

CONF-9809109--

**19th National seminar on the rational use of energy and exposition of equipment
and services. Transactions. [Selected Papers]**

DISCLAIMER

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

METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO EN SISTEMAS AUXILIARES DE CENTRALES TERMOELÉCTRICAS.

ING. JESÚS NEBRADT GARCÍA, M.C. ISMAEL ROJAS HIDALGO*, ING. LIBORIO HUANTE PÉREZ*

**Departamento de Ingeniería de Procesos, Subdirección de Generación, Comisión Federal de Electricidad
*Unidad de Procesos Térmicos, Instituto de Investigaciones Eléctricas.**

RESUMEN.

Una de las áreas potenciales de ahorro de energía en centrales termoeléctricas son los sistemas auxiliares, de tal manera que basados en un diagnóstico energético preliminar y considerando que se aplicarían las medidas de ahorro de energía que van desde la instrumentación, cambios operativos en equipos, así como el uso de variadores de velocidad en motores, se tienen que los consumos de auxiliares para un 75% de carga en una CT's de 158 MW varían desde un 3% hasta un 4% y para el caso de una CT's de 350 MW, el consumo de auxiliares representan del 2 al 3.5%. Hoy en día dichos consumos están por encima del 6%. Si consideramos que el país cuenta con 40 unidades que varían desde 150 MW hasta 350 MW, entonces los ahorros económicos y de combustible serían impactantes. La presente ponencia mostrará un resumen de la metodología ha emplear para la realización de éste tipo de proyectos.

INTRODUCCIÓN.

En México, al igual que en muchos otros países, el sector energético es un elemento clave de la economía. Así en los últimos años el panorama del uso eficiente de la energía ha cambiado radicalmente, cada vez son más las empresas tanto privadas como públicas que empiezan a interesarse en la aplicación de medidas correctivas para su energía en forma mas eficiente. Esto es sin duda debido por la acción conjunta de medidas de difusión y concientización con la participación de amplios sectores de la comunidad, las políticas de precios y tarifas gubernamentales que inducen favorablemente al mejor uso de la energía y por último la necesidad de ser competitivo en una sociedad como la mexicana, que ha decidido abrirse al comercio internacional y que tiene necesidad urgente de vender productos en el extranjero. Sin embargo ahora que el clima es propicio para que la sociedad se lance de lleno al uso eficiente de la energía, aparecen cuellos de botella y restricciones que pueden afectar negativamente estos desarrollos, entre los que sobresalen [1]:

- La escasez de recursos humanos capacitados para crear, organizar y supervisar planes, programas y proyectos sobre uso racional de la energía.
- La aplicación de metodologías de ahorro y uso eficiente de energía adaptadas a las necesidades nacionales es una herramienta sin la cuál, los programas de ahorro de energía tienen serias oportunidades de fracasar.

El presente trabajo ha basado su estudio en la aplicación de una metodología que en su punto de partida realiza la determinación de las áreas que potencialmente representan mayor ahorro de energía (Estudio de Caracterización Energética), para una vez identificadas dichas áreas se aplique un estudio mas profundo por equipo para la determinación de las medidas y sus potenciales de ahorro (Estudio de Diagnóstico Energético).

Considerando que actualmente las centrales termoeléctricas en México presentan consumos promedio por sus sistemas auxiliares del orden del 6% de su generación, se puede observar que una reducción en dicho valor en medio punto porcentual traería como beneficio lo siguiente:

De acuerdo con las estadísticas de operación de 1994 [2], para la generación anual con base en vapor se tendría la posibilidad de generación neta adicional, anual, que se muestra a continuación:

GENERACIÓN BRUTA	CONSUMO AUXILIARES		GENERACIÓN NETA
	GWh	PORCENTAJE	
77,023	6.0%	4,621	72,402
77,023	5.5%	4,236	72,787
DIFERENCIA DE GENERACIÓN NETA DISPONIBLE			385 GWh

Tabla 1.- Generación neta adicional al disminuir en 0.5% el consumo de auxiliares.

O bien, considerando que se mantenga la generación neta, así como el régimen térmico reportados para la generación con vapor en 1994[2], el ahorro anual de combustible sería el siguiente:

GENERACIÓN NETA	CONSUMO DE AUXILIARES	RÉGIMEN TÉRMICO	CONSUMO DE COMBUSTIBLE POR AUXILIARES	
			Tcal	m ³ combustóleo*
GWh	GWh	kcal / kWh	Tcal	m ³ combustóleo*
72,402	4,621	2,550	11,784	1,178,400
72,402	4,215	2,550	10,748	1,074,800
AHORRO DE COMBUSTIBLE EN CONSUMO DE AUXILIARES				103,600 m³
AHORRO EN EL COSTO DE COMBUSTIBLE **				\$36,560,440

*considerando 10,000 kcal / litro

** considerando el precio a \$ 352.90 / m³ (agosto 1995)

Tabla 2.- Ahorro de combustible manteniendo la generación neta y el régimen térmico.

En este trabajo, en la Etapa I se presenta la metodología para la realización de estudios de caracterización energética de Centrales Termoeléctricas, así mismo, en la Etapa II se presenta la metodología para la realización del estudio de Diagnóstico Energético de Centrales Termoeléctricas.

DESARROLLO.

Los sistemas auxiliares de una central termoeléctrica se consideran divididos en dos grupos, aquellos que son indispensables y operan solo para la unidad de generación y los equipos o sistemas que operan para dar servicio a dos o mas unidades de generación. A continuación se definen ambos grupos:

Auxiliares de Ciclo

- ⇒ Bombas de agua de alimentación.
- ⇒ Bombas de condensado.
- ⇒ Bombas de circulación
- ⇒ Ventiladores de torre de enfriamiento
- ⇒ Equipos auxiliares del generador de vapor (ventiladores de tiro forzado e inducido, de recirculación de gases, bombas de combustible, bombas de circulación forzada)

Auxiliares Independientes de Ciclo

- ⇒ Sistema de aire comprimido.
- ⇒ Sistema de aire acondicionado y ventilación.
- ⇒ Sistema de iluminación.
- ⇒ Sistema de agua de servicios.
- ⇒ Tratamiento de agua y efluentes.
- ⇒ Sistema eléctrico de auxiliares en baja tensión.
- ⇒ Sistema de trasiego de combustible

Etapa I Caracterización Energética.

La caracterización energética de los sistemas auxiliares permitirá conocer la participación relativa que presenta cada sistema en el consumo global de todos ellos como conjunto, así como cuantificar dicho consumo y determinar su relación con la generación eléctrica de la unidad (índice de consumo de energía). Dicha caracterización se basa en el análisis estadístico de los datos de consumos energéticos de los sistemas con objeto de obtener una representación fehaciente de su comportamiento minimizando el efecto de condiciones que resulten atípicas en la operación de dichos sistemas.

Los objetivos de la caracterización energética en los sistemas auxiliares son los siguientes:

- Determinar el comportamiento energético de los sistemas auxiliares con base en el análisis de datos estadísticos de consumo de energía y las capacidades de cada sistema y sus equipos.
- Cuantificar los consumos de energía en las diferentes unidades de servicio.
- Determinar la participación de los sistemas en el consumo total de auxiliares.
- Establecer los índices de consumo energético, es decir la relación entre la magnitud del consumo y el nivel de generación de la unidad.

- Evaluar las variaciones de los índices de consumo de energía contra el tiempo y generación eléctrica de la unidad.

Así, las actividades a realizar en esta etapa son:

I.1 Recolección de información general y datos estadísticos de consumos energéticos y generación eléctrica.

- I.1.1 Definición del período de tiempo que se considere representativo de la operación cíclica de la unidad analizada. Se considera un año (el último) como mínimo para contar con información válida para la caracterización energética.
- I.1.2 Datos estadísticos de consumo de combustibles o vapor en sistemas auxiliares.
- Estadísticas mensuales de consumo de combustibles
 - Estadísticas mensuales de consumo de vapor
 - Costo de combustibles
 - Costo de vapor
- I.1.3 Datos estadísticos de consumo total de electricidad por los sistemas auxiliares. De ser posible por sistema auxiliar.
- Consumo eléctrico mensual
 - Demanda máxima eléctrica mensual
 - Factor de potencia
 - Costo de la energía eléctrica
- I.1.4 Datos estadísticos de generación eléctrica.
- Capacidad y tipo de la unidad
 - Generación anual y mensual
 - Perfil de generación eléctrica mensual
- I.1.5 Condiciones climáticas en sitio.
- Temperatura de bulbo seco media anual, máxima, mínima, predominante
 - Temperatura de bulbo húmedo media anual, máxima, mínima, predominante
 - Precipitación pluvial, media, máxima, mínima, máxima en 24 horas
 - Disponibilidad de agua

I.2 Análisis de datos e información.

- I.2.1 Análisis estadístico de los datos de consumo por sistema auxiliar y su participación en el consumo global de energéticos.
- I.2.2 Determinación de los Índices de Consumo Energético y su comportamiento contra el tiempo y contra los niveles de generación.
- Índices de consumo de combustibles y vapor
 - Índices de consumo de electricidad
 - Índices de consumo de agua
- I.2.3 Análisis de la estructura organizacional y recomendaciones sobre la Integración del Comité de Administración de la Energía.

I.2.4 Emisión de recomendaciones referentes a las necesidades de instrumentación para poder realizar un diagnóstico energético.

I.3 Resultados de caracterización energética de los sistemas auxiliares.

I.3.1 Establecimiento de la estructura de capacidad instalada por sistema auxiliar.

I.3.2 Comportamiento mensual de consumos energéticos de los sistemas auxiliares como conjunto.

I.3.3 Comportamiento mensual de la generación eléctrica de la unidad y variación de los índices de consumo energético vs. tiempo y nivel de generación eléctrica.

I.3.4 Desglose de los consumos de energía por cada sistema considerado y su participación en el consumo total.

Etapa II Diagnóstico Energético en Sistemas Auxiliares.

Los objetivos del diagnóstico energético consisten en cuantificar los ahorros de energía en los equipos de mayor consumo que integran los sistemas auxiliares, los cuales se identificaron en la Etapa de Caracterización Energética. A continuación se enlistan dichos objetivos:

- Evaluación de las condiciones de operación reales contra las de diseño de los equipos que integran los sistemas auxiliares.
- Cuantificación de los potenciales de conservación de la energía y jerarquización de las medidas para lograrlos atendiendo a su rentabilidad.
- Determinación de los beneficios a alcanzar con la implantación de las medidas y recomendaciones producto del diagnóstico.

De esta forma, las actividades a desarrollar en esta etapa son:

II.1 Realización de formatos y protocolo para la ejecución del diagnóstico energético.

II.1.1 Definición de los datos necesarios a recolectar para la evaluación del comportamiento de cada equipo.

II.1.2 Elaboración de los formatos para la recolección de información en planta.

II.1.3 Elaboración de los procedimientos y requerimientos de instrumentación para la realización del diagnóstico energético.

II.2 Medición de las condiciones de operación real de equipos.

II.2.1 Análisis de la instrumentación actual de los sistemas mencionados y su estado físico.

II.2.2 Toma de datos y mediciones puntuales de operación real de los equipos auxiliares.

II.3 Análisis de datos e información.

II.3.1 Análisis estadístico de los datos de consumo por equipo auxiliar y su participación por sistema en el consumo global de auxiliares.

II.3.2 Análisis del modo de operación de los equipos auxiliares contra el tiempo y contra los niveles de generación.

- Consumo de energía actual de los equipos.
- Eficiencia de operación.

II.3.3 Análisis de la estructura organizacional y recomendaciones sobre la integración de un área de Administración de la Energía.

II.3.4 Seguimiento del comportamiento de las medidas sugeridas para conservación de la energía.

II.4 Determinación de potenciales de conservación de energía.

II.4.1 Evaluación de desviaciones de las condiciones de operación real contra las de diseño de los sistemas auxiliares.

II.4.2 Determinación de medidas de conservación de la energía.

II.4.3 Evaluación económica de las medidas.

II.4.4 Jerarquización de medidas con base en su rentabilidad.

II.5 Resultados del diagnóstico energético en sistemas auxiliares.

II.5.1 Identificar el modo de operación de los equipos.

II.5.2 Cuantificar el potencial de ahorro de energía de los equipos auxiliares.

II.5.3 Se contará con una curva de referencia que indique el valor del consumo de auxiliares correspondiente a cada carga de la unidad.

II.5.4 Evaluación económica de las medidas de conservación de la energía

II.5.5 Jerarquización de las medidas de ahorro de energía.

II.5.6 Seguimiento y control de las medidas adoptadas.

CONCLUSIONES.

Los resultados de la caracterización energética referentes a determinar la proporción con la que cada sistema contribuye al consumo global de energéticos de auxiliares, permitirán estructurar los alcances y el modo de realizar un diagnóstico energético en ellos, definiendo los que presenten mayor participación en el consumo y por tanto los que se deban atender primero. Asimismo, sentarán las bases para programar las acciones a realizar para el desarrollo de herramientas de cómputo para análisis y seguimiento de medidas de conservación de la energía en sistemas auxiliares y los elementos de capacitación de personal en el tema.

Asimismo, permitirán situar la base contra la que se compararán los resultados de las acciones posteriores que se realicen para disminuir el consumo de energéticos de los sistemas mencionados.

Adicionalmente se contará con una curva de referencia que indicará el valor del consumo de auxiliares correspondiente a cada carga de la unidad, dando elementos al personal de operación de la unidad para saber, en determinado momento, si el consumo de auxiliares de su unidad es el adecuado para la generación con la que se encuentre operando.

Dicha curva de referencia resulta de importancia ya que, en ocasiones, se mantiene en operación equipos que en realidad no son necesarios a determinadas cargas de la unidad en que trabaje. Por ejemplo mantener funcionando dos bombas de agua de alimentación cuando se opera por debajo del 60% de carga de la unidad, o bien operar todos los ventiladores de la torre de enfriamiento aún cuando se logre el vacío adecuado en el condensador, sobre todo a condiciones de carga parcial de la unidad. De esa manera, el proporcionar al personal operativo valores recomendados de consumo de auxiliares, correspondientes a las distintas cargas a las que se encuentren generando, permitirá que tomen acciones para redefinir el modo de operación de los equipos auxiliares o bien iniciar la detección de las causas que obligan tener una operación con alto consumo energético de sus auxiliares.

Por otro lado, un programa de conservación de la energía tiene por objetivo lograr reducciones en el consumo de energía de los sistemas auxiliares, cuyos beneficios se pueden presentar desde dos puntos de vista: lograr una reducción efectiva del consumo de combustible o el disponer de energía eléctrica para su venta.

Agradecimientos:

Se agradece cordialmente el apoyo brindado para la realización de esta metodología a la Subdirección de Generación de la Comisión Federal de Electricidad.

BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Ambriz G. J. y Romero P.R., Diplomado en Administración y Ahorro de Energía: Modulo I, Universidad Autónoma Metropolitana, (1993).
- [2] Comisión Federal de Electricidad, Informe de Operación 1994, (1994).
- [3] Ruiz Esparza R, Rojas I, y Arriola A., Informe Final DIM-44293, Instituto de Investigaciones Eléctricas, (1996).

APLICACIONES INTERACTIVAS PARA AHORRO DE ENERGIA

Ing. Alejandro Adame González, Ing. Cesar Ramírez Anaya, Ing. Hector M. Gutiérrez, Ing. Xerxes Domínguez Ojeda, Ing. Alfredo Aguilar Galván, Ingeniería Energética Integral S.A. de C.V.
Amsterdam 188 -402, Col. Hipódromo Condesa, México D.F.

Tel 264 19 17, 264 82 39 fax. 264 19 63

Gerencia de Incentivos de FIDE, León Tolstoi No. 22, 5º piso, Tel. 254 30 44

RESUMÉN.

Se presenta un conjunto de ideas que pueden auxiliar en la elaboración de aplicaciones interactivas para ahorro de energía. Se hace principal énfasis sobre El Curso Interactivo Administración de la Demanda y Compensación del Factor de Potencia del FIDE con la finalidad de mostrar hasta donde puede llegarse con un desarrollo multimedia.

INTRODUCCION.

El presente documento surge como una motivación particular a partir de dos hechos sobresalientes que alientan agradablemente nuestra actividad profesional.

- ✓ El primero de ellos es la posición notable que por méritos propios ha situado a la Ingeniería Energética Mexicana, a la CONAE y sobretodo al FIDE como un consultor a escala internacional de reconocido prestigio, esta circunstancia convierte a las instituciones mexicanas casi de manera natural en el mejor respaldo que en cuanto a proyectos de ahorro de energía puedan tener los países Latinoamericanos.
- ✓ La segunda circunstancia se encuentra en la importancia tan extraordinaria y fundamental que ha cobrado en la actualidad el desarrollo de documentos electrónicos tales como aplicaciones multimedia o Internet. Si bien es cierto que su desarrollo ha sido impresionante en forma general, tan bien lo es que en el campo de ahorro de energía y particularmente en nuestro idioma aun es incipiente.

Con las Aplicaciones Interactivas para Ahorro de Energía es posible:

- ✓ Reforzar mediante el desarrollo y creación de aplicaciones interactivas la imagen de líder en materia de Ahorro de Energía que escala internacional actualmente ostenta el "FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA" de México.
- ✓ Es posible desarrollar y brindar desde México a los demás países Latinoamericanos las mejores aplicaciones de ingeniería en ahorro de energía, presentando estas en calidad de documentos electrónicos interactivos. En ellos puede presentarse la experiencia del FIDE, CONAE y las Firmas de Ingeniería Mexicana en diversas ramas industriales, así como en comercios, edificios, servicios municipales. También pueden transmitirse metodología de estudio, cursos de ahorro, artículos sobre el tema, tecnologías de ahorro, espacios virtuales y un sin fin de otras aplicaciones.

En estos momentos es posible disponer entre otras aplicaciones de:

La Hoja Internet de CONAE.

El Curso Interactivo Administración de la Demanda y Compensación del Factor de Potencia del FIDE

En desarrollo por parte del FIDE y con apoyo de la USAID.

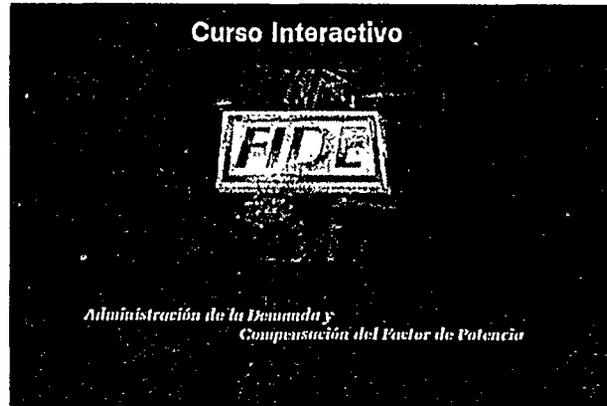
La metodología para ahorro de energía en Motores Eléctricos.

La metodología para ahorro de energía en Sistemas de Bombeo.

La metodología para ahorro de energía en Sistemas de Aire Comprimido.

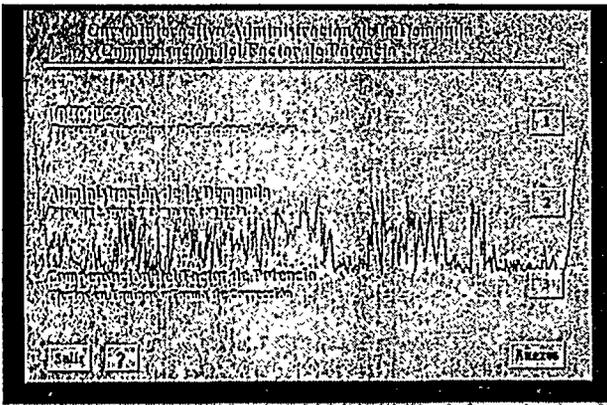
Curso Interactivo Administración de la Demanda y Compensación del Factor de Potencia del FIDE

Con el afán de mostrar hasta donde puede llegarse con las aplicaciones interactivas para ahorro de energía, será descrito en forma muy resumida Curso Interactivo Administración de la Demanda y Compensación del Factor de Potencia.

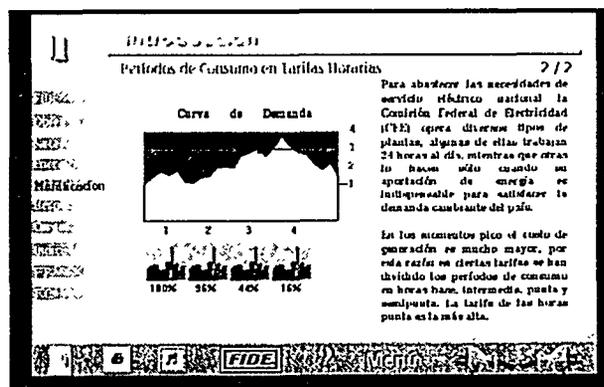


Se trata de primera aplicación interactiva desarrollada en México para ahorro de energía eléctrica. Aborda dos de los temas principales que deben considerarse en cualquier programa de ahorro de energía. Se divide en tres módulos principales: una introducción que presenta principios y definiciones básicas; un capítulo para administración de la demanda y otro más para el factor de potencia.

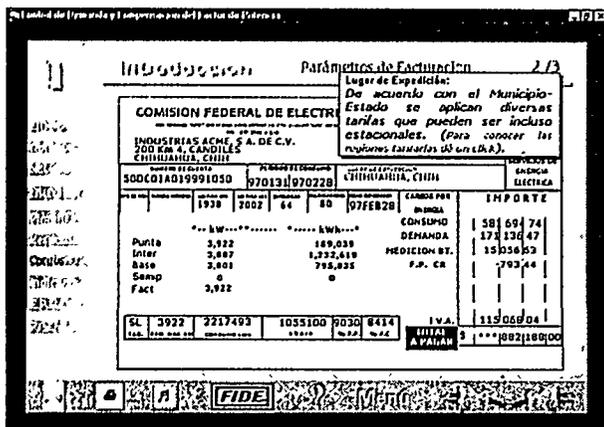
La introducción se refiere en principio al FIDE, luego trata sobre la problemática existente entre la generación de energía eléctrica y demanda solicitada por nuestra población. Es sumamente ilustrativa una imagen que muestra el perfil de demanda eléctrica y el porcentaje de tiempo que deben operar algunas plantas generadoras. Para abastecer las necesidades de servicio eléctrico nacional la Comisión Federal de Electricidad (CFE) opera diversos tipos de plantas, algunas de ellas trabajan 24 horas al día, mientras que otras lo hacen sólo cuando su aportación de energía es indispensable para satisfacer la demanda cambiante del país. En los momentos pico el costo de generación es mucho mayor, por esta razón en ciertas tarifas se han dividido los periodos de consumo en horas base, intermedia, punta y semipunta. La tarifa



de las horas punta es la más alta.

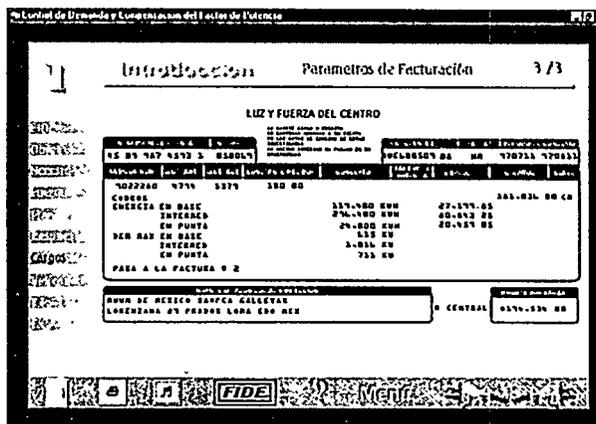


Otra sección interesante de la introducción es la referente a la factura eléctrica, aquí el usuario del software puede familiarizarse con los conceptos que son cobrados por la CFE y LyFC.



La introducción termina con dos hojas interactivas aplicables para cualquier región y tarifa eléctrica del país, una de ellas simula el efecto económico que el factor de potencia tiene dentro de la factura eléctrica, la otra hoja realiza algo similar pero en función de la variación del factor de carga.

Ambas hojas recuperan los costos de la energía eléctrica para el mes de junio de 1998 y dan la opción de actualizarlos, para ello se sugiere conectarse con la hoja web de la CFE, el software puede realizar la conexión automática si el usuario cuenta con una fax módem y un servidor de Internet.



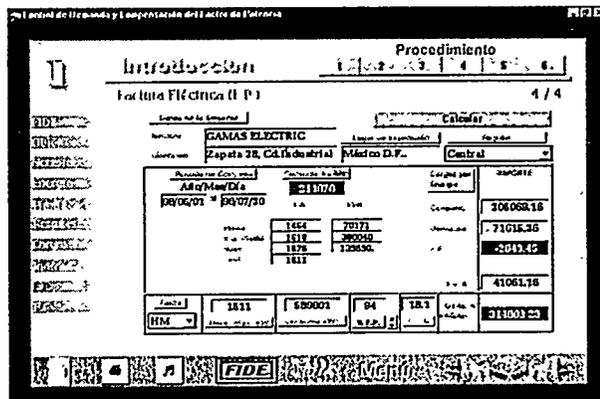
Veamos como ejemplo, una empresa con los siguientes parámetros de facturación:

	Demanda Máxima	Consumo
Base	1575 kW	139,590 kWh
Intermedia	1618 kW	380,040 kWh
Punta	1464 kW	70,171 kWh

Factor de Potencia 0.94

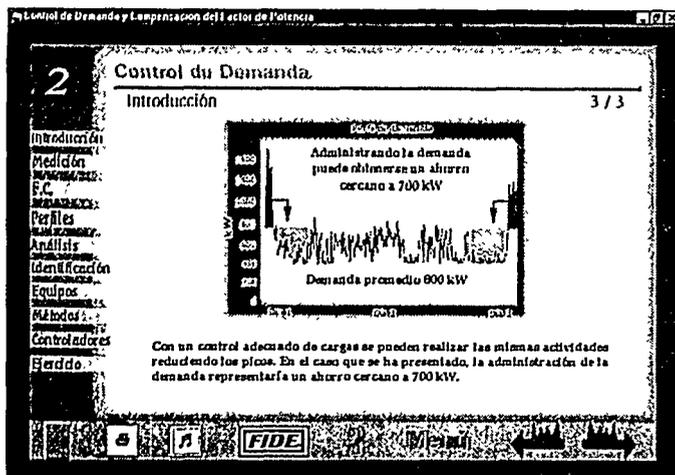
Con estos datos de entrada y los costos del mes de junio el software calcula:

Demanda Facturable	1,511 kW
Consumo Total de Energía	589,801 kWh
Cargo por demanda facturable	\$ 71,615.36
Cargo por consumo de energía	\$197,369.
Descuento por factor de potencia	\$ 2,861.54
IVA	\$ 39,918.42
Total a pagar	\$306,041.24



Con esta hoja el usuario del curso podrá hacer cálculos rápidos sobre sus cargos de energía eléctrica y sobre el impacto que sobre los mismos tienen los factores de carga y potencia.

El siguiente modulo es el correspondiente a la administración de la demanda en el pueden comprenderse con el auxilio de ilustrativas imágenes los conceptos de manda máxima, demanda media y factor de carga. Más adelante, mediante una aplicación interactiva puede sondearse la influencia del factor de carga sobre el costo promedio del kWh en empresas con uno, dos y tres turnos.



También se ilustra sobre las mediciones y levantamientos que han de realizarse para conocer las posibilidades de administración existentes en una empresa. Se presenta una sección sobre las características de los equipos de medición que deben usarse en estos casos.



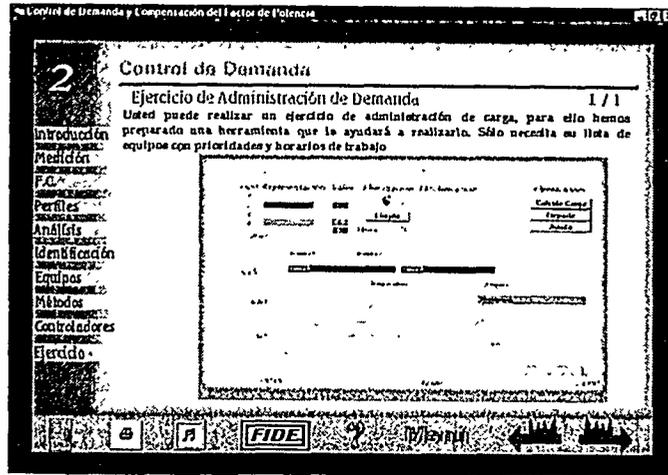
El curso presenta una sección de gran utilidad para identificar las cargas o equipos que son factibles de integrar dentro de un programa manual o automático para controlar la demanda de potencia eléctrica, se presentan formatos de gran utilidad para desarrollar esta actividad.

En la parte final del modulo se encuentra un ejercicio con el que el usuario puede simular su propio perfil de demanda de potencia eléctrica, se trata de una aplicación innovadora de gran utilidad en desarrollo de proyectos de control de demanda.

Carga	Pico	Inicio de Operación	Fin de Operación	Comentarios
Bomba de Vapor	37.3	07:00	23:00	SI
		18:05	22:00	
		23:05	02:00	
Ventilador 1 Torre	11.19	06:00	22:00	SI
Ventilador 2 Torre	11.19	06:00	22:00	SI
Ventilador 3 Torre	11.19	10:00	18:00	SI
Bomba Tanco	23.84	07:00	10:00	No
Bomba Clorona	23.28	12:00	15:50	No
Bomba Tanque Elevado	18.65	07:00	23:00	No
		03:00	03:45	
		10:28	11:40	
		13:00	14:50	
		15:00	17:00	

En este caso de acuerdo con el levantamiento y conocimiento que el usuario tenga sobre el manejo eléctrico de sus instalaciones podrá simular sus necesidades para un día típico y sobre la base de ello determinar para un día típico aproximadamente sus demandas en el horario base, intermedia y punta. Una vez identificadas las cargas que son base para el proceso productivo y aquellas que son posibles de administrar, podrán los realizarse todos los ensayos que se consideran pertinentes en los cuales podrá desplazarse la operación de los equipos y obtener de nueva cuenta los valores respectivos de las demandas. Estas habrán de

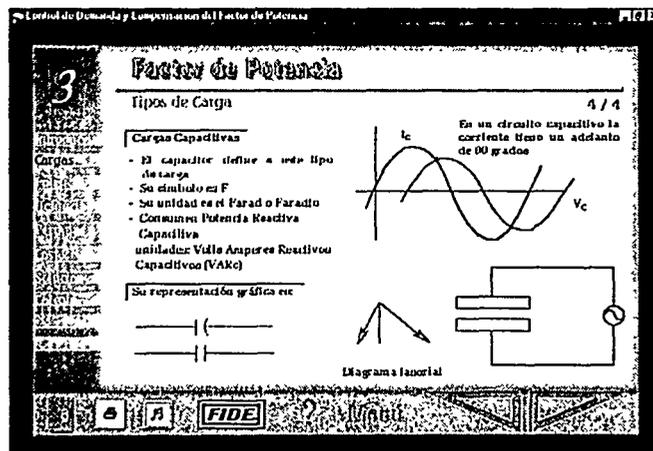
compararse contra los valores actuales para determinar los beneficios resultantes de administración propuesta.



El último bloque del software desarrollado es que estudia lo referente al factor de potencia. En el inicio de este módulo se explica las implicaciones negativas y costosas que un bajo factor de potencia tiene para quien genera, distribuye y suministra la energía eléctrica.

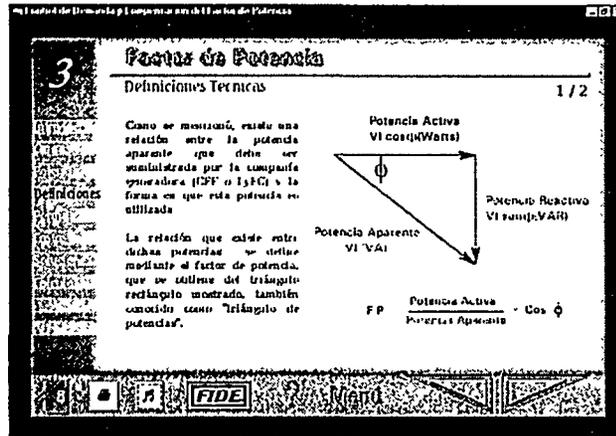


Luego se informa sobre las formas en que la energía eléctrica se consume explicando las características de las cargas resistivas, inductivas y capacitivas. Se muestra con gran creatividad la relación que en el tiempo mantienen la onda de voltaje y corriente en cada una de estas cargas. Se muestra con un diagrama fasorial como la corriente se atrasa en cargas inductivas, se adelanta en cargas capacitivas y se encuentra en fase en resistivas.



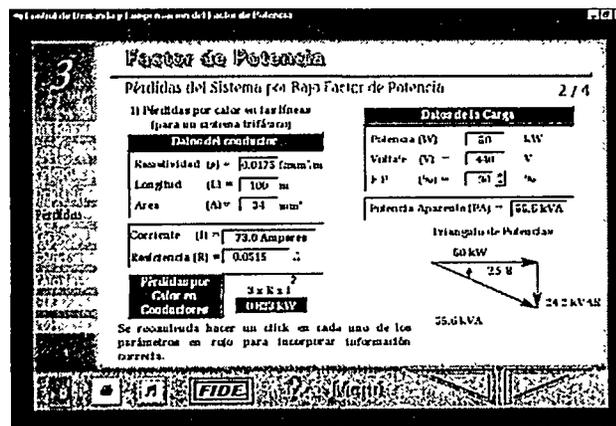
Se indica que en una instalación eléctrica se tiene arreglos de cargas donde se presentan la combinación de potencia activa y reactiva, de modo que al estar presentes ambos tipos de potencia generan un ángulo

entre la corriente y voltaje que oscila entre 0 y 90 grados, dicho ángulo de defasamiento puede medirse. Se presenta el famoso triángulo de potencias y las relaciones que guardan las potencias que lo componen.

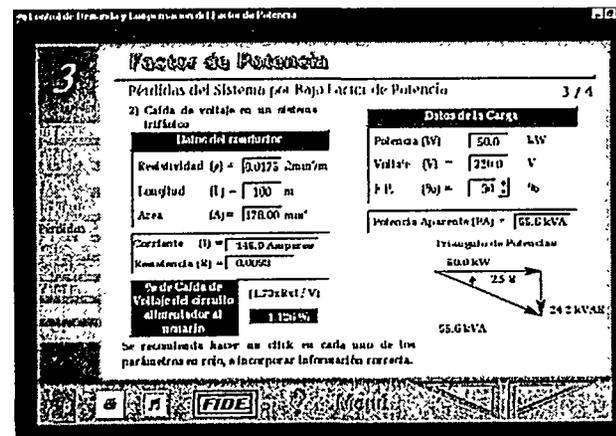


Al abordar los efectos de un bajo Factor de Potencia como son: Pérdidas por calor en las líneas, Caída de voltaje, Saturación de la capacidad de los transformadores, se integran formatos interactivos de gran auxilio con los cuales puede determinarse:

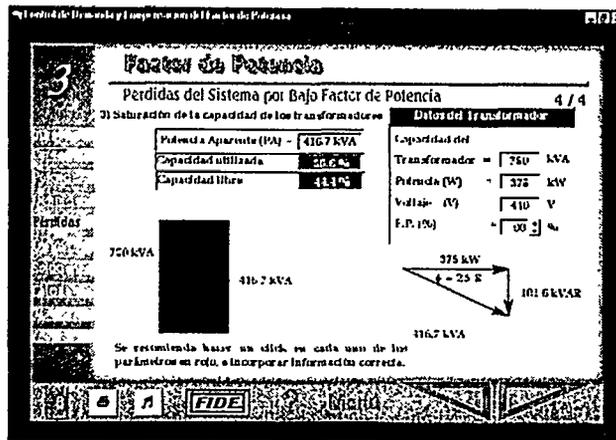
- a) La potencia pérdida en los conductores eléctricos de acuerdo de acuerdo su resistividad, longitud y diámetro, y conforme la demanda eléctrica de la carga conectada. Puede variarse el factor de potencia y observa en función de ello las magnitud de las pérdidas.



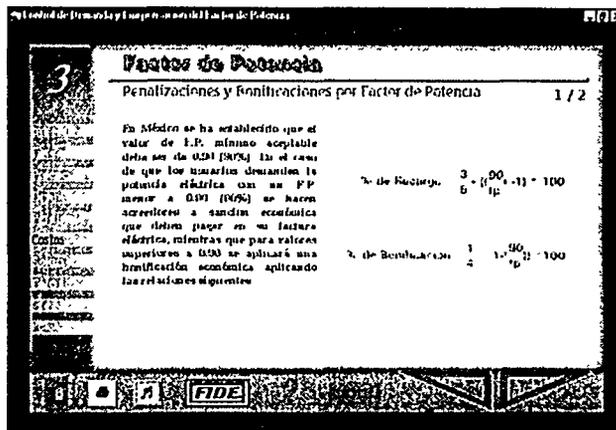
- b) El porcentaje en la caída de voltaje con relación al voltaje de línea de alimentación eléctrica a la carga conectada y nuevamente puede observarse la disminución en la caída conforme se incrementa el factor de potencia.



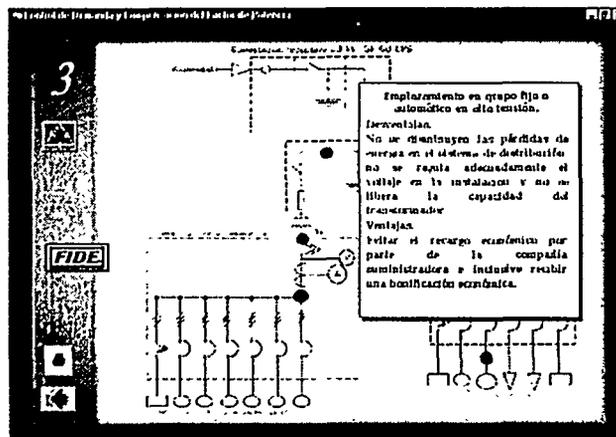
- c) Con respecto a la capacidad ocupada por los transformadores el software muestra el porcentaje de utilización en función del factor de potencia y de la potencia aparente del mismo. Mediante la representación gráfica es evidente que un bajo factor de potencia implica menor disponibilidad de un transformador.



Con respecto a los cargos o bonificaciones por factor de potencia existe una pagina electrónica que hace él calculo del porcentaje de cargo o descuento sobre el impacto correspondiente a los importes energéticos.



Sobre la compensación del bajo factor de potencia es explicado el procedimiento que debe emprenderse para lograr superarlo a un valor mayor al 90%, y también en un diagrama unifilar se muestran las posibles zonas de emplazamiento de capacitores indicando las ventajas y desventajas de corrección específica en alta tensión, baja tensión, tableros de distribución y junto a las cargas inductivas.



El análisis incluido para resolver el problema del bajo factor de potencia comprende la determinación de la energía activa y reactiva en las condiciones iniciales de operación, después el usuario propone el valor de factor de potencia al desearía llegar, entonces el software le indica la energía reactiva que solicitará en la nueva circunstancia. Mediante la comparación entre la situación inicial y la propuesta queda establecido el banco de capacitores (fijo o automático) que elevara el factor de potencia al valor propuesto. Posteriormente es factible evaluar los ahorros en términos económicos, el sistema interactivo incluye una lista de precios promedio de los bancos de capacitores que facilita el llegar hasta la obtención del periodo de recuperación de la inversión.

Control de Demanda y Compensación del Factor de Potencia

3

Resultados Anteriores

F.P. Actual = 82.22 F.P. Propuesto = 35

Capacidad de Capacitores = 112.8 KVAR

JUN 1998 Central 104

Consultar

DEMANDA kW		CONSUMO kWh	
PUNTA	47.356	0.89521	
INTERMEDIA		0.28644	
BASE		0.23922	
SEMPUNTA		0.25020	

Características de Capacitores

Voltaje (Volt) 440 Tipo Fijo

Potencia (KVAR) 20 N° de Fases 1

Precio Módulo (US\$) 224 Paridad (\$/US\$) 1.850

Número Módulos 6 Capacidad Total (KVAR) 120

Tiempo de Recuperación

Costo Capacitores (\$) 22.158

Beneficio (\$/Mes) 10.541

Tiempo Recuperación (Meses) 1.67

Calcular

Consultas

	DEMANDA (kW)	CONSUMO (kWh)
Temp	1000	10000
Intermedia	1200	18000
Base	1300	40000
Temp	1078	

FIDE

En forma anexa se cuenta con una base de datos sobre las tarifas eléctricas, la cual se encuentra actualizada hasta el mes de junio de 1998, no obstante el usuario mediante un procedimiento interactivo puede hacer la actualización mes a mes.

Control de Demanda y Compensación del Factor de Potencia

A

Procedimiento para la actualización de tarifas 1 | 2 | 3

1.- Escoger el mes y año en los campos correspondientes al período.

2.- Seleccionar una región y tarifa a actualizar

3.- Llenar los campos de costos (\$/kW, \$/kWh) con los datos correspondientes al período, región y tarifa seleccionados previamente.

4.- En caso de no contar con los valores de los costos para la región, tarifa y período elegidos y cuenta con facturas, se puede utilizar con la página internet de CFE en donde se presentan las tarifas vigentes al mes en curso.

PERIODO: JUN 1998 REGION: GC TARIFA: HS

DEMANDA kW		CONSUMO kWh	
PUNTA	51.327	0.97789	
INTERMEDIA		0.22794	
BASE		0.19351	
SEMPUNTA		0.42412	

Actualizar de Tarifas Eléctricas

FIDE

Análisis Térmico para la Reducción del Consumo de Energía en Sistemas de Agua de Enfriamiento

Martín Picón Núñez ⁽¹⁾ y Luis Quillares Vargas ⁽²⁾

⁽¹⁾ Instituto de Investigaciones Científicas, Universidad de Guanajuato

⁽²⁾ Tecnopinch, S.A. de C.V.

Resumen

En este trabajo se presentan los principios fundamentales para el análisis térmico de sistemas de enfriamiento en plantas de proceso. En redes de eliminación de calor existentes, la aplicación de esta metodología permite identificar oportunidades para reducir el consumo de energía utilizada para el bombeo del fluido enfriante. La metodología se basa en la determinación del flujo mínimo de agua de enfriamiento en función de la capacidad de transferencia de calor instalada, sujeta a las restricciones de máximo incremento de temperatura permitido. La aplicación de la metodología a sistemas reales, ha resultado en ahorros del 20% del total de la energía que se consume en el bombeo del agua de enfriamiento.

Introducción

Los sistemas de enfriamiento más comunes empleados en la industria química y petroquímica, son aquellos en los cuales el calor excedente en el proceso es removido utilizando agua como el fluido enfriante. Una instalación típica consta de una red de intercambio de calor [1,2,3], un sistema de bombeo y una torre de enfriamiento, como se ilustra en la Figura 1.

La red de intercambio de calor está integrada por aquellos equipos donde es necesario eliminar calor y que pueden ser: condensadores, enfriadores y reactores enchaquetados entre otros. La representación gráfica de una red de enfriamiento se muestra en la Figura 2. En este diagrama, las corrientes del proceso que requieren eliminar calor se representan como líneas horizontales que van de derecha a izquierda, y la línea que va en sentido contrario representa la corriente de agua de enfriamiento. El número de ramificaciones que la corriente de agua de enfriamiento presenta, corresponde al número de usuarios o equipos de enfriamiento.

La representación gráfica del balance global de materia y energía de un proceso a través de un diagrama Temperatura vs. Entalpía se muestra en la Figura 3. Este tipo de diagrama, conocido como Curvas Compuestas [4], permite identificar las tres áreas principales de flujo de calor en un proceso. El área marcada como zona I, representa la parte del proceso que absorbe energía que proviene de una fuente externa. La zona II indica la cantidad de energía que se recupera dentro del proceso, y la parte del diagrama marcada como zona III, representa el exceso de calor que debe eliminarse al ambiente a través de un medio de enfriamiento.

En este trabajo, se presenta una metodología general de análisis para la retroalimentación de redes existentes de eliminación de calor. La metodología permite determinar el flujo mínimo de agua de enfriamiento requerido, dada la capacidad instalada de transferencia de calor, sujeto a restricciones como el máximo incremento de temperatura permitido en el agua de enfriamiento (Δt).

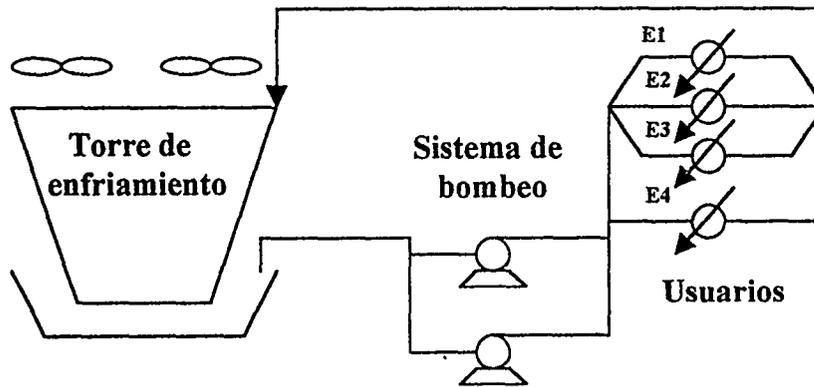


Fig.1 Instalación típica de un sistema de enfriamiento.

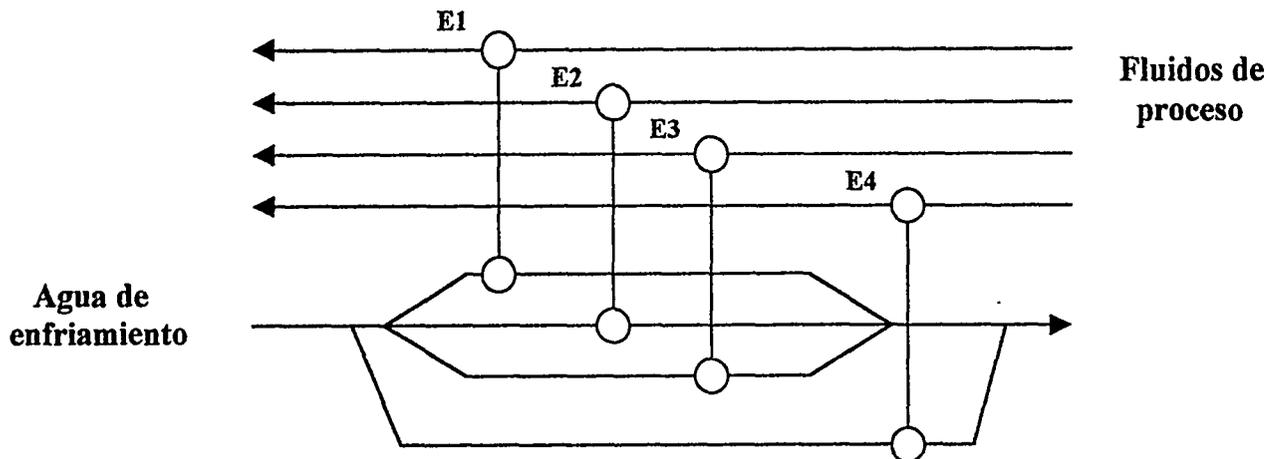


Fig. 2 Red de eliminación de calor.

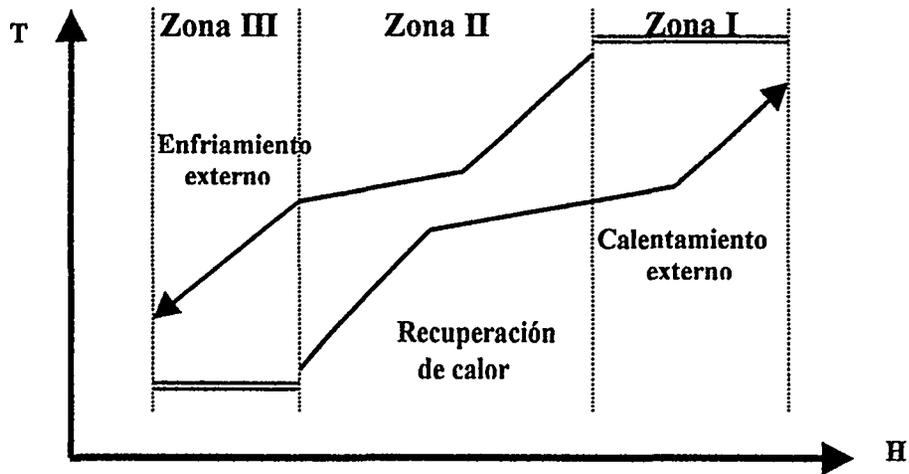


Fig. 3 Representación gráfica del calentamiento externo, enfriamiento externo y recuperación de calor en una planta de proceso.

Eliminación de calor en plantas de proceso

Una de las herramientas más recientes que se utiliza para distribuir en forma eficiente los servicios auxiliares de calentamiento y enfriamiento en una planta de proceso, es un diagrama Temperatura vs. Entalpía, que se conoce Gran Curva Compuesta [4], Figura 4. Dependiendo de los niveles de temperatura que se requieran en un proceso, se pueden tener sistemas de enfriamiento con remoción de calor a temperatura ambiente (con agua o aire), sistemas de enfriamiento con agua a temperatura debajo de la ambiente (típicamente 7°C), y refrigeración, utilizando salmuera como fluido de enfriamiento o utilizando refrigerantes directamente en el proceso.

En el caso de los sistemas a temperatura ambiente, el flujo de agua de enfriamiento se determina en función del balance de energía, una vez que el máximo incremento de temperatura se especifica. El máximo incremento permitido es función de la capacidad de las torres de enfriamiento, cuyos diseños se realizan de acuerdo a las condiciones ambientales promedio del lugar [5].

En el proceso de diseño de una red de eliminación de calor, existe un punto óptimo donde los costos totales por concepto de costos de operación (bombeo de agua de enfriamiento) y la inversión en equipo de transferencia de calor se minimizan. Este punto indica la máxima elevación de temperatura que, para una operación económica, el fluido de enfriamiento debe experimentar. El proceso de optimación se muestra en la Figura 5. La gráfica muestra el perfil de la curva de costo total, de inversión en equipo de transferencia de calor y de costos de energía por bombeo, en función del incremento de temperatura del fluido de enfriamiento (Δt).

En el caso de sistemas de enfriamiento en planta existentes, es común encontrar casos en los cuales el incremento de temperatura global que experimenta el fluido es pequeño. Esto sugiere que: 1.- El flujo de agua de enfriamiento es muy superior al mínimo requerido, y 2.- El área de transferencia de calor instalada no se utiliza en forma eficiente.

La forma de hacer un mejor uso de la superficie de transferencia de calor existente y de la energía, minimizando los costos por bombeo, consiste en determinar el flujo mínimo de agua de enfriamiento que maximise el Δt y garantice la carga térmica de la unidad.

Caracterización térmica

Una red de eliminación de calor puede incluir diferentes tipos de intercambiadores desempeñando funciones de condensación o enfriamiento. El tipo de intercambiador más común en la industria es el de tubos y coraza. Sin embargo, existen algunos otros tipos de intercambiadores de calor como los compactos (platos planos, plato y aleta, platos en espiral, tubos aletados, etc) cada uno con sus propias características de transferencia de calor y caída de presión.

La caracterización térmica de un equipo de transferencia de calor consiste en la determinación del comportamiento térmico y de fricción en función de la velocidad o del flujo. La Figura 6 muestra la variación de la efectividad térmica (ϵ) de un intercambiador de calor en un arreglo sencillo en contracorriente con respecto al Número de Unidades de Transferencia (Ntu). La efectividad térmica tiene una tendencia asintótica con respecto a Ntu, que se define como:

$$Ntu = U A / CP_{\min} \quad (1)$$

Donde U es el coeficiente global de transferencia de calor, A es el área del intercambiador y CP_{\min} es el producto flujo másico – capacidad calorífica, que de los dos fluidos, presente el menor valor.

La efectividad térmica se define como la relación entre el calor que se transfiere, entre la máxima carga de calor que termodinámicamente podría transferirse. En función de temperaturas, esta definición se puede reducir a:

$$\epsilon = (t_1 - t_2) / (T_1 - t_1) \quad (2)$$

donde t_1 y t_2 son la temperaturas de entrada y salida del fluido que presenta el menor producto flujo másico capacidad calorífica, y T_1 es la temperatura de entrada del segundo fluido.

La efectividad térmica deseada en un intercambiador de calor, queda determinada por las condiciones de temperatura de entrada y salida que el proceso requiera o permita. Cuando la efectividad térmica real es mayor que la requerida, existe una oportunidad para optimar el uso de los recursos. Si el fluido de enfriamiento es quien presenta el mayor producto

flujo másico – capacidad calorífica, entonces de la ecuación (1) se puede deducir que la manera de reducir el valor de Ntu y por ende el de ϵ es mediante la reducción del valor de U . El flujo másico del fluido de proceso es fijo por lo que U sólo puede reducirse reduciendo el flujo del fluido de enfriamiento hasta alcanzar el valor de ϵ deseado.

Una vez que el análisis se ha efectuado para cada uno de los intercambiadores existentes en la red, se puede determinar el flujo mínimo total que cumple con el balance de energía y el máximo Δt permitido. Cuando este valor se conoce, es posible determinar la capacidad de bombeo requerida para garantizar este flujo. La comparación de la capacidad de bombeo mínima requerida con la capacidad instalada, indica el potencial para reducir el consumo de energía por bombeo.

Caso de Estudio

La metodología de optimación de sistemas de enfriamiento se aplicó a un caso real. La iniciativa surgió como parte de un programa de ahorro de energía para reducir el consumo de energía eléctrica. En este caso, una fracción importante de la facturación de energía eléctrica se originaba en los costos por bombeo en el sistema de enfriamiento. El sistema consta de un total de cinco bombas. El flujo total de agua de enfriamiento correspondiente a esta capacidad de bombeo es de $2.36 \text{ m}^3/\text{seg}$. La red de intercambiadores consta de más de 30 equipos entre condensadores y enfriadores. El máximo incremento de temperatura permitido es de 10°C .

El análisis del sistema indica que el flujo mínimo de agua de enfriamiento para cumplir con el balance de energía para la capacidad de producción base, es de $1.79 \text{ m}^3/\text{seg}$. Este flujo puede lograrse teóricamente con la operación de menos de cuatro bombas. Claramente los resultados indican que el sistema opera con un exceso de flujo. Al reducir a cuatro el número de bombas, el consumo de energía se redujo en un 20% resultando en un ahorro mensual de \$85,000.00 pesos.

Conclusiones

La retroalimentación de un sistema existente de eliminación de calor en una planta de proceso, requiere la determinación de los flujos mínimos de fluido de enfriamiento que, dada la capacidad instalada de transferencia de calor, permita cumplir con el balance de energía y maximar el incremento de temperatura permitido en función de la capacidad de las torres de enfriamiento.

El análisis térmico y las técnicas de integración de procesos permiten hacer más eficiente el uso de la energía térmica en una planta de proceso. El análisis de las redes de eliminación de calor permiten identificar oportunidades para reducir el consumo de energía eléctrica por concepto de bombeo.

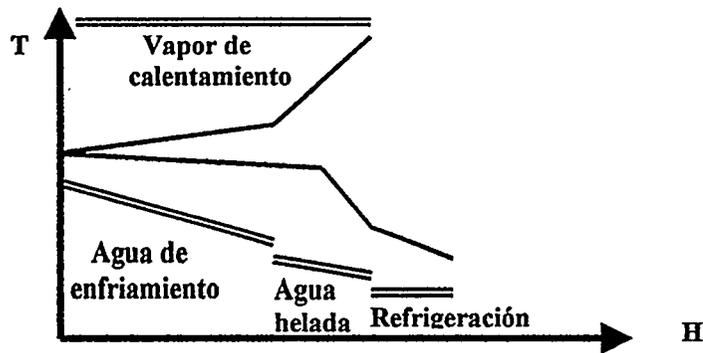


Fig. 4 Gran Curva Compuesta. Distribución de servicios auxiliares en una planta de proceso.

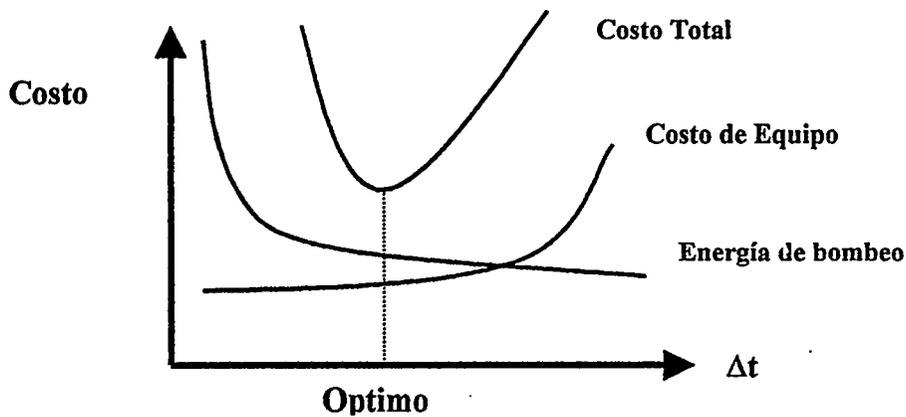


Fig. 5 Optimización del flujo de agua de enfriamiento mediante la minimación de los costos totales de operación.

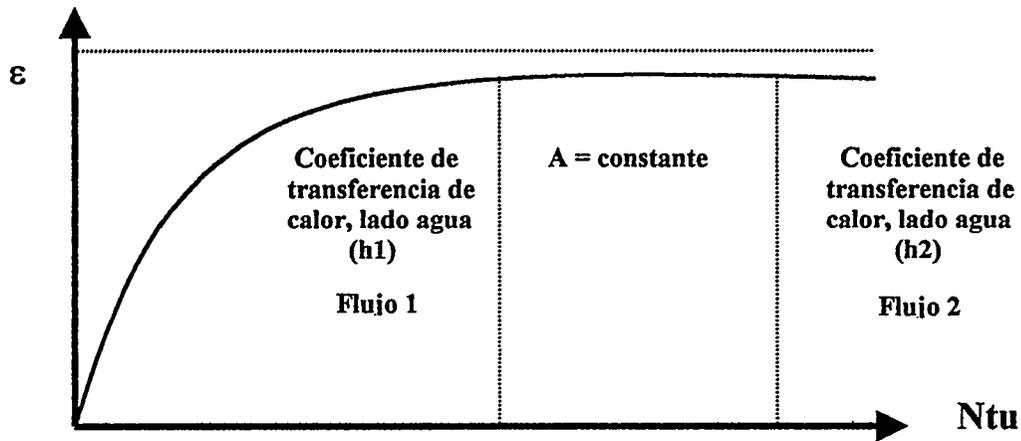


Fig. 6 Variación de la efectividad térmica de un intercambiador de calor en función del número de unidades de transferencia.

Referencias

- 1.- Polley, G.T., Panjeh Shahi, M.H. y Jegede, F.O., "Pressure drop considerations in the retrofit of heat exchanger networks", Trans. IChemE, 68, 211-220 (1990a).
- 2.- Polley, G.T., Panjeh Shahi, M.H., "Process integration retrofit subject to pressure drop constraints", Comp. and Chem Eng., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, (1990b).
- 3.- Picón-Nuñez, M., Polley, G.T., Gibbard, Y., Quillares, L. Y Flores, A., "Eliminación de cuellos de botella en intercambiadores y redes de recuperación de calor", Rev. Información Tecnológica, Vol. 8, No. 5, (1997).
- 4.- Linnhoff, B. Et al, User Guide for Process Integration for the Efficient Use of Energy, IChemE, 1982, Rugby, U.K.
- 5.- Ludwing, E.E., applied Process Design for Chemical and Petrochemical Plants, Volume 2, Gulf Publishing Company, Second Edition, 1979.

SIMULADOR DE CICLO COMBINADO CON TURBINA DE GAS Y DE VAPOR CON UN NIVEL DE VAPORIZACIÓN

B. Del Valle Cárdenas⁽¹⁾, R. Lugo Leyte^{(1) y (2)}, Miguel Toledo Velázquez⁽²⁾, G. Tolentino Eslava⁽²⁾

(1) Universidad Autónoma Metropolitana
Departamento de Ingeniería de Procesos e Hidráulica
México, D.F., C.P. 09340
Tels: 724-4644 y 724-4645, Fax: 724-4900; E-mail: lulr@xanum.uam.mx

(2) Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Laboratorio de Ingeniería Térmica e Hidráulica aplicada
ESIME - IPN - COFFA
Unidad Profesional "Adolfo López Mateos", Edif. 5, 3^{er} piso SEPI - ESIME
Col. Lindavista, México, D.F., 07738
Tel: 729-6000 ext.54256

RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el análisis térmico de un ciclo combinado con turbinas de gas y de vapor con un nivel de vaporización. El análisis se realiza a través de un programa de cómputo, el cual permite simular los ciclos con diferentes condiciones de operación, obteniendo con esto una serie de resultados que permiten conocer la forma en que trabajan estos ciclos al realizar cambios en temperaturas y presiones; además de que es una excelente herramienta para el usuario en termodinámica.

Los simuladores fueron realizados en Borland C++ y Builder C++ Versiones 4.5 y 2.0 respectivamente, creándose así un ambiente amigable para el usuario.

Esta herramienta brinda la oportunidad a todos los usuarios de poder simular ciclos combinados de una manera rápida y sencilla con el fin de obtener una comprensión más amplia de su comportamiento termodinámico.

INTRODUCCIÓN

Cuando se analiza el ciclo de turbina de gas, puede parecer que la eficiencia es relativamente baja, sin embargo como la temperatura de los gases de escape es considerablemente alta, el calor que se desecha con ellos al medio ambiente puede ser recuperado mediante una caldera de recuperación de calor, para proporcionar calor a un proceso o en el caso de éste, trabajo, para transmitir la energía de esos gases a un fluido (agua) para generar vapor y utilizarlo para realizar trabajo en una turbina de vapor.

Los gases de escape de las turbinas de gas, son limpios debido a que los combustores utilizados en ellas requieren combustibles limpios y ligeros (como el gas natural), es decir libres de sustancias corrosivas y por lo tanto de contaminantes; la razón de flujo de aire es alta por esta razón los gases de escape pueden ser usados directamente para aprovechar el calor en muchos procesos.

Con el objetivo de utilizar la energía de los gases de escape de la turbina de gas, surge la idea de realizar un ciclo combinado, con el fin de aprovechar la energía contenida en estos gases y aumentar el rendimiento del ciclo.

Debido a que el análisis térmico del ciclo combinado requiere de un tiempo considerable, se hizo necesario el desarrollo de una herramienta que agilice el análisis de estos ciclos.

CICLO COMBINADO CON RECUPERADOR DE CALOR DE UN NIVEL DE PRESIÓN DE VAPORIZACIÓN

El ciclo se encuentra constituido por una turbina de gas, una de vapor, y una caldera de recuperación de calor con economizador, evaporador y sobrecalentador.

En la figura(1), se presenta el esquema y los datos utilizados para realizar el análisis con el objetivo de tener una metodología a seguir para el desarrollo del simulador.

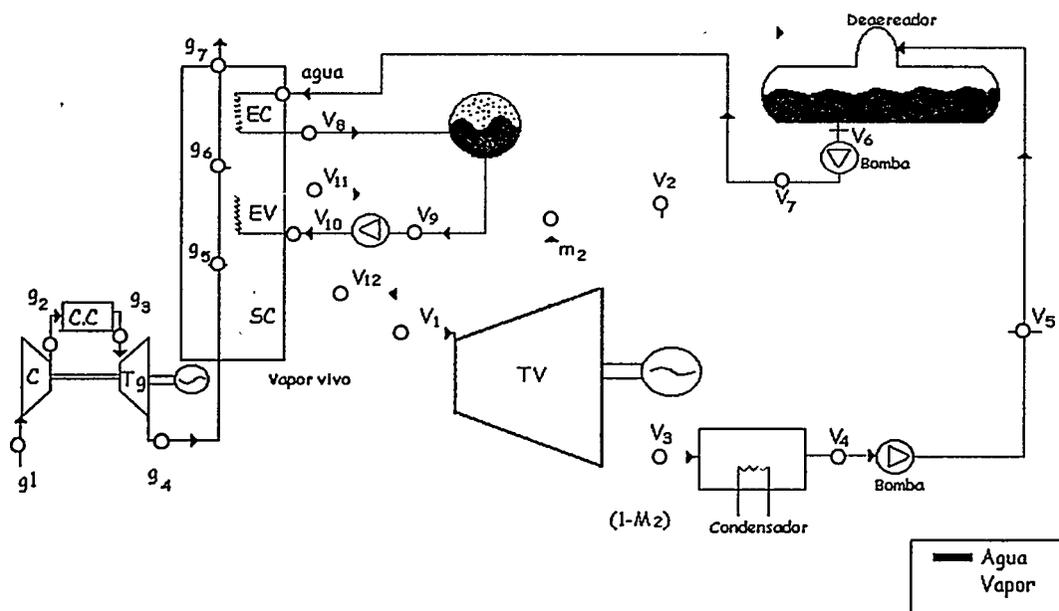


Fig. (1) Representación de un ciclo combinado de turbina de Gas y de vapor con recuperador de calor de una presión de vaporización.

Datos:

Turbina de Gas	Turbina de Vapor
$T_{g4} = 524.19 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T_{v1} = 480 \text{ } ^\circ\text{C}$
$m_{gc} = 232.832 \text{ kg/s}$	$p_{v1} = 33 \text{ bar}$
$Cp_{gc} = 1.1057 \text{ kJ / kg K}$	$\Delta T_{AC} = 44.19 \text{ } ^\circ\text{C}$
	$\Delta T_{pp} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$
$Y_{N2} = 0.70$	$P_{v3} = 0.04 \text{ bar}$
$Y_{CO2} = 0.07$	$\eta_t = 90 \%$
$Y_{H2O} = 0.20$	

MODELO MATEMÁTICO

Antes de realizar el programa, se desarrolló el modelo matemático del ciclo,

En primer lugar se calcularon las propiedades termodinámicas [7] de cada uno de los estados mostrados en la figura (1) para el caso del simulador dichas propiedades se calcularon a través de las formulas IFC(International Formula Comitite), 1967.

Los Balances térmicos utilizados fueron los siguientes:

Balances de Energía.

Economizador.

$$m_g C_{p_g} (T_{g6} - T_{g7}) = m_{v1} (h_{v8} - h_{v7})$$

Evaporador

$$m_g C_{p_g} (T_{g5} - T_{g6}) = m_{v1} (h_{v11} - h_{v10})$$

Sobrecalentador

$$m_g C_{p_g} (T_{g4} - T_{g5}) = m_{v1} (h_{v1} - h_{v12})$$

Sobrecalentador + Evaporador

$$m_g C_{p_g} (T_{g4} - T_{g6}) = m_{v1} (h_{v1} - h_{v8})$$

Toda la caldera de recuperación de calor

$$m_g C_{p_g} (T_{g4} - T_{g7}) = m_{v1} (h_{v1} - h_{v7})$$

Estos balances permitirán calcular los flujos y temperaturas de los gases en el recuperador de calor además de los flujos de calor en el economizador, evaporador y sobrecalentador como se muestra a continuación:

$$Q_{\text{economizador}} = m_g C_g (T_{g6} - T_{g7})$$

$$Q_{\text{evaporador}} = m_g C_g (T_{g5} - T_{g6})$$

$$Q_{\text{sobrecalentador}} = m_g C_g (T_{g4} - T_{g5})$$

$$q_{\text{total}} = Q_{\text{economizador}} + Q_{\text{evaporador}} + Q_{\text{sobrecalentador}}$$

Además se calcula el w_{tv} , η_{ctv} , η_{ccc} , de la siguiente forma:

$$w_{tv} = h_{v1} - (1 - m_{v2})h_{v3} - m_{v2}h_{v2}$$

$$\eta_{ctv} = \frac{w_{tv}}{q_{\text{tot}}}$$

$$\eta_{ccc} = \eta_{ctg} + \eta_{ctv} - (\eta_{ctg} * \eta_{ctv})$$

SIMULACIÓN DEL CICLO COMBINADO CON RECUPERADOR DE CALOR CON UNA PRESIÓN DE VAPORIZACIÓN

En la figura(2) se presenta la pantalla de entrada de datos para el ciclo combinado, la cual tiene controladores para la apropiada entrada de datos de los diferentes componentes del ciclo combinado; por ejemplo si se oprime el botón TURBINA DE GAS este accesa a la pantalla de entrada de datos de la turbina de gas figura (3).

Una vez que se introducen todos los datos, se oprime el botón CALCULAR e inmediatamente muestra la pantalla de resultados, figura (4)

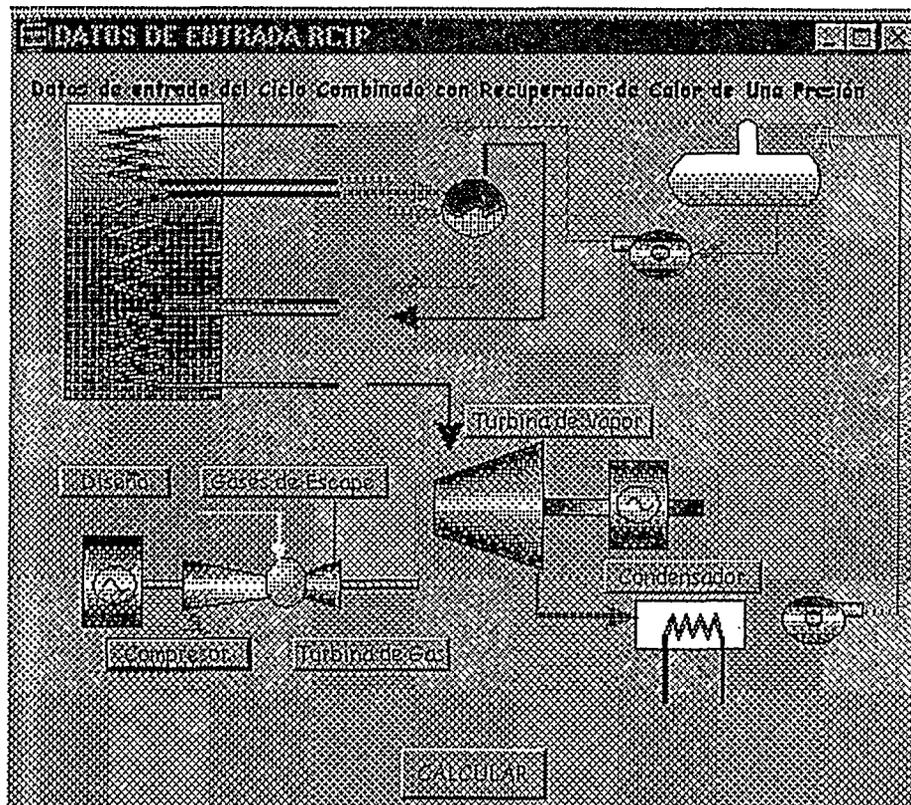


Figura (2) Pantalla de entrada de datos del simulador de ciclo combinado con recuperador de calor de una presión

Datos de entrada de la Turbina de Gas	
Temperatura de entrada:	1000.0
Eficiencia:	90%
Potencia:	70000.0
Coeficiente Isentrópico (k):	1.3

Figura (3) Pantalla de entrada de datos para la turbina de gas

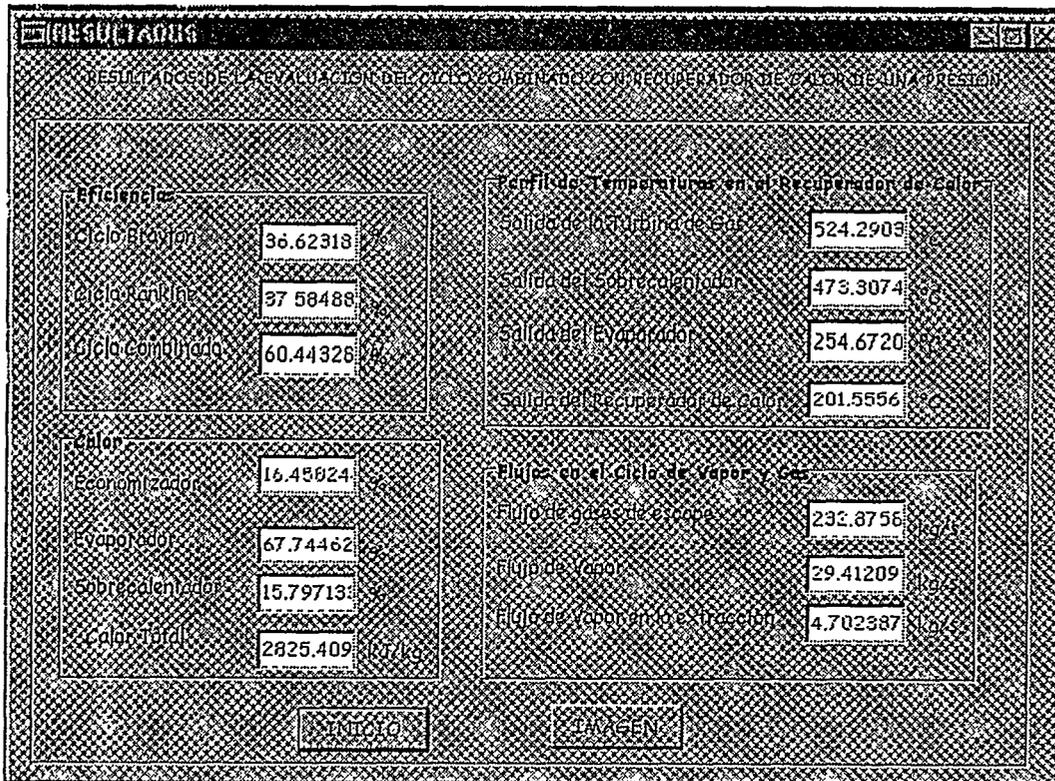


Figura (4) Pantalla de resultados

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR EL SIMULADOR

Con esta simulación se pueden generar una gráfica que muestre el perfil de temperatura en el recuperador de calor, figura (5), además de indicar el porcentaje de calor que se está recuperando en el economizador, evaporador y sobrecalentador.

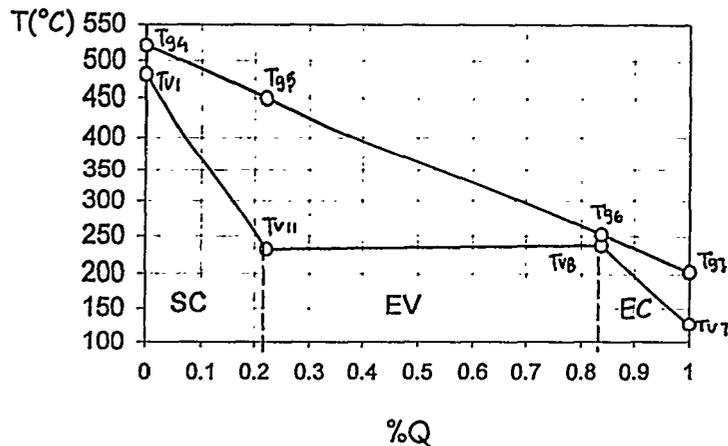


Figura (5) Perfil de Temperaturas en el recuperador de Calor

Como se observa en la figura (5) en el Evaporador es donde se aprovecha la mayor parte de la energía, aproximadamente en un 68% de la energía total recuperada.

Además si se realizan diversas pruebas, se pueden obtener gráficas que indiquen el comportamiento de la eficiencia y el trabajo en la turbina de gas, figura (6) y (7).

En la figura (6) y (7) se observa que a medida que se incrementa la temperatura de entrada a la turbina de gas, aumenta la eficiencia térmica del ciclo de turbina de gas. Además se observa que el trabajo máximo se obtiene a una relación de presiones de aproximadamente 10 y el rendimiento térmico se obtiene a una relación de presiones de aproximadamente 25; se puede realizar un análisis de los resultados obtenidos con anterioridad, si se requiere el máximo aprovechamiento de la energía contenida en el combustible (esto en los países donde el costo de combustible es elevado), se necesitara un equipo con una relación de presiones que proporcione el rendimiento máximo del ciclo; si se requiere que el equipo ocupe un espacio pequeño entonces se podrá elegir un equipo con el máximo trabajo motor, es decir una relación de presiones mas pequeña.

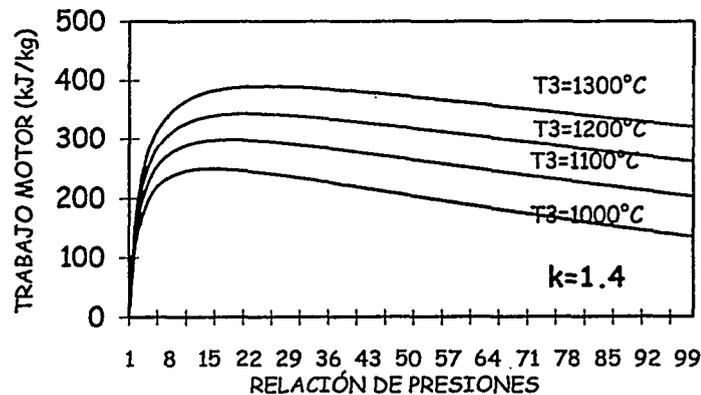


Fig. 6 Trabajo Motor en función de la relación de presiones para diferentes T_{g3}

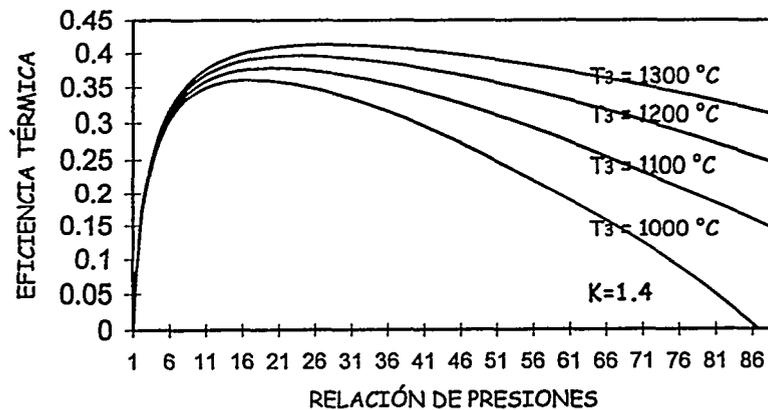


Fig.7 Eficiencia Térmica en función de la relación de presiones para diferentes T_{g3}

En la figura (8) se observa el comportamiento que tiene la eficiencia tanto del ciclo combinado como del ciclo de gas, que a medida que aumenta la temperatura de entrada de la turbina de gas, las eficiencias se incrementan

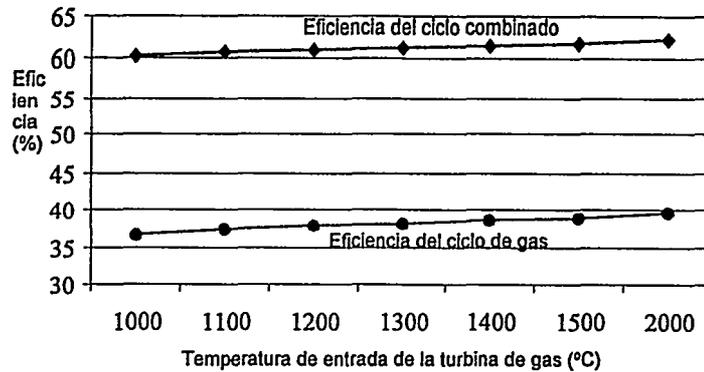


Fig. 8 Eficiencia del ciclo de gas y el ciclo combinado, en función de la temperatura de entrada de la turbina de gas

En la figura (9) se observa que a medida que la temperatura de entrada de la turbina de gas se incrementa, el flujo de gases de escape disminuye y el flujo de vapor se incrementa.

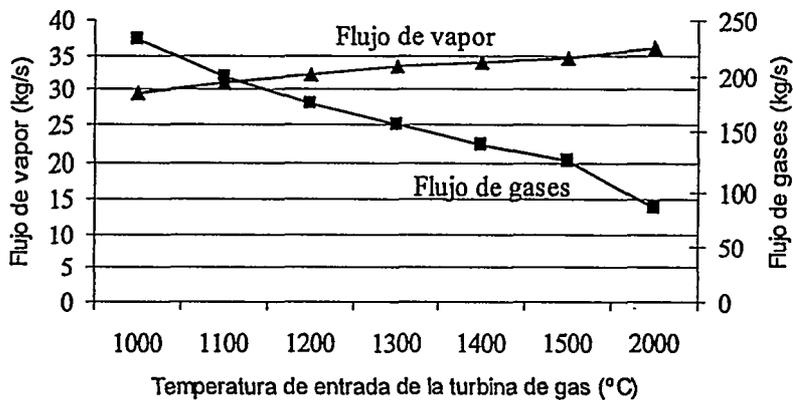


Fig. 9 Flujo de gas y de vapor en función de la temperatura de entrada a la turbina de gas

En la figura (10) se observa que de a medida que se incrementa la presión de entrada a la turbina de vapor, la eficiencia del ciclo de vapor y del ciclo combinado se incrementa.

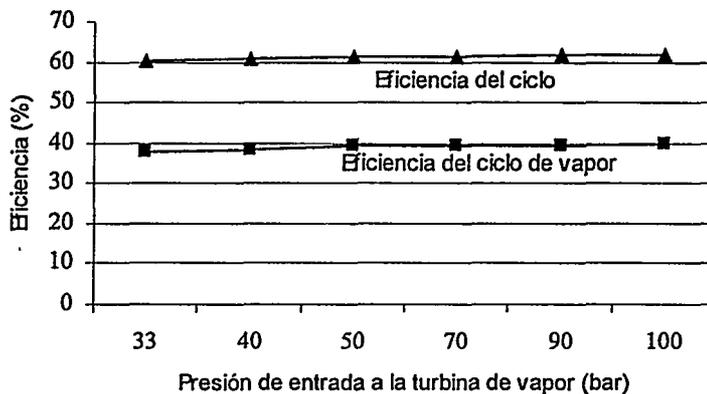


Fig. 10 Eficiencia del ciclo de vapor y el ciclo combinado, en función de la presión de entrada de la turbina de vapor

CONCLUSIONES

Es importante contar siempre con un programa de computo para poder realizar simulaciones del ciclo combinado con diferentes condiciones de operación con el fin de realizar estudios a detalle de la manera en la que trabajan las centrales de ciclo combinado.

Apoyándose con este simulador para su PC, se podrán realizar simulaciones con un gran contenido de factibilidad en los resultados, debido a que se estimó una precisión en las tablas de vapor de un $\pm 5\%$, por lo tanto los resultados que el usuario obtenga son bastante confiables.

Además de obtener resultados confiables con este simulador, usted encontrará una manera sencilla de realizar sus evaluaciones, debido a que el programa se desarrolló en un ambiente amigable.

REFERENCIAS.

- [1] Documento de ciclo combinado expuesta en este proyecto (capítulos 1,2,3 y 4), Del Valle Cárdenas Beatriz, 1998.
- [2] Aprendiendo programación orientada a objetos con C++, Perry, Greg, Prentice Hall, 1995.
- [3] Visual C++ in 12 easy lessons, Greg, Perry, Prentice Hall 1996.
- [4] Manual de Borlan C++ 4.0, Chris Pappas H, 1993
- [5] Builder C++ Explorer1.0, Jennings, Prentice Hall 1997.
- [6] Visual C++ Construction Kit, Perry, Prentice Hall, 1994.
- [7] Tablas de Vapor: Propiedades Termodinámicas del agua y el vapor, Formula IFC (International Formula Committee) 1967
- [8] Paul A. Grenier, ABB Combustion Engineering Systems, Calderas de recuperación eficaces, componentes clave de centrales de ciclo combinado económicas, Revista ABB No.9, 1993.
- [9] B.M. Troyanovski, Combined Cycle Installations with Three-Pressure Steam Turbines, Thermal Engineering, Vol.42, No. 1, 1995.
- [10] Plancherel, Combined Power Plant, Revista ABB, No.8, 1993.
- [11] André Houberechts, La Thermodynamique Technique (Tables et Diagrammes Thermodynamiques). editorial Vander, 1989
- [12] Jonh L. Boyen, Practical Heat Recovery, Editorial WILEY INTERSCIENCE, Canadá, 1995.
- [13] V.Ganapathy, Waste Heat Boiler Desbook, Editorial Prentice Hall, 1991.
- [14] V.Ganapathy, Effective Use of Heat Recovery Steam Generator, Engineering Practice Chemical Engineering January 1993.

NOMENCLATURA

T_{g1}	=	Temperatura del aire a la entrada del compresor [°C].
T_{g2}	=	Temperatura del aire a la entrada de la cámara de combustión [°C].
T_{g3}	=	Temperatura de los gases de entrada a la turbina de gas [°C].
T_{g4}	=	Temperatura de los gases de escape a la salida de la turbina de gas [°C].
T_{g2s}	=	Temperatura ideal de entrada a la cámara de combustión [°C].
T_{g4s}	=	Temperatura ideal de los gases de escape real a la salida de la turbina [°C].
p_{g1}	=	Presión del aire a la entrada al compresor [bar].
p_{g2}	=	Presión del aire de entrada a la cámara de combustión [bar].
p_{g3}	=	Presión de los gases de entrada de la turbina de gas [bar].
p_{g4}	=	Presión de los gases de escape a la salida de la turbina de gas [bar].
π_c	=	Relación de presiones del compresor.
π_t	=	Relación de presiones de la turbina de gas.
η_{sic}	=	Eficiencia isoentrópica del compresor.
η_{sit}	=	Eficiencia isoentrópica de la turbina de gas.
η_{pic}	=	Eficiencia politrópica del compresor.
η_{pit}	=	Eficiencia politrópica de la turbina de gas.
CAP	=	Caídas de presión.
k	=	Coefficiente isoentrópico.
n	=	Coefficiente politrópico.
w_{tg}	=	Trabajo motor de la turbina de gas [kJ/kg].
w_{cg}	=	Trabajo suministrado a el compresor [kJ/kg].
w_{mg}	=	Trabajo realizado por el ciclo Joule [kJ/kg].
q_{sg}	=	Calor suministrado al ciclo Joule [kJ/kg].
m_g	=	Flujo de aire en el ciclo Joule [kg/s].
p_{tg}	=	Potencia de la turbina de gas [kJ/s].
η_{tg}	=	Eficiencia térmica del ciclo termodinámico de Joule.

Ciclo combinado con recuperador de calor con una presión de vaporización.

T	=	Temperatura	[°C].
p	=	Presión	[bar].
h	=	Entalpía	[kJ/kg].
s	=	Entropía	[kJ/kgK].
v	=	Volumen específico	[m ³ /kg].
q	=	Calor por unidad de masa	[kJ/kg].
Q	=	Flujo de calor	[kJ/s].
w	=	Trabajo por unidad de masa	[kJ/kg].
W	=	Potencia	[kJ/s].
m_1	=	Flujo de vapor	[kg/s]
m_2	=	Flujo de vapor extraído	[kg/s].
ΔT_{PP}	=	Diferencia de temperaturas de Pinch Point.	
ΔT_{AC}	=	Diferencia de temperaturas de aproximación caliente.	
ΔT_{AF}	=	Diferencia de temperaturas de aproximación fría.	

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS CAÑERAS COMO COMBUSTIBLE EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN MODERNOS APLICADOS A INGENIOS.

Ing. Eduardo H. Buendía Domínguez
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Ing. Odón de Buen Rodríguez
Comisión Nacional para el Ahorro de la Energía

RESUMEN

En consideración al nuevo marco jurídico de la cogeneración en México se ha evaluado la posibilidad de que el suministro de calor y electricidad requerido por los ingenios azucareros sea proporcionado por un cogenerador independiente de la planta de azúcar, el cual opere utilizando el bagazo y residuos agrícolas cañeras (biomasa cañera). Dicho *cogenerador moderno* se caracterizaría, además de operar de manera independiente a la planta de azúcar, por el uso de equipos de alta eficiencia en su proceso de producción de calor y electricidad. En este sentido la CONAE a través de la Coordinación de Programación y el IIE realizaron un trabajo en conjunto para determinar la viabilidad técnica y económica de que la industria azucarera pueda mantener la producción actual de azúcar, sin tener necesidad de consumir combustóleo, instalando aledaño a cada ingenio, un sistema de cogeneración moderno, operado por productores independientes, que utilizando el bagazo y los residuos agrícolas cañera, permita suministrar todo el vapor y la electricidad requerida por la fábrica de azúcar y, además, pueda suministrar capacidad firme y energía eléctrica a la red nacional, tanto en período de zafra como fuera de zafra.

INTRODUCCIÓN

Los países productores de caña de azúcar tienen el privilegio de disponer de una producción agrícola de múltiples aplicaciones que permiten enfrentar agudos problemas económicos-sociales que impone el mundo moderno y que inciden de forma decisiva en su desarrollo.

Para ello es indispensable el uso integral y diversificado de toda la materia orgánica creada por la energía del sol durante el crecimiento de la planta utilizando desde los tallos, hojas verdes y secas, cogollos y mamones (caña que no se pudo desarrollar), que representan un valioso potencial de biomasa primaria, renovable anualmente.

El empleo de estos residuos agrícolas de la caña (RAC), como fuente de energía, constituye una vía interesante para la autosuficiencia energética considerando la aplicación de sistemas modernos de cogeneración. En México la recuperación de los RAC ha estado limitada, entre otras razones porque se utilizan tecnologías en la cosecha de la caña que incluyen la "quema" antes del corte y la "requema" después del mismo (durante el proceso de corte de la caña quemada quedan residuos de hojas y el cogollo de la caña las cuales son apiladas y nuevamente son quemadas). Según estimaciones del Colegio de Postgraduados en ciencias agrícolas Campo Córdoba Veracruz, anualmente se queman 700,000 hectáreas y de éstas se requeman 600,000 hectáreas. Además de los problemas de contaminación que se produce por este tipo de cosecha, el suelo tiende a volverse improductivo ya que casi no queda materia orgánica en el suelo lo cual hace necesario el uso de fertilizantes. Por esta razón se considera importante que se modifique el sistema de cosecha, empleando el corte de la caña en verde. Bajo este sistema se podría aprovechar parte de los residuos en los sistemas de cogeneración para su combustión y otra parte quedaría dispersa en el campo en aras de obtener rendimientos satisfactorios en la cosecha de la caña ya que se alimenta el campo de materia orgánica (se incrementaría hasta 5% la materia orgánica), reduciendo el uso de fertilizantes. En estudios realizados en el Colegio de Postgraduados en ciencias agrícolas, el rendimiento se incrementaría de 70-130 toneladas de caña por hectárea que se tiene actualmente, a 150-175 toneladas de caña por hectárea.

En países como Cuba y Colombia, se ha reducido la quema de caña, empleando el corte mecanizado de la caña verde y utilizando instalaciones estáticas para el transbordo y limpieza en seco de la caña, denominados centros de acopio o estaciones de limpieza. En el caso concreto de Colombia se tiene contemplado que para el año 2005 se prohibirá la quema de la caña de azúcar y en Estados Unidos actualmente se tiene prohibida dicha quema.

En México, en algunos ingenios, se ha buscado motivar a los agricultores para el corte de la caña en verde, para lo cual se han realizado trabajos para mejorar el cultivo de la caña, evitando las espinillas (ahuates) que se producen y que lastiman a las personas que realizan el corte. En algunos casos se les hace un pago adicional de \$5.00/tonelada de caña y además no es necesario que el camión con la caña, se forme para entrar al ingenio (en el caso de la caña quemada los camiones llegan a estar formados hasta 12 horas para entrar al ingenio). La caña se quema bajo un programa establecido y se tienen inspectores para su control; en el caso de que un plantío se queme fuera de programa ya sea por un accidente o un incendio provocado, al agricultor se le castiga reduciendo un 10% del precio por tonelada de caña y fijando un máximo de 72 horas para recibir dicha caña; en caso de no cumplir con este plazo, la caña deja de utilizarse.

PRUEBAS DE CORTE DE CAÑA EN VERDE Y QUEMADA

Considerando la importancia de la cosecha en verde y del aprovechamiento de los residuos agrícolas se realizaron pruebas de campo en un ingenio al sur del país en diferentes zonas de plantío, con la finalidad de evaluar la cantidad de residuos aprovechables. Las consideraciones para la realización de estas pruebas fueron: a) Selección de una área de 6 surcos de 12 metros que equivale a 86 m², b) Se seleccionaron tres tipos de plantíos: 1600 mm de nivel pluvial anual, 800 mm de nivel pluvial anual y menor a 800 mm de nivel pluvial anual, c) Se realizaron tres repeticiones para cada caso, d) Las pruebas se realizaron bajo tres condiciones del corte de la caña: con caña quemada, con caña verde y con cosechadora.

La prueba consistía en realizar los cortes de la caña y separar la caña cruda, caña seca, mamones (caña no desarrollada), cogollo y hojas. Cada uno de los residuos se pesaban, obteniéndose un promedio de las tres repeticiones. Para el caso de la cosechadora, se recolectaba toda la caña y en un segundo proceso se separaba los residuos de la caña para molienda. Aún cuando las pruebas se realizaron en una área de 86 m², se realizaba una extrapolación para obtener las toneladas de caña o residuos por hectárea. En las tablas 1, 2 y 3 muestran un resumen de los resultados de las pruebas.

Tabla 1.- Cantidad de biomasa cosecha en verde por hectárea

PRECIPITACIÓN ANUAL mm	CAÑA CRUDA t/Ha	RESIDUOS AGRÍCOLAS, t/Ha				TOTAL t/Ha
		COGOLLO	CAÑA SECA	MAMONES	HOJAS	
1600	95.1	13.77	4.1	7.5	9.8	130.27
800	70.8	6.1	2.8	0.8	8.8	89.3
MENOR 800	62.2	5.2	7.8	0.8	8.8	84.8

Tabla 2.- Cantidad de biomasa cosecha quemada por hectárea

PRECIPITACIÓN ANUAL mm	CAÑA CRUDA t/Ha	RESIDUOS AGRÍCOLAS, t/Ha				TOTAL t/Ha
		COGOLLO	CAÑA SECA	MAMONES	HOJAS	
1600	73.8	7.1	1.7	7.1	1.9	94.6
800	73.6	4.0	0.9	0.7	0.8	80.0
MENOR 800	53.7	1.8	0.7	1.0	1.9	59.1

Tabla No. 3 Rendimiento del plantío

PRECIPITACIÓN ANUAL mm	COSECHA EN VERDE t/Ha			COSECHA QUEMADA t/Ha		
	Caña cruda	RAC	Total	Caña cruda	RAC	Total
1600	95.1	35.2	130.3	73.8	20.8	94.6
800	70.8	18.5	89.3	73.6	6.4	80.0
MENOR 800	62.2	22.6	84.8	53.7	5.4	59.1

De las tablas se observa que cuando la zona del plantío es húmedo aumenta el rendimiento hasta en un 45%. Cuando la cosecha se realiza en verde se tiene una recuperación de residuos de 20 a 27%, mientras que si la cosecha se realizada bajo el proceso de quemado, estos residuos varía entre 8 y 22%, dependiendo de la zona del plantío. En general el 85% de los plantíos en México, tienen un rendimiento entre el 47 y 90 toneladas de caña por hectárea y el 15% restante se encuentra el rendimiento entre 100 y 130 toneladas de caña por hectárea. De aquí se puede concluir que aún cuando se tiene un buen porcentaje de plantíos en zonas de gran humedad, el decremento del rendimiento se deberá a la quema y requema de la caña, ya que con estos procesos se elimina la materia orgánica disponible. Al tener una menor producción de caña para molienda, se tiene una menor producción de bagazo, razón por la cual se debe consumir combustóleo. El 43% de los ingenios consumen entre 1.5 y 15 litros de combustóleo por tonelada de caña, el 33 % consume entre 16 y 25 litros de combustóleo por tonelada de caña y el 24% consume de 26 a 38 litros de combustóleo por tonelada de caña. Estos resultados indican la necesidad de aprovechar en un mayor porcentaje los residuos agrícolas, llevando a cabo la cosecha verde, por lo que sería necesario eliminar la quema y requema de los plantíos.

ALMACENAMIENTO DE LA BIOMASA CAÑERA

Debido a que la operación en los ingenios se lleva a cabo en períodos que oscilan entre 3 y 6 meses por el carácter cíclico de la industria azucarera, las industrias de derivados que utilizan el bagazo como materia prima se ven obligados a almacenar grandes cantidades que les permitan operar ininterrumpidamente durante todo el año. El almacenamiento del bagazo por lo tanto adquiere una importancia cada vez mayor ante las perspectivas de su uso en los sistemas modernos de cogeneración.

Existen diferentes métodos de almacenamiento dependiendo su selección del tipo de producción que se trate, de la tecnología empleada, de las características técnicas del ingenio suministrador y de muchos otros factores. En general los métodos de almacenamiento pueden ser divididos en dos grupos: compactado (pacas) y a granel. Desafortunadamente la información disponible desde el punto de vista tecnológico no es todavía lo suficientemente confiable para permitir una evaluación comparativa de ambos métodos. Existe además opiniones contradictorias sobre índices de pérdidas y otros tipos de afectaciones, lo que contribuye a crear más incertidumbre sobre la eficacia de uno u otro método.

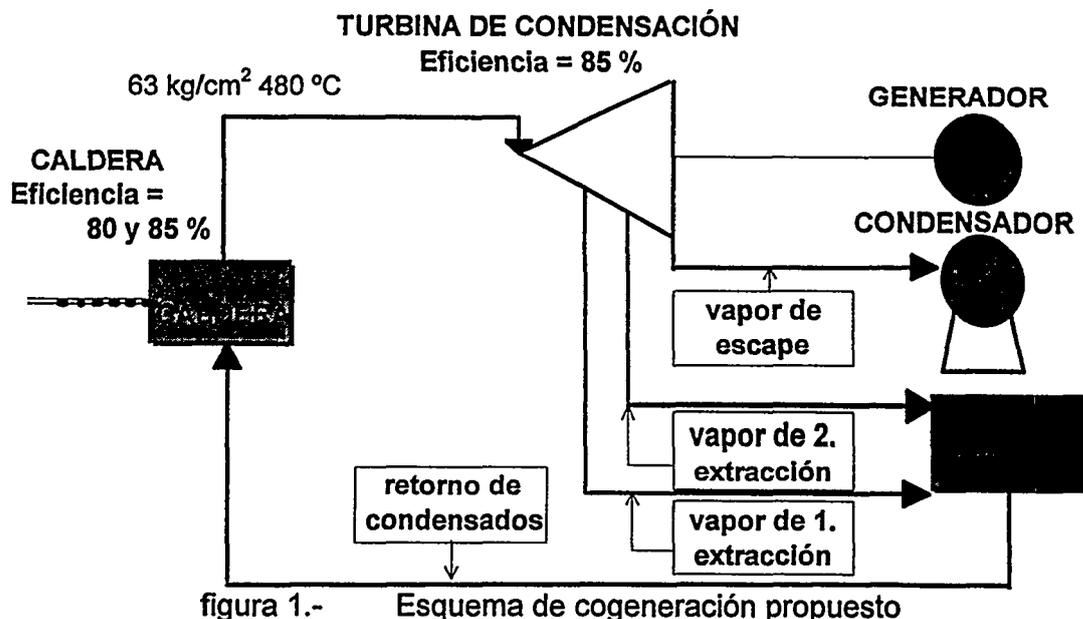
De la información disponible, se puede mencionar que la mayoría de los países utilizan el sistema de almacenamiento a granel ya sea almacenando el bagazo a cielo abierto o en bodegas que cubran el material de los fenómenos meteorológicos, en donde en un radio de 58 metros y una altura de 21 metros se pueden almacenar hasta 80,000 toneladas de bagazo. Existen casos como el de Australia en donde utilizan silos para almacenar el bagazo, sin embargo para adoptar este sistema necesario realizar una evaluación económica para determinar su factibilidad. Para resolver los problemas de formación de polvos por la presencia de vientos en la zona de almacenaje, es necesario que se riegue continuamente agua con tratamiento microbiológico, sin afectar la humedad del bagazo con la que va a llegar la caldera ya que esta humedad por medios naturales se reduce en 1% por cada semana de almacenaje. Por otro lado es necesario que el bagazo no alcance temperaturas por encima de los 74 °C ya que se puede producir autoignición. Para el caso de empacar el bagazo se tendrían costos adicionales en el almacenaje que irían desde la formación de pacas hasta la realización del proceso de presecado, por esta razón se dejaría como una de las últimas alternativas a considerar en el proceso de almacenaje de bagazo. En México se tienen experiencias de almacenamiento de bagazo a granel en bodega en la industria papelera ya que utiliza el bagazo como materia prima para la producción de papel.

APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA COMO COMBUSTIBLE EN SISTEMAS MODERNOS DE COGENERACIÓN

En consideración al nuevo marco jurídico de la cogeneración en México se ha evaluado la posibilidad de que el suministro de calor y electricidad requerido por los ingenios sea proporcionado por un cogenerador independiente de la planta de azúcar, el cual opere aprovechando en forma óptima la biomasa cañera (residuos agrícolas y bagazo), con la finalidad de evitar el consumo de combustible fósil en periodo de zafra y no zafra. Dicho *cogenerador moderno* se caracterizaría, además de operar de manera independiente a la planta de azúcar, por el uso de equipos de alta eficiencia en su proceso de producción de calor y electricidad, logrando con ello ahorros significativos de energía.

Con el objeto de evaluar las posibilidades de ahorro de energía que se tendría en los ingenios de México mediante el mencionado *cogenerador moderno*, se realizaron cálculos aplicando sistemas de cogeneración basados en datos de siete ingenios nacionales. La determinación de dicho ahorro de energía se basó en la siguiente metodología:

a).- El sistema de cogeneración seleccionado considera el uso de una caldera eficiente (85%) de 63 kg/cm² y una temperatura de 480 °C y una turbina a condensación de doble extracción (ver figura 1). La primera extracción es para satisfacer las necesidades de energía para los turbomolinos y la segunda extracción es para satisfacer el proceso. Para el caso de zafra se deja que una parte del vapor se vaya al condensador para evitar el problema de calentamiento de la unidad en las últimas etapas de la turbina. Esta cantidad de vapor es de aproximadamente 6% del total de vapor a manejar. En el caso del periodo de no zafra, casi todo el vapor iría a condensación, ya que una parte del mismo vapor se utilizaría para el deareador y otra parte se utilizaría para los calentadores de agua de alimentación. En el cálculo se asume que en el periodo de zafra hay recuperación de condensados del proceso de producción de azúcar a 100°C y por lo tanto durante este periodo no se requiere de energía para precalentamiento de agua de alimentación a calderas. Para el periodo de no zafra se considera un requerimiento de energía para precalentamiento de agua de alimentación.



b).- El tamaño de la unidad generadora de energía eléctrica se determinó con base en la satisfacción de las necesidades de energía térmica durante el periodo de zafra, es decir, en función de las toneladas de vapor que requiere el proceso de fabricación de azúcar, se evaluó cuanta energía eléctrica es capaz de producir considerando las extracciones necesarias. Para el caso de no zafra, se evaluó si con la biomasa disponible es posible generar una cantidad de energía eléctrica similar a la obtenida en el periodo de zafra.

c).- Con el fin de evitar el consumo de combustible fósil tanto en periodo de zafra y como en el de no-zafra, se evaluó la posibilidad de aprovechar los RAC como combustible. Anteriormente se mencionó que se tiene una disponibilidad hasta del 27% de RAC por tonelada de caña cosechada, sin embargo no todo estos RAC se recomienda que se utilice para su combustión ya que parte de la misma debe quedar en el campo como materia orgánica y aumentar su rendimiento de producción. En el caso de que el sistema de cogeneración demande el total de RAC, entonces será necesario la utilización de fertilizante o composta en el campo en sustitución de los residuos.

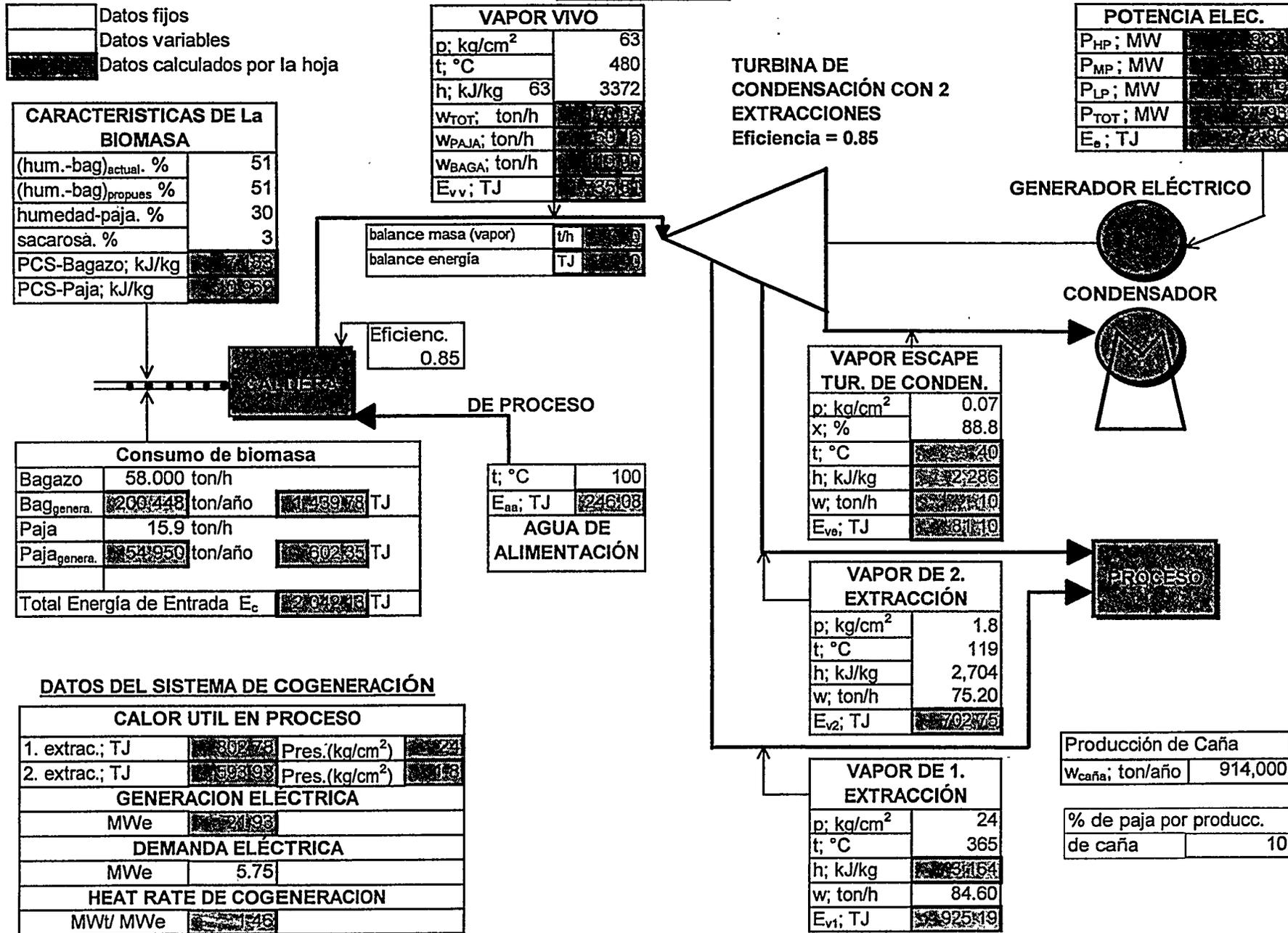
d).- En el análisis realizado, consideró la diferencia entre la energía eléctrica autogenerada y la energía eléctrica comprada a la red. Esta diferencia se toma en cuenta debido a que una de las ventajas de este nuevo sistema de cogeneración es evitar la compra de energía, lo cual se transforma en ahorros energéticos y económicos.

Para facilitar el cálculo del potencial de cogeneración en los mencionados siete ingenios se elaboró una hoja de cálculo en Excel. El análisis consistió en asumir que el cogenerador moderno opera haciendo solamente uso de la biomasa cañera y sin el uso de combustible fósil adicional. En las figuras 2 y 3 muestran un ejemplo de la evaluación realizada para un ingenio. En la tabla 4 muestra un resumen de los resultados de la evaluación técnica para cada ingenio.

1. ESQUEMA DE COGENERACIÓN: Caldera de 63 kg/cm² y 480 °C, turbina de condensación con dos extracciones, *período de zafra*

INGENIO A

Figura 2



2. ESQUEMA DE COGENERACIÓN: Caldera de 63 kg/cm² y 480 °C, turbina de condensación con dos extracciones, *período de NO zafra*

INGENIO A

Figura 3

	Datos fijos
	Datos variables
	Datos calculados por la hoja

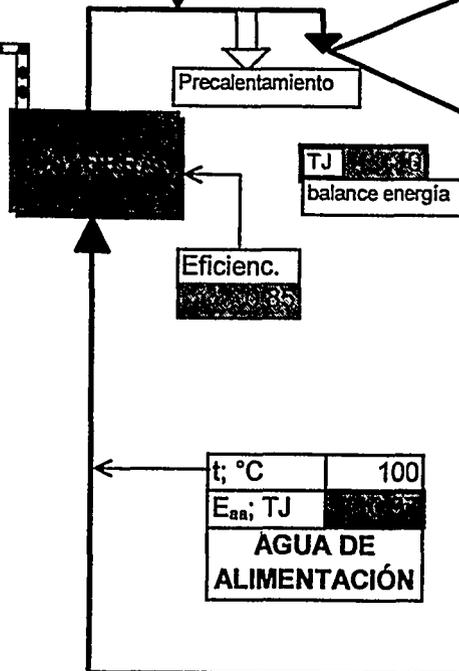
CARACTERÍSTICAS DEL COMBUSTIBLE	
humedad-baga: %	
humedad-paja: %	
sacarosa: %	
PCS-Bagazo; kJ/kg	
PCS-Paja; kJ/kg	

VAPOR VIVO	
p; kg/cm ²	63
t; °C	480
h; kJ/kg	63 3,372
W _{TOT} ; ton/h	
W _{PAJA} ; ton/h	
W _{BAGA} ; ton/h	
E _{VV} ; TJ	

TURBINA DE CONDENSACIÓN CON 2 EXTRACCIONES
Eficiencia = 0.85

POTENCIA ELEC.	
P _{TOT} ; MW	
E _e ; TJ	

USO DE BAGAZO			
Bag _{nozafra}		ton/año	TJ
Bag _{genera.}		ton/año	TJ
Bagazo		ton/h	
Bagazo para precalentamiento	3.01	ton/h	
USO DE PAJA			
Paja _{nozafra}		ton/año	ton/h
Paja _{genera.}		ton/h	TJ
Paja _{entra.}	7.30	ton/h	
Paja para precalentamiento	0.00	ton/h	
Total Energía de Entrada E _c			TJ
PRODUCCIÓN TOTAL DE BIOMASA			
Paja _{TOT}		ton/año	
Bag _{original}	299,000	ton/año	
Bag _{modific.}		ton/año	TJ
CONSUMO TOTAL DE BIOMASA			
Bag.		ton/año	TJ
Paja		ton/año	TJ
DURACION DE LOS PERÍODOS			
Zafra	193	días	h
Pérdidas	49	días	h
Zafra-Efec.		días	h
Mantenimien.	20	días	h
No-Zafra-Efec.		días	h



VAPOR ESCAPE TUR. DE CONDEN.	
p; kg/cm ²	0.07
x; %	88.8
t; °C	
h; kJ/kg	
w; ton/h	
E _{ve} ; TJ	

DATOS DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN	
GENERACION ELÉCTRICA	
MWe	
HEAT RATE	
MW/ MWe	

ENERGÍA PARA PRECALENTAMIENTO	
E _{pre} ; TJ	

Excedente bagazo;		ton/año
Excedente paja;		ton/año

Tabla No. 4 Resumen de la situación energética de los ingenios

SITUACIÓN ENERGÉTICA EN PERIODO DE ZAFRA

Ingenios	Caña para molienda t/año	Prod. de azúcar t/año	RAC por ton. de caña %	Combustible		Energía Eléctrica		Eficiencia de Cogeneración %
				Bagazo t/año	RAC t/año	Proceso kW	Exportación kW	
Ingenio A	914,000	76,530	10	200,448	54,950	5,750	16,000	69
Ingenio B	513,880	38,088	25	109,690	36,192	6,530	22,000	71
Ingenio C	1,492,178	154,931	11.5	282,989	91,392	5,780	30,000	69
Ingenio D	481,586	40,953	10	101,734	23,280	3,160	9,600	66
Ingenio E	90,500	80,644	19	154,800	95,976	3,040	28,500	71
Ingenio F	467,241	31,358	19	76,930	40,608	2,040	20,000	72
Ingenio G	883,605	78,239	10	159,840	51,504	2,580	14,600	68

SITUACIÓN ENERGÉTICA EN PERIODO DE NO-ZAFRA

Ingenios	Caña para molienda t/año	Prod. de azúcar t/año	RAC por ton. de caña %	Combustible		Energía Eléctrica		Eficiencia de Cogeneración %
				Bagazo t/año	RAC t/año	Proceso kW	Exportación kW	
Ingenio A	914,000	76,530	10	98,552	36,450	0	21,900	29
Ingenio B	513,880	38,088	25	32,000	92,278	0	24,500	29
Ingenio C	1,492,178	154,931	11.5	142,879	80,208	0	35,300	29
Ingenio D	481,586	40,953	10	84,908	24,879	0	12,800	29
Ingenio E	90,500	80,644	19	119,521	75,974	0	31,100	29
Ingenio F	467,241	31,358	19	109,970	48,168	0	22,250	29
Ingenio G	883,605	78,239	10	104,660	88,361	0	17,500	29

RESULTADOS DEL CÁLCULO DE COGENERACIÓN EN SIETE INGENIOS

- ⇒ Con el bagazo existente y utilizado de un 10 a 19% de los RAC disponible, resulta suficiente para abastecer el 100% de la energía térmica y eléctrica del ingenio durante el período de zafra y no zafra sin tener que usar combustóleo y teniendo además una potencia eléctrica excedente promedio de aproximadamente 20 MW para ingenios cuya capacidad de producción de azúcar es mayor a las 30,000 toneladas al año.
- ⇒ Con el sistema de cogeneración propuesto se obtienen los siguientes valores de eficiencia global del ciclo:

Para el período de zafra (operando como cogenerador): 69 %
 Para el período de no zafra (operando solo para suministro eléctrico): 29%.

EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR PARA UN SISTEMA MODERNO DE COGENERACIÓN EN INGENIOS

Con la finalidad de evaluar la viabilidad económica preliminar de un sistema de cogeneración moderno, se seleccionó un ingenio con las siguientes características:

Capacidad Instalada:	20 MW
Vapor Generado :	767,765 t/año
Energía eléctrica para exportación:	114,980 MWh/año
Consumo de combustóleo actual:	18'425,250 litros/año

Con estos datos se realizó el siguiente análisis de costos y beneficios:

a) COSTOS

Con base a experiencias en proyectos similares a nivel internacional, a continuación se muestra un resumen de las inversiones y costos a incurrir:

Inversión (incluyendo equipo anticontaminación)	\$ 30,060,000 dlls
Costos de operación y mantenimiento:	
Fijos: \$13.82 dlls/kW	
Variables \$ 0.79 dlls/kW	
TOTAL O&M:	\$292,000 dlls/año

En cuanto a los costos incurridos por el combustible se propusieron dos criterios para su evaluación: 1) Establecer un valor equivalente al costo del combustible fósil, 2) No considerar un valor del bagazo y cobrarle al ingenio por la toneladas de vapor que requiere para su proceso, un valor equivalente al que están gastando actualmente por consumo de combustóleo y de operación y mantenimiento. Para el análisis propuesto, se consideró el segundo criterio.

b) BENEFICIOS

- a).- Uno de los principales beneficios del cogenerador independiente es la venta de exportación de la energía eléctrica, por lo que para este caso se consideró un precio de venta de energía eléctrica de \$0.03 dólares/kWh. Este valor se propone con base a la información que se ha venido

trabajando en la Subcomisión para promover proyectos de cogeneración organizado por la CONAE. Por lo tanto los beneficios por la venta de energía eléctrica son de: \$ 3'449,400.00/año dlls

En este beneficio no se considera la venta de la energía eléctrica que requiere el ingenio durante su proceso de fabricación de azúcar.

- b).- Otro de los beneficios sería la venta de vapor al ingenio. Esta venta se haría únicamente considerando los costos en que actualmente está incurriendo el ingenio. Para determinar este precio se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

De acuerdo a experiencias del IIE en otros proyectos similares, el costo del vapor esta formado en un 70% por gastos de combustible y el 30% restante por consumo de agua, operación y mantenimiento. Esto significa que una parte del vapor generado por la planta debe de considerar el consumo de combustóleo y otra parte nada más considera los costos de operación y mantenimiento.

- c) Tomando en cuenta los siguientes criterios: 1 tonelada de bagazo equivale a 354 litros de combustóleo y un costo de combustóleo de \$70 dlls/m³, el costo promedio de vapor generado por el ingenio sería de \$ 6.4 dlls/ton. Para fines de nuestro análisis se consideró una venta del vapor al ingenio de: \$ 6 dlls/ton

Apoyados en una hoja de cálculo en Excel se determinaron los siguiente parámetros económicos:

Parámetros Económicos	
Vida económica del proyecto, años	10
*Valor del capital, %	9
Tiempo de operación, horas/año	8280
Vapor para exportación t/año	767,765
Capacidad de generación eléctrica, MW	20
Energía eléctrica para exportación, MWh/año	114,980
Venta de energía eléctrica, \$/kWh dlls.	0.03
Venta de vapor, \$/ton vapor dlls	6.0
Inversión, \$ dlls	30'060,000
Tasa Interna de retorno, %	22.89
Relación Beneficio/costo	2.478
Periodo de recuperación de la inversión, años	3.77

* Este valor se considera, de acuerdo a las experiencias de CFE para proyectos de inversión.
*

Aún cuando este análisis no considera los gastos de financiamiento, por el momento el proyecto es viable considerando que la relación beneficio/costo es superior a 1.

CONCLUSIONES

- 1) Existe un gran interés por parte de los responsables de los ingenios para que se establezcan las bases para que en un futuro se elimine la quema de la caña de azúcar, ya que además de que se quema un energético que se puede aprovechar para eliminar el consumo de combustóleo en los ingenios, se tienen problemas de contaminación ambiental (se queman alrededor de 700,000 hectáreas anuales y se requeman 600,000 hectáreas), y se reduce el rendimiento de los plantíos.

- 2) Con la cosecha en verde se garantiza un 27% del total de caña como residuo agrícola, el cual parte se puede aprovechar como combustible para el sistema de cogeneración y otra parte quedaría en el plantío como materia orgánica. Este último proceso ayudaría a incrementar el rendimiento de los plantíos de 150 a 175 toneladas de caña por hectárea
- 3) En cuanto al almacenaje de la biomasa se recomienda el método a granel cubierto, rociado con agua y con tratamiento microbiológico, con la finalidad de eliminar la formación de hongos en el bagazo y prevenir una autoignición.
- 4) El aprovechamiento de los residuos agrícolas en un porcentaje promedio del 15% de la caña cosechada trae consigo la posibilidad de generar energía eléctrica tanto en zafra como en no-zafra sin el consumo de combustible y sin la necesidad de disminuir la humedad del bagazo.
- 5) La utilización de bagazo con su humedad actual (aproximadamente de un 53%), así como de un porcentaje de los residuos agrícolas, podría dar como resultado que la biomasa existente en un ingenio fuera suficiente para abastecer el 100% de la demanda térmica y eléctrica del mismo durante el período de zafra, además de arrojar excedentes eléctricos de alrededor de los 20 MW para el período de zafra y no zafra para ingenios cuya capacidad de producción de azúcar es mayor a las 30,000 toneladas al año.
- 6) Desde el punto de vista económico, en forma preliminar se concluye que la aplicación de los sistemas de cogeneración moderna en los ingenios son un negocio ya que según el análisis anterior, la relación beneficio/costo se da por encima de 1, con un tiempo de recuperación menor que cinco años.

REFERENCIAS

- 1.- Cruz González Víctor (1997), "Generación de electricidad a partir de los residuos de la caña de azúcar", Instituto Nacional de Investigaciones Económicas, Cuba
- 2.- Therdyothin A. et al. (1992), "Evaluation of Alternatives to Increase the Electrical Generation capacity of Thai Sugar Mills", Energy Vol. 17, No. 3 pp.247-254, 1992.
- 3.- Howard Payne, J. (1991), Cogeneration in the cane sugar industry. Sugar series, 12. Elsevier.
- 4.- Macedo Javier, (1986), "Generalidades sobre Lechos Fluidizados", Informe IIE 44020P, junio 1986.
- 5.- Williams R. and Larson E., (1991), "Advanced Gasification-Based Biomass Power Generation and Cogeneration", International Symposium on Environmentally Sound Energy Technologies and their Transfer to Developing Countries and European Economies in Transition, Milan, Italy, Oct. 21-25, 1991.
- 7.- USAID/New Delhi, (1993), "Advancing Cogeneration in the Indian Sugar Industry", Report No. 93-00, Prepared by Winrock International and International Development and Energy Associates, Inc., USAID/New Delhi.

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

LA OPTIMIZACION DE LAS TECNICAS DE REPARACION DE MOTORES ELECTRICOS COMO UN MEDIO PARA AHORRAR ENERGIA ELECTRICA

FIDEICOMISO PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELÉCTRICA (FIDE)

AUTOR: ING. JUAN RUBEN ZAGAL LEON
LEON TOLSTOI No. 22, 3er. PISO
COL. ANZURES
MEXICO, D.F.
TEL: 2 54 30 44 FAX: 2 54 20 36

I. RESUMEN

Este trabajo presenta, de manera muy concreta, cuáles son las técnicas para optimizar las técnicas de reparación de motores eléctricos realizado por el FIDE, el nivel de pérdida de eficiencia que puede existir después de reparar un motor eléctrico, así como los procedimientos para realizar una óptima reparación en motores eléctricos. Asimismo, se proporcionan algunas recomendaciones para seleccionar un taller de rebobinado adecuado para garantizar que el motor no sufra pérdidas de eficiencia después de su reparación

II. Antecedentes

Los motores eléctricos representan más del 65% del total del consumo de energía eléctrica del sector industrial y cuando es necesario reparar estos equipos por algún daño durante su operación, los procesos y técnicas de rebobinado aplicados pueden impactar directamente en la variación del consumo de energía eléctrica de los mismos, ya que si no se realiza una adecuada reparación de estos equipos, puede existir una reducción importante en la eficiencia de los motores, producto de fallas y malos hábitos en los procesos de reparación y como consecuencia, un incremento en el consumo de energía para proporcionar la misma potencia mecánica que antes de repararlo.

III. Objetivo del Proyecto

El objetivo general de este proyecto fue determinar las pérdidas en la eficiencia de motores eléctricos que han sido rebobinados, así como las acciones que son necesarias implementar para optimizar las técnicas de reparación más comúnmente utilizadas y el potencial de ahorro de energía por este concepto.

IV. Aspectos Técnicos Generales

Entre las causas más comunes que originan la disminución en la eficiencia de un motor eléctrico que es reparado se encuentran las siguientes:

- Cambio en la configuración de los devanados
- Calentamiento excesivo en el proceso de retirar los devanados

- . Cambio en el calibre y calidad de los conductores
- . Reemplazo incorrecto de ventilador y rodamientos
- . Variación del número de espiras
- . Daños a las laminaciones del núcleo del estator y a las ranuras al retirar el devanado por cambiar y montar el nuevo
- . Daños a los cojinetes y mal alineamiento
- . Cambio en la dimensión del entrehierro
- . Falta de simetría en el entrehierro
- . Barras del rotor dañadas o desajustadas
- . Mayor tiempo de secado final
- . Maltrato excesivo a las partes mecánicas y eléctricas del motor durante su reparación

Los costos económicos de operación de motores mal rebobinados, pueden llegar a representar gastos muy elevados para una empresa industrial, debido a un exceso innecesario de consumo de energía eléctrica en su operación, los cuales se pueden evitar tan sólo cuidando una óptima reparación de los mismos.

De acuerdo a los resultados obtenidos en una encuesta aplicada a empresas industriales, se conce que:

- . Los motores que se rebobinan con mayor frecuencia (sin considerar motores fraccionarios) son menores a 30 HP.
- . En promedio por industria se reparan 35 motores por año para motores de 1 a 20 HP; 6 motores entre potencias de 25 y 50 HP y una vez para motores mayores a 60 HP.
- . En promedio los motores trifásicos integrales tienen cuatro rebobinados durante su vida útil.
- . Normalmente no se solicita a los talleres ninguna especificación o procedimiento de reparación de motores.
- . Son pocas las empresas que rebobinan sus propios motores debido a los bajos costos de reparación, en comparación con los sueldos que se tendrían que pagar a empleados dedicados a esta actividad.
- . No existe información actualizada sobre la reparación y rebobinado de motores eléctricos.
- . Es más práctico mandar a rebobinar un motor que comprarlo, debido a que la aprobación de la empresa para comprar un motor nuevo casi en el 50% de los casos, es responsabilidad de la gerencia de planta; para motores mayores a 100 HP la decisión es del corporativo y como tercer nivel de importancia la compra del motor nuevo es decisión del área de mantenimiento.
- . Los aspectos más importantes que consideran las empresas para decidir entre la compra o reparación de sus motores, son el costo inicial, aplicación, condición del motor existente, edad, número de rebobinados así como la disponibilidad del nuevo equipo.
- . En algunos casos el motor dañado se envía completo al taller, el cual se regresa ya reparado

a la empresa, donde es instalado inmediatamente y en otros casos la empresa envía únicamente el estator para ser reparado y al recibirlo, por lo general, es guardado para cuando se necesite.

De acuerdo a los resultados obtenidos en una encuesta aplicada a talleres de reembobinado, se concluye que:

- . En la mayoría de los casos, los talleres no cuentan con especificaciones de reparación
- . Las reparaciones urgentes pueden realizarse entre 12 y 20 horas, incrementándose el costo hasta un 30% de lo normal, sin embargo, por el tiempo de compromiso de entrega, el taller puede incurrir en prácticas no adecuadas para repararlo.
- . Los talleres no tienen como uno de sus criterios de mayor importancia en la reparación de motores, mantener la eficiencia de estos equipos después de su reparación
- . El empleo de técnicas y métodos utilizados para la reparación de motores es muy variable y dependen prácticamente de la experiencia de los talleres
- . Es una práctica muy común el utilizar soplete para realizar la extracción de devanados del núcleo
- . Dependiendo de la disponibilidad de materiales de los talleres, estos llegan a cambiar los materiales originales del motor, la configuración del devanado, tamaño de las bobinas, calibre de conductores, aislamientos
- . En general existe un desconocimiento por los motores de alta eficiencia y por lo tanto los costos de su reparación son similares
- . En su mayoría es limitado el tipo de tecnologías de punta utilizadas para la reparación de los motores
- . Es común que los clientes no soliciten a los talleres la realización de pruebas eléctricas, estáticas y dinámicas a los talleres
- . No existe un control en los precios de reparación de motores

V. Resultados del Proyecto

Según los resultados obtenidos en el proyecto de Optimización de las Técnicas de Reparación de Motores Eléctricos realizado por el FIDE y de acuerdo a los resultados de pruebas de laboratorio aplicadas a motores eléctricos trifásicos integrales de eficiencia estándar, se conoce que con las prácticas actuales de reparación de estos equipos, se pierde en promedio poco más de un punto porcentual (aunque puede llegar en algunos casos casi a cinco puntos porcentuales) de eficiencia energética después de reembobinar un motor, lo cual depende de la técnica de reparación que haya aplicado el taller, así como de los materiales, herramienta y tecnología utilizados durante su reparación.

VI. Procedimientos para la Reparación de Motores Eléctricos

Algunas recomendaciones prácticas para realizar una reparación de calidad, con los cuales se evite la pérdida de eficiencia en estos equipos, son las siguientes:

a) **Recepción**

En una hoja de trabajo recabar datos de placa completos del motor, daños mecánicos al armazón, tapas, flecha, rotor, estator y analizar la causa de falla.

b) **Desensamble**

Los motores deben ser cuidadosamente desensamblados sin dañar ninguno de sus componentes y sin maltratar las superficies maquinadas durante su reparación; asimismo, se deben detectar barras fracturadas en el rotor con growler o equipo equivalente.

c) **Embobinado**

Se debe aplicar la prueba de pérdidas en el núcleo para determinar las pérdidas que presenta previo a la remoción de bobinas, mediante la prueba toroide.

Efectúe la medición de ambas extensiones de bobinas y corte el cabezal opuesto al lado de las conexiones, documentando las conexiones y datos de los devanados.

En el momento de cortar la corona, evite dañar las laminaciones del núcleo.

Evite el uso de soplete para extraer las bobinas del estator; por el contrario, se debe utilizar horno de quemado con temperatura regulada que en ningún caso sobrepase los 345 °C (650 °F); de esta manera se evita un calentamiento excesivo a las laminaciones del núcleo.

Después de extraer las bobinas de las ranuras y limpiar el estator sin utilizar ácidos, se deben inspeccionar las laminaciones del estator buscando posibles cortos detectados en la prueba del núcleo, los cuales se deben reparar aislando las laminaciones y posteriormente aplicar de nuevo la prueba de pérdidas en el núcleo.

La clase de aislamiento de los materiales empleados debe ser la especificada en la placa del motor o usar como mínimo clase F.

Elaborar bobinas en devanadoras con contador de vueltas integrado evitando cruces entre vueltas.

Se debe respetar el número de espiras de las bobinas, el paso, así como el calibre original del fabricante, sin disminuir en ningún momento el calibre de los conductores.

Las bobinas deben ser lo más compactas posible y perfectamente montadas en las ranuras del estator.

Durante el montado de las bobinas no se deben dañar las laminaciones del estator, ni dañar

las barras del rotor.

No se debe cambiar la configuración de las bobinas del motor, respetando la conexión original del fabricante.

Realizar mediciones de resistencia óhmica en las bobinas del motor, antes y después de repararlo para comprobar si se afectó la resistencia original.

d) **Barnizado**

Una vez terminado el reembobinado, debe realizarse el barnizado del motor, aplicando únicamente los métodos de impregnación al vacío o inmersión en tanque.

El estator debe ser precalentado y sumergido en barniz clase F o H en al menos dos ocasiones para asegurar una adecuada penetración y recubrimiento.

Aplicar prueba de resistencia de aislamiento con Megger y comparar su valor con valores de norma, cuya lectura mínima debe ser de 1,000 megaohms.

e) **Partes Mecánicas**

Rotor

Efectuar prueba de growler o equivalente al rotor para asegurar que no existan barras rotas o sueltas.

Los rotores deben ser balanceados en cada reparación.

Estator

Realizar la prueba de pérdidas en el núcleo (prueba toroide) al estator, antes y después de reembobinar el motor, lo cual sirve para demostrar al cliente que el núcleo no ha sido dañado.

Ventilador

Verificar que el ventilador no está fracturado o roto y que se encuentra perpendicular y firmemente sujetado a la flecha.

Si es necesario reemplazar el ventilador, se debe usar uno con las mismas dimensiones, material, número de aspas y diámetro de orificio.

Rodamientos

En caso de ser necesario el reemplazo de rodamientos, la extracción de los baleros actuales se deberá efectuar con extractor y en el caso de los baleros nuevos, en su montaje se deberán calentar a 90 °C (200 °F) sumergidos en aceite o con calentador magnético.

Se deben seleccionar los rodamientos que tengan el diseño y características más adecuadas

a la operación del motor (carga radial, carga axial, alta velocidad, etc...).

En rodamientos lubricados se debe dosificar la cantidad necesaria de grasa, evitando excesos o carencia de la misma y que sea la adecuada de acuerdo a su operación.

f) **Ensamble**

Todas las superficies deben inspeccionarse para asegurar que estén libres de pintura, barniz u otro material.

Es importante que la placa de datos del motor esté firmemente sujeta al armazón y mantenerse legible, y en caso de no contar con la misma, de ser posible, improvisar alguna que contenga los datos más importantes de las características del motor, como son: potencia en HP, voltaje de operación en volts, número de polos, clase de aislamiento, etc.

El ensamble de todos los componentes del motor debe ser cuidadoso, sin dañar el aislamiento de las bobinas ni las partes mecánicas del equipo.

g) **Pruebas Finales**

Una vez reparado y ensamblado el motor, debe operarse sin carga a voltaje nominal, lo suficiente como para verificar balanceo de corrientes y elevación de temperatura.

Realizar prueba de ruido, de preferencia con un estetoscopio para detectar ruidos anormales y en su caso corregirlos.

Comprobar que la temperatura de los rodamientos sea la adecuada; asimismo, aplicar prueba de vibración y en caso de encontrarse fuera de los límites establecidos, aplicar balanceo dinámico al motor.

El taller de reparación debe ofrecer al cliente una garantía de calidad por la reparación del motor.

VII. Beneficios por Optimizar la Reparación de Motores

Entre los beneficios para las empresas que utilizan motores eléctricos se pueden mencionar los siguientes beneficios por optimizar las técnicas de rebobinado:

Lograr ahorros de energía eléctrica que impactarán positivamente en una reducción de sus costos de producción

Incremento en la productividad y confiabilidad en la operación de los equipos electromotrices, al reducir el número de fallas por motores mal rebobinados

Reducción de costos de mantenimiento e incremento de la vida útil de los motores

Expansión del mercado de talleres de rebobinado de motores eléctricos, por ofrecer reparaciones de mayor calidad

VIII. Criterios de Selección de Talleres de Reembobinado

Entre los criterios que se deben considerar para realizar la mejor elección de talleres para reparar motores eléctricos, se encuentran las siguientes:

- . El taller debe de presentar las especificaciones que utiliza para realizar la reparación de motores o, de preferencia, que el cliente la presente al taller, con el objetivo de garantizar una correcta reparación
- . Contar con infraestructura, equipos de pruebas, tecnología, materiales y herramientas adecuados para reparar los equipos
- . Contar con formatos para recabar información general del motor y formatos de reporte de pruebas
- . Entrega de reportes de pruebas realizados antes y después de la reparación
- . Contar con personal capacitado que conozca la importancia de no afectar la eficiencia energética de los motores después de su reparación, así como los procedimientos que debe aplicar para lograrlo
- . Verificar algunas referencias sobre reparaciones anteriores para comprobar la calidad de reparación, nivel de servicio y comportamiento de operación de los motores después de su reembobinado

IX. Conclusiones

La aplicación de dichos resultados pueden permitir a las empresas obtener mayor eficiencia operativa de sus motores eléctricos y por consiguiente menor consumo de energía, mayor vida útil, menores costos de mantenimiento y una reducción importante en sus costos de facturación eléctrica.

El hecho de que las empresas cuenten con elementos suficientes para exigir una excelente reparación, esto provocará que los talleres de reembobinado se obliguen a emplear técnicas de reparación de mayor calidad, que se capaciten y que utilicen mejor tecnología para reparar los motores eléctricos.

Con base en lo anterior, se ha comprobado que cuando la compostura de un motor la efectúa personal calificado y empleando materiales de calidad iguales o superiores a los originales, es posible mantener su eficiencia después de que ha sido reparado; además, cuando un motor ha sido reembobinado una o más veces bajo técnicas inadecuadas, es posible volver a recuperar la eficiencia perdida por anteriores malas reparaciones.

Por su parte, los talleres de reembobinado de motores eléctricos, pueden contar con un mayor mercado de reparación de motores al optimizar y mejorar sus prácticas más comúnmente utilizadas.

ACUERDO MÉXICO/EUA PARA REALIZAR AUDITORÍA DE ENERGÍA: UN CASO DE ESTUDIO

Hernando Romero Paredes*, Juan José Ambriz*

Johny N. Ortiz**, John W. Sheffield**

* Area de Ingeniería en Recursos Energéticos

Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa

A.P. 55-534, México 09340 D.F. Tel. (525) 724-46-44 y 45. e-mail: hrp@xanum.uam.mx, agj@xanum.uam.mx

** University of Missouri-Rolla

312 ERL Bldg, 1870 Miner Circle, Rolla, MO, USA, 65409-0710.

Tel. (573) 341-6073. e-mail: jnahui@umr.edu

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de dos auditorías energéticas industriales realizadas en la ciudad de México por un equipo de profesores y estudiantes de la Universidad de Missouri-Rolla (UMR) y la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAM). Este intercambio internacional examina el potencial de transferencia tecnológica de los programas de los Centros de Asesoría Industrial y de Análisis y Diagnósticos Energéticos, mismos que son patrocinados por la Oficina de Tecnologías Industriales del Departamento de Energía de los Estados Unidos (Programa IAC-DOE).

El artículo describe la metodología aplicada por el equipo internacional para identificar las oportunidades de ahorro de energía mediante la visita a las instalaciones de las empresas manufactureras. Éstas se clasifican de acuerdo con las áreas potenciales de ahorro (por ejemplo: iluminación, compresores de aire, motores, etc.) e incluyen los ahorros de energía, sus costos asociados, los costos de implementación y el período simple de retorno.

El trabajo presenta un caso de estudio relacionado con dos plantas mexicanas. Se hace una revisión de las estadísticas de un año que enlista las oportunidades de ahorro de energía encontradas por el UMR-IAC durante ocho años de operación, con el propósito de ilustrar. Las estadísticas se basan en una 25 auditorías realizadas en los Estados Unidos y comprenden los ahorros de energía y de demanda, los costos asociados, los costos de implementación y el período simple de retorno.

También se describe la realización de las auditorías conjuntas como una forma válida de transferencia tecnológica en dos vías, de interés para ambas instituciones educativas.

El artículo concluye las ventajas del acercamiento conjunto hacia las auditorías de energía y el potencial para el desarrollo de un programa más ambicioso de transferencia tecnológica. El valor educacional de la experiencia anterior para el profesorado y los estudiantes involucrados en el intercambio académico se ve también como una oportunidad importante para seguir con dichas actividades.

ANTECEDENTES

El programa de los Centros de Asesoría Industrial y los Centros para el Análisis y Diagnósticos Energéticos (IAC/EADC), patrocinado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) y operado por el "University City Science Center" y la Universidad de Rutgers, son un mecanismo probado para auxiliar en el mejoramiento de la productividad de la energía y el control de costos para compañías pequeñas y medianas en los Estados Unidos. Sus servicios se ofrecen sin costo directo a los empresarios. Desde 1976, el programa IAC/EADC ha:

- Atendido 3,200 plantas manufactureras.
- propuesto 19,400 oportunidades de ahorro de energía
- Identificado 17,133 billones de Btu/año de energía ahorrados
- recomendado 116 millones de dólares anuales de costos ahorrados.

El programa IAC ha sido muy exitoso y efectivo en cuanto a costos, resultando en mucho mayores beneficios en costos de los ahorros de energía, que el costo de operar el programa. El costo promedio de una auditoría para el DOE es de 3,250 dólares y el monto total de los costos ahorrados incluidos en los Informes Finales de las auditorías, sobrepasa substancialmente ese costo.

Las auditorías industriales son realizadas por miembros del profesorado y estudiantes avanzados de las universidades locales que tienen programas de ingeniería oficialmente acreditados. Ellos tienen la competencia técnica en el mejoramiento del uso de la energía para ayudar a las empresas productivas. Cada universidad se responsabiliza de las empresas de su región geográfica de influencia. Esto se debe a los factores regionales asociados con los suministradores de energía, sus costos y las condiciones específicas de la contratación, por lo que es mejor que los estudios sean realizados con un sistema distribuido geográficamente en vez de tener un centro único, a nivel nacional.

El Centro de Asesoría Industrial de la Universidad de Missouri-Rolla (UMR-IAC).

Este centro proporciona servicios de auditoría energética, de deshechos y de productividad a las compañías manufactureras, pequeñas y medianas, en una zona geográfica aledaña al Campus dentro de un radio de 150 millas. Las actividades de las empresas deben corresponder a alguna de los códigos 20 a 39 del Departamento de Comercio de los Estados Unidos. Las recomendaciones están directamente relacionadas con el proceso productivo específico de la compañía. También se incluyen cambios en la operación de equipos y procesos y el consumo energético de los edificios industriales, incluyendo alumbrado, aire acondicionado, calentamiento de agua y cualquier otro consumidor importante.

El Centro de Análisis y Diagnósticos Energéticos de la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (UAMI-EADC).

Desde 1974, este grupo realiza investigación y desarrollo relacionado con el uso eficiente de la energía en procesos industriales y edificios. En 1996, se recibió un financiamiento de la Comisión para la Cooperación Ambiental, quien es un organismo trilateral: Canadá, Estados Unidos y México, para constituir el UAMI-EADC, de manera similar al programa patrocinado por el DOE-EUA en las universidades americanas y aplicar la misma metodología a algunas empresas en la Ciudad de México. El grupo fue constituido por tres profesores y cuatro pasantes de Ingeniería en Energía. En 1997, se recibió un apoyo financiero directo del Departamento de Energía de los Estados Unidos, para continuar con la aplicación de la metodología a cinco empresas más.

METODOLOGÍA DE DIAGNOSTICO ENERGÉTICO IAC/EADC-DOE.

Una vez seleccionada la empresa que recibirá una asesoría energética, se siguen los siguientes pasos para el análisis energético y diagnóstico del proceso:

- *Pre-visita*

Previamente a la visita a las instalaciones, los directivos del IAC verifican que la empresa sea elegible y

cumpla con los requisitos solicitados: código de comercio correcto, número de empleados y el monto de las ventas anuales. En un análisis preliminar, se revisan los recibos y datos de consumo energético del año precedente. La inclusión de un listado de los equipos de mayor consumo de energía en las instalaciones es sumamente útil.

Se solicita a las plantas seleccionadas que proporcionen un juego completo de recibos de todas las formas de energía empleadas en la planta, información sobre las tarifas y estructura de pago de electricidad y gas, así como los precios y tarifas de cualquier otro energético suministrado. Estos datos se analizan previamente a la visita a la planta, los costos se presentan de manera gráfica para observar las tendencias y detectar los picos de uso. Uno de los objetivos de la auditoría es el encontrar las razones de cualquier anomalía.

- *Visita a las instalaciones*

Una vez seleccionada una planta y al terminar de revisar la información preliminar, la siguiente acción es efectuar la vista a las instalaciones.

- * *Plática introductoria*

El equipo de auditoría UMR-IAC, constituido por el Director, el asistente del Director, el Jefe del equipo de auditoría y los estudiantes de ingeniería, se reúne con los representantes designados de la empresa, para discutir sobre las operaciones de la planta que involucran energía, desperdicios, productividad y temas asociados. Durante esta reunión, se verifica la validez de la información preliminar de la planta. Se comentan las gráficas de costos y consumos de energía y se entregan varios documentos sobre la labor del UMR-IAC, sus miembros, el nombre del contacto principal en el IAC y se describe brevemente el proceso de auditoría.

- * *Recorrido por la planta*

A continuación, el grupo de auditoría junto con uno o más de los representantes de la empresa efectúan un recorrido por la planta para observar las operaciones y determinar el flujo de materiales desde la entrada o recepción, durante el proceso, y, finalmente, el embarque. El equipo de auditoría es responsable de tomar notas de las operaciones y procesos de manufactura y recopilar un inventario de los principales equipos consumidores de energía.

Durante el recorrido es determinante la experiencia de los directivos del IAC para lograr el mayor impacto y calidad en los resultados. Su conocimiento de los procesos, equipos y operaciones de manufactura es necesario para identificar rápidamente las áreas en donde es posible obtener un ahorro de energía o un incremento en la eficiencia. Las áreas potenciales para encontrar buenas Oportunidades de Ahorro de Energía (ECOs), de Minimización de Desperdicios (WMOs) y de Mejoramiento de la Productividad (PEOs) son, por ejemplo: equipo ineficiente de calentamiento de proceso, motores ineficientes, grandes cantidades de calor desperdiciado, mala selección del combustible, programación inadecuada del proceso o del personal y programación ineficiente de las cargas eléctricas.

- * *Recopilación de información y datos.*

En esta actividad, el equipo recurre al equipo de medición y procede a tomar y registrar la información cuantitativa del equipamiento de la planta. Cuando un miembro del personal de mantenimiento de la planta puede acompañar al equipo, los resultados de las mediciones son mejores. Si el personal de mantenimiento colabora con el equipo de auditoría los directivos y administradores consideran que así no se causa algún problema. En algunos casos, la empresa prefiere que sea su personal el que realice directamente la medición y el equipo de auditoría únicamente se asegura de que el procedimiento sea el adecuado.

En todos los equipos importantes que queman algún combustible se mide la eficiencia de combustión, se obtiene, cuando menos, el exceso de oxígeno y la temperatura de los gases de escape en los generadores de vapor a gas o cualquier otro combustible. Si se dispone del equipo de medición adecuado, conviene medir monóxido y dióxido de carbono.

Si existe un acceso seguro a los conductores de potencia, se mide la eficiencia y el factor de potencia de los motores más grandes. Se deben de tomar las mediciones adecuadas en una o tres fases para obtener las eficiencias y los factores de potencia. Se deben hacer mediciones similares, cuando sea práctico y seguro, para el resto de los consumidores de electricidad. Otros factores que afectan al consumo de energía son la medición de la temperatura del equipo, las temperaturas de trabajo de las diferentes áreas en la planta y de las oficinas. Los niveles de iluminación se miden en la mayor parte de las áreas de la planta y oficinas.

** Revisión de la auditoría y desarrollo de las recomendaciones*

Después de que se termina la etapa de mediciones, los miembros del equipo de auditoría compilan su información y llevan a cabo análisis elementales y preparan las recomendaciones preliminares. Mediante el empleo de la información y datos preliminares, el equipo identifica una serie de ECOs, WMOs y PEOs para reducir el consumo de energía, los desperdicios y sus costos asociados, así como para incrementar la productividad de la planta. El enfoque principal de estas recomendaciones es el mejoramiento del proceso de manufactura. Se considera el reemplazo y modificación de equipos; así como cambios en la programación y los procedimientos de operación.

** Reunión de intercambio final*

Al final de la auditoría, el equipo se reúne con los representantes de la planta, para sostener una discusión informal sobre los procedimientos de la auditoría y los resultados preliminares.

• Después de la visita

Una vez concluida la visita a las instalaciones de la planta y haber presentado los resultados preliminares de los ECOs, WMOs y PEOs, el grupo directivo del IAC prepara un Informe Final para la empresa de manufactura. El informe contiene una breve descripción de la operación de la planta, del equipo, de los comportamientos y costos de los energéticos y las recomendaciones debidamente respaldadas con sus evaluaciones económicas detalladas. Después de que el grupo ha analizado y evaluado cuidadosamente la operación de la planta y del equipo de proceso, normalmente se encuentran algunas sugerencias adicionales de mejoras. El IAC también efectúa investigaciones sobre los procesos y equipos posteriormente a la visita, para identificar productos y procesos tecnológicos que ayuden a la planta a mejorar su eficiencia en el uso de la energía, minimización de desechos y productividad.

• Informe Final

El Informe Final se envía a la empresa en un plazo inferior a los 60 días posteriores de la visita. Adicionalmente se envía una copia, sin información específica privada de la empresa al "University City Science Center", para su revisión técnica, sugerencias y aprobación final.

ESTUDIO DE CASOS.

Del 16 al 22 de marzo de 1998, el equipo conjunto UMR-IAC/UAM-EADC efectuó dos auditorías energéticas en la Ciudad de México.

La primera empresa auditada es una fábrica de resortes para la industria automotriz. Involucra aproximadamente 150 empleados que producen 5,550,000 de unidades anualmente; sus ventas son de

alrededor de 2,250,00 millones de dólares al año. La empresa trabaja tres turnos (7 a.m., 4 p.m. y 10.45 p.m.), para un total de 22.5 horas diarias. La distribución del personal en los tres turnos es de 60%, 25% y 15%, respectivamente.

Las instalaciones operan actualmente entre un 65 y 75% de su capacidad instalada. 90% de la materia prima es de importación, principalmente del Japón y de los Estados Unidos. La producción mensual presenta una distribución heterogénea entre las cuatro semanas; 10%, 20%, 20% y 50%, respectivamente.

Los costos unitarios de la energía eléctrica en esta empresa son de 12 dólares el millón de Btu (\$ 12.00/MMBtu), 6 dólares el kW y el costo promedio de la electricidad es de 4.5 centavos de dólar el kWh. El gas natural se usa en los hornos con un precio unitario de 4 dólares el millón de Btu.

Las oportunidades más evidentes de conservación de energía identificadas por el equipo conjunto son las siguientes:

- Iluminación
 - * Instalar alumbrado fluorescente de alta eficiencia.
 - * Instalar balastos electrónicos de alta frecuencia
 - * Sectorizar circuitos.
- Motores.
 - * Instalar Motores de alta eficiencia.
 - * Instalar bandas síncronas.
 - * Instalar manejadoras de velocidad variable en la extracción del sistema colector de polvos.
- Compresores.
 - * Reducir la presión del compresor de aire.
 - * Eliminar las fugas de aire comprimido.
- Hornos eléctricos.
 - * Aislar las paredes laterales.
 - * Cambiar la secuencia de arranque.
- Hornos de gas natural.
 - * Aislar termicamente.
 - * Ajustar la relación aire-combustible.
 - * Recuperar el calor de los gases de combustión.

La segunda empresa auditada fabrica papel crepé. La materia prima proviene principalmente de Noruega en rollos de 465 kilogramos cada uno (17 g/m²). Los productos principales se clasifican conforme a su elasticidad: pingüino (30%), kakadú (80%), dobles (60%) y festón (20%). Los costos unitarios de la energía eléctrica son similares a los de la primera empresa auditada. Esta empresa emplea diesel en vez de gas natural con un costo unitario de 6 dólares el millón de Btu. Desafortunadamente, la auditoría en esta empresa fue únicamente parcial debido a una falla generalizada del suministro eléctrico en la zona, que se prolongó por el resto del día.

No obstante, las oportunidades de conservación de la energía fueron claramente identificadas por el equipo conjunto en las siguientes áreas:

- Iluminación.
 - * Apagar las luces innecesarias.
 - * Instalar lámparas fluorescentes de alta eficiencia.
 - * Instalar balastos electrónicos de alta frecuencia.
- Motores.

- * Instalar motores de alta eficiencia.
- Generador de Vapor
 - * Ajustar la relación aire-combustible
 - * Aislar térmicamente las paredes
- Sistema de vapor
 - * Aislar las líneas de vapor.
 - * Aislar las líneas de condensados.
 - * Eliminar Fugas.
 - * Corregir trampas de vapor.
- Bombas
 - * Cabeza de succión.

ESTADÍSTICAS ANUALES DEL UMR-IAC.

En el período octubre de 1996 a septiembre de 1997, el grupo UMR-IAC realizó 25 auditorías en Missouri e Illinois, bajo el programa IAC-DOE. La mayor parte de las oportunidades se encontraron en las áreas de iluminación, compresores de aire y motores eléctricos. Más adelante se presenta un resumen de los ECOs más comunes (Tabla 1).

El costo unitario promedio de la energía y de la demanda en el período señalado fue de 12.32 dólares el millón de Btu y 38.06 dólares el kW, respectivamente. El período simple de retorno para el total de los ECOs propuestos fue de 14 meses. Las estadísticas asociadas con los ahorros de energía, demanda, costos ahorrados, costos de implementación y períodos simples de retorno para cada ECO se presentan en las Tablas 2 y 3.

Tabla 1. Oportunidades de Conservación de Energía (UMR-IAC).	
ECO #	Nombre de la ECO
1	Instalar motores de alta eficiencia.
2	Instalar bandas síncronas.
3	Reducir la presión de aire comprimido.
4	Emplear aire exterior para alimentación a los compresores de aire.
5	Empleo de lubricantes sintéticos.
6	Instalar lámparas fluorescentes de alta eficiencia.
7	Instalar balastos electrónicos de alta frecuencia.
8	Instalar señales LED en los letreros de salida.

Tabla 2. Ahorros de Costos y Energía (UMR-IAC).

ECO #	Ahorros de Energía (MMBtu/año)	Ahorros de Costos de Energía (Dólares/año)	Ahorros de Demanda (kW)	Ahorros de Costos por Demanda (dólares/año)
1	5,887	72,483	341	12,883
2	135	1,496	11	441
3	2,441	24,279	141	6,367
4	4,233	50,887	205	8,178
5	401	5,130	13	265
6	2,345	31,848	156	5,273
7	4,476	59,038	295	10,835
8	276	3,587	9	321
Total	20,194	248,748	1,171	44,563

Tabla 3. Ahorros de Costos y Período Simple de Retorno (UMR-IAC).

ECO #	Ahorros Totales de Costos (Dólares/año)	Costos de Implementación (dólares)	Período Simple de Retorno (meses)
1	85,366	155,327	22
2	1,937	0	0
3	30,646	1,040	1
4	59,065	2,944	1
5	5,395	1,760	4
6	37,121	32,236	11
7	69,873	125,610	22
8	3,908	6,452	20
Totales	293,311	325,369	-

ESTADÍSTICAS DEL UAMI-EADC.

Como se señaló anteriormente, en 1996 el grupo realizó 2 auditorías energéticas conforme al programa IAC/EADC-DOE y, en 1997 se realizaron cinco trabajos más. 6 de los 7 trabajos se efectuaron en el área metropolitana de la Ciudad de México y uno en el Estado de Tlaxcala (a 130 kilómetros). La mayor parte de las oportunidades que se encontraron en el área eléctrica se refieren al cambio por motores eficientes, mejoramiento de la iluminación, manejo de compresores de aire y cambio de bandas V y poleas. En el área térmica, el ajuste de la relación aire combustible y el manejo de vapor, fugas, aislamiento, etc., fueron los casos recurrentes. En la Tabla 4 se presenta un resumen de los ECOs más comunes.

El costo unitario promedio de la energía va de 2.6 hasta 8 dólares americanos por millón de Btu, mientras que la demanda eléctrica en el período señalado fue de 4.3 a 6.2 dólares por kW. El período simple de retorno para el total de los ECOs propuestos fue de aproximadamente 7 meses. Las

estadísticas asociadas con los ahorros de energía, demanda, costos ahorrados, costos de implementación y períodos simples de retorno para cada ECO se presentan en las Tablas 5 y 6.

ECO #	Nombre de la ECO
1	Instalar motores de alta eficiencia.
2	Instalar lámparas fluorescentes de alta eficiencia.
3	Ajustar la relación aire-combustible de generadores y hornos.
4	Eliminar fugas de vapor.
5	Reemplazar bandas V estándar y poleas.
6	Emplear aire exterior para alimentación a los compresores de aire.
7	Eliminar fugas de aire comprimido.
8	Aislar tanques/calderas/hornos.

ECO #	Ahorros de Energía (MMBtu/año)	Ahorros de Costos de Energía (Dólares/año)	Ahorros de Demanda (kW)	Ahorros de Costos por Demanda (dólares/año)
1	9,041	83,850	3,389	9,236
2	4,606	48,930	2,905	16,626
3	41,388	149,337	0	0
4	8,910	30,951	0	0
5	858	16,958	599	3,774
6	238	1,770	85	378
7	136	1,776	169	938
8	10,975	30,162	0	0
Subtotal	76,152	363,724	7,147	30,952
Otras medidas	54,742	325,220	2,652	21,473
Total	130,894	688,944	9,799	52,425

Tabla 6. Ahorros de Costos y Período Simple de Retorno (UAMI-EADC).

ECO #	Ahorros Totales de Costos (Dólares/año)	Costos de Implementación (dólares)	Período Simple de Retorno (meses)
1	93,086	97,968	12.6
2	65,556	76,563	14.0
3	149,337	19,200	1.5
4	30,951	1,815	0.7
5	20,732	22,999	13.3
6	2,148	1,120	6.3
7	2,704	870	3.9
8	30,162	13,179	5.2
Subtotal	394,676	233,714	7.1
Otras Medidas	346,693	204,682	7.1
Total	741,369	438,396	

TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA DE DOS VÍAS.

La realización de las auditorías energéticas conjuntas descritas puede describirse como una experiencia valiosa de transferencia tecnológica de dos vías. Aunque se siguió la metodología estándar del programa IAC/EADC-DOE, es posible encontrar diferencias debido a las condiciones locales. Por ejemplo, las oportunidades de conservación típicas que el grupo UMR-IAC ubica en los Estados Unidos como "Emplear aire exterior para alimentación a los compresores de aire" y "Reemplazo de lámparas incandescentes en las señales de salida por salidas LED", no tienen gran aplicación en la Ciudad de México debido a las condiciones climáticas, en el primer caso, y al escaso uso de las señales de salida, en el segundo.

Las instalaciones fabriles auditadas por el UMR-IAC normalmente se localizan relativamente lejos de sus oficinas (100-150 millas); algunas de ellas requieren que el viaje se realice el día previo. Las empresas auditadas por el grupo UAMI-EADC, generalmente se ubican en la Ciudad de México, lo cual da la oportunidad de regresar a la planta si es necesario.

El grupo UMR-IAC ha trabajado los últimos dos años en la minimización de desechos, y más recientemente en las oportunidades para incrementar la productividad; el trabajo conjunto con UAMI-EADC permitió incursionar en este importante campo, tomando como plataforma natural las auditorías energéticas.

El equipo conformado en UAMI-EADC está integrado por cuatro estudiantes próximos a graduarse de la carrera de Ingeniería en Energía, quienes han trabajado juntos alrededor de un año completo. Otro grupo de estudiantes comienza a integrarse. El equipo de UMR-IAC es de tipo interdisciplinario, con estudiantes de ingeniería eléctrica, mecánica y química; además, la rotación de estudiantes es alta, con problemas en el verano, lo cual complica la generación de informes finales pero da la oportunidad de entrenar un grupo mayor de estudiantes, que también es uno de los objetivos del programa.

Desde el punto de vista académico, la experiencia desarrollada es exitosa pues da a ambas instituciones la oportunidad de confrontarse a una cultura diferente, para mejorar el desarrollo profesional a través de un lenguaje común: la ingeniería.

En general, la realización conjunta de las dos auditorías descritas, sirvió a los dos equipos como un medio de remontar barreras y cambiar paradigmas del cómo identificar oportunidades de conservación de energía en plantas de manufactura locales, mediante la aplicación de la metodología general del programa IAC/EADC-DOE.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Es posible concluir que la realización de dos auditorías energéticas industriales, del 16 al 22 de marzo de 1998 en la Ciudad de México, por un equipo conjunto de profesores y alumnos de la Universidad de Missouri-Rolla y la Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, aplicando la metodología general desarrollada por el programa IAC/EADC-DOE fue muy exitosa.

Además, esta actividad demostró ser un medio de transferencia tecnológica en dos direcciones, en donde ambos equipos aprendieron del proceso de tormenta de ideas. También fue un medio para que la experiencia del UMR-IAC en minimización de desechos y mejoramiento de la productividad fuese transmitida a la UAMI-EADC y, probablemente, en un futuro cercano sea implementada.

Existe la oportunidad de formular un programa más ambicioso entre grupos similares para impulsar la transferencia tecnológica en dos vías de forma tal que pueda crecer sostenidamente.

REFERENCIAS.

[1] "IAC/EADC-DOE Program".

[2] "Grupo de Asesoría Industrial de la UAM-I. Centro de Diagnósticos Energéticos". Juan José Ambriz, Hernando Romero y Alejandro Torres. XVIII Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía. Museo Tecnológico. México, 22-26 de septiembre de 1997.

[3] "University of Missouri-Rolla's Industrial Assessment Center", World-Wibe Web site at internet through "<http://www.umn.edu/-iac>", last updated on March 19, 1998.

[4] "Strategic Technology Management", Frederick Betz, McGraw-Hill Engineering and Technology Management Series. New York, USA, 1993.

[5] "Industrial Productivity Training Manual", 1996 Annual IAC Director's Meeting. Rutgers, the State University of New Jersey, and Department of Energy, Office of Industrial Technologies, IAC/EADC Program.

Integración de programas en JVC Industrial de México S.A. de C.V. Ahorro de Energía Eléctrica / Sistema de Administración Ambiental / Estándar ISO 14001.

Autor: Martín Argote Molina.
Empresa: JVC Industrial de México S.A. de C.V.
Av. Sor Juana Inés de la Cruz No. 19710.
Parque Industrial La Frontera, Delegación La mesa de Otay.
Tijuana B.C. C.P. 22515.
Tel. (0166) 23-11-11, fax (0166) 23-41-24, 23-41-25.

Resumen:

Es posible, además de lógica, la integración de programas tales como el ahorro de energía eléctrica y un sistema de administración ambiental. Al administrar el consumo y la demanda del servicio eléctrico tenemos un efecto en los contaminantes emitidos para la generación. Es claro que el usuario no es, ni puede ser, responsable del tipo de combustible utilizado pero su importancia en la planeación de proyectos es indiscutible. A su vez el punto central del sistema de administración ambiental, consiste en identificar los principales efectos en el medio ambiente causados por sus actividades, servicios o productos así como el nivel de control actual o potencial de la empresa sobre ellos. Dicha identificación y la posterior evaluación nos llevó, en JVC Industrial de México, a integrar tanto conceptual como operacionalmente dichos programas. El compromiso de la Gerencia se vio concentrado y fortalecido dando como resultado una conciencia más plena de la administración de recursos.

Antecedentes:

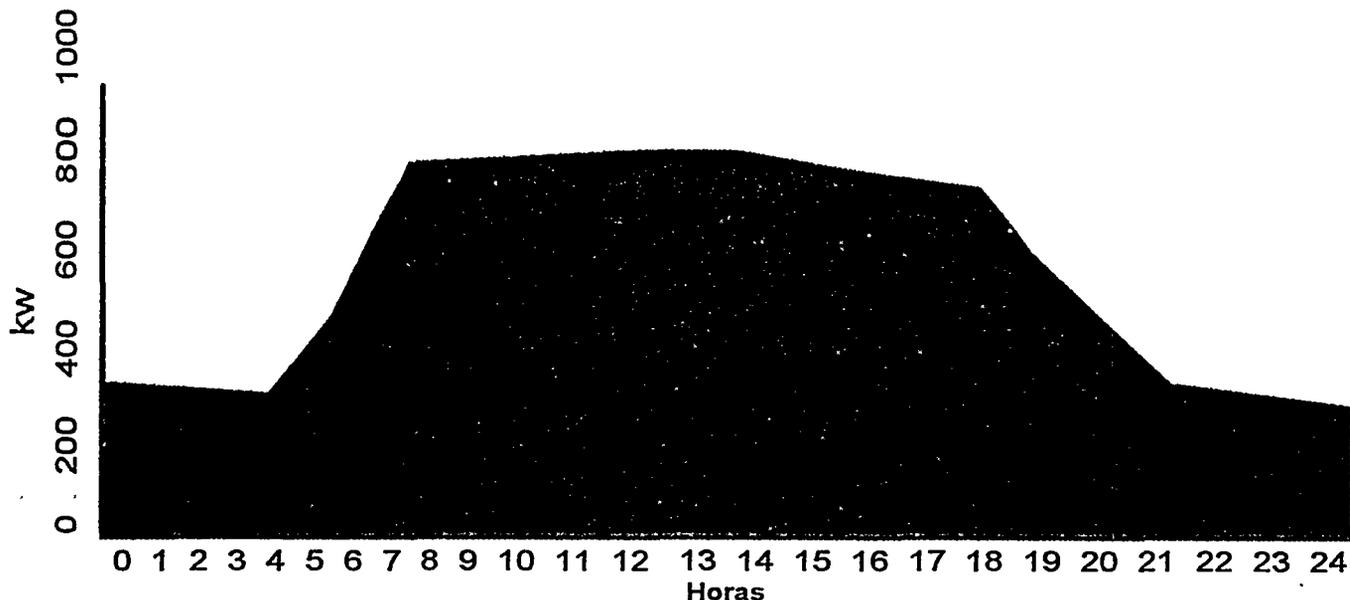
En **Octubre de 1996**, como parte de la tendencia de administración de recursos en el marco nacional y a instancias de las visitas de los representantes de la Oficina de Ahorro de Energía de CFE, la empresa inició los trabajos necesarios para establecer un **Plan de Ahorro de Energía** eficiente. El trasfondo conceptual en ese momento, se basó en el impacto económico de la adecuada administración del recurso lo que al poco tiempo fue reforzado con la publicación, en el Diario Oficial de la Federación con fecha del 15 de Noviembre 1996 de las modificaciones tarifarias. Al momento de iniciar diálogo y asesoría con la oficina de ahorro de energía de CFE, el nivel de control en la administración del recurso era prácticamente nulo y la conciencia del ahorro muy pobre.

Casi paralelamente, en **Marzo de 1997**, igualmente como parte de una tendencia de los mercados internacionales en favor de la protección del Medio Ambiente, **JVC** inicia el camino hacia la certificación dentro de los estándares **ISO 9000 y 14001**. Con miras a establecer un Sistema de Administración Ambiental efectivo, se analizaron las diferentes circunstancias a favor o en contra, que en ese momento nos condicionaban el proceso de cumplimiento con el estándar para con ello configurar la estrategia de trabajo más viable. Habrían de compararse los requerimientos del estándar contra lo que en realidad se estaba llevando a cabo dentro de la Empresa. La administración de la energía eléctrica con su consecuente impacto económico y ambiental ya se perfilaba como una faceta inherente del sistema de administración ambiental.

Desarrollo del Plan de Ahorro de Energía:

Durante la fase inicial de desarrollo, la asesoría por parte de la Oficina de Ahorro de Energía de CFE fue elemento fundamental para el establecimiento de criterios uniformes así como contextualizar nuestra situación dentro de una serie de condicionantes tales como el esquema productivo, el marco tarifario así como la factibilidad económica del Plan.

Habría que generar un censo de cargas con tendencia a determinar el índice energético al momento y estudiar las posibilidades de ahorro para determinar los objetivos que podrían ser razonablemente trazados. Se logró establecer la curva típica de consumo basados en las lecturas obtenidas en medición y con ello se empezó a integrar el censo de cargas del que partiría nuestro Plan.

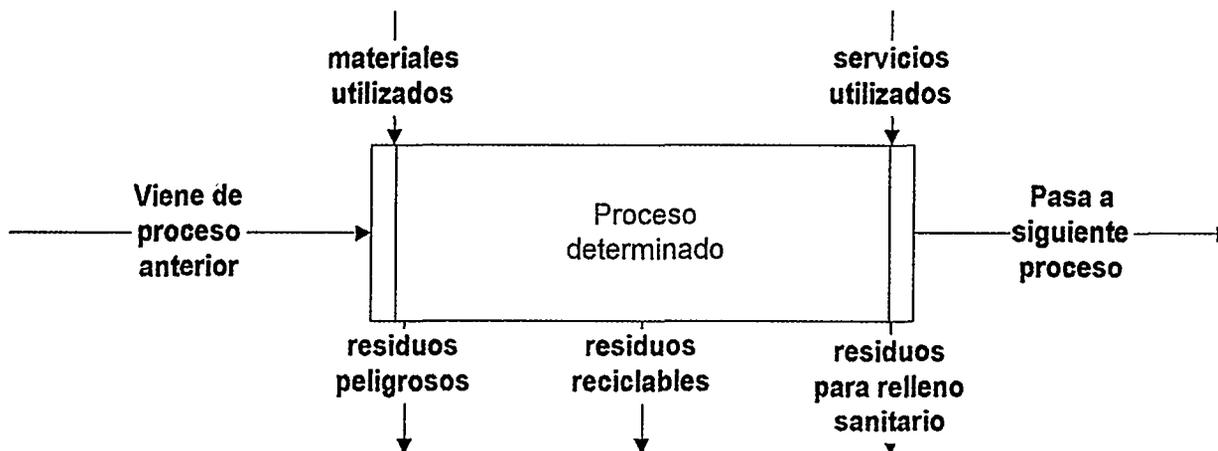


Desarrollo de proceso de Certificación ISO 14001:

El fundamento conceptual del estándar reside en establecer un método administrativo de las actividades, servicios y bienes sobre los cuales la empresa tiene o espera tener control. Este método debe estar basado en un estudio previo sobre aquellos elementos de dichas actividades, productos y servicios que puedan interactuar con el medio ambiente.

Se habrían de tomar en cuenta los diversos factores que intervienen dentro del espectro ambiental tanto de los insumos y servicios necesarios en los procesos como de los residuos generados en éstos, sin perder el criterio establecido en el alcance del control que JVC tuviese o pudiera llegar a tener.

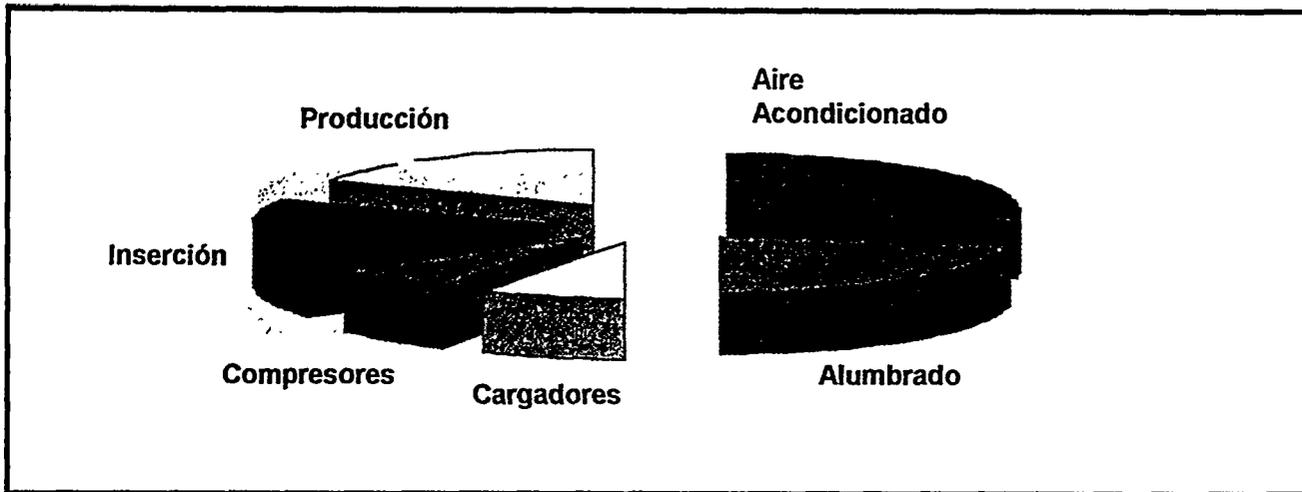
Las actividades, productos y servicios de la empresa, fueron analizados desde la perspectiva de aquellos cambios al medio ambiente, ya sean benéficos o dañinos, totales o parciales que resultaran de los mismos y ésto fue documentado mediante diagramas de flujo, como sigue:



Las cargas eléctricas:

Dentro de Plan de Ahorro de Energía, un censo de cargas se determinó arrojando los siguientes resultados:

- 1) Alumbrado fluorescente alimentado con voltaje 277 consumiendo aproximadamente el 23 %.
- 2) 540 toneladas de aire acondicionado conectado a 480 volts consumiendo 27 %.
- 3) Los cargadores para los acumuladores de los montacargas eléctricos con el 8 %.
- 4) Maquinaria en el área de inserción automática 17 %.
- 5) 150 hP en 3 compresores con el 7 %.
- 6) Maquinaria en el área de producción con 18 %.



Evidentemente, nuestro trabajo primordial, por el momento, debería ser el Alumbrado y el Aire Acondicionado.

Los conceptos de consumo y demanda fueron analizados para determinar las posibilidades inmediatas de administración.

Se acordó, que en base a estos conceptos y a la información recabada hasta el momento, se presentara a la brevedad, un reporte a la Alta Gerencia. Dicho reporte incluiría una descripción de la infraestructura necesaria para consecución del objetivo.

Los aspectos ambientales:

Posterior a esto, durante el proceso de análisis de los elementos de nuestras actividades, servicios o productos en el contexto medioambiental, se concentró la información de los diagramas de flujo en una tabla diseñada para la identificación y otra diseñada para la evaluación de los mismos. El criterio en este punto tiene como objeto considerar prioridades al momento de establecer los objetivos y las metas ambientales. Aunque el estándar no establece metas específicas a ser cumplidas, si requiere que dichas metas estén asociadas con los aspectos ambientales significativos previamente identificados, entendiéndose como aspectos ambientales significativos aquellos que pueden provocar un cambio importante, ya sea adverso o benéfico, parcial o total en los alrededores en los cuales opera la empresa incluyendo aire, agua, tierra, recursos naturales, flora, fauna, el humano y todas las interrelaciones.

Tabla de Identificación de Aspectos Ambientales

Aspecto	Proceso Asociado	Características particulares	Comentarios
Cartón	Recepción de materiales	Generación constante	Certificado de reciclaje
Residuos peligrosos	Mantenimientos preventivos	Generación regular	Regulados por Ley.
Energía eléctrica	Todos	Emisiones constantes	Administración de consumo

Tabla de Evaluación de Impactos Ambientales

Aspecto	Valoración impacto / aire	Valoración impacto / tierra	Valoración total
Cartón	2	5	10
Residuos peligrosos	1	8	8
Energía eléctrica	10	3	30

Las posibilidades de ahorro:

Dentro del concepto del consumo y la demanda eléctrica se establecieron las siguientes definiciones:

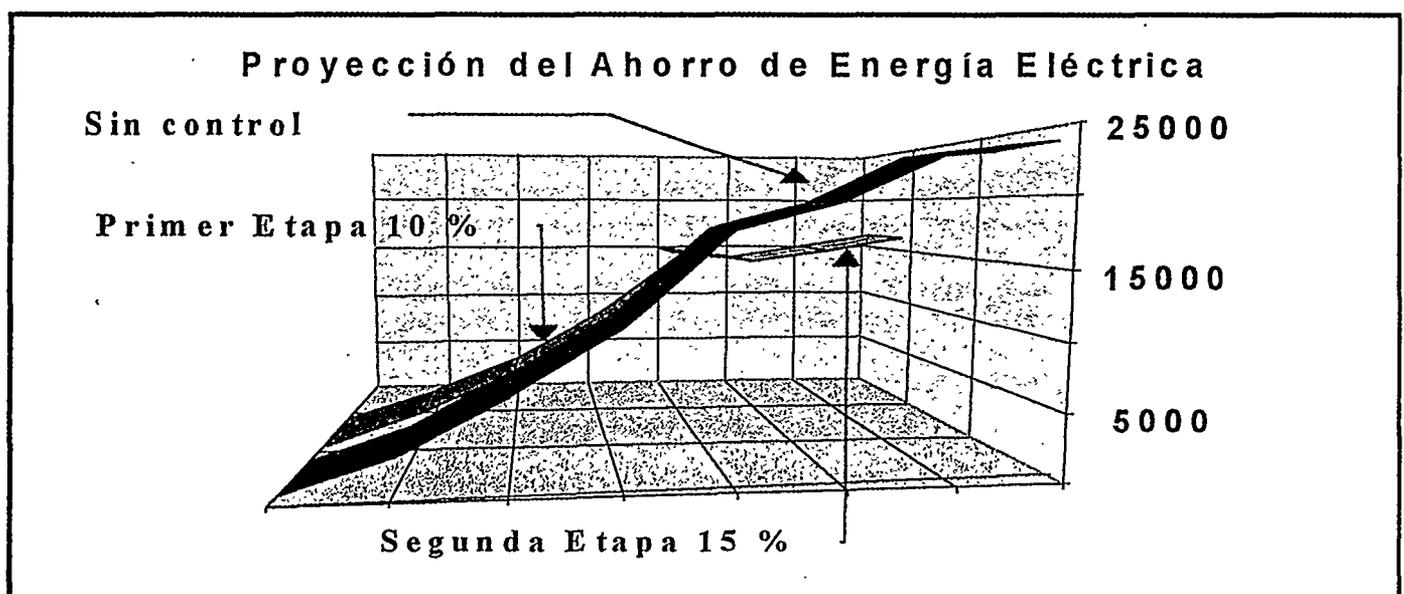
Consumo Eléctrico: es definido como la cantidad de energía utilizada en un período de tiempo medido, esta relación es expresada en kilowatt-horas.

Demanda Eléctrica: es definida como la cantidad de energía requerida en un solo punto de tiempo, este concepto es expresado en kilowatts.

Basado en lo anterior, la propuesta base para el Plan de Ahorro de Energía, se concentraría inicialmente en una reducción de la demanda mediante el monitoreo de la misma y el interactuado, vía un controlador de señales, con los equipos de aire acondicionado. De esta manera se mantendría el nivel de demanda, en cada uno de los horarios del día, dentro de los parámetros dispuestos por la empresa, con el consiguiente ahorro, sobre todo en los horarios críticos. El grado de ahorro en este concepto se estimó conservadoramente alrededor del 10 % ya en facturación.

Una segunda etapa de esta propuesta, implicará la sustitución de el sistema de alumbrado convencional, por alumbrado de alta eficiencia, lo que reduciría en un 15 % adicional vía administración de consumo. Estimándose el impacto total de alrededor de 25 % efectivo en facturación.

La propuesta y su proyección económica fue presentada ante la Alta Gerencia para su análisis.



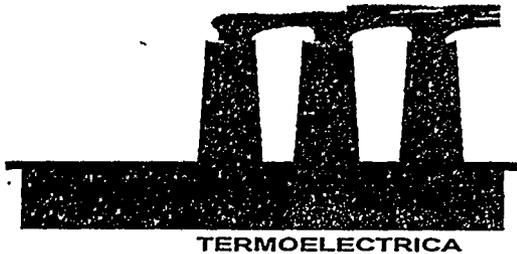
El impacto ambiental:

Como parte de la evaluación de los aspectos ambientales de la empresa, se consideró el impacto medioambiental de la generación de energía eléctrica por una planta termoeléctrica como la que actualmente suministra el servicio a la ciudad de Tijuana B.C., al utilizar como combustible primario un hidrocarburo denominado **COMBUSTOLEO # 6**.

La integración de los sistemas comenzaba a tomar forma cuando se puntualizó el hecho de que concretamente al ahorrar energía eléctrica no solo administrábamos mejor las utilidades sino además contribuíamos directamente a la conservación del medio ambiente.

Aunque JVC no tiene control sobre el tipo de combustible utilizado para la generación de la energía consumida, la manera en que éste se maneje, la capacidad de respuesta en casos de emergencias, el adecuado manejo de los residuos, etc., sí podemos controlar la cantidad que consumimos y que demandamos y con ello, reducir los niveles de contaminación generados.

Dichos niveles de contaminación fueron cuantificados de la siguiente manera:



TERMOELECTRICA

Contaminantes por Mwh generado

SO ₂	15.70 Kg.
NO _x	1.15 Kg.
CO _x	2.88 Kg.
CO ₂	0.08 Kg.
Partículas	1.07 Kg.

La disminución de contaminantes emitidos por concepto de los Mwh ahorrados en JVC se estima en 22 ton / año.

Las operaciones de control

Como parte de las medidas de control para administrar la demanda y el consumo eléctrico, se instrumentó un sistema de medición y envío de pulsos alterno al instalado en el área de medidores de CFE, con la idea de permanecer monitoreando y utilizar esta señal para interactuar con un controlador que a su vez interrumpiera los equipos de aire acondicionado de la planta mediante una estrategia preestablecida derivada del diagnóstico energético la cual nos permitiría administrar la demanda en horas pico o bajo condiciones fuera de parámetro.

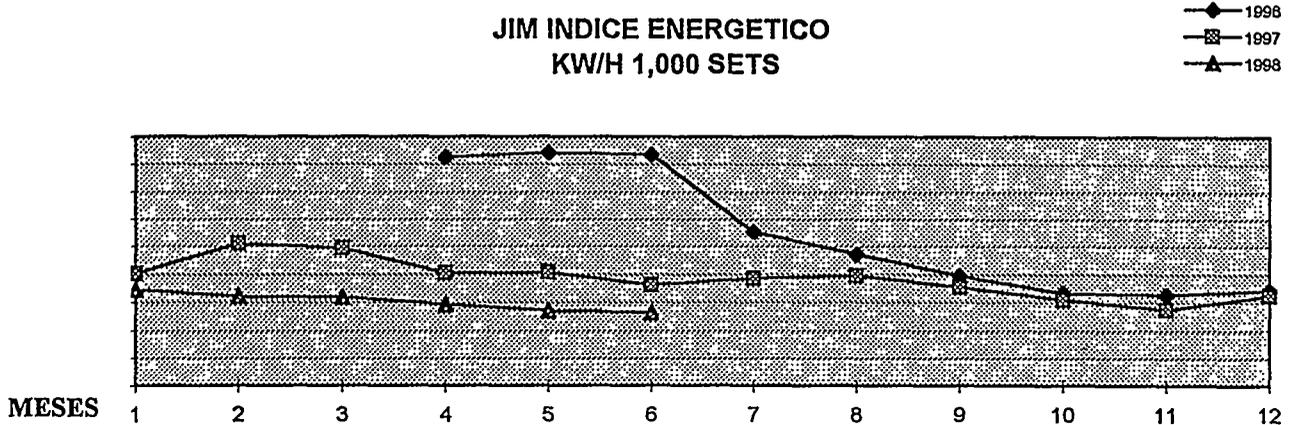
Otra función de este controlador es la de automatizar el encendido y apagado del alumbrado de las áreas, para con esto intervenir directamente en el consumo y lograr una administración mas completa.

El control operacional

Como parte de los requerimientos del estándar ISO 14001 y para asegurar el seguimiento y la consistencia de todas aquellas actividades que estuviesen relacionadas con los aspectos ambientales significativos, los objetivos y metas ambientales y la política ambiental de JVC, se formularon procedimientos que sirven de marco operacional controlado para la disposición de dichos objetivos y metas, los métodos de monitoreo y medición a ser utilizados. Igualmente se redactaron instrucciones de trabajo para controlar mas específicamente las características claves de aquellas actividades. Finalmente y con la intención de generar evidencia objetiva de nuestro Sistema de Administración Ambiental, la información relevante es periódicamente conservada en registros, bitácoras, matrices, etc.

El Índice Energético

Una vez activado el controlador de demanda se procedió a establecer el índice energético por unidad de producción que en este caso se optó por cada millar de televisores terminados mensualmente, en donde se aprecia y se comprueba la efectividad de esta estrategia, tomando como un 100% nuestra meta de reducción, como se muestra en la tabla siguiente:



Las metas a mediano plazo.

Una vez estructurado el Programa de Ahorro de energía y en combinación con el ISO 14001 las metas en las cuales JVC trabaja en el mediano plazo son las siguientes:

SISTEMA DE ADMINISTRACION AMBIENTAL OBJETIVOS Y METAS

OBJETIVO	META	FECHA CUMPLIMIENTO
1. Control de las Emisiones Atmosféricas	Reducción en un 75 %	Julio 98 / Julio 99
2. Conservación de la Energía	Reducción de consumo en un 30 %	Julio 98 / Julio 99
3. Incrementar el reciclaje	Aumento de un 10%	Julio 98 / Julio 99

Conclusiones

1.- El Ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica tiene una relación directa con el estándar ISO 14001, la cual establece el marco operacional para evaluar metódica y constantemente, la naturaleza, frecuencia y gravedad del impacto, en el medio ambiente, del uso de la energía eléctrica así como los objetivos y metas ambientales relacionados con este particular, que puedan ser razonablemente fijados.

2.- El éxito de la implementación de este programa se debe en gran parte a la entusiasta participación de la alta gerencia, que mediante la integración de criterios vio más concentrados sus esfuerzos.

- 3.- Se comprueba que la estrategia de la administración de la demanda funciona, permitiendo obtener importantes porcentajes de ahorro por concepto de ahorro de energía.
- 4.- Se continúan evaluando posibilidades de reducir el índice energético de acuerdo a metas preestablecidas en el mediano plazo.
- 5.- Los resultados obtenidos en JVC INDUSTRIAL DE MEXICO S.A. DE C.V. se han dado a conocer en el corporativo a nivel internacional con el fin de contribuir en igual forma.
- 6.- En JVC estamos convencidos de continuar permanentemente haciendo un uso eficiente de la energía eléctrica.

Bibliografía

Environmental Management systems—
Specification with guidance for use.
ANSI/ISO 14001-1996.

Memoria técnica del XVIII Seminario Nacional sobre el uso racional de la energía
y exposición de equipos y servicios.
22 al 26 de Septiembre de 1997.

Análisis de Índice Energético en JVC Industrial de México,
elaborado por la Oficina de Ahorro de Energía de CFE, octubre 1996.

Consumo de energía residencial por usos finales en México (1984 y 1994)

Oscar Vázquez y Claudia Sheinbaum

Instituto de Ingeniería, UNAM
Ciudad Universitaria Apdo. Postal 70-472
Tel. (525) 6 22-8133; Fax (525) 6 22-8137

Resumen

Este artículo analiza los cambios en el equipamiento de las viviendas y en el consumo de energía residencial por usos finales en México en la década 1984-1994. El estudio se basa en datos de la Encuesta Nacional Ingreso-Gasto de los Hogares del INEGI y en estimaciones del consumo unitario de los equipos. Los resultados más importantes muestran que la cocción de alimentos representa el 64% del consumo de energía residencial, 22% el calentamiento de agua, 4% la iluminación y 10% los equipos eléctricos y otros usos de GLP y Gas Natural. Los equipos de mayor saturación en 1994 fueron la estufa de gas (87%), la plancha (85%), la televisión (85%) y el refrigerador (64%). En un análisis de equipamiento por nivel de ingreso, se muestra que existe una inequidad grave en el país. El número de viviendas que cuentan con equipos para suministrar servicios energéticos depende enormemente del nivel de ingreso de las mismas.

1. Introducción

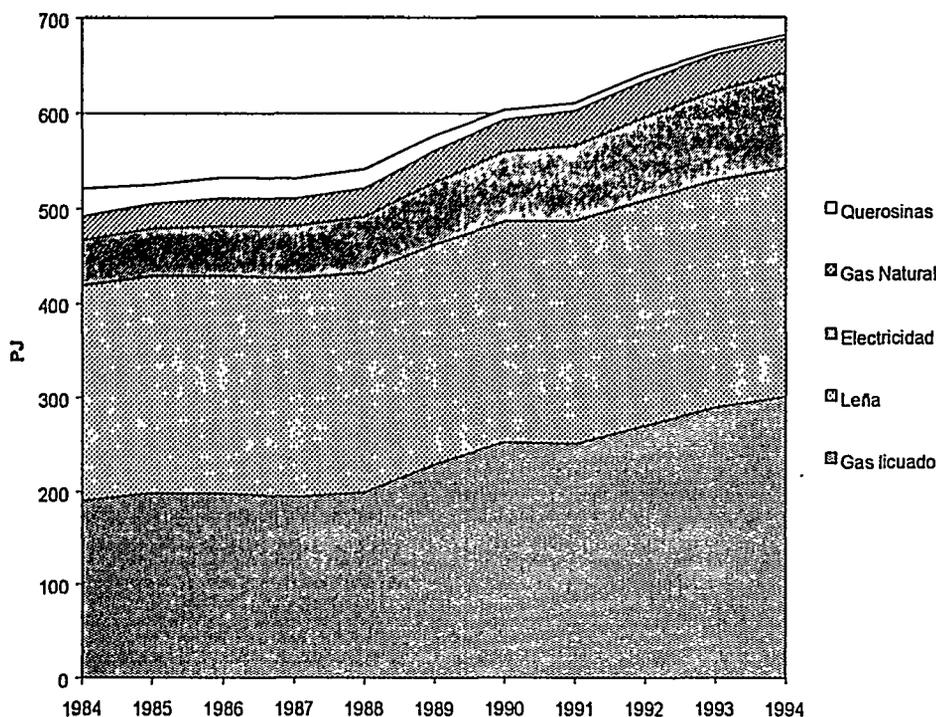
El sector residencial en México es responsable del 20% del consumo de energía final y creció a una tasa promedio anual del 2.7% entre 1984 y 1994. Para el mismo periodo, el uso de la energía en este sector muestra un incremento total del 30%, siendo de 107% para electricidad, 58% para GLP, 38% para gas natural, 6% para la leña.¹ y un decremento del 87% en las querosiñas (Figura 1).

El análisis de las tendencias históricas del uso de la energía se basa principalmente en el estudio de las actividades en las que ésta fue consumida y en la tecnología utilizada para el suministro de los servicios energéticos (Schipper et al. 1994). El objetivo primordial del uso de la energía en los hogares, es proporcionar servicios básicos, bienestar y confort físico (calefacción, agua caliente, cocción de alimentos, etc.). Por esta razón, el análisis del consumo de energía residencial requiere una aproximación metodológica del tipo "de abajo hacia arriba" o de "usos finales de la energía" (Goldemberg et. al., 1987). Esta metodología requiere de conocer el

¹La leña es un combustible no comercial. La mayoría de las familias rurales adquieren la leña por medio de recolección. Por esta razón, el valor del consumo nacional de leña debe indicar la metodología de cálculo. El valor reportado por el Balance Nacional de Energía tuvo un cambio importante en 1995, sin que se indicara la causa del cambio. Esto sugiere que el valor del consumo nacional de leña reportado por la Secretaría de Energía debe manejarse con cautela.

número y tipo de equipos que existen en las viviendas, así como del consumo unitario y tipo de energético que se utiliza para cubrirlos.

Figura 1. Consumo de energía residencial por combustible, 1984-1994



Fuente: Balance Nacional de Energía, SE, 1996.

Existen diversos antecedentes del estudio del consumo de energía residencial por usos finales en México (Maserá et al., 1991; Sheinbaum 1996). Sin embargo, los primeros estudios calculaban el equipamiento de los hogares de acuerdo a una estimación de las ventas de electrodomésticos y a diversos estudios de caso. No es hasta 1997, que CFE realiza por primera vez, un estudio del equipamiento de electrodomésticos en las viviendas mexicanas a partir de las bases de datos de la Encuesta Nacional Ingreso Gasto de los Hogares (ENIGH) del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) de 1984, 1989 y 1992.

Este artículo presenta una estimación del consumo de energía por usos finales del sector residencial, basado en las bases de datos de la ENIGH-INEGI de 1984 y 1994, así como de estimaciones de los consumos unitarios de energía de los diversos equipos domésticos. Asimismo, se presenta el cambio en el equipamiento de los hogares por decil de ingreso para el mismo periodo.

2. Metodología

El consumo de determinado energético j utilizado para cubrir un uso final i "e_{ji}" puede

descomponerse en cuatro variables: el consumo unitario de determinado energético por equipo "Cu_{ji}", la saturación del equipo que utiliza dicho energético "S_{ji}" (que representa el porcentaje de viviendas que cuentan con dicho equipo), el número de equipos por vivienda "Ne_{ji}" y el número total de viviendas "N". Así el consumo total de un uso final para determinado energético, tiene la siguiente expresión matemática:

$$e_{ji} = Cu_{ji} * S_{ji} * Ne_{ji} * N \quad (1)$$

El consumo total de energía residencial puede ser expresado como la suma de todos los consumos de los distintos usos finales para los diversos energéticos:

$$E_t = N \sum_i \sum_j Cu_{ij} * S_{ij} * Ne_{ij} \quad (2)$$

3. Resultados

3.1 Equipamiento de las viviendas

En las Tablas 1, 2 y 3 se presentan los resultados de la saturación y número de equipos por vivienda de los principales equipos domésticos a nivel nacional, rural y urbano, obtenidas del análisis de las bases de datos de la ENIGH.

Tabla 1. Equipamiento de las viviendas a nivel nacional (1984 y 1994)
Total de viviendas 1984: 13.976 Millones; Total de viviendas 1994: 19.022

	Viviendas equipadas (1984)	Equipos por vivienda equipada (1984)	Viviendas equipadas (%) (1994)	Equipos por vivienda equipada (1994)
Refrigerador	49.6	1.01	64.0	1.03
Televisión	72.2	1.06	85.5	1.36
Plancha	83.3	1.05	85.8	1.08
Lavadora	31.3	1.02	44.4	1.02
Ventilador	25.9	1.29	46.2	1.32
Aire acondicionado	2.2	1.15		
Bomba de agua	2.2	1.00	13.1	1.00
Horno de microondas	6.2	1.00	11.3	1.00
Estufa de gas	77.7	1.01	87.4	1.03
Calentador de gas	24.1	1.01	31.7	1.02

Fuente: ENIGH, INEGI. 1984 y 1994.

Tabla 2. Equipamiento de las viviendas a nivel rural (1984 y 1994)
 Total de viviendas 1984:4.905; Total de viviendas 1994: 4.650 Millones

	Viviendas equipadas (Equipos por vivienda Equipada	Viviendas equipadas (%)	Equipos por vivienda equipada
	1984	1984	1994	1994
Refrigerador	24.3	1.00	29.4	1.02
Televisión	43.6	1.03	62.4	1.01
Plancha	72.8	1.06	64.1	1.04
Lavadora	9.5	1.00	14.0	1.01
Ventilador	17.1	1.23	24.9	1.41
Aire acondicionado	0.9	1.11		
Bomba de agua	0.9	1.02	4.0	1.00
Horno de microondas	2.9	1.00	1.3	1.00
Estufa de gas	56.3	1.00	63.9	1.01
Calentador de gas	5.7	1.01	4.4	1.00

Fuente: ENIGH, INEGI. 1984 y 1994.

Tabla 3. Equipamiento de las viviendas a nivel urbano (1984 y 1994)
 Total de viviendas 1984: 9.071; Total de viviendas 1994: 14.372 Millones

	Viviendas equipadas (Equipos por vivienda equipada	Viviendas equipadas (%)	Equipos por vivienda Equipada
	1984	1984	1994	1994
Refrigerador	63.2%	1.01	75.2%	1.02
Televisión	87.7%	1.07	93.0%	1.40
Plancha	89.0%	1.05	92.8%	1.07
Lavadora	43.1%	1.02	54.2%	1.02
Ventilador	30.7%	1.31	53.1%	1.63
Aire acondicionado	2.9	1.15		
Bomba de agua	2.9%	1.00	16.1%	1.00
Horno de microondas	8.0%	1.00	14.5%	1.00
Estufa de gas	89.3%	1.01	95.0%	1.01
Calentador de gas	34.1%	1.01	40.5%	1.02

Fuente: ENIGH, INEGI. 1984 y 1994.

El equipo que presenta mayor saturación a nivel nacional es la estufa de gas, seguido por la plancha y la televisión (87.4%, 85.8% y 85.5% respectivamente). El refrigerador registra apenas un 64% y el calentador de gas un 31%. A nivel urbano, la saturación es mayor en todos

los equipos, comparado con el sector rural. Por ejemplo, mientras que a nivel urbano el calentador de gas alcanza el 40.5%, a nivel rural este alcanza apenas el 4.4%.

A nivel nacional, el equipo que registró mayor crecimiento en la saturación en la década 1984-1994, fue la bomba de agua, pasando de 2 a 13%, seguido por el horno de microondas (de 6.2 a 11.3%) y los ventiladores (26 a 46%). La plancha, estufa de gas y televisión muestran menores crecimientos debido a que su saturación había superado en todos los casos, el 70% en 1984.

Los equipos que presentan mayor número de equipos por viviendas equipadas son el ventilador y la televisión. Desafortunadamente, la ENIGH-94 no reporta equipamiento de aires acondicionados.

3.2 Equipamiento por decil de ingreso

La tabla 4 muestra la diferencia en el equipamiento de las viviendas por decil de ingreso para 1984 y la tabla 5 lo presenta para 1994 a nivel nacional.²

Tabla 4. Equipamiento de las viviendas por decil de ingreso en 1984

Decil de ingreso	Refriger.	T.V. B&N	T.V. color	Planch	Lavador	Ventilad	Bomba d agua	Estufa d gas	Calentad de gas
I	7.	19.	0.	51.	2.	5.	0.	33.	2.
II	15.	38.	0.	65.	5.	9.	1.	48.	3.
III	21.	42.	2.	74.	8.	14.	0.	64.	5.
IV	31.	60.	6.	82.	16.	19.	4.	75.	9.
V	42.	65.	6.	89.	19.	23.	1.	86.	14.
VI	56.	69.	10.	88.	29.	29.	4.	85.	19.
VII	66.	72.	11.	93.	40.	35.	4.	94.	26.
VIII	79.	74.	23.	95.	49.	43.	6.	95.	33.
IX	83.	74.	34.	94.	62.	40.	12.	97.	55.
X	91.	58.	49.	97.	77.	39.	25.	95.	73.

Fuente: ENIGH, INEGI. 1984.

² Por razones de espacio no se presenta este análisis para el sector urbano y rural.

A reserva de realizar un estudio más detallado utilizando metodologías como el índice de Gini o la curva de Lorentz (Rubalcaba et al. 1999) las tablas que se presentan muestran una importante inequidad en el equipamiento de las viviendas mexicanas. Por ejemplo, en 1984, solamente el 7.4% de las viviendas con menores ingresos contaba con refrigerador, mientras que 91.4% de las viviendas pertenecientes al decil de mayores ingresos poseían el mismo equipo. Para 1994, las viviendas con refrigerador pertenecientes al decil de menores ingresos aumenta a 15%, mientras las de mayores ingresos lo hacen a 95.5%. Sin embargo la diferencia continúa siendo mayor al 70%.

La estufa de gas y la televisión son los equipos de menor diferencia en relación a su equipamiento por decil de ingreso. Sin embargo, en 1994 menos de la mitad de las viviendas contaban con televisión mientras que en el decil de mayor ingreso, prácticamente todas las viviendas contaban con este equipo.

El equipo que muestra mayor desigualdad por nivel de ingreso es la bomba de agua, solamente el 2% de las viviendas de menor ingreso contaban con este equipo en 1994, mientras que el 40.3% de las viviendas de mayor ingreso lo tenían.

Tabla 5. Equipamiento de las viviendas por decil de ingreso en 1994

Decil de ingreso	Refriger.	T.V.	Planch	Lavador	Ventilad	Bomba d agua	Estufa de g	Calentad de gas
I	15.	40.	43.	5.	14.	2.	42.	3.
II	33.	68.	71.	15.	30.	3.	73.	10.
III	46.	83.	85.	21.	39.	6.	87.	12.
IV	53.	86.	85.	28.	39.	5.	89.	14.
V	65.	91.	90.	39.	48.	8.	95.	23.
VI	71.	93.	90.	47.	46.	9.	95.	29.
VII	79.	96.	96.	57.	54.	12.	97.	38.
VIII	84.	98.	97.	67.	60.	16.	98.	43.
IX	92.	98.	98.	76.	64.	26.	98.	60.
X	95.	97.	98.	84.	63.	40.	97.	82.

Fuente: ENIGH, INEGI. 1994.

A continuación se presenta una estimación del consumo de energía residencial por usos finales a nivel urbano, rural y nacional para 1984 y 1994. Debido a que los consumos unitarios son estimados, no se realiza un cálculo de usos finales por nivel de ingreso, ya que éste sólo mostraría la diferencia en el equipamiento. Sin embargo, es evidente que la inequidad en el equipamiento de las viviendas por nivel de ingreso, refleja también, la inequidad en el consumo de energía.

3.3 Consumo de energía por usos finales

3.3.1 Cocción

En el campo mexicano la leña representa el energético más importante para la cocción de alimentos. Diversos estudios reportan que aún cuando una familia rural adquiere una estufa de GLP, ésta sigue utilizando la leña para la cocción de tortillas y nixtamal Maserá et al., 1989). De acuerdo con la encuesta rural realizada por SEMIP en 1987, cerca del 90% de las viviendas rurales seguían utilizando la leña para cocción. Se puede estimar, que la diferencia entre el Censo y la encuesta de SEMIP corresponde a las viviendas que utilizan ambos energéticos (Maserá, 1994).

La cocción con leña en la mayor parte del sector rural mexicano se realiza a través de la llamada estufa tres piedras, cuya eficiencia es del 17% (Dutt et al., 1989).³ Cerca del 50% del consumo de leña para cocción es destinado en la preparación y cocimiento de tortillas (Sheinbaum, 1990).

El sector urbano tiene características muy distintas al rural. En 1990 tan sólo el 5% de las viviendas utilizaba leña para la cocción, cerca del 85% lo hacían con GLP y alrededor del 5% con ambos combustibles. Aquellas familias urbanas que utilizan la leña como energético para la cocción se concentran principalmente en las zonas marginadas de las ciudades y en las pequeñas ciudades de entre 2500 y 10000 habitantes⁴. Para 1994, el porcentaje de viviendas urbanas con estufa de gas alcanzó el 95%.

De acuerdo con estimaciones de Maserá et al. 1991; Sheinbaum, 1996; Willars y Heredia 1990; se estima que el consumo unitario de GLP y Gas Natural para cocción está entre 14 y 16 GJ por vivienda al año; mientras que para calentamiento de agua para los mismos energéticos se encuentra entre 16 y 18 GJ por vivienda al año. Por su parte el consumo unitario de leña para cocción y para calentamiento de agua en el sector rural es de alrededor de 45 GJ y 14 GJ por vivienda al año, respectivamente.

³Medida con la prueba de ebullición de agua (Bathia 1980)

⁴El límite arbitrario de 2500 habitantes para considerar una comunidad urbana o rural tiene problemas en aquellas comunidades cuya población es ligeramente mayor a los 2500 habitantes pero sus características económicas y culturales siguen siendo las de una comunidad rural.

3.3.2 Calentamiento de agua

El calentamiento de agua es el uso final más importante después de la cocción. Se estima que una parte importante del incremento en el GLP se debe al aumento en el número de calentadores de gas. Entre 1980 y 1990 cerca de 5.2 millones de calentadores se vendieron en el país. No obstante el importante incremento de las ventas de calentadores de agua, la mayoría de las viviendas no cuentan con este equipo doméstico. En 1994, 41% de las viviendas urbanas contaban con calentadores gas y solamente 4% de las rurales. La saturación de calentadores que ocupan otro tipo de combustibles es bastante menor: 4% en el sector urbano y 3 % en el rural.

En cuanto a los consumos unitarios relativos a cocción y calentamiento de agua, los resultados se presentan en la Tabla 6, los cuales fueron obtenidos de acuerdo a los autores citados y cruzando la información del Balance Nacional de Energía con la saturación de equipos reportados por INEGI.

3.3.3 Iluminación

En México no todas las viviendas utilizan electricidad para cubrir sus necesidades de iluminación. Entre 1984 y 1994, la electrificación creció de 73.5 a 82.7% en el sector rural y de 94.4 a 99.3% en el sector urbano, representando un total nacional de 87 a 95%.

De acuerdo con un estudio de Comisión Federal de Electricidad (1997), la iluminación es quizá el uso final más importante de la electricidad en los hogares. De acuerdo con Friedmann (1994), en un estudio realizado para las ciudades de Monterrey y Guadalajara, el número de focos por vivienda varía de 7.3 a 23.1 en el caso de Monterrey y de 7.4 a 11.3 en el caso de Guadalajara. El promedio de potencia de los focos está entre 51 y 62 Watts. De este estudio se obtiene que en el caso de Monterrey, el consumo para iluminación está entre 20 y 84 kWh mensuales, mientras que para el caso de Guadalajara, éste se encuentra entre los 27 y 43 kWh mensuales. Considerando los resultados de este estudio, se decidió considerar un rango promedio de consumo para iluminación de entre 360 y 440 kWh al año. Este rango equivale a un promedio de 9 a 11 focos de 55 Watts en uso durante dos horas diarias todos los días del año.

3.3.4 Electrodomésticos

Los consumos unitarios para electrodomésticos, de acuerdo a una revisión de diversos autores, recopilada por CFE (1997), se presenta a continuación:

En el caso de los refrigeradores, aquellos modelos que desde 1980 representan cerca del 70% de las ventas son los de una puerta, con descongelamiento manual, compresor tipo EER y alrededor de 250 litros de capacidad (Friedmann 1993, ANFAD 1980 y 1992, Campero 1991). De acuerdo con estas características se supone que el refrigerador utiliza entre 500 y 550 kWh al año.

Las lavadoras de ropa que dominan el mercado mexicano son las semiautomáticas de baja capacidad. De acuerdo con comparaciones internacionales (Schipper et al. 1991 y Friedmann 1993) se estima un uso anual de entre 100 y 120 kWh al año.

La potencia promedio de las televisiones a color de 16 pulgadas es de 90 Watts. Suponiendo un consumo diario de 4 a 5 horas, el consumo unitario promedio de estos aparatos se estima está entre 130 y 160 kWh al año. (Maserá et al. 1991). Antes de 1986 las ventas de televisores estaban dominadas por modelos blanco y negro. Después de este año, el 85% de las ventas las representan las televisiones de color (Friedmann, 1993).

La plancha tiene una potencia promedio de 1000 Watts. Suponiendo un uso promedio de 1 a 1.3 horas por semana, el consumo anual es de 50 a 70 kWh.

El ventilador promedio tiene una potencia entre 50 y 60 Watts. Suponiendo un uso promedio de 8 horas durante los seis meses cálidos, se tiene un consumo promedio de 70 a 90 kWh al año.

Otro equipo doméstico que representa un porcentaje importante del consumo de electricidad de las viviendas, principalmente en el norte del país, es el aire acondicionado. Desafortunadamente, la ENIGH solamente tiene reportada la saturación de este equipo para el año de 1984. Los aires acondicionados más comunes son los de tipo habitación que tienen consumos unitarios que van desde los 1300 a los 1600 kWh al año (De Buen 1994).

De acuerdo con la saturación de los equipos y los consumos unitarios; la Tabla 6, muestra una estimación del uso de la energía por usos finales y por fuentes (rural, urbano y nacional).

Tabla 6. Estimación del consumo de energía residencial por usos finales

	Urbano 1984	Rural 1984	Nacional 1984	Urbano 1994	Rural 1994	Nacional 1994
Cocción (PJ)						
Leña	25.01	166.37	191.38	18.67	178.34	197.00
Gas licuado	111.75	33.16	144.91	188.40	35.64	224.04
Querosinas	21.07	10.96	32.03	2.51	1.60	4.12
Gas Natural	9.72	0.00	9.72	16.38	0.00	16.38
Calentamiento de agua (PJ)						
Leña	10.33	35.71	46.04	9.90	39.15	49.05
Gas licuado	44.59	4.40	48.98	83.84	3.25	87.09
Querosinas	10.36	0.00	10.36	17.48	0.00	17.48
Gas Natural	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Iluminación (TWh)	3.32	1.40	4.71	6.03	1.62	7.65
Electrodomésticos (TWh)	6.91	1.78	8.69	16.92	3.18	20.10
Otros (PJ)*			8.8			10.94

*Otros se obtiene de la diferencia entre la metodología por usos finales y los datos reportados por el Balance Nacional de Energía. Indican otros usos de la energía del gas natural y el GLP.

4. Conclusiones

Las conclusiones más importantes de este trabajo pueden resumirse en los siguientes puntos:

1. Las estimaciones del consumo de energía residencial por usos finales indican que la cocción de alimentos representa el 64%, el calentamiento de agua el 22%, la iluminación el 4% y los electrodomésticos y otros usos del GLP y Gas Natural el 10%.
2. El sector rural representa el 34% del consumo de energía en el sector residencial, mientras que el número de viviendas representa el 23%. Esto se debe a la utilización ineficiente de la leña.
3. En un análisis de equipamiento por nivel de ingreso, se muestra que existe una inequidad grave en el país. El número de viviendas que cuentan con equipos para suministrar servicios energéticos depende enormemente del nivel de ingreso de las mismas.
4. Debido a la baja saturación de diversos equipos domésticos, es de esperarse que el consumo de energía en este sector crezca de manera importante, aunque esto depende también del incremento en el nivel de ingreso.
5. Es indispensable continuar actualizando y analizando el consumo de energía por usos finales en el sector residencial. En particular, se requieren mayor número de estudios sobre los consumos unitarios de los equipos domésticos.

Referencias:

- ANFAD 1980 y 1992. "Memoria Estadística de la Industria de Aparatos Domésticos". Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos. México DF.
- Bhatia R., 1980. "Energy Survey Methodologies: A framework for Measuring Nonconventional Energy Sources in Developing Countries, Workshop on Energy Statistics ESCAP, IIE, Karachi, Oct. 1980.
- Campero, E. 1991. "Impacto de los refrigeradores domésticos en el consumo de energía del sector residencial". En Quintanilla J. (ed.) *Primera reunión internacional sobre energía y medio ambiente en el sector residencial mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México-University of California. México D.F. Nov. 1991.
- De Buen, O. 1993. *Residential air conditioning in Northern Mexico: Impacts and alternatives*. Master's Thesis. Energy and Resources, University of California, Berkeley.
- Dutt G., Navia J., Sheinbaum C., 1989. "Tecnología Apropiada para Cocinar con leña, *Ciencias* V15:43-47. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Friedmann, R. 1993. "Mexico's residential sector: Main electric end uses and savings potential". In *Proceedings of the 1993 ECEEE Summer Study: The Energy Efficient*

- Challenge for Europe*. R. Ling and H. Wilhite (eds.). The European Council for an Energy Efficient Economy, Oslo, Norway.
- Goldemberg J., Johanson A., Reddy A., Williams R., 1987. "Energy for Development". World Resources Institute, NY.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 1984, 1994. Base de datos de la Encuesta Nacional Ingreso Gasto de los Hogares. Aguascalientes, México.
- Masera O., Almeida R., Cervantes J., Garza J., Juárez C., Sheinbaum C., "Energy Use Patterns and Social Differences: A Mexican Village Case Study". International Development Research Centre. IDRC-MR 215e. Ottawa.
- Masera O., O. De Buen y R. Friedmann., 1991. Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales, Potencial de Ahorro. En Primera Reunión Internacional sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano (ed) Quintanilla J., Mexico D.F.
- Masera O., 1994. Sustainable Fuelwood Use in Rural Mexico, Vol. 1: Current Patterns of Resource Use, Lawrence Berkeley Laboratory, LBL-34634, Berkeley, CA.
- Rubalcaba, 1996. Metodologías para Inequidad. Colegio de México. México D.F.
- Sathaye, J., R. Friedmann, S. Meyers, O. De Buen, A. Gadgil, E. Vargas y R. Saucedo. 1994. *Economic analysis of ILUMEX: A project to promote energy efficiency residential lighting in Mexico*. Energy Policy, Feb. 1994
- Schipper L., Meyers L, with Howard R and Steiner R. 1992. *Energy Efficiency and Human Activity*. Cambridge University Press. U.K.
- Schipper, L., & D. Hawk., 1991. "More Efficient Household Electricity Use: An International Perspective". *Energy Policy* V19(3):244-263.
- Secretaría de Energía, 1996. "Balance Nacional de Energía". México DF.
- Sheinbaum C., 1990. Estudio Termodinámico de una Estufa de Leña. Tesis de Licenciatura. Física. Facultad de Ciencias, UNAM.
- Shienbaum C., 1996. *Tendencias y Perspectivas de la Energía Residencial en México*. Programa Universitario de Energía, UNAM.

IMPACTO DEL CLIMA EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LOS USUARIOS DOMÉSTICOS

Dr. Gaudencio Ramos Niembro y MI Raúl Fiscal Escalante
 Instituto de Investigaciones Eléctricas
 E-mail: gframos@axp13.iie.org.mx

RESUMEN

Se dice que cuando se implementa un programa de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica, debe ser negocio para tres: el usuario, la sociedad y la empresa eléctrica.

En lo que respecta al usuario, su toma de decisión es muy simple: me resulta más barato o más caro. Desafortunadamente en muchos de los casos queremos un tiempo de retorno muy corto, o no se cuenta con el dinero necesario para la inversión inicial. Por ejemplo, una lámpara incandescente cuesta varias veces menos que una lámpara fluorescente compacta, pero si hacemos el cálculo en el tiempo de vida y la reducción en consumo de la lámpara fluorescente compacta, podemos concluir que ésta es más rentable.

El beneficio para la sociedad puede verse desde muy diversos aspectos, siendo el más importante la conservación de los recursos naturales y el medio ambiente. Desde el punto de vista empresa, los posibles factores de más peso son el diferimiento de inversiones y la confiabilidad del sistema. Cuando se aplican algunos programas de Administración por el Lado de la Demanda (ALD), las empresas apoyan o promueven proyectos no rentables financieramente, pero ganan impactando en el usuario, al crear una conciencia de ahorro y uso eficiente de la energía: se invierte en el corto plazo y se gana en el largo plazo.

Por lo anterior, para una selección e implementación óptima, de medidas de ahorro y uso eficiente de energía eléctrica, se requiere de un conocimiento detallado de la forma de consumo.

En el presente trabajo se muestra la importancia que tiene el monitoreo de la forma de uso de la energía en diferentes tipos de usuarios, para poder tomar decisiones de programas de ALD, en muy diversos escenarios: ciudades, tipos de usuarios, niveles de ingresos, etc.

INTRODUCCIÓN

Se tiene previsto que el sector eléctrico a nivel mundial y en los próximos 30 años, tenga un crecimiento importante. Aún y cuando en la

actualidad, la capacidad instalada de los países del tercer mundo es solo la quinta parte de la generación total, se espera que su crecimiento sea del orden del 6% al 9% en los próximos años, mientras que en los países del mundo desarrollados será solo entre el 2% y el 3% ^[1].

En cuanto a las causas del crecimiento, es lógico que el nivel de equipamiento crezca más rápidamente en los países en vías de desarrollo que en los industrializados. Sin embargo, los recursos financieros que se requieren para mantener el crecimiento requerido, no existen actualmente ni en los países ni en los fondos internacionales ^[2].

Lo anterior lleva entonces a plantear la gran incógnita de ¿ cómo se van a cubrir los diferenciales entre capacidad instalada y demanda requerida ?

El término ALD, el cual se conoce desde principio de los años 70, tiene por objeto administrar el consumo de la energía, no desde el lado del crecimiento del sistema eléctrico (ley de la oferta y la demanda), sino desde el lado del usuario, es decir buscar formas alternas, evidentemente eficientes técnica y económicamente, de consumir la energía eléctrica.

El éxito de los programas de ALD, el cual se ha reflejado en una reducción de la demanda, ha sido muy discutido en diversos aspectos. Por ejemplo, los aspectos que más comúnmente se debaten son: i) en muchos casos las soluciones no son ni simples ni sencillas; ii) se requiere una participación mayor de la sociedad; iii) se deben establecer límites apropiados para incentivos; iv) en algunos sectores, donde la energía es subsidiada, los programas son viables técnicamente pero no desde el punto de vista económico para el usuario; v) se está creando verdaderamente una conciencia de eficiencia energética o solo es una moda; vi) solo se implementan programas cuando existen apoyos económicos o ya se cuenta con una cultura energética; etcétera.

En los Estados Unidos de Norteamérica, era muy común en la época del boom de la ALD (DSM por sus siglas en inglés, Demand Side Management), encontrar que las empresas eléctricas en sus informes anuales establecían metas de programas de ALD, indicando los

costos en los que incurrieron y los beneficios que de ellos se esperaba obtener. Más aún, conforme los programas crecían en magnitud, costos y posibilidades, la medición de sus efectos y redituabilidad alcanzaban una importancia mayor¹³¹. En otras palabras aparecían grandes interrogantes de carácter vital ¿ Están los programas de ALD produciendo ahorros de energía y las reducciones en demanda esperadas ? ¿ Son redituables estos programas para los clientes y para la empresa ? ¿ qué se puede hacer para aumentar la participación en los programas, bajar sus costos e incrementar las reducciones en consumo y en demanda ?

Para cumplir con tal objetivo, es necesario evaluar el beneficio/costo de los programas de ALD. En este caso se podría preguntar ¿ qué es evaluación ? Hirst, en 1990, la definió como la medición sistemática de la operación y desempeño de los programas. En otras palabras, la evaluación depende de mediciones objetivas y no de evidencias anecdóticas e impresiones personales. Más aún, estas deben de realizarse antes y después de implementados los programas, si no será muy difícil tener un verdadero conocimiento de los ahorros.

Por ejemplo, si a un usuario doméstico que participa en un programa de ALD, no se le conoce su forma de uso de la energía antes y después, no se podrá saber en forma clara y precisa el impacto en la demanda, después de implementada la medida. Posiblemente, si se comparan los recibos antes y después de implementada la medida, se detecte un cambio en el consumo, pero ¿ es este el real ? ¿ modificó su forma de consumo el usuario ? ¿ existieron otros factores que modificaron su consumo ?

En el presente trabajo se muestran las curvas típicas de usuarios domésticos, donde su consumo se ve influenciado por el clima caluroso durante la época del verano. Se muestra como referencia un usuario en una ciudad donde no se requiere de equipamiento de acondicionamiento del medio ambiente, y su consumo se compara contra aquellos usuarios que utilizan ventilador, enfriador evaporativo, aire acondicionado, o una combinación de ellos. También se comparan los consumos en cada caso, haciendo énfasis en el hecho de que no solo es el tipo de equipamiento, sino también la estructura familiar y los hábitos, los que definen el consumo de cada usuario.

VARIABLES QUE INFLUYEN EN EL CONSUMO

Existen programas de software que permiten modelar el comportamiento térmico de cualquier tipo de edificación (oficinas, hospitales, comercios, casas, etc.), y obtener un estimado del consumo y la demanda de energía, bajo un determinado régimen de

operación y bajo diferentes escenarios¹⁴¹.

Estas herramientas son muy valiosas para hacer el pronóstico del ahorro al aplicar medidas de ahorro y uso eficiente de energía, en el marco de programas de ALD. Sin embargo, cuando se quieren conocer los ahorros reales, la única forma es monitorear a los usuarios, por lo cual, será necesario medir antes y después de implementadas las medidas. Si esto no se hace, se hablará de "rangos de ahorro" o "ahorros esperados", con los errores que esto implique.

clima.- Esta variable es definitivamente la más importante en el consumo de energía, debido a que los usuarios deben o no, contar con equipamiento para el acondicionamiento del espacio. En México, su gran variedad a lo largo y ancho del territorio nacional va desde los climas cálidos húmedos de las costas, hasta los cálidos secos en algunas ciudades del país. La importancia de esta variable radica en el hecho de que, particularmente los usuarios domésticos, pueden llegar a consumir hasta 10 o más veces energía en el verano, comparándolo con su consumo en invierno. Por otro lado, si se compara México con otros países, principalmente arriba o abajo de los trópicos, el régimen de "operación térmica de las construcciones" requiere tanto del aire acondicionado como de la calefacción, lo que hace más rentable el acondicionamiento de las viviendas. En otras palabras, el aislamiento térmico les sirve en invierno y en verano.

Época del año.- Se acostumbra hablar como época de verano aquella que define como período de mayor calor los meses de julio y agosto. Sin embargo, el país presenta una variedad de períodos de verano, si se le puede llamar de esta forma. En efecto, la latitud del territorio nacional va de los 15° a los 32° Norte, teniendo en el 23.5° el Trópico de Cáncer, donde el día 21 de julio los rayos solares inciden perpendicularmente en este punto. Por tal motivo, las tarifas de la CFE aplicables a climas extremos, duran seis meses pero en diferentes épocas del año. La tabla 1 muestra algunas ciudades, donde se puede observar que las localizadas al sur, inician muy temprano su "período de verano", mientras que otras lo empiezan posteriormente.

Nivel de ingresos.- Aún cuando la CFE considera en sus tarifas diversos rangos de consumos y costos en función de las condiciones climáticas, existe una gran variedad de niveles de ingresos, los cuales definen el tipo y nivel de equipamiento de los usuarios. El ventilador es utilizado en todas partes; el enfriador evaporativo en zonas de clima cálido seco y el aire acondicionado en climas cálido seco y cálido húmedo. Estos se utilizan en sus dos modalidades, de ventana o central. En los ejemplos que se muestren posteriormente se verá como esta ligado el tipo de equipo al consumo.

CIUDADES EJEMPLO	PERIODO		
	febrero julio	abril sept.	mayo octubre
Tapachula Chls.	X		
Chetumal QR Veracruz Ver Monterrey NL		X	
Hermosillo Son. Ciudad Juarez Chih Mexicall BC			X

Tabla 1. Ciudades ejemplo del período de verano.

Forma de uso de los equipos o hábitos.- Cuando se simula el comportamiento térmico de una casa, se debe definir en mucho detalle el régimen de operación del equipo, en función del tamaño de la familia, y de la ocupación de la casa, es decir el horario de presencia/ausencia de los ocupantes. Por otro lado, es importante considerar "que se entiende por confort", debido a que este varía mucho de persona a persona; para fines de cálculo, se considera confort para operación del equipo de aire acondicionado, cuando la temperatura al interior de la vivienda no excede los 25°C. En el caso de México no se cuenta con esta información, pero puede ser tan variable como la mostrada en la figura 1, el cual corresponde a un estudio realizado en diversas ciudades del mundo; el caso extremo es en Bagdad, donde una persona se siente confortable a una temperatura de 38°C.

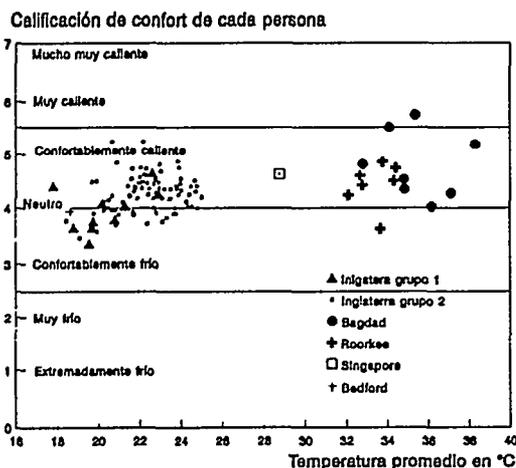


Figura 1. Confort de diversas personas a diferentes temperaturas.

En el caso de México, la diferencia de nivel de ingresos, combinada con los hábitos y costumbres hace más difícil la clasificación de usuarios. Se han iniciado estudios de monitoreo en diversas ciudades

del país y en un futuro cercano se podrá tener una clasificación detallada en las diferentes regiones. Es de mencionarse que, cuando se habla de equipos diferentes al aire acondicionado, y particularmente al uso combinado de ellos, ligado con las costumbres y los hábitos de los usuarios, estos patrones de comportamiento deben considerarse por separado, tomando también en cuenta las diferentes regiones del país. En un estudio reciente publicado en los Estados Unidos de Norteamérica, se muestran curvas, medidas directamente a los usuarios, donde se puede observar el consumo de aire acondicionado, en función de la temperatura; en otras palabras, dado que la mayoría de las casas cuentan con aire acondicionado y este opera con base al termostato y no en forma manual (léase cuando las personas están en la casa, cuantas personas están en la vivienda, y/o si el equipo es de tipo ventana), es posible generalizar el consumo de energía eléctrica ^[6].

RESULTADOS DEL MONITOREO

Utilizando como información base, mediciones realizadas a diversos usuarios en el país, a continuación se muestran los resultados obtenidos, tratando de mostrar el impacto de las diferentes variables antes mencionadas.

a) **Localización geográfica.-** Las figuras 2 a 5 muestran los consumos de energía mensuales en cuatro ciudades diferentes. En ellas se puede observar que, mientras que en la figura 2 que corresponde a un clima templado, donde no se requiere de aire acondicionado, el consumo es muy similar todos los meses, la figura 5 muestra el caso extremo donde hay usuarios que utiliza extensivamente el aire acondicionado. Es de remarcarse que las personas de pocos ingresos varían su consumo pero no substancialmente. Las figuras 3 y 4 corresponden a casos intermedios.

b) **Usuarios que no les afecta el clima.-** En las figuras 6 a 8 se presentan las curvas de consumo de tres usuarios, expresamente durante los meses de verano. En todos los casos se puede observar que no existe cambio alguno en sus consumos (magnitud), excepto en la forma y particularmente en las mañanas. Este último cambio se debe a que en los meses de verano (julio y agosto), se tienen vacaciones y entonces se levantan más tarde. A lo largo del día el resto es prácticamente el mismo.

c) **Usuarios que utilizan ventilador.-** Las figuras 9 y 10 muestran el caso típico de un usuario que tiene como equipamiento un refrigerador y dos ventiladores. En la figura 9 se presenta su consumo en los meses de invierno, mientras que en la 10 se tiene la comparación del consumo en los meses de invierno y verano. Se puede observar que los ventiladores los utiliza las 24

horas, pues la diferencia entre el verano y el invierno es una cantidad igual a lo largo del día. También es de notarse, como será en los siguientes casos que se expliquen, que el pico de la mañana y de la noche se desfazan, debido a la mayor iluminación natural del verano.

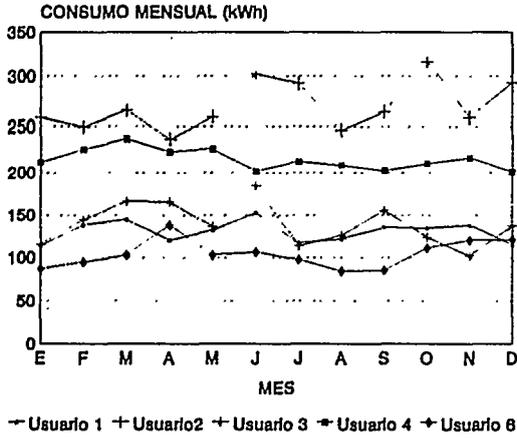


Figura 2 Usuarios sin impacto en su consumo por efecto de clima.

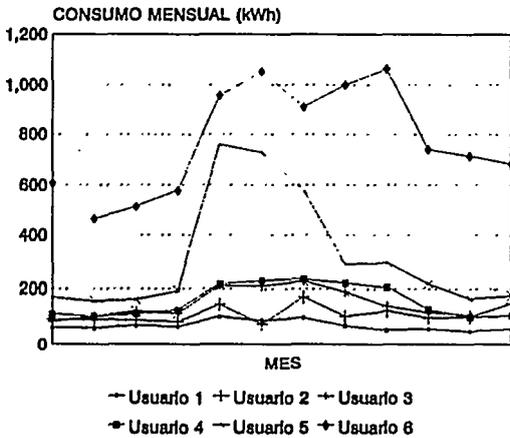


Figura 3 Usuarios con poco impacto en su consumo por efecto de clima.

d) **Usuarios que utilizan aire lavado.**- En las figuras 11 a 14 se muestran dos usuarios que tienen como equipamiento un enfriador evaporativo. En ambos casos se comparan los meses de invierno por un lado y los de invierno y verano por el otro. En este caso particular se observa una carga constante a lo largo del día (figura 12), mientras en la figura 14, se resalta el comportamiento mes a mes; en efecto, aún y cuando es un enfriador evaporativo (motor, luego entonces una carga constante, se utiliza a diferente velocidad y/o con mayor/menor frecuencia, dado que el clima cambia.

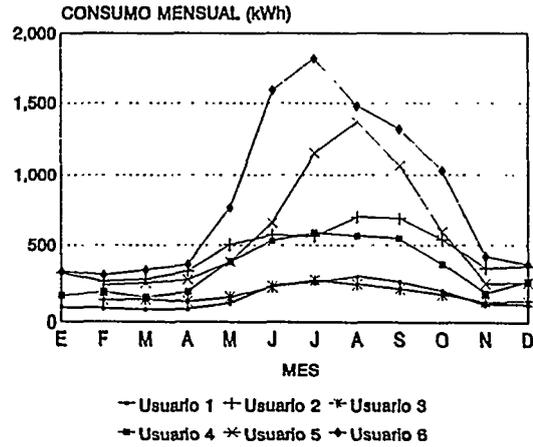


Figura 4 Usuarios con mayor impacto en su consumo por efecto de clima.

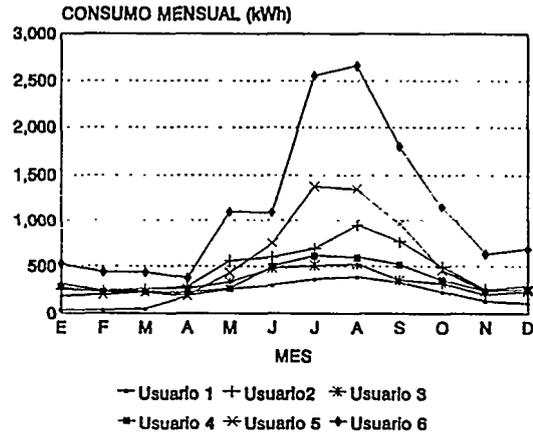


Figura 5 Usuarios con impacto extremos en su consumo por efecto de clima.

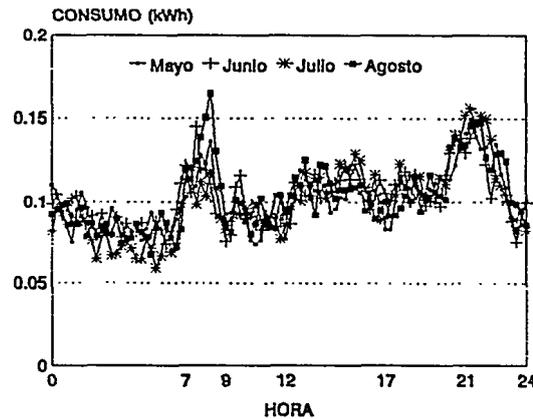


Figura 7 Usuario 2 que no le afecta el clima en el verano.

e) **Usuario que utiliza aire acondicionado.**- La figura 15 muestra el caso de un usuario que utiliza aire acondicionado central y que se puede observar que la

curva de consumo está en función del clima y de los hábitos de los que en ella viven.

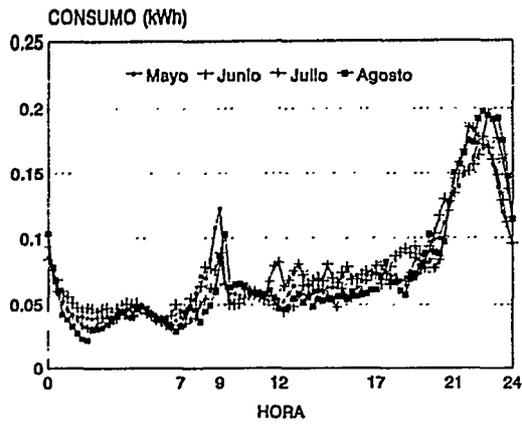


Figura 8 Usuario 2 que no le afecta el clima en el verano.

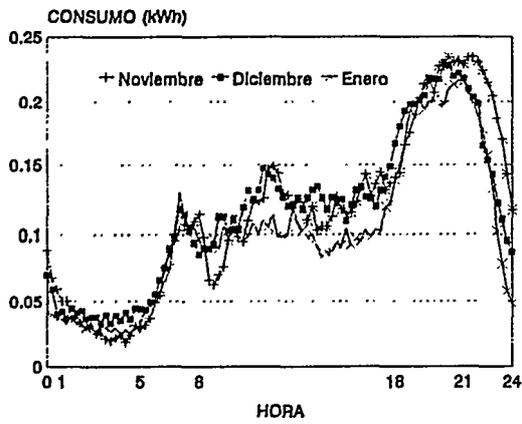


Figura 9 Usuario con ventilador en invierno.

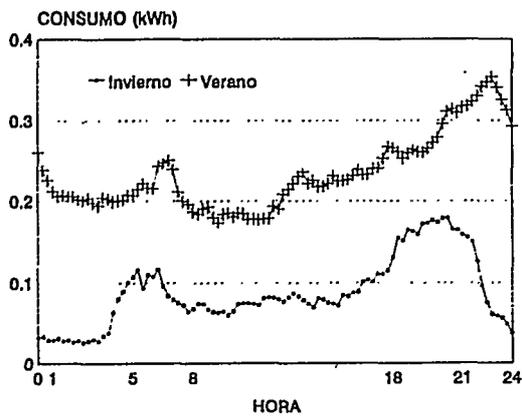


Figura 10 Usuario con ventilador en invierno y verano.

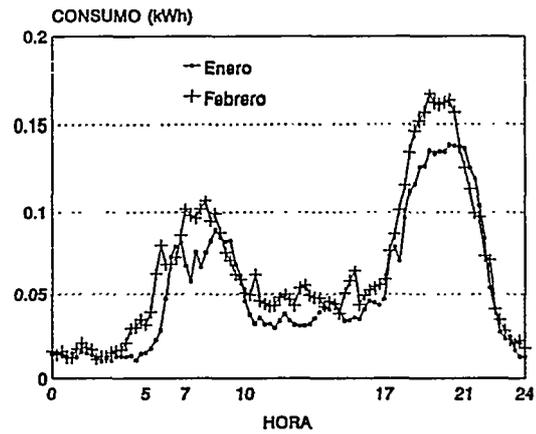


Figura 11 Usuario con enfriador evaporativo en invierno.

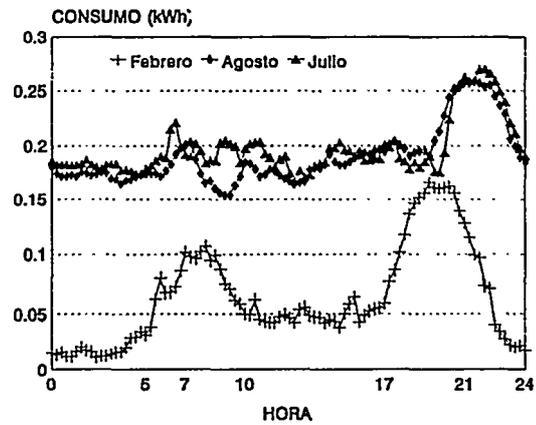


Figura 12 Usuario con enfriador evaporativo en invierno y en verano.

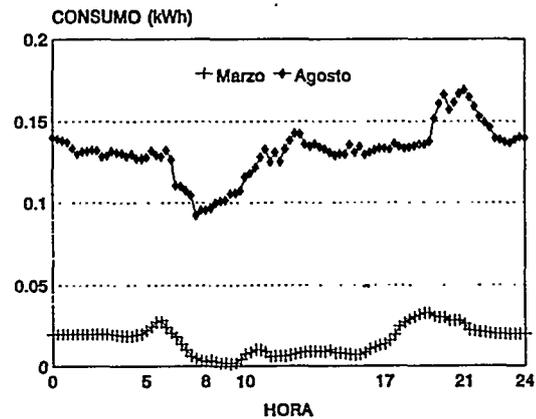


Figura 13 Usuario con enfriador evaporativo en invierno.

CONCLUSIONES

La información presentada muestra como impacta el clima en el consumo de energía eléctrica en los usuarios. Mientras que en el invierno la curva de carga es de la misma forma en todos los usuarios, sin importar la localización geográfica, en la época del verano sus consumos dependen, además del clima, en el nivel de ingresos, los hábitos, etc.

Esta pequeña muestra deja muy claro que, debido a un número importante de variables que influyen en el consumo, es necesario desarrollar una campaña de monitoreo que permita conocer con bastante exactitud, los factores que influyen en el consumo.

Dicha información permitirá apoyar los programas de ALD que se deseen implementar, con objeto de seleccionar los adecuados, tanto para los diferentes grupos de usuarios como las ciudades.

Esta información podría también en un futuro servir para la planeación del crecimiento del sistema eléctrico regional y nacional, y el despacho económico, tal y como se hace en otros países.

REFERENCIAS

- [1] David J. Jhirard; *Strategies for Sustainable Development of the Power Sector in Developing Countries*; U.S. AID; 1994.
- [2] Veronika A. Rabl and Clark W. Gellings; *Administration of DSM in the USA: An Analysis of the Situation*; EPRI; 1991.
- [3] Eric Hirst and John Reed; *Evaluation of DSM Programs*; Oak Ridge National Laboratory; 1992.
- [4] Gaudencio Ramos et al; *Simulación de Escenarios de Ahorro y Uso Eficiente de Energía, con Medidas de Control Pasivo*; Revista FIDE; año 7, núm. 28; 1998
- [5] Humprey and Nicol; *Thermal Confort Office Workers*; England; 1971.
- [6] Joseph Eto and Mithra Moezzi; *Metered Residential Cooling Loads: Comparison of Three Models*; IEEE Transactions on Power Systems, Vol 12, No. 2m May 1997.

ESTRATEGIAS DE AHORRO DE ENERGIA EN INMUEBLES MEDIANTE EL CONTROL AUTOMATICO

ING. OSCAR GARCIA TRUJILLO
INGENIERO EN ENERGIA
JOHNSON CONTROLS DE MEXICO, S.A. DE C.V.
ALFONSO REYES #115 COL. CONDESA
C.P. 06140 TEL. 2-72-21-21 FAX 2-72-19-90
E-MAIL Oscar.T.Garcia@jci.com

RESUMEN

En este documento se presentan algunas de las medidas y estrategias de ahorro de energía que pueden ser aplicadas en diferentes tipos de inmuebles, principalmente en hoteles y en edificios de oficinas. Las acciones propuestas son realizadas con la ayuda del equipo de control automático y del personal de operación y/o mantenimiento quien supervisa y establece los parámetros de control de cada una de las estrategias que son destinadas a la buena utilización de la energía eléctrica.

ANTECEDENTES

Generalmente en los hoteles y en edificios de oficinas se emplea más energía eléctrica de la que realmente se necesita, esto es, existe un dispendio originado muchas veces por una falta de cultura, por una mala selección de los equipos instalados, por no contar con un funcionamiento óptimo en cuestión de consumo de energía o por la falta de estrategias de control que estén encaminadas a disminuir la facturación eléctrica sin afectar por supuesto el confort de las personas.

La implementación del control automático en los inmuebles no basta con el simple hecho de instalar equipos y dispositivos que abran, cierren, modulen, prendan, apaguen o controlen ciertas variables; además se requiere de una persona que esté familiarizada con el edificio y con el ahorro de energía que realice las programaciones, secuencias de operación, etc. además de reportes de consumo; todo esto con la finalidad de corregir o reprogramar el control automático y que este control sea un traje a la medida del edificio.

OBJETIVO

El objetivo es poder visualizar las diferentes estrategias de ahorro de energía mediante la implementación del control automático en inmuebles típicos de oficinas sin afectar el confort de los ocupantes.

IMPLEMENTACION DE MEDIDAS DE AHORRO DE ENERGIA

En muchas ocasiones relacionamos el control automático con el ahorro de energía, esto a veces no resulta del todo cierto ya que hay edificios en donde existe una muy buena automatización pero no se cuenta con estrategias de ahorro de energía o si se tienen éstas no son del todo efectivas.

A continuación mencionaremos algunas de las medidas de control y automatización que pueden llevarse a cabo en inmuebles y que están enfocadas a disminuir la facturación eléctrica.

CONTROL DE LA DEMANDA MAXIMA

En la actualidad se cuenta con muchos equipos y/o dispositivos para el control de la demanda máxima. Esta estrategia de control consiste en limitar el valor de la demanda eléctrica mediante un apagado selectivo de las cargas, esto es, las cargas que son factibles de incluir en el control de demanda son jerarquizadas de tal manera que el control automático inicia una secuencia del apagado primeramente de las cargas menos prioritarias; este tiempo de apagado de los equipos dependerá de la programación que se tenga en el sistema, es decir, si se logra disminuir la demanda fijada como límite el sistema arrancará o encenderá nuevamente el o los equipos que fueron aragados.

La finalidad que se busca al implementar esta medida es la de "rasurar" la curva del perfil de demanda (ver figuras No.1 y No.2), es decir, se busca eliminar los picos pronunciados de demanda de esta curva para de esta manera tener una disminución en el cobro de la factura eléctrica por este concepto.

Es importante recalcar que un buen sistema para el control de la demanda máxima debe de ser flexible ya que puede darse el caso de que una o algunas de las cargas programadas para entrar a la estrategia de control se encuentren fuera de los parámetros a los cuales deben de estar operando (Ejemplo Una Unidad Manejadora de Aire con una temperatura de agua helada por arriba del set point fijado), por lo que ésta carga no entrará en la estrategia de control ya que primeramente se busca satisfacer las condiciones de confort del personal, así que el sistema buscará otra carga que tenga una prioridad menor a la anterior y así sucesivamente hará esta secuencia.

La venjata que se tiene con esta medida es la de mantener primeramente las condiciones de confort en el interior del inmueble con el consecuente ahorro en demanda y en energía que esto implica.

En la siguientes dos figuras se puede observar la diferencia que existe entre un sistema sin control de la demanda y otro con control de este parámetro, en la primera se tiene un comportamiento prolongado de un cierto valor de kiloWatts, en la segunda este periodo de tiempo es reducido ya que el control de demanda detecta el límite fijado y comienza su secuencia de operación. Es importante mencionar que no sólo el ahorro que se obtiene es en demanda sino que en consumo se tienen ahorros igualmente importantes.

Figura No.1

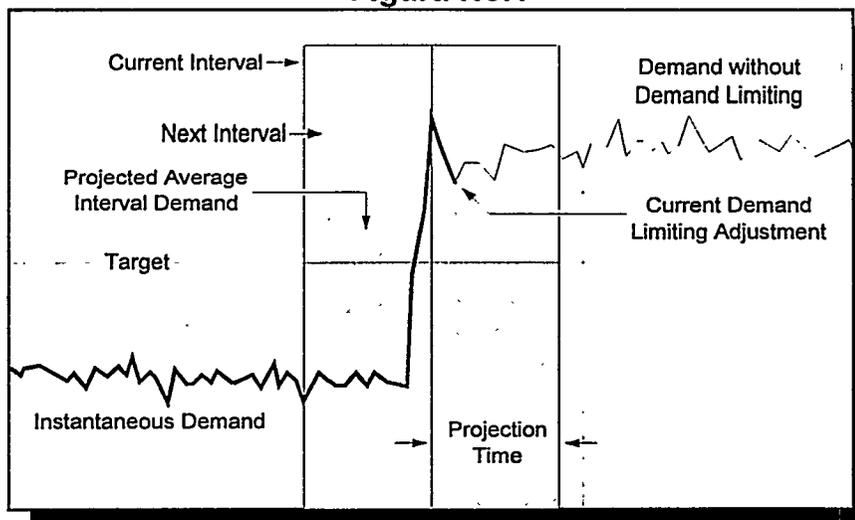
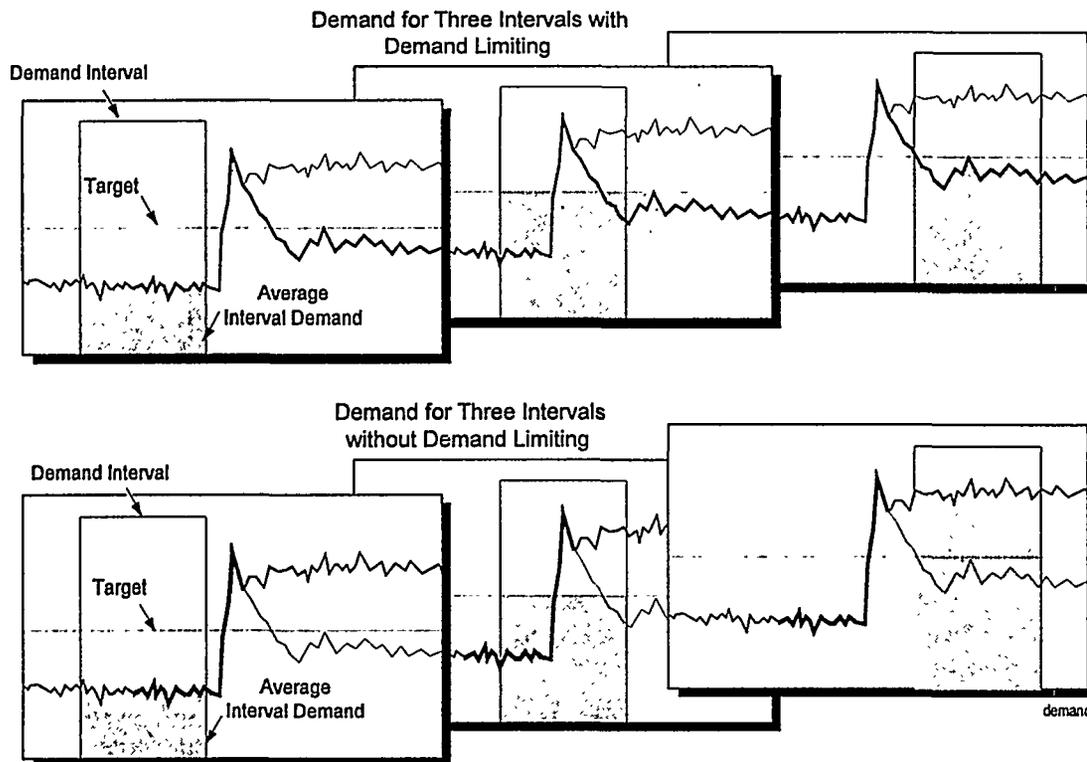


Figura No.2



ROLADO DE CARGAS

Esta medida para el ahorro de energía puede ir o no de la mano con el control de la demanda límite, esta relación dependerá principalmente de las condiciones que se requieran mantener en el inmueble.

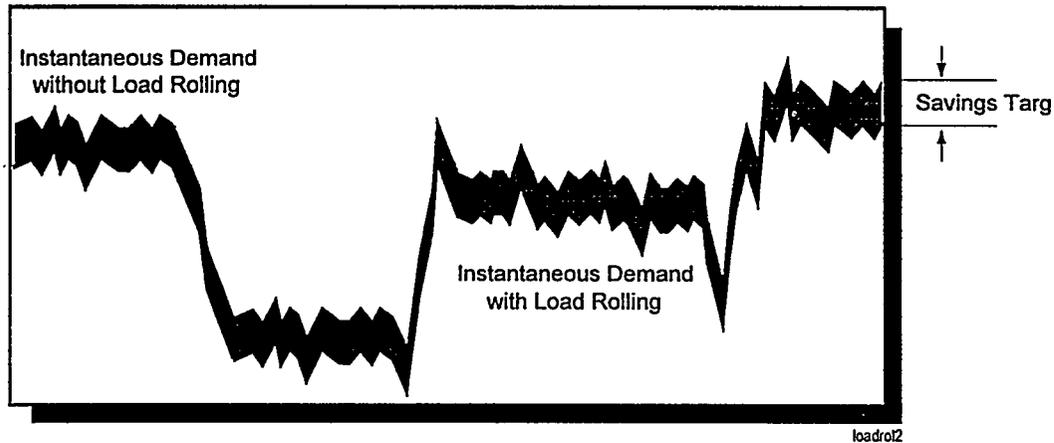
El rolado de cargas al igual que el control de la demanda máxima para llevar a cabo su implementación se debe de contar primeramente con una lista en orden jerarquico de los equipos que se desean integrar en el control automático, posteriormente se programan todas estas cargas de tal forma que realice por un tiempo determinado una secuencia de operación de arranque y paro de los equipos.

SECUENCIA DE OPERACION.- El programa para el rolado de cargas basa su operación en arranques y paros de equipos por un tiempo determinado, esto es, una UMA (dependiendo de las condiciones de confort que se tengan) por ejemplo se programa su apagado durante 10 minutos cada hora, transcurrido este tiempo encenderá el equipo y otra carga que se encuentra en un nivel jerárquico menor se apagará de igual manera (puede ser diferente el periodo de tiempo de apagado) y así sucesivamente se va realizando esta secuencia para el encendido y apagado de los equipos. De esta manera se puede hacer esta estrategia de control por un cierto periodo que puede ser por ejemplo de una hora o durante todo el día tan y como se observa en la figura No.3.

El ahorro que se obtiene por esta medida es principalmente en consumo y puede ser realmente importante si además este control se realiza en el horario de punta, donde el precio de la energía es mayor que en el periodo intermedio y base (Si se considera para este ejemplo la tarifa HM).

En la siguiente figura se muestra en forma gráfica la diferencia que existe al implementar la estrategia de rolado de cargas en un inmueble durante un día, esta diferencia representada mediante líneas diagonales es el ahorro que genera esta medida de control y que puede ser significativo dependiendo del número de equipos integrados.

Figura No.3



CONTROL AUTOMÁTICO DE LA ILUMINACION

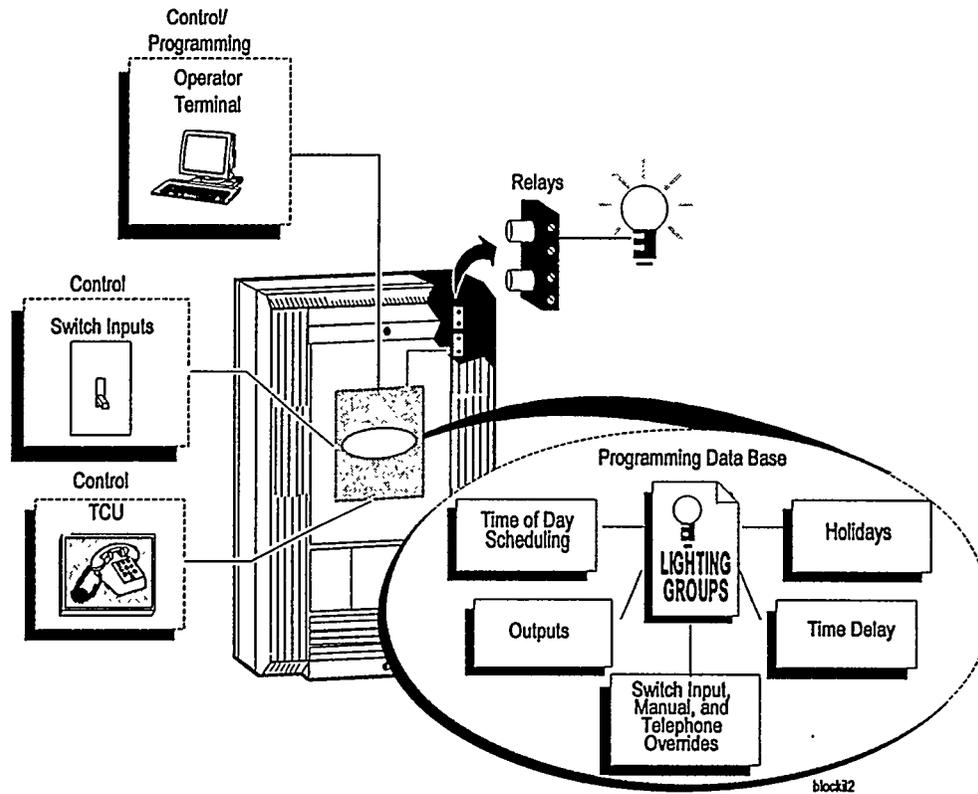
El control de la iluminación puede ser tan sofisticado y accesible como se quiera, esto es, desde una programación del encendido y apagado automático de los circuitos hasta un seccionamiento de los circuitos especialmente diseñado para utilizar únicamente la iluminación que se necesite en cada área de trabajo, además de un control por dimeo principalmente en las áreas perimetrales del edificio en base a las condiciones de luz natural que se tengan en cada momento del día.

El control por dimeo es un área muy explorada pero poco explotada ya que este control generalmente se ve desde el punto de vista del confort visual por lo que se utiliza en auditorios o en salones que son especiales para exposiciones o conferencias, dejando de lado las áreas de trabajo.

El concepto que actualmente se está manejando es el ahorro de energía por dimeo de las áreas o de los circuitos en base a las condiciones de luz natural que se tengan, es decir, si por ejemplo un diseño de iluminación establece tener en promedio en el plano de trabajo 400 luxes; el control automático buscará que siempre exista por lo menos esta premisa de diseño por lo que al tener una buena aportación de luz natural el sistema de control hará que disminuya la salida de luz artificial hasta un 10% (que es el límite máximo de dimeo), cuando las condiciones de luz natural no sean tan favorables por ejemplo en un día nublado o por la noche, el sistema de control bajará en menor medida la salida de luz de las lámparas o definitivamente no bajará en nada este nivel. Este tipo de control es muy efectivo ya que se sigue por decirlo de alguna manera el patrón de comportamiento de la luz solar disminuyendo en gran medida el consumo de energía que en edificios de oficinas llega a ser hasta un 30% de la facturación total.

En seguida se muestran los principales dispositivos para el control programado del encendido y apagado de la iluminación.

Figura No.4



MONITOREO DE LA SEÑAL DE LUZ Y FUERZA O DE CFE

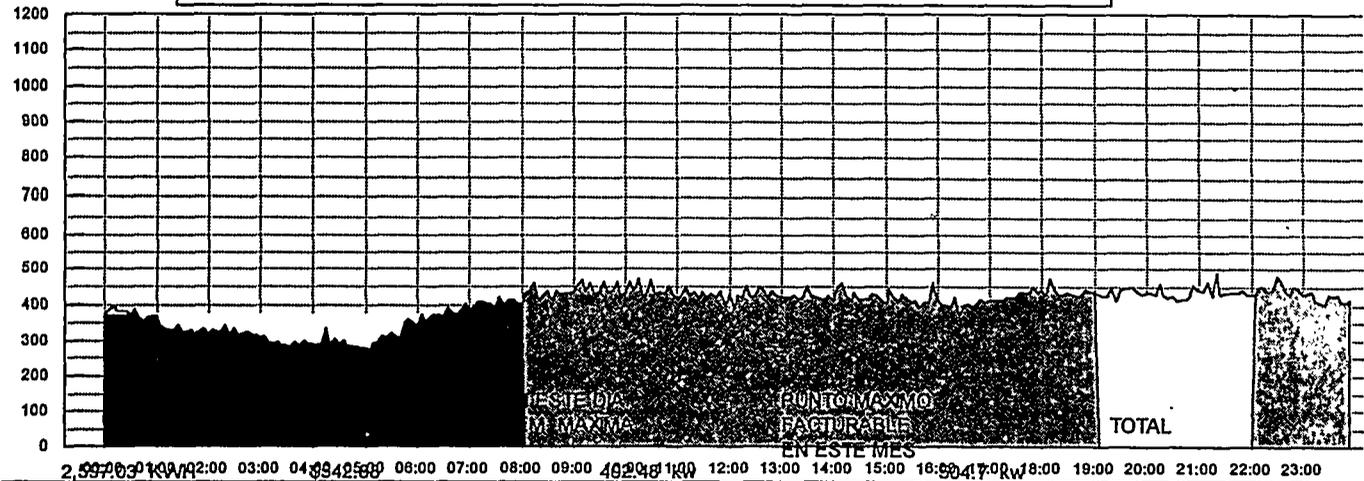
Esta medida es muy importante para realizar una buena administración de la energía; ¿Por que?, por que si sabemos bien en que periodo del día se tiene la demanda máxima y cuales son los equipos que intervienen en esta demanda se pueden establecer las estrategias de control que se mencionaron en un principio de demanda máxima y rolado de cargas, además de pronosticar tendencias de consumo en base a historiales y antecederse al pago de la factura eléctrica mediante un software y equipo de control adecuado se puede obtener el perfil de demanda diario asi como el factor de potencia y ver en forma gráfica el comportamiento que se tiene en el consumo y la demanda de energía eléctrica para poder de esta manera administrar mejor su uso.

En la figura No.5 se muestra el perfil de demanda de un hotel de playa en el cual se tiene el monitoreo del pulso de CFE.

Figura No.5

MAYO 2

HOTEL CINCO ESTRELLAS
CONSUMO ELECTRICO DIARIO MAYO-97



2,597.03 KWH	1,432.78	463.90 kw	504.17 kw
5,255.41 KWH	\$1,432.78	463.90 kw	504.17 kw
1,284.40 KWH	\$1,092.72	469.97 kw	
9,136.85 KWH	\$3,068.39		\$801.28
			\$3,869.66

S HASTA ESTE DIA	COSTO	DEM. MAXIMA	FACTURABLE EN ESTE MES	TOTAL
108,843.53 KWH	\$22,752.65	482.316 kw	504.7 kw	
145,903.81 KWH	\$39,777.76	513.877 kw		
24,787.17	\$21,087.93	507.588 kw	COSTO DE DEMANDA MAXIMA HASTA ESTE DIA	
279,534.51 KWH	\$83,618.34		\$1,602.55	\$85,220.89

Debido a que el inmueble citado es un hotel de playa de la ciudad de Cancún es necesario que el equipo de aire acondicionado trabaje las 24 horas del día por este motivo su curva de demanda no tiene incrementos considerable durante todo el día.

CONTROL DEL AIRE ACONDICIONADO EN CUARTOS DE HOTELES

Generalmente en los hoteles los huéspedes tienden a no ahorrar energía, ¿Por que ocurre esto?; por que quieren "desquitar" lo que están pagando por el hospedaje. De aquí se desprende la necesidad para el empresario o dueño del inmueble de abatir o mejor dicho disminuir el consumo de energía pero sin sacrificio del confort de los ocupantes ni de la imagen misma del hotel.

Una sistema de control que ha ido día con día ganando adeptos es el uso de un sistema que control del aire acondicionado el cual se describe a continuación:

Generalmente el control en las habitaciones de los hoteles está basado en dos modos de operación: modo ocupado y modo desocupado, el primero consiste en permitirle al huésped la opción de seleccionar su temperatura de confort, aunque esto también tiene un aspecto psicológico, esto es, el rango de temperatura permitido de operación se establece de 20 a 26°C, aunque el huésped crea tener por ejemplo 18°C en su habitación. Esto no es un rango

arbitrario, ya que se tiene en cuenta que la temperatura de confort para el cuerpo humano es de 22 a 24°C.

El modo desocupado permite aumentar 2.5°C la temperatura del set point fijado por el huésped cuando éste no está en su habitación. Al regresar el huésped nuevamente a su cuarto, el control vuela al modo ocupado, y por consiguiente a la temperatura de confort solicitada por el huésped, claro dentro de un rango de 20 a 26°C.

Asimismo cuando el huésped abre las ventanas o la puerta el control automático manda una señal al fan&coil para apagarlo o que vaya a su primera velocidad que sería la mejor opción en los hoteles donde la humedad es considerable para no permitir la acumulación de malos olores o de "moho".

De esta manera se disminuye el flujo de agua helada que pasa por las tuberías, de tal suerte que el ahorro generado por este tipo de control se refleja en los equipos importantes como lo son los chillers y bombas de agua helada, ya que trabajan con una menor demanda térmica o menos horas de operación para satisfacer los requerimientos de confort, al tener el agua helada de retorno con una menor diferencial de temperatura; hay que tener en cuenta que para automatizar una central de agua helada se requiere muchas veces de una redistribución hidráulica así como de equipos adicionales de control tales como variadores de velocidad en bombas de agua helada y en los ventiladores de las torres de enfriamiento, by pass entre las tuberías de suministro y de retorno de agua helada, etc.

CONCLUSIONES

Las estrategias de ahorro de energía aquí citadas sólo son una parte de las acciones que pueden llevarse a cabo con la ayuda del control automático, aunque no debemos contemplar solamente el ahorro de energía sino debemos de considerar en primera instancia y tener en mente como una premisa fundamental el confort de los ocupantes y que estén en condiciones saludables. Si se trata solamente de ahorrar por ahorrar energía y sin tener en cuenta el confort de las personas se puede hacer, pero a que costo!, ya que si se trata por ejemplo de un edificio de oficinas el personal que allí labora va a bajar nivel de productividad; o si es un hotel los huéspedes no se sentirán confortables quejándose por este motivo a la administración y es casi seguro de que la próxima vez que salgan no se hospedarán en ese hotel.

Todo esto se refleja a fin de cuentas en las utilidades de la empresa, por lo que siempre que se establezca un programa de ahorro de energía nos debemos de preguntar **¿Hasta que grado podemos ahorrar energía sin perjudicar el confort?**

REFERENCIAS

- | | |
|---------------------------|---|
| Dranetz Technologies Inc. | Electrical Energy Management, 1992 |
| Johnson Controls Inc, | The Intelligent Building Sourcebook, 1988 |
| Información de la empresa | Online Documentation |

USO DE PINTURAS REFLEJANTES EN LOS TECHOS DE LAS EDIFICACIONES PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ING. JOSÉ ADRIÁN VALERA NEGRETE
 Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE)
 Comisión Federal de Electricidad
 Tolstoi No. 22-2° Piso
 C.P. 11590 México, D.F.

RAMÓN SÁNCHEZ SOTO
 Universidad Nacional Autónoma de México
 Facultad de Ingeniería
 Departamento de Termoenergía
 Ciudad Universitaria
 C.P. 04510 México, D.F.

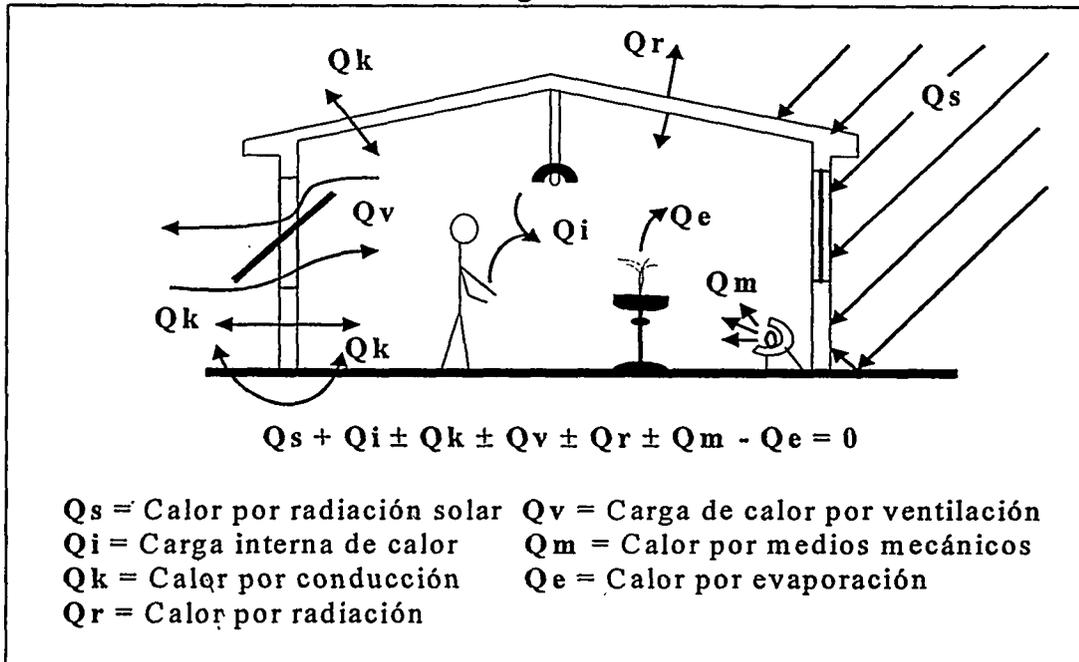
Resumen

El presente trabajo muestra los efectos del uso de pinturas reflejantes de diferentes colores en los techos de edificaciones, y los resultados de ahorro de energía eléctrica obtenidos en una prueba de campo efectuada en Monterrey, Nuevo León, utilizando pintura de aluminio.

1. Introducción

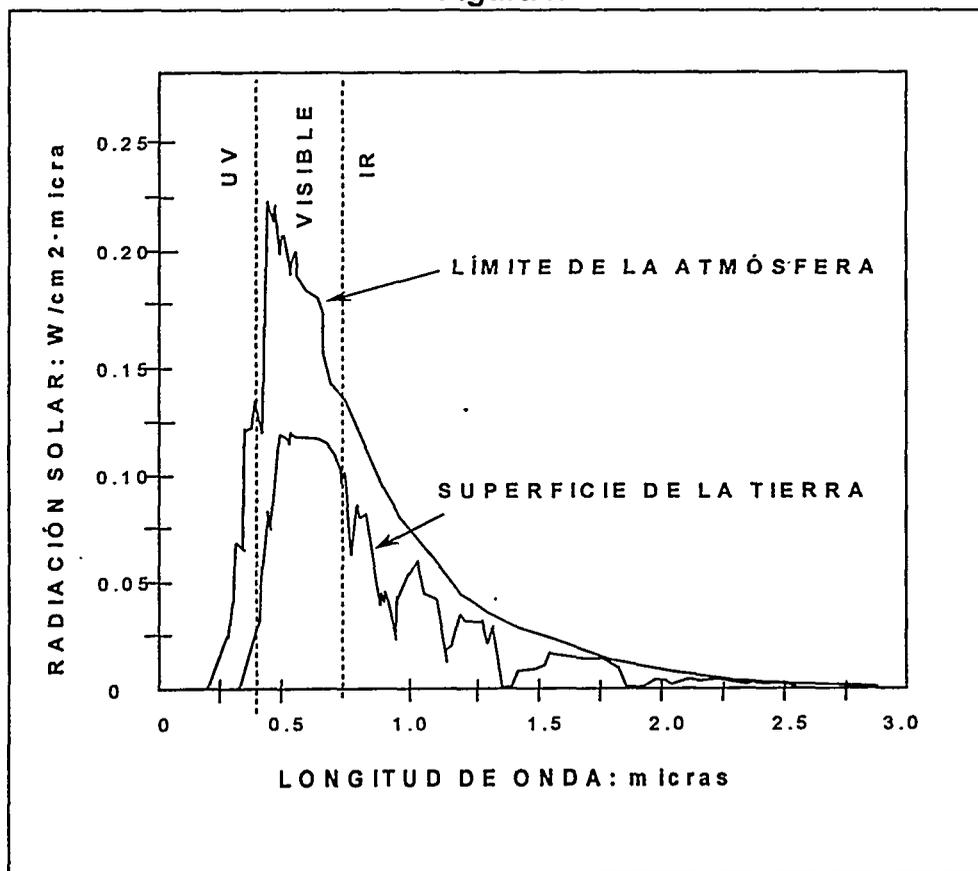
El comportamiento térmico de una edificación es función del proceso de intercambio de calor entre ésta y el ambiente, así como de la energía generada dentro de la misma, como se puede observar en la Figura 1, es decir, la ganancia o pérdida de calor de la edificación depende del diferencial de temperatura con el exterior, las cargas internas de calor y la radiación solar incidente, y para alcanzar el confort deseado generalmente se recurre a medios mecánicos con un alto consumo de energía eléctrica.

Figura 1



La radiación solar, que es la ganancia de calor más importante en una edificación, está formada por ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda, entre las que se encuentra la radiación térmica (0.1 a 100 μm), compuesta a su vez por la radiación visible, parte de la ultravioleta y la infrarroja [1]. La **Figura 2** muestra la intensidad relativa de la radiación electromagnética recibida afuera de la atmósfera terrestre como función de la longitud de onda. Alrededor del 9% de la radiación es ultravioleta o de longitud de onda muy corta, cerca de 40% está en la región visible y como un 50% es infrarroja o de longitud de onda larga [2]. Sin embargo, sólo alrededor de la mitad de esta radiación alcanza la superficie de la tierra, porque "dentro de la atmósfera, la radiación solar es reflejada, dispersada y absorbida por sus componentes usuales como el oxígeno o el ozono. La radiación solar que sufre estos efectos es la que tiene una longitud de onda entre 0.29 y 2.5 μm , ya que casi toda la radiación fuera de este intervalo es dispersada y absorbida de inmediato. La radiación reflejada y dispersada se convierte en radiación difusa y la que continúa su camino es la directa" [3].

Figura 2



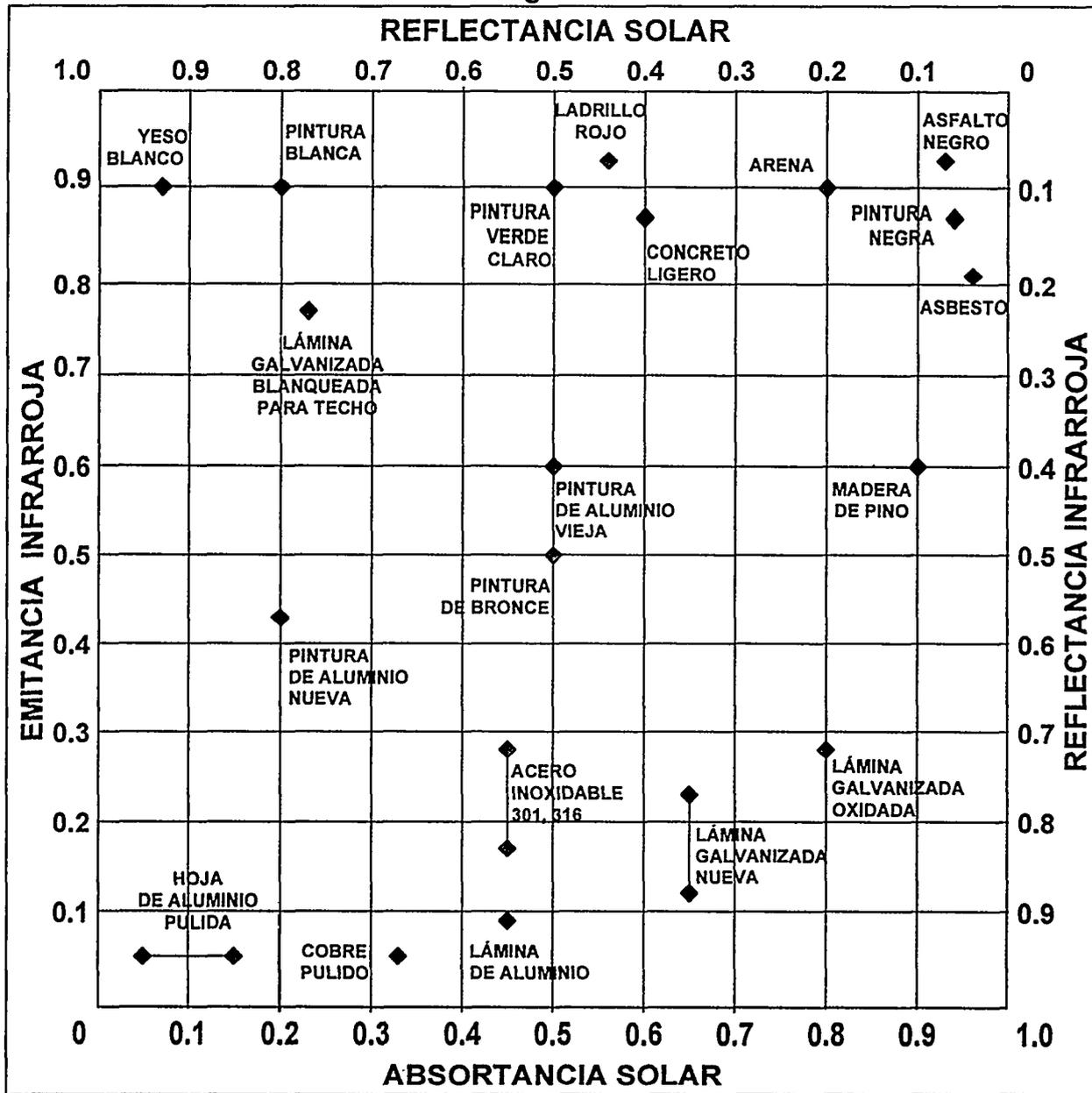
La totalidad de la radiación solar incidente sobre un objeto se puede distribuir de tres maneras, ya sea que se absorba, refleje o transmita por el cuerpo. Si representamos con α , ρ y τ a los porcentajes de energía absorbida, reflejada y transmitida, respectivamente, tenemos la ecuación: $\alpha + \rho + \tau = 1$.

A estas tres cantidades α , ρ y τ se les conoce como absorptancia, reflectancia y transmitancia, respectivamente.

Un caso particular de la ecuación anterior, por ejemplo, define al "cuerpo opaco" como un objeto que no transmite radiación a través de él (caso general de los techos de edificaciones), es decir que la transmitancia es cero ($\tau = 0$) y la ecuación se convierte en: $\alpha + \rho = 1$.

De lo anterior, la reflectancia es la cantidad de radiación térmica que rechaza un material, comparada con la totalidad de la recibida en su superficie. Se considera a una pintura reflejante cuando rechaza más del 50% de la radiación térmica incidente; los colores de estas pinturas que mayor reflectancia tienen son los colores claros con buenas propiedades de reflexión dentro del rango de la radiación térmica, como se puede ver en la **Figura 3**.

Figura 3



Al calentarse los techos y las paredes de una edificación, la radiación térmica excesiva desde sus superficies hacia el interior puede ser extremadamente incómoda, particularmente cuando se rebasa la temperatura de confort, ya que se incrementa la temperatura global del recinto y, si la temperatura es muy elevada, el efecto de la radiación es percibido como si se tuviera un "foco de calor".

Para disminuir la cantidad de calor que se transfiere a través de los techos, donde se recibe aproximadamente el 75% de la radiación solar en una edificación de hasta dos niveles en verano, se pueden usar **pinturas reflejantes** que rechacen esta radiación antes de que sea absorbida por los mismos techos, y no permitan el paso del calor hacia el interior.

2. Objetivo

Mediante el uso de pinturas reflejantes, ahorrar energía eléctrica en aquellas edificaciones con sistemas de aire acondicionado al disminuir la carga de calor por una menor radiación solar absorbida por el techo.

3. Experimento demostrativo en la ciudad de México

Con el fin de comparar el comportamiento reflectivo de diversos colores de pinturas, se llevó a cabo un experimento en la ciudad de México (latitud 19.40°N y longitud 99.20°W) donde el sol de verano afecta sobre todo al techo y a los muros este y oeste, mientras que en invierno el sol se concentra especialmente en la fachada sur, pero el techo —si es horizontal o tiene poca pendiente— recibe escasa radiación solar.

Este experimento demostrativo se realizó los días 8 de junio de 1997 (verano) y 11 de enero de 1998 (invierno) con pinturas aplicadas en los "techos" de unas cajas de cartón (material usado por su baja conductividad térmica) cerradas completamente y de iguales dimensiones. Todas las cajas se orientaron en el mismo sentido para asegurar que estuvieran sujetas a las mismas condiciones de insolación, por lo que, teóricamente, la única diferencia entre ellas es el recubrimiento del techo.

Los colores de las pinturas fueron blanco común, negro y aluminio para el verano, y se agregaron blanco cerámico, rojo y pintura de cal para el invierno.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al medir la temperatura de la superficie exterior de los techos:

Figura 4

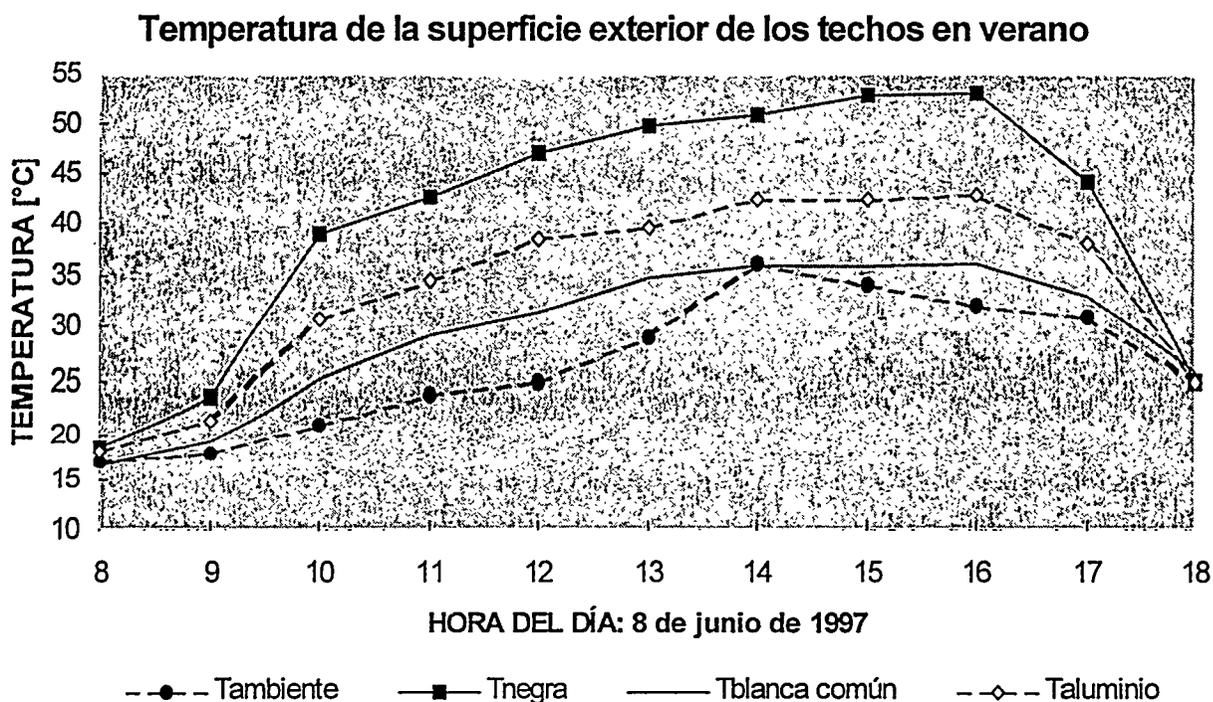
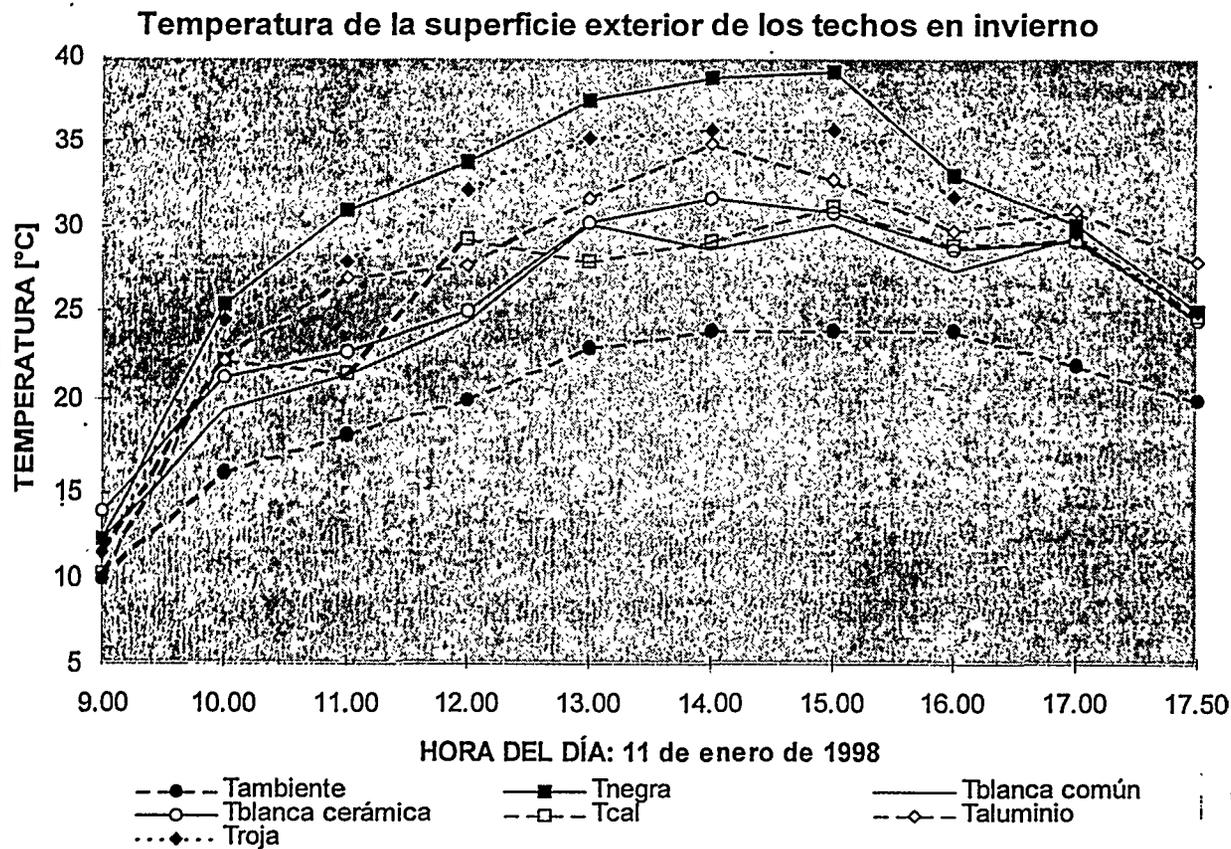


Figura 5



De las Figuras 4 y 5 se puede observar que, del comportamiento ante la radiación solar, la pintura blanca común es la mejor pintura reflejante, seguida de la pintura de aluminio, y que la de color negro absorbe la mayor parte de la energía que recibe.

4. Proyecto piloto en Monterrey, N.L.

Con el propósito de definir el ahorro de energía eléctrica por el uso de pinturas reflejantes, se realizó un proyecto piloto aplicando una pintura de aluminio (por ser la de menor costo en el mercado) en techos de edificaciones en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, en el año de 1997. El estudio fue realizado por la Universidad Mexicana del Noreste de Monterrey, N.L. en colaboración con el Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica (FIDE) y la División de Distribución Golfo Norte de la Comisión Federal de Electricidad, coordinado por el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) de esta misma Comisión Federal de Electricidad.

En el proyecto se consideraron cuatro sitios de estudio:

- (a) Casa-habitación: ubicada en la calle Lugones No. 291, Monterrey, N.L.
- (b) Casa-habitación: ubicada en la calle Lugones No. 200-A, Monterrey, N.L.
- (c) Comercio de renta de trajes de etiqueta: ubicada en la calle Lugones No. 101-A, Monterrey, N.L.
- (d) Prototipo de casa con material tradicional (tabique barro block cemento-arena): ubicado en las instalaciones de la Compañía CONTEC, S.A. (18 m² con ventanas orientadas al este y oeste, y puerta al sur).

El costo del material y la mano de obra ascendió a 3 \$/m² y los consumos de energía eléctrica fueron reportados por la Universidad Mexicana del Noreste y avalados por la División Golfo Norte de la Comisión Federal de Electricidad. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

LUGAR	(a)		(b)		(c)		(d)*	
	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
FECHA	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	3,7,8,9 10 y11 de julio	14 al 18 de julio	7 días aleato- rios de agosto	4 días aleato- rios de sept.
Temperatura promedio ambiente exterior [°C]	31.84	33.31	31.84	32.70	33.96	35.49	33.57	33.51
Temperatura promedio ambiente interior [°C]	33.42	33.99	32.09	32.04	28.03	29.00	27.38	26.07
Temperatura promedio superficial exterior del techo [°C]	46.80	42.96	51.45	47.45	48.91	44.99	39.40	34.12
Temperatura promedio superficial interior del techo [°C]	33.58	35.00	35.82	34.89	32.32	33.22	34.74	33.81
Caída de temperatura en el techo [°C]	13.22	7.96	15.63	12.56	16.59	11.77	4.66	0.31
Consumo promedio de energía eléctrica [kWh/día]	30.10	23.32	49.64	47.88	51.46	47.01	21.83	18.25
Diferencia de temperatura ambiente interior [°C]	-0.57		0.07		-0.97		1.31	
Diferencia caídas de temperatura a través del techo [°C]	5.36		3.07		4.82		4.35	
Diferencia de consumo de energía eléctrica [kWh/día]	6.78 Ahorro: 22.53%		1.76 Ahorro: 3.55%		4.45 Ahorro: 8.65%		3.58 Ahorro: 16.4%	

* Se identificaron días cuyo promedio de temperatura ambiente exterior fueran similares, aprovechando los datos medidos en otro proyecto.

De esta tabla, los resultados más representativos son los de la edificación prototipo de material tradicional (d), ya que no estuvo sujeta a las diversas costumbres de uso de los equipos de aire acondicionado, concluyéndose así un ahorro del 16% por la aplicación de la pintura reflejante de color aluminio.

4.1 Evaluación económica

Sólo como referencia, el proyecto podría ser rentable, por ejemplo, en una edificación de 90 m², con consumos mayores a 1200 kWh/mes en verano, que representaría un ahorro de 144 kWh/mes (16% del 75% de consumo), obteniéndose a tasa cero una relación beneficio/costo para el usuario de 3.315 y un período de recuperación de capital de 1.8 meses (30% de la vida útil).

5. Conclusiones

1. En el experimento demostrativo, la caja que mantuvo la mayor temperatura promedio de la superficie exterior del techo, tanto en verano como en invierno, fue la de color negro, aunque la caja con pintura de aluminio mantuvo una mayor temperatura al atardecer en el experimento invernal, ya que emite menos energía que la pintura negra, y que la pintura blanca.
2. La caja con recubrimiento blanco común es la que mantiene la menor temperatura exterior del techo, por lo que resulta ser la mejor reflejante en verano.
3. En ambos experimentos sobresale el acabado resultante que se presenta entre los diferentes recubrimientos, desde un acabado homogéneo hasta un acabado rugoso o agrietado que afectan la reflectancia de las superficies.
4. En la evaluación económica del proyecto piloto, debido a la rápida degradación de la reflectancia de la pintura aluminizada por efecto de las condiciones ambientales, su vida útil se considera de un verano solamente, ya que posteriormente tiende a convertirse en color gris opaco, contrario a la especificación suministrada por los proveedores, donde se indica en general una vida útil mayor como impermeabilizante.
5. El ahorro de energía eléctrica se estima en base a que el promedio de la temperatura ambiente interior sea la misma antes y después de aplicar la pintura reflejante. Este ahorro, con variables controladas, resulta de un 16% en el caso (d), prototipo de material tradicional, que representa el ahorro máximo que se puede obtener en una edificación habitada.
6. Actualmente se está efectuando la evaluación de una pintura blanca común en la misma ciudad de Monterrey, N.L., con variables controladas.

Referencias

1. Incropera y DeWitt, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Edit. John Wiley & Sons, E.U.A., 1990.
2. Roger A. Hinrichs, Energy, Edit. Saunders College Publishing, E.U.A., 1991.
3. Rafael Almanza y Felipe Muñoz, Ingeniería de la energía solar, El Colegio Nacional, México, 1994.
4. Philip Fairey, Radiant Energy Transfer and Radiant Barrier Systems in Buildings. Nota de diseño. Florida Solar Energy Center, E.U.A., 1986.

SESEAA: SISTEMA EXPERTO PARA LA SELECCIÓN DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO

Nicolás Kemper Valverde
Edgar Cárdenas Pérez

Laboratorio de Sistemas Inteligentes, Centro de Instrumentos
Universidad Nacional Autónoma de México
Apartado Postal 70-470, Coyoacán
C.P. 04511, México D.F. MEXICO
Email: kemper@servidor.unam.mx

RESUMEN

El problema de selección de sistemas de aire acondicionado y de refrigeración es bastante amplio y complejo, ya que abarca desde la aplicación de los principios básicos de la física y la termodinámica hasta los problemas clásicos de diseño de ingeniería; estos a la vez pueden ser innumerables ya que varían de un lugar a otro y de un proyecto a otro, dependiendo de múltiples factores tales como las condiciones geográficas y económicas de la región. Por otra parte se deben tomar en cuenta diversos elementos como son; ventanas, muros y sus orientaciones específicas, techos, pisos, particiones, equipos, iluminación, etc., todo esto influye en la complejidad que representa el proceso de selección. En el presente trabajo se describe una herramienta informática para facilitar el proceso de selección de instalaciones de aire acondicionado, tomando en cuenta múltiples criterios de ahorro y uso eficiente de energía que se reflejan durante el proceso de operación de estas instalaciones.

1. INTRODUCCIÓN:

Hoy en día el aire acondicionado y la refrigeración ha tomado gran importancia en diversos aspectos de la vida cotidiana y laboral, principalmente en la búsqueda de las condiciones del confort humano, importante para que el usuario pueda desarrollar sus funciones en forma eficiente, y en la necesidad que tienen algunos productos durante su procesamiento industrial.

El proceso de selección de instalaciones de aire acondicionado es laborioso y complejo, ya que requiere un amplio conocimiento del tema y de la habilidad y experiencia que pueda poseer el diseñador.

Por otra parte la computación brinda herramientas poderosas en la solución de problemas, debido a la gran versatilidad que posee y por su campo de acción, la cual cubre diversos aspectos de la vida cotidiana. La computación nos permite desarrollar métodos y sistemas (software) que brindan una gran rapidez y confiabilidad en la solución de problemas, de esta forma se pueden manejar grandes cantidades de información, interactuar con otros sistemas y desarrollar gran cantidad de cálculos en línea.

Ante esta situación surge la necesidad de contar con una herramienta que nos permita facilitar la labor del diseñador y que posea un alto grado de confiabilidad, es así que apoyándonos en esta área surge la idea del desarrollo del "Sistema Experto para la Selección de Equipos de Aire Acondicionado: SESEAA".

SESEAA es un sistema experto que cuenta con cinco módulos, los cuales son:

Módulo 1: Ubicación geográfica.

Módulo 2: Carta Psicométrica.

Módulo 3: Cálculo de la carga térmica.

Módulo 4: Cálculo de la cantidad de aire y capacidad del equipo.

Módulo 5: Selección del equipo.

2. PROCESO GENERAL PARA SELECCIONAR EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO A NIVEL DE EXPERTO:

El proceso para realizar la selección más óptima de los equipos de aire acondicionado sigue un mismo patrón, sin embargo dicha selección de equipos varía de un proyecto a otro dependiendo del tipo de aplicación, de la ubicación geográfica, del tipo de materiales con el que está construido, de la situación económica, del tipo y costumbres de la gente de la región, de los energéticos con que se cuentan, del tipo de climas, entre otras.

La selección del equipo más apropiado juega un papel importante en el diseño de instalaciones de aire acondicionado, ya que mediante dicha selección se logra, además de contar con el equipo específico para el proyecto, que el sistema trabaje eficientemente y nos permita hacer un ahorro importante de energéticos así como contribuye a preservar el medio ambiente y evitar la contaminación ambiental.

¿ De que manera se ahorran energéticos ?

Mediante la correcta selección, se logra que el equipo elegido sea el que trabaje en forma más eficiente. Contar con un sistema que trabaje eficientemente es importante ya que reduce los costos de operación notablemente. Por ejemplo si tenemos el caso de un equipo sobrado (que su capacidad sea mayor de la que se necesita) produce que el sistema tenga una gran demanda de energéticos como pueden ser energía eléctrica, vapor de alta o baja presión, gases e hidrocarburos, la cual es innecesaria, como cuando usamos un foco de 200 watt para iluminar una pequeña habitación. Esto genera altos costos de operación, así como los de instalación por el tamaño de los equipos.

El caso inverso, equipo faltante, provoca que el sistema trabaje en forma forzada. Como puede ser el caso de un sistema de enfriamiento pequeño para un proyecto, lo que genera que el equipo, específicamente el compresor, trabaje sin parar consumiendo gran cantidad de energéticos y reduciendo considerablemente su vida útil.

¿ De que manera se evita la contaminación ambiental ?

Si el equipo seleccionado es el adecuado a la aplicación, se tiene un sistema eficiente y seguro, de tal manera que se evita posibles fugas o pérdidas de gas refrigerante, el cual a pesar de los múltiples esfuerzos que se invierten para lograr uno realmente ecológico, daña el ambiente especialmente la capa de ozono.

En base a estos preceptos el proceso de selección de equipos de aire acondicionado es como sigue:

Etapa 1: Recopilación de datos geográficos y especificaciones del proyecto, en base a información directa y según tablas o carta psicométrica.

Etapa 2: Cálculo de la carga térmica (de enfriamiento o calefacción)

Etapa 3: Cálculo de la cantidad de aire y capacidad del equipo.

Etapa 4: Selección del equipo. En este punto tiene importancia el estilo peculiar de cada uno de los diseñadores.

3. DESCRIPCIÓN DE SESEAA :

3.1. Conceptualización :

El objetivo de SESEAA es facilitar y hacer más confiable el proceso de selección de instalaciones de aire acondicionado, partiendo desde información específica del proyecto hasta llegar a la toma de decisiones para recomendar el equipo más apropiado a los requerimientos.

El SESEAA es un programa de computadora que realiza el proceso de selección, en forma similar a como lo haría un experto humano, ya que dicho sistema está basado en la experiencia técnica y científica, tanto de los especialistas en el ramo, como la encontrada en fuentes de información documentada.

De esta forma se logra desarrollar el SESEAA, cuya estructura se muestra en la figura 1:

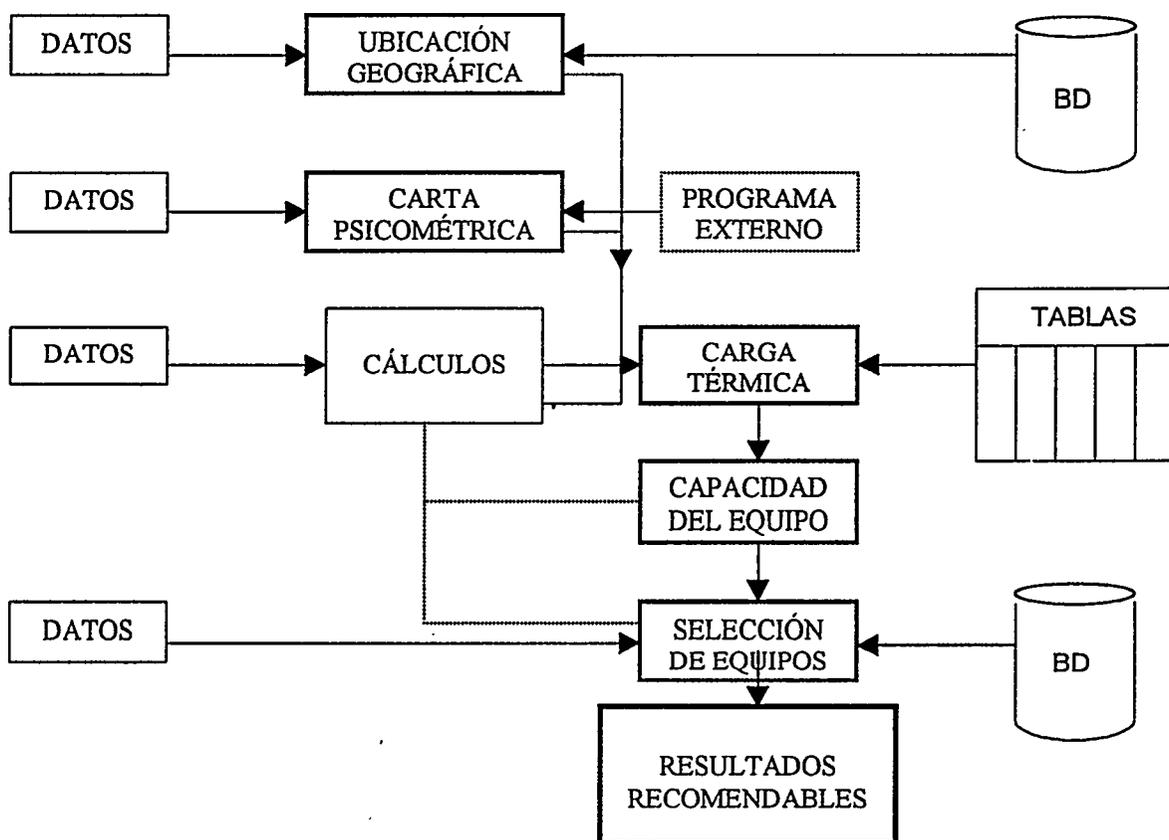


Figura 1: Estructura del SESEAA

3.2. Adquisición del conocimiento:

La adquisición del conocimiento es el proceso de extracción o captura, selección, estructuración, organización y validación del conocimiento a partir de una o más fuentes. En nuestro caso, para llevar a cabo este proceso, se solicitó información documentada, referente a especificaciones y características técnicas y de funcionamiento, de equipos para aire acondicionado (manuales,

tablas, CDROM) a las empresas CARRIER, TRANE y YORK. Así mismo se consultaron libros, revistas folletos y tablas de especificaciones, tanto en la Universidades, como en la Cámara Nacional de la Industria de la Construcción. Las tablas de especificaciones consultadas están normadas por el IMSS y AMERIC (filial de ASHRAE en México).

3.3. Representación del conocimiento:

Lo que proporciona a los sistemas expertos una alta capacidad y elevada ejecución en la solución de problemas del mundo real, es la cantidad y calidad del conocimiento contenido en sus bases de conocimiento, más que los métodos de razonamiento que utilizan para llevar a cabo los procesos de inferencia. Desde el punto de vista de la IA, podemos interpretar el conocimiento como una combinación de esquemas o estructura de datos y procedimientos interpretativos, los cuales al ser usados correctamente por un programa, le brinda a éste un comportamiento inteligente, su representación es una de las investigaciones prioritarias dentro de la IA. Esta representación propone diferentes tipos de esquemas y estructuras para la organización y almacenamiento del conocimiento en un sistema inteligente artificial. La elección del esquema particular dependerá del tipo de problema a ser resuelto y de los métodos de inferencia a utilizar.

Los principales esquemas de representación del conocimiento incluyen principalmente: reglas de producción, frames, guiones, redes asociativas (también conocidas como redes semánticas), lógica de predicados, objetos y procedimientos. De todos estos esquemas, las reglas de producción han sido las más comúnmente utilizadas por muchos sistemas expertos.

De acuerdo al tipo de problema con el que contamos (cálculos de ingeniería y selección), elegimos para la representación de nuestro sistema, el esquema de las reglas de producción. Para comprender un poco más este punto definiremos las reglas de producción.

Reglas de Producción:

Las reglas de producción pueden ser consideradas como un conjunto de cláusulas de la lógica de predicados. Esta es la forma más popular de representación del conocimiento utilizada en los Sistemas Expertos. Esto se debe a la cómoda estructura que las mismas poseen y a la forma tan natural en que pueden ser expresados los conocimientos.

Una regla de producción tiene un antecedente que se refiere a las condiciones o premisas correspondiente a una situación dada, mientras que el consecuente, contiene la conclusión, acción o consecuencia a realizar dado el caso de que las premisas o condiciones hayan sido satisfechas.

A continuación vemos una de las reglas del SESEAA:

```

RULE 02: De 1 a 3 Ton Split o Ventana Residencial
IF Existe OF GARANTÍA Y MANTENIMIENTO
AND Tipo de Proceso OF EQUIPO IS Aire Acondicionado
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO >= 1
AND Q OF CAPACIDAD EQUIPO <= 3
AND Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Superior
OR Ubicación OF LOCALIZACIÓN EQUIPO IS Inferior
AND Energéticos OF ENERGÍA CONSUMIDA IS Eléctrico
AND Aplicación OF TIPO DE OBRA IS Casa Habitación
AND Tipo de Clima OF CLIMA IS Tropical
THEN Split o Ventana OF EQUIPO SELECCIONADO
ELSE NOT Split o Ventana OF EQUIPO SELECCIONADO
AND ASK message SE

```

3.4. Diseño de Menús de SESEAA:

Una de las características importantes de todo sistema experto es la presentación que posea y la forma en la que se pueda comunicar e interactuar con el usuario. Este punto es importante para determinar que tan práctico y útil resulta ser el sistema desarrollado.

Para lograr una buena comunicación con el usuario y a la vez poder navegar correctamente a fin de llegar a una conclusión correcta, se realizaron los siguientes tipos de interfaces:

MENU PRINCIPAL:

Como su nombre lo indica, es la pantalla que aparece al ingresar al sistema, está se diseño para poder navegar correctamente dentro del sistema, según opciones independientes y a la vez interconectados. El menú principal está formado por cinco secciones cada una representada por un icono alusivo a su función, las cuales permiten ingresar a cada una de las áreas en la que se desee trabajar. Cada una de ellas es independiente de las otras por lo que se puede trabajar en el orden en que se presentan, en forma alterna o sólo elegir alguna de ellas. En la figura 2, muestra la pantalla de menús del sistema experto.

INTERFAZ PARA SOLICITAR INFORMACIÓN:

Nuestra base de conocimientos realiza un método de inferencia o razonamiento de acuerdo al encadenamiento hacia atrás. Este razonamiento trabaja partiendo de la meta que se desea alcanzar, el sistema intenta encontrar todas las reglas que aparezcan con esta meta, algunos de los hechos pudieran ser conocidos debido a que fueron introducidos como datos iniciales, mientras que otros hechos pudieran ser conocidos una vez que sean preguntados al usuario.

Es así que durante el proceso de inferencia existirá cierta información que el sistema solicitará al usuario para que dicho sistema pueda conducirse a la meta correcta. Por esta razón se desarrollaron interfaces para solicitar datos, tal como el ejemplo que se muestra en la figura 3.

INTERFAZ PARA MOSTRAR INFORMACIÓN:

Este tipo de display es utilizado a menudo durante la sesión de trabajo del SESEAA, esto se debe a que constantemente el sistema va mostrando la información que se va obteniendo en cálculos, mensajes o condiciones, la que permite ver al usuario como se desarrolla el proceso de inferencia, así como observar información que se puede necesitar posteriormente, tal como se muestra en el figura 4.

INTERFAZ DE AYUDA:

Aquí tenemos los displays de consulta y los de bibliografía, estos nos permiten contar con información específica referida al punto en el que nos encontramos durante la sesión de trabajo del SESEAA. Por ejemplo durante el cálculo de la cantidad de aire, puede presentarse el caso en que el usuario necesite recordar o conocer ciertos temas, para llamarlos tenemos los botones de consulta y bibliografía. Por otra parte esta característica del sistema nos permite realizar un auto aprendizaje, lo que le da al sistema la capacidad de actuar como si se tratará de un tutorial para diseño de instalaciones de aire acondicionado. En la figura 5 se puede observar esta interfaz.

3.5. Descripción de los Módulos de SESEAA

La parte de la ubicación geográfica nos brinda información específica de acuerdo a la localización del proyecto, en este caso dentro de la República Mexicana. Esta información puede ser altitud sobre el nivel del mar, latitud, presión atmosférica, temperaturas máxima y mínima respectivamente, humedad relativa, etc..

La parte de carta psicrométrica nos muestra gráficamente como se comporta el proceso en particular, así mismo permite encontrar ciertas características psicrométricas, como pueden ser entalpías, humedades; específicas y relativas, temperaturas de bulbo seco y húmedo entre otras.

En cuanto al cálculo de carga térmica, cantidad de aire y capacidad del equipo, se llevan a cabo todas las operaciones, aplicando las fórmulas y métodos necesarios, apoyados con la ayuda de tablas y cartas de especificaciones.

Finalmente en lo que se refiere a la parte de selección del equipo, con la información obtenida en los pasos anteriores y con otras que el sistema solicita en su momento, se realiza la selección del equipo más recomendado a la aplicación específica, de tal modo que se cuente con la mejor o mejores soluciones.

4. RESULTADOS

Una vez terminado el proceso de desarrollo del SESEAA se debe realizar la validación y ajuste del mismo para confirmar si el sistema ofrece resultados confiables. En este punto se realizaron las pruebas correspondientes. Para realizar la validación y el ajuste se realizaron las siguientes pruebas mostradas en la Tabla 1:

Nombre del proyecto	Resultados Obtenidos por el SESEAA	Resultados obtenidos por Método tradicional	Variación
Zapatería ALBANO (Puebla)	26.85 Ton de Refrigeración	26.50 Ton de Refrigeración	1.32 %
GOLD GYM (México)	28.10 Ton de Refrigeración	27.69 Ton de Refrigeración	1.48 %
Restaurante HOOTERS	47.20 Ton de Refrigeración	47.00 Ton de Refrigeración	0.42 %
Federal Express (México)	20.63 Ton de Refrigeración	20.00 Ton de Refrigeración	1.03 %
Oficinas (Periférico 14 México)	45.82 Ton de Refrigeración	45.00 Ton de Refrigeración	1.82 %
Casa habitación (Lomas México)	10.95 Ton de Refrigeración	10.20 Ton de Refrigeración	1.07 %
Monte de Piedad	28.50 Ton de Refrigeración	30.00 Ton de Refrigeración	5.00 %

Tabla 1: Comparación de cálculos térmicos obtenidos por el SESEAA y por el método tradicional

Todas estas pruebas se realizaron con obras desarrolladas por una empresa del ramo. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede observar que hay una variación entre 0.32 % y 5.00 %, por lo que podemos estar convencidos de la confiabilidad que nos proporciona el SESEAA. La variación que se presenta se debe entre otros factores a la forma en que se tomo la lectura de los datos de entrada, como pueden ser áreas, longitudes, conductividad de materiales, selección de especificaciones.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) Dieter Nebendahl. "Sistemas Expertos: Tomos 1 y 2". Editorial Marcombo, España, 1991
- (2) Jackson, P. "Introduction to Expert Systems", Second Edition, Addison Wesley
- (3) Parsaye K. y M. Chignell. "Expert Systems For Expert". John Wiley & Sons Inc. New York, 1988.
- (4) Turban Efraim, "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Macmillan Publishing Company, New York, 1992
- (6) Turban Efraim, "Decision Support and Expert Systems: Management Support Systems", Macmillan Publishing Company, New York, 1993.
- (7) EduardoHernandezGoribar, "Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración", Editorial Limusa, México 1978.
- (8) Carrier, "Manual para Cálculo de Carga Térmica para Selección de Equipos de Aire Acondicionado", EE.UU 1987.
- (9) ASHRAE, "Fundamentals Handbook", EE.UU 1985.
- (10) Ing Rodrigo Bengoechea, "Manual de Aire Acondicionado", Palacio de Minería 1997.
- (11) Instituto Tecnológico de la Construcción, "Manual de Refrigeración y Aire Acondicionado", ARI tomo 2, 1994.

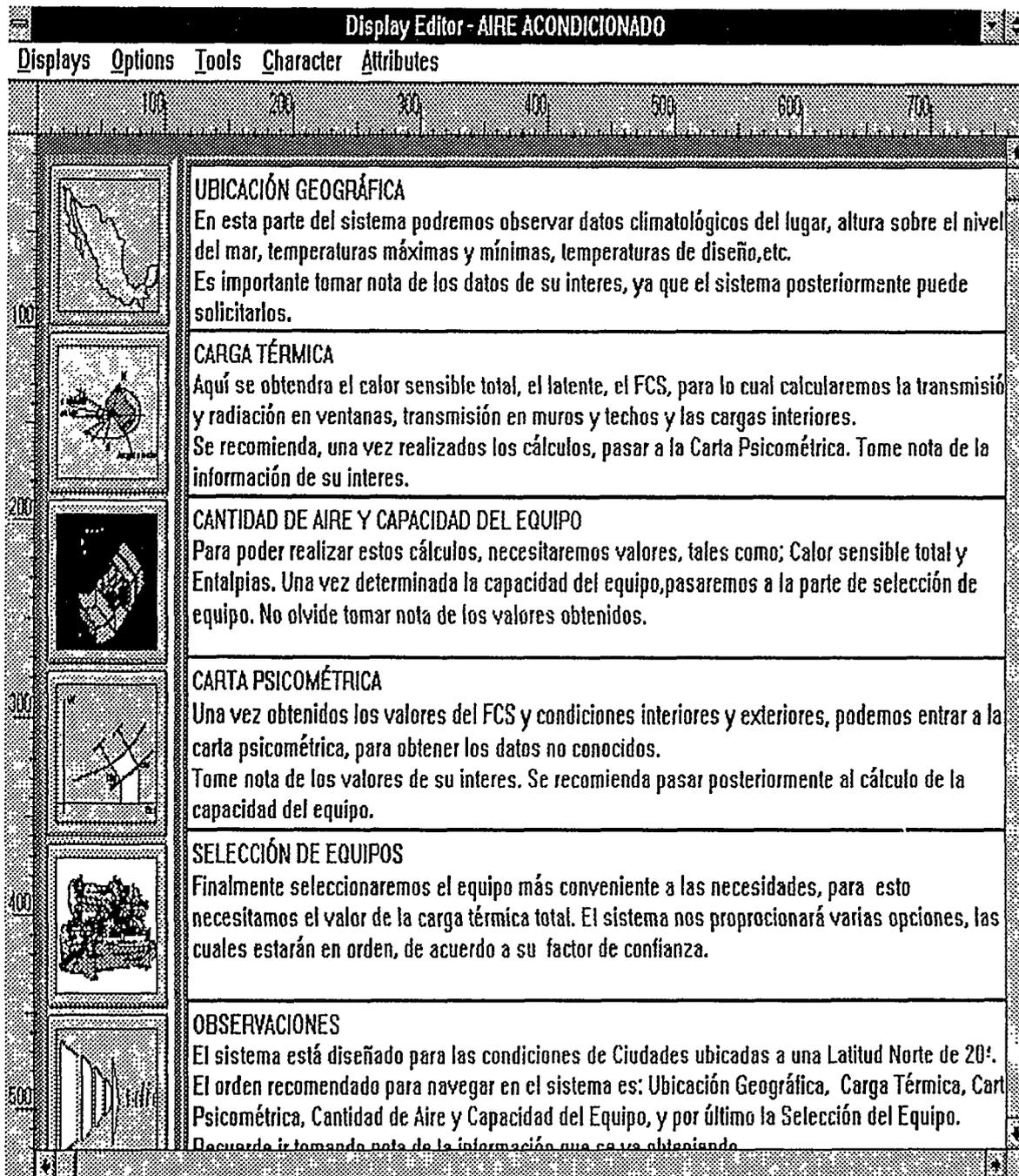


Figura 2: Pantalla de Menús del SESEAA

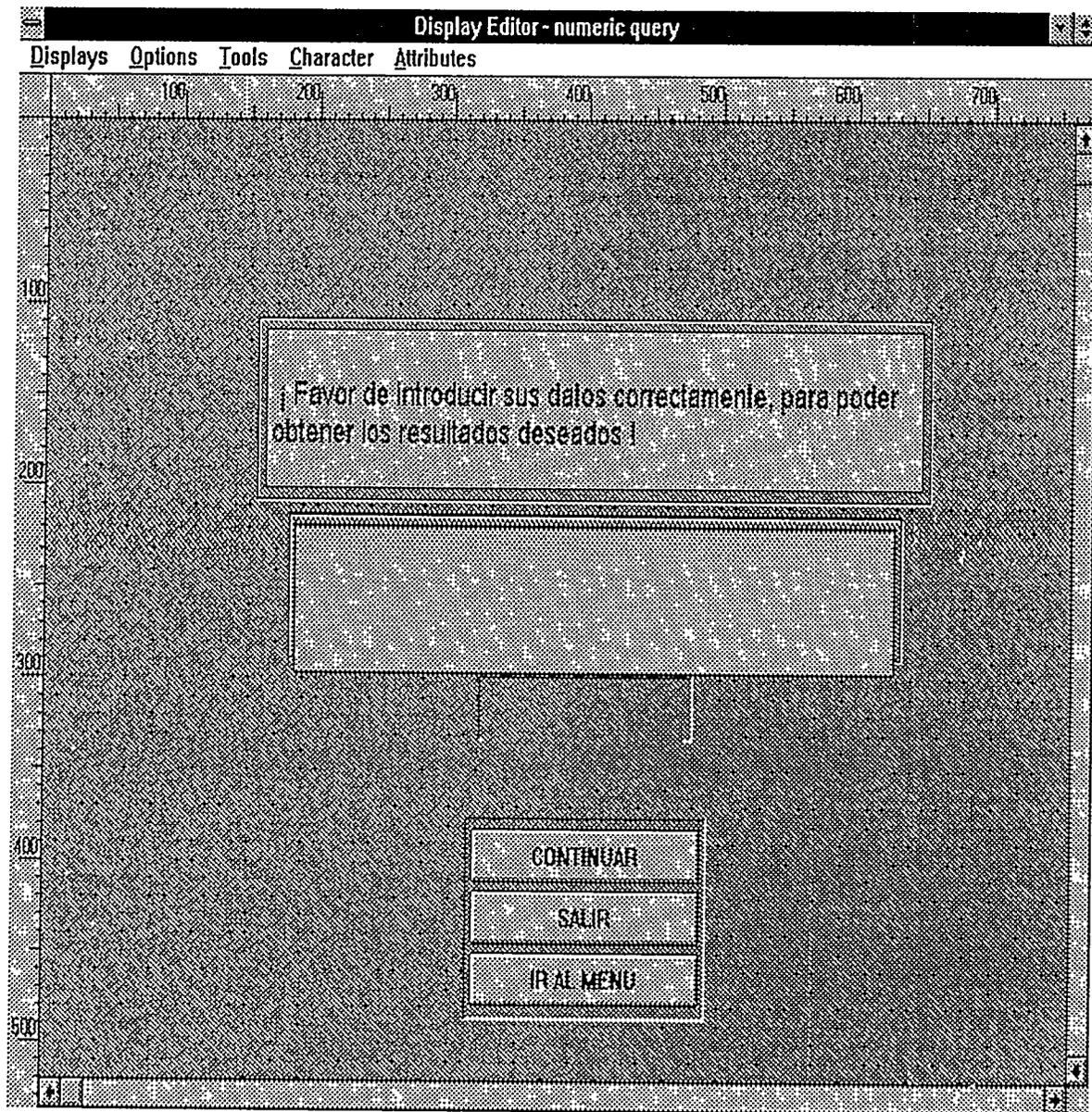


Figura 3: Ejemplo de Interfaz para solicitar información

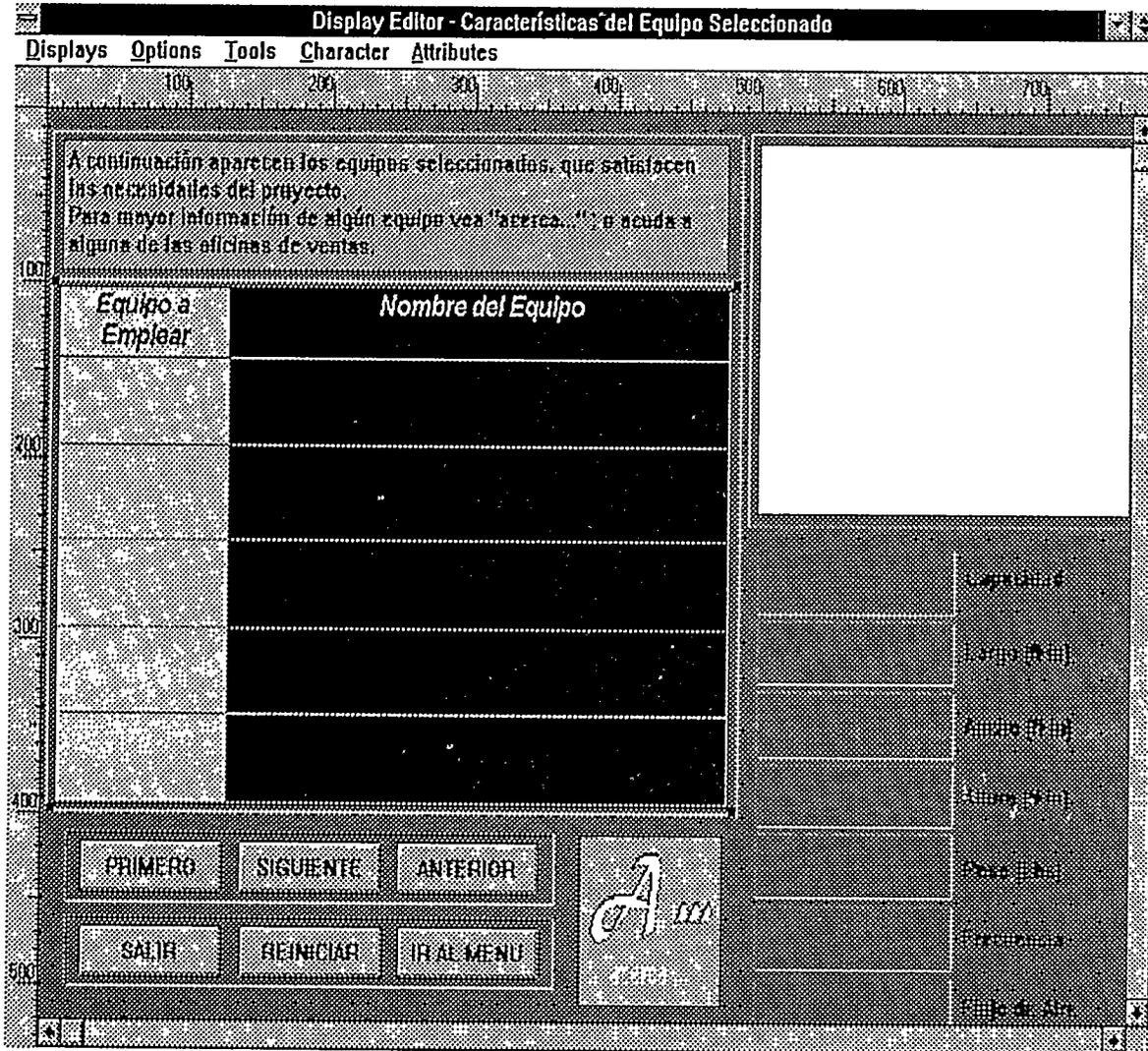


Figura 4: Interfaz para mostrar información

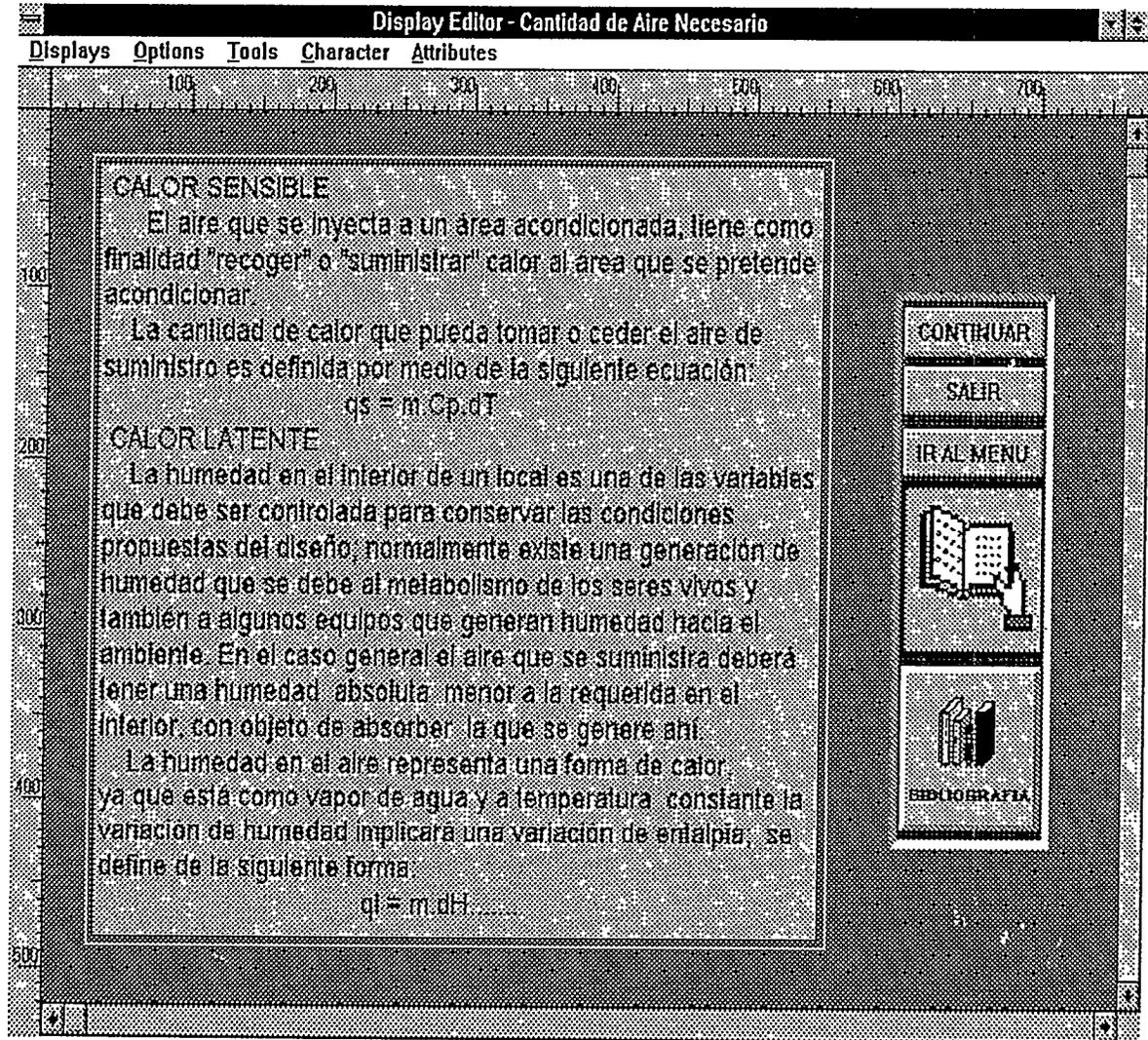


Figura 5: Interfaz de ayuda de SESEAA

50 % DE AHORRO DE ENERGIA EN AIRE ACONDICIONADO Y REFRIGERACION

Ing. Rodolfo Javier Sánchez De la Fuente Instituto para la Protección Ambiental de Nuevo León - CAINTRA Director de Tecnología	Ing. Jaime Antonio Bolado Tamez Industrias AIEn S. A. de C. V. Jefe de Mtto. Planta Materias Primas
---	---

PROGRAMA ECO-REFRIGERACION**RESUMEN**

Debido a que los sistemas de climatización representan hasta el 70% de consumo energético en nuestros inmuebles, al constante incremento de las tarifas eléctricas, el incremento de las temperaturas en Nuevo León, así como la restricción del uso de algunos refrigerantes por su potencial de daño de la capa de ozono (Protocolo de Montreal) y el uso preferente de refrigerantes con bajo potencial de calentamiento global (Protocolo de Kioto), La Cámara de la Industria de la Transformación de Nuevo León a través del Instituto para la Protección Ambiental de Nuevo León crean el Programa ECO-REFRIGERACION cuyas tres misiones son: Incrementar la eficiencia de los equipos de aire acondicionado y refrigeración, promover la sustitución de refrigerantes y extender los beneficios de este proyecto a la comunidad en general.

PONENCIA**Antecedentes**

En Monterrey la climatización de nuestros inmuebles puede representar más del 70% del consumo de electricidad.

Las temperaturas en este año han rebasado los 50 GC en algunos municipios de Nuevo León y 47 GC en Monterrey. Esto no solo incrementa el consumo eléctrico sino que además los equipos dejan de funcionar ya que no están diseñados para trabajar en estas condiciones, siendo así que se pone en riesgo no solo el confort sino todos aquellos productos que requieren refrigeración como leche, carne y medicinas entre otros.

Los precios de la electricidad incrementan mensualmente, además a pesar de las altas temperaturas a Nuevo León se le considera con tarifa 1B de clima templado por lo que los precios aplicados son mucho más altos que otras regiones con tarifa 1C, lo que conlleva a recibos de electricidad excesivamente onerosos.

Existe una gran cantidad de equipos en Monterrey que utilizan los refrigerantes 11, 12, 500 y 502 como los más comunes, los cuales se dejaron de producir en cumplimiento del Protocolo de Montreal, esto es especialmente grave para el sector residencial y microempresarial ya que la sustitución requiere de muy altas inversiones mismas que en estos momentos es imposible erogar.

En Monterrey existe la infraestructura necesaria para llevar a buen fin este tipo de proyectos, ya que se cuenta con material humano y empresas de alta capacidad tecnológica y que pueden suministrar los servicios y productos, ya que uno de los principales objetivos de ECO-REFRIGERACION, es que los insumos y servicios sean provistos por Consultores e Industrias Locales y de preferencia con tecnología propia.

Objetivos

Promover y apoyar a la industria y la comunidad en general en la sustitución de refrigerantes CFC por otros más amigables con el medio ambiente.

Incrementar en un 30% la eficiencia energética de los equipos de refrigeración y climatización mediante la aplicación de tecnologías de ahorro de energía.

Demostrar que los proyectos de prevención de la contaminación son rentables económicamente, mediante el uso inteligente de tecnologías de Producción Más Limpia.

Promover el mercado de eficiencia energética así como el desarrollo de tecnologías propias y proveedores de servicios locales.

Continuar con el apoyo institucional del IPA al sector industrial y a la comunidad en general.

Apoyar el cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Montreal y el Protocolo de Kioto.

Aspectos técnicos

Se crea la estructura funcional del programa quedando como sigue:



Servicios:

Se hacen diagnósticos de desempeño de los equipos mediante la medición de parámetros eléctricos y diagramas presión entalpía, así como de carga térmica a través del año y del día; y luego se efectúa una simulación utilizando los datos meteorológicos de la zona. Estos diagnósticos pueden avalar técnicamente los financiamientos del FIDE.

Se asesora al interesado en cuales son las técnicas más adecuadas y en cada caso cuales darán el mayor ahorro al menor costo.

Debido a que muchas de las empresas que apoyamos son residencias, micro y pequeños industriales que no cuentan con personal capacitado en este tipo de instalaciones, el IPA da el servicio de supervisión de la implementación.

Capacitación:

Este es sin duda el primer punto a atacar para el éxito del programa.

Industria: Se capacita a la industria para que promuevan e implementen las técnicas de eficiencia energética en aire acondicionado y refrigeración.

Profesionales en aire acondicionado y refrigeración: Este rubro es el que nos da el efecto multiplicador en la implementación de técnicas de eficiencia energética, ya que no es suficiente que el usuario conozca estas técnicas sino contar con quien pueda proveer el servicio. Dando como consecuencia la explotación de un mercado virgen como este el cual genera a su vez empleos directos e indirectos.

Estudiante: Se dan cursos de capacitación a nivel técnico y profesional, para que ellos al graduarse vean el ramo de eficiencia energética como una excelente oportunidad para ejercer su actividad profesional.

Financiamiento

Autofinanciamiento: En primer lugar se promueve que las propias empresas inviertan recursos propios en este tipo de proyectos ya que son rentables.

ESCO: Promover este tipo de servicios en nuestra comunidad. Actualmente ya se tienen 3 contratos en operación.

FIDE: Utilizar estos programas de financiamiento.

EL ÉXITO DEL PROGRAMA OBEDECE A LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

9+1 TECNICAS DE EFICIENCIA ENERGETICA

1. -Limpieza de condensador
2. -Refrigerantes ahorradores de energía.
3. -Lubricantes de alto rendimiento y aditivos polares para aceite
4. -Subenfriamiento mediante Intercambiadores de calor.
5. -Subenfriamiento mediante minitorre de enfriamiento.
6. -Subenfriamiento mediante refrigeración mecánica.
7. -Enfriamiento evaporativo Directo e Indirecto.
8. -Controladores electrónicos. Estrategias de control.
9. -Bomba amplificadora de presión en línea de líquido.
10. -Almacenamiento térmico.

1. -Limpieza de condensador

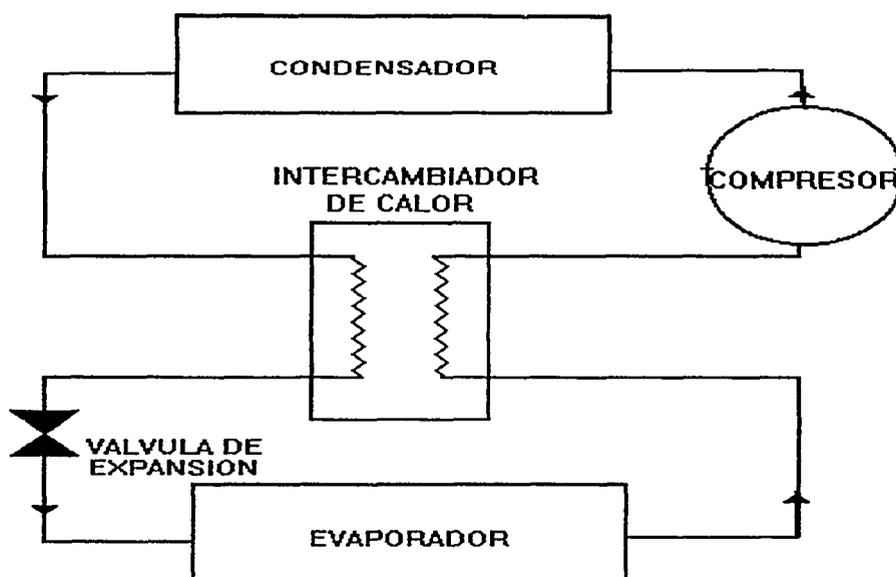
2. -Refrigerantes ahorradores de energía.

Los refrigerante HC y algunas mezclas no azeotrópicas de refrigerantes de transición y de la serie 400 de ASHRAE nos han dado mejores rendimientos energéticos que los gases originales a sustituir.

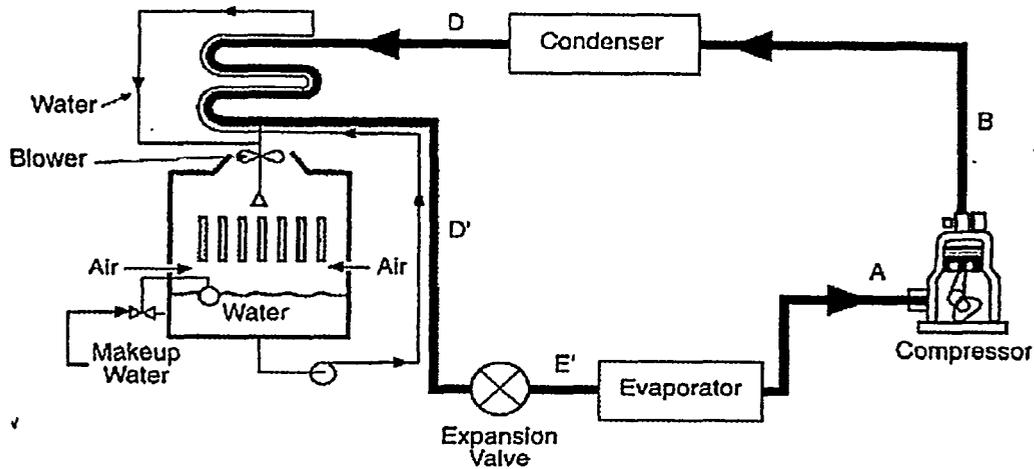
3.-Lubricantes de alto rendimiento y aditivos polares para aceite

Las pérdidas por fricción en los compresores recíprocos son de aproximadamente el 30%, y este calor es disipado en el refrigerante disminuyendo la eficiencia del sistema. El uso de estos lubricantes reduce esta pérdida hasta en un 50% con el consiguiente ahorro de energía.

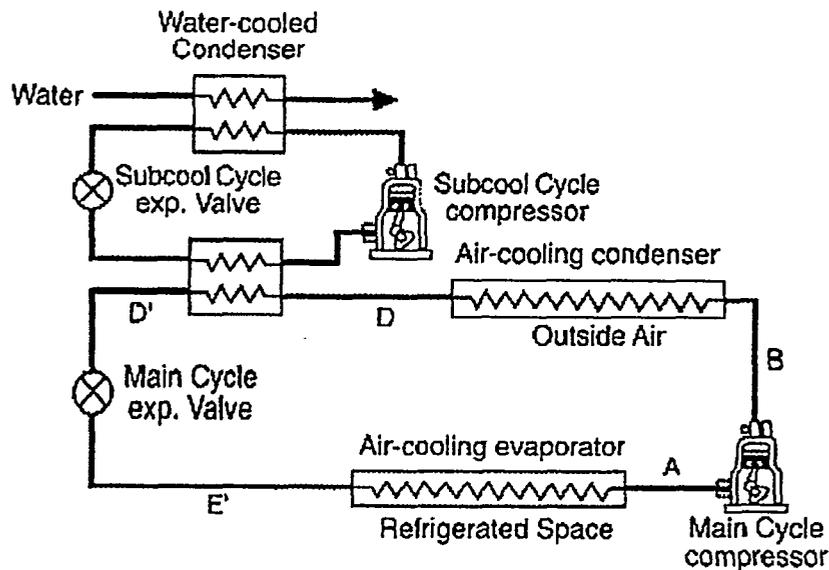
4.-Subenfriamiento mediante Intercambiadores de calor.



5.-Subenfriamiento mediante minitorre de enfriamiento.



6.-Subenfriamiento mediante refrigeración mecánica.



S9506041.4

7.-Enfriamiento evaporativo Directo e Indirecto.

El enfriamiento evaporativo, es en regiones calurosas con baja humedad relativa el más eficiente sistema de refrigeración. No se utiliza extensivamente porque el exceso de humedad hace que no sea confortable el ambiente y a que solo funciona en rangos muy restringidos de temperatura.

Básicamente el agua se disuelve en el aire, y la temperatura de la mezcla baja sensiblemente; para Monterrey la temperatura a la salida del enfriador evaporativo estará alrededor de los 25 °C; el aire así enfriado lo haremos pasar a través del

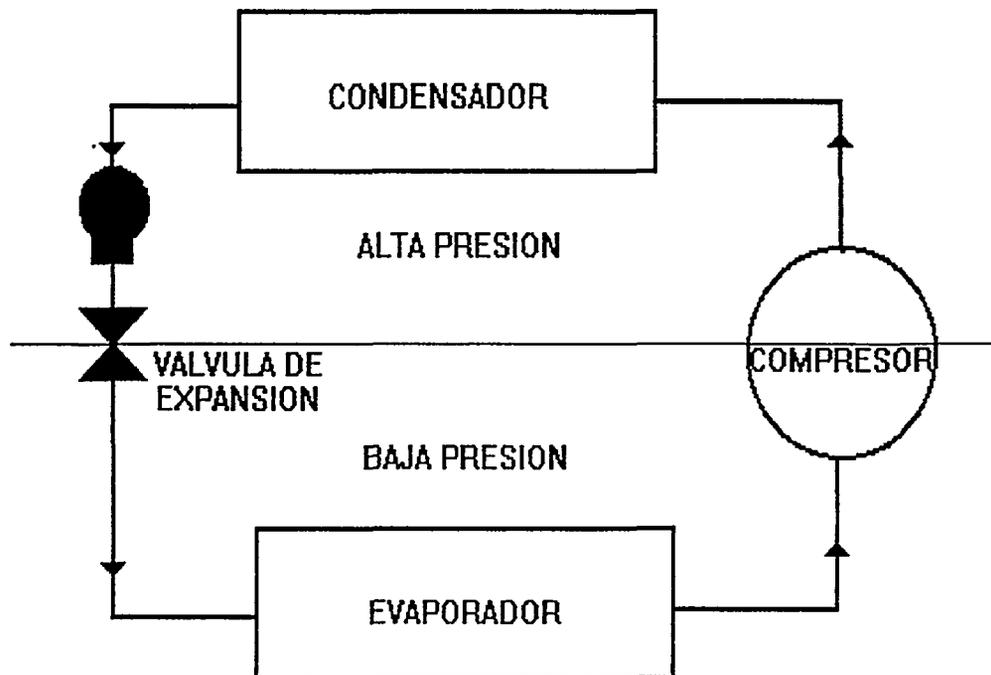
condensador. La disipación del calor se verá altamente incrementada debido a que utilizamos aire más frío, esto nos dará ahorros de 15% a un 35%. Este sistema lo usaremos en ciclos con condensador enfriado por aire.

8. -Controladores electrónicos. Estrategias de control.

- A) Termostatos electrónicos. Los termómetros electrónicos y termopares son más exactos y permiten mejor control.
- B) Encender en secuencia motores para minimizar pico de demanda.
- C) Control de demanda
- D) Apagar abanicos cuando se abren las puertas.
- E) Switch de inclinación en camiones refrigerados.
- F) Deshielo automático.
- G) Controlar la temperatura del agua enfriada de los chillers dependiendo de la carga térmica.

9. -Bomba amplificadora de presión en línea de líquido.

Esta es una bomba especial que se utiliza para incrementar la presión del líquido antes de la válvula de expansión.



CONVERSION INTERMEDIA

1. -Limpieza de condensador
2. -Refrigerantes ahorradores de energía.
3. -Lubricantes de alto rendimiento y aditivos polares para aceite
4. -Subenfriamiento mediante Intercambiadores de calor.

CONVERSION INDUSTRIAL

9+1 TECNICAS DE EFICIENCIA ENERGETICA

CASO DE ESTUDIO

ANTECEDENTE

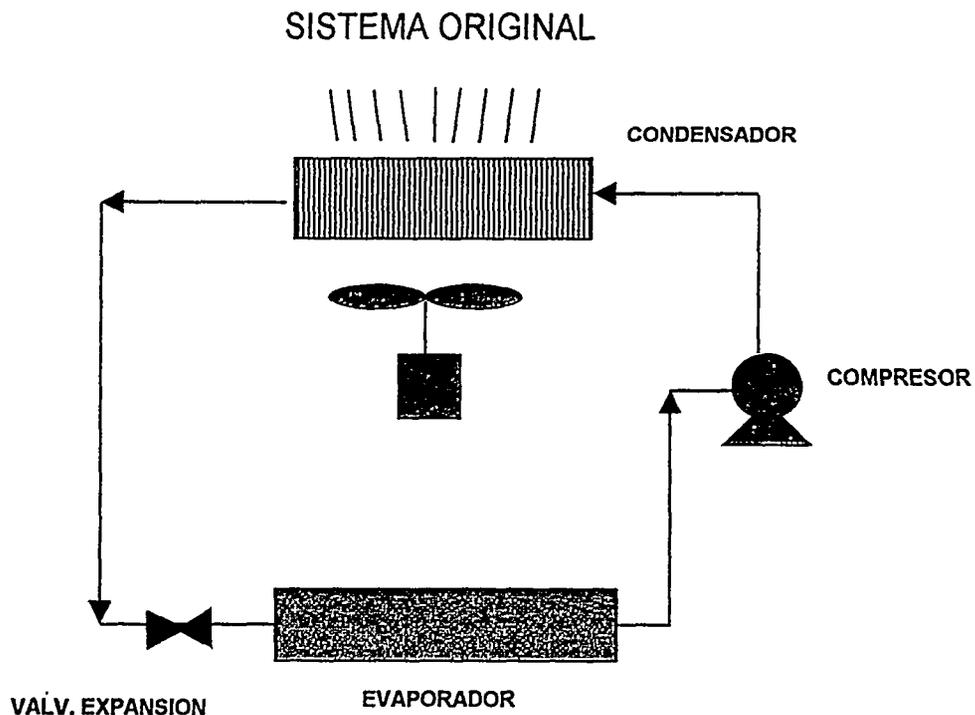
Se tiene un enfriador de agua de 120 tons., el cual se utiliza para disipar el calor de un reactor en la planta de materias primas.

Tiene más de 20 años en operación.

Se protege continuamente por alta presión debido a las altas temperaturas registradas en los últimos meses y se apaga automáticamente; se debe restablecer manualmente.

No proporciona la capacidad suficiente.

Su operación es importante ya que de ellos depende la calidad y productividad del reactor.



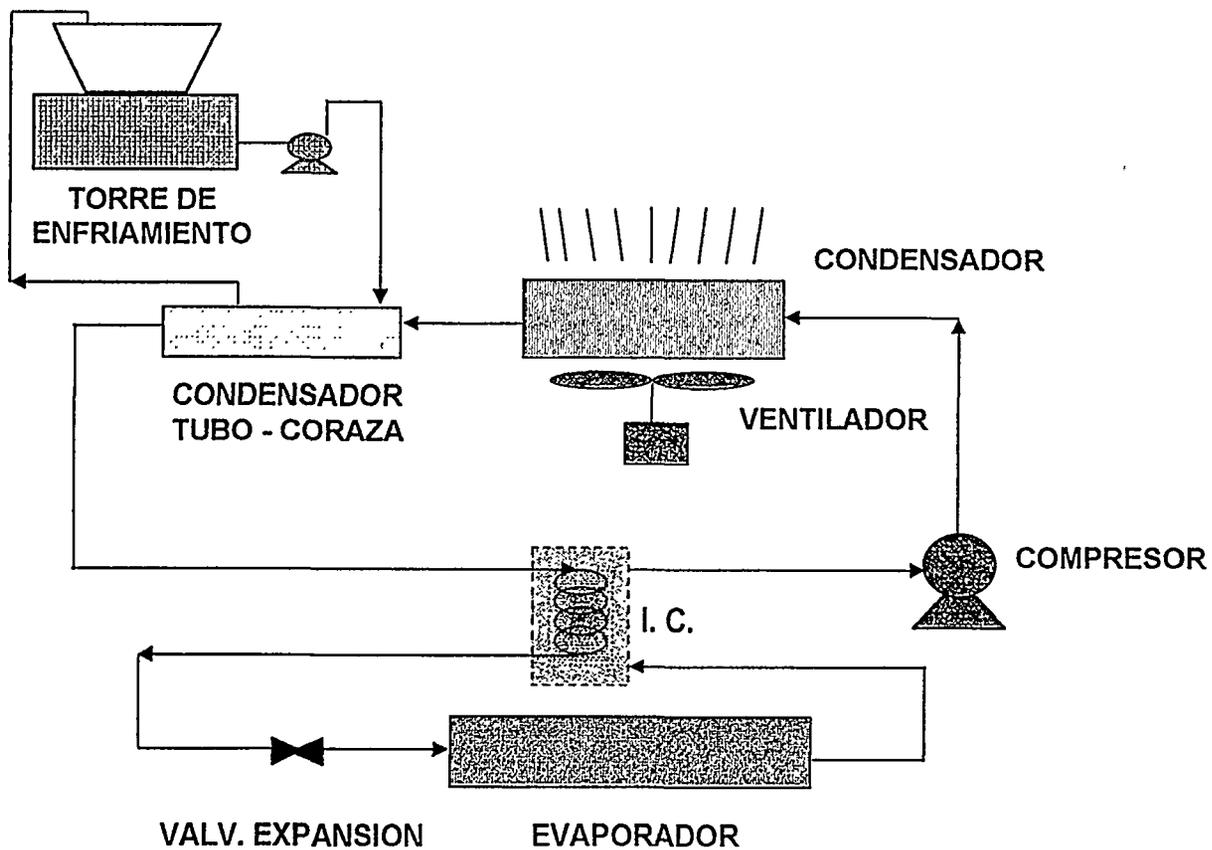
Se tienen los siguientes parámetros de desempeño.

COP 25 GC	2.6
COP 37 GC	1.72
CAPACIDAD 25 GC	60.1
CAPACIDAD 37 GC	56.7

PROPUESTA DE MEJORA

- 1.- Instalar subenfriadores por agua para aumentar eficiencia
- 2.- Cambiar a lubricante sintético de alta eficiencia.
- 3.- Cambiar el gas refrigerante a gas ecológico (GREENFREEZE)
- 4.- Instalar subenfriador por intercambiador de calor para aumentar capacidad
- 5.- Aislar tuberías
- 6.- Mejorar el sistema de rocío de agua en los condensadores enfriados por aire

SISTEMA MODIFICADO



PARAMETROS DE DESEMPEÑO

	S.ORIGINAL	S.MODIFICADO	DIFERENCIA %
COP 25 GC	2.6	3.95	51.92
COP 37 GC	1.72	3.30	91.86
CAPACIDAD 25 GC	60.1	90.85	51.16
CAPACIDAD 37 GC	56.7	82.10	44.80

RESUMEN

Incremento de capacidad y de eficiencia.

Soporta las altas temperaturas sin desconectarse.

La inversión fue del 15% de un equipo nuevo de reemplazo . ROI de 6 meses.

Funciona mejor que nuevo y que los modelos modernos, (Nos. vs catálogos).

PROYECTO CLIMA MONTERREY

El IPA apoya el desarrollo de un Aire acondicionado tipo ventana con una eficiencia mínima de REE de 12; para esto se crea un equipo de trabajo multidisciplinario entre casas de ingeniería locales y agrupaciones tanto promotoras como usuarios finales de estos aparatos, este esfuerzo es único en México, ya que la finalidad es que este sea fabricado íntegramente por nosotros con tecnología propia.

PROYECTO REFRIGERANTE MONTERREY

La sustitución del refrigerante R-12 en pequeñas instalaciones como refrigeradores caseros y congeladores en pequeños comercios, se vuelve un problema grave, ya que este se dejó de producir y el sustituto R-134a requiere de cambios drásticos, como condensador, válvula aceite, además de limpieza, deshumidificación etc., se analiza la posibilidad de utilizar la tecnología GREENFREEZE a base de Hidrocarburos o alguna mezcla tipo serie 400 que sustituya al R-12 sin necesidad de ningún otro cambio y que este sea mas eficiente en su desempeño energético.

CONCLUSION

El Programa ECO-REFRIGERACION ha demostrado ser altamente efectivo ya que los ahorros mínimos logrados son del 25%, teniendo promedios de entre 30% y 35%, y algunos casos documentados de mas del 50%.

Este programa es auspiciado, promovido y coordinado en su totalidad por la iniciativa privada.

Ponemos a la disposición del publico en general, el beneficio de este programa.

Actualmente contamos con una dirección en Internet de servicio a socios y sociedad en general.

COMO ECONOMIZAR ENERGÍA EN EL TRANSPORTE PÚBLICO URBANO.

M. en C. L. Ignacio Sánchez Arellano
Profesor Investigador, Facultad de Ingeniería,
Universidad Autónoma del Estado de México
Ciudad Universitaria, 50130 Toluca, México
Tel. 01 (72) 140534 ó 140855 Fax (72) 154512

RESÚMEN

En el sector de los transportes una de las preguntas que nos deberíamos seguir haciendo, sobre el tema de ahorro de energía es qué objetivo deberá fijarse para reducir los consumos de energía (en particular de los derivados del petróleo) debe ser una medida fuerte o moderada.

En años pasados ésta pregunta estaba muy relacionada con la disponibilidad del petróleo que es un recurso no renovable, sin embargo con el transcurso del tiempo se puede decir que los recursos disponibles de petróleo son aún muy grandes, el problema ahora está en función de los precios de la energía en el mediano plazo, y es esto lo nos llevará a fijar un tipo de política para la reducción de combustibles en los transportes.

El propósito de este trabajo es contar con el apoyo de los usuarios del transporte informándoles y persuadiéndolos de la necesidad de reducir los consumos de combustibles, racionalizando su utilización, para asegurar en nuestras ciudades una circulación relativamente fluida, un aire respirable, un mejor paisaje y una protección a los sitios urbanos. Aunque éstas propuestas corresponden de manera directa a nuestras autoridades la base de su definición serán las perspectivas de desarrollo del país, la cantidad de reservas de petróleo, la situación internacional y los avances tecnológicos.

INTRODUCCIÓN

La evolución reciente de la situación económica mundial hace necesario tomar en cuenta de manera prioritaria el desarrollo del comercio exterior en la puesta en obra de las políticas sectoriales. Esta es una de las razones por la que se debe tomar en cuenta las economías de energía posibles en el sector de los transportes en relación con el desarrollo de los cambios internacionales.

El transporte juega aquí un papel muy importante ya que es por una parte el soporte de la actividad industrial exportadora y las cadenas de transporte son el vector del comercio exterior.

Existen dos maneras básicas de actuar en la cantidad de energía consumida por los transportes:

Primero reducir los consumos de energía por cada unidad de desplazamiento.

Y segundo actuando sobre la cantidad de transportes efectuados por los diferentes modos (ya sea evitando transportes inútiles, con medidas de organización urbana o bien utilizando equipos más económicos en sus consumos de energía).

La primera medida consiste en reducir los consumos específicos, tiene efectos importantes en el corto plazo, sin transformas de manera sensiblemente las actividades económicas de la ciudad.

La segunda serie de medidas supone evoluciones que se darán en el tiempo, la repartición de los transportes entre diversos modos no puede cambiar rápidamente, se trata de modificar la tasa de crecimiento del tránsito de los diversos modos, más que reducir algunos viajes en provecho de otros.

OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es presentar en que sentido deberán ser las orientaciones para una política de transportes que reduzca el consumo de energía y poder así definir medidas concretas que deberán tomarse en el futuro.

Economizar energía no es un fin por sí solo, las empresas de transporte deberán realizar un esfuerzo por asegurar un desarrollo económico y social del país rápido y armonioso. Las ventajas obtenidas **deberán** desde luego confrontarse a los posibles inconvenientes resultado de esas políticas para otros sectores o para la economía en general.

Del punto de vista de las necesidades globales de energía, las estimaciones hechas por los expertos muestran que hay abundancia de reservas de carbón y de petróleo lo que aseguran tener una cantidad importantes por varias décadas aún, sin embargo esto no significa que debamos acabarnos estos recursos no renovables. Lo que si podemos también afirmar es que las variaciones en los precios del petróleo seguirán siendo muy variadas en el tiempo y que una alza tiene un efecto importante para la economía del país, pero también una baja en los precios es aún de mayor impacto.

Las constantes variaciones en los precios de los productos petroleros, hacen que en la actualidad sea necesario una mayor investigación de las economías en este campo. En el caso de los transportes terrestres su consumo en México representa casi el 40% del total de energía producto del petróleo que se consume en el país; esto nos indica que los estudios o proyectos de investigación que resulten del ahorro de combustibles en relación con el transporte se presentan siempre como muy fructíferos.

Entre los objetivos del presente trabajo se pretenden presentar los resultados obtenidos de diversas experiencias que tienen como fin conocer mejor las estadísticas del consumo de los vehículos en las ciudades, una segunda parte será la determinación de parámetros para los desplazamientos urbanos y los efectos sobre el medio ambiente relacionados con el consumo de energía, cada uno de estos elementos permitirá posteriormente desarrollar modelos que prevean el consumo de carburantes y validarlos para el caso de la circulación urbana.

Conocer mejor las características de los consumos de energía de los vehículos durante sus desplazamientos en las áreas urbanas, nos parece importante, ya que permitirán prever las consecuencias energéticas posibles que resulten de medidas conjuntas relativas a la organización de la circulación dentro de las ciudades, eliminando claro aquellas que alteren la cinemática habitual de los vehículos.

Los problemas ligados con la crisis petrolera de fines de 1973 y los continuos aumentos en sus precios, pusieron en evidencia al mundo lo frágil que son los productos petroleros y sus derivados. Esto significa una dependencia para el desarrollo de los pueblos de este importante producto, que para el caso de los transportes representa alrededor de un 25 al 30% del consumo total de energía y del casi 40% del consumo de la energía de producto del petróleo, lo que nos indica que éste es un sector que se basa para su funcionamiento casi exclusivamente en el petróleo como fuente de energía.

Pero además de la importancia que tiene esta elevada participación tanto en la oferta como en la demanda de la energía, es que se trata de fuentes no renovables se están agotando día a día por el ineficiente beneficio de generaciones irresponsables, donde además su uso y transformación resulta como la principal fuente de contaminación en el ambiente.

De los balances nacionales de energía, los hidrocarburos representan el 90.1% del total de la producción de fuentes primarias. Por otra parte, estos energéticos representan el 79.4% del consumo final de energía.

AHORRO DE ENERGÍA EN EL TRANSPORTE DE PASAJEROS DE LAS ÁREAS URBANAS

Son los desplazamientos urbanos los que consumen mayor cantidad de energéticos (alrededor de 20 millones de toneladas de petróleo por año en el caso de la zona metropolitana de la Ciudad de México). Esto es debido a factores como el aumento de la población, el crecimiento de la movilidad de las personas, un mayor número de desplazamientos en auto particular y porque no decirlo la ausencia de una política voluntarista a favor de tener ahorros en los consumos de combustibles utilizados en el transporte. Si podemos economizar por estudiar los problemas de los desplazamientos urbanos.

Para comprender un poco más de lo que antes de definir una política de organización de los desplazamientos urbanos que sea favorable a los ahorros de energía, es evidente que necesitamos conocer cuales son los consumos unitarios, por pasajero-kilómetro, de los diferentes modos de transporte que circulan por nuestras ciudades.

Los consumos unitarios promedio, en gramos equivalentes de petróleo por pasajero-kilómetro son aproximadamente los siguientes:

Auto	60 a 70
Metro	20 a 30
Tren rural	18
Autobús	16 a 20
Tranvía	16
Moto	25

Fuente: Comisión de Cuentas de la Nación, París, Francia 1975.

Estas cifras corresponden a condiciones promedio de utilización, por ejemplo una frecuencia de 15 personas por autobús y una tasa promedio de 1.8 personas en auto particular. Se observa aquí que es el automóvil de transporte urbano menos económico en energía y básicamente en petróleo. Aunque es el modo más utilizado y el que más desarrollo ha tenido en los últimos años, por lo que una política de ahorro de energía debe buscar el mejor desarrollo de otros modos de transporte con el fin de disminuir los consumos totales.

Tres tipos de acciones básicas son importantes tomar en cuenta para tener ahorros de energía en los transportes urbanos y son:

Acciones para los usuarios.

- Limitaciones en la velocidad
- Modificaciones en los estilos de conducción
- Capacitación a conductores

Acciones en los equipos.

Mantenimiento de los vehículos, los principales factores que ahorran combustibles son los siguientes:

- Buen estado del encendido del vehículo
- Bujías correctas y en buen estado
- Filtros de aire limpios
- Uso de aceites multigrados
- Temperatura correcta en el funcionamiento del motor
- Presión adecuada de las llantas
- Frenos en buen estado
- Eliminación de fugas en los sistemas de alimentación

Utilización de vehículos con combustible alternos:

- Vehículo privado con motor diesel
- Vehículo eléctrico

Acciones directas en la organización de los desplazamientos urbanos.

Del punto de vista del ahorro de energía, la organización de los desplazamientos urbanos debe estar fundada en tres principios básicos:

Reducir en lo posible el número y la longitud de los desplazamientos realizados por las personas de las áreas urbanas, sin que se tengan efectos en la calidad de vida.

Para cada modo de transporte, reducir su consumo en base al estilo de conducir y la selección del vehículo, mejoras infraestructuras.

Reemplazar en lo posible los desplazamientos en auto particular por un mayor número de usuarios de los transportes colectivos.

CONCLUSIONES

Como se vio a lo largo de esta exposición el desarrollo de los transportes colectivos urbanos es una de las maneras potenciales para el ahorro de combustibles. Desafortunadamente algunas soluciones aquí presentadas, son en ocasiones difíciles así como también costosas, de ahí que éstas alternativas se tiene que implantar de una manera progresiva, lo que llevará a buenos resultados generalmente al largo plazo.

Otra forma de mejora es hacer más atractivos los transportes colectivos, asociándolos con medidas de control tales como:

- Compartir de una manera equilibrada la vialidad, con otros modos de transporte.
- Organizar los estacionamientos, principalmente en el centro de la ciudad.
- Variar las horas de entrada y salida a los lugares de trabajos.

Con todas estas acciones se logran ahorro considerables en los consumos de energéticos, además otras repercusiones favorables como son la seguridad, un mejor nivel de vida de los habitantes cuidando el ambiente y los tiempos en los desplazamientos.

REFERENCIAS

- (1) Departamento del Distrito Federal, 1992, "Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México, CGT.
- (2) Departamento del Distrito Federal, 1994, "Datos Estadísticos de la Secretaría del Medio Ambiente".
- (3) Jachimiak, B., Soulas, C. 1983, "Transports collectifs urbains et maitrise de l'energie", Agence Francaise, París, Francia.
- (4) Maerlin, Pierre, 1977, "Comment économiser l'energie dans les transports", La Documentation Francaise, París, Francia.
- (5) Transportation Research Board, 1983, "Proceedings of the Conference on Energy Contingency Planning in Urban Areas", Special Report 203, U.S.A.

POTENCIALIDAD DE AHORRO DE ENERGÍA CON SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.

Eusebio Guzmán S., Neagu Bratu S.

Universidad Autónoma Metropolitana, Azc. Depto. de Energía, Área Eléctrica
 Av. Sn. Pablo No. 180, Col. Reynosa, 02200 México D.F.
 TEL. (52 5) 724 42 53, FAX: (52 5) 394 73 78. Email: nbs@hp9000a1.uam.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta un enfoque de la aplicación de los sistemas fotovoltaicos en el ahorro de energía. Se plantea el problema del crecimiento de la demanda energética en los próximos años y sus consecuencias sobre el medio ambiente y las reservas de energía por fuentes convencionales. Un modelo del circuito eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica ilustra el comportamiento del generador fotovoltaico en función de las condiciones climatológicas. Lo anterior con el fin de mostrar algunas limitantes de este tipo de generador. También se describe la evolución de las aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos y el pronóstico de la potencia instalada en los próximos 20 años.

1. INTRODUCCIÓN

La energía es un bien necesario para la realización de un evento. Su obtención implica esfuerzos cuantiosos, por lo que su uso y ahorro se vuelven temas de primera relevancia en el desarrollo de un país. En la sociedad actual, la forma más común de la generación, transporte, distribución y consumo es la energía eléctrica. Esta energía obtenida de sus formas convencionales a base de la quema de materias primas combustibles, presenta dos problemas: su costo de obtención es elevado y los combustibles no son renovables y contaminan el ambiente.

Por otro lado, en la realización de un evento no se puede escapar a la limitante ley física de pérdidas energéticas y, dentro del concepto de ahorro de energía, se busca minimizar tales pérdidas y proteger las fuentes primarias mediante un uso racional.

El crecimiento de las necesidades energéticas (aproximadamente de 2 000 kcal per capita para un hombre primitivo a 230 000 kcal actualmente) y su incremento en los años futuros enfrenta al hombre ante grandes retos: las fuentes energéticas disponibles son capaces de satisfacer tales necesidades, su impacto al medio ambiente será aceptable sin causar daños irreversibles? Que papel juegan las fuentes no convencionales en este escenario

energético?

2. DEMANDA ENERGETICA.

De acuerdo al World Energy Council [1], se prevé que el incremento en el consumo de energía primaria será del 50 % para el año 2020, tomando como base el año de 1990. Este pronóstico se basa en el crecimiento demográfico y se prevé que el 85% será demandado por los países en vías de desarrollo. Estas sorprendentes cifras, reales y de pronóstico, hace imperativa la diversificación de fuentes de energía primaria, al menos en el terreno de la generación de energía eléctrica, abundantes y "limpias". La OECD [2] estima que para el año 2010 las emisiones de CO₂ a la atmósfera alcanzarán una cifra mundial de +47% y +27% en Europa (referencia: 1990). También se pronostica que aún ante esta situación de emisiones, la energía fósil continuará siendo la base de la energía primaria (petróleo: 39% mundial y 42.8% en Europa) a pesar de que las reservas probadas la ponen en desventaja frente a otras alternativas: 40 años para el petróleo, 56 para el gas y 196 para el carbón aproximadamente. En cuanto a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera, como estipulado en la conferencia de Rio [3], podrá lograrse únicamente con la imposición monetaria

elevada por tonelada emitida ($130\text{\$US/tC}^1$) y mediante una política forzada de incremento de la electricidad no fósil (medidas que figuran difíciles de llevarse a cabo). Solo esta última política de planeación y concientización puede considerarse como parte de la solución a tan grandes retos mundiales. Hoy en día existe la tecnología de fuentes no convencionales como la energía solar fotovoltaica, pero su desarrollo necesita de un gran apoyo dentro de las políticas energéticas nacionales.

3. ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se basa en la conversión directa de la radiación solar en electricidad. El material más utilizado para este fin es el silicio en su estado policristalino o amorfo. En el primer caso, la celda fotovoltaica arroja un rendimiento de 16% (23% en laboratorio), aunque en la gran mayoría de los módulos fotovoltaicos comerciales, o para fines de dimensionado; es común hablar de un rendimiento de 10%. Para el silicio amorfo, el rendimiento promedio (comercial) es del 6%. Las aplicaciones terrestres utilizando la energía solar fotovoltaica se han multiplicado pasando de "pequeños sistemas, cuya potencia nominal es de algunos watts, como la alimentación de micromotores, hasta las recientes centrales fotovoltaicas de varios Megawatts. Los sistemas de bombeo de agua, las instalaciones domésticas, el alumbrado público y las telecomunicaciones en ciertos países en vías de desarrollo, son unas de las principales aplicaciones de los sistemas de pequeña y mediana potencia. En países desarrollados como Estados Unidos, Alemania, Suiza, Italia, España[4], se han ultimamente miles de instalaciones llamadas "techos fotovoltaicos" integrando el generador fotovoltaico en el techo de las construcciones. La aceptación progresiva de los sistemas fotovoltaicos se explica, por una parte, por el descenso del costo de los sistemas fotovoltaicos el cual es más de dos veces menor que hace diez años

(aproximadamente $5\text{\$US/Wp}^2$), estimándose un costo energético de 0.4 a 0.5 $\text{\$US/kwh}$. para el año 2000.

Otro motivo de aceptación, es la calidad y seriedad que se ha dedicado a estos sistemas tanto en investigación y desarrollo como en la instalación y seguimiento para su buen funcionamiento.

3.1. El generador fotovoltaico.

El elemento unitario de un generador fotovoltaico es la celda fotovoltaica. Estas, acopladas en serie y en paralelo forman un módulo fotovoltaico con una tensión estándar de 12 V CD. Los módulos, conectados en serie-paralelo, constituyen el generador GFV fotovoltaico esquematizado por la figura 1.

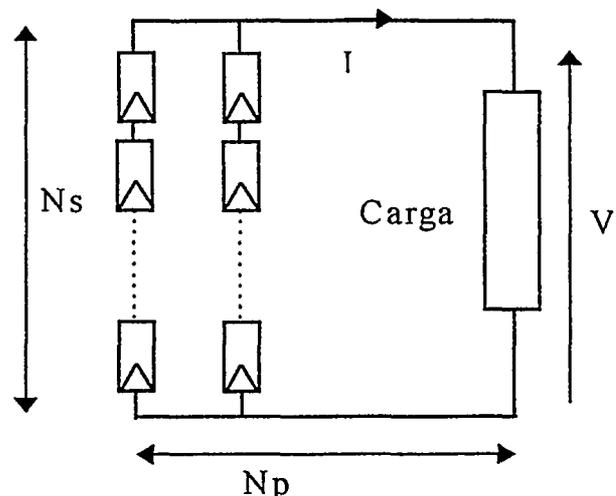


Figura 1. : Esquema del panel de módulos formando un generador fotovoltaico.

La característica estática del GFV depende de la radiación solar y de la temperatura. Su variación es bien representada por un modelo físico de un diodo representando a una celda. De las instalaciones fotovoltaicas realizadas en el mundo, hasta la fecha no se han reportado problemas del material activo (silicón). La causa de remplazo de algunos módulos (valores

¹ tC: tonelada de carbón

² Wp: watt-pico: unidad de potencia para un módulo/celula fotovoltaica a 1000 W/m^2 y 25°C .

estimados aproximados a 0.2%), se debe a corrosiones en las partes metálicas o a la degradación del plástico que cubre los módulos por efecto de la radiación UV. Basándose en esos criterios, la vida útil de un generador fotovoltaico se estima en mínimo 20 años.

3.1.1. Modelo del generador.

El modelo que comunmente se utiliza para representar a un generador fotovoltaico es el esquema eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica de silicio (figura 2) con su relación clásica indicada por la ecuación (1).

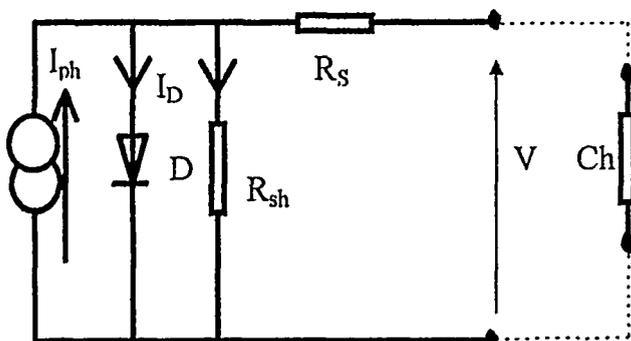


Figura 2: Circuito eléctrico equivalente de la celda fotovoltaica.

I_{ph} : fotocorriente
 I_d : corriente de diodo
 R_s : resistencia serie
 R_{sh} : resistencia shunt
 V : tensión en los bornes de la celda.
 Ch : Carga asociada a la celda fotovoltaica.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\frac{q}{nKT}(V+R_s I)} - 1 \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (1)$$

K : constante de BOLTZMANN $(1,380662 \cdot 10^{-23})$.
 q : carga del electron $(1,602 \cdot 10^{-19})$.
 n : factor de idealidad del diodo $1 \leq n \leq 2$.
 I_0 : corriente de saturación de la celda.
 I : corriente entregada por la celda.

3.1.2. Potencia máxima P_{max}

La relación (1) muestra la no-linealidad de la característica corriente-tensión del generador fotovoltaico. La potencia máxima es obtenida en el punto de anulación de la derivada de la

potencia respecto a la corriente:

$$\frac{dP}{dI} = \frac{d(VI)}{dI} = \frac{dV}{dI} I + V = 0 \quad (2)$$

$$\text{es decir, } V_{pmax} = -I_{pmax} \left. \frac{dV}{dI} \right|_{pmax} \quad (3)$$

V_{pmax} : Tensión en el punto de potencia máxima.

I_{pmax} : Corriente en el punto de potencia máxima.

• **Factor de forma (FF)**: El factor de forma traduce la forma rectangular de la curva $I = f(V)$ y se expresa por la relación:

$$FF = \frac{V_{pmax} I_{pmax}}{I_{sc} V_{oc}} = \frac{P_{max}}{I_{sc} V_{oc}} \quad (4)$$

V_{oc} : tensión de circuito abierto. I_{sc} : corriente de corto circuito. A partir del modelo anterior se estima la variación de la potencia máxima disponible para diferentes condiciones climatológicas. La figura 3 muestra la característica tensión corriente para un GFV utilizado para la alimentación de un sistema de bombeo [5]. En la figura se muestra como varía el punto de potencia máxima para temperaturas de 60, 47 y 25 °C en función de la radiación solar.

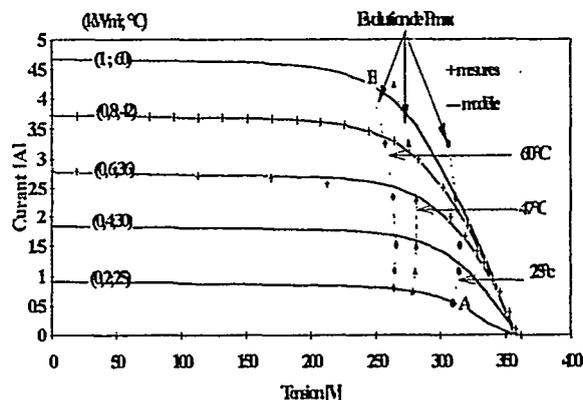


Figura 3: Característica tensión-corriente.

Sobre la misma figura se representan los valores medidos y los obtenidos por el modelo

(1). El generador fotovoltaico representa una fuente de potencia limitada la cual depende de las condiciones climatológicas del lugar de aplicación.

Para trabajar dentro de la zona de potencia máxima, es necesario hacer uso de elementos adaptadores de potencia entre el GFV y la carga a alimentar. La tecnología actual permite su realización con rendimientos superiores del 95% [5].

4. ESPECTATIVAS DE LA ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA.

La electricidad fotovoltaica presenta la desventaja de ser limitada en potencia. Se encuentra sujeta a la radiación solar máxima recibida sobre la tierra (1000 W/m^2) y para grandes potencias se requiere de grandes superficies de captación. En términos económicos, la electricidad fotovoltaica producida es más costosa frente a la generada por fuentes convencionales. Sin embargo, si se toma en consideración el deterioro del medio ambiente y el agotamiento inevitable de los combustibles fósiles, Hohmeyer [6] demuestra que las fuentes de energía renovables resultan más adecuadas. Diversos estudios [7] demuestran también que para ciertas aplicaciones, como las rurales, resulta más ventajosa su aplicación, sobretodo si el lugar de aplicación dista de más de 3 km de la red de electrificación pública, frente a las fuentes convencionales.

Así la cantidad de generadores fotovoltaicos instalados en el mundo aumenta de manera considerable. En la Unión Europea, por ejemplo, la potencia instalada revasa los 150 MW. En 1992, el mercado mundial de módulos fotovoltaicos era aproximadamente de 50 MW/año con ingresos de 331 MUS\$ y se espera para el año 2010 la cifra llegará a 1800 MW_p/año. Estas expectativas toman en cuenta la capacidad de producción la cual se estima podría alcanzar hasta 20 MW_p anuales. Las expectativas de crecimiento y programas de producción de la energía fotovoltaica basan sus estudios en radiación solar promedio de 1500

kWh/m²/año, mientras que en México, la radiación promedio es del orden de 2100 kWh/m²/año [8].

Si bien en México las aplicaciones fotovoltaicas crecieron en la administración pasada (programa PRONASOL), estas son en su mayoría son de baja potencia (47 Wp). Los recursos energéticos solares en México son de los más elevados y su explotación puede ser mayor. La potencialidad de ahorro de energía es de considerar para enfrentar los problemas energéticos que en un futuro no lejano podrían presentarse.

-
- [1] Energie Plus, 128 (1993)4.
 - [2] World Energy Outlook 1994, IEA/ OECD.
 - [3] R. Skinner, Revue de l'Energie, 451(1993) 550.
 - [4] Systèmes Solaires; No. 109, sept. 1995.
 - [5] E. Guzmán, Conception et application d'un onduleur triphasé a MLI .. Aix France. Thèse, 1995.
 - [6] O. Hohmeyer, workshop on the environmental characteristics of renewable energy technologies, edimburgh, 1993.
 - [7] Jornadas sobre Energías renovables'86 solar y eólica, Tenerife, 1986.
 - [8] J.A. Manrique, Energía Solar, Harla 1984.

Modelo de Escenarios Energéticos y de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para México

Claudia Sheinbaum Pardo y Luís Rodríguez Viqueira
Instituto de Ingeniería, UNAM
Ciudad Universitaria, Apdo. Postal 70-472
Coyoacán 04510, México DF.

Resumen

Este artículo presenta las bases del Modelo de Escenarios Energéticos y de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero para México (MEEEM), desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este modelo fue construido con el objetivo de analizar las diversas opciones tecnológicas de mitigación de gases de efecto invernadero para México. El MEEEM es un modelo de usos finales que simula de una manera sencilla, la demanda, transformación y oferta de la energía y calcula la diferencia de costos nivelados entre un escenario base y diversos escenarios de mitigación de GEI. El artículo presenta también algunos resultados obtenidos al evaluar tres tecnologías de fuentes renovables de energía. Aun cuando el modelo es perfectible, su desarrollo demuestra la utilidad de este tipo de modelos en la toma de decisiones para planeación energética y ambiental del país.

1. Introducción

De acuerdo con el último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático Global de las Naciones Unidas (IPCC), el sistema climático mundial está experimentando una alteración de origen antropogénico asociada a las emisiones de GEI. Cifras proporcionadas por el Banco Mundial estiman que aproximadamente 23 mil millones de toneladas de bióxido de carbono (principal GEI) fueron emanadas a la atmósfera en 1995, cantidad tres veces mayor al valor estimado para 1950.

De acuerdo con las predicciones climáticas del IPCC, de continuar el crecimiento en las emisiones y concentraciones atmosféricas de GEI, la temperatura de la atmósfera terrestre podría elevarse entre 1.5 y 3.5 grados centígrados a lo largo del próximo siglo. Como causa de este aumento en la temperatura, el nivel medio del mar podría elevarse entre 50 y 90 centímetros y se generarían cambios en los patrones climáticos, con posibles efectos catastróficos en diversas zonas del Planeta.

México contribuye con cerca del 2% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI). Como parte de los países en desarrollo, México no ha adquirido responsabilidades internacionales para disminuir emisiones como es el caso de la mayoría de los países industrializados inscritos en el Anexo 1 de la Convención Marco de Cambio Climático Global de las Naciones Unidas (CMCCG).

A pesar de que México tiene una posición más comprometida que la mayoría de los países en vías de desarrollo o de economías en transición, se encuentra bajo una importante presión internacional, para adquirir compromisos en materia de límite en las emisiones de GEI. México es el único país de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) que no participa dentro del Anexo 1. Sin embargo, el desarrollo industrial, la carencia de servicios de una parte importante de la población, y la dependencia económica y energética del petróleo, limitan las posibilidades para adquirir compromisos internacionales en esta materia.

Para estimar los posibles compromisos que México puede adquirir en materia de disminución de GEI es necesario conocer escenarios de crecimiento de las emisiones a futuro y analizar las posibles acciones de mitigación, incluyendo viabilidad técnica y económica de dichas opciones. Para ello, se requieren modelos del sector energético que estimen el crecimiento en la demanda y oferta energética y los costos asociados al cambio tecnológico en la perspectiva de disminución de GEI.

Este trabajo presenta un modelo desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM cuyo objetivo central es la estimación de escenarios de crecimiento del consumo de energía y emisiones asociadas de GEI para México. Asimismo, el modelo estima escenarios de mitigación asociados a la penetración tecnológica de opciones de uso eficiente y fuentes renovables de energía, así como la diferencia de costos nivelados entre los escenarios base y los de mitigación.

El trabajo se divide en cuatro secciones. La primera presenta el inventario de emisiones de bióxido de carbono (CO₂), principal gas de efecto invernadero, asociadas al uso de energía, para el año 1990. Posteriormente se presentan las bases del modelo y algunos resultados asociados al uso del mismo. Finalmente se presentan las conclusiones.

2. Inventario de CO₂ asociado al uso de la energía en el año 1990

El año base para el modelo de mitigación es 1990. Esto se debe a que la Convención Marco de Cambio Climático Global establece 1990 como año base a nivel internacional. El modelo de mitigación, simula el consumo de energía de 1990 a 1996, años hasta los cuales se cuenta con información del Balance Nacional de Energía.

La Figura 1 muestra las emisiones de CO₂ por sector. Como se observa, el transporte contribuye con el 31% de las emisiones, seguido por la generación eléctrica (23%), el sector industrial (22%) y autoconsumo del sector energético (14%). La Figura 2 muestra la contribución relativa de los diversos energéticos en las emisiones totales de CO₂. En este caso, el combustible contribuye con el 31%, la gasolina con el 22% y el gas natural con el 19%.

3. Modelo de Escenarios Energéticos y de Emisiones para México (MEEEM)

Existe una importante variedad de modelos que analizan la posibilidad técnica y económica de limitar emisiones de GEI, incluyendo paquetes tradicionales de "software" que realizan proyecciones en el sector energético.

Figura 1. Emisiones relativas de CO₂ por sector (1990)
Emisiones totales: 298 Tg de CO₂

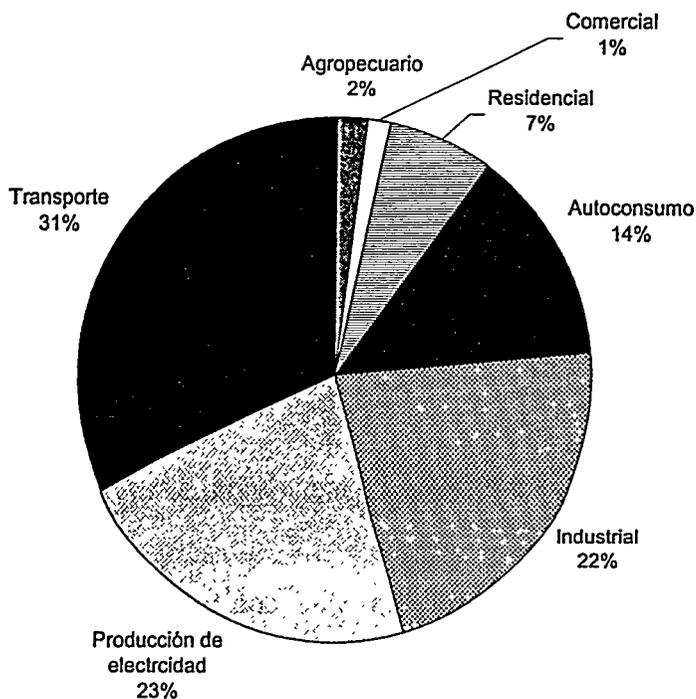
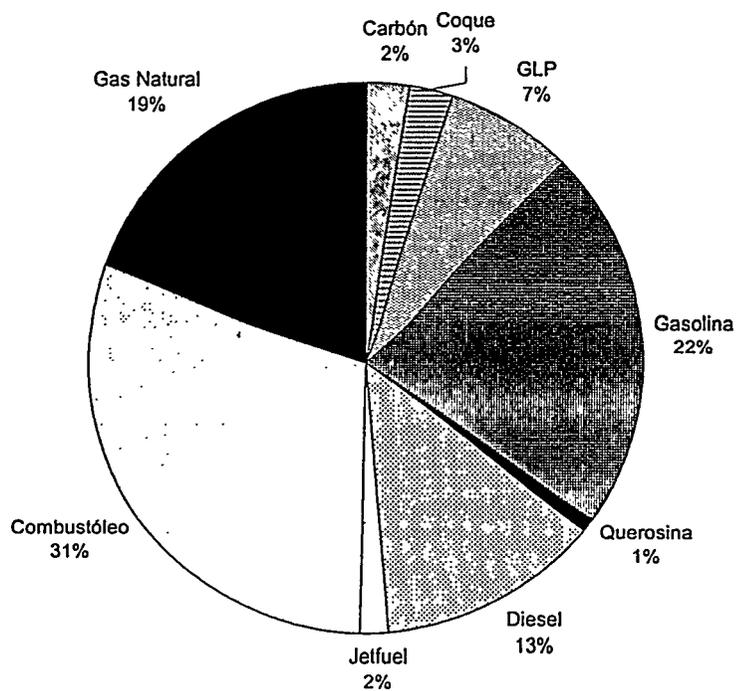


Figura 2. Emisiones relativas de CO₂ por energético (1990)



La mayoría de los paquetes que se ofrecen en el mercado realizan un análisis comprensivo del sistema energético, así como su relación con otros sectores de la economía. Sin embargo, como lo señala Reddy (1995), existen ciertas desventajas en la utilización de modelos pre-programados relacionados con: (a) poco control del proceso de cómputo; (b) los usuarios dependen de los programadores del paquete para cualquier alteración; (c) la forma en la cual deben incorporarse los datos de entrada puede no coincidir con aquella en la cual está disponible la información y (d) la mayoría de los paquetes imponen de antemano, grandes restricciones en el proceso de planeación.

En este contexto, y basado en experiencias previas de modelación energética en México, se planteó la necesidad de desarrollar un modelo sencillo de simulación del sistema energético y las emisiones asociadas de GEI de acuerdo a la disponibilidad de información en el país. El Modelo de Escenarios Energéticos y de Emisiones para México (MEEEM) es similar al modelo

DEFENDUS desarrollado en la India (Reddy, 1995) y tiene sus orígenes en el modelo STAIR, desarrollado en el Lawrence Berkeley Laboratory (Kettof, et. al., 1991, Martínez et. al., 1994). El MEEEM refleja una concepción del tipo “de abajo hacia arriba” o de “usos finales” de la relación entre los servicios, la tecnología, la transformación y la oferta energética.

Los escenarios de mitigación están relacionados con un escenario base que refleja intensidades energéticas constantes. En adición al modelo STAIR, el MEEEM incluye opciones en la transformación y suministro de la energía, así como la diferencia en el costo nivelado entre el escenario base y el de mitigación.

3.1 Componentes básicos del MEEEM

El modelo consiste de cinco componentes:

Proyecciones macroeconómicas

Demanda

Transformación

Oferta

Emisiones

Costos nivelados

Curva incremental de costos.

3.1.1 Proyecciones macroeconómicas

Esta componente del modelo, incorpora proyecciones exógenas de crecimiento de población y vivienda urbana y rural; PIB y cambios en la estructura del PIB. Las proyecciones de estos indicadores están sustentados en información oficial y las incertidumbres se incorporan como diferentes escenarios de crecimiento.

3.1.2 Demanda de energía

En el módulo de demanda, el modelo considera siete sectores de consumo de la energía: agropecuario, residencial, comercial, servicios, industrial, transporte y consumo propio del sector energético. De acuerdo a la metodología de usos finales de la energía, para cada sector es posible definir un indicador de actividad sectorial agregada. Que representa, en términos generales, los factores que determinan el uso de la energía. A cada actividad específica corresponde una medida de la intensidad energética (o uso de la energía por unidad de actividad, Goldemeberg et al. 1987, Schipper et al., 1992; Reddy, 1995). En términos forales, sea A_{it} el nivel agregado de actividad en el sector i en el año t , S_{ijkt} ($j=1,2,\dots,n$) y k ($k=1,2,\dots,m$) los niveles de la actividad específica j para cada energético k , y I_{jkt} la intensidad energética de la actividad específica j para el energético k . El uso de la energía en el sector i en el año t está dado por:

$$E_{it} = A_{it} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m S_{ijkt} I_{jkt}; (1)$$

Y la demanda total de energía en el año t (E_{Tt}), es la suma de la demanda energética de los diferentes sectores i ($i=1,2,\dots,s$)

$$E_{Tt} = \sum_{i=1}^s E_{it}; (2)$$

La desagregación de la demanda energética depende, por supuesto, de la disponibilidad de la información. En el MEEEM, los datos de entrada se desagregan por sector de la siguiente manera: En el sector agropecuario, no existe suficiente información para desagregar el consumo de energía por usos finales, con excepción de consumo de energía eléctrica para riego, por esta razón, el consumo unitario o intensidad energética se considera como uso de la energía por valor agregado sectorial. La información de la actividad proviene del INEGI (1990-1996).

En el sector residencial, el modelo estima los requerimientos de una fuente particular de energía, contabilizando el número de usuarios de esa fuente, para determinado uso final y el promedio del consumo unitario requerido por uso final para cada año. Los usos finales considerados son cocción, calentamiento de agua, iluminación, refrigeración, uso de energía para TV, aire acondicionado y otros electrodomésticos. Asimismo, el consumo de energía residencial se divide en sectores rural y urbano. La información proviene de INEGI (1992-1994) y de (Masera et al. 1991).

El sector servicios considera, de acuerdo al Balance Nacional de Energía, la energía necesaria para suministrar iluminación pública y bombeo de agua. En este caso, el consumo unitario está determinado por energía per cápita.

En el sector industrial, el modelo contempla ocho industrias intensivas en el uso de la energía, en las cuales el consumo unitario está considerado por producción física (GJ/ton). Las industrias intensivas son siderurgia, petroquímica-pemex, química básica, azúcar, cemento, celulosa y papel, fertilizantes y vidrio. El resto de las industrias se incluyen en la categoría de "otras" y la intensidad energética se considera por valor agregado. Los cambios estructurales se contemplan a través de cambios en la estructura del PIB industrial. La información proviene de INEGI (1995a, 1995b, 1996a, 1996b, 1996c, 1996d) y de las Cámaras industriales (CANACEM, 1995; CEESP, 1997).

En el sector transporte el modelo divide el uso de la energía en transporte de pasajeros y de carga. En el transporte de pasajeros se consideran autobuses de diesel y gasolina, trenes, aviones y automóviles privados. El transporte de carga se divide en marítimo, tren, camiones de diesel y gasolina. La actividad está determinada por los indicadores pass-km y ton-km. La información para la actividad del sector proviene de INEGI (1990-1996) y de estimaciones propias (Mar, 1996).

La actividad del autocumsumo del sector energético está determinada por el valor agregado del sector. La información proviene de INEGI (1996b).

3.1.2 Transformación

En el módulo de transformación el modelo simula la refinación, generación, transmisión y distribución eléctrica. El proceso de refinación se simula como una refinería debido a la falta de información de costos de cada refinería. En el caso de generación eléctrica se contemplan 15 opciones, de acuerdo a de tecnología y la fuente primaria de energía. El modelo también contempla importación de derivados del petróleo y de gas natural.

3.1.3 Oferta

El modelo evalúa la demanda energética y la liga con la necesidad de oferta de las diversas fuentes, incluyendo biomasa, geotermia, hidroelectricidad, nucleoelectricidad, petróleo, carbón y gas natural. En todo momento la necesidad de oferta se compara con las reservas probadas de combustibles fósiles.

3.1.4 Emisiones de GEI

Una vez simulado el sistema energético, el modelo estima las emisiones de GEI en demanda, transformación y oferta. Los factores de emisión por combustible y tecnología provienen del IPCC (1995). Los GEI considerados son bióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno, óxido nitroso y compuestos orgánicos volátiles no metanos.

3.1.5 Costos

Los costos calculados por el modelo incluyen inversión, operación (incluyendo costo de combustibles) y costos de mantenimiento necesarios para suministrar la demanda

energética para los años de proyección. El concepto de costo nivelado "C" se recomienda para la comparación de flujos de efectivo que ocurren a diferentes puntos en el tiempo. La "nivelación" de costos involucra el cálculo un límite de flujos de efectivo iguales para cada año (costo anualizado), de acuerdo a una visión nacional. Bajo este método y de acuerdo con UNEP (1994)

$$C = \text{VPN } i / [1 - (1+i)^{-n}]; \quad (3)$$

Donde VPN es el valor presente neto en el año base, i es la tasa de descuento en el periodo que contempla el primer año de operación de la nueva inversión, hasta el final del periodo que contempla el escenario. El costo de carbón evitado o costo total de mitigación "CTM" se define como:

$$\text{CTM} = [C_m - C_{bl}] / [CO_{2bl} - CO_{2m}]; \quad (4)$$

Donde C_m es el costo de disminuir emisiones (escenario de mitigación) C_{bl} es el costo del escenario base, y $[CO_{2bl} - CO_{2m}]$ son las emisiones evitadas de CO₂ (u otro gas contaminante o de efecto invernadero) alcanzado por el escenario "m". Los costos incrementales se reportan como la diferencia del costo nivelado entre el escenario base y el escenario de mitigación. Las proyecciones del precio de los combustibles provienen de AIE-DOE (1996) y de proyecciones de la Secretaría de Energía.

3.1.6 Curva incremental de costos.

Una vez obtenidos los resultados para diversos escenarios de mitigación, el modelo desarrolla una curva de costos incrementales, combinando las diversas opciones progresivamente, de menor a mayor costo. Estos resultados pueden ser graficados en una figura que muestra, el valor de acumulado de emisiones evitadas y el valor acumulado de los costos nivelados, sumando uno por uno, los diversos escenarios de mitigación. Estas curvas permiten determinar la mezcla más rentable de opciones de mitigación que cumplan con los requerimientos necesarios de energía para el año de proyección futura.

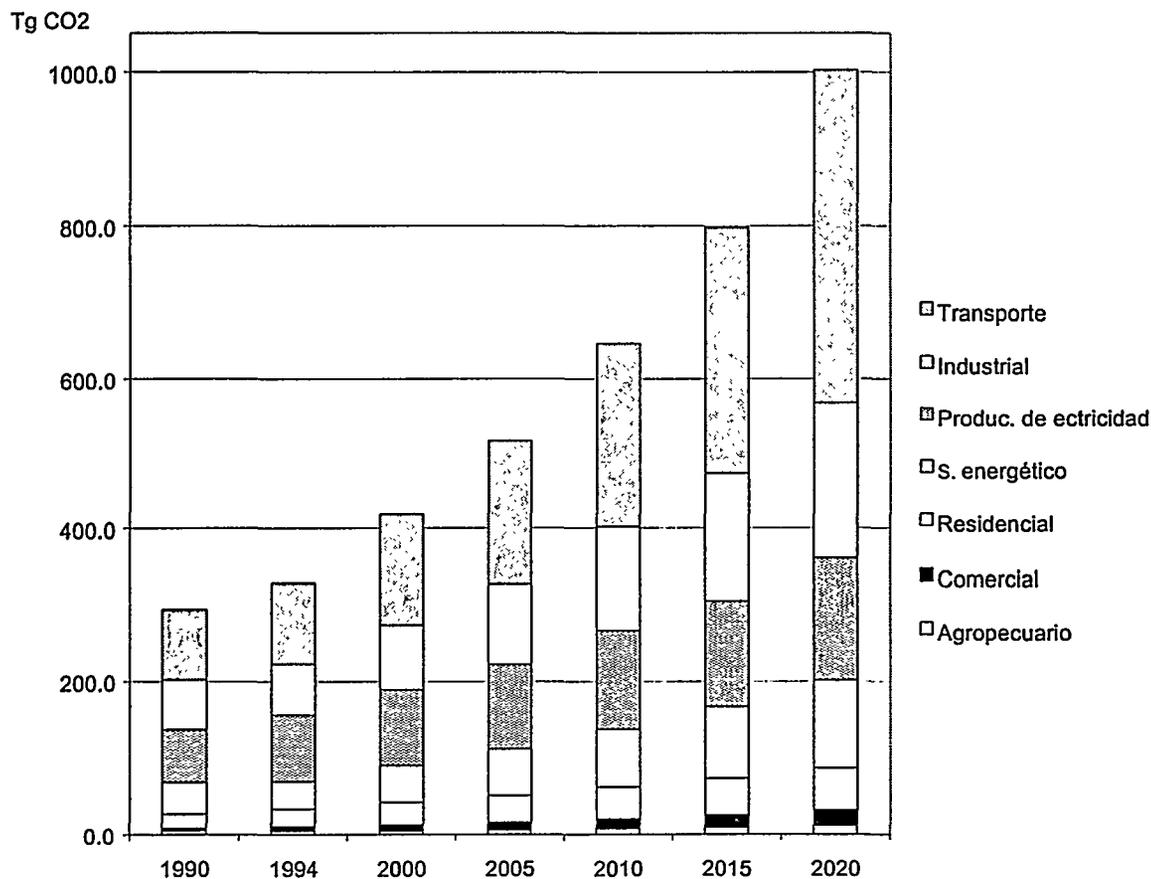
4. Resultados de algunos escenarios de mitigación de GEI

4.1 Escenario base

El escenario base supone intensidades energéticas constantes al año 1994, una estructura del PIB constante y tendencias histórica de la saturación de equipo doméstico y de incremento en la participación de los diversos modos de transporte. En la producción de electricidad la nueva capacidad instalada se proyecta de acuerdo a las proyecciones de la Secretaría de Energía (SE, 1996) para el año 2006 y a nuevas instalaciones de ciclo combinado para los requerimientos adicionales de generación eléctrica.

La figura 3 muestra las emisiones de CO₂ para un escenario de crecimiento económico medio de 1990 al año 2020. Como puede observarse, el mayor incremento ocurre en los sectores del transporte, industrial y residencial. Las emisiones totales se incrementan de 296 a 1002 Tg de CO₂ y las emisiones per cápita de 3.7 a 7.7 Tg de CO₂ para el año 2020.

Figura 3. Emisiones de CO₂ por sector para el año 2020
(crecimiento medio anual del PIB de 4.2%)



4.2 Escenarios de mitigación

Los escenarios de mitigación que se presentan, incluyen cuatro tecnologías de uso de fuentes renovables de energía: calentadores solares de agua de uso doméstico, energía geotérmica, cogeneración con biomasa y micro/mini hidráulicas. El potencial de estas tecnologías está determinado con base a estudios previos (Corbus et al., 1994; Sheinbaum et al. 1996). Acorde con estos estudios, la penetración tecnológica para el año 2020 alcanzaría los 2.4 GW para geotermoeléctricas, 3 GW para cogeneración con biomasa (demanda en sitio); y 3.0 GW para micro/mini hidráulicas. Los calentadores solares alcanzarían el 20% del total de viviendas. Las tecnologías de generación eléctrica sustituyen nueva capacidad de ciclo combinado y los calentadores solares, el uso de GLP.

Figura 5. Costos incrementales (año 2020)

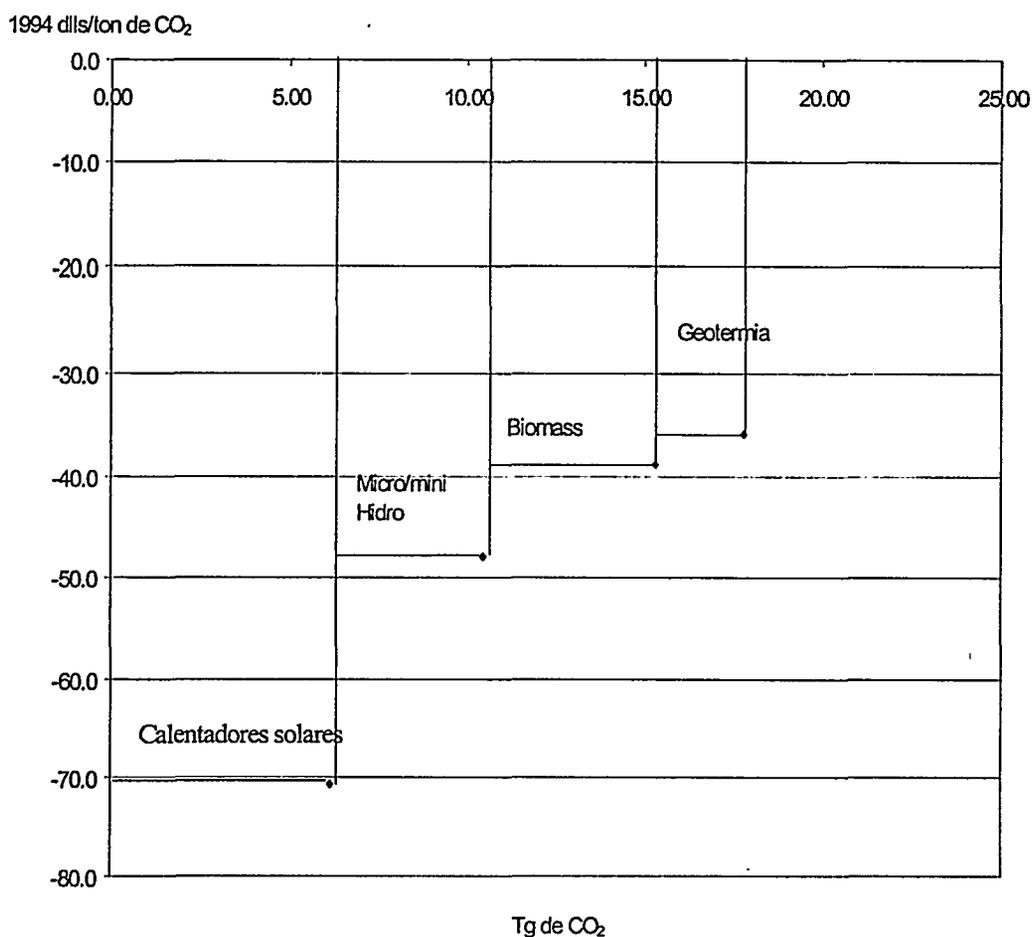


Tabla 1. Emisiones evitadas (año 2020)

Escenarios	Tg de CO ₂
Calentadores solares	6.16
Cogeneración con biomasa	4.84
Micro/mini hidros	4.30
Geotermia	2.49
Total	17.79

Tabla 2. Costos de mitigación
(Diferencia entre el escenario base y el de mitigación)

Escenarios	1994 dls/ton CO ₂
Calentadores solares	-70.65
Cogeneración con biomasa	-15.63
Micro/mini hidros	-18.84
Geotermia	-17.25

La Tabla 1 muestra los resultados de las emisiones evitadas de CO₂ para diversos escenarios. Los calentadores solares representan el mayor número de emisiones evitadas. La Tabla 2 presenta la diferencia de costos nivelados entre el escenario base y los de mitigación. El signo negativo en los costos implica que los escenarios de mitigación son más rentables que el escenario base y son los calentadores solares los que tienen mayor rentabilidad. La Figura 5 presenta la curva incremental de costos. Como se muestra, la suma de los escenarios de mitigación sigue siendo rentable para el país. Esto indica que las cuatro tecnologías analizadas además de permitir la disminución en las emisiones de GEI, representan menores costos nivelados que la línea base que seguiría el país.

5. Conclusiones

El desarrollo de un modelo de simulación contable de escenarios energéticos y de emisiones de GEI, permite visualizar e interpretar diversas trayectorias energéticas y calcular el costo y beneficio ambiental para el país. La experiencia en la aplicación de diversos modelos de planeación energética sugiere que es preferible contar con un modelo sencillo en el que los investigadores tengan el control de todo el proceso y cuyos objetivos de su utilización sean claros, a utilizar "cajas negras" de algoritmos complicados que no permiten interpretar claramente los resultados.

El modelo que aquí se presenta es perfectible. El análisis de costos debe ampliarse, las hipótesis de crecimiento de la demanda energética deben diversificarse y podría desarrollarse un módulo sencillo de implicaciones macroeconómicas de las diversas trayectorias tecnológicas. Aun cuando el modelo es perfectible, su desarrollo demuestra la utilidad de este tipo de modelos en la toma de decisiones para planeación energética y ambiental del país.

Agradecimientos

Los resultados que aquí se presentan se desarrollaron gracias a un proyecto financiado por la Dirección General del Personal Académico de la UNAM y por la Agencia Internacional para el Desarrollo de los Estados Unidos.

Referencias

- CANACEM, 1995. "Una década de la industria siderúrgica en México", México.
- CEESP, 1997. "La industria azucarera mexicana: de la crisis hacia su modernización", *Actividad económica*, no. 198.
- Corbus D., Martínez M., Rodríguez L., and Mark J. 1994, *Renewable Energy and its Potential for Carbon Emissions Reductions in Developing Countries: Methodology for Technology Evaluation: Case Study Application in Mexico*. National Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-463-6504. Golden Co.

- CSPMT (Country Studies Program Management Team). 1995, *Guidance for Mitigation Assessment: Version 2.0*, Berkeley CA: Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-36367.
- DOE. 1998, Energy Information Administration. Annual Energy Outlook 1998.
- Goldemberg J., Johansson T., Reddy A., Williams R. 1987, *Energy for Development*. World Resources Institute. New York.
- INEGI. 1992, 1994, Encuesta Nacional Ingreso Gasto de los Hogares, México.
- INEGI. 1995^a, La industria siderúrgica en México, México.
- INEGI. 1995b, La minería en México, México.
- INEGI. 1996^a, Anuario Estadístico, México.
- INEGI. 1996b, Cuentas Nacionales, México.
- INEGI. 1996c, La industria química en México, México.
- INEGI. 1996d, La industria automotriz en México, México.
- IPCC. 1995, Greenhouse Gas Inventory Reference Manual, Vol. 3, UNEP, WMO, OECD, IEA, UK.
- Masera O., O. De Buen y R. Friedmann. 1991, Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales, Potencial de Ahorro. En Primera Reunión Internacinal sobre Ebergía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano (ed) Quintanilla J., Mexico D,F.
- Reddy A. 1995, "The DEFENDUS approach to integrated energy planning", *Energy for Sustainable Development*. VII, No. 3.
- Ketoff, A and Sathaye, J. 1991, *CO₂ Emissions from Developing Countries: Better Understanding the Role of Energy in the Long Term. Volume 1 Summary*, Berkeley CA: Lawrence Berkeley Laboratory Report LBL-29507.
- SEMARNAP. 1997, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca, Primera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Clmático. Nov. México DF
- Schipper, L., and Meyers, S., with Howard, R., and Steiner, R. 1992, *Energy Efficiency and Human Activity, Past Trends and Future Prospects*. Cambridge University Press, UK.
- SE 1996, Secretaría de Energía. Prospectiva del Mercado de Gas Natural. 1997-2006. México.
- Shienbaum C. 1997, Coe. Support for a National Action Plan for Climate Change in Mexico. Informe del Instituto de Ingeniería-6133. México DF.
- Sheinbaum C., Jáuregui I., Balladares D., and Manzini F., 1996, Análisis financiero de la implantación de calentadores solares en el AMCM. Informe del Instituto de Ingeniería-México DF.
- UNEP (United Nations Environment Program). 1994, UNEP Greenhouse Gas Abatement Costing Studies