es exacto, no obstante representa un punto de referencia para medir la eficiencia del consumo.

Cabe hacer dos apreciaciones importantes, en primer lugar, el consumo específico de energía representa un promedio para cada rama industrial, al interior de la cual existe cierta heterogeneidad en términos de eficiencia y racionalidad en el consumo, dependiendo del tipo de proceso, grado de obsolescencia del equipo, nivel de aprovechamiento de la capacidad instalada, competitividad de los mercados, etc. En segundo lugar, este hecho nos obliga a considerar que a medida que una planta industrial se acerca al punto óptimo de eficiencia energética, el logro de este objetivo representa un mayor costo, de tal suerte que el aprovechamiento del potencial de ahorro energético puede implicar medidas que van desde el mantenimiento correctivo de las plantas hasta la modificación total de los procesos, en todo caso, lo que se pretende señalar es el estrecho vínculo que existe en la política energética y sus repercusiones en el crecimiento económico.

Dado el carácter de mercado de la economía mexicana, el Estado no está en posibilidades de imponer un patrón de consumo energético, sin embargo, puede orientarlo, para ello cuenta con el control de la producción de las industrias energéticas nacionales (PEMEX y CFE), que combinado con una política fiscal adecuada (precios, incentivos fiscales al mejor aprovechamiento de los recursos, etc.), pueden influir significativamente en las características del patrón de consumo energético industrial, como ha quedado claro en el caso de la sustitución del combustóleo por el gas natural.

Una estrategia de política energética que logre abatir las pérdidas e ineficiencia del consumo de energía tiene alcances que rebasan por mucho los objetivos que se definan con base en el análisis de costo/beneficio, si se considera que a pesar de las reservas de hidrocarburos que existen México, las posibilidades de sustitución por fuentes alternas son aún lejanas incluso en el largo plazo para una economía como la nuestra [10/], que como se ha visto puede caracterizarse como una economía petrolizada, no sólo por el papel estratégico de las exportaciones de petróleo en el financiamiento del desarrollo, sino también la importancia de este en el patrón de consumo energético nacional.

B I B L I O G R A F I A

ALBISSON, HARRY (1987) — Consumo de Energía en los Procesos Industriales. Cuadernos sobre Prospectiva Energética No. 95 abril 1987 COLMEX.

ALFONSO, CONCHEIRO (1989) — Planeación energética, Prospectiva y Uso Eficiente de la Energía. Investigación Económica 178 octubre-diciembre de 1986. Facultad de Economía UNAM.

BAZAN Y DIAZ (1985) — Ahorro y Uso Eficiente de la Energía "Energéticos" 2a. Epoca Vol. 1 No. 8 SEMIP

DAMIAN, M (1987) — Energía Nuclear y tercer mundo el fin de un sueño. Revista Interamericana de Planificación Vol. XXI No. 82 junio de 1987.

GUZMAN O. Y OTROS (1985) — Uso Eficiente y Conservación de la Energía en México: Diagnóstico y Perspectivas. Edit. COLMEX 1985.

LAJOUS A. (1983) — "La Explotación del Gas Natural" problemas del sector energético en México" Edit. COLMEX.

MONTES NORA — Las Fuentes de Energía Nuevas y Renovables; una visión de su desarrollo. Revista Interamericana de Planificación Vol. XXI No. 82 junio de 1987.

PEMEX — "Evolución del Mercado Energético Nacional durante 1986" Subdirección de Planeación y Coordinación de PEMEX junio 1987.

PEMEX — Informes Anuales Varios Años

ROJAS NIETO — "La Renta Diferencial, Renta Petrolera, Renta Energética: Problemas y Prospuestas" Economía Informa No. 169. octubre 1988. Facultad de Economía UNAM.

SEMIP — Balances Nacionales de Energía 1965-1988.

10/ Véase Montes, Nora (1987)

CUADRO 1.

CONSUMO FINAL ENERGETICO DEL SECTOR INDUSTRIAL
(Petacalorías)

AÑOS	BAGAZO DE CAÑA	COQUE	GAS LICUADO	KERO-SINAS	DIESEL	COMBUS-TOLEO	GAS NATURAL	ELECTRI-CIDAD	TOTAL
1965	10.666	5.967	0.701	1.676	3.552	23.371	33.445	6.400	85.778
1966	11.348	7.182	0.742	1.707	3.877	25.018	37.762	7.112	94.748
1967	12.273	8.206	0.760	1.695	4.152	25.926	41.605	7.993	102.610
1968	11.823	9.619	0.809	1.702	4.610	24.513	46.125	8.992	108.193
1969	12.792	11.299	0.850	1.663	4.842	25.067	53.520	10.497	120.530
1970	12.190	10.838	0.972	1.642	5.495	23.819	59.004	11.938	125.898
1971	12.165	11.214	1.006	1.595	5.599	23.591	61.607	12.878	129.655
1972	11.847	12.412	1.090	1.639	6.212	27.898	64.785	14.358	140.241
1973	13.252	14.276	1.196	1.621	6.690	25.596	72.540	15.560	150.731
1974	13.713	14.713	1.161	1.728	7.258	35.164	73.210	16.262	163.209
1975	12.885	14.386	1.441	1.865	7.543	43.886	75.551	17.541	175.098
1976	12.357	15.557	1.524	1.906	7.862	53.393	75.811	19.313	187.723
1977	12.632	16.746	1.516	2.021	8.133	46.720	79.368	20.932	188.068
1978	14.979	17.635	1.631	2.051	8.804	53.310	95.131	22.837	216.378
1979	16.000	17.828	1.710	2.051	9.610	49.794	110.578	24.882	232.453
1980	15.418	16.307	2.158	1.916	10.494	45.856	119.355	25.976	237.480
1981	14.169	17.320	2.229	2.130	11.237	50.565	135.030	28.426	261.106
1982	15.103	16.403	2.757	1.758	9.155	49.202	150.373	29.769	274.520
1983	16.077	20.449	3.569	1.334	8.202	50.460	161.264	30.632	291.987
1984	18.388	19.731	3.638	1.030	13.151	52.376	138.187	33.386	279.887
1985	17.606	20.486	3.772	0.908	13.500	62.813	138.228	35.342	292.655
1986	19.282	16.317	3.722	1.136	10.728	60.270	116.304	36.323	264.082
1987	20.802	17.478	3.377	0.872	9.816	69.359	123.267	39.198	284.169
1988	18.789	13.581	3.471	0.676	9.700	63.235	117.909	41.477	268.838
1989	18.409	16.748	3.624	0.783	10.117	72.001	108.648	44.580	274.910
1990	17.391	16.150	3.810	0.615	10.769	74.947	122.829	45.929	292.440
1991	19.047	14.293	4.030	0.488	12.241	68.284	134.224	44.877	297.484

FUENTE: Balance Nacional de Energía 1965 - 1991.

CUADRO 2.

CONSUMO FINAL ENERGETICO DEL SECTOR INDUSTRIAL
(Estructura Porcentual)

AÑOS	BAGAZO DE CAÑA	COQUE	GAS LICUADO	KERO-SINAS	DIESEL	COMBUS-TOLEO	GAS NATURAL	ELECTRI-CIDAD	TOTAL
1965	12.4	7.0	0.8	2.0	4.1	27.2	39.0	7.5	100%
1966	12.0	7.6	0.8	1.8	4.1	26.4	39.9	7.5	100%
1967	12.0	8.0	0.7	1.7	4.0	25.3	40.5	7.8	100%
1968	10.9	8.9	0.7	1.6	4.3	22.7	42.6	8.3	100%
1969	10.6	9.4	0.7	1.4	4.0	20.8	44.4	8.7	100%
1970	9.7	8.6	0.8	1.3	4.4	18.9	46.9	9.5	100%
1971	9.4	8.6	0.8	1.2	4.3	18.2	47.5	9.9	100%
1972	8.4	8.9	0.8	1.2	4.4	19.9	46.2	10.2	100%
1973	8.8	9.5	0.8	1.1	4.4	17.0	48.1	10.3	100%
1974	8.4	9.0	0.7	1.1	4.4	21.5	44.9	10.0	100%
1975	7.4	8.2	0.8	1.1	4.3	25.1	43.1	10.0	100%
1976	6.6	8.3	0.8	1.0	4.2	28.4	40.4	10.3	100%
1977	6.7	8.9	0.8	1.1	4.3	24.8	42.2	11.1	100%
1978	6.9	8.2	0.8	0.9	4.1	24.6	44.0	10.6	100%
1979	6.9	7.7	0.7	0.9	4.1	21.4	47.6	10.7	100%
1980	6.5	6.9	0.9	0.8	4.4	19.3	50.3	10.9	100%
1981	5.4	6.6	0.9	0.8	4.3	19.4	51.7	10.9	100%
1982	5.5	6.0	1.0	0.6	3.3	17.9	54.8	10.8	100%
1983	5.5	7.0	1.2	0.5	2.8	17.3	55.2	10.5	100%
1984	6.6	7.0	1.3	0.4	4.7	18.7	49.4	11.9	100%
1985	6.0	7.0	1.3	0.3	4.6	21.5	47.2	12.1	100%
1986	7.3	6.2	1.4	0.4	4.1	22.8	44.0	13.8	100%
1987	7.3	6.2	1.2	0.3	3.5	24.4	43.4	13.8	100%
1988	7.0	5.1	1.3	0.3	3.6	23.5	43.9	15.4	100%
1989	6.7	6.1	1.3	0.3	3.7	26.2	39.5	16.2	100%
1990	5.9	5.5	1.3	0.2	3.7	25.6	42.0	15.7	100%
1991	6.4	4.8	1.4	0.2	4.1	23.0	45.1	15.1	100%

CUADRO 3.

INDICADORES DEL SECTOR INDUSTRIAL
(Miles de Millones de pesos de 1980)
(Petacalorías)

AÑOS	INDUSTRIA					NACIONAL				
	PIB *	CONSUMO	I.E. **	% PIB	% CONSUMO	PIB	CONSUMO	I.E. **	% PIB	% CONSUMO
1965	498.752	85.778	171.99	--	--	1,729.324	364.846	210.98	--	--
1966	541.216	94.748	175.07	8.51	10.46	1,834.746	393.483	214.46	6.10	7.85
1967	579.489	102.610	177.07	7.07	8.30	1,942.169	402.697	207.34	5.85	2.34
1968	623.653	108.193	173.48	7.62	5.44	2,125.185	434.387	204.40	9.42	7.87
1969	670.828	120.520	179.66	7.56	11.39	2,197.837	485.664	220.97	3.42	11.80
1970	714.756	125.898	176.14	6.55	4.46	2,340.750	491.256	209.87	6.50	1.15
1971	722.627	129.655	179.42	1.10	2.98	2,428.821	509.874	209.93	3.76	3.79
1972	789.283	140.241	177.68	9.22	8.16	2,628.684	566.352	215.45	8.23	11.08
1973	868.574	150.731	173.54	10.05	7.48	2,835.328	624.973	220.42	7.86	10.35
1974	917.246	163.209	177.93	5.60	8.28	2,999.120	659.373	219.86	5.78	5.50
1975	955.231	175.098	183.30	4.14	7.28	3,171.400	690.181	217.63	5.74	4.67
1976	998.458	187.723	188.01	4.53	7.21	3,311.499	732.192	221.11	4.42	6.09
1977	1,007.129	188.068	186.74	0.87	0.18	3,423.780	783.862	228.95	3.39	7.06
1978	1,108.937	216.378	195.12	10.11	15.05	3,730.446	874.152	234.33	8.96	11.52
1979	1,226.205	232.453	189.57	10.57	7.43	4,092.230	966.644	236.21	9.70	10.58
1980	1,316.066	237.480	180.45	7.33	2.16	4,470.081	1,074.613	240.40	9.23	11.17
1981	1,425.644	261.106	183.15	8.33	9.95	4,862.219	1,147.539	236.01	8.77	6.79
1982	1,374.324	274.520	199.75	-3.60	5.14	4,831.690	1,232.782	255.15	-0.63	7.43
1983	1,237.159	291.987	236.01	-9.98	6.36	4,628.940	1,165.547	251.80	-4.20	-5.45
1984	1,298.747	279.887	215.51	4.98	-4.14	4,796.050	1,184.279	246.93	3.61	1.61
1985	1,367.960	292.655	213.94	5.33	4.56	4,920.430	1,210.137	245.94	2.59	2.18
1986	1,280.650	264.082	206.21	-6.38	-9.76	4,732.150	1,184.931	250.40	-3.83	-2.08
1987	1,326.313	284.169	214.25	3.57	7.61	4,819.574	1,233.153	255.86	1.85	4.07
1988	1,360.094	268.838	197.66	2.55	-5.40	4,880.156	1,250.172	256.17	1.26	1.38
1989	1,439.134	274.910	191.02	5.81	2.26	5,040.873	1,324.407	262.73	3.29	5.94
1990	1,524.823	292.440	191.79	5.95	6.38	5,267.213	1,325.930	251.73	4.49	0.11
1991	1,659.188	297.484	179.29	8.81	1.72	5,449.173	1,361.319	249.82	3.45	2.67

FUENTE: Balances Nacionales de Energía 1965 - 1990 y Sistema de Cuentas Nacionales. INEGI.

CUADRO 4.

CONSUMO DE ENERGIA EN EL SECTOR INDUSTRIAL 1991. (Petacalorías)

SECTOR	Coque	G.L.P.	Diesel 1/	Combust-óleo	Bagazo de caña	Gas natural	Sub - total	Electri-cidad	TOTAL	PIB (10^9 / $)	I . E . Total	I . E . combustibles	I . E . electricidad
MODULO BASE													
Química 2/		0.166	0.760	11.175		19.651	31.752	5.786	37.538	180.299	208.20	176.11	32.09
Minería	1.281	0.038	1.058	1.113		4.952	8.442	3.943	12.385	188.233	65.80	44.85	20.95
Automotriz		0.175	0.072	--		0.521	0.768	0.696	1.464	116.536	12.56	6.59	5.97
Manufacturas 3/	0.220	3.348	10.439	11.242		34.343	59.592	23.931	83.523	709.912	117.65	83.94	33.71
MODULO IGCE										4/			
Cemento			--	19.895		2.372	22.267	2.792	25.059	25.822	970.45	862.33	108.12
Petroquímica (pemex)				2.423		46.95	49.374	--	49.374	18.001	2,742.85	2,742.85	n.s.
Papel		0.079	0.225	6.198		4.745	11.247	1.969	13.216	2.896	4,563.54	3,883.63	679.90
Azúcar			0.014	10.036	19.047		29.097	0.064	29.161	3.663	7,960.96	7,943.49	17.47
Siderurgia	12.792	0.224	0.161	6.202		20.689	40.068	5.696	45.764	7.883	5,805.40	5,082.84	722.57

* Miles de toneladas.

1/ Incluye gasóleo industrial y kerosinas.

2/ Incluye fertilizantes y hule

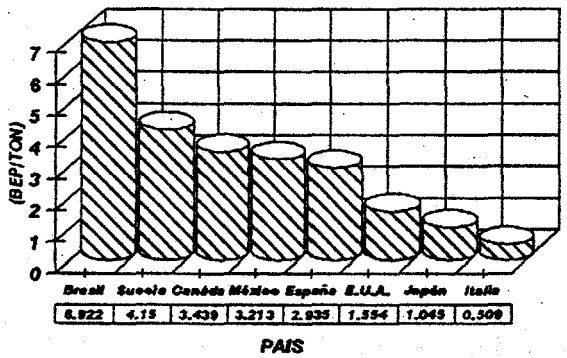
3/ Incluye vidrio, aguas envs., cerveza, construcción, aluminio, tabaco y o. ramas

4/ Se refiere a producción física (miles de toneladas)

CONSUMOS ESPECIFICOS INTERNACIONALES

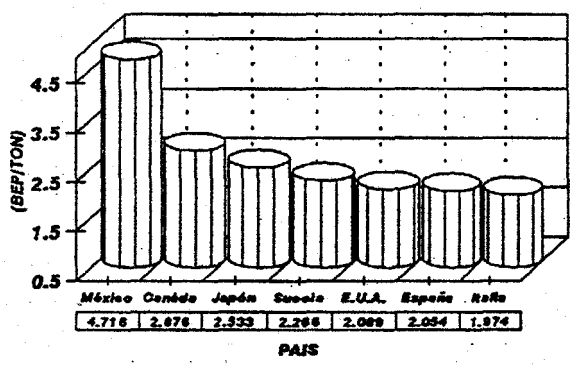
Figura 22.

INDUSTRIA DEL PAPEL (1990).



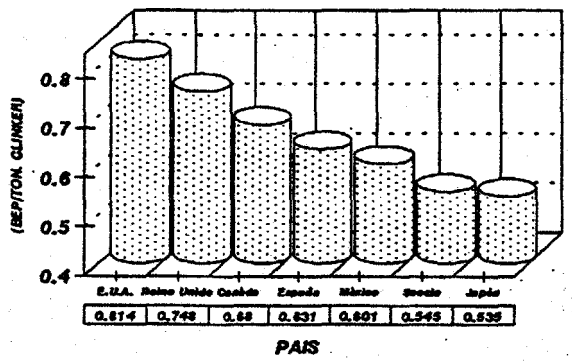
FUENTE: OCDE, COMPARACIONES INTERNACIONALES.

INDUSTRIA DEL ACERO (1989).



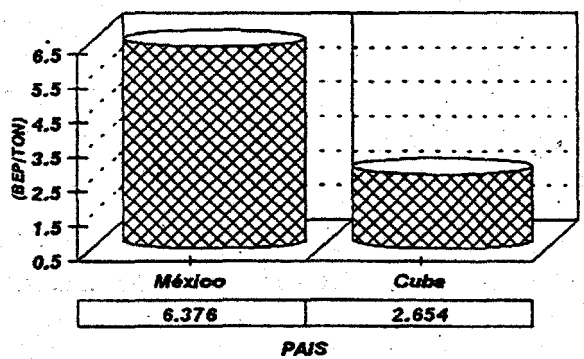
FUENTE: OCDE, OIL & ENERGY TRENDS Y SEMIP.

INDUSTRIA DEL CEMENTO (1988).



FUENTE: PCA., CEMBUREAU AND ASOOS.

INDUSTRIA DEL AZUCAR (1990).



FUENTE: INDUSTRIA CUBANA.

MX9800113

XIII SEMINARIO NACIONAL USO RACIONAL DE LA ENERGIA 1992

MOTORES DE ALTA EFICIENCIA

IVAN JAIME URANGA FAVELA
Gerente General
Energia Controlada de Mexico, S.A. de C.V.
Cam.a Sn.Pedro Martir # 187
Col. Chimalcoyotl
Tlalpan, 14630 D.F.
Tel. 573-58-37 y 50
Fax. 655-23-02

El presente trabajo es un estudio tecnico-financiero de los motores de Alta Eficiencia y los motores Super Premium. Como es ampliamente conocido, mas del 60% de la energia electrica generada en el pais, es utilizada para accionar motores, dentro de la industria y el comercio. De alli la importancia que los motores tienen en el Uso Eficiente de la Energia.

ANTECEDENTES

Los motores de alta eficiencia no son invento nuevo, hace ya varios años (1984), que en motores arriba de 100 HP, en tensiones medias (2200, 4200 y 13000), los motores se han construido en el mundo, incluyendo a Mexico, con alta eficiencia. En estos años no todos los fabricantes han alcanzado los niveles de eficiencia que se requieren para las actuales normas IEEE SPEC.112 Metodo de Prueba B. y CSA SPEC. C390., que establecen la Alta Eficiencia y Super E Premium.

Los fabricantes en Mexico, ante un mercado orientado solo al precio inicial, se han quedado rezagados con respecto a otros paises. Todavia no hay motores de Alta Eficiencia o Super E Premium hechos en Mexico, pero ya empezaron a aparecer en las listas de precios (Reliance de Mexico "REMSA").

Todo parece indicar que el desarollo del mercado va estar ligado a la importacion, principalmente de motores fabricados en EEUU, Japon y Europa. Sin embargo, esperamos que tengan una buena reaccion nuestros fabricantes nacionales: Reliance de Mexico, Motores US, Siemens, IEM y ASEA.

OBJETIVO

Como lo mencionamos en el resumen, el objetivo del presente trabajo es hacer un estudio tecnico-financiero de los motores de Alta Eficiencia y Super Premium. Intentaremos demostrar tambien que en la medida que utilizamos la energia de una manera mas eficiente, contribuimos de manera importante a elevar la productividad, como resultado de

menores paros por fallas en los motores y liberamos tambien via ahorros de electricidad, recursos que se pueden usar para modernizar otras areas de la fabrica.

INTRODUCCION

Todas las empresas mexicanas se enfrentan en el momento actual ante la disyuntiva de ser mas productivos o desaparecer. La productividad no se genera con buenos deseos, ni es resultado de campañas de publicidad repetidas hasta el cansancio. Acciones concretas en cada una de las industrias deberan implementarse, usando la tecnologia de punta y la ingenieria de aplicacion, orientadas a proyectos bien definidos.

Cabe hacer mencion que los gastos en energeticos dentro de una planta productiva, ocupan el tercer lugar en importancia, a saber: La materia prima o las mercancias (en caso de comercios), ocupan el primer lugar, seguidos por la nomina en segundo y continuando en ese orden los energeticos.

En un estudio publicado por la Camara Nacional de Manufacturas Electricas (CANAME), en agosto de 1990 (pag.2 *numero* especial dedicado al ahorro de energia), las industrias mexicanas comparadas con las mas eficientes internacionalmente, se encuentran como muestra la tabla 1:

Es importante implementar en todas las industrias, el sistema de medir el consumo energetico por unidad de producto (Ton/KWH, Pzas./KWH, Kg/BTU, Clientes/KWH, etc.), como una buena practica en el control de la energia.

Estas seis ramas de la industria nos pueden servir como ejemplo del reto. Si promediamos el ahorro potencial, encontramos que hay posibilidades de ahorro para un 27.33% por lo menos en las demas ramas de la industria que no estan representadas en la tabla.

Buema parte de este potencial podriamos ahorrarlo usando motores mas eficientes, como lo veremos mas adelante.

TABLA 1
(Millones de calorias por unidad de producto)

SECTOR O RAMA	NACIONAL	INTERNACIONAL	UNIDAD	POTENCIAL AHORRO %
SIDERURGIA	6800	4250	TON	37
CEMENTO	1.1	0.9	KG	10
AZUCARERA	6560	4500	TON	50
CELULOSA	6560	4500	TON	30
PAPEL	3300	2300	TON	30
VIDRIO	6000	4400	TON	7

La pequeña y la mediana industria se encuentran descapitalizadas en el presente, es facil decir demagogicamente que tenemos que ser mas productivos, pero muchas de las opciones para mejorar la productividad, requieren inversiones importantes.

La industria debe recurrir a prestamos a mediano y largo plazo para implementar las mejoras necesarias para elevar la productividad, requiere presentar estudios serios de retorno a las inversiones que garanticen que va a estar en posibilidades de pagar los prestamos.

En el caso de una inversion en motores eficientes, los bancos estaran interesados en saber los beneficios de dicha instalacion (ahorros potenciales anuales), el comportamiento de la inversion con respecto a las variables del mercado, Inflacion, Costo del Dinero (Tasa de Interes), Incrementos probables del costo de la energia, como lo afectara la legislacion fiscal (Tasa de impuestos, depreciacion, etc.), etc.

Seran muy importantes los resultados que arroje el estudio, los Flujos de Caja, la Tasa Interna de Retorno Real, Tiempo de retorno de la inversion y el Valor Presente Neto.

Uno de los problemas mas importantes en la implementacion de mejoras dentro de una empresa, es reunir los suficientes datos financieros de factibilidad, para que el cambio se lleve a cabo.

Generalmente, los proyectos estan muy bien presentados tecnicamente (a veces tan bien, que el area financiera que no entiende los terminos tecnicos electricos se confunde), sin embargo, como buenos ingenieros estamos lejos de hacer una buena presentacion financiera y el proyecto se puede venir abajo.

Utilizaremos el estudio de los motores de Alta Eficiencia y Super-E Premium, para desarrollar una herramienta de analisis financiero, que nos puede servir para otros proyectos. Es probable que nos sorprendamos de los resultados en cuanto a retorno a la inversion, que se logran al introducir otras variables que afectan indirecta o directamente una inversion.

El motor electrico es una maquina que convierte la energia electrica en energia mecanica, no es posible que toda la energia electrica se convierta a energia mecanica, en el proceso de conversion parte de la energia electrica se convierte en calor y se conoce como perdidas en el motor. A la relacion que existe entre la energia de salida y la energia de entrada se le conoce como eficiencia:

N = KWsalida/KWentrada

siendo una cantidad decimal menor de la unidad. Frecuentemente se multiplica por 100 para darla como un porcentaje.

FIGURA 1.
CONVERSION DE ENERGIA ELECTRICA A ENERGIA MECANICA
EN UN MOTOR ELECTRICO[1]

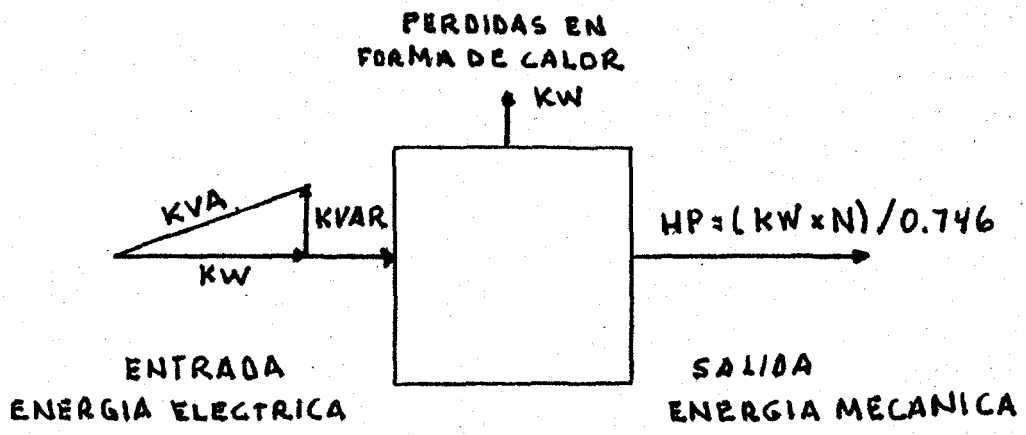
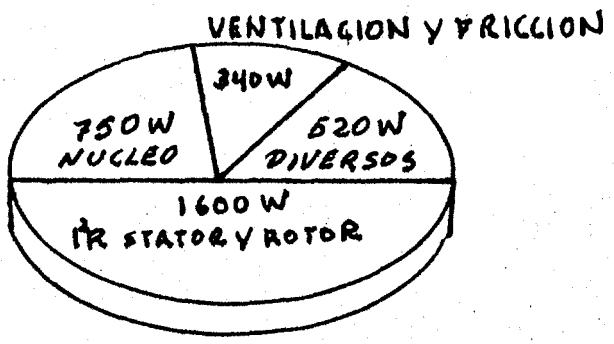


FIGURA 2
PERDIDAS EN WATTS EN UN MOTOR DE 50 HP. 3F. 60HZ.
EFICIENCIA NORMAL



Nota 1.- Usamos como unidad el KW = 1000 Watts, por ser la unidad que aparece en los recibos de electricidad.

En primer lugar, aplicaremos las formulas electricas para convertir los HP de potencia de un motor trifasico a KW:

HP = (I x E x 1.732 x N x f.p.)/746 1

I = Corriente del motor, E = Voltaje de linea
N = Eficiencia del motor, f.p.= Factor de Potencia
HP = Potencia mecanica del motor

KVA = 1.73 x I x E ....potencia aparente... 2
KW = KVA cos 0.....potencia activa..... 3
HP = (KW x N)/0.746....potencia mecanica..... 4
KW = (HP x 0.746)/N..... 5

La ecuacion 5 la utilizaremos para calcular los KW de demanda tanto del motor Normal (STD), que servira de base de comparacion, como de los motores de Alta Eficiencia y Super Premium. Por Ejemplo:

Normal 50HP	KW = 50 x .746/.875 = 42.63
Alta Efic. 50HP	KW = 50 x .746/.924 = 40.37
Super Premium	KW = 50 x .746/.95 = 39.26

Como se puede observar, los motores Alta Eficiencia y Super Premium demandan menos energia de la linea de alimentacion.

Si estos motores operan 24 horas durante el dia, los consumos serian:

Normal 50HP	KWH = 42.63 x 24 = 1,023 KWH/dia
Alta Efic. 50HP	KWH = 40.37 x 24 = 969 KWH/dia
Super Premium	KWH = 39.26 x 24 = 942 KWH/dia

Nota 2.- Usamos en todas las evaluaciones 24 horas de operacion diaria y 364 dias del año. Si se desea saber el comportamiento de un motor operando menor tiempo, debemos multiplicar el resultado del concepto que aparezca en las tablas de este trabajo, por el factor que resulte de:

Factor = Horas oper.deseada/24

Ejemplo: el motor de 50 HP opera 16 Horas diarias y deseamos saber los KWH/dia:

Factor = 16/24 = 0.666

KWH/dia = 1023 x 0.666 = 682 para 16 Horas de operacion.

Usamos el mismo criterio para los dias del año.

Las perdidas en un motor no son constantes para todos los niveles de carga, la friccion, ventilacion y nucleo varian poco con la carga del motor (son constantes para cualquier carga), pero las perdidas por resistencia en las bobinas del rotor y el estator (I^2R), crecen en relacion con la carga (ver la FIGURA 3. Todos los calculos los realizamos a plena carga. No es adecuado usar los

motores abajo del 80% de carga nominal, por el bajo factor de potencia que causa a la red de alimentacion.

ENTENDIENDO EL RECIBO DE COBRO DE ENERGIA ELECTRICA

El recibo de energia electrica incluye estos dos conceptos:

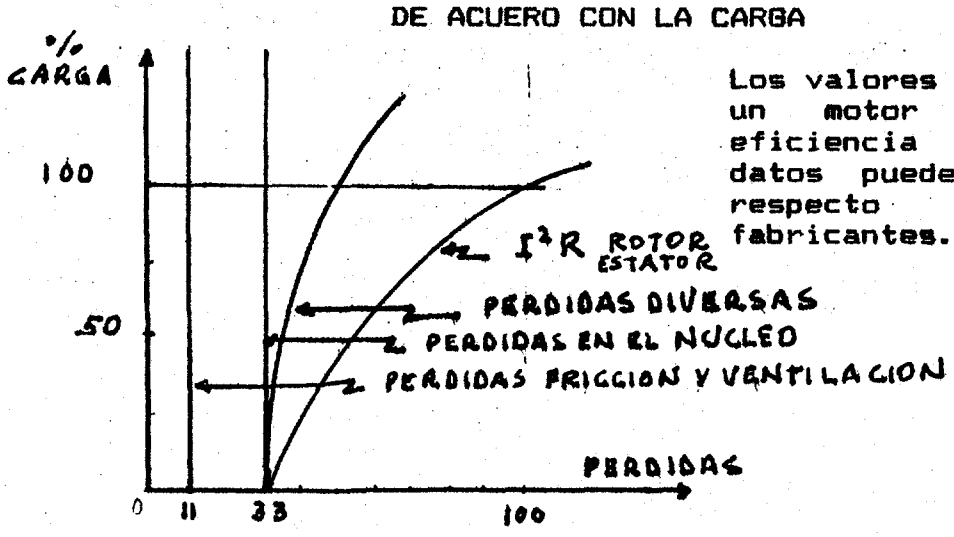
1.- Demanda.- son los KW maximos medidos en el periodo de 15 minutos durante el mes en curso. En el ejemplo, el motor demandara en el mes los KW que calculamos. Si multiplicamos la demanda mensual por 12 obtendremos la demanda anual.

2.- Consumo.- son los KWH calculados en el ejemplo, multiplicados por los dias que el motor funcione durante el mes. En otras palabras la demanda por el numero de horas que opere en el mes o el año. Un motor que opera todo el año consumira los KWH/dia x 365 dias.

Hemos desarrollado una tabla comparativa (Tabla 2), donde en diez columnas de izquierda a derecha tenemos los HP del motor, la eficiencia de los motores normal (STD) *, la eficiencia del motor Alta Eficiencia, enseguida el consumo y la demanda anual del motor normal (STD), a continuacion tenemos las dos columnas de consumo y demanda del motor Alta Eficiencia. Aplicamos la tarifa electrica tanto al motor normal como al motor Alta Eficiencia y creamos las columnas del costo de energia, finalmente tenemos la columna del ahorro por año. Las formulas de los folletos Americanos no tienen precision, pues la aplicacion de las tarifas es diferente en Mexico.

La tabla 3, es similar a la tabla 2 excepto que compara el motor Super-E Premium con el normal (STD).

FIGURA 3
REPRESENTACION GRAFICA DE LAS PERDIDAS DE UN MOTOR DE ACUERO CON LA CARGA



Los valores se tomaron de un motor GE de 50% eficiencia normal, los datos pueden variar con respecto a otros fabricantes.

Energia Controlada de Mexico, S.A. de C.V. TABLA 2 29-Oct-92
Comparativo Tecnico Economico
Motores Normales V.S. Alta Eficiencia

Condiciones de Operacion:

Horas diarias:	24	Costo KWH:	$139.72	Factor Descuento	0.42
Horas Mensuales	720	Costo KW:	$23,778	Pesos/Dolar	3,156.00
Horas Anuales:	8,736	Tarifa:	O-M		

MOTORES JAULA DE ARDILLA DE 4 POLOS, 3 FASES, 60Hz. CERRADOS CON VENTILACION EXTERIOR

	EFICIENCIA		Consumos Anuales Motor Normal		Motor Alta Efic		Energia Electrica M.Normal	M.Alta Efi	Ahorro Por año	M.A.Efic Costo	Años
HP	NEMA STD	Alta Efic	KWH	KW	KWH	KW	Costo N$	Costo N$	en N$	N$	Recuper.
1	76.2	82.5	8,553	12	7,899	11	1,474	1,362	113	448	3.98
1.5	80.3	81.5	12,174	17	11,995	16	2,099	2,068	31	484	15.66
2	80.0	85.5	16,293	22	15,245	21	2,809	2,628	181	542	3.00
3	80.5	84.0	24,267	33	23,275	32	4,187	4,012	174	651	3.73
5	83.7	86.5	38,931	53	37,671	52	6,711	6,494	217	776	3.57
7.5	86.4	86.5	56,572	78	56,506	78	9,752	9,741	11	1,026	90.97
10	87.7	88.5	74,311	102	73,639	101	12,810	12,694	116	1,370	11.83
15	88.4	88.5	110,584	152	110,459	152	19,063	19,041	22	2,010	93.33
20	89.3	90.2	145,959	200	144,502	198	25,161	24,910	251	3,011	11.99
25	89.3	91.0	182,448	251	179,040	246	31,451	30,863	588	3,164	5.38
30	88.4	91.0	221,167	304	214,848	295	38,125	37,036	1,089	3,466	3.18
40	87.0	91.7	299,635	412	284,277	390	51,652	49,004	2,647	4,096	1.55
50	87.5	92.4	372,403	512	352,655	484	64,196	60,791	3,404	5,179	1.52
60	87.7	93.0	445,865	612	420,455	578	76,859	72,479	4,380	6,451	1.47
75	87.9	93.6	556,063	764	522,200	717	95,855	90,018	5,837	8,075	1.38
100	91.0	93.0	716,160	984	700,759	963	123,453	120,798	2,655	11,144	4.20
125	90.2	93.0	903,140	1,241	875,948	1,203	155,685	150,998	4,687	13,147	2.80
150	90.7	93.6	1,077,793	1,480	1,044,400	1,435	185,792	180,036	5,756	14,871	2.58
200	91.6	94.5	1,422,938	1,955	1,379,271	1,895	245,289	237,762	7,527	17,893	2.38
250	92.0	96.2	1,770,939	2,433	1,693,622	2,326	305,278	291,950	13,328	34,861	2.62
300	92.4	96.2	2,115,927	2,906	2,032,346	2,792	364,748	350,340	14,408	64,299	4.46
350	92.7	96.2	2,460,593	3,380	2,371,070	3,257	424,162	408,730	15,432	66,272	4.29
400	92.9	96.2	2,806,052	3,854	2,709,795	3,722	483,713	467,120	16,593	77,556	4.67

TABLA 3

Energia Controlada de Mexico, S.A. de C.V. 28-Oct-92
Comparativo Tecnico Economico
Motores Normales V.S. Alta Eficiencia

Condiciones de Operacion:

Horas diarias:	24	Costo KWH:	$139.72	Factor Descuento	0.66
Horas Mensuales	720	Costo KW:	$23,778	Pesos/Dolar	3,156.00
Horas Anuales:	8,736	Tarifa:	O-M		

MOTORES JAULA DE ARDILLA DE 4 POLOS

	EFICIENCIA		Consumos Anuales Motor Normal		Motor Premium		Energia Electrica N.Normal	N.Premium	Ahorro Por año	N.Prem. Costo	Años
HP	NEMA STD	Premium	KWH	KW	KWH	KW	Costo N$	Costo N$	en N$	N$	Recuper.
1	76.2	85.5	8,553	12	7,622	10	1,474	1,314	160	855	5.33
1.5	80.3	87.5	12,174	17	11,172	15	2,099	1,926	173	886	5.13
2	80.0	86.5	16,293	22	15,068	21	2,809	2,598	211	930	4.41
3	80.5	89.5	24,287	33	21,845	30	4,187	3,766	421	976	2.32
5	83.7	90.2	38,931	53	36,126	50	6,711	6,227	484	1,034	2.14
7.5	87.0	91.0	56,182	77	53,712	74	9,685	9,259	426	1,408	3.31
10	87.7	91.7	74,311	102	71,069	98	12,810	12,251	559	1,583	2.83
15	88.7	92.4	110,210	151	105,796	145	18,998	18,237	761	2,228	2.93
20	89.3	93.0	145,959	200	140,152	193	25,161	24,160	1,001	2,700	2.70
25	89.3	94.1	182,448	251	173,142	238	31,451	29,847	1,604	3,534	2.20
30	88.4	94.1	221,167	304	207,770	285	38,125	35,816	2,309	4,198	1.82
40	87.0	94.5	299,635	412	275,854	379	51,652	47,552	4,099	5,487	1.34
50	87.5	95.0	372,403	512	343,003	471	64,196	59,128	5,068	6,184	1.22
60	87.7	95.0	445,865	612	411,604	565	76,859	70,953	5,906	9,598	1.63
75	87.9	95.0	556,063	764	514,504	707	95,855	88,691	7,164	11,216	1.57
100	91.0	95.0	716,160	984	686,006	942	123,453	118,255	5,198	14,935	2.87
125	90.2	95.0	903,140	1,241	857,507	1,178	155,685	147,819	7,866	19,002	2.42
150	90.7	95.8	1,077,793	1,480	1,020,416	1,402	185,792	175,901	9,891	22,261	2.25
200	91.6	96.2	1,422,938	1,955	1,354,897	1,861	245,289	233,560	11,729	25,957	2.21
250	92.0	96.2	1,770,939	2,433	1,693,622	2,326	305,278	291,950	13,328	32,824	2.46
300	92.4	96.2	2,115,927	2,906	2,032,346	2,792	364,748	350,340	14,408	60,541	4.20
350	92.7	96.2	2,460,593	3,380	2,371,070	3,257	424,162	408,730	15,432	62,399	4.04
400	92.9	96.2	2,806,052	3,854	2,709,795	3,722	483,713	467,120	16,593	73,024	4.40

MODELO DE ANALISIS DE INVERSION

Motor, 3Fases, 60Hz, TCCV Super-E Premium HP = 40

MN = Nuevos Pesos
USD = Dolares Americanos

	DATOS DE INVERSION			DATOS VARIABLES ECONOMICAS	
A	Costo del Equipo en USD	1,995	G	Inflacion anual	11.00%
B	Tipo de Cambio MN/USD	3.16	H	Tasa de interes anual	19.50%
C	Costo de la Instalacion MN	126	I	Incremeto anual tarifa elec	6.70%
D	Inversion Total MN (C+(AxB))	6,422	J	Tasa promedio de impuestos	25.00%
E	Costo Mantenimiento anual MN	76	K	Tasa Depreciacion anual	20.00%
F	Ahorros Anuales Estimados MN	4,099			

L	Año	0	1	2	3	4	5	6	7
-D	Inversion -D	-6,422							
F	Ahorros anual Bruto #		4,099	4,374	4,667	4,979	5,313	5,669	6,049
E	Mantenimiento anual &		-76	-84	-93	-103	-115	-127	-141
-M	Depreciacion -(K x D)		-1,284	-1,284	-1,284	-1,284	-1,284		
N	Aho.antes Impuesto (F+E+M)		2,739	3,005	3,289	3,592	3,914	5,542	5,907
P	Utilidad Neta N x (1 - J)	-6,422	2,054	2,254	2,467	2,694	2,935	4,156	4,431
Q	Util.a Valor Presente #		1,719	1,578	1,446	1,321	1,205	1,427	1,273
M	Deprec.incentivo fiscal +M		1,284	1,284	1,284	1,284	1,284		
R	Flujo de caja Total (Q + M)	-6,422	3,003	2,863	2,730	2,605	2,489	1,427	1,273
S	Flujo acumulado RO+R1+..+Rn	-6,422	-3,419	-556	2,174	4,780	7,268	8,696	9,969
L	Año	0	1	2	3	4	5	6	7

T	Tasa Interna Retorno Real	36.74%
U	Tiempo de Recuperacion años-meses	2 -2
V	Valor Presente Inversion	9,969

NOTAS:
Ahorro anual B. = F x(1 + I)^L, donde L es el año correspondiente.
& Mantenimiento anual = E x(1 + G)^L, donde ^significa elevado a la potencia
# Utilidad a valor Presente = P x(1 + H)^L

Resultados Tipicos de Algunos Motores

Potencia del Motor	5	10	75
Tasa Interna Retorno Real	20.67%	13.05%	31.19%
Tiempo de Recuperacion años-meses	3 -2	3 -10	2 -6

Estas dos tablas (2 y 3), nos ayudaron a calcular los ahorros del motor Alta Eficiencia y el motor Super-E Premium respectivamente.

A continuacion hemos desarrollado un Modelo de Analisis de la Inversion creando un Estado de Resultados. Hemos marcado cada una de las variables con una letra mayuscula, para facilitar el desarrollo de formulas y relacionar los conceptos.

Los conceptos que no incluyen una formula o una nota, son constantes o datos que tenemos que introducir, con excepcion de la Tasa Interna de Retorno, el Tiempo de Recuperacion y el Valor Presente de la Inversion, los cuales explicaremos mas adelante.

El modelo incluye las variables economicas que en todo momento afectan una inversion: Inflacion, Tasa de Interes, Incremento a la Tarifa Electrica, Tasa Promedio de Impuestos, Tasa de Depreciacion anual.

Siempre que sustituimos un equipo, necesariamente existe una erogacion por concepto de instalacion, esta se suma a la inversion. Una vez instalado nos genera un costo de mantenimiento, este costo se incrementa año con año de acuerdo a la inflacion.

Como la Depreciacion es un incentivo fiscal, se descuenta a las utilidades antes de aplicar la Tasa de Impuestos, una vez aplicados estos, tendremos la Utilidad Neta, pero como no es lo mismo 1000 pesos actuales a 1000 pesos del año proximo, los pesos del año proximo los tendremos que traer a valor actual o presente, este valor siempre es menor, dado que el dinero tiene un costo (la tasa de interes).

Ahora que todos los pesos estan a valor presente o actual, ya podemos sumarlos a la depreciacion, que ahora tiene signo positivo y de esta suma obtenemos el flujo de caja.

El flujo acumulado nos ayuda a localizar el año en que se recupera la inversion (Flujo acumulado = 0).

La Tasa Interna de retorno se obtiene al encontrar el interes promedio de una serie de ingresos (flujos de caja) en intervalos regulares.

El valor presente neto de una inversion, es el acumulado de los flujos de caja correspondiente al periodo total estudiado.

Ahora que hemos visto que el motor eficiente es capaz de pagarse por si mismo, con los ahorros por energia, de sobra esta decir que la operacion productiva de una industria es mas segura con motores nuevos que con motores viejos reembobinados N veces.

Muchos recursos se desperdician diariamente, derivados de decisiones tomadas por personal que no esta calificado, politicas de mantenimiento que no se han adecuado al desarrollo tecnologico, menosprecio de la importancia que tiene la ingenieria en la toma de decisiones rentables y competitivas.

Nota 4.- Es de sobra conocido el desden que muchos industriales de Mexico, han tenido tradicionalmente por la ingenieria y la planeacion estrategica (siempre la han considerado un gasto en vez de una inversion). Es verdad que no todas las compañias estan en posibilidades de crear departamentos de ingenieria y planeacion de primera linea, sin embargo, es momento de recurrir a los despachos de ingenieria y asesoria,contratando-los por obra determinada, honorarios o por horas, para tener acceso a especialistas de primera linea, que ayuden a la industria y comercio del pais a ser mas competitivos.

La mala practica de comprar equipos y maquinaria comparando unicamente su costo inicial, puede ser desastrosa. Reembobinar un motor quemado es "barato", comprar el motor mas "economico" del mercado, seleccionar motores sin recurrir a un especialista que lo dimensione a la maquina accionada es "barato".

REEMBOBINAR UN MOTOR QUEMADO

La eficiencia de un motor esta en funcion de los parametros siguientes:

- Uso de mas y mejores materiales en las bobinas y el nucleo, en las bobinas del estator se utili-zan conductores de mayor seccion tranversal, con mejores aislamientos, para reducir las perdidas por resistencia (I^2R), en el nucleo se utiliza mayor laminacion, para compensar la mayor seccion de las ranuras que alojan las bobinas, laminacion de acero silicio cubierta por un aislante de acero silicio, para minimizar las perdidas por corrientes de Eddy, con un tratamiento especial para orientar las moleculas en una atmosfera a temperatura, humedad y oxidacion controladas, para reducir las perdidas por hysteresis. Barras del rotor de aluminio de alta pureza, aislamiento de alta temperatura en los cantos, para reducir al minimo las perdidas. Los motores eficientes operan mas frios, por consecuencia son mas durables.
- Se controla la calidad al 100%, ya que las pruebas de salida que se le practican son al 100% de la carga nominal en un dinamometro.
- Baleros mas precisos y de mayor duracion.
- Aislamiento Clase F, no higroscopico y resistente a solventes.
- Operan a plena carga con un aumento de temperatura Clase A.

- Al ser redimensionado el ventilador por operar mas frios (con menos perdidas por calor), son silenciosos.

De lo anterior se desprende que la Alta eficiencia no depende solamente de la forma en que un motor se embobina. Si alguien nos trata de sorprender, diciendo que los motores reembobinados pueden ser mas eficientes que un normal, reduciendo mas de 6% las perdidas, es una falacia. El embobinador tiene acceso solo a modificar las bobinas en forma limitada, pues la ranura solo le permitiran poner un poco mas de cobre.

El uso extendido de retirar las bobinas quemadas, por medio de un soplete, martillo y cuña, por lo general dañan el aislamiento de

las laminaciones del nucleo del estator. Un motor sin aislamento entre laminaciones tendra mayores perdidas por corrientes de Eddy y trabajara mas caliente acortando su vida.

Un rotor que se arrastro sobre el estator, por la falla de un balero, en la reparacion tendra mayor entrehierro, jamas podra regresar a sus condiciones de diseño.

Haciendo una buena reparacion, un motor reembobinado con el cobre de diseño, puede aumentar sus perdidas de 6 a 12%. Un trabajo mal hecho puede andar entre 12 y 20%.

Observar la diferencia entre el motor Premium y el mal embobinado (N$ 2,376). El gasto de energia extra en el motor mal reembobinado, paga el motor Premium.

Finalmente es importante mencionar como se determina la eficiencia nominal en un motor. Segun la norma NEMA Seccion MG 1-12.54.2, para motores Diseño A y B, de una velocidad, polifasicos jaula de ardilla de 1 a 125 HP, que aparece en la placa del motor. De una curva de distribucion normal (campana), desarrollada por las pruebas a una familia de motores, se determina la eficiencia promedio (ver FIGURA 4). Por eso es importante que la placa tambien tenga la minima eficiencia garantizada, para poder comparar sin temor a equivocarnos.

CONCLUSION

La mejor eleccion de un motor siempre estara del lado del motor mas eficiente, sin ser aun la panacea, es incorrecto reembobinar motores viejos sin impotar el precio.

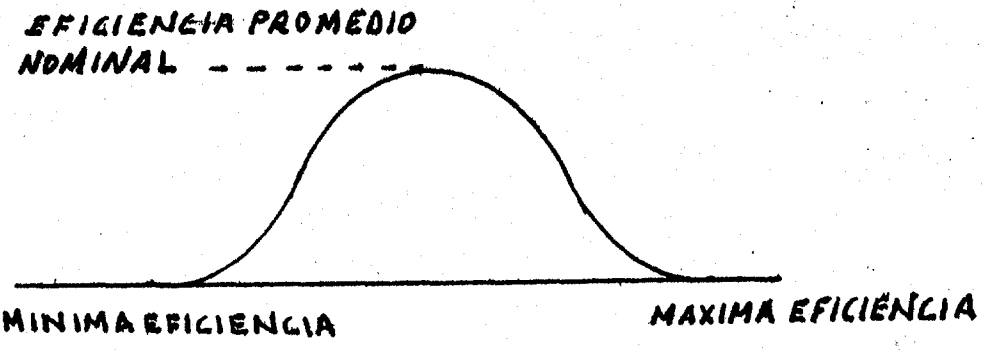
TABLA 4
COSTO DE ENERGIA ANUAL PARA MOTOR REEMBOBINADO
25 HP, 3F, GE, 1800 RPM, 60HZ

TIPO MOTOR	EFICIENCIA	COSTO ANUAL	DIFERENCIA
Normal	89.3	N$ 31,451	
Bien Embobinado	88.6	N$ 31,699	248
Regular	88.0	N$ 31,916	464
Malo	87.1	N$ 32,223	772
Premium	95.0	N$ 29,847	

Actualmente el costo de los motores eficientes es elevado, el precio de la electricidad es bajo comparado con el precio internacional en igualdad de circunstancias en cuanto a su produccion. Los mejores retornos a la inversion estimularian mas a los usuarios a invertir.

Parece ser que se seguira protegiendo la ineficiencia: El advalorem del 20% (impuesto de importacion),"protege" a los industriales productores de motores, pero desprotege a los usuarios que por precio aun siguen comprando motores de baja eficiencia.

FIGURA 4
COMO SE DETERMINA LA EFICIENCIA NOMINAL



Por otro lado ingresan al pais gran cantidad de motores normales, porque los exportadores extranjeros se estan deshaciendo de sus inventarios de obsoletos y pueden dar precio por abajo del costo.

Mientras tanto se siguen desperdiciando nuestros recursos energeticos.

BIBLIOGRAFIA

Numero Especial de la Revista de CANAME. Ago/1990.

Ivan Uranga. Uso Eficiente de la Energia, Productividad, Ecologia y Calidad en las Empresas Mexicanas. Actividad Empresarial. Nov/1992.

Jim Hirzel, Understanding Premium-Eficiency Motors Economics, GE Motors, Fort Wayne, IN. May 7/1992.

GE Motors. Evaluation Method, Fort Wayne, IN, 6/1992.

MX9800114

"SELECCION DE MOTORES ELECTRICOS PARA PROCESOS INDUSTRIALES CON CRITERIOS DE USO RACIONAL DE LA ENERGIA"

ING. ARTURO MORALES COLLANTES
FACULTAD DE INGENIERIA, U.N.A.M.

Ante la crisis energética y ecológica por la que actualmente pasamos, pero fundamentalmente porque como seres humanos no podemos seguir actuando en forma tan irreflexiva, escribo estas notas, con la intención de que tomemos más en cuenta, que lo que hagamos para mejorar las formas de consumo de energía, facilitará la preservación de la vida humana. La selección de motores eléctricos, juega un importante papel al respecto, ya que representa el mayor porcentaje del consumo de energía eléctrica a nivel nacional, por lo tanto señalaré algunos criterios básicos para una adecuada selección.

CARACTERISTICAS DE LA CARGA MECANICA

Las cargas mecánicas activadas por motores eléctricos son de muy diversos tipos, de tracción para elevadores, montacargas, transportadores eléctricos, bombas de fluidos, ventiladores, agitadores, compresores, máquinas herramientas, troqueladoras, laminadoras etc., incluso todas aquellas que dan servicio a la industria, el comercio y al uso doméstico.

La energía que demandan las cargas también varía de muy diversas formas, desde el punto de vista de operación, pueden ser consideradas como contínuas e intermitentes y respecto a los requerimientos de potencia y velocidad se pueden clasificar de la siguiente forma:

a) Carga constante velocidad constante
b) Carga constante velocidad variable
c) Carga variable velocidad constante
d) Carga variable velocidad variable

VELOCIDAD DE ACCIONAMIENTO

La velocidad de accionamiento requerida por la carga para desarrollar un proceso determinado, puede ser constante, variable, o una combinación de ambas, que dependerá de las características del material a procesar; si la velocidad requerida es constante, probablemente la elección del motor adecuado no sea tan complicada, sobretodo si dicha velocidad puede oscilar dentro de rangos de regulación convencionales sin embargo si las características del proceso demandan cambios de velocidad la situación cambia.

Conocer las velocidades requeridas por la carga, es necesario para la elección adecuada desde el punto de vista de operación económica del motor, sin embargo no es suficiente.

POTENCIA ELECTRICA NOMINAL DEMANDADA POR LA CARGA

Se conoce como potencia nominal demandada por la carga, a la potencia que la carga consume cuando está operando a su velocidad de diseño; debido a que en la mayoría de los procesos la potencia demandada por la carga no es uniforme, es decir la carga demanda distintas potencias a distintas velocidades, la determinación de la potencia nominal de trabajo se deberá determinar desde el punto de vista de uso racional de energía, mediante la integración de la característica de comportamiento de la misma, cuidando únicamente de no someter a sobrecalentamientos excesivos a los motores que las activan.

Un caso peculiar de los requerimientos de potencia de una carga, lo constituyen los procesos donde la demanda de potencia es variable manteniéndose constante la velocidad, y donde la variación de potencia no es continua, sino fluctuante, ejemplos típicos de ello son las bandas transportadoras de minerales o carga en general, prensas de sistemas hidraúlicos de inyectores de plástico, etc.; este tipo de operación, requiere ser bien definido mediante un ciclo de trabajo.

Un ciclo de trabajo constituye todas las operaciones que realiza una máquina o dispositivo para producir un trabajo o fabricar una pieza, por ejemplo, el ciclo de trabajo del sistema hidraúlico de una máquina inyectora de plástico para moldear una pieza, una bomba centrífuga de un sistema de bombeo de agua potable, de un oleoducto o para reponer el agua en una caldera, el ciclo de trabajo de una grúa viajera desde levantar, transportar y descargar un determinado peso; en fin ciclos de trabajo intermitentes como troqueles o punzadoras, repetitivos como transportadores compresores o sistemas de refrigeración, etc.

En la siguiente figura se presenta un ciclo de trabajo con carga fluctuante, y la potencia promedio "P" demandada por la carga durante este período de trabajo.

Potencia

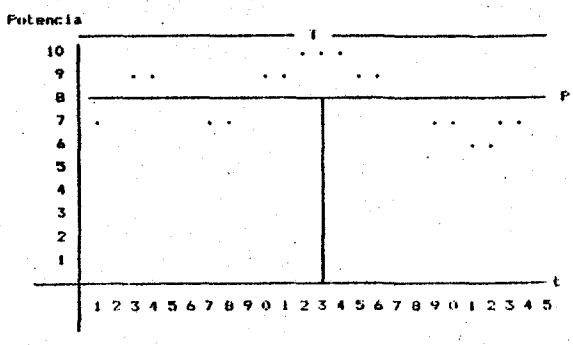


Fig.1. Ciclo de trabajo de una carga variable a velocidad constante

La siguiente expresión permite obtener el valor de la potencia promedio con que la carga actuará durante el ciclo de trabajo.

$$P=\left(\frac{P^2_1*t_1+P^2_2*t_2P^2_3*t_3+....P^2n*tn}{T}\right)^{1/2}$$

donde:

$P_1, P_2, P_3, ... Pn$

son las potencias demandas durante los intervalos:

$t_1, t_2, t_3, . . . tn$

que pueden ser en segundos o minutos y T la duración total del ciclo de trabajo, es decir:

$T= t_1+ t_2+ t_3+ . . . . . + tn$

y P es la potencia efectiva, de la potencia fluctuante.

CARACTERISTICAS DE PAR DE LA CARGA

El par nominal que demanda una carga ocurre cuando esta es accionada a su velocidad nominal, sin embargo las necesidades de la carga no son siempre las mismas, ya que para iniciar un proceso las magnitudes de par son diferentes de las que se requieren cuando el proceso se encuentra en operación, y en algunos casos las necesidades de par a lo largo del proceso sufren algunas variaciones.

Las características de las cargas más comúnmente empleadas, han sido obtenidas por los principales fabricantes de motores eléctricos, quienes a través de la experiencia han logrado construir los modelos más representativos para accionarlas; para lograr una selección del tipo de motor más adecuado, es necesario obtener del fabricante de la carga, sus características específicas; la fig 2 muestra de una manera general tres tipos de ellas.

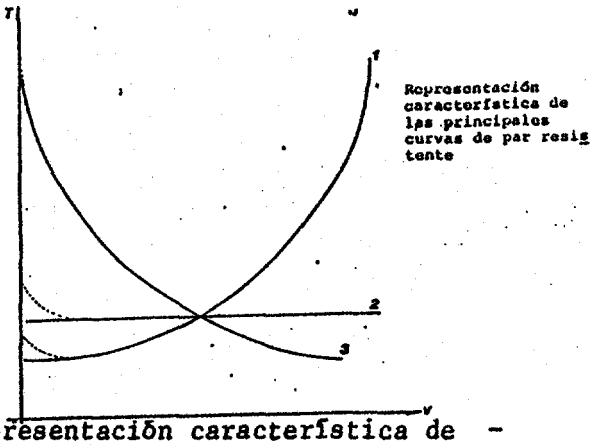


Fig.2. Representación característica de curvas de par resistente

De acuerdo a sus requerimientos de par-velocidad, las cargas pueden ser clasificadas en los siguientes tres tipos:

1) Carga de par variable, en donde la relación de variación del par es función del cuadrado de la velocidad de operación, tal es el caso de equipos que transportan fluidos, como bombas centrífugas y ventiladores.
2) Cargas de par constante, el cual no se altera por la variación de la velocidad, sino por efectos de fricción principalmente, como es el caso de bandas transportadoras.
3) Cargas cuyo par varía en forma inversamente proporcional a la velocidad, caso que habitualmente se presentan en procesos de corte profundo de máquinas herramientas, en donde las herramientas se dañarían si el trabajo se hiciera a alta velocidad.

En la fig 3 se muestran las curvas características de potencia para cada caso, en la curva 1 la potencia varía con el cubo de la velocidad cuando el par lo hace al cuadrado, en la curva 2 la potencia es proporcional a la velocidad cuando la demanda del par es constante, y finalmente en la curva 3 la potencia es constante cuando el par es inverso a la velocidad.

La curva 1 nos muestra la característica de cargas originadas por movimiento de fluídos como bombas centrífugas y ventiladores, en la curva 2 la potencia varía en forma proporcional a la velocidad, como las bandas transportadoras o bombas de engranes, y finalmente en la curva 3 la po-

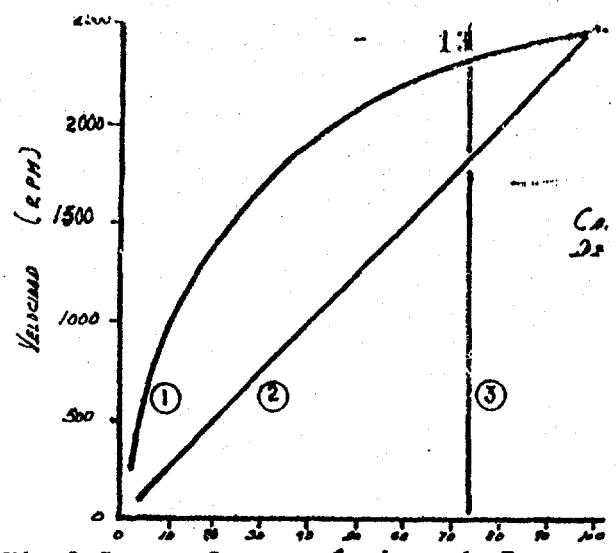


Fig.3. Curvas Características de Potencia-velocidad de carga

tencia se mantiene constante como en el caso de máquinas herramientas.
Por lo tanto para tener el cuadro completo de las necesidades de una carga, es necesario tener información detallada de los siguientes parámetros:

a) Potencia promedio y nominal de la carga.
b) Velocidad nominal.
c) Par de arranque, operación y paro.

Relación entre Potencia. Par y Velocidad angular.
La potencia mecánica requerida para accionar una carga por una máquina rotatoria, es función del par y la velocidad, y se expresa:

$$P = T * w \qquad (1)$$

en que:

T es el par en lb-pie, Kg-m ó Nw-m.
w es la velocidad angular en radianes/segundo.
P es la potencia mecánica en Kg-m/seg, lb-pie/seg ó Nw-m/seg.

Considerando que la velocidad de los motores eléctricos se especifica en revoluciones por minuto, y que su relación con la velocidad angular es:

$$w = 2*\pi*N/60 \qquad (2)$$

la potencia en términos de la velocidad en rpm será:

$$P = T * (2*\pi*N/60) \qquad (3)$$

Como el par está dado en Kg-m/seg, la equivalencia con la potencia mecánica está dada por la siguiente expresión:

75 Kg-m/seg = 1 CV

y para el sistema Inglés:

550 lb-pie/seg = 1 HP

por lo que el valor de la potencia será:

$$P = (2\pi NT)/(60*75) \qquad (4)$$

$$P = (2\pi NT)/(60*550) \qquad (5)$$

cuando el par se mide en Nw-m, tomando en cuenta que 1HP = 75 Kg-m/seg.

$$P = (2\pi NT)/60) \quad W \qquad (6)$$

$$P = (2\pi NT)/60{,}000) \quad KW \qquad (7)$$

tomando en cuenta que 1 Kgf=9.81 Nw y que 1 Nw-m = 9.81 joules, tenemos que:

1HP=75Kg-m/seg=75*9.81 Nw/seg
=736 watt

Las tablas siguientes muestran algunas de las principales equivalencias eléctricas y mecánicas y de par.

Equivalencias Eléctricas y Mecánicas

POTENCIA KW	POTENCIA HP	POTENCIA CV
1.000	1.3406	1.3590
0.746	1.0000	1.0138
0.736	0.9867	1.0000

Equivalencias de Par

Kg-M	lB-PIE	new-m
1.0000	7.233273	9.81
0.13825	1.000000	1.35625
0.10194	0.737338	1.00000

El comportamiento del par y la velocidad se puede analizar mediante las curvas características de operación correspondientes, en la siguiente figura se representa una curva típica de par velocidad de un motor de inducción:

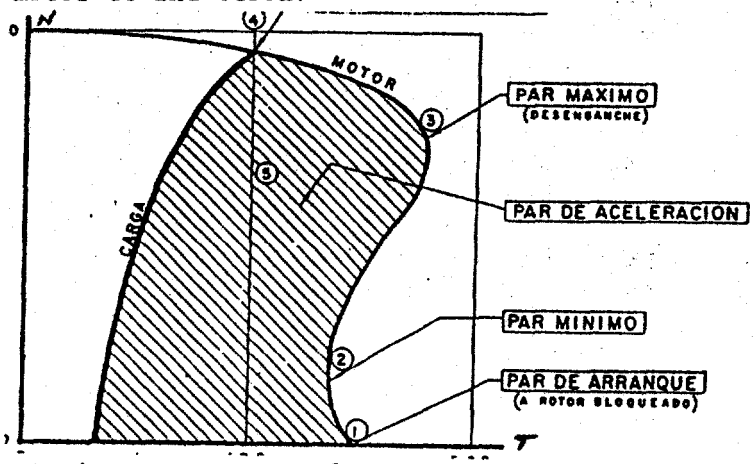


Fig.4. Curva característica de Par Velocidad del Motor de Inducción

La característica anterior presenta algunos aspectos que merecen especial atención, por lo cual definiremos algunos de los puntos más relevantes de ella:

Par de arranque.- Es el par que debe desarrollar un motor para iniciar la marcha, corresponde al par mínimo que el motor debe desarrollar con el rotor inmóvil (a velocidad cero), para varias posiciones angulares del mismo al aplicar tensión y frecuencia nominales a menos de 20 y no más de 35°C punto (1).

Par mínimo de aceleración.- Es el par mínimo desarrollado por el motor durante el período de aceleración, comprendido entre el arranque y el momento en que el par máximo ocurre punto (2).

Par máximo.- Es aquel desarrollado bajo frecuencia y tensión nominales, sin que suceda un descenso marcado en la velocidad del motor a no menos de 20 y no más de 35°C punto (3).

Par a plena carga.- El par a plena carga de un motor, es el necesario para producir la potencia nominal a su velocidad especificada en la placa punto (4).

Los motores eléctricos más empleados en aplicaciones industriales pueden ser clasificados de la siguiente manera:

1.-Corriente directa
   a) Excitación independiente
   b) Autoexcitados: En derivación, en serie y compuestos

2.-Corriente alterna
   a) Síncronos
   b) De inducción

Cada uno de ellos cuenta con características de operación tales, que permiten realizar una adecuada selección para cualquier tipo de aplicación, sin embargo no es fácil decidir sin un conocimiento profundo de las características del proceso que en general se pueden describir como:

a) Tipo de producción y requerimientos de control, regulación y automatización.
b) Comportamiento de las características del par y velocidad de las máquinas a aplicar.
c) Requerimientos de aceleración y desceleración.

El empleo de motores de corriente directa sigue teniendo una gran aplicación sobretodo en los casos en que se pretende amplios rangos de velocidad, cambios de giro, tiempos de aceleración y desceleración cortos, y en especial para aplicaciones de tracción, en donde los motores de corriente directa serie tienen su campo natural.

Los motores de corriente alterna síncronos no tienen una gran difusión en aplicaciones industriales, debido a su costo y características de operación; sin embargo sus grandes cualidades no deben ser menospreciadas, sobretodo cuando se trate de lograr condiciones de calidad y eficiencia de operación de las instalaciones eléctricas.

El motor de corriente alterna de inducción, sin duda el más popular de todas las máquinas eléctricas debido a su gran versatilidad y bajo costo, es el de mayor aplicación tanto a nivel industrial como doméstico; quizás hasta se ha exagerado un poco su aplicación, al grado de que, debido a su bajo costo, en muchos casos no se han aprovechado adecuadamente sus grandes cualidades, propiciando usos sumamente ineficientes en algunas de sus aplicaciones.

Debido a su enorme popularidad en todos los ámbitos de aplicación de procesos industriales, es en esta máquina en la que ocuparemos un poco más de tiempo para su análisis.

Desde el punto de vista de diseño eléctrico, los motores de inducción de jaula de ardilla se fabrican según los siguientes diseños:

a) Diseño B.- Motores con corriente y pares de arranque normales según las normas nacionales vigentes y deslizamiento entre 1 y 5%.

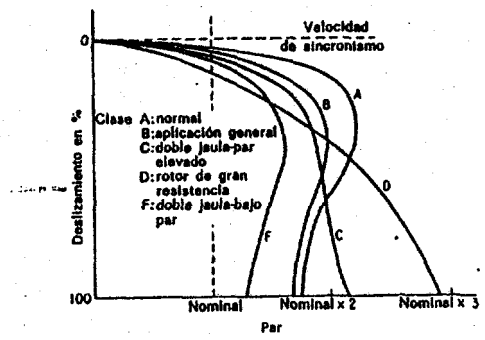


Fig.5. Características de Par-Velocidad de motores de inducción jaula de ardilla

b) Diseño C.- Motores con corriente de arranque normal y par de arranque - superior al desarrollado por el motor diseño "B" (225% Tn) y deslizamiento entre 2 y 5%.
c) Diseño D.- Motores con alto par de arranque (275% Tn), con una corriente de arranque normal y con deslizamientos entre 3 y 18%.
d) Una alternativa más para seleccionar en este tipo de motores es el - motor de rotor devanado, mediante - el cual es posible cierto tipo de - control de par, la corriente y la - velocidad.

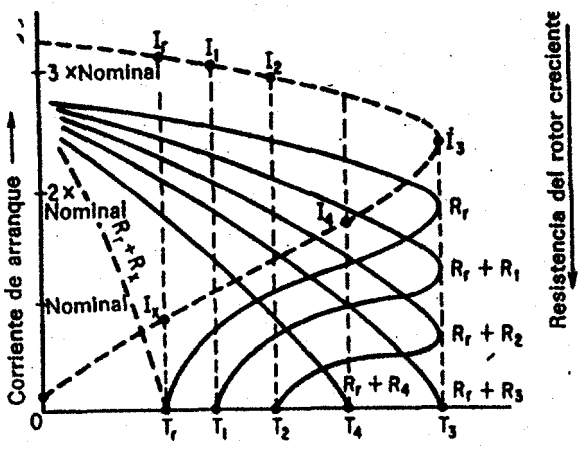


Fig.6. Características de Velocidad-Par de motor de inducción de rotor - devanado

En general, las características más importantes de las máquinas eléctricas, con las que puede efectuarse una selección de acuerdo a su orden de importancia son:

a) Eficiencia
b) Par y Corriente de arranque
c) Par de operación y máximo
d) Factor de potencia
e) Capacidad de trabajo
f) Elevación de temperatura

La tensión y la frecuencia son solo limitantes de las características de la velocidad serán impuestas por las condiciones de la carga; sin embargo la - selección adecuada de dos motores similares deberá involucrar todas sus características, ya que no podrá establecerse como criterio de selección la -- eficiencia de un motor, cuando esta se logra a expensas de algún otro de sus parámetros, como el par o la corriente de arranque, las alteraciones de par a expensas del factor de potencia, o la - eficiencia mediante la reducción del número de espiras del estator, etc.

Por otro lado la elección adecuada de - la capacidad es sumamente importante, - ya que una mala selección afecta a todos los parámetros y con ello la operación eficiente de la máquina; desde luego que la limitación de la capacidad debe tomarse con cautela para no afectar los límites de temperatura de operación de la misma.

Uno de los medios más ilustrativos de - los beneficios obtenidos durante la operación de los motores de inducción, es sin duda el diagrama circular de Heyland que permite analizar su comportamiento bajo cualquier condición de operación posible; el análisis de las curvas de operación de Par, Potencia, Eficiencia y factor de potencia, hacen posible deducir algunos aspectos de gran utilidad para constatar la correcta - - aplicación de un motor.

El diagrama circular de Heyland permite graficar el comportamiento completo del motor de inducción, su principio se basa en que, el lugar geométrico de la corriente de un motor de inducción para - cualquier clase de carga y velocidad, - se localiza en un arco de circulo referido al voltaje aplicado, que da origen a dicho diagrama; su construcción se logra mediante la realización de las tres pruebas eléctricas siguientes:

1.- Saturación en vacío, de la cual se registran los valores de Tensión, - potencia y corriente de vacío, y es posible deducir los siguientes parámetros:
   a) Corriente magnetizante correspondiente únicamente al entrehierro y al entrehierro y al hierro, se obtiene de la curva de corriente y voltaje nominal.
   b) Factor de saturación cuya relación es el cociente entre la corriente magnetizante correspondiente al entrehierro y al hierro, y la correspondiente al hierro únicamente; relación que indica el grado de trabajo del entrehierro.
   c) Pérdidas mecánicas y magnéticas. A este último concepto se le conoce como de pérdidas constantes, ya que

prácticamente son independientes de la carga.

2.- Saturación con rotor bloqueado, -- las cuales nos permiten obtener directamente el valor de la impedancia del motor, el par de arranque a diferentes tensiones y la co- -- rriente requerida para producir un par dado.

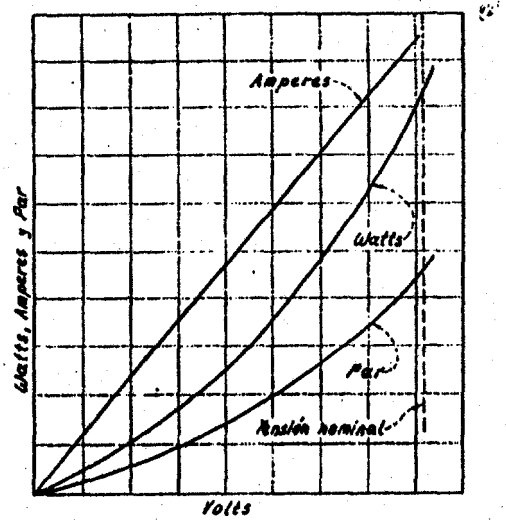


Fig.7.Curva de saturación a rotor bloqueado.

Generalmente no es posible realizar esta prueba voltaje nominal,por lo que - para referir los valores a este voltaje se extrapolan mediante sus relaciones correspondientes, tomando en consideración que la relación corriente voltaje varía proporcionalmente, mientras que las de par y potencia varían en relación al cuadrado del voltaje; la figura 8 nos muestra el diagrama circular de Heyland del cual podemos observar lo siguiente:

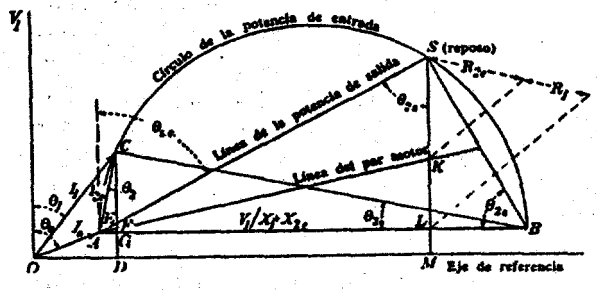


Fig.8.Diagrama circular Potencia de entrada, Potencia de salida y par motor.

a) OA es la magnitud de la corriente de vacío y θ el ángulo de desplazamiento respecto al voltaje.
b) OS es la corriente de rotor bloqueado
c) LM representa las pérdidas magnéticas y mecánicas de la máquina.
d) LS la potencia eléctrica consumida en la prueba de rotor bloqueado.
e) OC=I es una corriente del lugar geométrico.
f) AS es la línea de potencia de salida de la máquina.
g) AK es la línea del par motor.
h) El arco ACS representa el círculo de potencia de entrada de la máquina.
i) S es el punto de reposo o deslizamiento unitario.

Como puede observarse la construcción de este diagrama nos permite determinar si las condiciones de operación a las que - está operando el motor son las óptimas, o si la selección realizada no es adecuada para un caso dado; asímismo determinar una serie de características de operación de la máquina que nos permitirán realizar las modificaciones que den lugar a una aplicación eficiente.

Estas curvas de operación son desde luego las más importantes, ya que proporcionan una imagen completa del comportamiento del motor, exceptuando el comportamiento térmico, que tendrá que determinarse mediante el ensayo correspondiente.

Las curvas de operación de par, potencia y eficiencia son también de gran utilidad para analizar el comportamiento de - un motor eléctrico, su exámen permite deducir algunos puntos no aparentes a primera vista pero que pueden ser de gran - utilidad para juzgar la correcta aplicación de un motor, por ejemplo: una curva de factor de potencia con un cambio - - abrupto de pendiente indica que la co- - rriente reactiva a baja carga tiene menor importancia que a cargas mayores, es decir, que la corriente magnetizante es relativamente pequeña comparada con la - corriente asociada al flujo de dispersión, lo cual justifica que el factor de potencia es más atrasado a bajas cargas mientras que el valor del par tiene valores adecuados. Asímismo el quiebre de la curva de eficiencia indica que las pérdidas constantes son relativamente más bajas que las pérdidas variables para el - caso mostrado en la figura 9 en que la - eficiencia máxima ocurre aproximadamente al 87% de la carga nominal, lo cual indi

ca un diseño bien equilibrado, y una - distribución de las pérdidas que permi te obtener un balance adecuado entre - el funcionamiento y el aumento de temperatura.

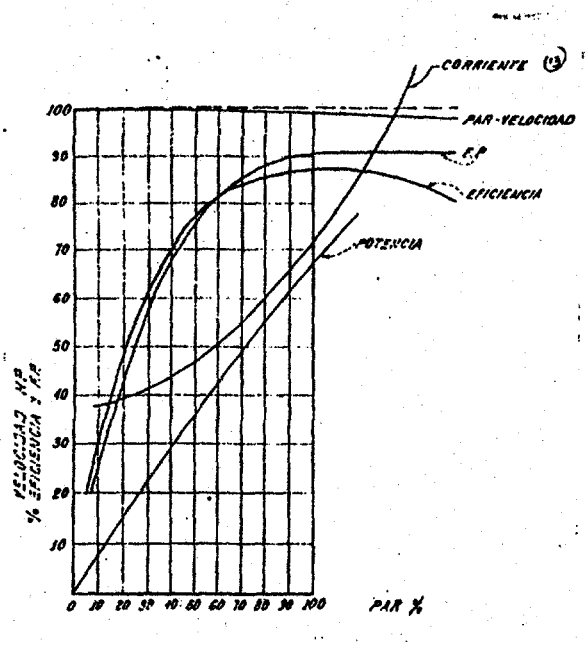


Fig.9.Características de Par, Potencia y Eficiencia

Otro aspecto que debe ser tomado en -- cuenta es el factor de servicio con -- que se especifica un motor, ya que este representa la capacidad de sobre -- carga a que puede ser sometido un mo-- tor, operando a voltaje y frecuencia - nominales; desde luego que un motor -- que opera a plena carga con un factor de servicio superior a la unidad, la - eficiencia, el factor de potencia y la velocidad serán diferentes que los correspondientes a condiciones nominales sin embargo bien aplicado un factor de servicio, puede redituar grandes beneficios.

Como antes se asentó un aspecto que no hay que dejar de tomar en cuenta son - los límites térmicos, los cuales pue-- den controlarse vigilando que no se ex cedan los límites térmicos promisibles de acuerdo a las normas correspondientes, la siguiente tabla muestra los lí mites de temperatura en grados centí-- grados permisibles para los diversos - tipos de aislamiento.

Clase aislamiento	105	130	155	180
Temp.amb.	40	40	40	40
Elevación medida por resistencia	60	80	105	125
Margen punto más caliente	5	10	10	15
Temp. punto más caliente	105	130	155	180

Para ilustrar algunos de los puntos tratados, suponga que se desea seleccionar la capacidad de operación de un motor de inducción, para un proceso de fabrica- - ción de un producto cuyo ciclo de trabajo de cinco pasos es mostrado en la figu ra 10.

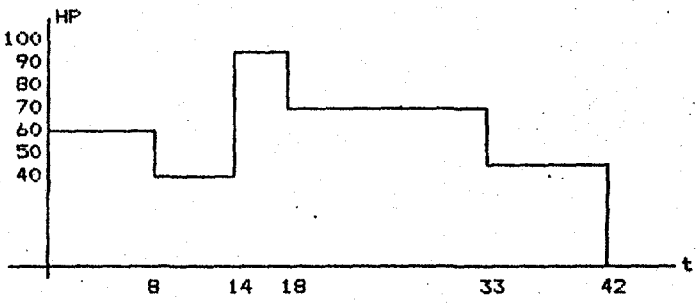


Fig.10.Ciclo de trabajo de un producto - que demanda carga variable

Los pasos correspondientes al ciclo de - trabajo son:

CICLO DE TRABAJO	CAPACIDAD	DURACION
Paso 1	60 HP	8 segs
Paso 2	40 HP	6 segs
Paso 3	100 HP	4 segs
Paso 4	70 HP	15 segs
Paso 5	50 HP	9 segs
Total		42 segs

Por lo que la potencia promedio demandada por la carga durante el ciclo de trabajo será:

$$P = (60^2*8+40^2*6+100^2*4+70^2*15+50^2*9)/42^{1/2}$$

$$= (4,151.38)^{1/2} = 64,4389 \text{ HP}$$

Lo cual significa que la capacidad requerida por el motor para activar esta carga, es de alrededor de los 65 HP; un valor conservador de la capacidad podría - ser el de 70 HP, que es el paso con ma-- yor tiempo de duración en el ciclo de -- trabajo, pero desde luego que un motor - de 100 HP que es por definición la capacidad nominal de un motor con estas ca-- racterísticas, es demasiado grande y da lugar a una operación considerablemente ineficiente.

Considerando la principal característica de la carga, la capacidad, de la fuente

de alimentación recomendable para recomendable para ella sería a voltaje de 480 volts y 60 cps, por lo que las características restantes requeridas para elegir el motor adecuado, podrán complementarse con los restantes requerimientos de la carga, con los cuales será posible construir las características de operación reales que serviran para elegir el tipo de diseño del motor.

Finalmente y con objeto de garantizar el éxito de la selección, es recomendable comprobar que cumple con el tiempo máximo permitido, para reducir la corriente de rotor bloqueado a la corriente de operación, así como el límite térmico especificados por el fabricante.

Como conclusión de este trabajo, es posible garantizar que en los casos en los que se está empleando el equipo sin una selección adecuada, se consumen cantidades de energía de hasta 130% o más de los requeridos, tanto por el uso inadecuado del propio equipo, como por las pérdidas en los accesorios a través de los que se abastecen.

Referencias:

Teoría de las máquinas de corriente alterna.
Mc Graw Hill.
Langsdorf.

Máquinas Electricas y transformadores.
Reverté.
Kosow.

Conversión de energía electromecánica.
Representaciones y servicios de Ingeniería.
Gourishankar.

Máquinas electromagnéticas y electromecánicas.
Representaciones y servicios de Ingeniería.
Matsch.

Electrical machines, drives, and power systems.
Prentice Hall.
Wildi.

Motores eléctricos selección, aplicación y mantenimiento IEM.

Manual de selección de motores eléctricos Siemmens.

MX9800115

AHORRO DE ENERGIA POR LA UTILIZACION DE POLIESTIRENO EN LA CONSTRUCCION

Ing. Raúl Pimentel
Polioles S.A. de C.V.

En los últimos años, la industria de la construcción se ha enfrentado a exigencias en el uso racional de la energía y en la preservación del medio ambiente. La espuma de poliestireno expansible es un material que por más de cuarenta años, ha demostrado sus cualidades a nivel mundial en su aplicación tanto en la industria de la construcción como en la del empaque y embalaje, llegando a convertirse en sinónimo de una construcción económica en cuanto a ahorro de energía y sinónimo también de un embalaje racional y seguro.

En este trabajo se hace una breve descripción del proceso de fabricación de la espuma de poliestireno expansible, sus propiedades y aplicaciones dentro de la industria de la construcción.

El poliestireno expansible es un material moderno y de gran rendimiento, cuyo potencial innovador no ha sido agotado en absoluto, sino que aún ofrece un sin número de posibilidades. Es un material plástico de bajo peso, compuesto de átomos de hidrógeno y carbono, derivado del petróleo y de los subproductos del gas natural.

Proceso de producción

La producción de la espuma de poliestireno expansible inicia con la perla de poliestireno, la cual contiene un agente expansor y se procesa en tres etapas: pre-expansión, reposo intermedio y moldeo (figura 1). Durante la pre-expansión, mediante el tratamiento con vapor de agua, las partículas termoplásticas se ablandan y por medio del agente expansor aumentan su volumen. El agente expansor empleado es el pentano, un hidrocarburo natural, que transforma las perlas de poliestireno expansible en pequeñas partículas de espuma de hasta 50 veces su volumen original. En seguida el material expandido se almacena para permitir que el aire se difunda en su interior. Finalmente, el material pre-expandido se introduce en el molde, donde mediante otro tratamiento con vapor de agua se expande y funde, dando como resultado un material de espuma compacta, constituido por aire atrapado en sus muchas celdas de tamaño microscópico.

El proceso de manufactura de la espuma de poliestireno expansible hace posible variar su densidad, de la que dependen sus propiedades. El material puede ser hecho con propiedades específicas para su aplicación, desde placas aislantes hasta bloques ligeros.

Características

Ligereza: las espumas de poliestireno expansible contienen un 98% de aire.

Celdas cerradas: un metro cúbico de espuma de poliestireno expansible contiene de 3 a 6 mil millones de celdas cerradas llenas de aire.

Bajo coeficiente de conductividad térmica: el aire en reposo de las celdas cerradas es un muy mal conductor del calor, aunado a la escasa conductividad térmica del material.

Amplio campo térmico: se emplean para el aislamiento a temperaturas entre -150 y 90 °C. Este campo térmico satisface prácticamente todas las posibles exigencias.

Comportamiento al fuego: autoextinguible.

Resistencia: resistencia al envejecimiento. Su vida puede considerarse ilimitada.

Flotación: por sus celdas cerradas, las espumas de poliestireno expansible absorben muy

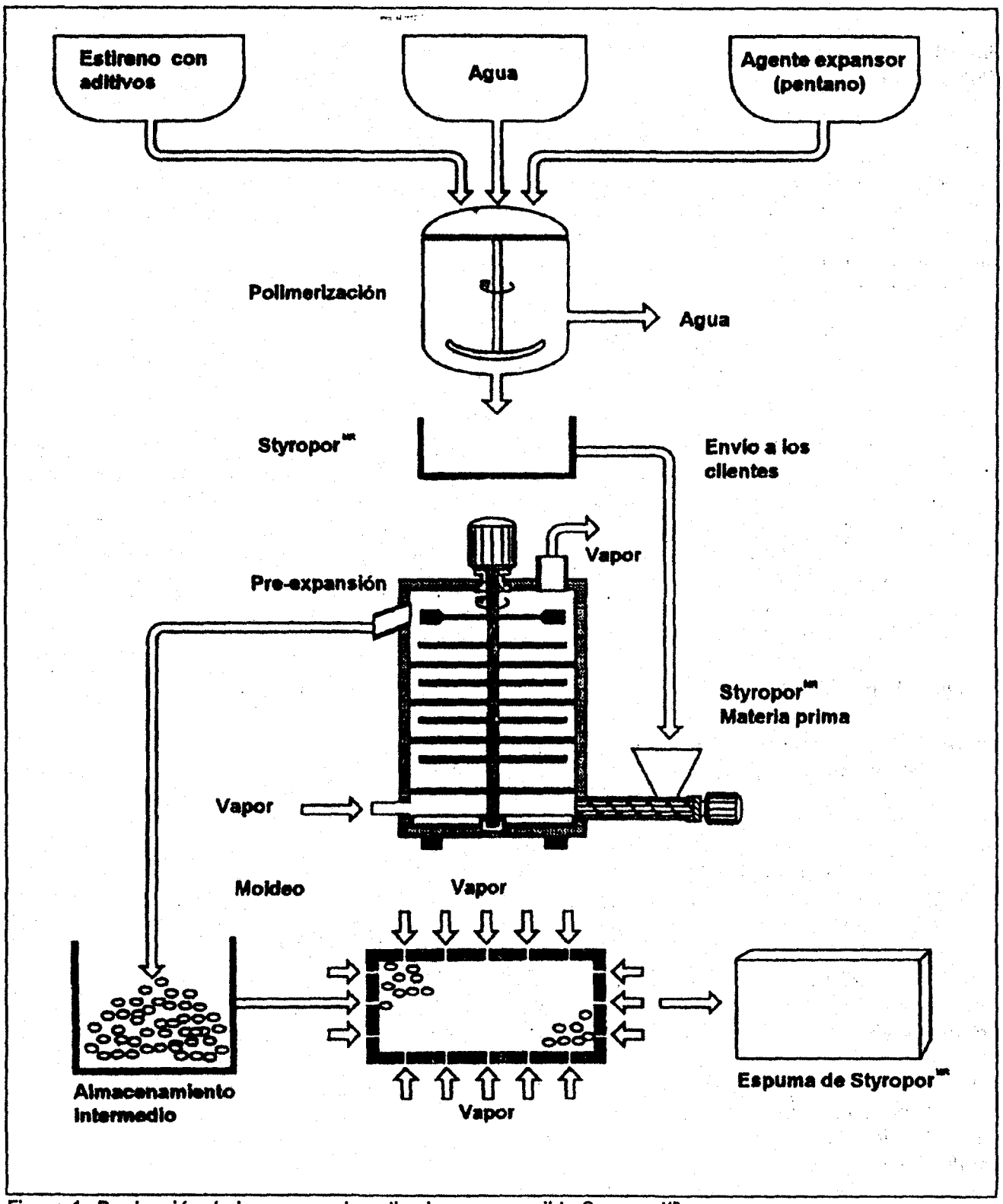


Figura 1: Producción de la espuma de poliestireno expansible Styropor℠.

Especificaciones de la espuma poliestireno expansible de acuerdo a las NOM-C-137-1982

PROPIEDAD	UNIDADES	DENSIDAD			METODO DE PRUEBA
Densidad	Kg/m^3	16	24	32	NOM-C-126
Resistencia mínima a la compresión, 10% de deformación	KPa (Kg/cm^2)	68.558 (0.6993)	102.833 (1.0489)	171.391 (1.7482)	NOM-C-176
Resistencia a las cargas de ruptura y a la flexión, promedio mínima	KPa (Kg/cm^2)	171.392 (1.7482)	274.235 (2.7972)	377.068 (3.8461)	NOM-C-190
Resistencia a la tensión	KPa (Kg/cm^2)	134 (1.3668)	147.4 (1.5035)	167.5 (1.7085)	NOM-C-190
Absorción de agua promedio máxima en volumen (7 días de inmersión)	%	2.5	2	1	NOM-C-212
Coeficiente de expensión térmica lineal	1/°K (1/°C)	273 ($6.3x10^{-5}$)	273 ($6.3x10^{-5}$)	273 ($6.3x10^{-5}$)	NOM-C-195
Conductividad térmica promedio a:					NOM-C-189
93°K (-180°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.01278 (0.011)	0.01162 (0.01)	0.01162 (0.01)	
123 °K (-150°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.0151 (0.013)	0.0151 (0.013)	0.0151 (0.013)	
173°K (-100°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.02092 (0.018)	0.02092 (0.018)	0.01972 (0.017)	
223°K (-50°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.02789 (0.024)	0.02673 (0.023)	0.02556 (0.022)	
273°K (0°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.03486 (0.030)	0.03254 (0.028)	0.03138 (0.027)	
323°K (50°C)	W/m°K (Kcal/mh°K)	0.043 (0.037)	0.03835 (0.033)	0.03719 (0.032)	
Velocidad de transmisión de vapor de agua promedio máxima	g/m^2s	136.57	96.6	56.7	NOM-C-190
Permeancia	$g/Pasm^2$	2.84	2	1.17	NOM-C-190

Resistencia de la espuma de poliestireno expansible ante los productos químicos.

Agente	Styropor^{MR} P	Styropor^{MR} F
Soluciones salinas (agua de mar)	+	+
Jabones y soluciones humectantes	+	+
Agentes blanqueadores, como hipoclorito, agua clorada, soluciones de peróxido de hidrógeno	+	+
Acidos diluidos	+	+
Acido clorhídrico al 36%, ácido nítrico al 50%	+	+
Acidos anhidros (p.e. ácido sulfúrico fumante, ácido fórmico)	-	-
Hidróxido de sodio, hidróxido de potasio y soluciones de amoniaco	+	+
Solventes orgánicos como la acetona, éster del ácido acético, benceno, xileno, tricloroetileno, solventes para pinturas	-	-
Hidrocarburos alifáticos saturados, gasolina, gasolina blanca	-	-
Aceite de parafina, vaselina	+-	+-
Diesel	-	-
Alcoholes, p.e. metanol, etanol	+-	+-
Aceite de silicón	+	+

+ Resistente: la espuma no es afectada, aún después de una exposición prolongada.
+ - Resistencia limitada: la espuma puede contraerse o sufrir algún daño superficial después de una exposición prolongada.
- No resistente: la espuma se contrae o se disuelve.

pequeñas cantidades de agua. No causan capilaridad alguna.

Elevada resistencia a la difusión: se debe igualmente a las celdas cerradas. Esta propiedad disminuye la posibilidad de daños debidos a la humedad, bajo condiciones normales.

No es tóxico: está aprobado para el empaque de alimentos.

Resistencia a hongos y parásitos: no sirve como sustrato nutritivo de parásitos, hongos o bacterias.

Reciclable: por décadas el reciclado, reuso y reutilización, han sido una práctica corriente

en las plantas transformadoras de espuma de poliestireno expansible. Dependiendo de la aplicación específica, los desperdicios son molidos y mezclados en ciertas proporciones con el material virgen en la línea de producción normal, para la elaboración de blocks y cuerpos moldeados. Además, de que el material molido puede ser utilizado como sustrato de plantas, en la producción de compost, en sistemas de drenaje y para incrementar la resistencia de suelos agrícolas y hortícolas. Como el poliestireno expansible es un termoplástico, puede ser convertido a poliestireno simplemente por fusión, para ser usado en procesos de inyección o extrusión para la elaboración de artículos de escritorio o escolares, vasos y desechables,etc.

El EPS o espuma de poliestireno expansible no contiene clorofluorocarbonos (CFC).

Propiedades

Las propiedades de la espuma de dependen de su densidad aparente. Mediante una regulación adecuada del proceso de pre-expansión, se pueden fabricar espumas con un peso extremadamente bajo. En la industria de la construcción se emplean materiales con densidades de entre 10 y 20 Kg/m^3.

Considerando este peso volumétrico tan bajo, en comparación con otros materiales, las espumas de poliestireno expansible son muy resistentes a la compresión. Si aumenta la densidad, se incrementa la resistencia a la compresión. Su estabilidad dimensional al calor también se incrementa con una mayor densidad y es más que suficiente para sus aplicaciones en la industria de la construcción.

Gracias a su estructura celular cerrada, las espumas de poliestireno expansible no absorben agua, ni se deforman por la acción del agua; además de tener una relativamente elevada resistencia a la difusión del vapor, que varía dependiendo de su densidad .

La propiedad física más importante de las espumas de poliestireno expansible es su excelente capacidad de aislamiento térmico (baja conductividad térmica).

Respecto a sus propiedades químicas, cabe citar que las espumas de poliestireno expansible son estables frente a los materiales de construcción habituales como el cemento, cal, yeso, dispersiones plásticas y los elementos constructivos obtenidos a base de éstos.

Su escaso peso, su inocuidad fisiológica, su fácil manejo con herramientas comunes, son características que destacan de un modo especial en las espumas de poliestireno expansible.

Aplicaciones

En la construcción actual, con estructuras cada vez más ligeras, pero con mayores exigencias de bienestar, ha adquirido una importancia extraordinaria el aislamiento térmico y acústico. Tener una temperatura confortable en una vivienda exige un gasto oneroso de aire acondicionado o calefacción, que crece con la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Actualmente, la tendencia hacia el aligeramiento de los elementos estructurales y de los de cerramiento, repercute negativamente en la comodidad de la vivienda, por lo que es necesario un aislamiento suplementario de los elementos constructivos, sin reducir la ligereza de las construcciones. De ahi que los materiales aislantes a base de las espumas de poliestireno expansible sean los idóneos por reunir dos condiciones básicas: bajo coeficiente de conductividad térmica y ligereza.

Aislamiento de paredes

A menudo se formula la pregunta de donde se ha de colocar la capa aislante, en la parte interior, en la parte exterior o como capa intermedia. Sobre ello no existe una respuesta general, sino que se ha de decidir en cada caso. En principio se puede decir que la posición de la capa aislante no tiene influencia sobre el aislamiento, pero si sobre al almacenamiento de calor. Por lo tanto, la posición del aislamiento depende de la función del edificio y del tipo de construcción.

El aislamiento exterior ofrece la ventaja de "envolver" la construcción y protegerla de tensiones térmicas. El desarrollo tecnológico

actual permite fijar las placas de espuma de poliestireno expansible sobre la superficie externa de la vivienda o edificio y revestirlas con un enlucido, empleando un recubrimiento plástico armado con una malla. Las placas se pegan, sobre ellas se aplica una masa fluida como fondo en la que se incrusta un tejido de seda de vidrio o malla de alambre. Encima se aplica el enlucido.

El aislamiento interior de la pared es siempre ventajoso, cuando se desea acondicionar térmicamente una vivienda en poco tiempo. Esta solución constructiva es conveniente siempre y cuando no exista revestimiento exterior impermeable al vapor de agua, ya que de este modo, el riesgo de condensación en la pared no es importante. En el aislamiento interior los acabados son normalmente los que se efectúan "in situ". Las placas se fijan a la pared con un mortero adhesivo, es decir con un mortero de cemento y cal o de cemento con dispersiones plásticas.

El aislamiento intermedio, denominado también central, sandwich o entre hojas, es una solución constructiva adecuada en los casos en los que la construcción a aislar tenga una humedad relativa moderada. Esta solución consiste en disponer un elemento aislante entre dos paramentos.

Aislamiento de cubiertas

Cubierta plana (azotea):

Existen dos tipos de cubierta plana, que a su vez pueden ser transitables o no:

- Cubierta plana con lámina simple, sin ventilación (techo caliente).
- Cubierta plana con lámina doble, ventilada (techo frío).

La cubierta plana sin ventilación es aquella en la que todas sus capas (capa portante, capa de pendientes, aislamiento, impermeabilización) se suceden directamente sin espacios huecos ventilados que comuniquen con el exterior.

Para este tipo de cubiertas se emplean placas de espuma de poliestireno expansible de 16 - 17 Kg/m^3 de densidad. En el caso de cubiertas industriales sometidas a esfuerzos mecánicos se emplean con una densidad de 24 - 26 Kg/m^3. La fijación de las placas aislantes se puede efectuar con asfalto caliente de bajo punto de fusión.

La cubierta plana ventilada es aquella en la que sus capas (aislamiento y cubierta) se hallan separadas por una capa de aire comunicada con el exterior. Para este tipo de cubierta suelen emplearse placas con una densidad de 16 -17 Kg/m^3.

Aislamiento de tejados

En el aislamiento térmico de una cubierta industrial con placas de espuma de poliestireno expansible existen varios sistemas de colocación: las placas aislantes sobre o debajo del techo de la nave y placas aislantes suspendidas horizontalmente.

Por su escaso peso, el material aislante prácticamente no genera caragas adicionales sobre la estructura.

Placas decorativas (plafones)

Para recubrir el techo o para reducir la altura de una habitación se emplean placas de espuma de poliestireno expansible. Pueden colocarse o fijarse mecánicamente al techo, o a una armazón metálica o de madera. Se han desarrollado diversos sistemas a base de perfiles metálicos, de aluminio y de plástico, que ofrecen un sistema de acabado resistente y estético.

Aislamiento contra el ruido de impactos (pasos)

La evolución experimentada en la construcción, paralela al desarrollo tecnológico, junto con la aparición de nuevos materiales, han llevado a una ostencible disminución de los espesores de los elementos constructivos, consiguiéndose cuerpos más ligeros y resistentes. Esta reducción de masa ha provocado la inadaptación térmica y acústica de las construcciones. Entre los desajustes arquitectónicos actuales, el más notable es la transmisión del ruido de impactos (pasos) a través

de los suelos. La solución constructiva a este problema estriva en el pavimento flotante. La espuma de poliestireno expansible elastificada (rigidez dinámica baja) es idónea como base amortiguadora del pavimento flotante.

Encofrado perdido

Con el objeto de reducir el peso propio de las estructuras de concreto de grandes claros y especialmente en los casos de forjados nervados y reticulares, se emplean los casetones o bovedillas de espuma de poliestireno expansible. De acuerdo a las necesidades, estos elementos constructivos se cortan del bloque o se obtienen como piezas moldeadas.

Los encofrados a base de casetones de espuma de poliestireno expansible se cortan con facilidad y rapidez, mediante herramientas convencionales, partiendo de bloques de espuma.

Elementos preconstruidos

La construcción con elementos prefabricados es el origen del desarrollo de la construcción con piezas grandes. Las paredes interiores y exteriores, que en su mayoría son elementos portantes, son prefabricados y se montan en la obra, es decir, se superponen y juntan. En casi todos los sistemas se emplea la espuma de poliestireno expansible.

Perla pre-expandida suelta

La perla pre-expandida suelta se emplea como aditivo para concretos ligeros, agente porógeno para ladrillos celulares, para la producción de paneles de drenaje y en la agricultura como revestimiento de pozos de drenaje.

El concreto aligerado se diferencia de los otros tipos de concreto ligero porque contiene aire "aprisionado" en forma de perlas pre-expandidas de poliestireno expansible. La forma esférica de la perla pre-expandida es particularmente ventajosa especialmente para la estructura de un concreto ligero. En torno a la esfera se forma una cubierta de cemento con buenas propiedades mecánicas.

La gama de posibilidades de aplicación es vastísima: morteros aislantes extremadamente ligeros, murales plásticos para el aislamiento térmico y acústico, concreto aislante en cimentaciones, aislamiento térmico y cubirta de techos planos, protección de firmes de carreteras contra heladas, elementos prefabricados de grandes dimensiones ; sean portantes o no y finalmente el uso del concreto ligero con función estructural.

Obras de infraestructura

Las especiales características de la espuma de poliestireno expansible, como son su insensibilidad a la humedad, su excelente aislamiento térmico y capacidad de carga, la llevaron a ser aplicada como capa de protección contra las heladas en la construcción de firmes de carreteras y vías de ferrocarril. Las experiencias prácticas, de las que existen resultados desde el año 1968, sobre todo en los paises escandinavos, dieron la base para un nuevo método constructivo : el empleo de bloques de poliestireno expansible como cimentación para la distribución de cargas en rampas de carreteras, vías de ferrocarril, puentes y edificios en zonas cuyas condiciones técnicas del suelo son de escasa capacidad de carga. La elevada resistencia a la flexión y al deslizamiento de los bloques ligeros, hacen posible una buena distribución de la carga sobre terrenos pantanosos. El escaso peso de tal infraestructura evita para siempre su hundimiento.

Otras

Además de las aplicaciones descritas, existen otras posibilidades del empleo de las espumas de poliestireno expansible como el aislamiento térmico de piscinas, saunas, como junta de dilatación, sin olvidar sus aplicaciones en el campo artístico como bajorrelieves y moldes para fundición.

Referencias

1. Transformación de Styropor[MR]. BASF.
2. Transformación y Aplicación. BASF.
3. Construir con Styropor[MR]. BASF.

MX9800117

PROCESO DE EVALUACION ENERGETICA DE REFRIGERADORES ELECTRODOMESTICOS

Manuel Malacara Toral y Joaquín Ruíz Neblina
Departamento de Uso de Energía Eléctrica
División de Sistemas Eléctricos
Instituto de Investigaciones Eléctricas

Resumen

Se describe un estudio de evaluación energética sobre refrigeradores electrodomésticos realizado en el IIE dentro de la estrategia para disminuir los consumos de energía a través de mejoras en el diseño, la manufactura, la operación y la normalización de equipos eléctricos. Se tomó como base las normas mexicanas (NOM), americana (ANSI/AHAM) y canadiense (CAN/CSA) para iniciar el proceso de evaluación-normalización a fin de armonizar los procedimientos y parámetros de las pruebas. La evaluación energética demostró que existen diferencias significativas entre las normas que abarcó el estudio por lo que se presentan recomendaciones para la armonización de las normas.

1. Antecedentes

En México el sector residencial representó poco más del 20 % de las ventas de energía durante el período 1985-1990 [1]. De ese consumo se estima que entre el 19 y 26 % [2] se debe exclusivamente al consumo de los refrigeradores domésticos; es por ello que el consumo de energía de los refrigeradores representa un importante potencial de ahorro de energía.

Como parte de las acciones para ahorrar energía eléctrica, se han implantado en México, Canadá, Brasil y Estados Unidos etiquetas que informan el consumo de energía de los refrigeradores para que el consumidor tenga una base de comparación que le ayude a decidir que aparato es el que más le conviene comprar.

En México la norma NOM-J-503-1991 [3] es la que especifica la etiqueta de consumo de energía en la que se cuantifica y compara el consumo de energía de aparatos electrodomésticos; esa norma incluye una segunda parte que define el método de prueba con que se determina el consumo de energía de los refrigeradores electrodomésticos para su uso en la etiqueta.

En un panorama cada vez mayor de intercambio comercial entre países surge la interrogante del grado de comparación que tienen los consumos de energía que cada país reporta en las etiquetas, ya que prácticamente cada país cuenta con normas propias para determinar el consumo de energía.

Por lo tanto resulta importante la armonización de los procedimientos de prueba y la cuantificación de la diferencia entre los consumos de energía que se reportan en las etiquetas de los refrigeradores de México y de otros países para facilitar las transacciones comerciales dentro del marco de globalización que se esta gestando.

2. Objetivos

La evaluación energética de los refrigeradores tiene como uno de sus fines valorar el estado actual de la tecnología y sus perspectivas de mejora. La evaluación se desarrolla dentro de una estrategia global para disminuir los consumos de energía que se basa en el análisis de la tecnología y las normas existentes.

Se busca, por lo tánto, establecer un procedimiento para la evaluación energética que sea uniforme y repetitivo y que además esté armonizado con las normas de los países de norteamérica.

3. Estrategia para disminuir los consumos de energía de los refrigeradores

La estrategia para disminuir los consumos energéticos de los refrigeradores abarca varias facetas, entre las más importantes estan: el diseño, la manufactura y la operación de los equipos. En cada una de ellas o en su conjunto existe la posibilidad teórica de incrementar su eficiencia. Por ejemplo en el diseño y la manufactura el factor determinante es el tecnológico mientras que en la faceta de operación los factores determinantes son: las prácticas y hábitos de uso, y los parámetros y procedimientos de operación normalizados.

La base de la estrategia es el conocimiento del

estado tecnológico de los refrigeradores y las normas que los rigen. Con tal conocimiento se activa el proceso fundamental que es Tecnología-Normas-Tecnología orientado a conseguir cada vez menores consumos.

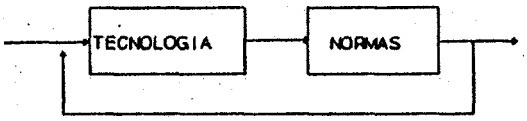


Fig. 1 Retroalimentación tecnológica

En la actualidad nuestro país no cuenta con los ordenamientos o normas suficientes para promover en forma efectiva la eficiencia de los equipos y aparatos. De lo anterior se desprende la necesidad prioritaria de elaborar dichos ordenamientos o normas.

La elaboración de las normas es otro de los procesos fundamentales de la estrategia y consiste en la proposición de normas, seguida de la evaluación constante de las mismas. Tanto la propuesta como la evaluación toman como base el conocimiento tecnológico del equipo o máquina de que se trate.

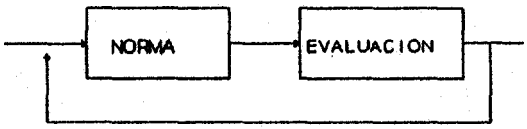


Fig. 2 Retroalimentación de las normas

La evaluación implica la revisión de los contenidos y parámetros de las normas, complementadas con la realización de pruebas. Específicamente en el caso de los refrigeradores se han realizado pruebas y mediciones del consumo de energía a diferentes condiciones de trabajo, mismas que han servido para retroalimentar el proceso de elaboración o mejora de las normas.

3. Análisis de las normas y métodos de prueba de varios países

Dentro de este proceso de evaluación energética se han tomado como referencia para la ejecución de pruebas a las normas mexicanas NOM-J-503-91 y NOM-J-411-81 [4] (NOM), la estadounidense ANSI/AHAM HRF-1-88 [5] (ANSI/AHAM) y la canadiense CAN/CSA-C300-M89 [6] (CAN/CSA). Se revisaron y analizaron para este fin otras normas, de Australia [7], Reino Unido [8], Francia [9], Japón [10], India [11] y Saudiarabia [12].

Los aspectos esenciales para poder llevar a cabo la evaluación energética de refrigeradores electrodomésticos son:

a) Clasificación de los refrigeradores. Con esta base se seleccionan los parámetros que regirán las pruebas de consumo del refrigerador.

La clasificación de Japón y Europa tiene cinco tipos de aparatos y la que se hace en América solo incluye tres tipos; no estan claramente definidas las equivalencias entre todos los aparatos de una y otra clasificación. El caso más crítico es el de India y Saudiarabia que no tienen más clasificación que la de refrigerador casero.

En México, Estados Unidos y Canadá se cuenta con una clasificación equivalente, esta se compone de refrigerador solo (sin compartimiento congelador), refrigerador convencional (de una puerta) y refrigerador/congelador (de dos puertas).

b) Requisitos del cuarto de pruebas. Define las características que debe reunir el entorno donde se colocará el aparato para determinar su consumo; limita las condiciones del calor externo y que afectan el consumo de energía, estos son: temperatura ambiente, gradiente de temperatura, fuentes externas de calor, humedad relativa y corrientes de aire.

En este caso las normas de Francia, Reino Unido y Saudiarabia son las que cubren todos los aspectos mencionados, y tanto la NOM como la ANSI/AHAM y la CAN/CSA no requeren el control de la humedad en el cuarto de pruebas, que provocará que en el aparato se condense el agua del ambiente, en su exterior y usualmente cerca de la puerta, debido la menor temperatura de este con respecto a la del ambiente, si la humedad es alta, aumentando así el consumo de energía.

La NOM, ANSI/AHAM y CAN/CSA utilizan prácticamente la misma temperatura ambiente, de 32°C, así como las mismas restricciones con las fuentes externas de calor —en la que se requiere proteger al aparato de fuentes de calor con temperatura mayor a los 37°C— y las corrientes de aire dentro del cuarto, que no deberán exceder los 0.25 m/s.

La norma nacional difiere de las otras dos en la

tolerancia que requiere la temperatura ambiente del cuarto de pruebas, en la NOM es de ± 2°C mientras que en la ANSI/AHAM y CAN/CSA es de ± 0.6°C; también es diferente el requisito del gradiente de temperatura en el cuarto de pruebas, el cual no debe ser mayor a 0.9°C por metro de altura de acuerdo a la ANSI/AHAM, de 1°C de acuerdo con la CAN/CSA y de 2°C por metro de altura en NOM.

Las tolerancias en la temperatura ambiente, así como los diferentes gradientes de temperatura afectan el consumo de energía del refrigerador ya que la transferencia de calor por convección del aparato con el medio ambiente es proporcional a la diferencia de las temperaturas del aparato y del medio ambiente, de manera general:

$$q_c = h_c A (\Delta T) \qquad (1)$$

Donde:
q_c = Tasa de transferencia de calor
h_c = Conductancia térmica convectiva
A = Superficie de Exposición
ΔT = Diferencia de temperaturas

c) Instrumentación. Especifica los instrumentos, su resolución y la precisión necesarios para garantizar la medición exacta y preciso de temperaturas, voltajes, intensidad de corriente, tiempos, pesos, humedad relativa y consumos de energía.

La ANSI/AHAM tiene la cobertura de todos los instrumentos mencionados y define claramente sus características, ninguna otra norma de las revisadas cubre completamente toda la instrumentación; en el caso de las normas de Australia y Japón esto se debe a que la instrumentación se define en normas auxiliares.

En cuanto a la NOM esta no especifica medidores de consumo de energía, intensidad de corriente, peso ni humedad relativa; tampoco especifica la precisión del medidor de voltaje y marca resoluciones y precisiones menores a la que se pide en la ANSI/AHAM.

d) Método para la determinación del consumo de energía. Es la parte de la norma que indica el procedimiento de prueba para determinar el consumo de energía y señala la preparación previa del aparato, el momento en que se inicia la prueba, su duración y las condiciones de funcionamiento del aparato durante ese tiempo.

La mayoría de las normas especifican una temperatura de referencia –diferente en algunas de ellas– en el compartimiento congelador del aparato. Esta debe ser obtenida por aproximaciones sucesivas hasta ser alcanzada o cumplir con una tolerancia, que tampoco es igual para todas las normas.

Además de esto, se debe cumplir que la temperatura promedio del compartimiento de alimentos, llamado comunmente "refrigerador", no salga de un intervalo de temperaturas previamente establecido en la norma y que en el interior del compartimiento congelador haya paquetes de carga, que simulan alimentos congelados.

El procedimiento de prueba mexicano es semejante al descrito en el párrafo anterior ya que maneja una temperatura de referencia, que es 3.5°C en el compartimiento de alimentos, y da una tolerancia de ± 0.5°C. Por otro lado, no existe un requerimiento de la temperatura del otro compartimiento, en este caso el compartimiento congelador, que tampoco se carga con paquetes.

El procedimento de prueba ANSI/AHAM así como el canadiense CAN/CSA siguen otra metodología, en esta la evaluación energética se hace interpolando los resultados de dos pruebas para tener el consumo de energía a la temperatura de referencia correspondiente (vease la tabla 1);la norma ANSI/AHAM da la posibilidad de calcular el consumo de energía aún cuando la temperatura de referencia no quede comprendida dentro del intervalo de las dos pruebas, esto extrapolando los resultados de esas pruebas para tener el consumo de energía a la temperatura de referencia.

También se debe cuidar la temperatura del compartimento de alimentos; la CAN/CSA exige que en alguna de las pruebas la temperatura de ese compartimiento sea menor o igual a 5°C, excluyendo a los refrigeradores solos, la ANSI/AHAM maneja 7.2°C como referencia y excluye de la misma manera a los refrigeradores solos. En ambos casos se interpola –la ANSI/AHAM permite también que se extrapole– para determinar el consumo de energía a la temperatura de referencia del compartimiento de alimentos.

Tabla 1. Temperaturas de referencia

TIPO	COMPARTIMIENTO DE REFERENCIA	TEMPERATURA DE REFERENCIA
Refrigerador solo	de alimentos	3.5°C
Refrigerador convencional	congelador	- 9.4°C
Refrigerador/ congelador	congelador	-15.0°C

5. Ejecución de las pruebas.

Como parte del proceso para elaborar el proyecto de norma se efectuaron pruebas a un lote de cuatro refrigeradores de fabricación nacional, las pruebas consistieron basicamente en la medición de consumo de energía en watt-hora (Wh) siguiendo dos procedimentos: el primero es el que se indica en la norma NOM vigente y el segundo es el procedimiento modificado y armonizado con las normas ANSI/AHAM y CAN/CSA.

Las pruebas se efectuaron en el laboratorio de Alta Potencia del IIE en Salazar, Estado de México utilizando las siguientes instalaciones y equipos:

- Cuarto con temperatura ambiente controlada de 32 ± 2°C;
- registrador de temperatura con precisión de ± 1°C;
- fuente de alimentación regulada para 127 V ± 1 V, y
- watthorímetro con precisión de 0.3 %.

Todos los instrumentos empleados en la prueba están calibrados; la instalación y el procedimiento de prueba NOM están acreditados ante el Sistema Nacional de Acreditamento de Laboratorios de Pruebas de la Dirección General de Normas de la SECOFI.

El método de prueba armonizado con ANSI/AHAM difiere de esa norma en que la tensión de alimentación es de 127 V; la tolerancia para la temperatura ambiente es de ± 2°C, y en que la precisión del registrador de temperatura es de 1°C.

Los resultados de dichas pruebas se presentan en la tabla 2.

Los esquemas de las pruebas de los dos procedimientos son las siguientes:

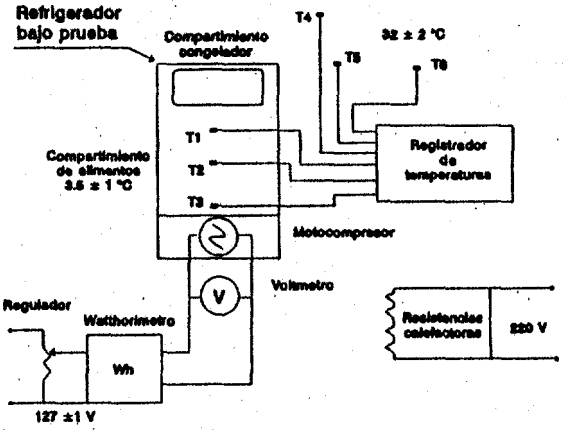


Fig. 3 Método de prueba NOM

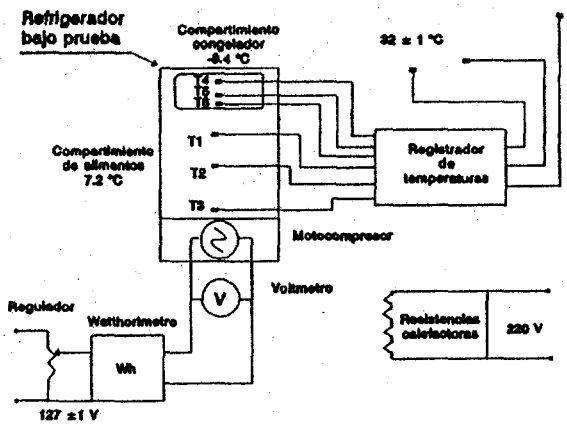


Fig. 4 Método de prueba armonizado con ANSI/AHAM

Tabla 2. Resultados experimentales

Muestra No.	Consumo de energía anual (kWh)		Diferencia entre NOM ANSI/AHAM (%)
	NOM (3.5°C)	ANSI/AHAM (- 9.4°C)	
1	578.8	676.0	16.8
2	530.9	606.0	14.1
3	486.2	543.0	11.7

Nota: la muestra No. 4 presentó consumos excesivos por falta de hermeticidad y no se reportan sus resultados.

6. Conclusiones y recomendaciones

Para las tres muestras a las que se les aplicaron ambos métodos de prueba, los consumos energéticos por el método de prueba ANSI/AHAM HRF-1-88 resultan, en promedio, 14.2 % mayores a los obtenidos por el método de prueba NOM.

Las diferencias en los consumos de energía por los dos métodos de prueba no permiten una comparación directas de los consumos que se registran en la etiqueta de los productos mexicanos con las de productos de Canadá y Estados Unidos.

Para la armonización de la norma nacional con las de Estados Unidos y Canadá se recomienda que la norma NOM incorpore una metodología de prueba semejante a la de ANSI/AHAM y CAN/CSA, como la empleada en el programa de pruebas desarrollado.

Así mismo las tolerancias que maneja la norma nacional deben ser más estrechas, y en concecuencia, la instrumentación deberá ser más precisa.

Estas pruebas se hicieron a un solo tipo de aparatos, los refrigeradores convencionales, seleccionados para estas pruebas porque representan alrededor del 90 % del mercado que existe en México. Sin embargo, la participación en las ventas de los refrigeradores/congeladores pasó del 2 al 10 % entre 1980 y 1988 [13], lo que muestra su creciente demanda y que justifica su participación en futuras evaluaciones.

Aunque la evaluación energética coincide siempre en valores mayores por ANSI/AHAM que por NOM resta aún se verifique la posibilidad de especificar una expresión que se aplique para definir el consumo por NOM o ANSI/AHAM a partir del consumo que reporta la otra norma; con un programa más amplio de pruebas será posible fijar una posición a este respecto.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen al M.I. Rodolfo Landa la revisión y comentarios a este trabajo.

8. Referencias

[1] CFE, *Estadísticas del Sector Eléctrico Nacional 1978-1990*, México.

[2] Friedmann R., "El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro", En: XII Seminario Nacional sobre Uso Racional de la Energía y Exposición de Equipos y Servicios, México D.F., 1991, *Actas*, pp. 25-27.

[3] NOM-J-503/2-1991, "Ahorro de energía – Aparartos eléctricos para venta directa al Público – Información al Consumidor. Parte 2: Requisitos y Métodos de Prueba para Refrigeradores Domésticos", Dirección General de Normas, México, 1981.

[4] NOM-J-411-1981, "Aparatos Electrodomésticos para la Conservación de Alimentos a Bajas Temperaturas", Dirección General de Normas, México, 1981.

[5] ANSI/AHAM HRF-1-1988 "*Household* Refrigerators/Household Freezers", American National Standards Institute, E.U., 1988.

[6] CAN/CSA-C300-M89 "Capacity measurement and energy consumption test methods for refrigerators, combination refrigerator-freezers and household freezers", Canadian Standards Association, Canadá, 1991.

[7] AS 1430-1986, "Household Refrigerators and Freezers", Standards Association of Australia, Australia, 1986.

[8] BS 6291: 1983, "Refrigerator/freezers: type I", British Standards Institution, Inglaterra, 1983.

[9] NF D 38-501, "Économie Domestique. Réfrigérateurs Ménagers. Techniques des essais", Association Française de Normalisation, Francia, 1982.

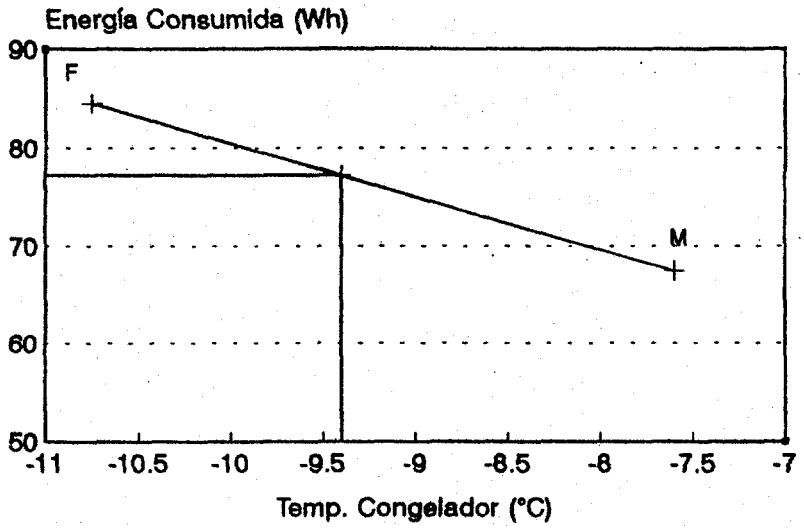
[10] JIS C 9607, "Household Electric Refrigerators, Refrigerator-freezers and Freezers", Japanese Standards Association, Japón, 1986.

[11] IS: 1476-1979, "Specification for Domestic Refrigerators", Indian Standard Institution, India, 1979.

[12] SASO 187/1980, "Testing Methods for Household Electric Refrigerators", Saudi Arabian Standards Organization, Saudiarabia, 1980.

[13] ANFAD, *Memoria ANFAD 89'*, México.

Muestra 1
Consumo de energía
ANSI/AHAM *



* Nota: Método armonizado

Fig. 5

Muestra 1
Consumo de energía
NOM

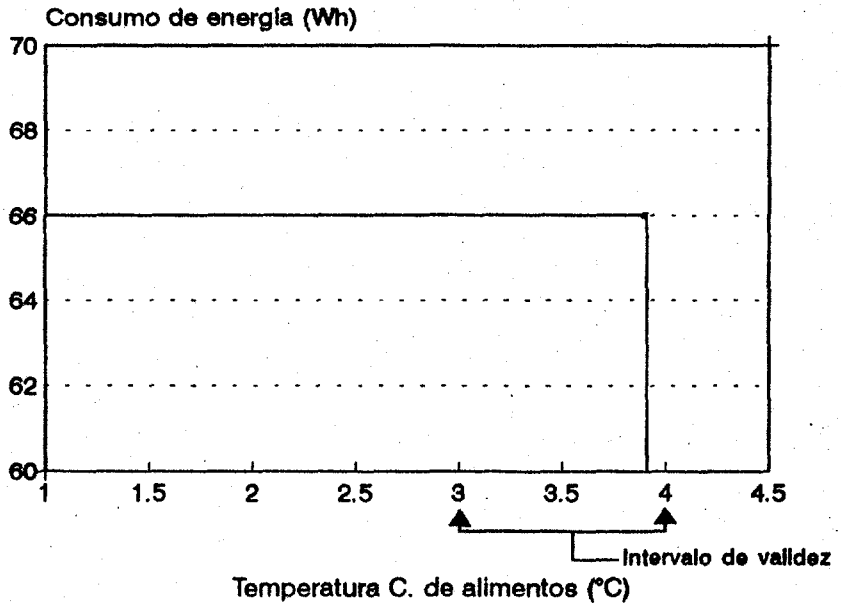
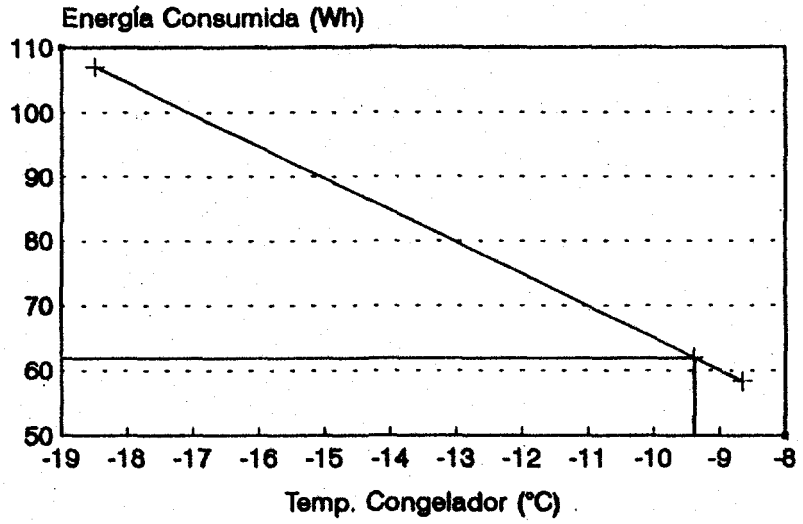


Fig. 6

Muestra 3
Consumo de energía
ANSI/AHAM *



* Nota: Método armonizado

Fig. 7

Muestra 3
Consumo de energía
NOM

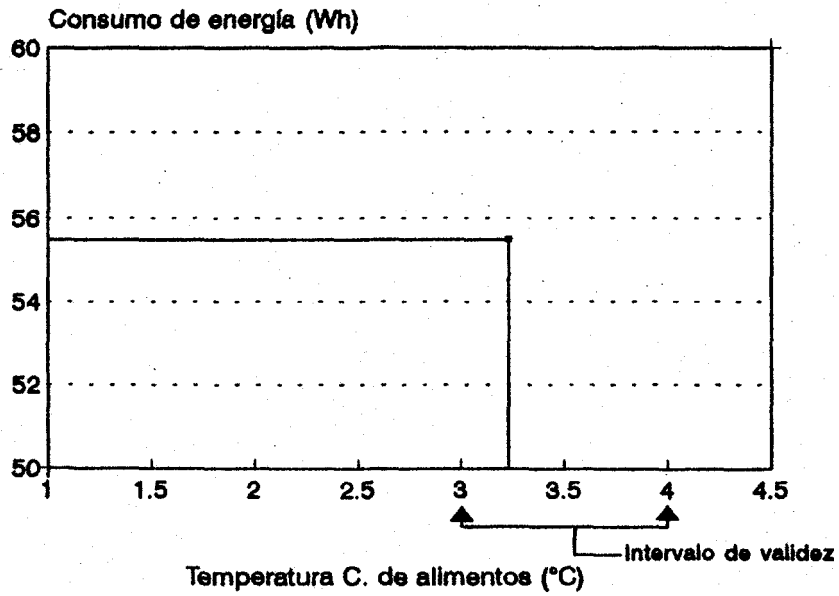
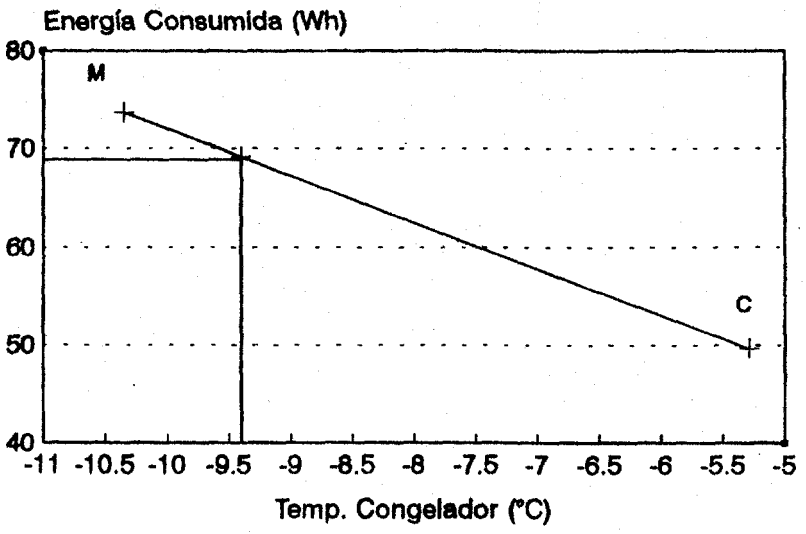


Fig. 8

Muestra 2
Consumo de energía
ANSI/AHAM *



* Nota: Método armonizado

Fig. 9

Muestra 2
Consumo de energía
NOM

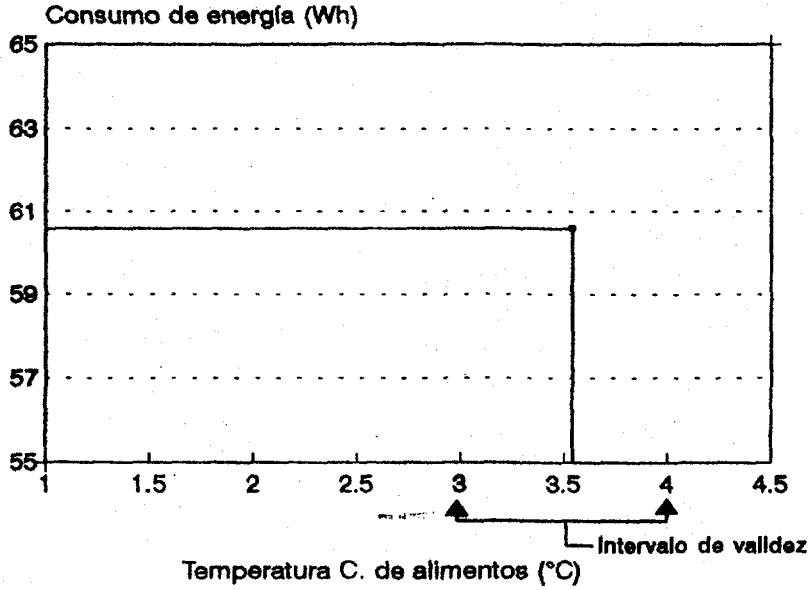


Fig. 10

MX9800118

Análisis Histórico-Estadístico del Consumo Energético en la Administración de Energía

Rubén Guízar Bejarano, IMENOR
Mark Oven, RCG/Hagler, Bailly, Inc.

RESUMEN

Tradicionalmente se ha considerado al consumo específico de energía como el índice energético más adecuado para evaluar las eficiencias de los procesos productivos. Sin embargo, este índice es en ocasiones altamente susceptible a sufrir variaciones importantes, debido a factores como el estado de los equipos, la calidad de la materia prima, los parámetros operativos, el clima, y el nivel de producción. Este último es decididamente el más importante, y requiere un análisis más profundo.

En esta presentación se desarrolla una metodología para analizar tanto consumos de energía como consumos específicos de energía con respecto a la producción. Se utilizan suficientes datos históricos para permitir un análisis estadístico. Este estudio es de igual utilidad en un diagnóstico energético, como en un programa gerencial de ahorro de energía. Sobresalen las ventajas del análisis, y las conclusiones que se pueden derivar del mismo al presentar la posibilidad de identificar probables ahorros de energía. A través de datos actuales recopilados en varias industrias durante diagnósticos energéticos, se presentan varios posibles resultados del análisis. Finalmente, se describe cómo este tipo de análisis puede adaptarse a un control más preciso de los consumos energéticos, y servir como base para establecer metas de eficiencia energética a largo plazo.

INTRODUCCION

En las labores de gestión energética dentro de una empresa, uno de los primeros pasos que generalmente se debe llevar a cabo es la conformación de una base de datos compuesta básicamente por cifras sobre producción y consumo de energía; se parte de la necesidad de conocer con mayor precisión la eficiencia energética como opera la empresa y se hace indispensable relacionar el consumo de energía con la producción, en un mismo período de tiempo, el cual casi siempre es mensual en virtud de que la facturación energética así se presenta. El hecho de tomar en cuenta la producción para medir la eficiencia en el consumo de energía, radica obviamente en el impacto que tiene aquélla en éste. Es indudable que, para una primera aproximación en la determinación de eficiencia, esta relación es de suma utilidad, pero es necesario sacarle el mayor provecho como herramienta de análisis. La ejecución de varios diagnósticos energéticos en distintas empresas altamente consumidoras de energía, ha dado la oportunidad de aplicar este análisis utilizando datos reales, obteniendo resultados ilustrativos sobre sus ventajas dentro de un proceso de gestión energética.

OBJETIVO

El interés de este escrito se centra en un intento por mostrar la importancia que tiene

el análisis histórico-estadístico del consumo energético y su relación con la producción en la gestión del ahorro de energía, a partir de una exposición de la metodología que se debe aplicar y utilizando varios ejemplos basados en casos reales de equipos altamente consumidores.

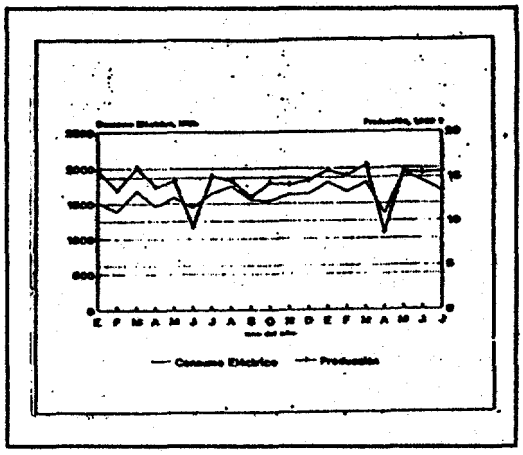
UN PRIMER ACERCAMIENTO

En el análisis de la relación del consumo de energía y el nivel de producción, dentro de un proceso de gestión energética, el paso inicial, es la elaboración de una gráfica de líneas que relacione los dos parámetros sobre datos registrados en un período de tiempo, tal y como se presenta en la Figura 1. Aquí se tomaron las cifras reales de una línea de producción, donde se puede observar que en el transcurso de 18 meses hay casi siempre una relación de continuidad entre la producción y el consumo de energía, salvo los datos registrados en dos meses, donde la producción está por debajo del consumo. Para llevar un mejor control de estas variaciones, se recomienda que este análisis se realice sobre datos generados diariamente, en el lapso de un mes, con medidores de consumo de la empresa, instalados directamente en la línea de alimentación del equipo.

CONSUMO DE ENERGIA DEPENDIENTE E INDEPENDIENTE DE LA PRODUCCION

Aunque resulta de utilidad contar con la variación que se presenta en la Figura 1, que también refleja la tendencia que presenta el consumo de energía, no es en realidad suficiente para entender bien la relación entre consumo y producción. Para poder definir mejor esta relación, se puede

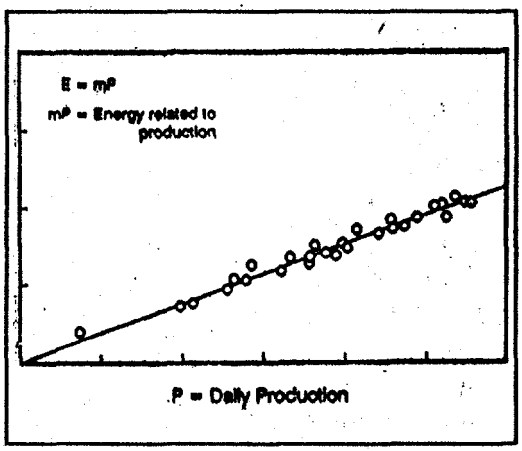
Figura 1. Consumo Eléctrico y Producción.



dividir básicamente el consumo de energía en dos partes:

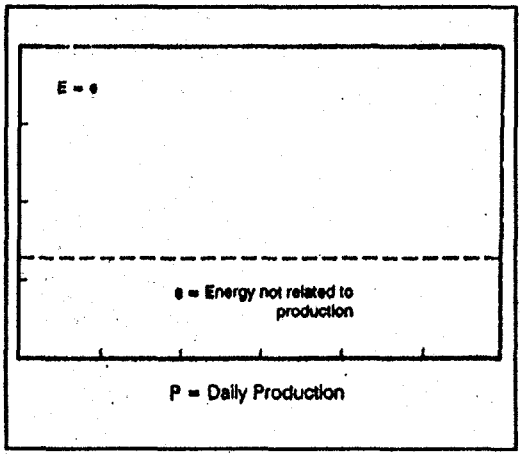
1) Energía dependiente de la producción : Este consumo se puede ilustrar como una línea proporcional a la producción, tal y como se presenta en la Figura 2; la ecuación de tal línea sería **E = mP**, donde **E** es el consumo energético, **P** es la producción, y **m** una constante correspondiente a la pendiente de la línea.

Figura 2. Consumo de la Energía Dependiente de la Producción



2) Energía independiente de la producción : Este consumo es aquel que se deriva del funcionamiento de servicios (iluminación, pérdidas de calor, fugas de vapor o de aire comprimido, uso de equipo eléctrico de oficina, ventilación, etc.) y se presenta como una línea punteada horizontal representada con la ecuación **E = e**, donde e es el valor del consumo independiente (Figura 3).

Figura 3. Consumo de la Energía Independiente de la Producción

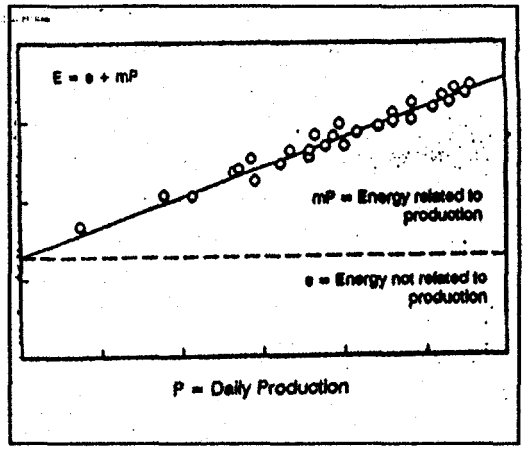


CONSUMO DE ENERGIA CONTRA PRODUCCION

La ecuación **E=e + mP** integra las dos figuras anteriores y pone en evidencia por un lado, el consumo de energía independiente de la producción y el dependiente, haciendo énfasis que conforme aumenta la producción, el consumo se incrementa en igual forma tal y como se presenta en la Figura 4.

El espacio señalado por e, que en este caso

Figura 4. Consumo de la Energía vs. la Producción

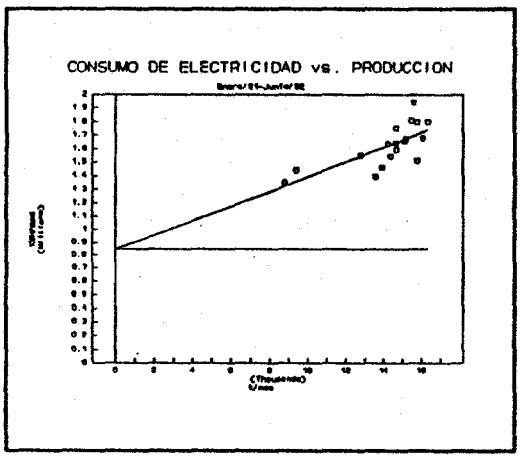


es hipotético, porque los datos no son reales, es donde en principio se debe presentar mayor atención en el contexto de un programa de ahorro , pues generalmente los consumos independientes a la producción se pueden disminuir con medidas administrativas y obtener ahorros de energía sin inversión; en tanto que la inclinación de la pendiente puede ser menos pronunciada si se aplican medidas de ahorro directamente en los procesos, aunque éstas si requieren inversión.

Para contrastar lo arriba expuesto con un caso elaborado con datos reales, retomemos el ejemplo de la línea de producción presentada en la Figura 1, para generar la Figura 5. donde se puede apreciar que el área correspondiente al consumo de energía independiente de la producción es considerable, pues comprende un poco más del 40% del total del consumo de energía de esta línea de producción. Esto se explica en parte porque el proceso presenta irregularidades en su operación, de tal manera que se generan muchos "tiempos muertos" por problemas en la calidad de la materia prima y en el desgaste de los mismos equipos. Además, en un análisis de largo plazo, de más difícil control, se pierde objetividad en la determinación de las

causas reales que originan ineficiencias en el consumo de energía. En todo caso, el ejemplo ilustra un potencial de ahorro significativo que deberá aprovechar el responsable de la gestión energética en la empresa. Por lo demás, la línea inclinada que se genera por una regresión relaciona los promedios de ambos parámetros. Más adelante revisaremos otros casos para extraer algunas conclusiones adicionales.

Figura 5. Consumo Eléctrico vs Producción



CONSUMO ESPECIFICO DE ENERGIA CONTRA PRODUCCION

El consumo específico de energía (unidad de energía consumida por unidad de producto terminado) se genera por la ecuación **C=E/P**, donde **C** es el consumo específico, **E** la energía y **P** la producción.

Para una empresa que opera con una alta eficiencia en el consumo energético, que no tiene consumos por servicios o pérdidas la ecuación deviene : **C = E/P = m** (esto es, una constante)

Para ilustrar la configuración típica del consumo específico y partiendo de la ecuación:

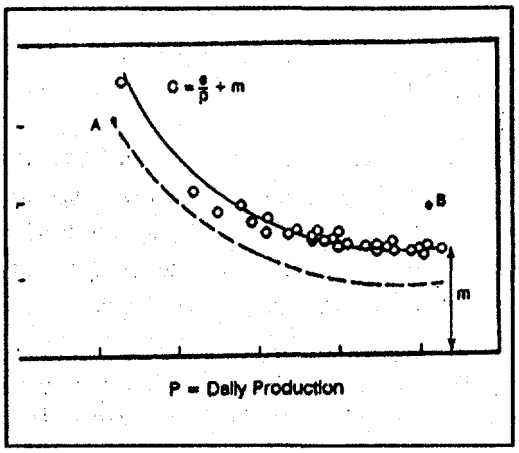
C = E/P = e/P + m

Se obtiene la Figura 6. cuando la producción es muy alta, **e/P** disminuye y el valor de **C** se acerca a **m**. Por el contrario si P es menor por una baja en la producción , entonces "e", que es el consumo de energía independiente de la producción, se vuelve más significativo y **C** se incrementa rápidamente.

En la Figura 6 se muestra cómo el consumo específico de energía **C** varía con al producción **P**. La curva punteada señalada con **A** representa el movimiento de **C** ante medidas que eficienticen el consumo. Así toda empresa puede fijarse sus propias metas de consumo y buscar reducir el espacio de **m** con un monitoreo constante para tener un mayor control en el consumo. De los puntos **A** y **B**, el punto **A** sería el más deseable de obtener pues muestra una mayor eficiencia en tanto que el **B** implica un deterioro. Aquí es recomendable, con datos históricos de producción y consumo, elaborar las gráficas del consumo específico contra la producción correspondientes a varios periodos y compararlas entre sí para determinar si en el transcurso del tiempo la **m** se ha incrementado y hacia donde se ha desplazado la curva. Esta observación habrá de permitir fijar metas de consumo específico, pues si en el pasado se pudo operar con menor consumo específico, habrá que analizar qué circunstancias en la operación actual están incidiendo para provocar ineficiencias en el consumo.

La gráfica del consumo específico es la inversa de la correspondiente al consumo contra producción (Figura 4). La curva que se genera en la Figura 6 generalmente se traza en forma manual, a diferencia de la pendiente presentada en las Figuras 4 y 5 que se genera a partir de una regresión líneal. Sin embargo, aplicando una regresión

Figura 6. Consumo Específico vs. Producción

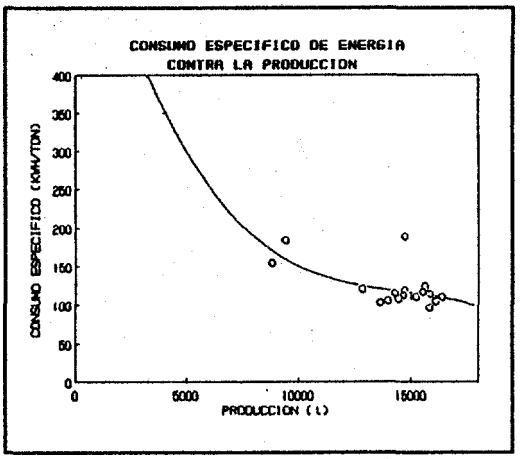


polinomial también se puede crear la curva.

Cabe destacar que al observar la Figura 6 sobresale un punto que es el que registra el mayor consumo específico. Aquí la tarea del responsable de la gestión energética radica principalmente en indagar qué factores provocaron ese consumo específico tan alto. Dependiendo del equipo analizado, se podría deducir que su consumo específico alto es consecuencia del pico de demanda provocado por el arranque del motor principal de este proceso, si es que se trata de un consumo de energía eléctrica; o que es motivado por el alto consumo de gas o combustóleo que se utilizó para iniciar el proceso de calentamiento de un horno, por si fuera el caso. De cualquier manera, esto es parte de la gestión y el objetivo será reducir los consumos, sin afectar el nivel de producción ni la calidad del producto final.

Al contrastar lo expuesto con los datos reales de la línea de producción analizada, tenemos como resultado la Figura 7, en la que se ha trazado la curva a partir de una regresión polinomial. Es evidente que los consumos específicos se encuentran agrupados en un rango que fluctúa de 90 a 130 kWh/t, aproximadamente. En apariencia no hay un descenso del consumo específico aun cuando se registren aumentos en la producción. Por otro lado, hay que descartar que la magnitud de **m** es reducida, aunque el tamaño de la escala en la figura nos induzca a pensar lo contrario. Si se observa con detenimiento que los puntos más altos del consumo específico se acercan a los 200 kWh/t, pero no exceden esta cantidad, con lo que el espacio ocupado por **m** representa aproximadamente un 50% del total de la figura. La razón de haber manejado una escala de 400 kWh/t obedece a que sólo con esa medida se puede generar la curva (regresión polinomial en grado 3). No obstante, sirva esto para que en la elaboración de las gráficas se manejen las escalas adecuadas a fin de evitar una mala interpretación de la magnitud de **m**.

Figura 7. Consumo Específico de Energía vs Producción



ESTUDIOS DE CASO

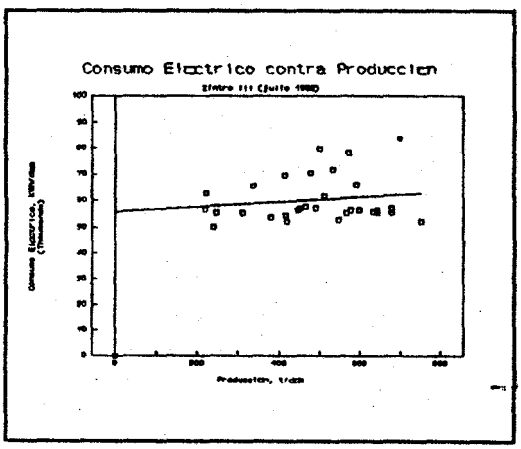
A fin de ilustrar las ventajas de manejar el análisis histórico-estadistico como útil herramienta en la gestión energética, revisaremos dos casos más, elaborados con datos reales de consumo y producción. Se trata de dos líneas de producción de dos empresas diferentes, que operan con energía eléctrica, línea 1 y línea 2. Por fortuna para el análisis, los datos considerados son diarios (en el caso de las dos líneas se

obtuvieron reportes de consumo y producción por cada uno de los tres turnos diarios durante un mes) en ambos casos y corresponden a las operaciones registradas de julio y agosto de 1992.

Caso 1

Este caso se deriva de la operación de una línea de producción que trabaja en condiciones normales, con equipos no mayores de 7 años. Así, tenemos la Figura 8 que nos ilustra el consumo de energía contra la producción durante 31 días del mes de julio. En ella se puede observar un poco de dispersión en los puntos, pero la inclinación de la pendiente no es muy elevada. La ventaja de analizar datos diarios permite revisar bitácoras y reportes de operación, a fin de detectar las causas que provocan las ineficiencias e implementar medidas correctivas. En este ejemplo, la dispersión relativa de los puntos obedece a "tiempos muertos" registrados por cambios de producto, problemas de calidad en la materia prima, paros por mantenimiento correctivo, fallas de operación, entre otros.

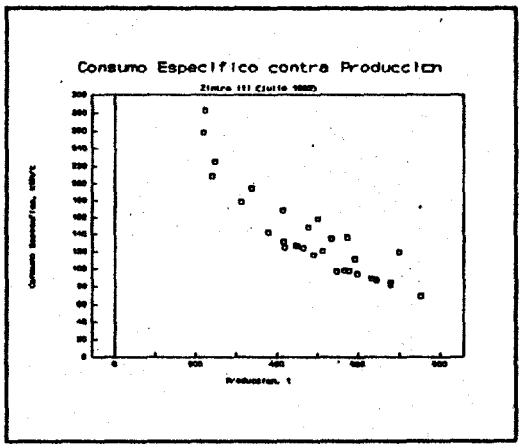
Figura 8. Consumo Eléctrico Contra Producción



En este caso, la magnitud de e estaría sobre la línea de 40,000 kWh/día y la tarea del responsable de la gestión sería reducir este espacio que es el del consumo de energía independiente de la producción.

Con la Figura 9, referida al mismo caso, donde se ilustra el cunsumo específico contra la producción, se manifiesta claramente la curva descendente que indica que cuando crece la producción el consumo específico tiende a decrecer. Aquí se tiene un punto de producción cercano a las 800 t/día, donde el consumo específico fué de menos de 80 kwh/ton. Si se compara con períodos similares, podrá evaluarse la importancia de la curva, pues si hubo un desplazamiento hacia abajo, es importante mantener las condiciones que prevalecieron e incidieron en ese desplazamiento, y así, poder fijarse una meta de eficiencia en el consumo.

Figura 9. Consumo Específico Contra Producción

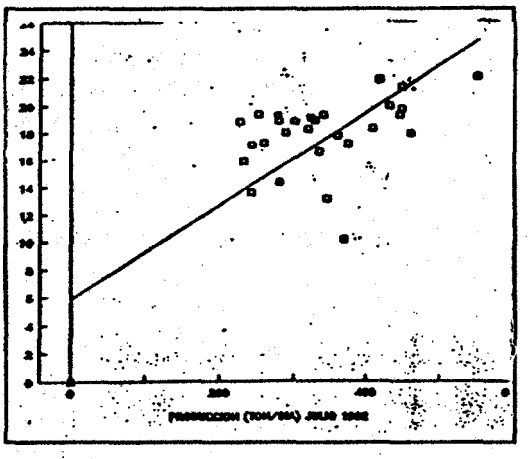


Caso 2

En el caso de la línea 2, de acuerdo con la Figura 10, se tiene una pendiente bastante inclinada que consecuentemente reduce el área del consumo de la energía independiente de la producción. Cuando se registraron los datos correspondientes a ésta

línea de producción, hacía sólo algunos meses que había iniciado su operación y estaba terminando su proceso de ajuste. Por tanto, las ineficiencias que se registran, principalmente obedecen a algunas pruebas y al proceso de capacitación plena de los operarios del equipo.

Figura 10. Consumo de Energía Contra Producción

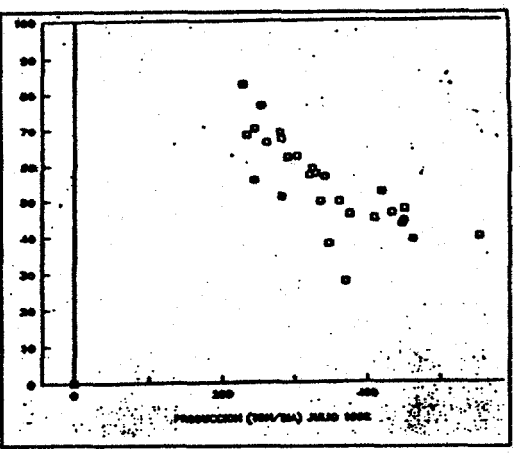


Por otro lado, la gráfica correspondiente que ilustra el consumo específico de energía contra producción de ésta línea 2 (Figura 11), denota una reducción de éste consumo, pero hasta un cierto límite, de tal forma que la curva que se genera no es muy pronunciada. Es de preveerse que una vez que se opere con una mayor eficiencia el equipo, al superarse el proceso de ajuste, la curva del consumo específico podrá ser más proninciada, reducuendo éste tipo de consumo conforme se incremente el volúmen de producción. Además, se espera una mayor dispersión descendente de los puntos de producción.

OTROS FACTORES QUE AFECTAN EL CONSUMO ENERGETICO

Ya se revisó que el consumo de energía de una empresa puede ser dependiente o

Figura 11. Consumo Específico de Energía Contra Producción



independiente de la producción, pero dentro del mismo proceso generalmente existen otros factores que inciden directamente en el consumo, algunos de los cuales son factibles de ser controlados y otros no. Así, en el análisis del consumo y la producción, casi siempre hay elementos que relativamente pueden distorsionar la evaluación real de la eficiencia energética como se operan los equipos, por lo que se hace necesario identificarlos y otorgarles un valor para medir su impacto, a fin de ser más precisos en éste análisis. De tal forma que, al desarrollarlo, es necesario considerar, por ejemplo, mezclas de materia prima, mezcla de productos, horas de operación de la planta, edad y desgaste de los principales equipos, paros imprevistos por mantenimiento, tiempos muetos, etc. Estos factores, hasta cierto punto pueden ser sujetos de control, pero existen otros como la temperatura ambiente, el nivel de humedad, la calidad del combustible, etc. que no son fáciles de controlar. Por tanto, tomando en cuenta esto, es muy probable que tengamos diferencias en los resultados del análisis cuando manejamos información de operaciones efectuadas durante los meses de verano o en los meses de invierno, sobre todo en las zonas de climas extremosos, como son las ubicadas en el norte del país.

Todos estos factores pueden ser reflejados implícitamente en el índice energético de consumo de energía por unidad de producto. Sin embargo, los factores están agregados en el índice y sus contribuciones individuales -las cuales pueden ser despreciables, moderadas o rigurosas- están discimuladas. Es necesario determinar y cuantificar los factores que explícitamente afectan el rendimiento de la planta. Sólo que ahondar en este tema es rebasar los límites impuestos a este trabajo y más bién su desarrollo puede ser tratado en un estudio aparte.

CONCLUSIONES

Es indudable la utilidad que proporciona el análisis histórico-estadístico del consumo de energía y su relación con la producción, factor que más le impacta. A partir de la evaluación de esta herramienta, podemos detectar, con relativa precisión, la eficiencia en el consumo de la energía, como operan las empresas y aproximarnos a determinar el potencial de ahorro, así como el tipo de medidas que se pueden implementar en un programa de gestión energética. Sólo que es necesario considerar los factores que adicionalmente inciden en el consumo, de tal manera que si son controlables, establecer acciones con este propósito y medir la forma como lo transforman para ser más precisos en la determinación de las eficiencias, y así, poder establecer metas de consumo que contribuyan para una mayor competitividad de la empresa.
Estas acciones sin duda refuerzan la gestión en el ahorro de la energía.

BIBLIOGRAFIA

Diagnósticos Energéticos de Segundo Nivel, Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía, preparado por el Grupo Eficiencia Industrial, México, julio-agosto/92.

Energy Conservation Management, The National Conservation Centre, prepared by RCG/Hagler, Bailly Inc. Pakistan, sep/89.

Gestión Energética en la Pequeña Industria, copia f., s/a, s/f, s/l.

Manual de Auditoría Energética Industrial, Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos de Norteamérica, preparado por RCG/Hagler, Bailly Inc. Washington, USA, feb/85.

MX9800119

PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA CONVENIENCIA DE INSTALAR UN SISTEMA DE COGENERACIÓN.

ING. CARLOS COLIN CASTELLANOS
ING. R. ARACELY ACOSTA TORRES
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
DANTE 36-6°PISO COL. NUEVA ANZURES
CP 11590, MÉXICO D.F.

RESUMEN

En este artículo se presenta una metodología para la selección del sistema de cogeneración que mejor se adapte a las necesidades energéticas de una industria, cubriendo los siguientes esquemas:

a) Satisfacer la demanda térmica y ceder a la red el exceso de energía eléctrica generada.
b) Reducir el nivel de funcionamiento de la máquina y producir electricidad de acuerdo a la demanda interna. La demanda térmica se cubrirá, por ejemplo, integrando una caldera al ciclo.
c) Satisfacer la demanda eléctrica y, utilizar sólo en parte el calor disponible.
d) O bien, reducir el nivel de operación de la máquina y solo producir la energía térmica necesaria, tomando de la red la energía eléctrica para cubrir la demanda total.

NOMENCLATURA.

B -	Ingresos ($)
G -	Consumo horario de combustible (kcal/h)
Qa-	Potencia térmica suministrada por la industria (kW)
Qr-	Calor recuperable (kcal)
S -	Egresos ($)
T -	Temperatura del calor recuperado (°C)
W -	Potencia eléctrica por analizar (kW)
We-	Potencia eléctrica suministrada cogenerando (kW)
Wf-	Potencia eléctrica de funcionamiento (kW)
Wr-	Potencia eléctrica suministrada por la red (kW)

INTRODUCCIÓN.

El término cogeneración se refiere a la producción, en modo conjunto y racional, de energía mecánica (transformada en electricidad) y térmica (empleada comúnmente en un proceso o acondicionamiento del ambiente).

Esta técnica es empleada en una amplia gama de industrias, siendo de mayor interés su utilización en aquellas donde la demanda térmica y eléctrica son simultáneas y por períodos de tiempo significativos.

Los factores que determinan la conveniencia de emplear un sistema de cogeneración, se refieren a la investigación de las características específicas de cada industria. Tales características se engloban en la relación demanda térmica/demanda eléctrica (DT/DE) y la duración de la simultaneidad de dichas demandas.

OBJETIVO.

Presentar una metodología de evaluación rápida para detectar la conveniencia en la instalación de un sistema de cogeneración, considerando la mejor opción de acuerdo a los requerimientos del usuario.

CANTIDAD DE CALOR RECUPERABLE EN FUNCIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE COGENERACIÓN.

En general, los sistemas de cogeneración se clasifican en función del orden de precedencia con que se generan los dos tipos de energía, así tenemos un sistema de cogeneración primario (topping) en el cual se genera primero la energía mecánica para producción de electricidad o para el accionamiento de turbobombas, turbocompresores,etc. y posteriormente el calor remanente se emplea como energía térmica (vapor, agua caliente, etc.). Este tipo de sistemas de cogeneración son los mas ampliamente difundidos.

Los sistemas secundarios (bottoming) emplean inicialmente la energía térmica, generalmente en algún proceso industrial a alta temperatura (siderurgia, minera, cemento, etc.), y posteriormente el calor remanente se recupera para la generación de energía eléctrica.

La cogeneración ofrece varias opciones, sus ventajas y desventajas son diferentes, es decir, para cada aplicación específica existe un sistema de mayor conveniencia, razón por la cual todos los estudios deben ser individualizados caso por caso.

Las configuraciones típicas de los sistemas de cogeneración primarios se clasifican en función de la máquina motriz empleada:

a).- Turbina de vapor (ciclo Rankine)
b).- Turbina de gas (ciclo Joule)
c).- Motor endotérmico (ciclo Diesel u Otto)

La energía térmica que se puede recuperar por kWh eléctrico generado, para cada uno de estos sistemas de cogeneración, se muestran en la tabla 1.

TABLA 1	
TECNOLOGIA DE COGENERACION	CALOR RECUPERABLE (KCAL/KWH)
TURBINA DE VAPOR	3500
TURBINA DE GAS	1700
MOTOR CICLO DIESEL	1100
MOTOR CICLO OTTO	1000

Turbina de vapor: son máquinas en general de grandes dimensiones, la ventaja de la cogeneración es notable hasta una demanda de calor a 140 °C, y su recuperación corresponde a una relación de 1 kWhe y 3500 kcal útiles que se producen con un consumo de 5000 kcal de energía primaria. Con la misma cantidad de energía primaria se pueden obtener 4000 kcal de calor (rendimiento de caldera 80%), o bien, 2.25 kWhe (con un rendimiento de transformación de 39%) en forma separada. Lo anterior, muestra que la economía de la cogeneración es de un 24%.

La temperatura del calor a proceso depende del lugar donde se realice la extracción de vapor y, por lo tanto, no puede variar sin cambiar el arreglo de la turbina. A temperaturas mas elevadas, la relación óptima calor/electricidad y como consecuencia la ventaja de la cogeneración disminuyen.

Los valores numéricos reportados anteriormente aplican para los dos tipos de turbinas de vapor, la diferencia radica en que la producción eléctrica en las turbinas de contrapresión, está fuertemente ligada con la demanda de calor, es decir, si el turbogenerador opera a baja carga la cantidad de calor recuperable del sistema cae drásticamente.

Turbina de Gas: en ésta, se prevé recuperar el calor sensible de los gases de escape, en general, se pueden recuperar 1700 kcal de calor a 140 °C por cada kWhe generado.

La temperatura del calor demandado (hasta 500 - 550 °C) puede ser cualquiera sin detrimento en la producción de energía eléctrica, lo que disminuye es la cantidad de calor obtenible al elevarse la temperatura requerida. La expresión que determina la cantidad de calor recuperable es:

$$Qr = 6000 * \frac{(550 - T)}{(550 - 140)} \qquad (1)$$

Motor endotérmico: la energía se recupera normalmente de los gases de escape y del agua de refrigeración. Este tipo de máquinas son adecuadas para potencias pequeñas y pueden operar con gasóleo o con metano. A igualdad de dimensiones, una máquina que opere con metano tiene una pérdida de potencia considerable con respecto a una que consume gasóleo.

La cogeneración con esta tecnología, a igualdad de energía primaria consumida y respecto a las otras tecnologías, genera mas electricidad pero menos calor. En este caso, se puede afirmar que con el consumo de 10,000 kcal. se pueden generar 4.4 kWhe y:

$$Qr = 3000 * \frac{(550 - T)}{(550 - 140)} + 2000 * \frac{(110 - T)}{(110 - 90)} \qquad (2)$$

de calor utilizable.

SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN.

Es claro que la cogeneración tiene sus ventajas y desventajas, estas se resumen a continuación:
- Ventajas
Se satisfacen las demandas de calor y electricidad con un consumo de energía primaria menor a la generada por separado.
- Desventajas
Inversión adicional.
Pérdida de flexibilidad en la operación.

Sin embargo, existen situaciones, que por coincidencia de varias circunstancias, favorecen en modo evidente la cogeneración e indican también la mejor solución por adoptar. Por ejemplo:

a) En el caso de una fuerte demanda de calor constante a lo largo de todo el año, sin discusión alguna la mejor alternativa es emplear un sistema de cogeneración con turbina de vapor a contrapresión, dimensionada en base a la demanda

de calor. Es obvio, que si la generación de energía eléctrica rebasa la demanda local, el excedente crea obstáculos debido al sistema legislativo vigente.

b) En el caso de una fuerte demanda de calor no constante en el tiempo (por ejemplo estacional), será mejor adoptar la turbina de vapor a condensación, siempre y cuando la importancia económica de la producción de calor sea pequeña respecto a la generación eléctrica.

c) En el caso de requerimientos de electricidad en lugares aislados con demandas de calor lo mas aconsejable son los turbogrupos diesel.

d) El último esquema de cogeneración aplicable, es la turbina de gas. Este presenta un problema serio en cuanto a que el combustible que quema normalmente (gas natural) es una materia prima importante en la petroquímica básica, razón por la cual solo se emplea en la generación de energía eléctrica en períodos de punta. Su campo de aplicación se encuentra entre 500 y 50,000 kW de potencia y la temperatura de los gases de escape oscila entre 400 y 550 °C, debido a que estos gases tienen un alto contenido de oxígeno, pueden emplearse como aire para una postcombustión con lo cual se obtendría una cantidad de calor recuperable de 15,000 kcal/kWh como mínimo.

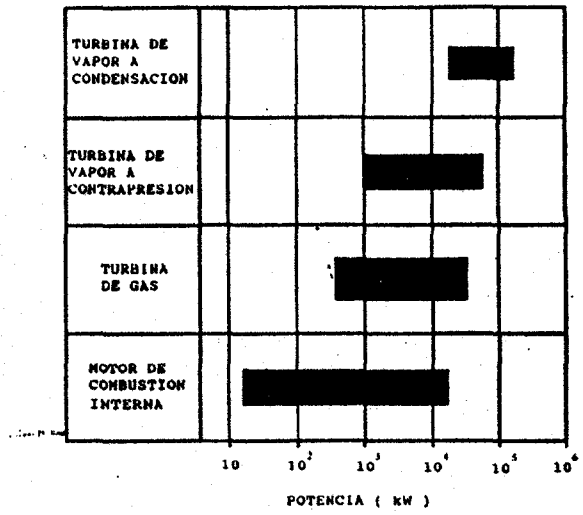
Los factores que determinan la conveniencia de cogenerar son primordialmente:
1) La investigación de las características específicas de cada caso, esto es, se realiza un análisis técnico de las condiciones que presenta cada posible aplicación en particular, considerando la tecnología actualmente disponible.
2) Las variaciones en el tiempo de los requerimientos de energía térmica y eléctrica.
3) El funcionamiento de la máquina motriz a plena carga y cargas parciales.
4) El costo y la disponibilidad de los posibles combustibles.
5) Los costos de inversión, operación y mantenimiento.

Para la selección de la máquina motriz se deben tener en cuenta los requerimientos térmicos y eléctricos del usuario, es decir, las condiciones de la energía térmica (Presión ,Temperatura) y la relación de las demandas.

La figura 1 muestra los rangos de potencia eléctrica que cubren cada una de las máquinas descritas anteriormente.

Es importante tener una idea clara de los datos

FIGURA 1. RANGOS DE OPERACION DE LAS MAQUINAS MOTRICES.



necesarios para realizar la selección del sistema de cogeneración que mejor se adapte a las necesidades del usuario, el siguiente listado muestra un elenco de estos datos.

a -	Tasa de amortización anual (%)
C -	Costo unitario del equipo incluyendo instalación ($/kWe)
Co-	Costo de construcción para la instalación del equipo ($)
q -	Consumo específico de combustible (kcal/kWhe)
Cg-	Costo unitario del combustible ($/kcal)
r -	Remanente térmico del combustible (kcal/kWh)
Mf-	Costo fijo de operación y mantenimiento ($/kW-año)
Mv-	Costo variable de operación y mantenimiento ($/kWh)
No-	Número de personas que operan la instalación
Lo-	Costo anual por persona ($)
Cc-	Costo del combustible usado normalmente para producir calor ($/kcal)
η -	Rendimiento de combustión (%)
Lp-	Costo anual por demanda máxima de potencia eléctrica ($/kWe)
LE-	Precio de la energía eléctrica de la red ($/kWhe)
Lr-	Precio de la energía eléctrica vendida a la red ($/kWh)
Ls-	Costo del servicio de seguro ($/kW)
DE-	Demanda de potencia eléctrica (kW)
DT-	Demanda de potencia térmica (kcal/h)
Top-	Duración de la simultaneidad de la demanda (h/año)

Existen varios esquemas de sistemas de cogeneración que dependen de la relación DT/DE:

a).- Si la relación DT/DE > r, donde r es la energía no aprovechada por cada kWhe generado o cantidad de calor recuperable, expresado en kcal/kWh, existen dos posibles esquemas:

a.1).- Satisfacer la demanda térmica y ceder a la red el exceso de energía eléctrica generada.

a.2).-Reducir el nivel de funcionamiento de la máquina y producir electricidad de acuerdo a la demanda interna. La demanda térmica se cubrirá,

por ejemplo, integrando una caldera al ciclo.

b).- Si la relación DT/DE < r, se tienen también dos alternativas:

b.1).- Satisfacer la demanda eléctrica y, utilizar sólo en parte el calor disponible.

b.2).- O bien, reducir el nivel de operación de la máquina y solo producir la energía térmica necesaria, tomando de la red la energía eléctrica necesaria para cubrir la demanda total.

Con base en lo anterior, se está en grado de determinar los valores mas convenientes para:

- La potencia eléctrica de funcionamiento
- El intercambio de energía con la red
- La cantidad de calor recuperado y utilizado
- La necesidad de integración térmica mediante una caldera
- El consumo y tipo de combustible

Si W es la potencia eléctrica por analizar, suponiendo que nos encontramos en el caso descrito en el inciso a), y si la siguiente desigualdad se cumple:

$$Lr + (Cc/\eta) r > q*Cg + Mv \qquad (3)$$

la mejor alternativa es la a.1) y:

Wf toma el valor menor entre W y DT/r
- Wa = DE
- Wr = Wf - Wa
- Qa = r * Wf
- G = Wf * q

En caso que la desigualdad (3) no se cumpla, la alternativa mas viable es la descrita en el inciso a.2) y las siguientes igualdades son válidas:

Wf toma el valor menor entre W y DE
- Wa = Wf
- Wr = 0
- Qa = r * Wf
- G = Wf * q

Si la relación DT/DE < r, nos encontramos en el caso del inciso b) y la expresión que rige la selección de la mejor alternativa es la siguiente:

$$Lp + Top * LE \geq (q * Cg + Mv) * Top \qquad (4)$$

Si la desigualdad anterior se cumple, la mejor alternativa es la indicada en el inciso b.1) y los valores que adquieren las variables son los siguientes:

Wf toma el valor menor entre W y DE
- Wa = Wf
- Wr = 0
- Qa = DT
- G = Wf * q

Si la ecuación cuatro es falsa, nos encontramos en la alternativa del inciso b.2) y se debe considerar lo siguiente:

Wf toma el valor menor entre W y DT/r
- Wa = Wf
- Wr = 0
- Qa = DT
- G = Wf * q

ANÁLISIS DE CONVENIENCIA

Una vez definido el esquema de cogeneración mas propicio, el beneficio que se obtiene al instalar un sistema de esta naturaleza, esta dado por la siguiente expresión:

$$B = Wf*Lp + Top*Wa*LE + (Qa * Cc/\eta)Top + Wr*Top*Lr \qquad (5)$$

Por lo que respecta al costo total del sistema de cogeneración por instalar, se obtiene mediante:

$$S = a(W*C + Co) + T(G*Cg + Mv*Wf) + Mf*W + No*Lo + Wf*Ls \qquad (6)$$

Si B < S la cogeneración para ese valor de potencia (W) no es conveniente, haciendo iterativo el cálculo, hasta llegar a un valor en el que B > S, hace que la cogeneración sea atractiva (esto no quiere decir que sea el valor de potencia por cogenerar mas conveniente).

Para encontrar el valor de potencia de mayor conveniencia, se deberán explorar valores de W mayores y menores hasta encontrar el valor máximo de la expresión B-S.

CONCLUSIONES.

Si tenemos necesidad de una cantidad de electricidad E que producida en forma separada consume una cantidad de combustible primario CE y de una cantidad de calor Q que producida individualmente necesita de una cantidad de combustible Cq, adoptando la tecnología de la cogeneración podemos obtener la misma cantidad

de energía eléctrica E y calor Q con un consumo de combustible Cc que en general es:

$$Cc < (C_E + C_Q)$$

es decir, tenemos una economía energética.

En términos generales, la cogeneración constituye uno de los sistemas mas eficientes, llegándose a obtener rendimientos superiores al 80%

Con la cogeneración se reduce la factura por concepto de energía, se logra cierta autonomía y aumento de seguridad de unidades de proceso frente a fallas de la red.

La ventaja de la cogeneración se presenta cuando la demanda de calor es a baja temperatura y su ventaja energética es mayor cuanto menor sea esta temperatura y, prácticamente desaparece a temperaturas elevadas.

Dado que la electricidad y calor se pueden acumular, la cogeneración es adecuada cuando las dos demandas son al mismo tiempo, además, el transporte de calor y electricidad provoca pérdidas, por lo cual, es importante considerar la distancia hasta donde se va a transportar la energía.

El hecho de que la cogeneración sea uno de los sistemas mas eficientes no significa que instalar una planta de este tipo sea una tarea fácil, al contrario, debe realizarse un estudio previo para determinar la rentabilidad del proyecto en base a las condiciones de la industria en estudio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Comitato Nazionale per la Ricerca e per lo Sviluppo dell'Energia Nucleare e dell'Energie Alternative, "Opportunità di Risparmio di Energia Nell'industria; Risparmio di Energia Elettrica", ENEA tomo I, septiembre 1989.

2. ENEA, Fonti Alternative e Risparmio Energetico, Corso Applicativo di Energy Management nella Piccola e Media Industria, 1990.

3. Franco Canci, Corso di Impianti Termotecnici, Facoltà di Ingegnieria Sede di Vercelli, 1990.

4. EPRI EM-5083, Industrial and Commercial Cogeneration Case Studies, Final Report, march 1987.