

CONF-9709273--

**18th national seminar on the rational use of energy and exposition of
equipment and services. Transactions. [Selected Papers]**

XVIII

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



22 AL 26 DE SEPTIEMBRE DE 1997

Memoria Técnica

[Selected Papers]

Museo Tecnológico
Comisión Federal de Electricidad
2ª Sección del Bosque de Chapultepec
México, D.F.



~~CONAE~~

mx9800002

AVANCES Y RESULTADOS DEL PROGRAMA DE COOPERACION ENERGETICA DE LA AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL (USAID-MEXICO) EN MEXICO

Lic. Jorge Landa Bonilla
Asesor en Energía
Agencia para el Desarrollo Internacional
Embajada de los Estados Unidos de Norteamérica
Paseo de la Reforma No. 305
Col. Cuauhtemoc, 06500 México, D.F.
Tel.: 211-00-42, ext. 3252

Resumen

Se presentan los programas de cooperación y resultados en eficiencia energética, energías renovables y prevención de la contaminación entre México y Estados Unidos a través de la Agencia para el Desarrollo Internacional, USAID-México y las diversas instituciones especializadas del sector. Los principales programas de la USAID-México en este campo se centran en: **Proyectos Piloto:** tanto con la CONAE como con el FIDE se han implementado programas centrados en la sustitución de motores estandar por motores de alta eficiencia, en la optimización de sistemas de distribución y generación de vapor, en el estudio de las prácticas de reembobinado de motores; **Evaluación y Monitoreo:** se está proporcionando asistencia técnica en la evaluación financiera y monitoreo de los actuales programas de CONAE, FIDE y PAESE, así como la utilización de resultados de los proyectos piloto para posibles programas de gran escala sobre incentivos, descuentos y promoción de tecnologías; **Normalización:** se ha proporcionado apoyo a la CONAE para el desarrollo de diversas normas en eficiencia energética y se prepararán programas para evaluar el impacto de estas normas sobre el sector productivo del país; **Energías Renovables:** desde 1993 se ha estado implementando un programa de cooperación sobre fuentes alternas de energía con aplicaciones productivas en áreas rurales con diversas instituciones del sector productivo rural como FIRCO y algunos gobiernos de los estados; **Prevención de la Contaminación:** Conjuntamente con el programa de eficiencia energética de la USAID en Washington, la EPA y el Centro Mexicano para la Producción más Limpia se han desarrollado diversos proyectos piloto sobre eficiencia energética y prevención de la contaminación en industrias como la maquiladora, de galvanoplastia y fundición; **Fortalecimiento Institucional:** durante los últimos cuatro años se ha proporcionado apoyo a las principales instituciones mencionadas anteriormente en materia de capacitación para fortalecer internamente sus cuadros técnicos.

1. Introducción y Antecedentes

Durante los últimos cinco años las actividades que la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID-México) ha desarrollado en nuestro país en materia de energía se ha centrado basicamente en tres áreas específicas, a saber: eficiencia energética, energías renovables y prevención de la contaminación.

Con el transcurso de los años, la colaboración en dichas áreas se ha incrementado sustancialmente. En los últimos años, se ha fortalecido con las expectativas creadas por la firma del Tratado Trilateral de Libre Comercio entre México, Canada y Estados Unidos.

Actualmente estas áreas de interés común forman parte de uno de los objetivos estratégicos de la USAID-México: la *Mitigación del Cambio Climático Global*, a través de la utilización de los recursos naturales y energéticos de una manera apropiada, racional y sustentable. Estas áreas de interés se han enfocado principalmente en:

La Conservación de Bosques y la Biodiversidad. En donde se ofrece apoyo para:

- la preservación de zonas húmedas y bosques tropicales ubicados alrededor de áreas naturales protegidas,
- Protección de la biodiversidad ubicada en áreas naturales protegidas, y

El Uso Eficiente de la Energía, Apoyo a la Producción Limpia de Energía, Utilización de Fuentes Alternas de Energía y Proyectos de Implementación Conjunta, incluyendo:

- Proyectos de administración de la demanda y planeación integral de recursos,
- Aprovechamiento de fuentes de energía renovables para usos productivos.
- Programas de Prevención de la contaminación y eficiencia energética, y
- Programas de Capacitación en las áreas mencionadas.

II. Proyectos Piloto en Eficiencia Energética, Energías Renovables y Prevención de la Contaminación.

Como parte de una mayor interrelación económica y tecnológica y como respuesta a las preocupaciones existentes sobre el medio ambiente y su interrelación con la energía, la cooperación energética entre México y los Estados Unidos se ha incrementado sustancialmente desde 1990. Los proyectos desarrollados dentro de esta colaboración a partir de ese año en el campo de la eficiencia energética se centran en las siguientes áreas:

1) Proyectos Piloto:

Actualmente la USAID se encuentra apoyando y finalizando algunas actividades en este campo tanto con el FIDE como con la CONAE. Sin embargo, también se encuentra diseñando nuevos programas que complementarán dichas actividades. Entre los proyectos más relevantes de esta primera etapa, a continuación se citan los más importantes:

Proyecto piloto para la sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia en el sector industrial.

Este programa piloto es resultado de la experiencia y actividades de promoción y apoyo financiero que el FIDE ha desarrollado desde su creación dentro del sector industrial y de un estudio sobre administración de la demanda en México financiado por la USAID. Los resultados de este estudio mostraron que para el año 2010 los programas industriales de administración de la demanda podrían alcanzar ahorros de energía de aproximadamente el 18% de la demanda proyectada y el 11% del consumo de energía proyectado. Más de la mitad de estos ahorros podrían ser obtenidos de los motores eléctricos y de los sistemas electromotrices industriales.

Las actividades desarrolladas durante los últimos tres años dentro de este proyecto han permitido obtener los siguientes logros:

Comprobar la viabilidad técnica y económica de la optimización en el uso de los sistemas electromotrices abarcando la sustitución de motores estándar por motores de alta eficiencia, así como la optimización en la operación y mantenimiento de equipos auxiliares, incluyendo las ventajas que implica el uso de convertidores de frecuencia.

Se logró tener un mayor conocimiento de los usos finales de las máquinas electromotrices en las empresas analizadas.

Se pudieron probar diversos mecanismos de financiamiento y entrega, para la adquisición de motores eléctricos de

alta eficiencia y convertidores de frecuencia, tales como arrendamiento, bonificaciones, financiamientos preferenciales, créditos puente, pago de equipo a través de los ahorros obtenidos, etc.

Se logró determinar los objetivos, alcances, metodología, programa de trabajo y presupuesto de un proyecto a gran escala, el cual ya está en marcha. Este programa nacional es el *Programa de Incentivos de la CFE*, el cual ya lleva un año de haberse iniciado en el área de iluminación doméstica y está a punto de arrancar en el programa de motores de alta eficiencia.

Se ha llegado a conocer mejor el comportamiento y respuesta actual del mercado de motores eléctricos, de rebobinado y de otros equipos y dispositivos.

La participación de los fabricantes y distribuidores de motores de alta eficiencia y convertidores de frecuencia ha sido más activa y fundamental en el mercado de motores de alta eficiencia.

Finalmente, este proyecto permitió elaborar una base de datos especificando características de operación de los distintos tipos, clases, marcas y precios de motores de alta eficiencia y su disponibilidad en el mercado nacional.

Dentro del proyecto se realizaron diagnósticos energéticos a 20 empresas pertenecientes principalmente a los sectores químico, siderúrgico y alimenticio en la región central del país, abarcando los estados de México, Queretaro, Guanajuato, Puebla, Tlaxcala y Distrito Federal.

Este proyecto se encuentra en fase de terminación y pronto se darán a conocer los resultados sobre los diagnósticos energéticos realizados.

Proyecto Piloto sobre Rebobinado de Motores.

Este proyecto ha tenido como principal objetivo complementar la información que se ha generado a través del proyecto de sustitución de motores de alta eficiencia.

En México el rebobinado de motores representa la práctica más común cuando un motor se descompone, por lo cual resulta indispensable conocer con mayor precisión la información de estas prácticas y sus efectos sobre la eficiencia de los motores.

Además el análisis de dicha información servirá para preparar un programa de capacitación dirigido a los talleres y locales que se dedican a realizar la reparaciones y rebobinado de los motores. Finalmente, se pretende apoyar el desarrollo de una norma para el rebobinado de motores.

Proyecto Piloto para la Optimización de Sistemas de Distribución y Generación de Vapor.

Este proyecto se diseñó conjuntamente con la Comisión nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), en base a la metodología utilizada para el proyecto de sustitución de motores de alta eficiencia. El proyecto se inició en septiembre de 1995 y el objetivo principal es la realización de 35 auditorías energéticas en diferentes sectores industriales, proporcionando capacitación a las industrias participantes sobre eficiencia energética en trampas de vapor y procesos de recuperación de calor.

A través de este proyecto se espera obtener una mayor participación del sector privado de lo que se ha obtenido con el proyecto de motores de alta eficiencia. Además el proyecto servirá para establecer las bases de un programa a escala nacional.

Actualmente, las firmas consultoras contratadas se encuentran realizando los diagnósticos energéticos en las industrias participantes y se espera que para finales de noviembre ya se tengan resultados preliminares de este proyecto.

Por otra parte, existe un gran interés de los fabricantes de equipo de combustión y trampas de vapor en continuar con otras actividades de promoción y comercialización de tecnologías más eficientes a través de incentivos y descuentos como actualmente sucede con el proyecto de motores.

2) Programas de Evaluación y Monitoreo:

Por su parte, a través del proyecto de Administración e Intercambio de la Información (IME), se ha proporcionado asistencia técnica a las diferentes instituciones del sector para fortalecer sus sistemas de información y en la evaluación y monitoreo de sus proyectos. Las principales contrapartes han sido la CONAE, el FIDE y la ATPAE, sin embargo este proyecto se encuentra también en fase de terminación y se espera que tenga un impacto positivo en los objetivos de las instituciones contraparte.

En la colaboración con FIDE, se han identificado proyectos que se enfocan al seguimiento de los proyectos piloto y a la vinculación con actividades de escala nacional como el *Programa Nacional de Incentivos y Descuentos de la CFE*. Dichos proyectos estarían apoyando el desarrollo de metodologías de evaluación de la permanencia de medidas de ahorro en energía eléctrica y la evaluación de la participación de los principales equipos y sistemas eléctricos en el consumo de energía:

Evaluación de la Permanencia de Medidas de Ahorro en Energía Eléctrica.

En este proyecto se buscará analizar el tipo de medidas y programas de ahorro de energía aplicadas por empresas y organismos de los principales sectores consumidores.

Además se analizarán las metodologías aplicadas en otros países para evaluar la permanencia de las medidas y programas de ahorro de energía eléctrica

El apoyo se ha centrado también en establecer una metodología para contar con información más precisa de los usos finales de energía, lo cual permitirá definir las principales áreas de oportunidad en materia de ahorro de energía eléctrica, diseñar y aplicar programas y proyectos cuya aplicación haría posible alcanzar metas de ahorro definidas con mayores y mejores bases.

Diseño de una Estrategia para Promover la Creación de Empresas tipo ESCOs en México.

Tanto FIDE como CONAE han estado promoviendo la formación de ESCOs en México. FIDE principalmente ha estado trabajando junto con el Instituto Internacional para la Conservación de la Energía (IIEC), y Marbek Resource Consultants en la preparación de un diagnóstico sobre el mercado potencial para ESCOs bajo esquemas de *Contratación por Resultados* (Energy Performance contracting). Uno de los objetivos de este proyecto es la impartición de diversos cursos de capacitación para firmas de ingeniería mexicanas.

Después de estos cursos, la USAID ofrecerá apoyo para la creación de un fondo revolvente para proyectos de contratación por resultados para ESCOs.

3) Apoyo al desarrollo de Normas en Ahorro de Energía

La CONAE es la institución encargada de desarrollar la normatividad sobre ahorro de energía en México. Actualmente la USAID-México se encuentra diseñando el programa de asistencia técnica a la CONAE para el análisis del impacto que han tenido la puesta en vigor de las diversas normas de ahorro de energía y en la preparación de cursos de capacitación sobre *normas en ahorro de energía en diversas aplicaciones*.

El objetivo de la colaboración se centraría también en la asistencia técnica para el desarrollo de procedimientos de certificación y verificación de nuevas normas en ahorro de energía.

4) Proyecto de Energías Renovables con Aplicaciones Productivas en Zonas Rurales.

Este proyecto se inserta como uno de los proyectos principales dentro del Programa de Cambio Climático Global (CCG) de la USAID en México y como parte de uno de sus objetivos estratégicos: "Reducción del consumo de combustibles fósiles en áreas y actividades seleccionadas para reducir las emisiones de CO₂".

El proyecto inició en 1992 y está financiado por la oficina de la USAID en México y el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) con la coordinación e implementación en México a cargo de los Laboratorios Nacionales Sandia y de otros laboratorios y firmas de ingeniería subcontratados por este laboratorio.

Con este proyecto se ha fortalecido la infraestructura eléctrica basada en fuentes de energía renovables (solar, eólica, biomasa y microhidráulica) que disminuyan la necesidad de extender la capacidad instalada de generación de energía eléctrica en base al consumo de combustibles fósiles como carbón, combustóleo y gas natural, así como remplazar o reducir la instalación de generadores o sistemas de bombeo de agua basados en el consumo de diesel.

Adicionalmente, se busca apoyar los programas de CCG incluyendo la preservación de parques, reservas y zonas naturales de amortiguamiento, concentrándose en la aplicación de sistemas de energía renovables que permitan un desarrollo sustentable entre el crecimiento económico de las comunidades beneficiadas y su interrelación con el medio ambiente.

Como resultado de los trabajos iniciados en 1993 se ha logrado establecer diferentes etapas y colaboraciones tanto técnicas como de apoyo financiero con organismos e instituciones nacionales como a continuación se detalla:

- Colaboración con el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) en diversos estados.
- Colaboración con los Gobierno de diversos estados de la República Mexicana.
- Colaboración con Organismos no Gubernamentales (ONGs) en Areas Naturales Protegidas.
- Evaluación de los Recursos Solar, Eólico y Microhidráulico.
- Evaluación y revisión del impacto ecológico de los proyectos.

5) Proyecto de Prevención de la Contaminación (EP3).

Conjuntamente con la Agencia para la Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), y el Centro Mexicano para la Producción más Limpia, la USAID ha estado proporcionando apoyo a industrias maquiladoras ubicadas en la frontera de norte de México y a las industrias de la Galvanoplastia y de Fundición en el centro del país.

El apoyo ha consistido basicamente en la implementación de auditorias energéticas y medioambientales en las ciudades de Reynosa, Matamoros, Distrito Federal, Queretaro y Guanajuato en donde se encuentran ubicadas principalmente estas industrias.

Esta metodología ha resultado muy interesante no sólo para estas industrias sino también para otros sectores interesados en el mismo enfoque.

Actualmente se están terminando los diagnósticos en 8 empresas de la industria de la fundición y se espera que para mediados de octubre se tengan ya definidas nuevas actividades en otros sectores.

6) Capacitación en Energía

Dentro del ETP (Energy Training Program) se han logrado capacitar a un total de 200 técnicos, profesionistas y gerentes mexicanos y alrededor de 20 han sido beneficiados con estancias en los cursos impartidos en los Estados Unidos.

Entre los principales cursos ofrecidos y coordinados por el Instituto Internacinal de Educación y apoyados por las instituciones mexicanas participantes durante el primer año de implementación del programa, destacan los siguientes:

En Eficiencia Energética:

- Principios y Prácticas del Ahorro de Energía en Edificios.
- Ahorro de Energía en Procesos Industriales.
- Normalización en Edificios Residenciales y Diseño Bioclimático.

De los cursos programados para finales de 1997 se encuentran los siguientes:

- Financiamiento de Proyectos bajo Esquemas Manejados por ESCOs.

En Energías Renovables:

- Aplicaciones productivas para bombeo de agua utilizando fuentes de energía renovables, (cuatro cursos).

De los cursos programados para 1998 se encuentran los siguientes:

- Aplicaciones de energías renovables en parques naturales y áreas protegidas.
- Bombeo de agua con tecnología de energías renovables: diseño e instalación.

y en Medio Ambiente:

- Administración del impacto ambiental en la empresa, (3 cursos).

III) Conclusión.

Las políticas de racionalización energética y de eliminación paulatina de subsidios en las tarifas eléctricas ha puesto de manifiesto la necesidad de reforzar los programas de ahorro de energía de las principales industrias y sectores consumidores. Esto también ha evidenciado las grandes carencias y necesidades de la industria mexicana en materia de innovación tecnológica en control ambiental y eficiencia energética, por lo que la cooperación energética a nivel de programas sectoriales que se ha establecido con los Estados Unidos a través de la Agencia para el Desarrollo Internacional (USAID), se presenta como una interesante contribución para el logro de mejores resultados en estos programas de ahorro de energía.

Resulta también relevante señalar la gran importancia que han adquirido los problemas mundiales sobre el desequilibrio ecológico y el impacto del consumo de energía sobre la naturaleza, en donde todos los países del mundo se encuentran comprometidos para aportar soluciones reales, tangibles y efectivas en la disminución de emisión de contaminantes y establecer así bases más firmes de un desarrollo sustentable que no comprometa el bienestar de generaciones futuras.

¿ ADMINISTRACION DE LA DEMANDA EN LA GENERACION DE VAPOR ?

Alberto Plauchú L. / Jorge A. Plauchú A.

Ingenieros Consultores

Irerí # 54, Resid. Sta. María

C.P. 58090, Morelia, Mich.

Tel./Fax (43) 24-05-20

Resumen

La administración de la energía ha cobrado importancia capital en todos los giros de actividad industrial y de servicios, privados y públicos y es de varios años atrás cada vez más familiar la tecnología en el control de demanda en los sistemas de distribución de energía eléctrica, con magníficos resultados en el ahorro, energético y económico.

La relación de consumos para las diferentes formas de energía muestra el predominio de la energía térmica en una variedad de usos finales. Poco o nada oímos del término **Administración o Control de demanda en la Generación de Vapor** aún cuando el 12% de la oferta total de energía tiene como destino esta aplicación.

La administración y control de la demanda de vapor pueden evitar inversiones innecesarias e incremento de problemas de operación y mantenimiento y con seguridad reportarán siempre una utilización más racional y económica de la capacidad real de generación de vapor, se comenta un caso real.

Antecedentes

Los programas que nacional, institucional, corporativa o empresarialmente se han desarrollado y aplicado para una mejor cultura energética mediante el uso racional y eficiente de la energía han logrado un gran progreso.

En los sistemas de generación, distribución y usos finales del vapor específicamente hay progresos importantes en el incremento de generación útil o real con la misma capacidad instalada y en la reducción de pérdidas, ambos conceptos operando para mejor productividad, mejor rendimiento de los sistemas, menor costo del vapor, mayor vida útil del equipo y menor impacto ambiental, consumo de agua más bajo y desde luego reducción en consumo de combustible y energía eléctrica al reducirse la demanda conservando la misma producción y/o calidad de los servicios prestados a través del vapor.

Las medidas de acción en reducción de pérdidas se han orientado fundamentalmente a la generación, los sistemas de distribución y de recuperación de condensados, corrección de las prácticas operativas en los puntos de consumo y el mejoramiento de tecnologías de proceso.

En general al referirnos a demanda de vapor ésta se relaciona con la cantidad de vapor requerido para la operación normal de las áreas consumidoras a través de registros en sus diferentes usos finales.

Lo anterior se aplica también cuando el vapor es medio operante en sistemas de cogeneración para el mejor aprovechamiento del salto entálpico a través de primo motores.

En el área de generación en particular la mejor eficiencia se logra a través de pruebas de combustión integrales y ajustes de sistemas auxiliares y de control, mejores prácticas operativas y pruebas, medición y monitoreo frecuente, modernización ó sustitución de los equipos auxiliares, la instrumentación y control y la incorporación de componentes de recuperación de calor.

No obstante las tendencias positivas de mejor uso del vapor son numerosas las plantas, principalmente aquéllas con más de una unidad de generación, en que la falta de administración de la demanda conduce a decisiones de incremento de capacidad instalada cuando los problemas reales son de demanda, de control y de comunicación entre las áreas de generación y de consumo o en otros casos de inadecuada configuración del sistema de distribución.

Objetivo

El autoanálisis e identificación en su propia planta de algunos conceptos vertidos aquí y su posible aplicación con beneficios económicos y energéticos son el objetivo e interés del autor como aportación a una mejor cultura energética.(4)

La operación con la mejor eficiencia global de planta, en el tiempo, y el mejor uso de la capacidad de generación y características particulares de cada caldera en plantas o instalaciones con unidades múltiples y de capacidades distintas son también objetivos de esta presentación.

Esta presentación intenta enfatizar el peso que la buena administración de las capacidades y demanda tiene en la distribución y uso del vapor generado y orientar su análisis hacia soluciones más racionales y económicas.

Aspectos Técnicos

Las condiciones transitorias de operación que se presentan en los sistemas de distribución son diferentes y numerosas generando variaciones muy altas en demanda producto de cambio de etapas de proceso o de inicio y terminación de actividades que requieren uso del vapor y cuya secuencia o posibilidad de coincidencias admiten análisis y modificación, con beneficios para la economía, eficiencia y menor deterioro de las instalaciones.

Poca ó nula consideración reciben la buena administración del vapor en la operación de la planta, ésta incluye:

- ☐ Administración económica de las unidades y capacidad real de generación instalada.
- ☐ Programación o secuencia adecuada de operaciones de consumos de alta intensidad o demandas transitorias.
- ☐ Anticipación de información de secuencia de actividades con programa fijo.
- ☐ Desplazamiento o reordenamiento de consumos de procesos o actividades independientes.

Señalamos a continuación situaciones frecuentes en diferentes giros de actividad que generan problemas de suministro ó insuficiencias en los procesos ó desequilibrios súbitos entre los procesos de intercambio de calor y balance de masas en las calderas y, en consecuencia, la incapacidad para satisfacer momentáneamente la demanda ó para mantener los parámetros de operación dentro de límites del rango de control y de seguridad, además de causar salidas no programadas y arranques frecuentes, algunas veces en frío.

Algunos Ejemplos

Un caso real y frecuente en la Industria Azucarera, normalmente con plantas de varias unidades generadoras de vapor en operación.

La entrada y salida de los trenes de evaporación múltiple, particularmente la primera, requieren al inicio de la carga un flujo muy elevado que disminuye sustancialmente después de un período corto hasta la terminación del proceso.

La coincidencia o proximidad en tiempo del inicio de cargas en diferentes evaporadores genera un perfil momentáneo de demanda totalmente distinto al de la operación y respuesta de la generación y que desde luego no toma en cuenta su operador provocando acciones e incremento de régimen precipitados y desviaciones importantes en las condiciones de vapor requeridas por el proceso con impacto desfavorable en la eficiencia pesada de la planta. (Tabla 1) (1)

TABLA 1.- EFICIENCIA DE CALDERA (%) vs. % DE CARGA MAXIMA^a

% DE CARGA MAXIMA	EFICIENCIA DE CALDERA (%)	
	CONDICION DINAMICA/ CARGA ESTABLE	CONDICION DINAMICA ^b
5	60	48
10	79	63
15	86	69
20	90	72
25	92	74
30	94	75
35	95	76
40	96	77
50	97	78
60	98	79
70	98	79
80	99	80
90	100	80

a.- Datos de Weil-McLain Engineering, estudios de National Bureau of Standards

b.- Basado en eficiencia de 80 % en carga estable

La reducción considerable y en corto tiempo de esas necesidades, y por el tipo de energético y de sistema de combustión en los Ingenios Azucareros, se crea una sobrepresión difícil de manejar por la inercia térmica en los hornos de las calderas y este problema generalmente es resuelto con acciones energéticamente inconvenientes obligando cuando se tiene la disponibilidad al consumo de combustibles más caros para mejorar la respuesta del régimen de combustión, solución poco económica e inconveniente.(2)

Condiciones similares de variaciones de demanda súbitas se presentan en:

- ☐ La Industria Cervecera al iniciar procesos de cocimiento.
- ☐ La Industria Química en las operaciones de procesamiento de productos "por lote"
- ☐ En la Industria Siderúrgica en las operaciones de carga de alto horno ó la entrada y colada de hornos de fundición eléctricos si se tiene auto-generación eléctrica.
- ☐ En la Hotelería a determinadas horas del día.
- ☐ En todas las plantas con suspensión periódica de producción ó servicios y arranques en frío
- ☐ En infinidad de otras aplicaciones y consumo de vapor.

Ya que en prácticamente todos los casos las calderas y su producción van en "seguimiento de la demanda" siendo ésta la única variable independiente, las opciones para satisfacerla son:

- ☐ Contar con capacidad amplia de reserva.
- ☐ Adquirir e instalar capacidad adicional y cubrir períodos pico.
- ☐ Reordenar las operaciones de consumo y hacerlas compatibles con la capacidad disponible y su capacidad de respuesta.
- ☐ Distribuir la carga entre el menor número de las unidades más eficientes y en sus zonas más convenientes de rendimiento.
- ☐ Aplicación de medidas para incremento de capacidad y reducción de pérdidas.

Control de Demanda

Las tres últimas operaciones se identifican con el concepto de ahorro energético y conciliación de recursos con necesidades energéticas.

La administración de la demanda lleva implícitos algunos compromisos, entre otros la comunicación entre áreas, consumidores y productor, como parte del criterio institucional del uso de la energía y de cultura corporativa.(8) En el trabajo para lograrla todos ganan (9).

Debemos tener presente que el uso efectivo de la energía significa más que reducción de consumo y que involucra satisfacción de las necesidades energéticas con:

- ☐ La menor capacidad instalada.
- ☐ La menor inversión.
- ☐ Control efectivo y de alta respuesta.
- ☐ Operación con parámetros en sus valores mínimos.
- ☐ Máxima utilización de capacidades de caldera y equipos auxiliares.
- ☐ Programación y secuencia óptimas de operaciones.
- ☐ Mínimo índice energético específico (calorías de combustible + calorías eléctricas).(10)

Los recursos para lograr la buena administración de la demanda pueden ser muy diversos y diferentes de los tradicionales de uso racional y eficiente de la energía.

Algunos Problemas

Las situaciones referidas, si no son convenientemente analizadas nos llevan a conclusiones erróneas e interpretaciones muchas veces de falta de capacidad de generación cuando los problemas presentes y reales son:

- ☐ Comunicación inadecuada, o nula, entre áreas de fábrica y planta de vapor.
- ☐ Ausencia de señalización.
- ☐ Falta de anticipación ó información de proceso a generación.(5)
- ☐ Tipo y capacidad de respuesta del equipo de control.
- ☐ Programación y secuencia inadecuadas de acciones de y entre procesos.
- ☐ Distribución inadecuada de carga entre unidades de generación de vapor.(3)
- ☐ Las características de almacenamiento y distribución térmicas del equipo.
- ☐ Configuración y dimensionamiento del sistema de distribución de vapor.
- ☐ Deterioro ó "derrateo" de capacidad y condición de generación.

No son pocos los casos en que estas deficiencias en la administración de la demanda han llevado a empresas de éstos y otros ramos a concluir en decisiones de incremento de capacidad instalada con las múltiples consecuencias, inconvenientes todas, de:

- ☐ Adquisiciones de emergencia, de calderas innecesarias.
- ☐ Inversiones inconvenientes con detrimento a otras aplicaciones más productivas.
- ☐ Aumento en los problemas de mantenimiento.
- ☐ Operación a régimen menor en las unidades con el consecuente menor rendimiento.(4)
- ☐ Incremento de personal de operación.
- ☐ Solución insatisfactoria al problema que originó la adquisición.

Como se ha visto en los ejemplos anteriores hay un potencial poco explotado de mejoramiento en la administración de las plantas de vapor y un concepto "Control de Demanda de Vapor" que vale la pena estudiar pero del que poco nos ocupamos y que, en forma análoga al control de demanda eléctrica, pesa mucho en los costos operativos.

Además, en el caso de energía térmica tiene también influencia y efectos en las condiciones y calidad del vapor y en la magnitud de los bloques de energía que se manejan en instalaciones industriales y de servicios.(6)

Algunas Soluciones

Ante una situación de períodos de demanda de vapor cercana o superior a la capacidad disponible y continua de generación en planta se tienen, entre otras, las siguientes opciones:

- ☐ Información oportuna a producción.
- ☐ Operación a presión variable.
- ☐ Manual de operaciones de energía.
- ☐ Elevación de temperatura de agua de alimentación.
- ☐ Equipo de combustión de alto rendimiento y HTD.
- ☐ Selección de unidades y rangos preferentes de operación.
- ☐ Desplazamiento de operaciones que requieren vapor para servicios propios. (GRAFICAS 1-2-3)
- ☐ Verificación de características de combustible.
- ☐ Mantener al mínimo las salidas no programadas.
- ☐ Distribución de cargas diferente en función de respuesta, capacidad y eficiencia de unidades.
- ☐ Control en tiempo y flujo de vapor a consumidores.
 - ☒ Automático coordinado (calderas - consumidores).
 - ☒ Semiautomático calderas ó consumidores.
 - ☒ Aperturas con control de tiempo.
 - ☒ Bloqueos con señalización.
 - ☒ Señalización con luces piloto.
 - ☒ Comunicación auditiva.
- ☐ Suspensión temporal ó desplazamiento de servicios no esenciales en condiciones críticas.
- ☐ Almacenamiento de energía y utilización en períodos típicos.
- ☐ Mantener auxiliares disponibles en todo su rango de utilización.
- ☐ Carga estable en unidades base y picos con caldera pequeña, rápida y eficiente en todo su rango.
- ☐ Programación para evitar grandes valles de carga baja en el perfil de demanda.
- ☐ Ajustes de control con respuestas distintas para cada unidad.

Un Caso Real

Consideremos una Planta de Vapor en una empresa química mediana que produce básicos para alimentación y que entrega su generación a un sistema de distribución de vapor a 9.5 kg/cm².

Entre las principales unidades de proceso se encuentran líneas de destilación, de desdoblamiento, de obtención de glicerina, y de hidrogenación; algunas operaciones en éstas requieren vapor ya sea como medio de transmisión de calor, de arrastre de materia, de impulsión de gases, de evaporación y como medio de atomización, para combustible a quemadores principalmente.

Generación de vapor

El equipo generador de vapor disponible está integrado por tres calderas con sus equipos auxiliares:

Calderas 1 y 2, construcción en tubos de humo, cuatro pasos, vaporsaturado, con sistemas de control de combustión tipo modulante paralelo-posicionador y de dos posiciones (on - off) para agua de alimentación, con capacidad nominal de 200 y 250 caballos caldera, quemando combustóleo pesado y atomización a vapor.

La Caldera 3, construcción en tubos de agua diseño "D" con domos de vapor y de lodos, dos pasos en gases, vapor saturado, sistema de control de combustión tipo modulante paralelo-posicionador, control de agua de alimentación modulante de un elemento, capacidad nominal de 400 C.C. quemando combustóleo pesado con atomización a vapor.

El control de presión de vapor es individual en cada caldera, aún cuando descargan al mismo sistema operando en batería la presión de cada caldera es distinta, las diferencias de pérdidas en las líneas a los consumidores principales y en la calibración individual de cada control de caldera determinan su contribución a la demanda total dificultando una buena administración o utilización económica de la capacidad instalada.(5)

Usuarios ó Consumidores Principales

Existen diversas líneas de producto y, según los criterios adoptados operativamente, dos maneras de entender algún equipo ó proceso como "principal":

- ☒ Por el consumo de vapor o energía térmica
- ☒ Por lo crítico del equipo ó proceso

En la primera clasificación, el principal consumidor es el sistema general de calentamiento y "envenados", que comprende el calentamiento para el área de glicerina y reactores; en segundo lugar está el servicio global de eyectores, ocupando estos dos consumidores más del 80% del vapor generado útil; el resto son diferentes servicios y usos menores. Tomando en cuenta el total de vapor generado, las purgas tendrían un lugar relevante. (GRAFICA 1)

Problemática de Capacidad

La empresa encargó a Los Consultores el estudio y determinación de la capacidad real de generación de vapor instalada, el análisis de las necesidades energéticas de la Planta y el de las mejores opciones para satisfacer la demanda actual y futura a las nuevas condiciones de operación requeridas.

Lo anterior, antes de decidir la adquisición de una caldera adicional ante una situación de aparente falta de capacidad actual para enfrentar un incremento de 20% en la demanda de vapor, variaciones de presión inconvenientes para el proceso de destilación en el sistema, arrastre de humedad en el vapor, condiciones de inestabilidad, particularmente en la unidad de mayor capacidad, baja eficiencia e imposibilidad de utilizar las capacidades individuales, de acuerdo con estimaciones internas de flujo de masa y energía.

Productos del Estudio

Como producto de los estudios y pruebas realizadas, se generó un reporte incluyendo:

- ☐ Análisis de condición de calderas existentes.
- ☐ Inspección y evaluación de los sistemas auxiliares y de control actuales.
- ☐ Mediciones y pruebas de comportamiento, capacidad y eficiencia efectuadas.
- ☐ Análisis comparativo de datos de diseño y condiciones de trabajo actuales, así como de los factores limitantes para lograr la capacidad máxima económicamente obtenible.
- ☐ Determinación de capacidad real y máxima obtenible de generación.
- ☐ Demanda real medida - total y parciales.
- ☐ Análisis del período típico de operación e impacto de las principales operaciones en los diferentes procesos y actividades consumidores de vapor.
- ☐ Análisis económico de diferentes formas de administración y operación del equipo actual.
- ☐ Especificaciones básicas para reparación y modificaciones recomendadas del Equipo de Generación de vapor instalado.

Desarrollo del Programa de Pruebas

El programa de pruebas se planeó y desarrolló bajo las siguientes condiciones:

- ☐ Disponibilidad de cada unidad compatible con producción.
- ☐ Empleo de instrumentación de prueba confiable y precisa.
- ☐ Precalibración de instrumentación permanente.(7)
- ☐ Mantenimiento mayor previo al estudio.
- ☐ Acuerdo de licenciamiento interno para programación de operaciones de proceso y rutinarias.
- ☐ Control manual ó automático durante pruebas condicionado a los objetivos del programa.
- ☐ Variaciones de carga artificiales en cada caldera.
- ☐ Mediciones de gasto sobre el sistema de agua de alimentación.
- ☐ monitoreo total de unidades durante pruebas.
- ☐ Diseño de pruebas e instrucciones del Consultor en coordinación con las áreas de proceso, producción y operación.

Pruebas de Capacidad Máxima

En la realización de las pruebas de capacidad máxima en cada unidad se consideró:

- ☐ Variación del régimen de combustión.
- ☐ Mantener la presión en el sistema, analizando:
 - ☒ Capacidad de alimentación de agua.
 - ☒ Capacidad de intercambio de calor en la caldera.
 - ☒ Suministro de aire para la combustión.
 - ☒ Suministro de combustible.
 - ☒ Suministro adecuado para calentamiento y atomización de combustóleo.
 - ☒ Otros.
- ☐ Tomar información de cada concepto para determinar si la capacidad máxima está condicionada por uno ó varios factores limitantes.
- ☐ Emitir las recomendaciones pertinentes.

¿ Mejoras en Capacidad vs. Reducción de Demanda ?

En el análisis de la capacidad en función de la habilidad de las calderas para satisfacer la demanda es necesario considerar las eficiencias de las calderas y sus posibilidades de mejora así como el incremento en recuperación de condensados, ésto desde el punto de vista de incremento en la capacidad de evaporación con el mismo equipo. (TABLA 2. GRAFICAS 2-3-4)

TABLA 2.- CAPACIDADES DE GENERACION NOMINALES, ESTIMADAS Y REALES

CALDERAS	unidades	1	2	3
Capacidad nominal	C.C.	200	250	400
Capacidad máxima obtenible	kg/h	3,003	3,743	5,980
Capacidad medida en pruebas	kg/h	2,575	3,427	5,747
Capacidad máxima disponible	%	85.75	91.5	96.1
Capacidad total de planta	kg/h	ESTIMADA MEDIDA Y PROBADA		9,620 11,749

Resultados

Observando estrictamente las condiciones anteriores fue posible obtener resultados que confirman la importancia que la administración de demanda de vapor tiene y que ésta puede inclinar favorablemente decisiones de grandes inversiones; en este caso y a diferencia de las consideraciones de las que originalmente se partió, el estudio demostró que:

- ☐ La capacidad instalada de generación de vapor es suficiente para satisfacer la demanda de planta actual y futura; no se requiere adquirir otra unidad, inversión evitada = \$ 2'500,000.00 (GRAFICA 5)
- ☐ Las dificultades que se presentan en el sistema por variaciones en las condiciones de vapor en el sistema de 9.5 kg/cm² son de respuesta y coordinación inadecuadas de los sistemas de control y de administración en el uso del vapor y no de capacidad.
- ☐ Las expectativas de satisfacer la demanda con el mayor rendimiento total y mejor confiabilidad de la Planta de Vapor son positivas dado el alto potencial de incremento en la generación y de reducción de las pérdidas de distribución y uso. (Mejorar residencia y patrón de flujo de gases, comportamiento de sistema de control, disipación de calor, sistemas de condensado y agua de alimentación, elevar nivel del sistema de combustión)
- ☐ Se recomiendan modalidades diferentes de operación y administración de la demanda en función del mejor rendimiento global de generación de vapor de planta.(8)
- ☐ Se proponen modificaciones a los sistemas de control de combustión y agua de alimentación que solucionarán los problemas de confiabilidad, inestabilidad y variaciones de presión y humedad en el vapor.
- ☐ La programación diferente de operaciones de procesos "por carga", algunas de "calentamientos" y otras de limpieza ó "sopleteos" pueden mitigar los efectos de demandas ó rechazos súbitos de carga.

ADMINISTRACION DE LA DEMANDA EN LA GENERACION DE VAPOR

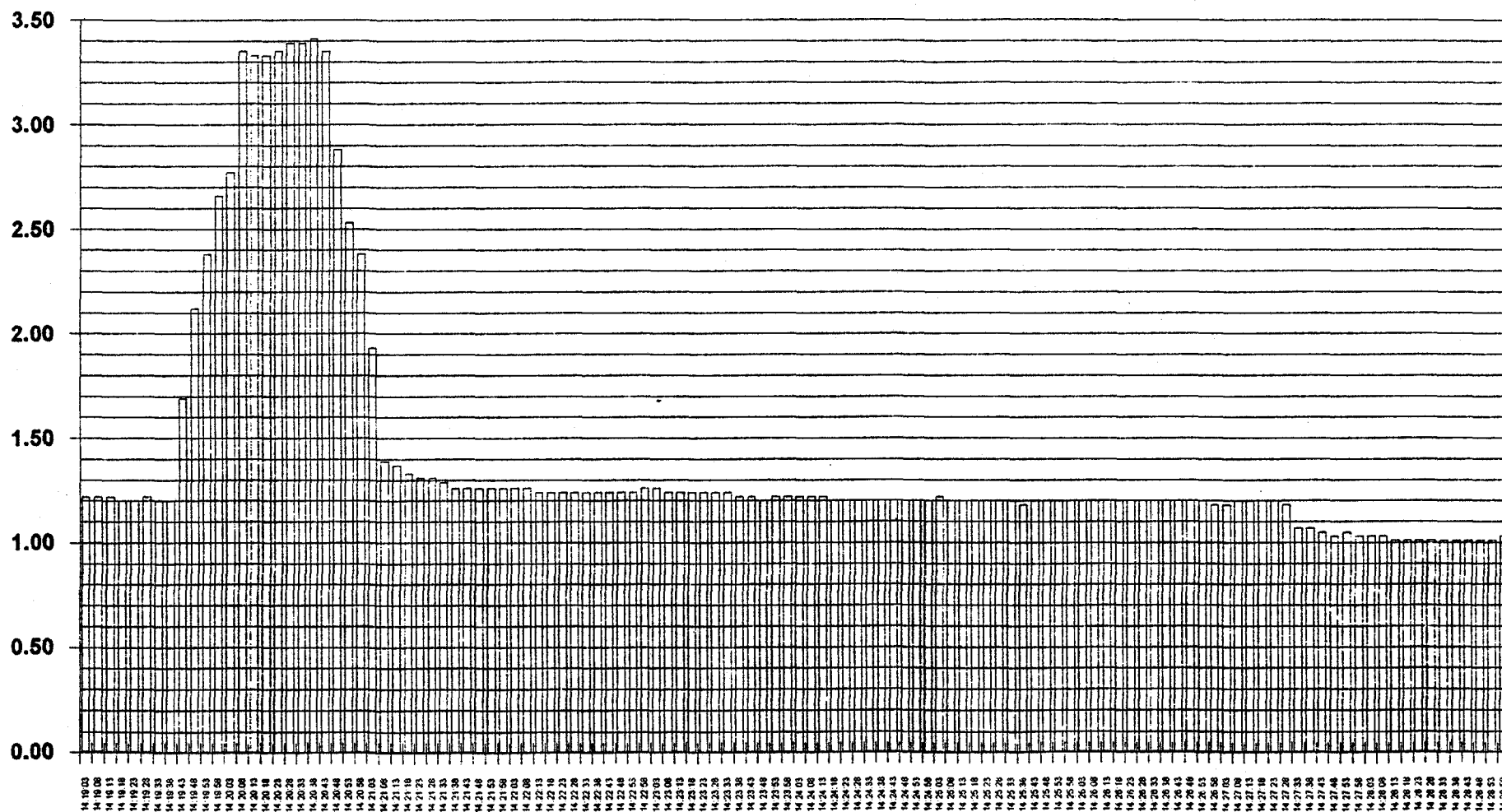
¿ POR QUE NO ?

Referencias:

- (1) BORTONE V.: "LOAD FACTOR OPTIMIZATION FOR FIRETUBE BOILERS," WEEC, 1992.
- (2) GONZALEZ, C.A., J. GUERRERO, D. TATARKA: "PROYECTO DE AHORRO DE ENERGIA TERMICA EN LA INDUSTRIA AZUCARERA," VII SEMINARIO ATPAE, 1987.
- (3) COLADO, J.: "REPARTO ECONOMICO EN UN BANCO DE CALDERAS," IX SEMINARIO ATPAE, 1989.
- (4) PLAUCHU, A.: "EFICIENCIA EN CALDERAS," MEXICO, 1995.
- (5) "STEAM - ITS GENERATION AND USE," THE B&W Co, 1985.
- (6) "PERFILES ENERGETICOS INDUSTRIA QUIMICA Y ALIMENTICIA," CONAE, 1995.
- (7) STEBBINGS, W.L.: "EFFICIENT ENERGY METERING TECHNIQUES," 1995.
- (8) SMITH, J.: "DEVELOPING CORPORATE ENERGY STRATEGY," WEEC, 1991.
- (9) HELLER, B.: "DEMAND SIDE MANAGEMENT - WHO WINS?," WEEC, 1991.
- (10) LOWTHIAN, W.E.: "PROCESS ENERGY REDUCTION," WEEC, 1992.

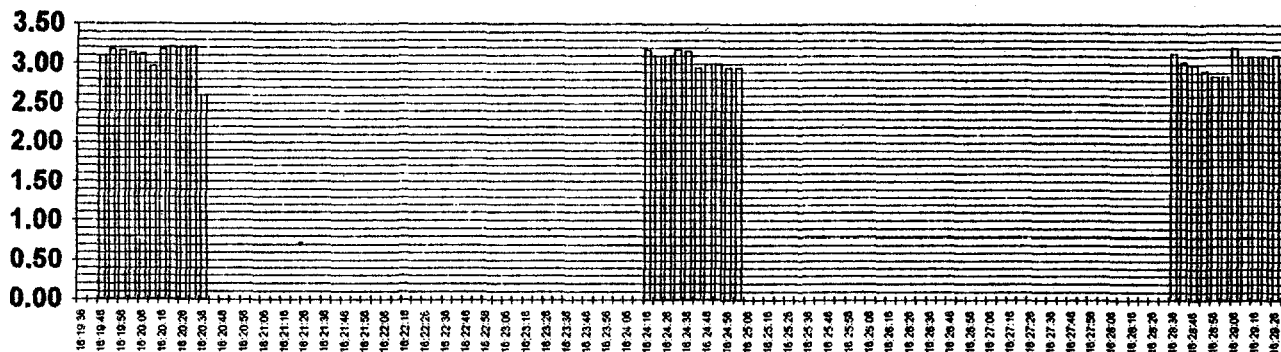
CALDERA 3 FLUJO DE VAPOR
LADO AGUA DE ALIMENTACION (lps)
vs. TIEMPO (hh:mm:ss) (EFECTO DE PURGA)

GRAFICA 1



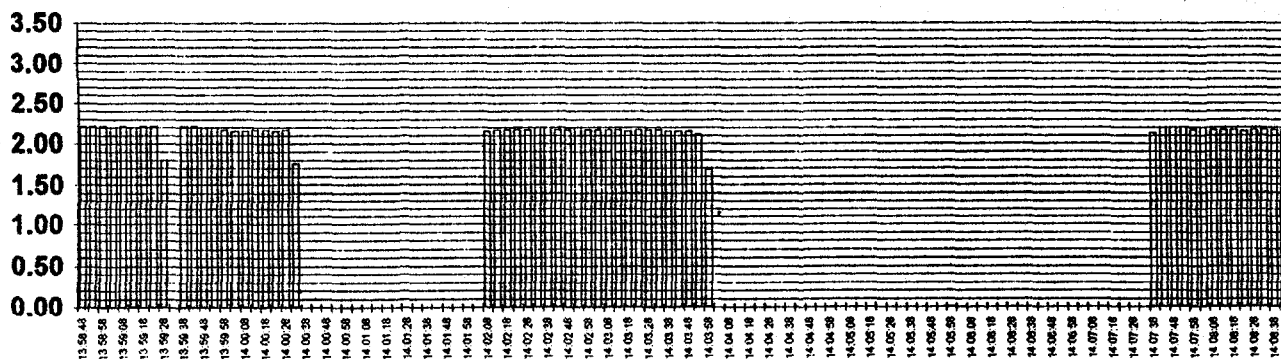
CALDERA 1 FLUJO DE VAPOR
LADO AGUA DE ALIMENTACION (lps)
vs. TIEMPO (hh:mm:ss)

GRAFICA 2



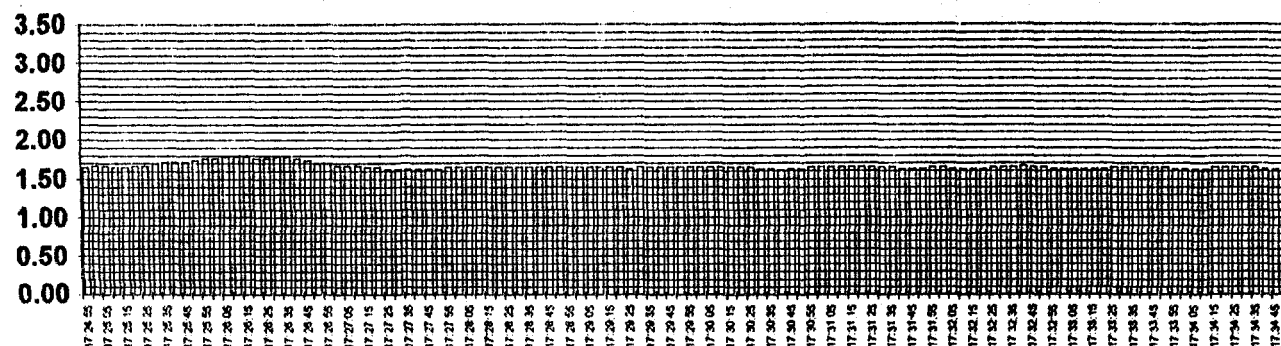
CALDERA 2 FLUJO DE VAPOR
LADO AGUA DE ALIMENTACION (lps) vs. TIEMPO (hh:mm:ss)
(MUESTRA EFECTO DE PURGA)

GRAFICA 3

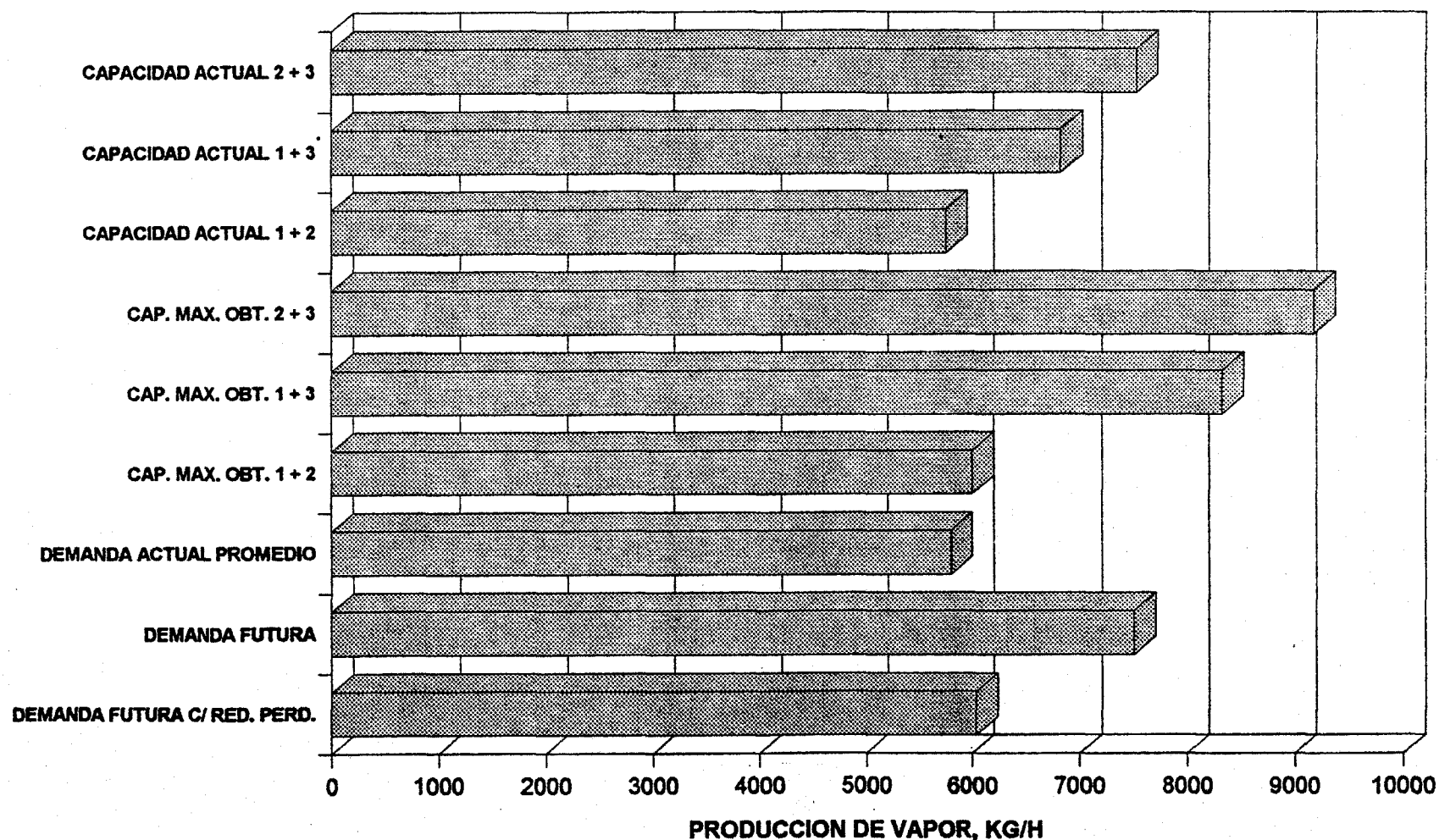


CALDERA 3 FLUJO DE VAPOR
LADO AGUA DE ALIMENTACION (lps)
vs. TIEMPO (hh:mm:ss)

GRAFICA 4



GRAFICA 5



COMPARACION CAPACIDADES/DEMANDAS ESTUDIO DE DEMANDA Y CAPACIDAD DE GENERACION DE VAPOR

VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL USO DE UN SISTEMA VARIADOR DE VELOCIDAD - MOTOR.

Ing. Jorge Núñez Pérez. Baldor de México.
Pablo Ucello 27. Col. Nochebuena. C.P. 03710. México D.F.

Resumen.

En la actualidad, es cada vez mas costoso producir la energía eléctrica que se utiliza en todos los aspectos de nuestra sociedad. El enfoque de ahorro de energía usando un variador de velocidad para motores, será el sector industrial, donde los motores eléctricos constituyen una parte importante del consumo de electricidad. La energía eléctrica sufre pérdidas desde su etapa de generación, en su etapa de transmisión por medio de redes de distribución y en su transformación a energía mecánica. De estas pérdidas, las mas cuantiosas son la primera y la última etapa, por lo que los usuarios finales tienen un gran potencial de ahorro si optimizan su consumo de energía eléctrica.

Por supuesto que el uso de los variadores de velocidad tanto de C.A. (también conocidos como inversores o variadores de frecuencia), como de C.D o rectificadores, tiene algunas desventajas, tal es el caso de la generación de armónicas y ruido en las líneas de transmisión tanto interiores a una planta o como a nivel local en una población. En el presente artículo se estudiará que ahorros se pueden obtener usando estos equipos y como contrarrestar las desventajas de los mismos.

Efectos no deseados por el uso de inversores y rectificadores:

Distorsión armónica y propagación de ondas distorsionadas.

En un sistema ideal de potencia compuesto por elementos activos y pasivos lineales, el voltaje y la corriente de carga resultante suministrados a los consumidores son ondas senoidales perfectas de frecuencia y magnitud constantes. Sin embargo, en la práctica las condiciones no son ideales por lo que las formas de onda se presentan distorsionadas debido al creciente número de dispositivos no lineales. Esta distorsión respecto a la onda senoidal pura se expresa en términos de **distorsión armónica de las ondas de voltaje y corriente.**

La distorsión armónica en los sistemas de potencia no es un fenómeno nuevo debido a que anteriormente la distorsión fue causada por la saturación magnética de los transformadores o por ciertas cargas industriales, tal es el caso de hornos de inducción y soldadura de arco. La mayor preocupación fueron los efectos en las máquinas de inducción y síncronas, la interferencia telefónica y daños en los capacitores de potencia.

Actualmente el estudio de los armónicos se ha retomado debido a que con el avance tecnológico se desarrollaron convertidores con dispositivos semiconductores de potencia controlados, como los transistores y los tiristores, lo cual incrementó la producción de armónicos debido a estas cargas no lineales conectadas a los sistemas modernos de potencia. Es por ello que el grado de contaminación armónica en los sistemas de distribución está incrementándose considerablemente debido al uso extendido de cargas electrónicas distorsionantes.[1] En el pasado, los problemas de armónicos podían ser tolerados debido a que el equipo se sobrediseñaba en sus parámetros nominales y los transformadores en arreglo delta-estrella se aterrizaraban justificadamente.[2]

Las cargas no lineales más importantes son los convertidores de potencia estáticos, aplicados en controles de velocidad, equipo de control de cómputo, trenes eléctricos, rectificadores, lámparas fluorescentes, aparatos domésticos, controladores estáticos de VAR's y otras aplicaciones. Además, para los mismos generadores de armónicos el problema se agrava por la tendencia de instalar bancos de capacitores para corregir el factor de potencia en las plantas industriales o los capacitores de control de voltaje en los sistemas de distribución. La combinación de los capacitores y los convertidores estáticos, como fuente de armónicos, puede provocar resonancia paralela entre la reactancia del capacitor y la reactancia inductiva de la fuente, dando como resultado grandes corrientes oscilatorias y en consecuencia voltajes con un alto contenido armónico. Teniendo

en cuenta que en la misma red de alimentación contaminada por los convertidores estáticos están conectados sistemas de control, que son más susceptibles a la contaminación armónica, hoy en día se debe estudiar y tener en cuenta esta problemática.

Definición de los armónicos.

En las señales eléctricas, un armónico se define como una componente senoidal de una onda periódica que tiene una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental. [3]

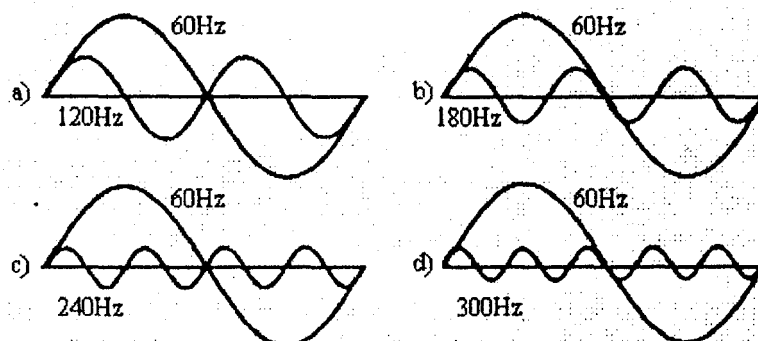


Figura 1. Onda senoidal de frecuencia fundamental (60 Hz) y armónicos: (a) segundo armónico (120 Hz); (b) tercer armónico (180 Hz); (c) cuarto armónico (240 Hz); (d) quinto armónico (300 Hz).

De ahí que en un sistema de potencia de 60 Hz, una onda armónica es una senoidal que tiene una frecuencia expresada como

$$f_{\text{armónica}} = n \times 60 \text{ Hz}$$

donde n : número entero.

Composición de una onda distorsionada.

La figura 2. muestra el efecto de superponer una onda armónica sobre una onda de frecuencia fundamental. Cuando la señal fundamental (s_1) es combinada con el tercer armónico (s_2) resulta una señal distorsionada con dos crestas con la misma frecuencia que la señal fundamental.

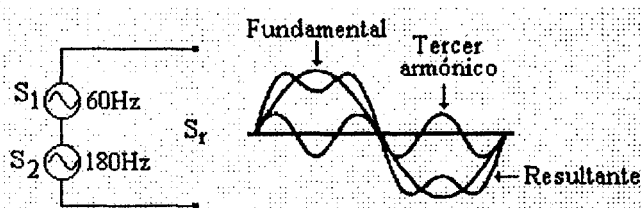


Figura 2. Composición de una onda distorsionada: (a) diagrama del circuito; (b) onda resultante (s_r).

Por el uso de otras frecuencias armónicas y otras amplitudes, podemos generar una onda distorsionada de cualquier forma concebible. Por ejemplo, la onda cuadrada periódica de la figura 3 se crea al superponer un infinito número de armónico de orden impar (con amplitudes decrecientes) sobre el 1% por unidad de la fundamental. El n -ésimo armónico, donde n es un número entero impar, tiene una frecuencia de $60n$ Hz y una amplitud de $1/n$ por unidad de la amplitud fundamental. Se puede pensar que los armónicos de alto orden, debido a sus pequeñas amplitudes, son de importancia despreciable; sin embargo, estos armónicos son necesarios para producir las esquinas y los flancos de la onda cuadrada.

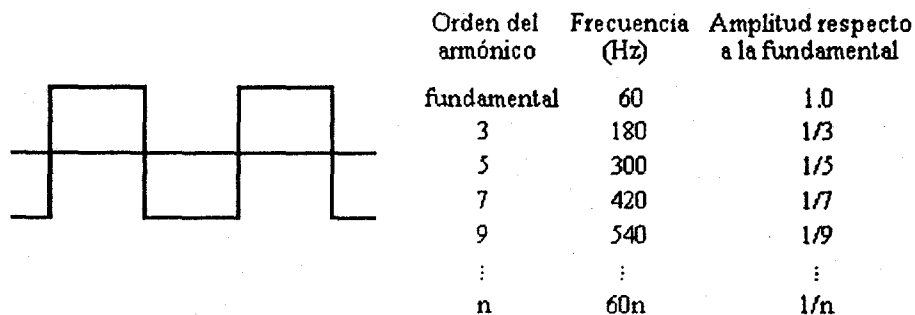


Figura 3. Generación de una onda cuadrada por medio de superposición de armónicos.

Propagación de ondas distorsionadas producidas por convertidores CA/CD.

Como se citó anteriormente, la distorsión armónica no es un problema nuevo en los sistemas de potencia industriales, de hecho se detectó desde la primer década de este siglo. Típicamente, la distorsión era causada por cargas no lineales conectadas a la red eléctrica de distribución. Por ejemplo, un horno de arco es no lineal pues consume corriente no senoidal (con un alto contenido en armónicos) cuando se le aplica un voltaje senoidal. La corriente distorsionada de la carga, causa distorsión en las líneas de voltajes y en todo el sistema aparece esta distorsión.[4]

Antes, cuando las cargas eran pequeñas se usaban los transformadores con el primario en estrella con el neutro aterrizado y el secundario en delta, que mitigaban un tanto el problema; pero ahora, la cuestión se ha complicado porque:

1. El uso de convertidores estáticos de potencia ha proliferado.
2. La resonancia de las redes ha aumentado.
3. El equipo de potencia del sistema y las cargas son más sensibles a los armónicos.

Los convertidores estáticos de potencia son dispositivos generadores de armónicos. El término convertidores estáticos de potencia, se refiere a dispositivos semiconductores que convierten potencia de una frecuencia a potencia de otra frecuencia. Los más usados son el **rectificador**, que convierte potencia de CA a potencia de CD, y el **inversor**, que convierte potencia de CD a potencia de CA.

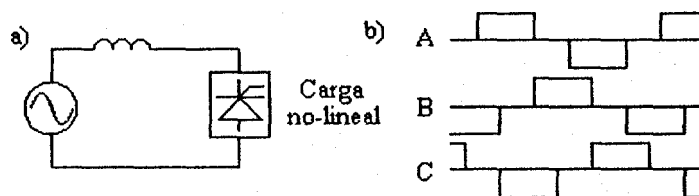


Figura 4. Efectos de convertidores de potencia estáticos: (a) diagrama monofásico del sistema; (b) corriente de CA en las fases A, B y C.

En la mayoría de las aplicaciones los convertidores toman corriente del sistema que consiste de pulsos positivos y negativos separados por intervalos de cero corriente.[5] Se puede comprobar que las formas de onda de la corriente de CA de la figura 4 (bloques rectangulares) están compuestas o contienen los armónicos dominantes: 5^{to} , 7^{mo} , 11^{avo} , 13^{avo} y 17^{avo}

Los armónicos de corriente generados por convertidores estáticos, cargas no lineales, se propagan a través del sistema causando que aparezcan voltajes distorsionados en buses remotos y que corrientes distorsionadas fluyan en circuitos lejanos de la carga no lineal que los produjo. La inductancia de las líneas de alimentación del sistema producirá en el bus A un voltaje distorsionado

debido a que esta inductancia incrementa la impedancia de entrada del sistema. La figura 5 ilustra el efecto "no local" de introducir una fuente de armónicos al sistema.

También, el problema se agrava por la tendencia reciente de instalar capacitores para mejorar el factor de potencia o controlar el voltaje. [6] Dado que el capacitor está en paralelo con la inductancia del sistema como se muestra en la figura 5, se presentará una situación resonante si existe una frecuencia dada por:

$$f_{\text{resonante}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

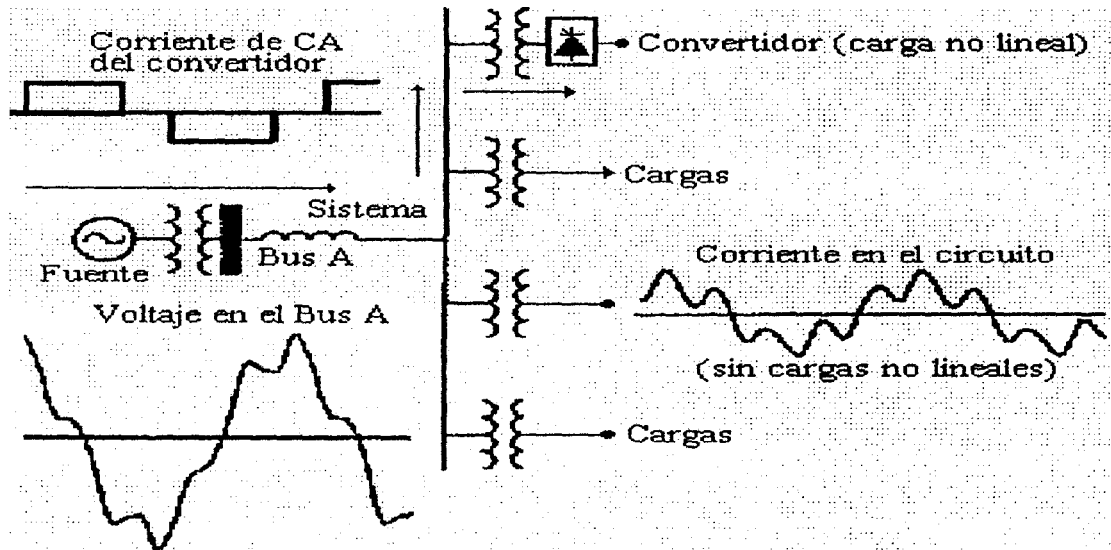


Figura 5. Propagación de voltajes y corrientes armónicas a través del sistema.

Si el convertidor trifásico inyecta una corriente armónica de frecuencia igual o cercana a la frecuencia resonante, puede fluir una gran corriente oscilante que daña al capacitor y produce altos voltajes armónicos.

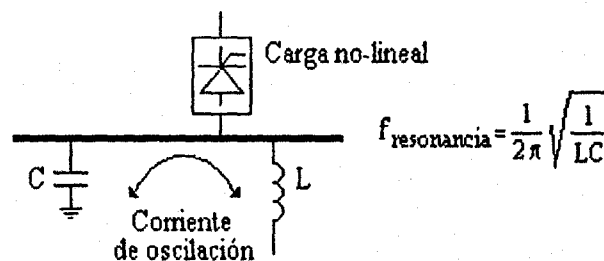


Figura 6. Excitación de un circuito típico en resonancia paralela.

Mediciones hechas a la entrada de un convertidor CA/CD/CA.

En la figura 7 se muestran las señales de voltaje y de corriente en las líneas de alimentación de un inversor de 10 HP. El voltaje tiene una distorsión armónica total de 68.5% y la corriente de 37.3%. El factor de potencia es de 0.54 mientras que el factor de desplazamiento es de 0.60.

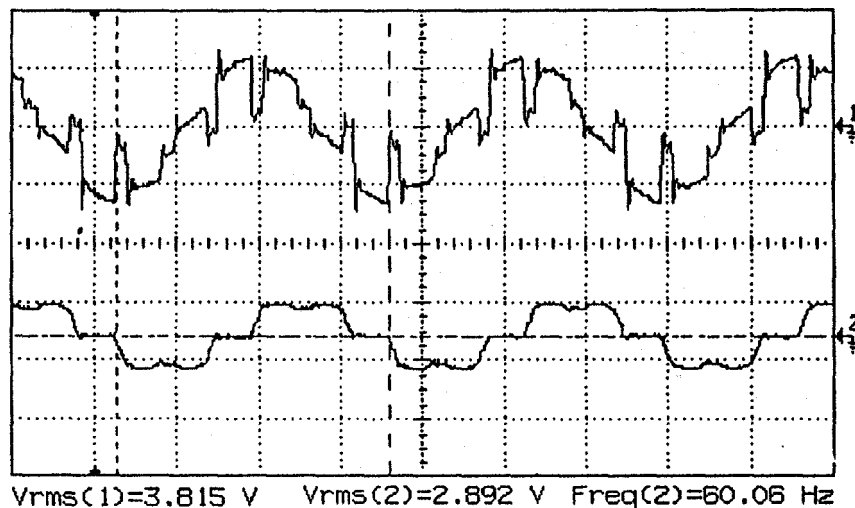


Figura 7. Canal 1: Voltaje de la fase A al neutro. Canal 2: Corriente de la fase A.

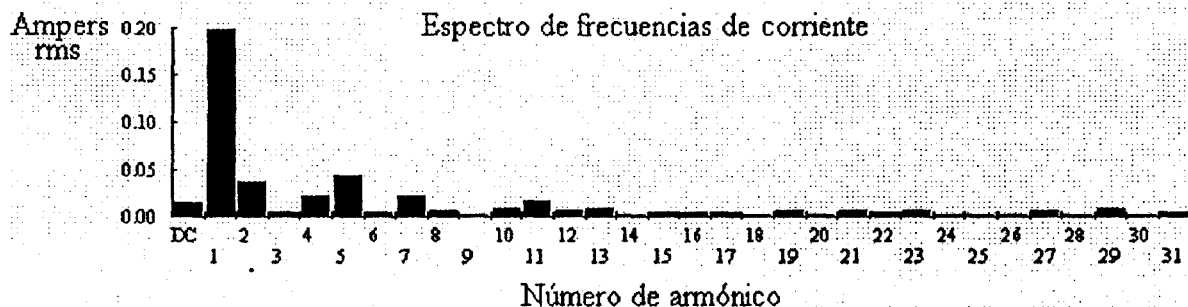


Figura 8. Espectro de frecuencias de la corriente de la fase A.

La figura 8 nos muestra el espectro de frecuencias de la corriente. Se tiene que los armónicos de mayor magnitud son el 2^{do}, el 5^{to} y el 7^{mo}. El 4^{to} y el 11^{avo} son de menor magnitud pero son apreciables. El THD es de 37.3%

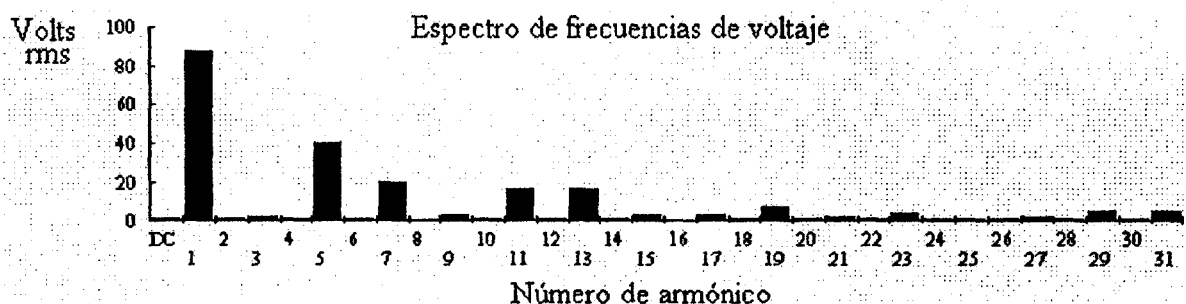


Figura 9. Espectro de frecuencias del voltaje de la fase A.

El espectro de frecuencias de voltaje de la fase A de la figura 9 es el correspondiente a la señal de voltaje mostrada en la figura 7. Debido a los notches causados por la conmutación de los tiristores del puente inversor la señal de voltaje se distorsiona presentando un THD de 68.5%.

Con estas mediciones se muestra el grado de contaminación armónica que genera el uso de los semiconductores de potencia para variar la velocidad de los motores. Se aprecia que el THD es bastante alto y el factor de potencia también se ve afectado, ya que existe un compromiso entre estos dos factores. Ahora, cuando una misma planta tiene una gran cantidad de variadores de velocidad de estado sólido, la contaminación armónica de cada uno de estos dispositivos se suma

con lo que se afecta el funcionamiento de todos los equipos de la planta y su rendimiento y vida útil se ve mermada. En sistemas de comunicación y redes de computadoras se puede sufrir de grandes pérdidas de datos debido a un gran contenido de armónicas en la zona. Si esta contaminación iguala o rebasa la impedancia que ofrece C.F.E. (en el caso de México) a la entrada de nuestra subestación, la contaminación puede pasar a la red de distribución afectando todas las áreas cercanas a nuestra planta.[7]

Para corregir en gran parte esta contaminación armónica generada por el uso de inversores y rectificadores, se pueden colocar filtros pasivos o activos en las líneas de alimentación del sistema. Los filtros activos están constituidos por otro puente inversor que genera las contrarmonicas necesarias para limpiar la contaminación generada por el inversor o rectificador original. Los filtros pasivos son arreglos LC que funcionan como filtros pasabajas que son más baratos que los filtros activos pero también son más inestables. Actualmente se colocan reactores de línea en la alimentación de los equipos para eliminar el efecto de las armónicas, como se aprecia en la figura 10

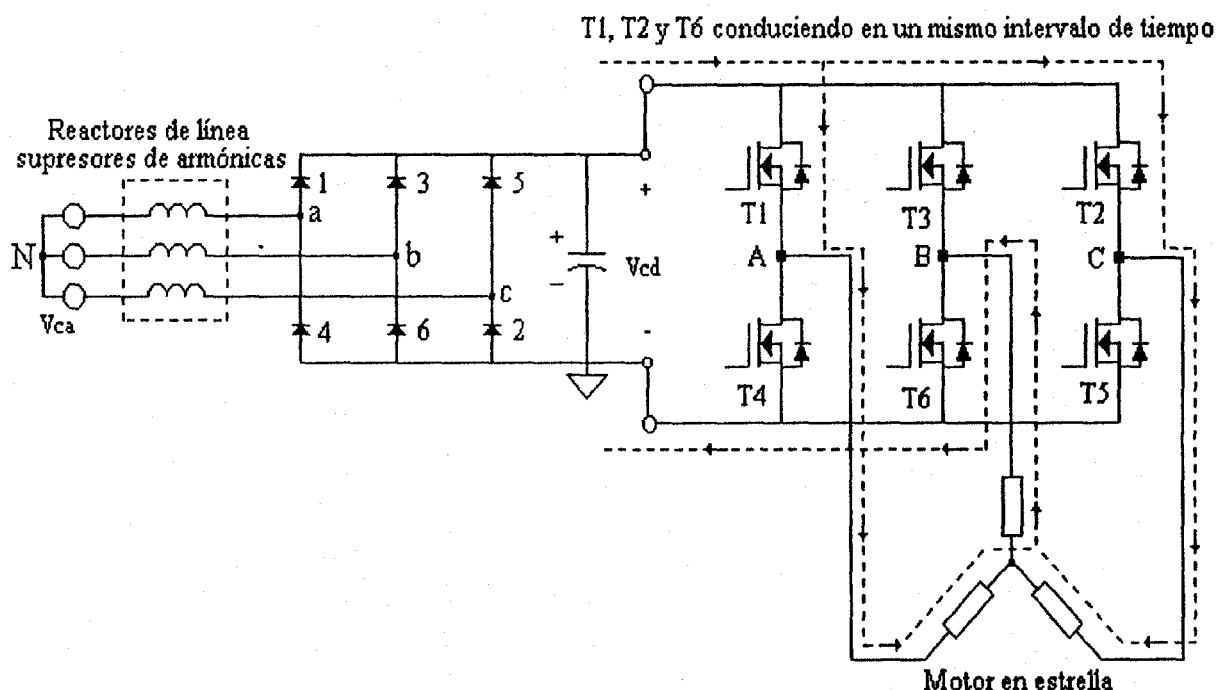


Figura 10. Reactores de línea colocados en el sistema de alimentación del equipo.

Ventajas de los variadores de velocidad: ahorro de energía.

En este momento puede surgirnos la pregunta ¿ Por qué usar variadores de velocidad de estado sólidos para los motores? La respuesta se deriva del hecho de que por cada kilowatt de trabajo útil, se requieren 6.3 kilowatts de energía en el combustible que se utiliza para generar electricidad. Esto significa que para cada kilowatt ahorrado en la última etapa, estaremos ahorrando 6.3 KW de combustible. Esta situación es la que pone nuestra atención en los motores de las bombas, compresores, ventiladores, bandas y cualquier sistema motriz para ahorrar energía.[7]

El variador de velocidad de estado sólido es un dispositivo que a partir de una señal eléctrica de frecuencia constante, genera una señal de frecuencia variable. esto va a producir velocidad variable en un motor eléctrico de inducción. Para un sistema de CD, la variación de velocidad se realiza mediante la regulación del voltaje con que se alimenta al motor.[8]

Estos variadores de velocidad ahorran energía en dos formas: la primera es cuando la decisión de utilizar velocidad variable en forma electrónica se ha tomado, se pueden obtener ahorros utilizando estos sistemas en lugar de otros tales como los acoplamientos hidráulicos o mecánicos. El segundo modo lo encontramos como sustituto a los sistemas de control convencionales, tales como válvulas, retornos, mamparas, y otros.

En ambos casos los ahorros de energía provienen de la mayor eficiencia que se alcanza utilizando el variador de velocidad d estado sólido sobre los otros sistemas. esto significa que es posible utilizar estos dispositivos y ahorrar energía donde el proceso nos demsnde velocidad variable o bien, gasto variable del flujo que se este manejando. sin embargo, los mayores ahorros los vamos a encontrar de la correcta combinación del variador con la aplicación específica donde se va a instalar. Para ejemplificar el ahorro que se puede obtener vamos a enfocarnos a bombas, compresores y ventiladores.[9]

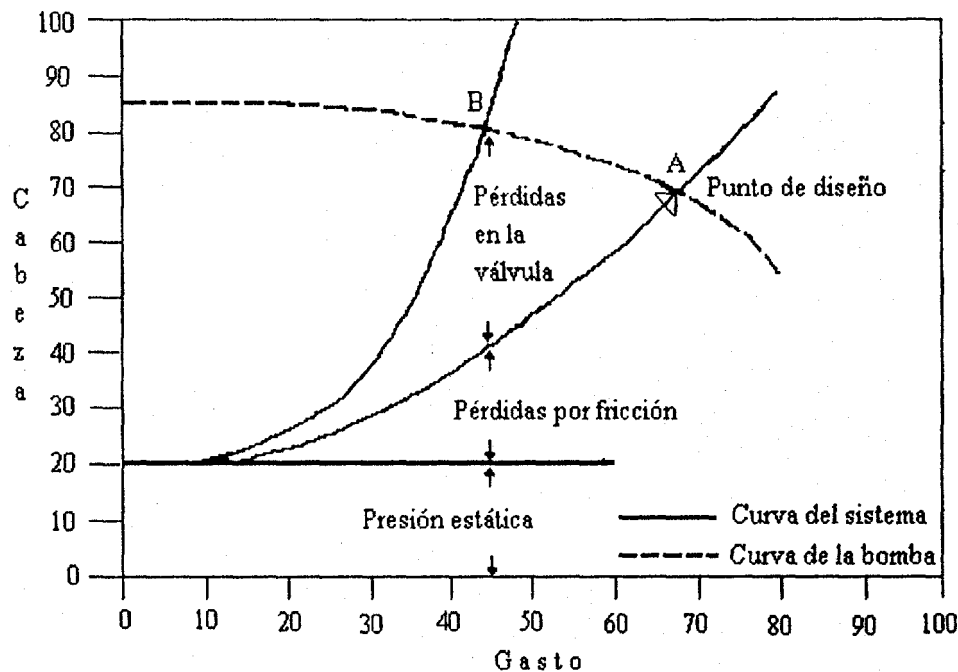


Figura 11. Sistema hidráulico con válvula de control.

Los sistemas convencionales de control, tales como válvulas o mamparas, basan su principio de operación en aumentar o disminuir la resistencia al paso del fluido tal como se ilustra en la figura 11. El punto de operación es donde se cruzan las curvas de la bomba y del sistema. Al pasar del punto de diseño A, al punto de operación B en un sistema hidráulico, lo que hacemos es cerrar la válvula de control hasta obtener el gasto deseado, introduciendo al sistema una cantidad adicional de pérdidas de fricción a través de la válvula, que se reflejarán en una mayor cabeza a vencer por la bomba. Con esto el flujo varía, pero el motor sigue trabajando a plena carga y aún más, ya que se fuerza al cerrar la válvula de paso.

Al variar la velocidad de la máquina, modificamos las características de operación de la misma (en este caso la bomba), de tal manera que la curva del sistema sobre la que se trabaja permanezca intacta y no incurramos en pérdidas adicionales. Esto se observa en la figura 12. En este caso, el nuevo punto de operación será B₂, donde la bomba trabajará contra una menor presión. El diferencial entre el punto B y el B₂ es lo que se ahorra con el variador, cuando con el sistema convencional representa pérdidas a través de la válvula.

Este efecto se obtiene con cualquier sistema de velocidad variable, ya sea mecánico, hidráulico o de estado sólido. La ventaja de utilizar variadores de velocidad de estado sólido en lugar de los

sistemas convencionales radica en el hecho de que mientras en el primero no se tienen pérdidas, en los otros, el motor continúa trabajando a su velocidad nominal, proporcionando toda su potencia a la flecha, la cual es absorbida por el sistema de variación de velocidad y el motor se somete a un gran stress.

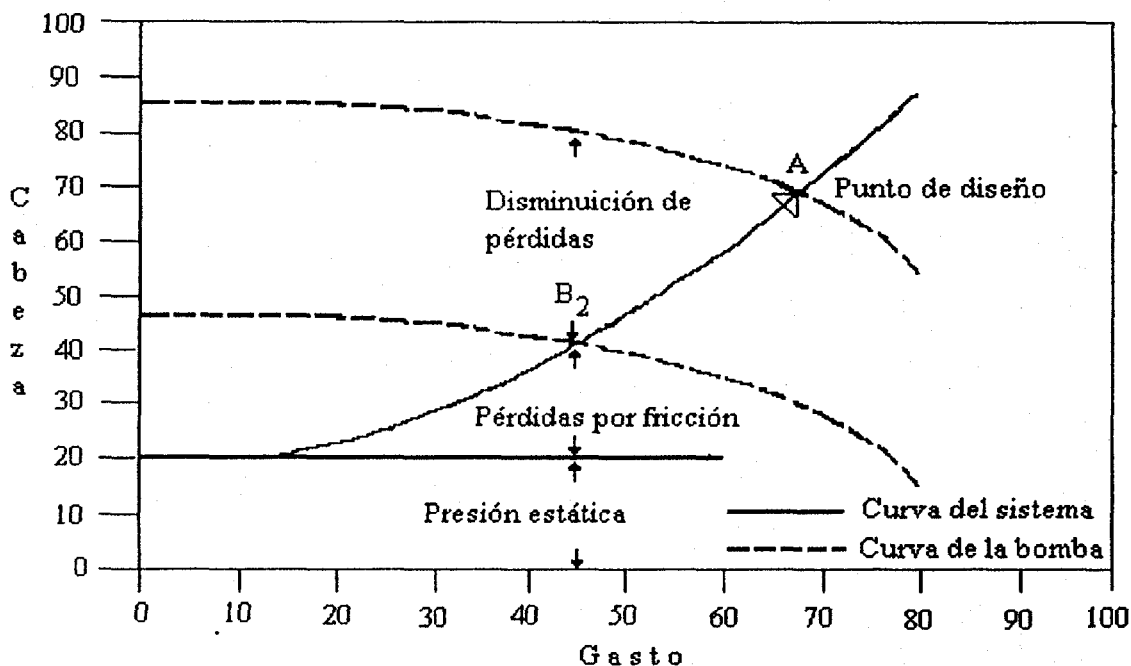


Figura 12. Sistema hidráulico con variador de velocidad.

Otras ventajas que trae consigo el inversor son un arranque suave del motor, con lo que se eliminan los picos de demanda máxima de corriente, de modo que se incrementa la vida útil del motor, baleros y chumaceras; así como el tener disponible todo el rango de velocidades de operación desde cero hasta la velocidad nominal del motor.

Para determinar el ahorro obtenido con el uso de un inversor, se hizo un estudio en el sistema de enfriamiento para mantener la temperatura del proceso de una planta. El sistema consiste de una bomba de 75 HP que impulsa el agua de enfriamiento al reactor a través de una motoválvula de control, la cual actúa a partir de la señal de temperatura dentro del reactor. Las mediciones que se realizaron, arrojaron los siguientes datos: [7]

Horas/año	Apertura (%)	Gasto (%)	Potencia (Kw)	Consumo (Kwh/año)
600	100	100	51.8	31,080
2,980	74	82	50.7	151,086
3670	31	44	39.9	146,433
Total:				328,599

Como medida de ahorro de energía se propuso sustituir el sistema de control actual, por un variador de velocidad de estado sólido para el motor. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

Horas/año	Gasto (%)	Potencia (Kw)	Consumo (Kwh/año)	Ahorro (Kwh/año)
600	100	51.8	31,080	
2,980	82	27.4	81,652	69,434
3670	44	39.94.7	17,249	129,184
Total:				198,618

Con esto se establece que la instalación del variador de velocidad se obtendrá un ahorro de 198,618 Kwh/año como se muestra en la figura 13, con este ahorro se amortizará la inversión en el variador de velocidad.

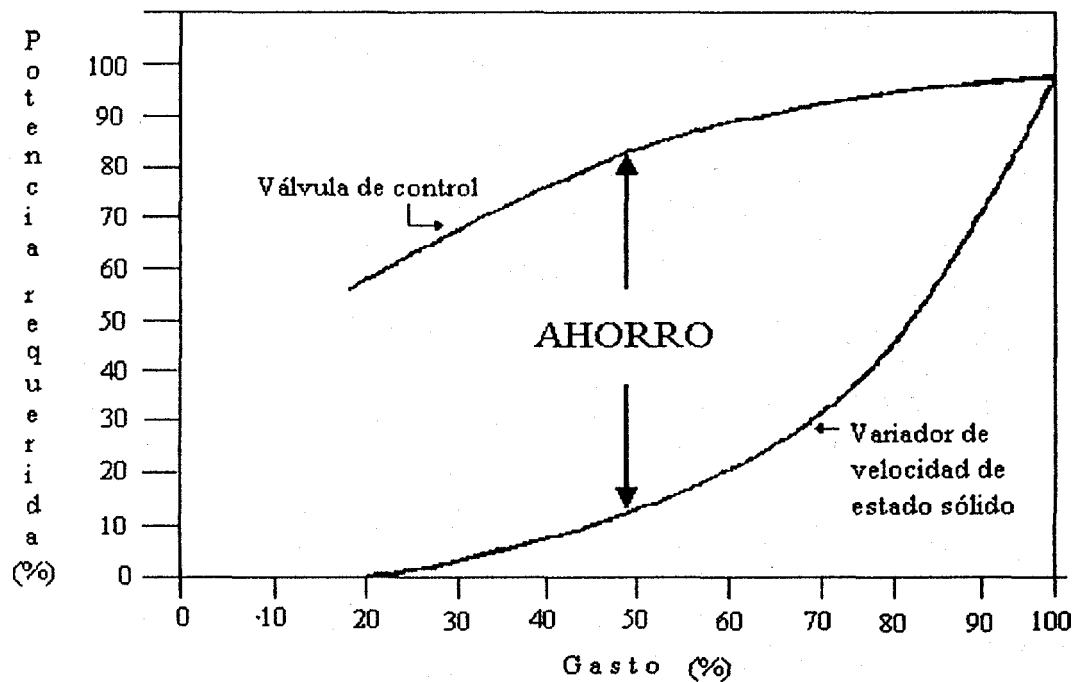


Figura 13. Ahorros esperados al sustituir la válvula de control por un variador de velocidad de estado sólido

Conclusiones

En las máquinas rotativas movidas por motor eléctrico de inducción, el uso de variadores de velocidad de estado sólido, es una alternativa a los sistemas de control de gasto convencionales, mediante el cual se obtienen ahorros de energía altamente rentables. Se ha analizado el caso de bombas, sin embargo, el principio y los potenciales de ahorro son similares cuando se aplica a ventiladores o compresoras así como a otros sistemas que requieran velocidad variable.

El principal motivo de ahorro es el que el motor no se queda forzado a plena carga al tapar su salida, sino que se le varía la velocidad real al motor. Las desventajas como el ruido eléctrico que genera el inversor, queda cubierto al poner el reactor de línea a la entrada del equipo.

Referencias

Libros¹ y revistas².

1. Van Zyl, A.; Enslin, J. "A new unified approach to power quality management", 26th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, Proceedings, Volume I, p. 183-188, June 18-22, 1995 Atlanta, Georgia, USA.
2. IEEE Standard 519-1981. "IEEE Guide for Harmonic Control and Reactive Compensation of Static Power Converters". 1981. pp 7-8.

¹ Las referencias que son libros aparecen con el título subrayado.

² Las referencias que son artículos aparecen con el título entre comillas.

3. Arrillaga, J., Bradley, D.A. Bodger, P.S. Power System Harmonics. John Wiley & Sons. New York, USA. 1985. pp 2, 45.
4. Pereira, M.; Sadek, K. "Damping harmonics in the power system with active filters" ,6th European Conference on Power Electronics and Applications, Proceedings, Volume I, 19-21 September 1995, Sevilla, Spain.
5. Stratford, R.P. "Rectifier Harmonics in Power Systems". IEEE Transactions on Industry Applications. Vol. IA-16, No. 2, pp 63, 65-69. Mar/Apr 1980.
6. IEEE Tutorial Course Text. "Power System Harmonics". pp. 1, 44. 84 EHO221-2-PWR. 1984.
7. Bañuelos S., P. Análisis Teórico Experimental de la Generación y Supresión de Armónicos Producidos por Convertidores Trifásicos en Conexión CA/CD/CA. Tesis de Maestría. Puebla, México. 1995.
8. Muhammad H., R. Electrónica de Potencia. Prentice Hall. 2 ed. México. 1995. Capítulo 10.
9. Rosas M, R. "Uso de Variadores de Velocidad de Estado Sólido para Ahorrar Energía Eléctrica en los Sistemas de Bombeo Industrial". Revista Informativa del Ahorro de Energía Eléctrica. FIDE. pp 20-24. Abril-junio 1996. México, D.F.

APLICACIÓN DE CONVERTIDORES DE FRECUENCIA EN LA INDUSTRIA.

Ing. Alejandro Adame González e Ing. Alfredo Aguilar Galván
INGENIERIA ENERGETICA INTEGRAL, S.A. de C.V.

Amsterdam 188 – 402, Hipódromo Condesa

México, D.F. Tel. 264 19 17, 264 82 39

Fax. 264 19 63

Resumen:

Se presentarán algunas de las aplicaciones de los convertidores de frecuencia. Además se indicarán los parámetros a registrar para evaluar la factibilidad de aplicación de los mismos, se describe como ejecutar la evaluación energética y finalmente se listan una serie de acciones que conducen a lograr ahorros de energía.

LINEAMIENTOS ENERGETICOS.

Serán señalados los aspectos a considerar para aplicar convertidores de frecuencia como elementos ahorradores de energía. Conviene señalar que los convertidores de frecuencia han sido desarrollados sobre todo como instrumentos para un mejor control y desarrollo de procesos.

APLICACIONES DE CONVERTIDORES DE FRECUENCIA.

Muchos procesos industriales y de aplicación de servicios requieren de una operación flexible, pudiendo trabajar a diferentes índices de carga. Ejemplos de ellos son el manejo de fluidos tanto líquidos como gaseosos, bandas transportadoras, elevadores, etc.

En el caso de los fluidos como medio de control de flujo se utilizan ampliamente las válvulas de estrangulación o válvulas de control cuyo principio de operación se basa en provocar una caída de presión mayor o menor del flujo a través de ella.

Un método alternativo para control de flujo puede realizarse mediante la variación de velocidad directamente en el equipo, por ejemplo, en una bomba.

LEYES DE AFINIDAD.

En el caso de sistemas de impulsión de fluidos líquidos y gaseosos cuando las presiones no son muy altas, como es el caso de bombas, sopladores y ventiladores respectivamente, existen ciertos parámetros y leyes físicas que rigen su funcionamiento. Estas son conocidas como las "leyes de afinidad o semejanza" para fluidos y sus equipos impulsores.

Las ecuaciones utilizadas en bombas, ventiladores y compresores centrífugos son las siguientes:

$$1. \frac{D_1}{D_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$2. \frac{D_1}{D_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{H_1}{H_2}}$$

$$3. \frac{D_1}{D_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt[3]{\frac{Pot_1}{Pot_2}}$$

Estas ecuaciones pueden ser transpuestas en varias formas diferentes.

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2; \quad \frac{Pot_1}{Pot_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3$$

Tres de las cuatro variables deben ser conocidas para poder determinar la cuarta.

Q = Flujo

N = Velocidad de la bomba, ventilador, compresor

Pot. = Potencia al freno, requerida por el equipo

D = Diámetro del impulsor

Solo como un ejemplo considérese la posibilidad de reducir las condiciones de flujo en un 5% como promedio. Si inicialmente el motor trabaja a plena carga tenemos:

Condiciones iniciales:

Potencia = 450 HP = 335 kW.

Revoluciones por Minuto a plena carga (RPM) = 3,570

Las condiciones propuestas indican:

$$\text{Relación entre flujos } \frac{Q_2}{Q_1} = 0.95$$

La nueva potencia será:

$$Pot_2 = Pot_1 \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3 = 335 \text{ kW} \times (0.95)^3 = 287.2$$

kW

Esto es una reducción del 5% en flujo, y mediante un convertidor de frecuencia puede conducir a un ahorro de potencia eléctrica de 47.8 kW, más el ahorro de energía resultante.

CARGA Y CURVAS DE CARGA DEL SISTEMA.

Justificación del uso de Convertidores de Frecuencia como aditamentos para el ahorro de energía eléctrica.

A continuación se definen y abordan los conceptos técnicos que sustentan el ahorro de energía mediante convertidores de frecuencia.

Carga y curvas de carga del sistema.

La acción de un impulsor (Bomba, Soplador, Ventilador) es la adición de energía cinética y potencial a un fluido con el fin de moverlo de un punto a otro. Esta energía hará que el fluido efectúe trabajo, tal como circular por una tubería o cambiar de altura.

El equipo transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio en la energía cinética y potencial requeridas. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la punta de los alabes o periferia del impulsor y de la densidad del líquido, la cantidad de energía que se aplica es independiente de la densidad.

Carga del sistema.

En términos estrictos, el equipo impulsor debe aplicar al fluido una energía formada por los siguientes componentes.

- Carga estática.
- Diferencia de presiones entre las superficies de los fluidos.
- Carga de fricción.

Carga estática.

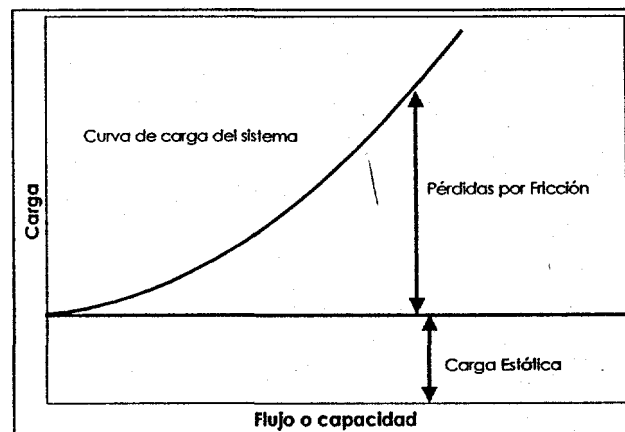
La carga estática significa una diferencia en elevación. Por tanto, la carga estática total de un sistema es la diferencia en elevación entre los puntos de descarga y de succión.

Carga de fricción.

Es la necesaria para contrarrestar las pérdidas por fricción ocasionadas por el flujo del fluido en la tubería, válvulas, compuertas, accesorios y otros componentes como pueden ser

intercambiadores de calor, etc. Estas pérdidas varían proporcionalmente con el cuadrado del flujo del sistema. También varían de acuerdo con el tamaño, tipo y condiciones de las superficies de los tubos y accesorios, y con las características del mismo fluido.

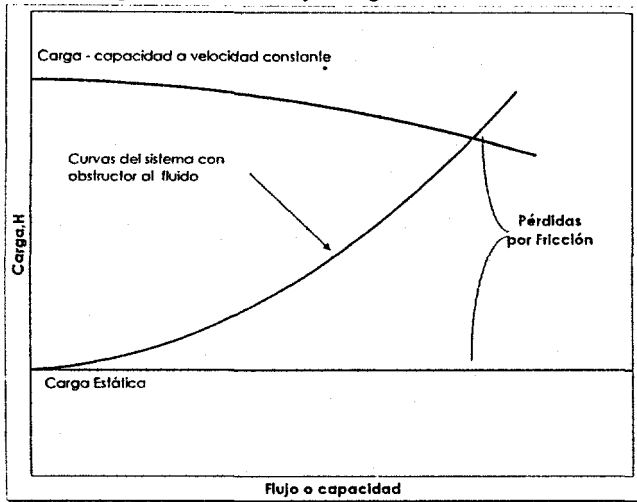
Figura 1. Carga Estática y de Fricción.



Curvas de fricción y de carga del sistema.

Cuando se combinan gráficamente la carga estática con las pérdidas de fricción de cualquier sistema, y se trazan contra la capacidad (flujo), la curva resultante se llama curva de carga del sistema. Al superponer una curva de capacidad contra la carga de un equipo impulsor a velocidad constante sobre la curva de carga del sistema, se observa un punto de intersección. Este punto en que se cruzan las dos líneas, determina la capacidad que se entregará al sistema para tal velocidad en particular.

Figura 2. Curvas y Cargas del Sistema

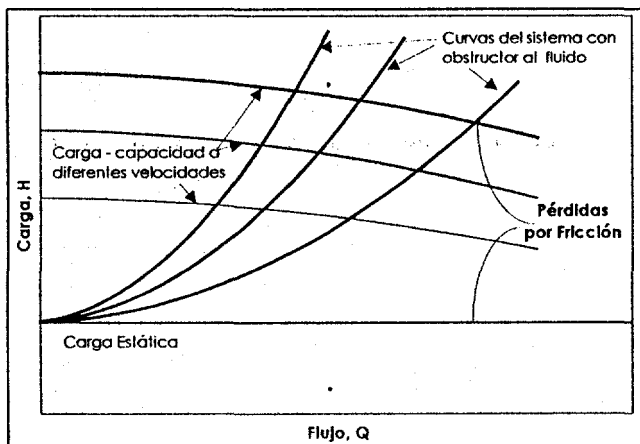


Variaciones en el flujo deseado.

Es raro que un sistema deba funcionar solo con capacidad fija. En general, los procesos tienen demanda variable. Un soplador o bomba centrífuga en un determinado sistema sólo entregará la capacidad correspondiente a la intersección entre las curvas de carga contra la de capacidad del sistema.

Para variar la capacidad es necesario cambiar la forma de una o de ambas curvas. Otra forma consiste en hacer que la curva de carga del sistema sea alterada al producir una pérdida de fricción con una válvula de estrangulamiento, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

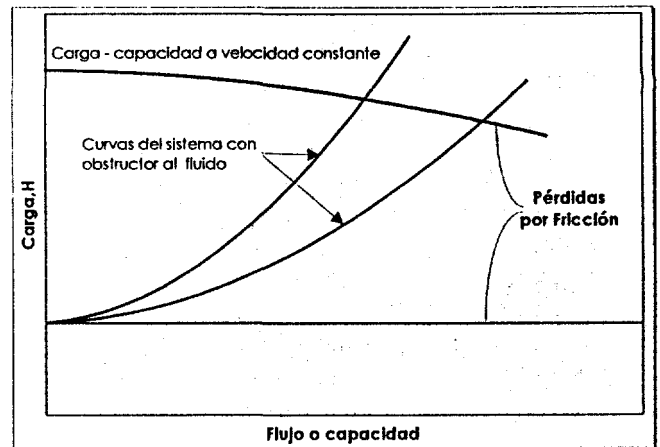
Figura 3. Variaciones en el Sistema.



Estrangulamiento. La curva de carga del sistema se puede alterar si se produce una pérdida de fricción con un dispositivo de estrangulamiento, una válvula, una

mampara o un damper, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

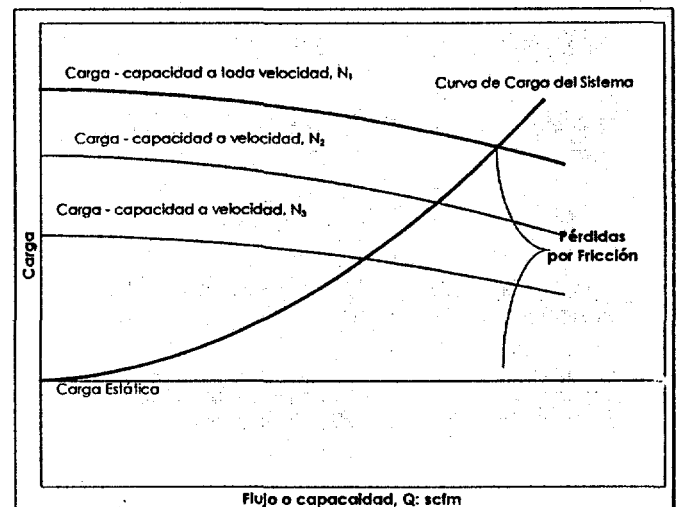
Figura 4. Variaciones de Flujo por Estrangulamiento.



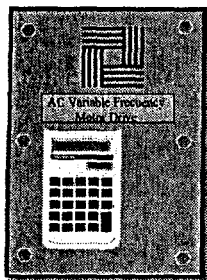
Por supuesto, la diferencia entre la carga total producida por la bomba y la carga requerida por el sistema, representa un desperdicio de energía durante la estrangulación.

Velocidad Variable. Una forma de lograr el cambio de la curva de carga contra la de capacidad es hacer funcionar el equipo a velocidad variable

Figura 5. Variaciones de Flujo en Función de las de Velocidad.



Aplicación del Convertidor de Frecuencia.

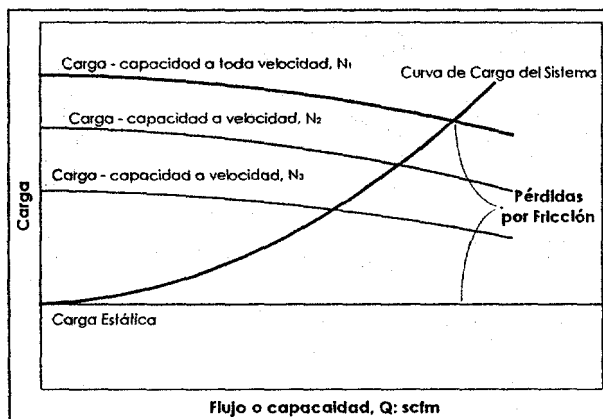


Casi la totalidad de los equipos centrífugos actuales es accionado por motores de inducción tipo de jaula de ardilla de velocidad constante, sin embargo, ya puede ser modificada su velocidad mediante un convertidor de frecuencia que permita variar la capacidad de flujo, evitando las considerables pérdidas de fricción o energía debidas principalmente a la estrangulación.

Mediante el convertidor de frecuencia si se modifican las condiciones del proceso, también pueden cambiar las revoluciones por minuto del impulsor (RPM) entregando mayor o menor capacidad de flujo, dependiendo de las necesidades requeridas en el proceso.

Como ejemplo en la figura 6, supóngase que en el instante 1 el proceso requiere el flujo señalado por la intersección de la curva del sistema y la operación del motor a toda velocidad, si en un instante 2 las necesidades disminuyen entonces el convertidor hace que el motor se revolucione a menor velocidad, ajustando la operación del equipo a las nuevas necesidades de flujo. Lo mejor de esta aplicación es la reducción de las pérdidas por fricción y en consecuencia ahorro de energía.

Figura 6. Variaciones de Flujo en Función de la Velocidad.



De acuerdo con lo anterior, en aquellas instalaciones que operen a carga variable, podrá resultar justificable la aplicación de convertidores de frecuencia para eliminar las pérdidas de energía causadas por las válvulas de control y recirculaciones. Por supuesto, la aplicación dependerá de las características del sistema y que la aplicación en particular resulte rentable.

METODOLOGIA PARA IMPLEMENTAR UN CONVERTIDOR DE VELOCIDAD EN SISTEMA DE BOMBEO.

La evaluación requiere contar con los siguientes datos:

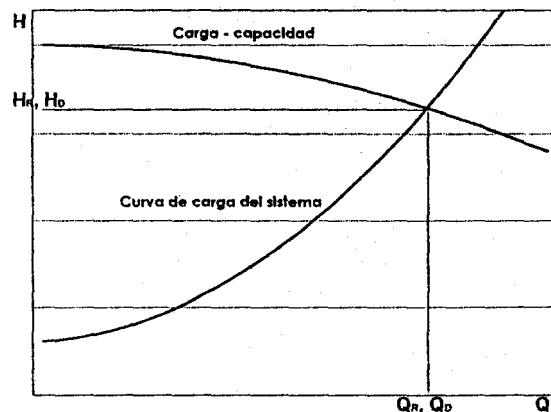
- Curvas de comportamiento de la bomba en particular
- Carga estática
- Carga de fricción
- Condiciones reales de operación de la bomba (carga y el máximo flujo)
- Características del fluido (densidad, tipo, etc.)
- Costo del convertidor de frecuencia.
- Costo del kWh
- Horas efectivas de funcionamiento

La obtención de valores, se debe realizar varias veces con el objeto de garantizar que los datos sean validos, es necesario realizar también las mediciones a las diferentes cargas de operación de la bomba.

Inicialmente se debe construir la curva característica del sistema.

Con los datos de selección del equipo (Q_D , H_D), la carga estática y la diferencia de presiones entre el inicio y el final de la trayectoria del sistema, se construye la curva característica del sistema y se superpone en la curva de comportamiento, tal como se ilustra en la siguiente gráfica.

Figura 7. Construcción De La Curva Característica Del Sistema.



La curva del sistema construida permite conocer las necesidades de carga que demanda el sistema para diferentes flujos, que se comparan contra lo que debe proporcionar de acuerdo con la curva de comportamiento.

Punto seguido, determinar el flujo promedio de operación.

Es importante evaluar la duración de operación a diferentes flujos, con el fin de determinar para un

período de operación típica, cuáles serían los ahorros totales a conseguir y así evaluar la rentabilidad de la medida. De acuerdo con la experiencia en planta y el tipo de servicio, se decidirá la magnitud del período representativo que podrá seleccionarse tan corto o tan largo como se requiera.

Conocido el tiempo total de funcionamiento y la duración que presente la operación a diferentes flujos, se determina el flujo promedio ponderado como la sumatoria de los flujos y sus correspondientes duraciones, dividida por el tiempo de operación.

$$\text{Flujo Promedio} = \frac{\sum Q}{\text{TiempoTotal}}$$

De la gráfica anterior se obtiene el valor de las cargas correspondientes a este flujo de la curva de la bomba (H) y del sistema (Hsist)

Determinación de los ahorros en energía.

Ahorro en potencia demandada

Con base en la curva se determina la potencia eléctrica leyendo el valor de la curva de potencia contra flujo, o bien se determina con la siguiente ecuación:

$$\text{Potencia(sv)} = \frac{\text{Densidad} \times g \times Q \times H_{sv}}{\eta_{\text{del Equipo centrifugo(sv)}} \times \eta_{\text{del motor(sv)}}}$$

sv = sin convertidor; η = eficiencia

La eficiencia del equipo, se determina de la curva eficiencia en las curvas de comportamiento, la del motor estará en función de su capacidad y de la carga a la que trabaja.

De la misma manera, se calcula la potencia requerida por el conjunto Equipo - motor - convertidor de frecuencia, siendo:

$$\text{Potencia(cv)} = \frac{\text{Densidad} \times g \times Q \times H_{cv}}{\eta_{\text{del Equipo centrifugo(cv)}} \times \eta_{\text{del motor(cv)}} \times \eta_{\text{del convertidor}}}$$

cv = con convertidor

La eficiencia del convertidor se podrá obtener de la información de fabricantes de estos equipos.

La diferencia entre las dos potencias, determina el ahorro en potencia demandada que se tendría al sustituir un estrangulamiento por el convertidor.

Ahorro en demanda = Potencia sin convertidor - Potencia con convertidor

Posteriormente se determina el ahorro de energía al multiplicar el ahorro de potencia por la duración del sistema en operación.

Ahorro de energía = Ahorro en kW x Tiempo de operación.

EJEMPLO DE APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA PAPELERA.

Antecedentes generales.

El control y distribución de los flujos de pasta en empresas papeleras, se realiza mediante sistemas de recirculación y cajas de distribución.

La distribución de pasta se realiza mediante un sistema muy sencillo; inicialmente se tiene la pasta en un tanque, de este se envía a una caja de distribución ubicada a cierta altura (8 - 10 metros), posteriormente se distribuye por diferentes tuberías a equipos tales como refinadores y/o bombas de los formadores.

El flujo de pasta requerido por los refinadores depende básicamente del tipo de fibra y características del papel a fabricar, también depende de los requerimientos de flujo en los formadores, situación que también es función del tipo y espesor del papel.

Una situación usual en estos equipos, es que el flujo de alimentación hacia las cajas de distribución enviado mediante bombas, es superior a los requeridos por los refinadores o formadores, por lo que el excedente se regresa al tanque original, este retorno varía entre 20 y 50% del flujo total enviado por la bomba.

La caja de distribución consta de varias entradas y retornos de pasta, las cuales dependen de los tipos de pasta que se requieran para la fabricación de papel. Por ejemplo, para fabricar cafés se utiliza una o dos tipos de pasta y para el Couche se requiere usualmente de tres tipos de pasta denominadas: cara, reverso y relleno.

Por tanto, si se fabrica cartón se utilizan una o dos entradas de pasta en la caja de distribución con su respectivo retorno para cada una. En el caso del Couche se requieren tres o cuatro entradas de pasta, típicamente se distribuyen de la siguiente manera: una para la cara, otra para el reverso y dos para el relleno.

Antecedentes particulares.

La utilización de Convertidores de frecuencia en la planta MUESTRA, se aplica en las bombas de los tanques 1, 2, 3 y 4 que suministran pasta a la caja de distribución a formadores y en las

bombas de los tanques 8, 9 y 11, que suministran a refinadores. El flujo de pasta suministrado a la caja de distribución es mayor al requerido por los refinadores y formadores, por tal razón se tiene que recircular una parte importante de éste.

El objetivo de la aplicación evitar la recirculación de pasta, controlando el flujo requerido por los refinadores y formadores, los convertidores actuarán en función de la señal emitida por los medidores de nivel que se ubicarán en la caja de distribución.

Figura 8. Diagrama de flujo del sistema Tanques 1, 2, 3, 4 y caja de distribución a formadores.

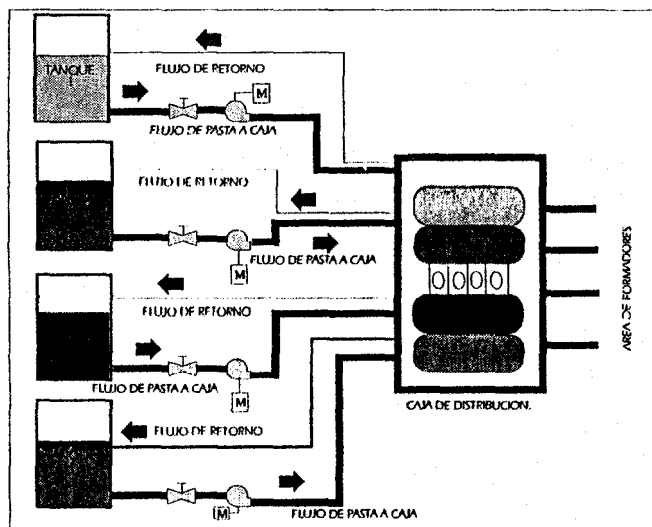
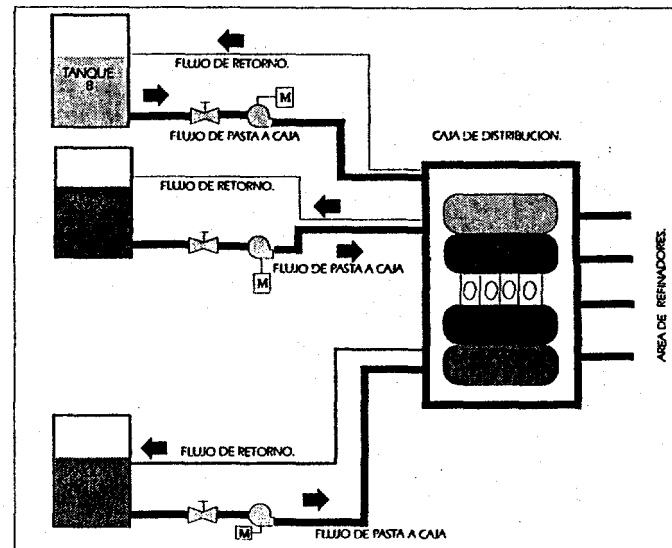


Figura 9. Diagrama de flujo del sistema Tanques 8, 9 y 11 y caja de distribución a refinadores.

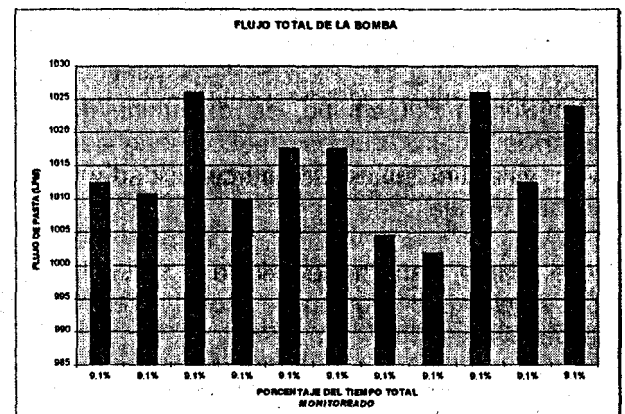


Condiciones actuales de operación.

Bomba tanque 1.

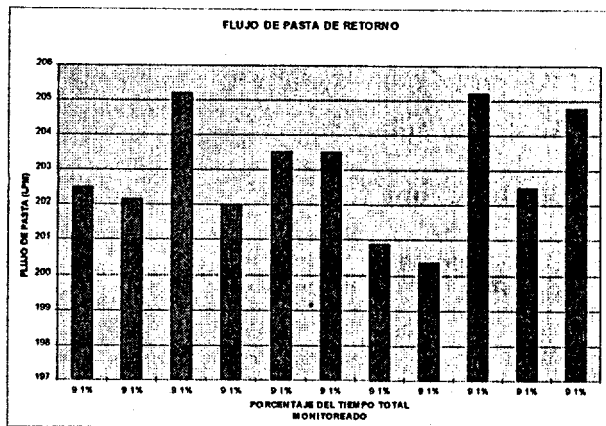
Se realizaron mediciones del flujo de pasta de la bomba del tanque 1 alimentado a la caja de distribución, el comportamiento de éstas se muestran en la gráfica.

Gráfica 1. Flujo total manejado por la bomba.



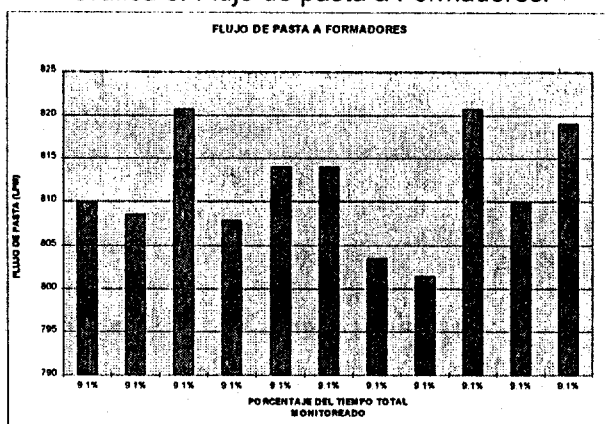
El flujo de retorno promedio es el 20% del total manejado por la bomba, este se muestra en la gráfica 2.

Gráfica 2. Flujo de pasta de retorno al tanque 1.



Finalmente el flujo que va hacia los formadores equivale al 80% del flujo enviado por la bomba, el perfil se muestra en la gráfica.

Gráfica 3. Flujo de pasta a Formadores.



El flujo promedio manejado por la bomba es 1,015 LPM, para los formadores es de 812 LPM y el flujo de retorno es 203 LPM.

Tabla 1. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
1,015	812	203

De manera similar se realizaron mediciones en el resto de los equipos resultando:

Bomba tanque 2.

Tabla 2. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
1,026	821	205

Bomba tanque 3.

Tabla 3. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
1,048	838	210

Bomba tanque 4.

Tabla 4. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
1,107	996	111

Bomba tanque 8.

Tabla 5. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
949	759	190

Bomba tanque 9.

Tabla 6. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
936	749	187

Bomba tanque 11.

Tabla 7. Resumen del monitoreo de flujos.

Flujo total de la bomba (LPM)	Flujo a formadores (LPM)	Flujo de retorno (LPM)
924	739	185

Sistema propuesto.

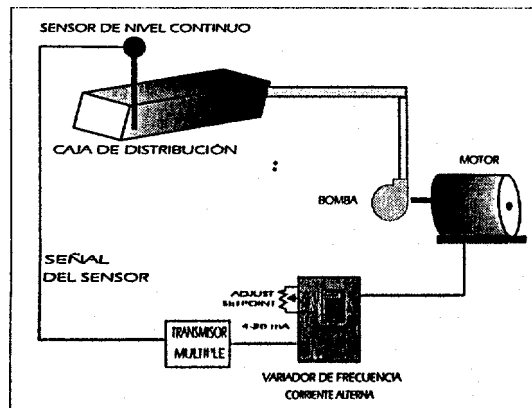
La propuesta consiste en instalar un convertidor de frecuencia en el motor de cada bomba de los tanques 1, 2, 3, 4, 8, 9 y 11, cada convertidor estará acoplado a un medidor de nivel de tipo ultrasónico.

El medidor censará continuamente el nivel de la pasta en la caja de distribución, de tal manera que no permitirá la recirculación de ésta al tanque, además mantendrá el flujo en un nivel determinado previamente.

La operación del sistema propuesto queda regida en función del nivel registrado mediante el medidor de tipo ultrasónico, éste enviará una señal al convertidor para que modifique la velocidad de la bomba y con ello el flujo de

pasta. En el caso de un incremento en las necesidades de pasta, debe aumentar la velocidad de la bomba, y si disminuyen las necesidades de flujo decrece la velocidad de la bomba. Esta actividad se realizará automáticamente mediante el convertidor de frecuencia y el medidor de nivel. El sistema propuesto se muestra en la figura 10.

Figura 10. Configuración del sistema propuesto.



La configuración que se presenta en la figura se aplica a cada motor de las bombas mencionadas.

Determinación de ahorros de energía.

En este sistema no se tienen estrangulaciones para el control de presión o flujos, únicamente se controla el flujo a través del sistema de recirculación, por tanto, no es necesario conocer a detalle la curva del sistema de bombeo, ya que mediante las leyes de afinidad se pueden determinar las condiciones esperadas en flujo y potencia de la bomba.

Leyes de Afinidad.

Las relaciones que permiten predecir el rendimiento de la bomba a una velocidad que no sea la nominal, son las leyes de afinidad.

En el caso de cambio de velocidad (n) el flujo (Q) varía directamente.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

La carga o presión (H) varía en función directa al cuadrado de la velocidad.

$$\frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

La potencia de la bomba varía en razón directa al cubo de la velocidad.

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

Ahorro en potencia.

Bomba tanque 1.

El flujo promedio actual es 1,015 LPM y el flujo esperado es 812 LPM. Por otro lado, la potencia promedio actual del motor de la bomba es 3.2 kW y una eficiencia de 82.1% (potencia nominal 10 HP).

La potencia entregada a la bomba es:

$$Pot_{flecha} = Potencia_{medida} \times Eficiencia \text{ del motor}$$

$$Pot_{flecha} = 6.2 \times 0.821 = 5.1 \text{ kW}$$

La potencia esperada se determina utilizando las leyes de afinidad tal como se presenta a continuación:

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right)^3$$

donde

$$Q_1 = 1,015 \text{ LPM}$$

$$Q_2 = 812 \text{ LPM}$$

$$P_1 = 5.1 \text{ kW}$$

$$P_2 = (Q_2 / Q_1)^3 \times P_1$$

$$= (812/1,015)^3 \times 5.1 = 2.6 \text{ kW}$$

$$Potencia \text{ esperada bomba} = 2.6 \text{ kW}$$

La potencia esperada por el sistema total, es decir, convertidor, motor y bomba es la siguiente:

$$Potencia \text{ Esperada} = \frac{Potencia \text{ Bomba}}{\eta_{\text{motor}} \times \eta_{\text{convertidor}}}$$

donde

$$\eta_{\text{motor}} = 82.1 \%, \eta_{\text{convertidor}} = 95 \%$$

$$Potencia \text{ Esperada} = \frac{2.6}{0.821 \times 0.95} = 3.33 \text{ kW}$$

Finalmente el ahorro en potencia se determina con la diferencia entre la potencia empleada actualmente y la esperada al controlar el flujo con el convertidor de frecuencia.

Ahorro en potencia = Potencia actual - Potencia esperada

$$Ahorro \text{ en potencia} = 5.1 - 3.33 = 1.77 \text{ kW}$$

Ahorro en consumo de energía.

Esta bomba opera durante las 24 horas del día, aproximadamente 351 días al año, es decir, un tiempo de 8,424 horas anuales.

El ahorro en consumo de energía se determina con la siguiente relación:

Ahorro en Energía = Ahorro en demanda x Horas de operación total

Ahorro en Energía = $1.77 \times 8,424 = 14,910$ kWh anuales

En un desarrollo similar se obtuvo el ahorro para el resto de la Bombas, los cuales quedan resumidos en la tabla de resultados finales.

Inversión y evaluación económica.

La inversión necesaria para llevar a cabo cada acción se muestra en la tabla 8, en donde se incluye el costo del convertidor y el transductor ultrasónico para cada bomba, no se consideran gastos de mano de obra e IVA.

Tabla 8. Inversión del convertidor de frecuencia y medidor de nivel.

Equipo	Bomba tanque 1 (10 Hp)	Bomba tanque 2 (10 Hp)	Bomba tanque 3 (10 Hp)	Bomba tanque 4 (10 Hp)
Convertidor de frecuencia, 480 Volts, 3 Fases, 60 Hz.	\$12,375	\$12,375	\$12,375	\$12,375
Medidor de nivel tipo ultrasónico, rango de medición de 0.25 a 5 m, resolución de 3 mm, precisión de 0.25% a escala completa, con salida de 4 a 20 mA ajustable.	\$7,797	\$7,797	\$7,797	\$7,797
Total	\$20,172	\$20,172	\$20,172	\$20,172

Tabla 9. Inversión del convertidor de frecuencia y medidor de nivel.

Equipo	Bomba tanque 8 (10 Hp)	Bomba tanque 9 (10 Hp)	Bomba tanque 11 (10 Hp)
Convertidor de frecuencia 460V, 3 Fases, 60 Hz.	\$12,375	\$12,375	\$12,375
Medidor de nivel ultrasónico, rango medición de 0.25 a 5 m, resolución de 3 mm, precisión de 0.25% a escala completa, con salida de 4 a 20 mA ajustable.	\$7,797	\$7,797	\$7,797
Total	\$20,172	\$20,172	\$20,172

De acuerdo a las ecuaciones antes descritas, a continuación se presenta un resumen de los ahorros de energía, económicos y la inversión asociada al

sistema propuesto así como el tiempo de recuperación de la inversión.

Tabla 10. Ahorros obtenidos por la implementación de convertidores de velocidad.

Equipo	Ahorro en Potencia (kW)	Ahorro en Consumo (kWh)	Ahorro Económico Total	Inversión (\$)	Tiempo de Recuperación
Bomba Tanque 1	1.77	14910	\$ 5,659.59	\$20,172	3.56
Bomba Tanque 2	1.8	15163	\$ 5,755.52	\$20,172	3.50
Bomba Tanque 3	1.9	16006	\$ 6,075.27	\$20,172	3.32
Bomba Tanque 4	1.77	14910	\$ 5,659.59	\$20,172	3.56
Bomba Tanque 8	1.82	15332	\$ 5,819.47	\$20,172	3.47
Bomba Tanque 9	1.97	16595	\$ 6,299.09	\$20,172	3.20
Bomba Tanque 11	1.86	15689	\$ 5,947.37	\$20,172	3.39

Conclusión:

La instalación de los convertidores de frecuencia se ha desarrollado para mejorar el control de los procesos y para fines de ahorro de energía. Sin embargo, para esto es importante conocer los procesos y las necesidades de los mismos, esto implica el conocimiento y análisis profundo de los tipos y clases de cargas que existen. Hay que recordar que la potencia requerida por la mayoría de las aplicaciones es a carga variable, incrementándose conforme aumenta la velocidad en revoluciones por minuto (R.P.M.).

En este artículo se ha mostrado en un caso real como los convertidores de frecuencia permiten ahorrar importantes cantidades de energía y dinero a la industria papelera.

ANALISIS DEL POTENCIAL DE LA ILUMINACION NATURAL PARA AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA EN LAS EDIFICACIONES EN CLIMAS CALIDOS

JOSE ROBERTO GARCIA CHAVEZ

PROFESOR-INVESTIGADOR
UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO
DIVISION DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
DEPARTAMENTO DE MEDIO AMBIENTE
AV. SAN PABLO 180 AZCAPOTZALCO, MEXICO, D.F.
TEL. (52-5) 724-4387 Y 724-4389
FAX /52-5) 394-8396

e-mail: jgchp9000a1.uam.mx

RESUMEN

La luz natural diurna es un factor indispensable en los edificios. Su uso no solamente esta orientado a proveer de iluminación a los espacios para proporcionar niveles de iluminancia adecuados para la óptima realización de las tareas visuales de los ocupantes, sino también para proporcionar la calidad lumínica que se requiere para cada caso y función específicas, así como contribuir a la salud psicofisiológica de los usuarios al brindarles un ambiente favorable y la acción germicida en la componente ultravioleta lumínica y además, un contenido de vitamina "D", necesario para la salud de las personas. Por otra parte, el uso sensato y eficiente de la luz natural diurna puede contribuir a reducir el consumo de energía eléctrica que se utiliza para el alumbrado artificial de los edificios. Esta situación es de particular importancia en climas cálidos, donde los consumos de energía eléctrica para alumbrado de espacios interiores son muy cuantiosas, sobre todo en edificios no habitacionales. En este trabajo se exploran y presentan las posibilidades de la luz natural diurna para lograr ahorro de energía y confort visual termolumínico en las edificaciones.

1. INTRODUCCION

En climas predominantemente cálidos, la provisión de luz natural en las edificaciones es un recurso exterior deseable, mientras que el efecto térmico de la radiación solar es indeseable. Las soluciones comunes de diseño para controlar las ganancias de calor solar son áreas de ventana de menor tamaño o la utilización inadecuada de dispositivos de control solar. Sin embargo, estas medidas tienden a reducir la disponibilidad de la luz natural en el interior de las edificaciones, provocando un uso excesivo de la luz artificial. Además de sus altos costos de funcionamiento y operación, el uso de la luz artificial también impone una carga térmica significativa en las edificaciones. El manejo adecuado de la componente lumínica directa de la radiación solar en las edificaciones, es una alternativa promisoría para resolver esta dicotomía, usando la luz natural directa del sol para introducir niveles de iluminación natural, uniforme y profundamente dentro de los espacios, de forma tal que pueda ser utilizada como un efectivo iluminante de trabajo. Este estudio analiza el potencial de la componente lumínica directa de la radiación solar para iluminar apropiadamente el interior de edificaciones, tanto en zonas cercanas a las aberturas de iluminación como en áreas distantes a ellas, para reducir el uso de iluminación artificial e inclusive de los sistemas de aire acondicionado en edificios ubicados en climas predominantemente cálidos.

2. LAS EDIFICACIONES, EL MEDIO AMBIENTE CONSTRUIDO Y SU RELACION CON EL USO DE LA ENERGIA E IMPACTO AMBIENTAL

Analizando la situación actual en el medio ambiente construido por el hombre, es evidente que la mayoría de los edificios modernos incorporan estilos arquitectónicos y materiales que ignoran las condiciones climáticas y características socioculturales del lugar donde se ubican. Este es el caso particular de edificaciones localizadas en regiones cálidas de México y como resultado, presentan una elevada dependencia en sistemas mecánicos y eléctricos para el control del ambiente interior (climatización e iluminación artificial de los espacios interiores). Esta situación provoca el consumo de grandes cantidades de energía, que por una parte, causa un severo deterioro al medio ambiente y por otra, altos costos de operación y mantenimiento de los equipos de luz artificial y aire acondicionado, además de problemas de incomodidad térmica y visual en los ocupantes. En estas regiones, la causa principal del alto consumo de energía en los edificios domésticos o residenciales, se debe al uso de aire acondicionado y sistemas mecánicos, mientras que en edificios comerciales (no-habitacionales), caracterizados por patrones de uso diurno de iluminación y un gran número de horas de uso de electricidad para iluminar los espacios, la iluminación artificial por lo general representa la mayor parte del consumo de energía.

El uso de la luz solar directa en regiones predominantemente cálidas es una alternativa promisoría para resolver el problema de la provisión de niveles suficientes de iluminación natural sin admitir las ganancias indeseables de calor exterior.

3. PRINCIPIOS DEL COMPORTAMIENTO DE LA LUZ NATURAL DIURNA EN LAS EDIFICACIONES

Desde el punto de vista lumínico, la componente directa de la radiación solar actúa como una intensa fuente de luz colimada y puede proporcionar un rango de iluminancia exterior en un plano horizontal de 50,000 lux (para un cielo azul con menos del 30% de nubosidad), a 100,000 lux (para un cielo azul despejado con menos del 15% de nubosidad), en comparación con la componente lumínica difusa, que presenta un rango de 5,000 lux (para un cielo cubierto con 100% de nubosidad y sol no visible), a 40,000 lux (para un cielo parcialmente nublado con una nubosidad del 30 al 70%). En un día típicamente soleado, enormes cantidades de luz natural directa impactan en las superficies edificatorias.

Por ejemplo, en un espacio de oficinas convencional de 400 m², con un nivel de iluminancia requerido de 500 lux, los necesarios 200,000 lumens (el flujo luminoso en lumens por unidad de superficie receptora (m²), da como resultado la unidad de iluminancia: lux) que son, por lo general, suministrados por luz eléctrica artificial, ignorando el enorme potencial de la luz solar directa disponible, que en un típico día soleado puede proporcionar un promedio de 50,000 lux en una superficie vertical. En otras palabras, en tan solo 4 m² de superficie vertical de una envolvente edificatoria, estarían incidiendo 200,000 lumens de flujo luminoso. Es evidente que en la actualidad no se aprovecha el potencial de vastas cantidades de luz solar disponible, que en otras circunstancias podrían utilizarse favorablemente en el interior de las edificaciones en climas con cielos predominantemente despejados.

El atributo de colimación de la luz solar directa y su *mayor contenido de energía luminosa por unidad de área*, en comparación con la luz difusa proveniente de cielos despejados o nublados (de cuatro a siete veces mayor, respectivamente), son las principales ventajas de usar dicha componente solar directa para iluminación de edificios. Por lo tanto, se pueden requerir menores áreas de aberturas (ventanas) para proporcionar la misma cantidad de iluminancia interior.

Esta característica de la luz solar directa puede ser particularmente útil en edificios localizados en regiones predominantemente cálidas y con cielos despejados, ya que aberturas de menor superficie resultarían en menores ganancias de calor exterior, que es una condición deseable en éste tipo de climas.

Por lo tanto, el uso de la luz solar directa en lugares bajo cielos típicamente despejados puede ser una estrategia promisoría para reducir el consumo de energía debido a la utilización de sistemas de iluminación artificial y aire acondicionado (carga térmica de enfriamiento, ocasionada por el uso del alumbrado y ganancias internas casuales, es decir, de ocupantes), siempre y cuando la luz que llega al interior del espacio sea distribuida efectivamente y totalmente utilizada para propósitos de iluminación (García-Chávez, 1989).

El potencial de ahorro de energía al usar la luz solar directa como fuente de iluminación interior puede ser particularmente significativo en edificios no-domésticos.

4. FACTORES QUE HAN INFLUENCIADO UN CAMBIO DE ACTITUD EN LOS PATRONES DE CONSUMO ENERGETICO

El abrupto despertar causado por el embargo petrolero de 1973, forzó a una re-examinación de los patrones de uso de la energía en las edificaciones. A medida que arquitectos e ingenieros fijaban su atención en medidas para reducir las cargas térmicas, la iluminación artificial comenzó a vislumbrarse como el mayor rubro de consumo de energía en edificios no-domésticos, especialmente en aquellos caracterizados por patrones de uso diurno, gran número de horas de uso de luz artificial y niveles relativamente altos de provisión de iluminación en interiores.

En diversos estudios que han surgido después de la crisis del petróleo de 1973, como resultado del interés en ahorrar y hacer un uso mas eficiente de la energía en los edificios, la utilización de la componente directa de la luz solar, ha sido propuesta y aplicada como una estrategia de iluminación de alcances altamente promisorios (Selkowitz, 1979; Fraas, 1983; Kinney et al., 1979a, 1982b; Larne et al., 1983; Leslie, 1986; Shanus, 1983a, 1984b; Smart, 1983; Worthintong, 1982; Whitehead et al. 1986).

5. ESTRATEGIAS Y SISTEMAS LUMINICOS INNOVADORES DE ALTA EFICIENCIA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA LUZ NATURAL DIURNA EN LAS EDIFICACIONES

Para aprovechar de una manera óptima la luz natural diurna, se propone que la componente directa de la radiación solar, sea utilizada como la principal fuente de iluminación en los espacios edificatorios, incluyendo aquellas zonas de los espacios interiores donde normalmente la provisión de luz natural por métodos convencionales no es factible, es decir, en la zonas centrales de una edificación, distantes de las aberturas de iluminación. En la aplicación de ésta alternativa, se incluye la manipulación de los mecanismos de reflexión, refracción y transmisión lumínica. Este enfoque también considera la contribución de las componentes de la luz difusa del cielo y la reflejada de superficies circundantes.

Por lo tanto, el objetivo principal del uso de la luz solar directa en las edificaciones para fines de ahorro de energía, reducción de la contaminación y confort ambiental de los ocupantes, es el controlar y distribuir dicha componente de la radiación solar de forma tal que pueda ser utilizada como un iluminante interior efectivo y agradable a los sentidos del usuario, a través de un balance óptimo de la cantidad y calidad de la luz natural y proporcionar niveles lumínicos

adecuados, aún en aquellas zonas localizadas a mayor profundidad en el espacio interior, es decir, distantes de las aberturas.

6. CONCLUSIONES

El uso adecuado de la luz solar directa en edificaciones bajo condiciones predominantemente cálidas y de cielo despejado durante la mayor parte de las horas del año, puede conducir a beneficios potenciales tales como ahorro de energía y demanda de la misma en horas pico (factor que determina el diseño de la plantas generadoras de electricidad), mejores condiciones ambientales en interiores y exteriores y mejoramiento en los niveles de productividad, eficiencia y calidad de vida del hombre.

Actualmente y como parte complementaria a este estudio, se encuentran en fase de desarrollo trabajos de investigación para el aprovechamiento de la luz solar directa, enfocados a estimar la eficiencia energética y costo-beneficio de estas estrategias innovadoras y la respuesta de los usuarios a su implementación en edificios existentes. En una etapa subsecuente, se pretende que los resultados de estos estudios conduzcan a la elaboración de guías de diseño para el aprovechamiento de la luz solar directa en edificios bajo condiciones de cielo predominantemente despejado.

7. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

Aizenberg, J.B., Bukham, G.B., Pjatigorsky, V.M., (USSR). A new principle of lighting premises by means of the illuminating devices with the slit light guides. Conf. proceedings CIE, pp. 412-425; London, 1975.

Bennett, D. et al. Solar optics: Light as energy, energy as light. Underground Space, V4; pp. 344-354, 1980.

CIBS Code for Interior Lighting. CIBS, London, 1984.

Fisher, T. Harvesting the light. Progressive Architecture April, 1985.

Fraas, L.M. Concentrated and piped sunlight for indoor illumination. Applied Optics, V22, No. 4, pp. 578-582; February, 1983.

Frederiksen, E. Solbelysning bygninger ved hjælp af lysdere: Sunlighting in buildings by means of light pipes. Lampetten 17, (3), pp. 155-168; 1982.

García-Chávez, J.R. The Potential of Beam Core Daylighting for Reducing the Energy Consumption in Hot/Arid Climates of Mexico. PhD. Thesis. UK, 1989.

Givoni, B., Kroner, W., Leslie, R. Light/Ventilation wells for large office buildings. Conf. proceedings: International Daylighting Conference, pp. 411-416; Long Beach, California, 1986.

Kinney, L., Ashley, D., and Ashley C. Innovative efficient daylighting designs. Passive Solar Building Program; New York: New York State Research and Development Authority and Department of Energy; 1979.

Kinney, F.L., Reynolds, D.R. Reflective insulating blind system mechanical design and preliminary performance data. Conference

proceedings of the Sixth International Conference on Alternative Energy Sources. Miami, Florida, 1983.

Lorne, A., Whitehead, A., Brown, D., Nodwell, R. A New device for distributing concentrated sunlight in building interiors. Conference proceedings: International Daylighting Conference, pp. 119-125; Phoenix, Arizona, 1983.

Leslie, R. Core Daylighting: Building code issues. Conference proceedings: International Daylighting Conf., pp. 407-410; Long Beach, California, 1986.

Selkowitz, S., Griffith W. Effective daylighting in bldgs. Part 1. Lighting Design & Appls. Feb, 1979. pp 6-11.

Selkowitz et al. Strategies of daylighting design. AIA Journal, Sept 1979., pp 68-112.

Shanus, M.D., Windhein, L.S., Riegel, R.J., Davy, K.V., Going beyond the perimeter with daylight. Conf. proceedings: IES Annual Conference, L.A., 1983. (IES, New York, 1983); and Lighting Design and Applications, 14, (3), pp. 30-40; 1984.

Smart, M., Ballinger, J.A. Tracking mirror beam sunlighting for interior spaces. Solar Energy, V30, (6), pp. 527-536; 1983.

Worthintong, G. Look at the future for fibre optics in commercial lighting. Lighting Equipment News, No.190 pp. 6-7; October, 1982.

Whitehead, L., Scott, J., Lee, B., York, B. Large scale core daylighting by means of a light pipe. Conference proceedings: International Daylighting Conference, pp. 416-419; Long Beach, CA., 1986.

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE VIDA UTIL A LAMPARAS FLUORESCENTES
COMPACTAS DEL PROYECTO ILUMEX
(1ª PARTE)

ING. ADRIAN VALERA NEGRETE
ING. ENRIQUE VARGAS NIETO

COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

RESUMEN

En el presente trabajo, se muestran los resultados obtenidos del Laboratorio de las pruebas de vida útil a las lámparas fluorescentes compactas ganadoras de la primera licitación del proyecto ILUMEX, ofrecidas a los usuarios del sector doméstico de los Estados de Jalisco y Nuevo León. Asimismo, se indican los flujos luminosos a diferentes etapas de la vida útil de las lámparas.

Cabe hacer notar que es la primera ocasión que se realizan este tipo de pruebas en el Laboratorio de Alumbrado Público del Departamento del Distrito Federal.

O. ANTECEDENTES

El proyecto ILUMEX consiste en la substitución de lámparas incandescentes de baja eficiencia por lámparas compactas fluorescentes entre los usuarios residenciales de los Estados de Nuevo León y Jalisco. Dicho proyecto tiene, como uno de sus objetivos primordiales, demostrar que las inversiones realizadas en proyectos de uso eficiente de iluminación permiten proveer la capacidad necesaria para la expansión de la demanda a costos inferiores a los de la construcción de nuevas centrales, lo cual además trae aparejado una reducción sensible de la emisión de gases causantes del efecto invernadero.

El proyecto mencionado pueden enmarcarse en lo que internacionalmente se conoce como "Demand Side Management", que radica en la aplicación de medidas que modifican las características de consumo de energía eléctrica de los usuarios, de tal forma que originan una mayor disponibilidad de capacidad en el sistema.

Las medidas implementadas se traducen en beneficios para los usuarios, la compañía suministradora y la nación.

A mediados de 1992, la Agencia Internacional para el Desarrollo, del gobierno de los Estados Unidos de América (USAID), otorgó un fondo de 200,000 dólares para apoyar a la C.F.E. en el diseño del proyecto, el desarrollo de la especificaciones técnicas y la preparación del estudio de factibilidad, mismo que fue concluido con resultados satisfactorios.

La C.F.E. recibió asimismo una donación del Global Environmental Facility (GEF) por 10 millones de dólares, para que México adquiriera lámparas fluorescentes compactas (LFC). Por su parte, la C.F.E. cooperó con una cantidad igual para la administración y ejecución de ese proyecto. Derivado del plan iniciado por el GEF sobre oportunidades de inversión para promover el uso eficiente de la energía y la reducción de la emisión de gases de invernadero, el gobierno de Noruega añadió una donación de 3 millones de dólares al fondo de ILUMEX.

1. VIDA DE LA LAMPARA

La vida media de las lámparas fluorescentes compactas garantizada por los fabricantes es de 10,000 horas contra 1,000 de los focos incandescentes, en prueba normalizada. Es decir, 3 horas prendidas y 20 minutos apagadas, en forma continua a tensión controlada hasta alcanzar dichas 10,000 horas. La condición indicada en las pruebas para certificar el cumplimiento de esta especificación, establece que al menos un 50% de las lámparas sometidas a prueba continuarán en operación al término de la misma.

En la práctica, las sobretensiones y apagados múltiples repercuten en la vida tanto de la lámpara fluorescente como del foco incandescente, por lo que en ambos casos puede presentarse disminución de la vida útil, con relación a la especificada.

La duración de las lámparas fluorescentes compactas es una de las ventajas importantes al comparar económicamente ambas fuentes de iluminación.

Se tiene conocimiento de lámparas fluorescentes que suministran iluminación en períodos diarios prolongados o en uso continuo (sin apagar), lo cual ha permitido obtener una vida útil de más de 20,000 horas.

Además, considerando al balastro como elemento individual, éste tiene una vida de 30,000 a 40,000 horas que, para sistemas separables lámpara-balastro, cuando se utilizan 4 horas diarias o menos no es conveniente adquirir ya que la diferencia de costo con una lámpara integrada a valor presente es mínima, debido a que dicho sistema de 2 piezas tiene un sobreprecio del 20% y el costo de la sola lámpara es aproximadamente del 50% del valor de la lámpara integrada, además de la posibilidad de que aparezca una mejora tecnológica sustancial en los años futuros que origine la obsolescencia de los mismos sistemas separables.

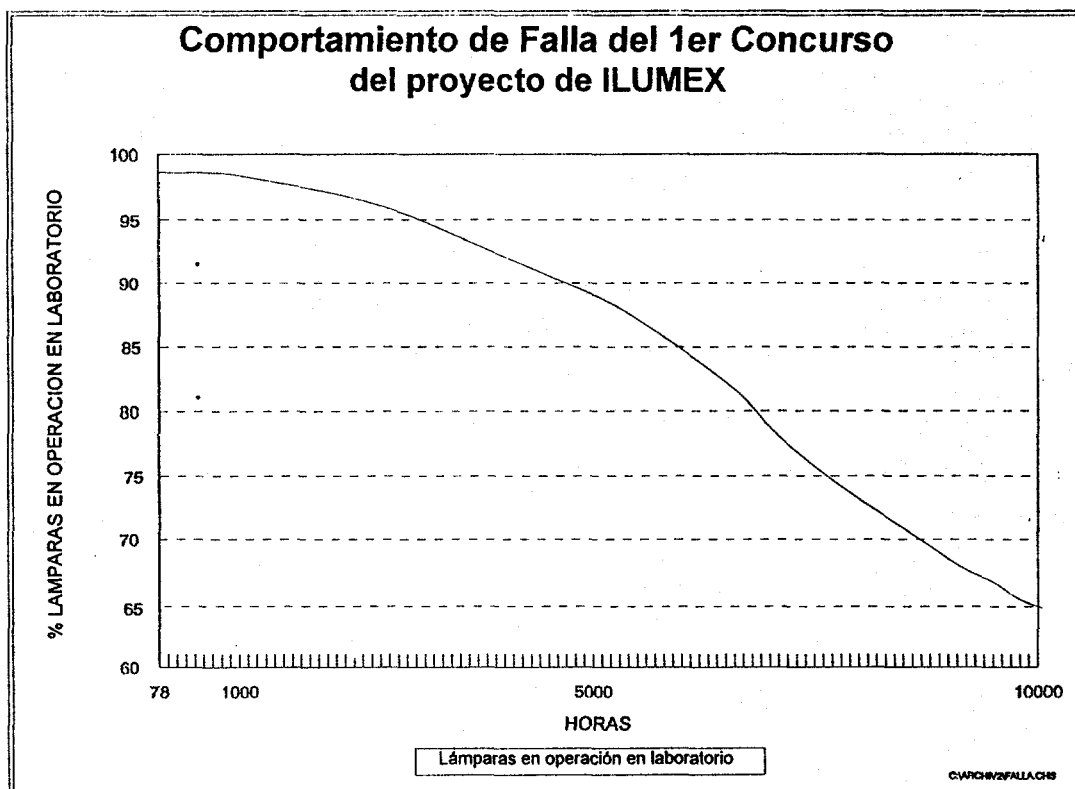
A continuación se presenta el número de lámparas falladas, el tiempo en el que fallaron y tipo de falla, a una muestra de 20 lámparas de cada modelo (tabla 1), resultado de las pruebas de vida útil llevadas a cabo en el Laboratorio de Alumbrado Público del DDF:

TABLA 1. FALLA DE LAMPARAS

NUEVO LEON 15 W		NUEVO LEON 20 W		NUEVO LEON 23 W		JALISCO 15 W		JALISCO 20 W		JALISCO 23 W	
Hrs	Tipo falla	Hrs	Tipo falla	Hrs	Tipo falla	Hrs	Tipo falla	Hrs	Tipo falla	Hrs	Tipo falla
1704	Cir. Potencia	72	Cir. potencia	2596	Lámpara	7224	Lámpara	4104	Lámpara	1556	Lámpara
1704	Cir. Potencia	72	Cir. potencia	2596	Lámpara			4296	Lámpara		
4900	Soldadura	4756	Lámpara	2812	Lámpara			5016	Lámpara		
6052	Cir. Potencia	5092	Lámpara	3532	Lámpara			5496	Lámpara		
8164	Soldadura	6340	Lámpara	4704	Lámpara			5688	Lámpara		
8164	Soldadura	7564	Lámpara	4872	Lámpara			6000	Lámpara		
9052	Lámpara	8404	Lámpara	6220	Lámpara			6864	Lámpara		
9916	Cir. Potencia	8596	Lámpara	7396	Lámpara			7320	Lámpara		
		9412	Lámpara	8284	Lámpara			7388	Lámpara		
		9916	Lámpara	9580	Lámpara			7464	Lámpara		
								7608	Lámpara		
								8276	Cir. Potencia		
								8976	Lámpara		
8 falladas (1 lámpara, 7 balastos) Aprobada		10 falladas (8 lámparas, 2 balastos) Aprobada		10 falladas (10 lámparas) Aprobada		1 fallada (1 lámpara) Aprobada		13 falladas (12 lámparas, 1 balastro) NO Aprobada		1 fallada (1 lámpara) Aprobada	

Si consideramos el total de lámparas probadas en el Laboratorio (120), su comportamiento a través del tiempo de las que continuaron en operación se indica en la gráfica No. 1

GRAFICA N°. 1



2. MANTENIMIENTO DE LA FUENTE LUMINOSA

La alta vida útil de las lámparas fluorescentes podría dejar de ser importante si existiera una gran depreciación lumínica, que a través del tiempo los niveles de iluminación fueran insuficientes, razón por la cual, como característica de calidad se han especificado lámparas que a las 1,000 horas su flujo luminoso sea 90% o más de su flujo inicial. Se menciona este período en particular, por ser donde ocurre el mayor decaimiento luminoso.

Sin embargo, durante la prueba de vida útil se realizaron pruebas de flujo luminoso a 1000, 5000 y 10,000 hr. a tres muestras de cada modelo, cuyos resultados se muestran en la tabla 2, cuyos valores porcentuales se refieren a los obtenidos a 100 hr.:

TABLA 2. FLUJOS LUMINOSOS

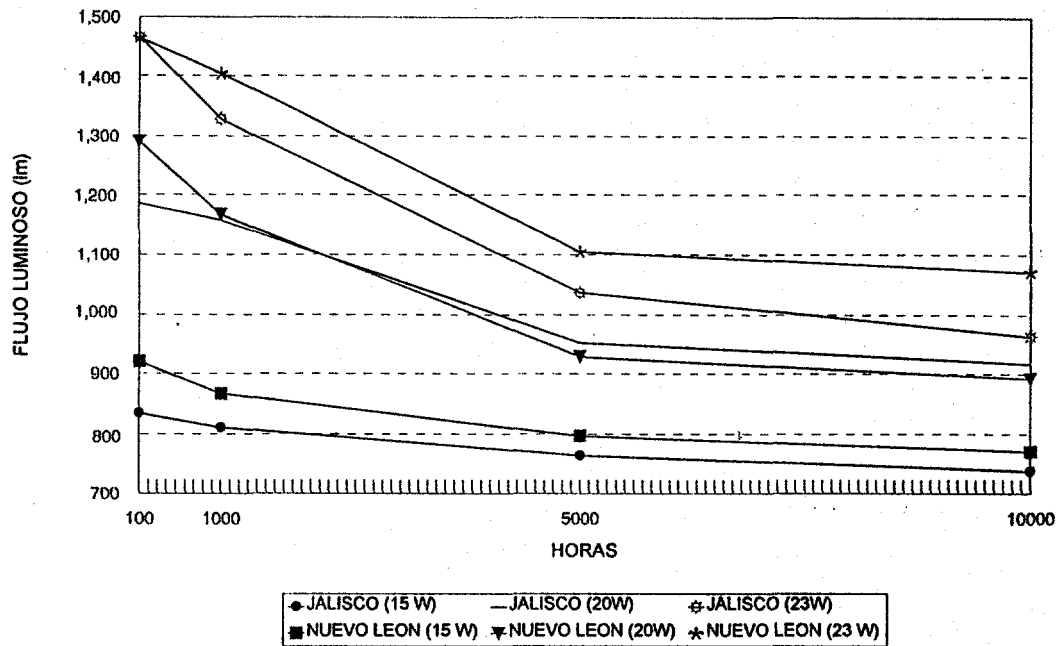
Lámpara	100 Hr.		1,000 Hr.			5,000 Hr.		10,000 Hr.	
	lm	%	lm	%	CUMPLEN ESPECIFICACION C.F.E.	lm	%	lm	%
Nuevo León 15 W	919.0	100	865.33	94.15	SI	794.60	86.46	768.00	83.56
Nuevo León 20 W	1290.6	100	1166.66	90.39	SI	927.00	71.82	891.46	69.07
Nuevo León 23 W	1465.3	100	1405.00	95.88	SI	1104.66	75.38	1069.36	72.97
Jalisco 15 W	832.6	100	808.66	97.12	SI	761.66	91.47	736.26	88.42
Jalisco 20 W	1185.0	100	1157.33	97.66	SI	950.33	80.19	916.00	77.30
Jalisco 23 W	1466.6	100	1327.66	90.52	SI	1034.66	70.54	961.23	65.54

Es importante hacer notar que para una vida de las lámparas de 5000 y 10,000 hrs. no existe norma alguna que especifique la depreciación lumínica máxima, solo en algunos casos lo indica el fabricante como dato de su producto.

De los resultados anteriores, en la gráfica 2, se aprecia el comportamiento de los lúmenes a través del tiempo de los 6 modelos de lámparas, y en la gráfica 3, el comportamiento porcentual de dichos modelos.

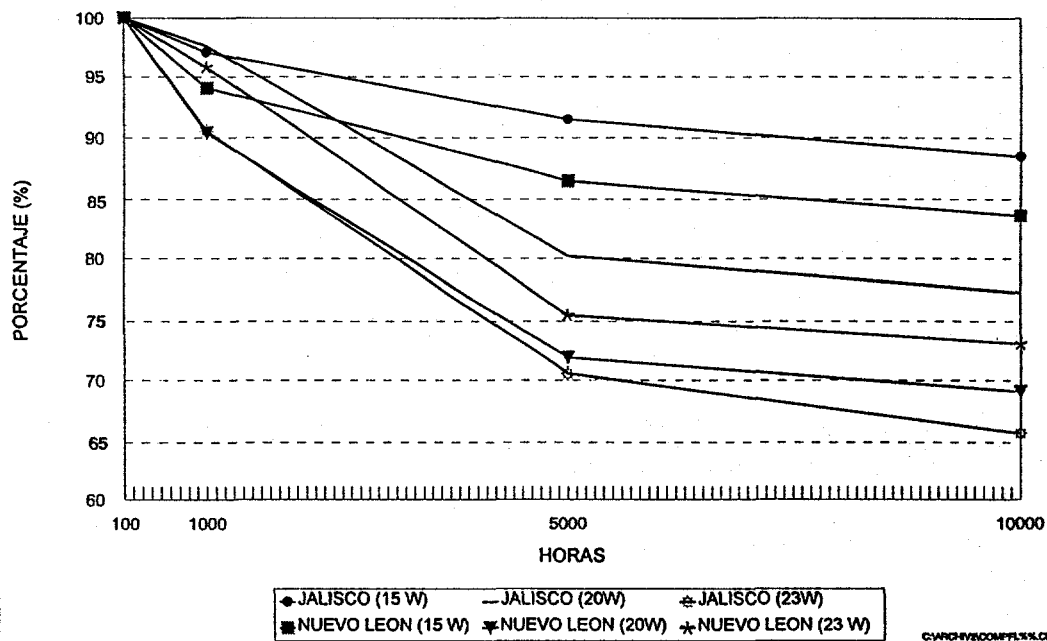
GRAFICA N° 2

Comportamiento del Flujo Luminoso en función del tiempo de lámparas fluorescentes compactas del proyecto ILUMEX



GRAFICA N° 3

Comportamiento del Flujo Luminoso en función del tiempo de lámparas fluorescentes compactas del proyecto ILUMEX



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las pruebas de vida útil resultaron satisfactorias excepción de las lámparas de 20 W de Jalisco; fuera de la de 15 W de Nuevo León cuyas fallas fueron en su mayoría en el balastro, los demás modelos sus fallas ocurrieron en la lámpara misma. En cuanto al flujo luminoso, a las 10,000 hr. las lámparas presentaron de un 65.54 al 88.42 % de su luminosidad inicial, siendo la de menor reducción la de menor potencia (15 W de Jalisco) y la de mayor reducción la de mayor potencia (23W de Jalisco).

Los resultados de mantenimiento de flujo luminoso a las 10,000 horas arrojan diferencias notables a diferentes capacidades de lámparas (superiores al 20%), se espera que próximos estudios a realizarse nos permitan contar con mayores elementos a fin de proponer la normalización de un valor mínimo en este concepto.

BIBLIOGRAFIA

Reportes Nos. LAP95G06/C y LAP95F07/C del Laboratorio de Alumbrado Público del DDF propiedad de Comisión Federal de Electricidad.

AHORRO DE ENERGÍA EN EDIFICACIONES A TRAVÉS DE DISEÑO ARQUITECTÓNICO

Aníbal Figueroa Castrejón

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco
División de Ciencias y Artes para el Diseño
Laboratorio de Arquitectura Bioclimática (LAB)
Tel-fax 723-5972 Email fca@hp9000a1.uam.mx

Resumen

El presente trabajo señala los problemas que tienen las edificaciones actuales en su diseño arquitectónico y las alternativas que se presentan para mejorar su habitabilidad y consumo energético, haciendo referencia a los casos nacionales y al entorno de socioeconómico de nuestro país.

Antecedentes

El consumo de energía en las edificaciones es cada vez mayor, debido a múltiples factores entre los que destacan el aumento de la población; el empleo de aparatos y herramientas que consumen energía; el número, tamaño y complejidad de las edificaciones

Los consumos energéticos en los espacios habitables se concentran de manera directa en la energía eléctrica y el gas. De manera indirecta, en el uso de servicios e infraestructura (transporte, bombeo de agua, recolección y tratamiento de basura, etc.). Ocasionalmente, se emplean a nivel urbano otros energéticos como la leña para cocinar o los combustibles líquidos para plantas de emergencia, motores, etc.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es señalar alternativas y experiencias relacionadas al consumo de energía en las edificaciones habitables y el diseño arquitectónico.

El diseño y planificación de un espacio influye de manera determinante en su desempeño energético, primordialmente en los aspectos de planificación del sitio, climatización (ventilación, calefacción o refrigeración natural y/o mecánica), iluminación (natural y artificial), selección de materiales, operación y mantenimiento de los inmuebles.

Aspectos Básicos

Steve Szokolay señala un punto importante en el consumo energético de los espacios habitables: es deseable que todos los habitantes tengan una vivienda digna con niveles de calidad de vida altos, pero una condición fundamental para que esto ocurra es el entender que los números tanto de población como de disponibilidad energética deben ser finitos. De otro modo el problema no tiene solución.

"uno puede observar el hecho de que la población humana esta creciendo exponencialmente, nos llevó algunos millones de años alcanzar los mil millones a principios del siglo XIX, después se duplicó en cerca de cien años, pero se ha triplicado en solo los últimos cincuenta años. El control de población no es el tema (de esta ponencia), pero desde mi punto de vista, es una condición para nuestra supervivencia"

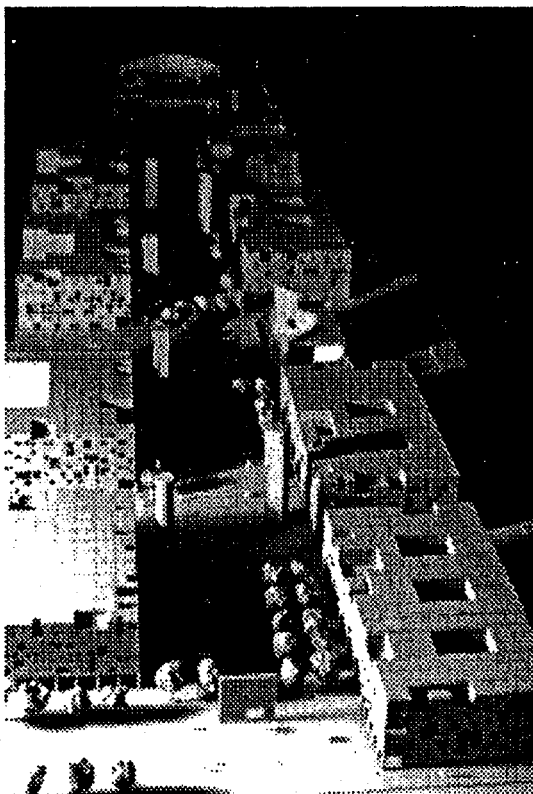
Este fenómeno es crítico en muchas partes del mundo, y sobre todo en los países subdesarrollados. En México conlleva a condiciones de pobreza a una gran parte de la población, lo que a su vez produce como resultado que los habitantes no cuenten con los recursos para poder costear la energía que necesitan para vivir. Por poner solo un ejemplo, en el Municipio de Tepotzotlán la población creció en un 46.3% en un lapso de solo diez años (de 1980 a 1990).ⁱⁱ

Otro antecedente que no podemos ignorar es el hecho de que muchas herramientas y aparatos manuales han sido reemplazados por aparatos mecánicos y eléctricos. Asimismo, se han creado una nuevas tecnologías fuertemente dependientes de la energía (particularmente eléctrica). Esto da por resultado que necesitemos en los hogares y los sitios de trabajo mas energía y de mejor calidad.

Aún cuando es difícil determinar el impacto de la importación de tecnología en los consumos energéticos, basta señalar que en la mayoría de los hogares nacionales, el principal aparato consumidor de electricidad doméstica es el refrigerador y su en la generalidad de las marcas disponibles en el mercado nacional su capacidad se ha incrementado de 8 y 10 pies cúbicos a 40 o mas en menos de diez años.ⁱⁱⁱ

Planificación del sitio

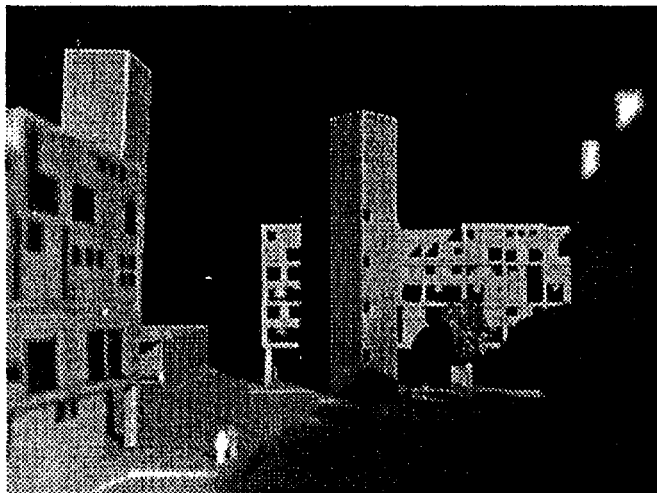
Sin lugar a duda, el aspecto mas importante de ahorro de energía desde el punto de vista arquitectónico es la planificación del sitio, ya que esta implica consideraciones de: orientación, forma general de la edificación (envolvente, cubierta, relación superficie útil-superficie expuesta), asoleamiento, obstrucciones de otros elementos como edificios y vegetación, control de viento, control de ruido, etc.



Fotografía No.1
Propuesta para un Desarrollo Urbano en la Ciudad de México

Esta planificación se puede limitar exclusivamente al lote a desarrollar o hacer extensiva a una zona o región. No hay duda que este segundo enfoque produce mejores resultados que el solo tratar de remediar los factores adversos que se producen en un predio. En este sentido, ha sido particularmente interesante el trabajo conjunto de asociaciones de colonos, autoridades municipales, estatales y federales con instituciones de educación en investigación, para citar un caso real, en la actualidad en la UAM se continúa con un trabajo de ahorro energético, recursos e imagen urbana para la zona poniente del Municipio de Atizapán de Zaragoza.^{iv}

La planificación urbana y arquitectónica permite hacer un uso mas racional de la superficie disponible y dar a los diferentes espacios habitables condiciones favorables para su correcto desempeño energético. Sin embargo, esta planificación debe ir acompañada de una normatividad adecuada que fomente un diseño lógico -y por tanto economizador- desde el punto de vista de energía, infraestructura y servicios.



Fotografía No.2
Torre de Agua, Desarrollo Urbano en la Ciudad de México

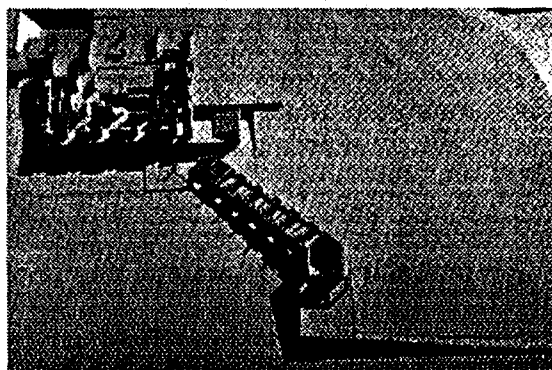
Para ello, debe cambiar nuestro concepto de comunidad y de espacio: los desarrollos humanos deben funcionar en ciclos mas cerrados: racionalizar el consumo de energía y recursos, particularmente de agua; tratar adecuadamente y reintegrar al medio ambiente los desechos sólidos, líquidos y gaseosos; reducir los consumos energéticos indirectos particularmente los de transportación con una mejor zonificación de actividades, etc.

Uno de los problemas que hemos enfrentado a lo largo de mas de quince años de trabajo, es que no existen estímulos fiscales o económicos para aquellos que desean economizar. Por el contrario, políticas como la "cuota mínima" de consumo de agua hacen que quien la desperdicia pague hasta cuatro veces menos por el metro cúbico que quien la cuida al máximo.^v

Climatización

Debido a su ubicación geográfica, México es un país dominado por los climas cálidos, tanto secos al norte del Trópico de Cáncer como húmedos en la mayoría de nuestros extensos litorales. En estos climas, el diseño de los espacios determina su habitabilidad y desde luego la cantidad de energía que consumirán para hacerlos confortables.

Los aspectos mas importantes de climatización en un diseño arquitectónico son: el tamaño, forma y orientación de las superficies acristaladas; la disposición y uso de los espacios interiores; la ubicación y forma de las superficies operables de los vanos para ventilación; la selección de materiales y procedimientos constructivos para los muros y las cubiertas; el empleo de elementos arquitectónicos de climatización como son pórticos, aleros, remetimientos, volados, parteluces, pérgolas, invernaderos, sótanos, áticos, etc.



Fotografía No.3
Maqueta de Estudio
Arquitectura Tropical con Ventilación Natural y Mínimo Asoleamiento

Es profundamente contradictorio que se construyan torres de cristal (incluso pasadas ya de moda) en ciudades como Culiacán, Villahermosa o Mexicali. Asimismo, que se repitan los diseños de hospitales, unidades habitacionales de interés social, sucursales bancarias, etc. que se diseñan para las regiones templadas y luego se reproducen indiscriminadamente en todo el país. Sin duda, esto es lo peor que se puede hacer en términos energéticos y llegan al extremo de ser simplemente inhabitables, además de costosas. Por citar un ejemplo, las viviendas construidas para los trabajadores en Chemuyil, Quintana Roo son usadas solo como cimiento para una vivienda tradicional maya (de paja) que se construye arriba.

El diseño arquitectónico de una edificación debe dar prioridad a los sistemas de ventilación, calefacción y/o refrigeración natural, y si es necesario, considerar a los dispositivos mecánicos como auxiliares para conseguir condiciones saludables y confortables en el interior. Este conocimiento ha estado presente en la rica arquitectura vernácula de nuestro país. Por otra parte, desde hace ya casi cuatro décadas^{vi} se han estudiado sistemáticamente diversas estrategias de climatización natural entre las que destacan el enfriamiento evaporativo, la humidificación pasiva, los sistemas de ventilación forzada, la inercia y masividad térmicas, los dispositivos de control y/o ganancia solar, etc. Todos ellos se engloban dentro del término "Arquitectura Bioclimática" que no es otra cosa sino diseño con sentido común.

Es importante destacar que aplicando un criterio racional al diseño arquitectónico se pueden reducir los consumos energéticos de una manera muy significativa (50% e incluso más). Un caso claro de esta problemática es el noroeste del país donde el principal gasto doméstico es la refrigeración de aire (aire acondicionado) con aparatos portátiles (tipo ventana) ineficientes y mal aislados. Estos aparatos se instalan en casas pobremente orientadas y construidas con materiales inadecuados, así que aún cuando los habitantes gastan una buena parte de su ingreso en energía eléctrica (con un fuerte subsidio) no tienen condiciones interiores adecuadas y su calidad de vida es mala.

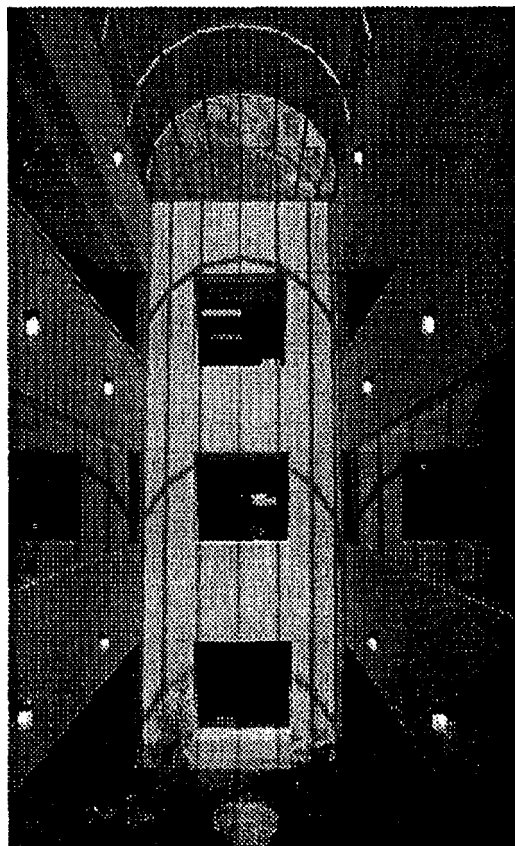
Iluminación

Otro aspecto fundamental en las edificaciones es la iluminación. A partir del siglo XX, el uso de la iluminación artificial se ha generalizado, a tal grado, que hoy en día muchos espacios se diseñan para ser iluminados exclusivamente con lámparas eléctricas. Es práctica común que las ventanas de los edificios de oficinas son ocupadas por los "privados" de los ejecutivos, dejando a los demás usuarios en total dependencia con los sistemas de iluminación artificial.

Existen muchas razones para revertir esta práctica, tal vez la mas importante no sea energética, sino fisiológica: nuestros ojos están hechos para ver con luz natural, por ello su sensibilidad responde las longitudes de onda de ésta. La mayoría de las fuentes artificiales de iluminación emiten energía en longitudes de onda muy distintas a aquellas de la luz visible, ocasionando que una gran parte de la energía se transforme solamente en calor y no en luz.

Por otro lado, la calidad de la iluminación natural no puede ser equiparada con ninguna fuente artificial, por lo que tanto la temperatura de color como la calidad cromática se alteran al emplear lámparas como fuente de iluminación para actividades humanas.

Con esto, no se pretende menospreciar las virtudes de la iluminación artificial, sino enfatizar que los edificios se deben diseñar para iluminarse naturalmente y que los sistemas artificiales solo deben ser usados como complemento para determinadas actividades diurnas y para iluminar los espacios durante la noche.

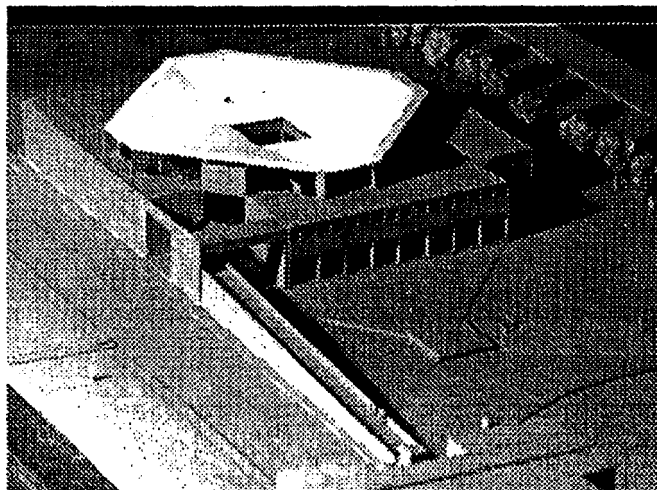


Fotografía No.4
Centro de Computo UAM-Azcapotzalco
Patio Central para Iluminación Natural de Oficinas

Si aplicásemos este criterio la reducción del consumo eléctrico en algunos géneros de edificio podría llegar a ser hasta del 70%. Un ejemplo del empleo de la iluminación natural es el recientemente concluido Centro de Computo de la UAM-Azcapotzalco, este edificio de 5,000 m2 puede operar con buenos niveles de iluminación con la mayoría de sus luminarias apagados.

Selección de materiales,

Con frecuencia menospreciamos la importancia que tiene la selección de materiales constructivos y acabados en el desempeño final de una edificación. Tal pareciera que solo se toma en cuenta el costo inicial de inversión y con ello no se valora el costo de operación y mantenimiento, así como los niveles de confort higro-térmico, lumínico y acústico de sus ocupantes. La selección de cada uno de los materiales que intervienen en la construcción es fundamental para su desempeño total. Así, en algunos casos será recomendable tener una construcción ligera, pero bien aislada; mientras que en otros lugares nos conviene favorecer el empleo de materiales masivos que provoquen un amortiguamiento y retardo térmicos.



Fotografía No.5
Proyecto de Mercado para la Ciudad de México

El color, textura, acabado y resistencia de los recubrimientos tanto exteriores como interiores es también muy importante, ya que de ellos depende la cantidad de energía que una edificación absorbe, refleja o transmite y la manera en la que ésta energía se distribuya hacia el interior del inmueble en forma de calor y de luz. Por ello, es fundamental que se seleccionen los materiales y acabados idóneos para el buen desempeño energético de la edificación.

Operación y mantenimiento de los inmuebles.

Posiblemente el aspecto menos comprendido del diseño de las edificaciones son los costos de operación y mantenimiento que lleva implícito cualquier inmueble. Si estos costos los vinculamos a aspectos energéticos, veremos que tanto el consumo eléctrico, como el de gas doméstico representan erogaciones importantes en el conjunto de las ciudades. De la misma manera, el costo real de la energía tanto en términos económicos como ambientales nos obliga a reflexionar sobre la urgencia de un uso más racional.

Debemos construir edificaciones que consuman la menor cantidad de energía posible, ya que esto reduce directamente los costos de operación (al reducir su demanda) y mantenimiento (al reducir su uso). Asimismo, es primordial instalar la tecnología más adecuada para cada caso incluyendo en la evaluación de factibilidad el costo directo más el gasto de operación y mantenimiento en la vida útil del equipo.

En el caso del gas, es perfectamente factible reducir su consumo para calentamiento de agua a través de colectores solares planos. Esta tecnología ha sido extensamente probada en muchos lugares del mundo, e incluso se ha vuelto un requisito en países como Israel y Grecia. Las condiciones climáticas de una parte del territorio nacional son idóneas para estos dispositivos, que requieren solamente de un poco más de difusión y una mejor oferta por parte de los fabricantes.^{vii}

Conclusiones

Algunas edificaciones en nuestro país tienen más de un siglo. Fueron construidas en una época en la que los energéticos no eran tan fácilmente accesibles, por ello no dependen para su operación de grandes cantidades de energía. Por otra parte, la mayoría de las construcciones de nuestras ciudades han sido hechas en los últimos cincuenta años con un entorno energético muy favorable de bajo costo y amplia oferta. Ello ha ocasionado edificaciones absurdas, pobremente construidas y mal adaptadas a su entorno climático y físico, lo que conlleva los problemas que se mencionaron anteriormente.

La crisis de los años 70's fue una clara advertencia de cuan dependientes somos de la energía y particularmente del petróleo. Las edificaciones y las ciudades -que son su resultado- son los grandes consumidores de recursos energéticos. Debemos tomar una actitud mas racional y práctica frente a su diseño, ya que de ello depende el que continuemos habitándolas por mucho tiempo mas.

ⁱ Szokolay, Steven V. The Environmental Imperative, PLEA '97, Conference Proceedings, Vol.1, Kushiro, Japon, 1997.

ⁱⁱ Plan de Desarrollo Municipal, Tepotzotlán, Estado de México, 1993

ⁱⁱⁱ En el programa de Uso de Energía en las Edificaciones de la UAM, el Dr. Eduardo Campero realiza actualmente con su equipo trabajos para conseguir esta caracterización de consumo.

^{iv} Figueroa, Fuentes y Rodríguez. Estudio de Normatividad para La Zona Esmeralda, Municipio de Atizapán de Zaragoza, Estado de México. Ed. UAM, México 1994.

^v ver Memorias del XVII Seminario ATPAE. Figueroa, Aníbal. Evaluación a dos años de Operación de la Casa Bioclimática "La Luna". México, 1996.

^{vi} Posiblemente uno de los primeros en destacar la importancia de los problemas energéticos en las "sociedades modernas" fué Víctor Olgyay en su famoso libro *Design with Nature* de 1965

^{vii} idem nota "V", sobre la evaluación de operación y factibilidad económica de un colector solar plano a dos años de operación.

HABITABILIDAD, ENERGÍA Y MEDIOAMBIENTE: UNA PROPUESTA HOLÍSTICA PARA LA VIVIENDA EN MÉXICO

Ing. Joel Antonio Triana Espinosa
Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación
Energética, A.C. Sección Laguna
Fco. I. Madero No. 117 Sur, Torreón, Coah. 27000
Tel: 01 (17) 18-45-01 Fax: 01 (17) 17-08-49
e-mail: atpac@hp9k.itesm.lag.mx

Ing. José Carmelo Montes Jiménez
Comisión Federal de Electricidad - División Norte
Subgerencia de Distribución, Blvd. Miguel Alemán y
Guanaceví, Gómez Palacio, Dgo. 35000
Tel: 01 (17) 50-00-80 Fax: 01 (17) 50-03-36
e-mail: jmontes@cfe.gob.mx

Resumen

Se enfatiza la indivisible interrelación dinámica entre los conceptos de energía, ecología, economía, confort y **bienestar** que deben tenerse presentes al evaluar integralmente el costo de la vivienda. Se señala la importancia de incorporar la **contabilidad ecológica** a la economía convencional para cuantificar los costos energéticos y ecológicos de los materiales utilizados, del acondicionamiento ambiental y del mantenimiento de las edificaciones, realizando un análisis del **ciclo de vida** del inmueble y de los materiales que lo componen.

Se propone el inmediato y radical cambio de mentalidad en los promotores, diseñadores, constructores, vendedores, compradores y moradores de la vivienda, hacia la incorporación de criterios que ante todo, tengan presente la **dignidad de la persona**, otorgándole a la vivienda la cualidad de **habitabilidad**. A través del arte y la ciencia del **diseño ecológico**, particularmente con el enfoque **bioclimático**, aprovechar, utilizar y beneficiarse de los factores geográficos y climatológicos de la región. Con los mismos criterios de diseño, promover el uso de materiales disponibles en la región, no contaminantes, de baja **intensidad energética** y apropiada **inercia térmica**; adecuados al medio del que se trate, tendiendo cada vez más a que sean reutilizables, reciclables y biodegradables.

Se recomienda que los futuros diseños tiendan hacia el concepto **bio-armónico** de la vivienda, considerando que éste tiene como objetivo primario y último el bienestar integral de la persona en los aspectos físicos, psíquicos y espirituales; que le proporcionen un ambiente saludable, que favorece su crecimiento en armonía con el **medioambiente**.

Se insiste en que se respeten y reconozcan las técnicas ancestrales de construcción, las cuales admiten que el hombre forma parte de un macrocosmos con el que debe interactuar **holísticamente**.

Se proponen algunos indicadores o parámetros para evaluar energética, ecológica, económica y socialmente la calidad de la vivienda en México, así como algunas líneas de acción complementarias.

Hábitat

Medio geográfico es el conjunto de condiciones y fenómenos cósmicos que existen independientemente de la actividad humana, que no son creados por el hombre y que cambian y varían por espontaneidad propia [1].

Todo ser vivo nace, crece, obtiene sus nutrientes y los elementos para su resguardo y protección; dispone de un espacio donde lleva a cabo gran parte de sus actividades cotidianas. Este espacio constituye gran parte de su mundo y es vital para el bienestar y supervivencia de los individuos y de la especie. Cotidianamente se llevan a cabo actividades de alimentación, descanso, apareamiento, aprendizaje y otras funciones particulares como recreación y convivencia. Cada especie está condicionada y se adapta a un cierto medio geográfico con características definidas como asoleamiento, lluvia, nieve, viento, temperatura y humedad.

Para esta adaptación las especies utilizaron los materiales de los que disponían, transformándolos o adecuándolos a sus necesidades y usos particulares. *El lugar determina el método de obtención de los recursos y el carácter de la actividad económica [2].* El proceso de adaptación, de búsqueda y aprovechamiento de los materiales para construir sus viviendas se desarrolló en forma natural durante milenios, siguiendo los ciclos naturales sin que se afectara en forma significativa el entorno, puesto que eran obtenidos directamente del medio y una vez que se degradaban, eran asimilados por el ciclo biológico. Este proceso evaluado energética y ecológicamente tenía un mínimo impacto en el equilibrio general del medioambiente. El hombre formaba parte integral de los procesos naturales conformando con la naturaleza una unidad armónica. Ejemplo de ello y como herencia cultural de

nuestros antepasados, lo podemos apreciar en los murales de las ruinas de Cacaxtla, Tlaxcala, que muestra al hombre-mazorca, naciendo de la planta del maíz.

Hábitat es el conjunto de relaciones de interdependencia entre el hombre o cualquier organismo y su propio medio [3].

En posteriores etapas de desarrollo se formaron comunidades que desarrollaron características funcionales que no aparecían en los individuos aislados y que sin embargo, seguían sujetas a las mismas condiciones externas. La especie humana era más vulnerable que otras especies. Se generó una interdependencia entre los individuos de la comunidad, apareciendo la sinergia y el espíritu comunitario de solidaridad. El hombre comenzó a utilizar racionalmente los recursos disponibles diseñando viviendas y poblaciones, creando sistemas y diseños constructivos que se adaptaban mejor a las condiciones físicas del medio. Descubrió el beneficio del confort y lo procuró, porque podía desarrollar de mejor manera aquellas actividades que antes, en forma aislada, difícilmente conseguía. Avanzó social y culturalmente; como reflejo de este avance, nació la arquitectura.

La arquitectura nos proporciona satisfacción, no porque busquemos obsesivamente la forma arquitectónica, sino porque la habitamos [4].

La vivienda como industria

Con la aparición del racionalismo como corriente filosófica, aparece paradójicamente el irracionalismo; el hombre ignora a la naturaleza y adopta el falso paradigma de ser el amo de la creación. Pretende ser su dueño absoluto y olvida la sabiduría acumulada durante generaciones en forma de experiencias y observaciones, así como las actitudes de respeto, en ocasiones sagrado, hacia otros seres vivos, hacia los elementos naturales y sus manifestaciones. Crea nuevas formas de transformar y utilizar la energía, pero desdeña el impacto que sus actividades provocan en el medio. En nombre del progreso económico explota irracionalmente los recursos naturales. La vivienda se convierte en un producto de otra cadena productiva, en donde prevalecen la cantidad producida y el precio de venta, sobre la calidad y el confort. Su diseño se adecúa exclusivamente a la comercialización, ignorando sus propósitos y atributos fundamentales.

El proceso de producción masiva de casas, hace a un lado los costos energéticos y ecológicos implícitos en la extracción, transformación, transporte e instalación de los materiales utilizados, así como los costos para la adecuación ambiental y conservación del inmueble. Desconocemos hasta el momento si en México exista alguna evaluación energética y ecológica cuantificable sobre estos procesos, o de normatividad alguna que los integre.

Paradigmas de la vivienda mexicana

Con el fenómeno social de la imitación se copian modelos y diseños de otras latitudes, donde prevalecen diferentes condiciones socio-geográficas. En sociología se conoce como imitación extralógica, aquel hecho *que se propaga por las apariencias agradables, las ocasiones propicias, la eficacia de la propaganda, el prestigio del modelo y no por el valor objetivo de la novedad [5]*. Por ejemplo, tenemos la instalación en México de grandes ventanales como los utilizados en Alemania, donde se registran menores niveles de asoleamiento y que causaron grandes problemas de confort y mayor dependencia de sistemas de enfriamiento de aire.

El modelo se copia ya sea por cuestiones de status, por incapacidad, por negligencia o por interés comercial, evadiendo el arduo pero necesario y gratificante proceso creativo de observación, diseño y experimentación que mejor se adecúa a las condiciones geográficas, climatológicas, sociales, culturales y económicas de un determinado grupo social. *Esta facultad imitativa es mayor, como todas las reacciones, a medida que el proceso reflexivo que critica es menor [6].*

En las circunstancias anteriores, resulta inaceptable el paradigma de que un indicador del progreso social, sea llanamente el número de casas construidas. Evidentemente éstas en ningún momento han sido concebidas en función del lugar específico donde habrán de ubicarse, más aún, serán construidas a lo largo y ancho del país, con toda su diversidad climatológica, en base a un modelo que utiliza, por economías de escala, unos cuantos prototipos basados en otros pocos materiales fundamentales, con algunas variantes poco significativas, olvidando que *todo análisis de fenómenos sociales, que no tome en consideración los factores externos o geográficos, es incompleto [7].*

*... estos modelos estandarizados, disponibles como recetas en los anaqueles, son adoptados inconscientemente y reproducidos en gran escala. El resultado se podría llamar **diseño estúpido (dumb design)**: un diseño que falla al no tomar en cuenta la salud de las comunidades humanas ni la de los ecosistemas, haciendo a un lado los prerequisites de crear un verdadero hogar. La crisis ambiental es también una crisis de diseño [8].*

Por otra parte, el mercado de la vivienda, sólo acepta como sujetos de crédito aquellos inmuebles construidos con los diseños y materiales aprobados por los promotores, desdeñando las condiciones geográficas de la región, así como las necesidades de las personas que vivirán en esos inmuebles. Hace a un lado el proceso creativo de análisis y de diseño para satisfacer una necesidad específica. Otorga a cambio un volumen compuesto de techo, muros, puertas y ventanas, cuidadosamente dispuestas para adecuarse a los métodos de producción en serie y no a las necesidades fundamentales de las personas ni mucho menos para armonizar con el entorno.

Más allá del costo de adquisición

Los resultados de las decisiones que ignoran todas aquellas condiciones geográficas y socioeconómicas tienen graves consecuencias y costos energéticos, ecológicos, sociales y económicos.

Costos energéticos

Por lo que a costos energéticos de la edificación se refiere, deberán comprenderse perfectamente dos aspectos: a) los costos energéticos implícitos en todo el proceso de localización, extracción, transformación y transporte de los materiales para construir la vivienda; b) los costos energéticos asociados para la adecuación ambiental del inmueble.

Algunos estudios demuestran que se utiliza más energía en la fabricación de los materiales para la construcción de una edificación, que la requerida durante varios años para acondicionarla. Estos estudios contabilizan los costos de energía para la fabricación de los materiales utilizados en la construcción, como: acero, concreto, madera, ladrillo, aluminio, vidrio, etc., para la confección de muros exteriores, muros interiores, techos, pisos y ventanas. El costo final de energía, depende considerablemente del tipo y material de muros exteriores, techos y sistema de muros interiores que se utilice. Los costos de energía de una edificación de 9.1 x 10.7 x 3.0 m, pueden variar desde 119,500 a los 721,300 MJ, es decir, desde 18.4 hasta 110.9 barriles de petróleo [9].

Energía intrínseca de algunos materiales de construcción

La energía requerida para producir una tonelada de madera, se estima en 639 kwh; para producir ladrillo se requieren cuatro veces más que para la madera (4M); concreto 5M; plástico 6M; vidrio 14M; acero 24M; aluminio 126M [13].

Se estima que para producir un block de concreto, se requiere de 300 veces más energía que para producir un block de adobe de las mismas dimensiones, secado al sol, además de que generalmente se eliminan los costos de transporte del material [14].

El 40% del consumo de energía en los Estados Unidos se puede rastrear hasta la construcción de edificios, materiales y mantenimiento [15].

La industria del aluminio contabiliza el 1.4 % del consumo anual de energía mundial. La energía intrínseca en el punto de uso de una libra de aluminio es de 103,500 BTU. El aluminio obtenido del reciclaje y de la recuperación de desperdicios, en vez del mineral de bauxita, ahorra un 80% del total del consumo de energía.

Si bien esta información se refiere a lugares ubicados en mayores latitudes, la metodología y los conceptos evaluados son aplicables en nuestro país al señalar que es un asunto que merece mayor atención por parte de los organismos reguladores de la energía, así como de los que reglamentan el uso de los recursos naturales. En México desafortunadamente todavía no contamos con estudios completos a este respecto que proporcionen información confiable y accesible para evaluar el costo energético total de la construcción. Los costos de la energía intrínseca de los materiales y los costos energéticos necesarios para la adecuación ambiental, están determinados por el proceso de diseño del inmueble.

Con los actuales diseños y materiales se puede lograr, en el mejor de los casos, un determinado nivel de confort, a costa de un alto consumo de energía. De igual forma, no tendría sentido hablar de un ahorro de energía si no se logra dicho nivel de confort. En otras palabras, resulta irrelevante el alto o bajo consumo de energéticos, sin referirlo al grado de confort que tal uso de la energía provee a los moradores. Por lo que a energía eléctrica se

refiere, se estima que en la región centro-norte del país, el consumo para acondicionamiento de una vivienda en el verano, es del orden del 50 al 80 porciento del consumo total de la misma, en ese período.

Resulta importante tener siempre presente que toda edificación se comporta como un sumidero de energía, es decir, consume recursos y además, genera residuos. En particular, el inmueble destinado para vivienda, además de lo anterior, generalmente no cumple con su función específica de proporcionar protección, abrigo y confort a sus moradores, por lo que se debe tender a buscar un diseño en donde la magnitud de la relación consumo energético/confort, sea mínima.

Consumo energético en México

El total de los energéticos que se consumieron en nuestro país, durante el año de 1994, fue de 2,103.941 petacalorías (1 petacaloría = 10^{15} calorías).

De este total el 90.7% corresponde a hidrocarburos (incluyendo los utilizados para generación de energía eléctrica a través de termoeléctricas), el 3.7% corresponde a biomasa, el 3.6% electricidad (hidroeléctricas 2.4%, nuclear 0.5%, geotérmica 0.7% y eólica n/s) y carbón 2.0% [10].

La energía que consume el sector residencial constituye el 16.93% del total de energía consumida en el país; el 44.9% es gas L.P., el 34.7% es leña, el 14.1% es electricidad, el 5.7% es gas natural y el resto 0.6% son kerosinas [11].

Dentro del sector eléctrico, 18 millones de usuarios (88.1% del total nacional), consumen el 23.9% del total de la energía eléctrica consumida en México [12]

Costos ecológicos

La ley de la conservación de la energía implica que para obtener la energía requerida para cualquier actividad, se producen deshechos y residuos de diversos tipos y que en muchos casos, en las actuales condiciones, desequilibran o son contaminantes para el medioambiente. Por lo tanto, los costos ecológicos van aparejados con los costos energéticos, aunque con distintas manifestaciones y efectos; y ambos inciden en los costos económicos. Adicionalmente, al término de la vida útil de la vivienda, se tendrá que evaluar el impacto de la disposición final de los materiales utilizados en la construcción.

Resultará que algunos no serán reutilizables, reciclables y/o biodegradables, y que constituirán una fuente de contaminación o de basura en el mejor de los casos. Aquí cabe señalar que los aislamientos sintéticos, pudieran resultar más costosos en términos del binomio energía-medioambiente, si no se agotan previamente las posibilidades de minimizar su utilización o evitarlos, mediante el adecuado diseño.

EMISIÓN DE CONTAMINANTES POR MWh GENERADO [16]

CONTAMINANTE	COMBUSTÓLEO (kg)	GAS (kg)	CARBÓN (kg)
Bióxido de azufre (SO ₂)	18.70	2.85×10^{-3}	8.625
Óxidos de nitrógeno (NO _x)			
Quemadores tangenciales d)	1.15	1.30	-----
Quemadores frontales d)	2.90	2.61	4.90
Bióxido de carbono (CO ₂) d)	2.88	2.85	4.08
Monóxido de carbono (CO) d)	0.08	0.07	0.23
Partículas	1.07	4.75×10^{-3}	1.31 a,b) 28.25 a,c)

Fuente: CFE. Gerencia de Protección Ambiental. Subgerencia de Evaluación de Emisiones.

a) Considerando que el carbón tiene un contenido de 15% de cenizas y 35% de materia volátil.

b) Considerando que se usa un precipitador electrostático con una eficiencia de 95%.

c) Cálculo para una Central sin precipitador electrostático.

d) Estimaciones con base en información de la Environment Protection Agency (EPA).

Si los precios reflejaran los impactos ambientales subyacentes, habría un enorme cantidad de incentivos para diseñar productos que fueran más saludables para el medioambiente. En tal sistema, estos productos serían más baratos en vez de más caros [17].

En un mundo abundante en factores externos que nos afectan, como la lluvia ácida, el calentamiento global y la continua desaparición de parte de la capa de ozono, al minimizarse los costos económicos se maximizan los costos ambientales y sociales que surgen en forma de contaminación, destrucción del hábitat y de enfermedades. Los precios de mercado fallan al no reflejar los costos ambientales que son mayores, porque éstos no se anotan en la contabilidad económica convencional; existen pocos mercados para el aire, para el agua y para el suelo limpios. [18]

Costos sociales

La necesidad de contar con una vivienda de su propiedad y la influencia de la publicidad difundida por los organismos promotores, constructores y vendedores, hacen creer al futuro morador, que el solo hecho de adquirir la construcción que le venden: a) satisfará sus necesidades elementales de abrigo y protección del medioambiente; b) le proporcionará privacidad e independencia; c) le brindará un cierto sentido de pertenencia, y d) avanzará en su status social.

Sin embargo, uno de los aspectos fundamentales a considerar para la adquisición de una casa, es evaluar el grado de confort térmico, higrométrico, acústico, lumínico y de la calidad del aire interior que prevalecerá, así como de que ofrezca condiciones favorables para el bienestar psíquico, social y espiritual de sus moradores. El bienestar de éstos se ve afectado por el diseño del inmueble y por la naturaleza de los materiales utilizados en la construcción, así como por los costos asociados para la adecuación de la vivienda, independientemente de utilizar o no medios mecánicos para su acondicionamiento térmico. Por otra parte, no deben ignorarse los efectos de la exposición prolongada a algunos de los materiales utilizados en la construcción, que también pueden afectar su salud y que habrán de sumarse a los productos de uso común en el hogar, particularmente de desinfectantes, insecticidas, limpiadores, pinturas, pulidores y otros cuya problemática rebasa el alcance de este trabajo.

Asimismo, en climas extremos se requiere de la instalación de ventiladores, enfriadores evaporativos de aire o equipo de aire acondicionado en el verano, así como de diversos tipos de calentadores en invierno. En la mayoría de los casos, el uso de estos equipos, exigidos por el diseño de la vivienda, demanda de un mayor tiempo de utilización o bien, de una mayor capacidad de los mismos para acondicionar el espacio a niveles de confort. Esto repercute en un incremento del consumo de energía, si se compara con el que demandaría una casa bien diseñada [véase *habitabilidad* en página 11].

Diseño es la conformación intencional de materia, energía y procesos para satisfacer una necesidad o deseo: conecta la cultura con la naturaleza a través del intercambio de materia, flujos de energía y de la elección del uso de la tierra [19].

En climas cálidos, los moradores de viviendas **mal diseñadas** y sin acondicionar, están sujetos a incomodidad física constante, que se refleja tarde o temprano en un estado de tensión o irritación, lo cual impide el desarrollo apropiado de las actividades de trabajo, educación, o esparcimiento, favoreciendo las desavenencias familiares que en cierta forma, inducen a la desintegración familiar.

En climas fríos con las deficiencias de diseño arriba expuestas, las pérdidas de calor en la construcción son muy altas, provocando que las bajas temperaturas exteriores se manifiesten en el interior de la vivienda, por lo que se requiere del continuo abrigo de sus moradores y/o del uso de equipos de calefacción. Sin éstos, los problemas de salud se agudizan, se incrementan las enfermedades respiratorias y los padecimientos de las articulaciones u otros.

Por su parte, los materiales aislantes a base de hidrocarburos requieren grandes cantidades de energía para su producción además de que generan grandes cantidades de contaminantes del ambiente. Estos aislantes liberan gases y/o partículas tóxicas, cuyo efecto en la salud está relacionado con el tiempo de exposición. Por otro lado, con el paso del tiempo sus características térmicas se degradan.

No debe sorprendernos que el costo social de un asunto energético, se vea reflejado en un costo adicional para el sector salud, para el sector productivo y principalmente para la economía familiar.

El uso intensivo de equipos de enfriamiento/calentamiento, consume un alto porcentaje de los ingresos familiares. La alternativa de adquirir y utilizar los equipos acondicionadores, para lograr algo de confort, utiliza recursos económicos que de otro modo se podrían invertir en otros satisfactores fundamentales como el de proporcionar

una adecuada nutrición, vestido, educación y actividades recreativas a los miembros de las familia. La desatención a estos satisfactores indudablemente que limita las posibilidades de un adecuado desarrollo social.

Es sumamente complejo y oneroso evaluar y atenuar los costos sociales derivados de los problemas personales o familiares que pudieran resultar de la situación ambiental prevaleciente en la vivienda; de ahí que resulta más sencillo y económico trabajar atinadamente en la fase de prevención.

La gradual dislocación de los antecedentes y raíces tradicionales, así como el alejamiento de la familia y de los lugares familiares, se agravan por la pérdida de identidad y de valores espirituales; las enfermedades urbanas como anonimato, aislamiento y estrés, las han sustituido. Sin ningún sentido de origen o pertenencia, la gente se puede sentir alejada del control de su propia vida y de su propio ambiente. [20].

Costos económicos

De sobra es conocido el principio de ingeniería económica de que un bien se debe evaluar por sus beneficios y costos totales a lo largo de su vida útil y no sólo por su valor de adquisición. Por lo tanto al evaluar el costo de cualquier vivienda, es imprescindible considerar además del costo de adquisición, los costos de adecuación ambiental, los de conservación, así como el costo de oportunidad por asignar recursos monetarios al pago de energéticos para el acondicionamiento de la misma

Para futuras construcciones, es necesario incorporar los principios de la **contabilidad ecológica** para poder hacer un análisis del ciclo de vida de las mismas, que será complementada con los costos de adquisición, adecuación ambiental y de conservación. *La contabilidad ecológica descubre los relativos impactos de las diversas etapas de la actividad económica, desde la extracción de los recursos, durante la fabricación, distribución, venta, consumo y desecho (...), proporciona una precisa medida del impacto ambiental de los diseños al rastrear las variables ecológicas, permitiendo que este impacto retroalimente el proceso de diseño [21]*

En México se acumula un déficit habitacional de 4.6 millones de viviendas, con una demanda agregada anual de 670,000 [22]; estas cifras del déficit de vivienda, así como los consumos energéticos de los diversos materiales para construcción y para acondicionamiento de espacios ya señalados, evidencian el enorme potencial de conservación de energía y de recursos naturales, que estamos obligados a procurar en el momento actual.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL MERCADO POTENCIAL DE LA VIVIENDA EN MÉXICO

Localidad	Total	Mínima	Interés Social	Económica	Media	Residencial
Áreas	Tipo de vivienda					
México, D.F.	186,513	72,740	65,280	27,977	13,056	7,460
Guadalajara	35,796	14,350	12,878	5,519	2,576	1,472
Monterrey	35,245	13,745	12,336	5,287	2,467	1,410
Subtotal	258,554	100,835	90,494	38,783	18,098	10,341
Resto del País	693,770	551,840	97,069	26,262	14,513	4,086
Mercado	1'137,909	773,690	227,361	79,456	39,733	17,659

Fuente: GEA, elaborado con base en información de INEGI y SOFTEC, tabla reproducida tal y como apareció en el periódico *El Financiero*, jueves 13 de marzo de 1997, p.27.

Es necesario, entonces, convertir toda la gama de costos energéticos, ambientales, sociales y políticos, derivados del proceso de la construcción y mantenimiento de edificaciones para la vivienda en nuestro país, a unidades económicas convencionales para visualizar de mejor manera la importancia de atender no sólo la cantidad sino la calidad de la vivienda para cada zona geográfica con sus características climatológicas particulares.

Evaluación integral de la vivienda

Para evaluar integralmente una vivienda, es imprescindible establecer indicadores que correlacionen las variables energía, ecología, economía y bienestar.

Según el boletín *Derecho a la Vivienda*, preparado por el Centro de Asesoría, Capacitación e Investigación Urbana, Casa y Ciudad A.C., Coalición Hábitat México y publicado por el *Movimiento Ciudadano por la Democracia*, la *Comisión de Asentamientos Humanos* y la *Estrategia Mundial de Vivienda hasta el año 2000*, de la Organización de las Naciones Unidas, destacan que el concepto de vivienda adecuada "... significa disponer de un lugar donde poder aislarse si se desea, significa también espacio, seguridad, iluminación, ventilación, infraestructura básica y situación adecuada, en relación con el trabajo y los servicios básicos. Todo ello con un costo razonable".

Atributos de la vivienda

En sociología, la vivienda o morada del hombre está en función del medio geográfico, de los materiales que proporcionan dichos medios, del tipo de población y del modo de vivir [23].

Incorporando este concepto a todo lo anterior, se hace necesaria la búsqueda de diseños, métodos y materiales de construcción que sean por un lado energéticamente más eficientes y que proporcionen --donde sea conveniente-- la inercia térmica adecuada a la construcción, sin tener que utilizar indiscriminadamente materiales aislantes, así como el aprovechamiento de energías alternativas como la solar.

La combinación óptima de estos factores y de los conceptos de **bienestar** y **habitabilidad**, constituye el fundamento esencial de lo que debe ser una vivienda.

Se puede definir el **bienestar**, como el conjunto de satisfactores: a) físicos, donde las condiciones de temperatura, humedad, ventilación, audición y respiratorias, proporcionan al individuo un estado de confort y ambiente propicio para mantener una buena salud y b) psíquicos, aquella condición de desahogo y tranquilidad emocional, que estimulan en el individuo su sentido de pertenencia e interdependencia con el entorno, su conciencia de la realidad y de su potencial de crecimiento armónico e integral.

El concepto de habitabilidad

Para que la vivienda sea adecuada, se requiere que sea habitable.

La *habitabilidad* implica la armónica y saludable relación física y psicológica entre los moradores y su entorno más inmediato.

Una vivienda digna es aquella vivienda que es adecuada para sus moradores.

Dignidad es la cualidad de excelencia y de valor, significa respeto, decoro, distinción y merecimiento. Entonces, la *habitabilidad* es la cualidad que hace a la vivienda digna.

Para que una vivienda sea habitable, es necesario --aunque no siempre sea suficiente-- que esté bien diseñada, porque determinado nivel de habitabilidad, bien podría obtenerse a costa de un extra de energía que se puede evitar o minimizar con un *buen diseño*. El consumo extra de energía está en función de qué tanto se aparte el diseño de la vivienda, de un buen diseño:

Derecho a la vivienda, medioambiente y energía

Los términos utilizados, así como los atributos asignados convencionalmente para designar "vivienda" no satisfacen ninguna de las definiciones, requisitos, cualidades y propiedades que fundamentalmente debiera de incorporar. Con los actuales criterios de diseño de la mayoría de los desarrollos habitacionales de nivel medio y popular, a las construcciones resultantes se les tendría que designar con otro término, puesto que pareciesen pretender en el corto plazo, causar incomodidad, malestar físico y estrés mental y en el largo plazo, quebranto de salud y enfermedad. Estos diseños, además de producir un despilfarro energético y un considerable impacto negativo al entorno, se oponen al desarrollo personal y social.

Es evidente que bajo las condiciones anteriormente expuestas, los postulados de una vivienda digna, contemplados en el Artículo 25.1 de la *Declaración Universal de los Derechos Humanos* y en el Artículo 4o., párrafo 4, de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*, no sólo no se cumplen, sino que los espacios construidos como un conjunto de techos y muros, mal llamados viviendas, en más de una manera, atentan contra los más

elementales derechos de cualquier ser vivo, más aún de las personas. Esta reflexión, por lo tanto involucra el ámbito del derecho y sus implicaciones se extienden por los campos de la ética y de la sociología.

No se podrá lograr el uso racional de la energía, el respeto al medioambiente, ni el pretendido **desarrollo sustentable** --aún con las limitaciones en su acepción e interpretación [24]-- si los diseños de la vivienda obstaculizan el crecimiento armónico de las personas. El sentido común y la enseñanza ancestral de generaciones pasadas nos han demostrado que no podemos --ni debemos-- sustraernos a la influencia del medioambiente y que, de armonizarnos con él, no se requerirían leyes ni declaraciones que paradójicamente hoy nos vemos obligados a entender y cumplir.

Aún cuando representa el 16.93% del consumo nacional de energía de 1994 [25], el sector residencial es relativamente el más ineficiente, principalmente por la ignorancia y/o descuido de los usuarios, además de que es el menos atendido por los programas de eficientización energética. Además, es el sector con más alto consumo específico, debido a los elevados requerimientos energéticos para acondicionar los espacios a que obliga el inadecuado diseño del inmueble. En otras palabras, en verano e invierno se demanda más energía --electricidad, gas, carbón, leña, etc.--, para obtener el mismo nivel deseado de confort, que la requerida por el mismo inmueble construido con un buen diseño.

Hemos logrado un dramático progreso sustituyendo la inteligencia en el diseño por el uso extravagante de energía y materiales [26]

La conexión del diseño

El cambio más significativo en arquitectura del último siglo, ha sido la creciente dependencia de los hogares en infraestructuras tecnológicas centralizadas para el suministro de alimento, combustible, agua, y materiales para la construcción ... un BTU de cada 12 de la producción mundial de energía se utiliza para calentar y o enfriar el total de las edificaciones estadounidenses ... en promedio se requiere tanta energía para calentar y enfriar las edificaciones estadounidenses, durante tres años, como la que se utilizó para construirlos ... una casa promedio utiliza entre 150 y 200 galones de agua por día por habitante ... toda el agua utilizada en los edificios, sin importar el propósito, se convierte en desperdicio y sale por el drenaje. Nuestros sistemas de agua y drenaje están acoplados en serie; literalmente defecamos dentro de nuestros sistemas de agua potable en el nombre de la higiene personal ... la casa promedio produce 2 kilogramos de basura por persona por día, o el equivalente a 2.5-5.0 toneladas por año por hogar. Plásticos, fibras, papeles, madera, vidrio, metal y restos de comida generalmente se tiran en el mismo contenedor de basura. Una gran cantidad de materiales altamente organizados en los canales de entrada, se combinan en una caótica salida y son desechados maximizando el desorden o la entropía [27].

Diseño holístico de la vivienda

La propuesta lógica, necesaria, inmediata y quizá definitiva, que responde positivamente a la problemática ecológico-energética y socioeconómica de la vivienda en México, que favorece y equilibra los factores de salud, bienestar y desarrollo armónico del individuo; protección y resguardo del medioambiente, uso mínimo de energía no renovable, óptimo aprovechamiento de los recursos energéticos renovables, utilización de materiales regionales apropiados, mínimos costos energéticos y ecológicos para la extracción, producción y transporte de los materiales para la construcción, facilidad de utilización de materiales reciclados, aprovechamiento de los materiales al término de su vida útil al degradarse y reintegrarse al medio del que fueron extraídos, ... es la de adoptar el **diseño ecológico** en su más amplia concepción.

Diseño ecológico se puede definir como *cualquier forma de diseño que minimiza los impactos ambientales destructivos, mediante su integración con el proceso viviente. Es una disciplina de diseño integral y ecológicamente responsable. Ayuda a conectar los esfuerzos dispersos en o de la arquitectura verde, agricultura sostenible, ingeniería ecológica y otras disciplinas.(...) Coloca a la ecología en primer plano del diseño, propicia medios específicos para minimizar el uso de energía y materiales, reducir la contaminación conservando el hábitat, mejorando las comunidades, la salud y la belleza. Proporciona una nueva forma de pensar acerca del diseño [28].*

No esperemos resolver los problemas debidos a condiciones faltas de confort sólo por medios naturales. Los elementos ambientales de que nos servimos, tienen sus limitaciones. Pero cabe esperar que el arquitecto construya el edificio de forma tal que saque el mayor partido de las posibilidades naturales. [29]

Sobre el tema, ya desde 1969, el internacionalmente reconocido arquitecto, diseñador y ecologista Malcolm Wells, fue de los primeros en proponer una arquitectura sensible y de bajo impacto al entorno, para lo cual desarrolló un sistema de calificación para evaluar el diseño de un edificio, tomando en cuenta quince aspectos. La calificación varía desde +1500 hasta -1500, dependiendo del consumo de energía, generación de ruido, contaminación, desechos que produzca, etc. [30]. Véase tabla titulada *Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de las Edificaciones*, en la pág. 21.

Más recientemente, el *American Institute of Architects*, ha promovido entre el gremio una advertencia más profunda sobre asuntos de materiales, energía y toxicidad, al publicar *Making a Difference: An Introduction to the Environmental Resources Guide* [31], que es un ejemplo del pensamiento del análisis del ciclo de vida, dentro del contexto de la arquitectura:

- 1.- ¿Cuánta energía sumergida crean los materiales del edificio durante su vida entera?
- 2.- ¿Cuánta energía se requiere para fabricar el material y los productos relacionados?
- 3.- ¿Cuánta energía se utiliza para transportar el material desde su fuente, hasta el sitio del proyecto?
- 4.- ¿Se utilizan fuentes de energía renovable o sostenible para la fabricación de los materiales?
- 5.- ¿Existen otras alternativas que consuman menos energía y de mayor duración para la misma aplicación?
- 6.- ¿Se dispone de fuentes locales para los materiales?
- 7.- ¿Se pueden reciclar y reutilizar los materiales al final de su vida útil como parte de la estructura?
- 8.- ¿Qué tan fácil o difícil es reciclar los materiales?
- 9.- ¿Existen otros sistemas de construcción que ofrezcan mejores oportunidades para recuperación de recursos al final de la vida del edificio?
- 10.- ¿Qué tanto mantenimiento requiere el material durante su vida en la estructura?
- 11.- ¿Qué tan energéticamente intensivo es el régimen de mantenimiento?
- 12.- ¿Se generan durante el mantenimiento, productos de desecho o residuales?
- 13.- ¿Requiere el material de cubiertas especiales o de tratamientos que pudieran presentar peligros a la salud o a la seguridad de las personas?
- 14.- ¿Si los materiales producen gases durante y después de su instalación, ¿cómo se ve afectada la calidad del aire en el interior?
- 15.- ¿Son significativos para el ambiente los desechos peligrosos sólidos, líquidos o gaseosos producidos durante el proceso de su fabricación?
- 16.- ¿Cómo se comparan las cantidades de desechos, resultantes de la manufactura o fabricación e instalación, con las de materiales alternos?

Propuestas

Diseñar y construir viviendas *como si la gente importara* [32].

Se proponen las siguientes estrategias y líneas de acción:

1. Reconocer que existe una continua interdependencia dinámica entre medioambiente, uso racional de la energía, confort, desarrollo comunitario y bienestar social.
2. Incorporar al costo de venta de un inmueble sujeto a acondicionamiento, el costo determinado a través de la **contabilidad ecológica**, del uso y del aprovechamiento de recursos naturales, cualquiera que estos sean, donde quiera que estén, y para lo que se utilicen.
3. Establecer un impuesto que grave proporcionalmente la ineficiencia energética integral y que, en consecuencia bonifique la eficiencia.
4. Establecer que un determinado porcentaje mínimo de energía para el enfriamiento o la calefacción de los espacios, sea obtenido a partir de energía solar y/o de otras fuentes renovables.
5. Establecer en los nuevos desarrollos habitacionales y comerciales, el uso obligatorio de calentadores solares de agua.

6. Limitar la instalación de aislamientos sintéticos hasta un determinado porcentaje máximo del total requerido, *una vez que el adecuamiento bioclimático haya sido optimizado* para reducir al mínimo los consumos energéticos por acondicionamiento.
7. Hacer obligatorio utilizar el diseño bioclimático para el proyecto de cualquier edificación.
8. Decretar la constitución de la figura de perito y/o auditor en eficiencia energética integral de las edificaciones.
9. Acelerar la implantación de las normas sobre eficiencia energética integral para edificaciones no residenciales, propuesta como NOM-008-ENER-1995 *Eficiencia Energética Integral en Edificios no Residenciales*, además de emitir e implantar la correspondiente para edificaciones residenciales. La ineficiencia energética resultante de la falta de normalización o de su cumplimiento tiene costos macro y microeconómicos, que finalmente paga el usuario final y que repercute negativamente en el medioambiente.
10. Establecer una superficie mínima de área verde por metro cuadrado de vivienda, así como de una superficie mínima de área verde en porciento del área fraccionada para cada desarrollo habitacional.
11. Ordenar el desarrollo urbano, de forma tal que favorezca en las edificaciones, la ganancia solar en el invierno y la reduzca en el verano.
12. Para propósitos bioclimáticos, reglamentar el *derecho al sol* para cada vivienda. Determinado en base a la trayectoria aparente de sol para cada franja de latitud, señaladas en intervalos de 5° cada una, en que se divida la República Mexicana tomando en cuenta la proyección de sombra de edificaciones contiguas.
13. Limitar gradualmente hasta eliminar la producción y el uso de pinturas, telas, alfombras, solventes, etc., así como de otros materiales que emiten sustancias tóxicas o que ponen en riesgo la salud de los ocupantes de un inmueble.
14. Reglamentar el reciclado y el aprovechamiento de las aguas grises.
15. Rescatar y retomar las enseñanzas acumuladas durante milenios del concepto de **arquitectura vernácula**, que han sido relegadas, despreciadas y sustituidas en aras de un "desarrollismo", que hace a un lado las necesidades fundamentales del hombre.
16. Hacer obligatorio un valor mínimo de inercia térmica para determinadas orientaciones de muros y/u otro tipo de acumulador de energía térmica, en función de la climatología local.
17. Incorporar como obligatoria la asignatura de *Diseño Bioclimático* cuando menos en cuatro semestres de las carreras de arquitectura, ingeniería civil, ingeniero constructor, ingeniero arquitecto y de dos semestres en otras carreras técnicas afines.
18. Hacer obligatorio para los fraccionadores plantar y para el municipio conservar, cuando menos un árbol por cada 150 metros cuadrados de superficie urbanizada en vía pública. Los árboles deberán ser los adecuados para las condiciones de la región y sembrados con criterio bioclimático.
19. Calificar y certificar el valor de la eficiencia energética para el acondicionamiento de toda edificación, en función del lugar donde se ubique, de manera similar a las que se otorgan a lámparas, balastos, motores, refrigeradores, bombas, etc., para que el ocupante, vendedor, promotor, constructor, diseñador y los organismos de fomento y financiamiento de la vivienda, tengan elementos para evaluar los costos de acondicionamiento en que se incurrirá con el uso del inmueble.
20. Preparar y difundir las cartas de radiación solar horaria anual para las distintas orientaciones y para todo el rango de latitudes de la República Mexicana.

Igualmente se propone el establecimiento de indicadores y normas que evalúen o consideren los aspectos siguientes:

1. Costo de la energía requerida para acondicionamiento ambiental de la vivienda durante su vida útil/costo de adquisición de la vivienda, determinado a valor presente y entendiendo como acondicionamiento ambiental: a) el uso de medios mecánicos complementarios al diseño original, b) el costo de adicionar aislamiento de cualquier tipo y c) las modificaciones al diseño original.
2. Índice de intensidad energética por metro cuadrado construido. Es la suma de todos los tipos de energía utilizada para extraer, procesar, transportar e instalar cada uno de los diferentes materiales utilizados en la construcción de la vivienda.
3. Establecer un valor máximo que relacione el consumo energético para el acondicionamiento de la edificación con el confort de la persona. Para este último se tienen como referencias: *La carta de confort de la ASHRAE*, *el diagrama bioclimático de Olgyay* o *el diagrama psicrométrico de B. Givoni*.

4. Determinar valores máximos y mínimos de ganancia de calor por efecto solar directo, para el acondicionamiento en verano e invierno respectivamente, por metro cuadrado construido, en función de la climatología local. En watts por metro cuadrado de irradiación solar directa por cada metro cuadrado de construcción.
5. Establecer valores máximos de acristalamiento transparente para las fachadas norte, este y oeste, así como una superficie mínima vidriada para la fachada sur. En todos los casos el índice deberá ser metro cuadrado de cristal/metro cuadrado de muro, respetando las condiciones establecidas en el punto anterior.
6. Establecer el número máximo de renovaciones de aire/hora/persona, desde el enfoque energético, para ambas estaciones de invierno y verano, balanceándola con los requisitos mínimos establecidos en la normatividad en materia de ventilación.
7. Incorporar en la legislación en materia de salud, energética, ecológica y laboral, que los espacios ocupados deben de cumplir simultáneamente con los parámetros de temperatura y humedad determinados para la zona de confort establecidos en el punto 21.
8. Vigilar que en los inmuebles se observe el cumplimiento de la reglamentación referente a los valores máximos de exposición de partículas suspendidas y gases contenidos en el aire interior derivados de los materiales de la construcción, así como del nivel de ruido transmitido a través de los muros y componentes exteriores de la vivienda.
9. Establecer parámetros que determinen la óptima relación iluminación natural/iluminación artificial.
10. Establecer para la vivienda, que la superficie, la altura y el volumen mínimos de construcción por persona, respeten el concepto de *habitabilidad*.
11. Implantar un índice de intensidad energética por cada metro cuadrado construido de la vivienda, cuyo valor sea el que mejor equilibre los factores de mínimo impacto al medioambiente, mínimo consumo de energía y máximo confort. Para el caso de la energía se deberá sumar la utilizada en los procesos de: a) prospección, b) extracción, c) transporte del material en bruto, d) transformación, e) transporte del producto, f) instalación de los materiales de construcción del inmueble y g) la energía que requerirá éste durante su vida útil para el acondicionamiento ambiental que ofrezca las condiciones de confort según las características climatológicas de la región donde se ubique.
12. Establecer valores de resistencia térmica mínima para marcos de puertas y ventanas, así como para puertas exteriores y/o utilizar métodos alternativos para mitigar las pérdidas o ganancias térmicas por conducción, como pudieran ser los vestíbulos o cámaras de aire entre espacios.
13. En el proyecto de casa habitación, localizar las fuentes de calentamiento o enfriamiento de aire y agua tan cercanas como sea posible a sus puntos de utilización y hacer obligatorio el uso de aislamiento para las tuberías de agua caliente en toda su trayectoria en todas las instalaciones, y para las de agua fría en regiones donde exista la posibilidad de congelamiento.
14. Establecer para toda vivienda, una ganancia y una pérdida de calor máximas determinadas en watts/m^3 grado-día, de enfriamiento y de calefacción.

Conclusión

Una vivienda debiera ser más que un techo sobre las cabezas de sus moradores; más que un mero albergue; más que un espacio de descanso y recreación; más que una estadística en las cifras económicas, más que un domicilio familiar ...

Para que una edificación merezca el calificativo de *vivienda*, se requiere que sea *habitable*. Puede hacerse confortable, con un buen diseño o con un mal diseño; la diferencia la establecerá el consumo de energía con sus consecuencias y secuelas: ecológicas, sociales y económicas.

Es urgente incorporar el concepto de diseño ecológico a todo proyecto de construcción de vivienda para conformar un hábitat energéticamente eficiente y ecológicamente responsable, además de económico, que preserve y fomente la salud. Una vivienda habitable es requisito imprescindible para el crecimiento armónico integral de las personas y de la sociedad.

Se requiere contabilizar los costos de la energía intrínseca de los materiales de construcción y minimizar la relación consumo energético/confort.

El déficit de vivienda, que aparece como un lastre en términos absolutos, es una magnífica oportunidad para beneficiarnos con los enormes ahorros energéticos y económicos, beneficios sociales y preservación del

medioambiente, si a todas esas construcciones, mas las que se edifiquen, se diseñaran, incorporando los criterios y conceptos aquí expuestos.

Todo se resume en que se diseñen y construyan casas ... como si la gente importara.

Referencias

- [1] *Introducción a la Sociología*. Felipe López Rosado. Editorial Porrúa. 1972. p.127.
- [2] *Ibidem*.
- [3] *Manual de Arquitectura Solar*. Roberto García Chávez et al; Ruth Lacomba compiladora. Editorial Trillas 1991. p.13.
- [4] *Cuerpo, Memoria y Arquitectura*. Kent C. Bloomer & Charles Moore. Primera edición. Editorial H. Blume, Barcelona, 1982.
- [5] *Introducción a la Sociología*. Felipe López Rosado.
- [6] *Sociología General*. Mariano Cornejo. Lima, Perú.
- [7] *Civilización y Clima*. E. Huntington. Citado en [2], p.99
- [8] *Ecological Design*, Sim Van der Ryn & Stuart Cowan. Island Press, 1996. p.10.
- [9] *Total Energy Costs in Building Construction and Operation*. Y.C. Wong and H.J. Sauer. *Thermal Insulation, Materials and Systems for Energy Conservation un the '80s*. ASTM STP 789. American Society for Testing and Materials, 1983.
- [10] *Balance Nacional de Energía 1994*. Secretaría de Energía, 1995. p.13
- [11] *Ibidem* p.33
- [12] *Revista Fide*. Año 5 número 21. Octubre-diciembre 1996. p.47

Guía para la Evaluación del Impacto Ambiental de las Edificaciones

Crea aire puro	Crea agua pura	Aprovecha el agua de lluvia	Produce sus propios alimentos	Crea suelos fértiles	Utiliza energía solar	Almacena energía solar	Crea silencio	Aprovecha sus desechos	Se mantiene a sí misma	Sigue el ciclo de la naturaleza	Crea hábitat para la vida silvestre	Crea hábitat para los humanos	Modera el clima	Bello
----------------------	----------------------	---	--	----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------	------------------------------	---------------------------------	--	---	---	-----------------------	-------

100 % Totalmente	
75 % Mayormente	
50 % Parcialmente	
25 % Ligeramente	
0 % Nulo	
25 % Ligeramente	
50 % Parcialmente	
75 % Mayormente	
100 % Totalmente	

Destruye el aire puro	Destruye el agua pura	Desperdi- cia el agua de lluvia	No produce sus propios alimentos	Destruye los suelos fértiles	Desperdi- cia la energía solar	Consumo combusti- bles fósiles	Destruye el silencio	Arroja sus desechos sin reutilizar	No se mantiene a sí misma	Rompe el ciclo de la naturaleza	Destruye el hábitat de la vida silvestre	Destruye el hábitat para los humanos	Intensifica el clima	Destru- la bellez
--------------------------------	--------------------------------	---	--	---------------------------------------	---	---	----------------------------	--	------------------------------------	--	---	---	----------------------------	-------------------------

Dibuje barras verticales para evaluar qué tan bien califica la estructura que llama casa. © Malcolm B. Wells, 1969

ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS PARA LOGRAR CONDICIONES DE CONFORT HIGROTÉRMICO EN DISEÑOS ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

Nestor A. Mesa A. y David Morillón G.

Especialización en Herliodiseño
U. A.C.P. y P.
División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura
Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria, México, D. F.
Tel: (5) 448 60 00 Ext. 2063
Fax: (5) 448 63 28
email: conaeu3e@rtn.net.mx

RESUMEN

En este documento se presenta el análisis de las herramientas, comúnmente utilizadas en Diseño Bioclimático, para lograr el confort higrotérmico de espacios arquitectónicos, el análisis se realizó mediante estudios de campo y experimental, para diversas actividades deportivas, llevadas al cabo en espacios diseñados para ello. En la parte experimental, se tomaron mediciones de temperatura y humedad relativa internas, de los distintos espacios en los cuales se desarrollaban las actividades deportivas, tales como calistenia, danza, judo, lucha, trabajo con pesas, boxeo, basquetbol, voleibol, gimnasia, aerobics y esgrima. Al mismo tiempo se encuestó a sus ocupantes acerca de la sensación térmica que experimentaban al realizar dichas actividades. Los resultados obtenidos en las encuestas se compararon con los reportados por otros investigadores, mediante tablas y diagramas psicométricos, como valores óptimos para el confort térmico. Como conclusiones se tuvo que los métodos gráficos y matemáticos analizados, tienen como base una actividad sedentaria, por lo cual, al utilizarlos para el diseño espacios, de distintas actividades, se presentan condiciones de disconfort, con la consecuente necesidad de aire acondicionado, lo cual implica consumo de energía y el pago de la misma, y por último, es necesario realizar una adaptación de dichas herramientas, esto es considerar la actividad que se realizara en los edificios.

INTRODUCCIÓN

La actitud básicamente analítica que se ha venido asumiendo ha permitido identificar y abordar, aun aisladamente, algunas variables fundamentales que pudieran intervenir en el problema del control bioclimático. Para poder hacer operativos los conocimientos adquiridos, se hace necesario ahora tratar de sintetizar los datos y relacionar las variables. Las problemáticas de partida y las finalidades explícitas o implícitas de este tipo de investigaciones han variado históricamente, pero se pueden detectar dos grandes tendencias. La primera se centra en el concepto de confort térmico, tratando de definirlo estadísticamente en función de los márgenes de oscilación de las variables básicas y de sus correlaciones. Los trabajos adscribibles a esta tendencia suelen referirse a las necesidades de los individuos vestidos ligeramente y en reposo, o realizando un trabajo sedentario. Las aproximaciones cuantitativas al concepto de confort térmico se caracterizan en general por su sencillez de expresión. No es difícil imaginarse que la práctica que subyace a este conocimiento es sobre todo la de los ingenieros climatizadores del aire y que el problema -

tipo que se trata de resolver es el de garantizar, al menos en sus variables fácilmente cuantificables, un entorno climático aceptable para un conjunto de trabajadores del sector terciario.

La segunda tendencia se entra en concepto de Stress o malestar térmico, el cual trata de definir y cuantificar objetivamente relacionando los hechos fisiológicos con las variables básicas mediante fórmulas empíricas que admitan una verificación experimental. La expresión de estas fórmulas no siempre adopta formas simples y fáciles de manejar; todas ellas aspiran a constituir modelos del funcionamiento fisiológico objetivo que permitan emitir predicciones.

Los individuos cuyo comportamiento biotérmico desea estudiar esta última tendencia se hallan frecuentemente en situaciones climáticas límite, ya sea por la intensidad de la actividad que desarrollan o por la de las variables climáticas del entorno. La práctica social que determina esta orientación es básicamente la de los ergónomos y admite variantes según que los fines sean civiles o militares.

El problema-tipo que tratan de resolver es el predecir las condiciones de resistencia y productividad de un individuo sometido a circunstancias climáticas adversas.

Mientras la primera tendencia enfática el aspecto subjetivo del confort (trata de predecir cómo se sentirán determinadas personas), la segunda insiste en la objetividad de los hechos fisiológicos (trata de predecir aquello que fisiológicamente sucederá, al margen de los contenidos de conciencia).

Ambas corrientes se han abocado en general al estudio de los mecanismos de defensa frente al calor. La lucha contra el frío no parece preocupar mucho a los investigadores en la medida en que existen para ello recursos obvios, eficaces y fácilmente aplicables: incrementar el ejercicio físico, logrando así niveles más altos de producción de calor metabólico, aumentar el grado de arropamiento, limitando así la dispersión térmica. Además el hombre sabe desde tiempos inmemorables que cualquier combustión cede calor. Un simple fuego puede así modificar a su favor las condiciones microclimáticas adversas, mientras que la producción deliberada de frío es una conquista muy tardía -y todavía hoy muy costosa- de la humanidad.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Las mediciones higrotérmicas se realizaron con un censor termométrico digital con una precisión de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, dentro del rango de los 0°C a 40°C , durante los meses de Agosto y Septiembre de 1996, en la franja horaria comprendida entre las 9.00 y 12.00 hs.

Por lo variado de las actividades deportivas consideradas para la investigación, se estipuló, como tiempo mínimo de desarrollo, intervalos de prácticas deportivas de 45 minutos.

Las mediciones y encuestas se realizaron dentro de los 10 minutos finales del desarrollo de las actividades, para garantizar que las personas llegaran a un estado estable de producción de calor. Los entrevistados, 350 personas en total, respondieron una breve encuesta acerca de si se sentían confortables térmicamente, y de no ser así, si su sensación era de frío o calor. La edad de los mismos oscilaba entre los 10 y 35 años, de características físicas variadas, en lo general, disímiles a las tomadas como base, en el estudio que dieron como resultado las Gráficas Bioclimáticas.

Todos los encuestados eran residentes estables de la ciudad de México, hecho que garantiza la aclimatación de los mismos al clima de dicha ciudad. Además de esto, todas las personas entrevistadas realizan actividad física de forma regular.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Del total de los encuestados, si bien se encontraban en ambientes dentro de los rangos óptimos de temperatura y humedad propuestos por Olgyay y Givoni, entre otros autores, sólo el 40% de los mismos manifestó el estado de confort. Del 60% restante, el 7% tenía una sensación de frío, y el 53% sufría de calor.

Además los resultados obtenidos (tabla 1), se compararon con los rangos higrotérmicos de confort, recomendados como óptimos por estudios realizados en Rusia (ver tabla 2). Si bien los datos aportados por esta publicación, están por debajo de los rangos higrotérmicos

obtenidos en las mediciones, podrían acercarse bastante a la sensación óptima de confort, manifestada en nuestro estudio puesto que el 53% de los encuestados sufrían de calor, es decir podrían haber desarrollado su actividad, bajo temperaturas más bajas y así, facilitar la pérdida de la alta producción de calor de su cuerpo.

Tabla 1 Resultados obtenidos en las encuestas

Actividad	Desarrollo de la actividad en min.	Producción Energética en Kcal /m2.h según Fanger	Vestimenta en CLO	Temperatura ambiente interior en °C	Humedad relativa interior en %	Número de ocupantes	Sensación (número de personas)		
							Frío	Bueno	Calor
Calistenia	60	170	1	22	60	52	4	18	30
Danza	60	160	1	23	55	133	12	121	
Judo	120	400	0.8	23	55	11	1		10
Lucha	60	435	0.8	23	55	2		2	
Pesas	90	350	1	24	52	11		3	8
Boxeo	120	360	0.5	24	52	30		2	28
Basquetbol	100	380	0.7	25	51	18	1		17
Voleibol	100	250	0.7	25	51	12			12
Gimnasia	60	180	1	25	45	79	7	2	70
Aerobics	60	300	0.7	20	68	8			8
Esgrima	40	350	1	24	55	11			11
Totales						367	25	148	194

Tabla 2 Rangos higrotérmicos para distintas actividades deportivas

Actividad	Observación	Temperatura	Humedad
Salas deportivas en general	Depende de la densidad y nivel de la clase	15 °C	50%
Juego de pelota		14 - 16 °C	
Salas de lucha		16 - 18 °C	35 - 60%
Salas de gimnasia		16 - 20 °C	35 - 60%
	Novatos	17 °C	
	Sujetos bien entrenados	14 - 15 °C	
Atletismo		menor de 25 a 28 °C	menor de 70 - 84%
Boxeo y lev. de pesas	Entrenamiento vel. del aire 0.5 m/seg	15 °C	35 - 65%
	Competencias	16 - 25 °C	
Salas de esgrima		12 - 16 °C	
Albercas	Temp. piso y bancas 31 °C	Temp. agua 26 °C	55 - 65%
	Temp. agua adultos	26 - 28 °C	
	Temp. agua niños	28 - 30 °C	

Fuente: Higiene de la cultura física y el deporte. A. Laptev y A. Minj. Ed. Ráduga 1987.

Otra fuente que se tomó para la comparación, fueron los algoritmos de P.O. Fanger del "Predicted Mean Vote" (PMV). Fanger a través del cálculo del PMV, hace una estimación de la sensación térmica, que presentará un individuo teniendo en cuenta esencialmente los valores de temperatura ambiente, velocidad y humedad del aire, incidencia de la temperatura radiante, valor medida en clo de la vestimenta que porta el individuo, y estará además en función de la actividad que esté desarrollando, medida en kcal/hs m2.

Ecuación de Fanger para el cálculo del PMV

$$PMV = \left(0.352 \cdot e^{-0.042 \frac{M}{A_{du}}} + 0.032 \right) \left[\frac{M}{A_{du}} (1 - \eta) - 0.35 \left(43 - 0.061 \frac{M}{A_{du}} (1 - \eta) - p_a \right) - \right.$$

$$\left. 0.42 \left[\frac{M}{A_{du}} (1 - \eta) - 50 \right] - 0.0023 \frac{M}{A_{du}} (44 - p_a) - 0.0014 \frac{M}{A_{du}} (34 - t_a) - \right.$$

$$\left. \left[3.4 \cdot 10^{-8} f_{cl} \left\{ (t_{cl} + 273)^4 - (t_{rm} + 273)^4 \right\} \right] - f_{cl} \left[2.05 (t_{cl} - t_a)^{0.25} \right] (t_{cl} - t_a) \right]$$

Donde:

M/A_{du}: Relación entre la razón metabólica y el área de Du Bois

n: Eficiencia mecánica externa del cuerpo

p_a: Presión de vapor

t_a: Temperatura ambiente

f_{cl}: Relación entre el área de la sup. del cuerpo vestido, al área del cuerpo desnuda

t_{cl}: Temperatura exterior de la ropa

t_{rm}: Temperatura media radiante

h_c: Coeficiente convectivo de transferencia de calor

Los resultados del cálculo del PMV, se cotejaron con la escala de valores de sensaciones térmicas (ver tabla 3), propuesta por P.O. Fanger, en donde 0 (cero), es el valor considerado como de sensación neutra, es decir en el cual una persona se encuentra en equilibrio con el medio que lo rodea. De ahí en más los valores negativos son los correspondientes a las sensaciones de frío, mientras que los positivos a las de calor.

Tabla 3 Rangos de la Sensación Térmica en base al PMV propuesta por P.O. Fanger

PMV	Sensación Térmica
-3	Frío
-2	Fresco
-1	Ligeramente fresco
0	Neutro
+1	Ligeramente cálido
+2	Cálido
+3	Bochornoso

*Fuente: "Thermal Comfort" P.O. Fanger. Danish Technical Press. 1970 Copenhagen

Para el análisis de cada una de las actividades deportivas seleccionadas, primero se identificaron las características constructivas de los espacios, en los cuales se realizan, las cuales están enmarcadas dentro de los estándares de construcciones deportivas, considerando sus medidas, materiales y acabados. Al momento de la toma de datos de temperatura y humedad, la incidencia de la ventilación y la radiación solar, eran insignificantes, por ser ambientes carentes o estar todas sus aberturas cerradas y, en el momento de la medición, el sol no hacía incidencia directa. Cabe aclarar que dichos factores se consideraron en los datos de temperaturas y humedades interiores medidos.

Los datos obtenidos para voleibol y basquetbol, ambas disciplinas se desarrollaban en el mismo espacio, los datos se encontraban dentro de los rangos óptimos, según Givoni (gráfica 1), pero a pesar de esto, de los 30 encuestados, ninguno manifestó confort térmico, 29 de ellos presentaban una sensación de calor mientras que el restante, sentía el ambiente ligeramente frío.

En las figuras 1 y 2 se observa que los datos de temperatura y humedad se encuentran dentro de los rangos óptimos de confort, pero de acuerdo con los resultados de la investigación de campo (tabla 1), solo los del grupo de danza presentan una sensación de confort térmico, mientras que en la mayoría de los otros grupos predominaba una sensación de calor.

En resumen, al comparar nuestros resultados de campo contra los métodos gráficos de Givoni y Olgyay, del total de las personas encuestadas en el muestreo, solo el 40% respondió que se encontraba confortable térmicamente, del grupo restante, el 53% de los mismos presentaba sensación de calor.

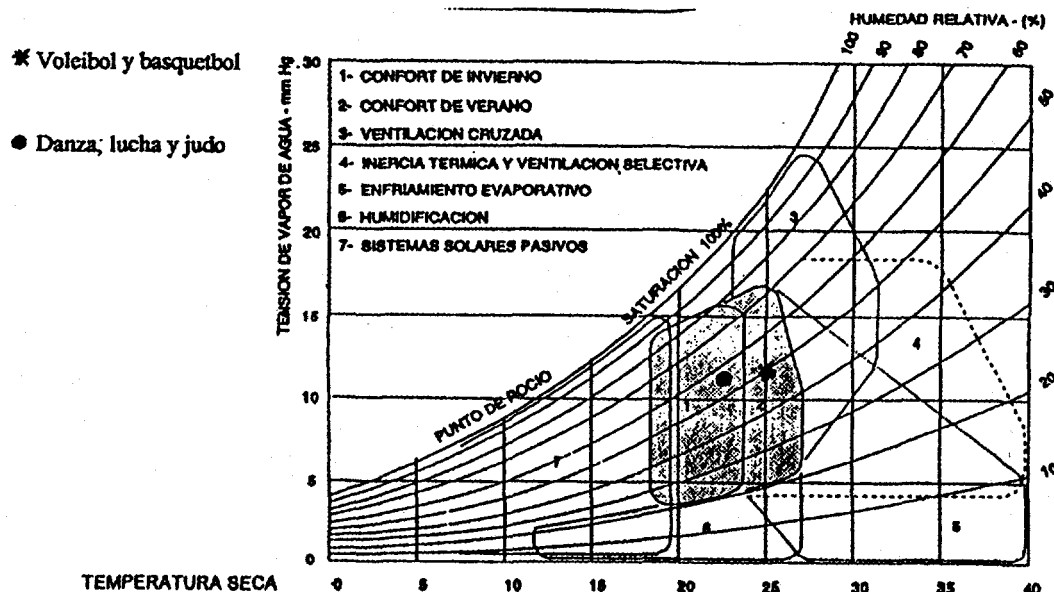


Figura 1. Inclusión sobre la gráfica bioclimática de Givoni, de los datos obtenidos en las encuestas con los grupos de voleibol, basquetbol, danza, judo y lucha.

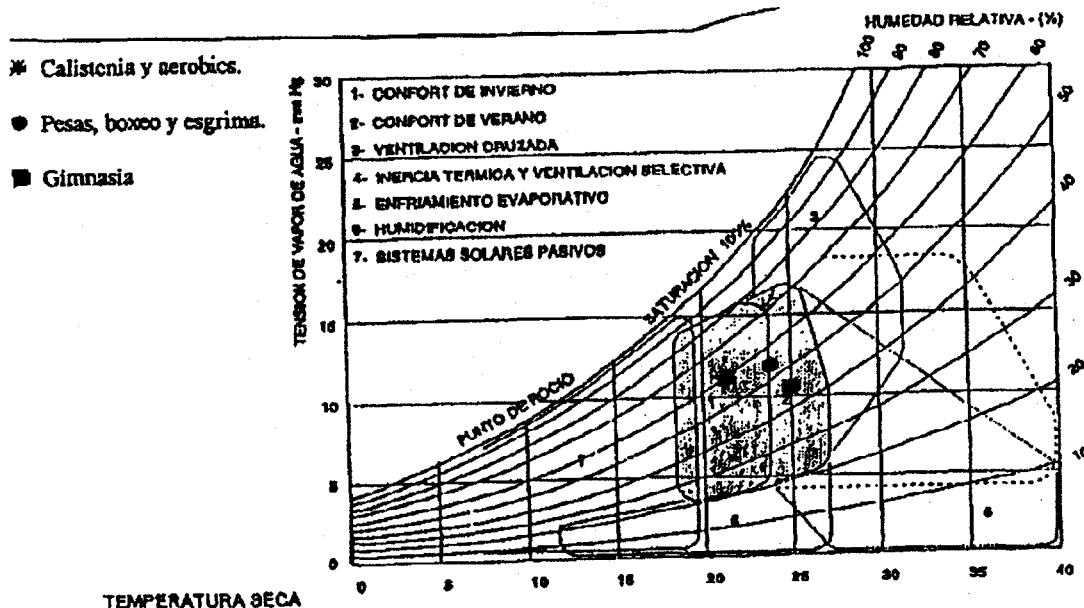


Figura 2. Inclusión sobre la gráfica bioclimática de Givoni, de los datos obtenidos en las encuestas con los grupos de calistenia, pesas, boxeo, gimnasia, aerobics y esgrima.

EVALUACIÓN TEÓRICA

Un análisis de los resultados obtenidos a través de los algoritmos de P.O. Fanger (tabla 4), muestra que para las actividades deportivas analizadas salvo los casos de calistenia y danza, la sensación térmica imperante en los grupos de experimentación era de calor (bochornoso), punto que coincide, con los datos obtenidos en las encuestas.

En los datos de la tabla 4 se agregó, además de los distintos grupos en estudio, el caso de una persona en reposo, bajo condiciones higrotérmicas óptimas, según los rangos de confort propuestos por distintos autores. Al analizar los datos obtenidos para este caso, se observa cierta disimilitud con la posible realidad, ya que a 25° C, con un clo de vestimenta, el común de la gente, no sentiría frío.

Tabla 4 Resultados del PMV obtenidos de la utilización de los algoritmos de P.O.Fanger, comparados para cada caso, con la tabla 3.

Actividad	Temperatur a medida en campo	Hum.rel. medida en campo	M/Adu por P.O. Fanger	Clo	PMV	Sensación según tabla 3
Calistenia	22	60	170	0.7	0.74	Confort
Danza	23	55	160	0.7	0.71	Confort
Judo	23	55	400	0.8	6.20	Calor
Lucha	22	55	435	0.8	6.69	Calor
Pesas	24	52	350	0.6	5.31	Calor
Boxeo	24	52	360	0.5	5.52	Calor
Basquetbol	25	51	380	0.7	6.00	Calor
Voleibol	25	51	250	0.7	3.27	Calor
Gimnasia	25	45	180	0.8	1.69	Calor
Aerobics	20	68	300	0.7	3.24	Calor
Esgrima	24	55	350	0.9	5.52	Calor
Reposo	25	50	50	1	-2.27	Frio

Para tratar de entender el porqué de los resultados tan disímiles de la tabla 4, se hicieron otros análisis para tratar de llegar a las condiciones de temperatura en las que todas las actividades, se acerquen a valores dentro de los rangos de confort térmico, establecidos por Fanger, obteniéndose los resultados de la tabla 5.

Si bien se pudo mejorar la situación empírica en alguno de los casos, con los algoritmos de Fanger, no se tiene una buena respuesta frente a casos de actividades de alta producción calórica, pues a pesar de bajar empíricamente la temperatura ambiente en casi todos los casos a 8° C, las sensaciones térmicas siguen siendo de calor, mientras que, por el contrario, en el caso de la persona en reposo, hubo que elevar la temperatura a 30°C, para llegar a valores de confort térmico.

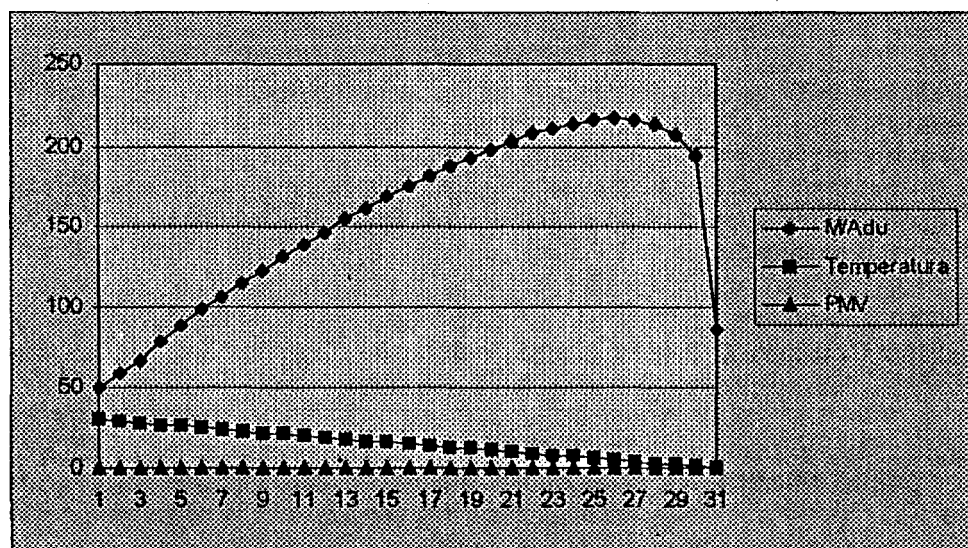
Los algoritmos propuestos por Fanger para el cálculo de lo que denomina P.M.V. (Voto Medio Predicho), brindan, según el autor, una idea anticipada, en una escala psico-física, de la sensación de confort que experimentará un grupo grande de personas, ante diversas condiciones ambientales, de vestimenta y actividad, hecho que, comparando las tablas 1, 3, 4 y 5, no queda totalmente establecido.

Tabla 5 Ajuste de la temperatura, para obtener el grado de confort térmico, en cada actividad.

Actividad	Temperatura empírica	Hum.rel. medida en campo	M/Adu por P.O. Fanger	Clo	PMV	Sensación según tabla 3
Calistenia	22	60	170	0.7	0.74	Confort
Danza	23	55	160	0.7	0.71	Confort
Judo	8	55	400	0.8	3.40	Calor
Lucha	8	55	435	0.8	4.08	Calor
Pesas	8	52	350	0.6	1.99	Ligero calor
Boxeo	8	52	360	0.5	1.85	Ligero calor
Basquetbol	8	51	380	0.7	2.81	Calor
Voleibol	14	51	250	0.7	0.94	Confort
Gimnasia	18	45	180	0.8	0.36	Confort
Aerobics	8	68	300	0.7	1.43	Calor
Esgrima	8	55	350	0.9	2.68	Calor
Reposo	30	50	50	1	0.21	Confort

En la gráfica 3 se hizo una relación, con datos obtenidos de cálculos realizados con los algoritmos de Fanger (tabla 6), entre el M/Adu necesario para distintos valores de temperatura ambiente, para mantener el PMV en valores de neutralidad (0.035 a 0.063) y el valor de vestimenta clo en 1 (uno).

Gráfica 3 Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) para un PMV de neutralidad



En la gráfica 3 y tabla 6 se presenta una situación estable de aumento del M/Adu de aproximadamente 7 unidades promedio por cada grado de temperatura que disminuimos en el ambiente, hasta que en los valores de temperaturas inferiores a 7° C, se produce un punto de inflexión comenzando a disminuir dichos valores. Por otro lado, se sigue presentando la situación de la necesidad de altas temperaturas para lograr el confort, en estado de reposo. Hecho que nos habla quizá de la necesidad de un ajuste a las tablas de equivalencias a nivel regional, para lograr resultados más acordes a la aclimatación de las personas, teniendo en cuenta que las experimentaciones que dieron como resultado los algoritmos de Fanger, se realizaron bajo características bastante alejadas a las imperantes en nuestro caso (región).

Tabla 6 Relación entre la temperatura ambiente y la producción interna de calor del cuerpo (M/Adu) para un PMV de neutralidad

T. ambiente	M/Adu	PMV	T. ambiente	M/Adu	PMV
30	50	0.043	15	175	0.035
29	59	0.048	14	182	0.044
28	67	0.043	13	188	0.039
27	78	0.043	12	193	0.041
26	88	0.057	11	198	0.035
25	99	0.042	10	203	0.045
24	106	0.050	9	208	0.048
23	115	0.053	8	211	0.043
22	123	0.047	7	214	0.045
21	131	0.053	6	216	0.051
20	139	0.040	5	217	0.057
19	147	0.049	4	216	0.051
18	155	0.047	3	214	0.063
17	162	0.044	2	207	0.047
16	169	0.048	1	194	0.049

CONCLUSIONES

Al hablar de arquitectura bioclimática, se está abarcando el concepto de bioclimatología, que al ser construcciones pensadas para ser habitadas por el hombre, se tendría que hablar de bioclimatología humana o factores del clima que, de manera directa o indirecta, afectan la fisiología y confort del hombre. De los estudios realizados se concluye lo siguiente:

- De nuestra investigación se campo se concluye que no todas las variables que determinan el confort higrotérmico, tienen influencia directa sobre dicha condición de confort. Se determina que la temperatura, humedad y velocidad del aire, la vestimenta, la incidencia solar y la actividad que esté desarrollando el individuo, son factores sobre los que hay que poner mayor énfasis, al analizar su posible combinación para lograr el ansiado equilibrio hombre-medio.
- Analizando los datos obtenidos en las encuestas de campo, es importante resaltar que la situación de equilibrio o confort térmico, es una condición psico-física, de ahí el hecho de que ante situaciones higrotérmicas, de vestimenta y actividad semejantes, distintas personas tengan sensaciones disímiles.
- Llegar al equilibrio o neutralidad térmica a través de una ecuación general de confort térmico, es un paso importante, pero no garantiza la comodidad de los ocupantes de un ambiente. Dichas ecuaciones trabajan sobre la combinación de diversas variables, que pueden dar un resultado aproximado o empírico óptimo, pero analizándolas individualmente podríamos detectar situaciones de incomodidad, como velocidades de viento molestas para la actividad que se desarrolle en el ambiente, o radiaciones solares excesivas. Por otra parte, por lo general se analiza un ambiente en general en el que, dependiendo de la escala del mismo y de las condiciones de relación con el exterior que imperen, podríamos tener que considerar la posibilidad de micro-ambientes interiores.
- Por los casos analizados en este trabajo, no se puede hablar de la invalidez de la utilización de gráficas bioclimáticas o cálculos y tablas de rangos empíricos, para prever una determinada situación. Lo que si queda en claro, es la primordial importancia de cotejar los datos obtenidos y de ser necesario ajustar los resultados a las característica de los individuos de la región en la que serán implementados. Con esto queda establecida la importancia de tener en cuenta, la aclimatación del hombre al medio que lo rodea.
- Una persona realizando actividad física puede que se encuentre más confortable en ambientes con condiciones térmicas por debajo de los estandars medios de comodidad, pues al ser mayor el diferencial de temperatura cuerpo-medio, se facilita la pérdida del calor excedente del cuerpo, al medio que lo rodea.
- Es necesario realizar un ajuste, a las gráficas de Givoni, para su utilización práctica, para situaciones en las cuales las actividades analizadas, superen los rangos de producción de calor, de las actividades sedentarias.

- Los datos de "sensación térmica" obtenidos a través de los algoritmos de Fanger, no pueden tomarse como rangos de confort térmico para actividades como las analizadas en el presente trabajo, debido a que responden esencialmente, al diferencial térmico existente entre la superficie del cuerpo y el medio ambiente que lo rodea, teniendo demasiada incidencia sobre los resultados obtenidos, la producción de calor interna del organismo, en comparación a las otras variables que intervienen.
- Por último, un punto que es importante recordar, es que la arquitectura nació como bioclimática y a través de los siglos fue perdiendo dicha característica para en esta época, tratar de recobrar algo, que en realidad es la esencia de ella misma, la de dar al ser humano un albergue cómodo y confortable, que lo proteja de las inclemencias exteriores.
- Nuestra problemática no se limita a la de climatizar un edificio convencional de oficinas ni a la de evaluar las posibilidades de operación de un batallón en el desierto, se centra en la consecución de un entorno global cada vez más humano, que potencie las capacidades del hombre en vez de limitarlas.

REFERENCIAS

1. Appenzeller O, Medicina Deportiva, Ed. Doyma, 1 ° Ed., España, 1991.
2. Armstrong L, Maresh C, Riebe D, Kenefick R, Castellano J, Senk J, Echegaray M y Foley M, Local cooling wheelchair athletes during exercise-heat stress, Med. Sci.Sports Exerc., 1995, Vol 27, 2, 211-216.
3. ASHRAE Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Estados Unidos, 1989.
4. Astrand- Rohdal, Fisiología del Trabajo Físico, 1992,Ed. Panamericana, Argentina.
5. Castarrel J., Energía Solar, Ed. Trillas, México, 1990
6. Fanger P.O., Thermal Confort, Danish Thechnical Prees, Copenhagen, 1970
7. Givoni B., Man, Climate y Architecture, Applied Science Publishers, Inglaterra, 1976
8. Jáuregui E., Notas de Bioclimatología Humana, Centro de Ciencias de la Atmósfera, U.N.A.M., México 1994
9. Laptev A., Minj A, Higiene de la cultura física y el Deporte,Editorial Ráduga, 1987, Cuba.
10. Mc Ardle W, Katch F, Katch V, Fisiología del Ejercicio, Ed Alianza S.A., Madrid, 1990.
11. Morillón David, Bioclimática, Universidad de Guadalajara, Ed. Doble Luna S.A., México 1993
12. Tudela Fernando, Ecodiseño, U.A.M. México, 1982
13. Wright D., Arquitectura Solar Natural, Ed. G. Gilli S.A., México, 1983

SIMULACIÓN DE ESCENARIOS DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE ENERGÍA, UTILIZANDO MEDIDAS DE CONTROL PASIVO

Dr. Gaudencio Ramos Niembro, Dr. Christopher Heard, Ing. Agustín Sánchez Viveros
 Instituto de Investigaciones Eléctricas
 E-mail: gframos@axp13.iiie.org.mx

RESUMEN •

Todos aquellos relacionados con el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica, han escuchado en reiteradas ocasiones las causas que le dieron motivo a tal cambio de mentalidad a principios de los años setentas ^[1,2,3]. Sin embargo, hay muchas personas que aún desconocen que al usar la energía en forma racional, sus costos se ven reducidos en forma importante, su confort se incrementa y se minimizan los problemas ambientales ^[4].

Concretamente en el sector doméstico, de las cifras reportadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en 1996 ^[5], las ventas de energía eléctrica fueron de 28,410 GWh, es decir el 23.4 % del consumo total (121,579 GWh).

La tabla 1 muestra el promedio por tarifa en el sector doméstico nacional, lo cual indica que el 20 % de la energía eléctrica consumida, se requirió para acondicionamiento del medio ambiente (aire acondicionado, enfriador evaporativo y ventiladores).

Los datos anteriores indican de manera cuantitativa que existe un fuerte impacto en el consumo de la energía eléctrica, debido a condiciones climáticas.

Por tal motivo, actualmente la Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) y el Fideicomiso para el ahorro de Energía (FIDE) están promoviendo normas y proyectos que propicien el uso racional de la energía, además de lograr mejores condiciones de confort térmico. Un caso más sería el Fideicomiso para el Aislamiento Térmico de la Vivienda en Mexicali (FIPATERM), el cual promueve el financiamiento de medidas de ahorro y uso eficiente de energía en ciudades con clima extremo.

En el presente trabajo se describe la estrategia seguida por el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), para la desarrollar la infraestructura humana y material, que le ha permitido apoyar diversos proyectos de ahorro y uso eficiente de energía en la CFE, la CONAE, el FIDE, el FIPATERM, y el Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), concretamente en lo que corresponde al análisis térmico de viviendas.

INTRODUCCIÓN

El desconocimiento y/o la falta de normas y criterios de diseño y construcción, es uno de los grandes problemas que provoca el uso ineficiente de la energía eléctrica en usuarios domésticos, comerciales, de servicios e industriales.

Como se indicó, el 20 % del consumo de energía del sector doméstico, se utilizó para equipos de acondicionamiento del ambiente en 1996. En el caso específico de la zona metropolitana de la ciudad de México, para los edificios comerciales y de servicios, el aire acondicionado representó en promedio el 30% ^[6] del consumo, en el año de 1992. Para el resto del país no se cuenta con estadísticas, pero definitivamente los consumos en aire acondicionado son muy importantes.

Experiencias en otros países demuestran que la mayoría de las medidas de control pasivo son económicamente costeables para el usuario, con beneficios adicionales para la compañía suministradora y la economía del país, al disminuir o retrasar éste último la inversión de nuevas plantas generadoras de energía eléctrica. Es necesario sumarle a lo anterior su fuerte impacto en la ecología por el enorme consumo de recursos naturales no renovables.

Concretamente en el caso de México, poco más del 60% de la generación de energía eléctrica se realiza con hidrocarburos. Con las tendencias actuales de crecimiento en el consumo y la demanda (poco más del 6% sostenido durante los últimos años), y con las reservas probadas de hidrocarburos, el país está en riesgo de dejar de ser exportador de energéticos en el mediano plazo, para convertirse en importador en el largo plazo. En consecuencia, para hacerle frente a esta difícil situación, una de las alternativas viables es sin duda el ahorro y el uso eficiente de la energía eléctrica.

La figura 1 muestra el consumo promedio de 31 usuarios en la ciudad de Mexicali BC, bajo dos escenarios: diciembre y julio. Es notoria la gran diferencia en el consumo, la cual se debe definitivamente al uso del aire acondicionado.

TARIFA	NÚMERO DE USUARIOS	CONSUMO: GWh/AÑO	kWh/USUARIO (mensual)	GWh/AÑO (por clima)	% (en exceso)
1	10,965,479	13,682	103	-	-
1A	1,618,687	2,586	122	369	18.4
1B	3,197,515	5,641	147	1,682	42.7
1C	1,372,625	2,941	178	1,235	72.8
1D	383,735	973	210	495	103.8
1E	752,958	2,860	316	1,924	206.8
	18,283,999	28,483	-	5,705	-

Tabla 1. Consumo de energía eléctrica en el sector doméstico en 1996.

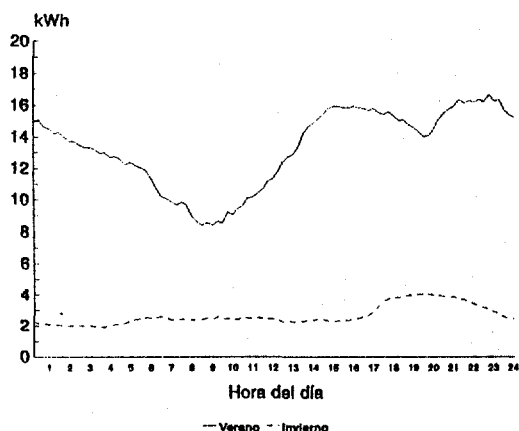


Figura 1. Curvas típicas de consumo en Mexicali BC.

Aunado a los efectos adversos del medio ambiente, es necesario sumarle el confort. En efecto, a medida que el nivel económico de una persona se va incrementado, este se refleja en un deseo de vivir en un medio ambiente más confortable. Esta situación se traduce en un mayor equipamiento de los usuarios de energía eléctrica, lo cual se refleja en una mayor utilización de los equipos de aire acondicionado. En otras palabras, el problema no se reduce a los equipos actualmente instalados y al crecimiento natural de la población, sino al incremento que se tendrá en los próximos años, tanto en las zonas con clima extremo, como en aquellas donde se requerirá para tener simplemente un mejor confort.

De lo anterior surgen al menos las siguientes preguntas ¿cumplen las construcciones actuales con las características de construcción para un uso eficiente del aire acondicionado? ¿sabe el usuario que es posible ahorrar? ¿conoce el usuario cómo

puede hacerlo? Suponemos que los equipos de aire acondicionado y los materiales que se ofrecen en el mercado, cumplen con las normas de eficiencia energética.

Se puede asegurar que en general, ni las construcciones en México tienen las características necesarias para el ahorro y el uso eficiente de la energía, ni que los usuarios saben que esto existe y cómo se puede lograr.

Entonces la pregunta que surgió fue ¿qué requerimos para mostrar a los usuarios que es necesario un cambio en la mentalidad?

La estrategia seguida por el IIE fue la siguiente:

primero, hacer un estudio bibliográfico de lo reportado en la literatura, tanto en lo concerniente a las llamadas medidas de control pasivo, como lo referente al modelado del comportamiento térmico de construcciones;

segundo, seleccionar los paquetes de cómputo más utilizados en la actualidad para simular la efectividad de tales medidas;

tercero, definir casas típicas, su tipo de construcción y obtener los datos meteorológicos de ciudades características del país;

cuarto, desarrollar una interfase para los paquetes de cómputo, para contar con un sistema amigable, que permitiera mostrar las ventajas de diseñar construcciones que estén acordes al uso del aire acondicionado, permitiendo el mayor confort y el uso eficiente de la energía eléctrica; y

quinto, realizar ejemplos de construcciones típicas,

mostrando las bondades al utilizar medidas de control pasivo, como materiales para construcción.

En el presente trabajo se resumen los resultados obtenidos en la estrategia de análisis antes mencionada.

SISTEMAS DE COMPUTO EXISTENTES EN EL MERCADO ^(7,8)

El estudio bibliográfico realizado para la selección del modelado de cargas térmicas, tuvo un objetivo dual. Por un lado, conocer y documentar los trabajos hechos a nivel mundial en lo que respecta a modelado de cargas térmicas, incluyendo conceptos como: estado del arte de la modelación, tipos de modelos, alcances de los modelos, procedimientos de prueba de modelos, experimentaciones para prueba de modelos (teóricos y prácticos). Por el otro, contar con elementos de juicio para definir en detalle, el trabajo específico que era conveniente realizar en el IIE, con base en el programa de trabajo existente.

A nivel mundial, mucho es el esfuerzo que se ha desarrollado en sistemas de cómputo para evaluar cargas térmicas en casas y edificios, para el uso eficiente del aire acondicionado y la calefacción, tratando de minimizar el consumo de energía eléctrica y dando un mayor confort a sus habitantes.

Existen dos tendencias en el diseño de sistemas de simulación de cargas térmicas. Por un lado los "teóricos" buscan la perfección en la simulación de todos y cada uno de los elementos que impactan en el aire acondicionado; en este grupo se encuentran las instituciones de investigación en las universidades. Por el otro existen los "prácticos", los cuales consideran que se deben considerar solo los grandes conceptos, de tal forma que el diseño sea aproximado y se acerque lo más posible a lo deseado, dejando de lado las cosas "pequeñas"; en este grupo, podemos decir que existen sistemas desarrollados por centros y laboratorios de investigación, empresas de asesoría, y empresas dedicadas a la venta de equipos de aire acondicionado, cuyos paquetes en términos generales permiten en forma adecuada, encontrar diseños muy cercanos a la realidad, es decir con un "posible error" razonable.

Los problemas que han creado la aplicación de algunos paquetes de software, es que no se han verificado sus modelos contra valores reales en todo el rango, o no consideraron sus modelos contra variaciones en todas sus variables. Esto ha ocasionado errores en algunos estudios, como por ejemplo que, para las mismas condiciones específicas de clima y orientación, unos modelos muestran ahorro de energía

y otros no.

Sumado a lo anterior y que resulta importante en el modelado, es la forma en cómo se simula el impacto de las variables. Por considerar un ejemplo sencillo que crea "muchos dolores de cabeza", es cómo se simulan los muros: carga ligera o carga pesada; es decir, la carga ligera son muros que el calor pasa con mucha facilidad de un lado al otro, y carga pesada es considerar que los muros tienen una alta resistencia, y entonces cuesta trabajo mover la carga térmica de un lado para otro.

Otro concepto importante a resaltar, es que hay sistemas que simulan una carga dinámica y otros no, es decir, no se considera el efecto retardo entre la aparición de la insolación o la temperatura y su impacto en un lugar acondicionado, un cierto tiempo después; el efecto de este problema impacta en lo referente a la hora en que se requiere eliminar la carga. Algunos otros modelos más genéricos consideran solo valores promedios diarios y/o de días específicos del año; cabe mencionar que estos últimos paquetes, son más comúnmente usados para el cálculo de cargas térmicas máximas (léase equipos de aire acondicionado).

Un común denominador entre los estudiosos de los modelos, es que han encontrado que los usuarios no saben utilizar los paquetes adecuadamente, debido a que no están lo suficientemente documentados y/o no se tiene la experiencia, además de que no cuentan con una interfase hombre-máquina que los guíe en su explotación.

Otro aspecto que se comenta en la literatura, es de que aún y cuando se pueden hacer estudios generales que marquen la pauta en ciertos sectores, los resultados que se obtengan podrán variar, debido a la forma y costumbres de vida; en consecuencia, es importante clasificar los escenarios que se traten de evaluar.

Finalmente, en los últimos tres años han proliferado otros dos tipos de sistemas de cómputo: unos que hacen el análisis energético global de una construcción, y otros que sirven para que los usuarios de energía eléctrica, realicen un cálculo preliminar que los haga cumplir con respecto a una norma.

En el caso de los primeros, análisis energético global, aún y cuando cuentan con menús amigables, la carga de la información es tan difícil que se requiere ser un experto para su explotación. Por tal motivo, su utilización es buena en algunas empresas que se dedican a diagnósticos energéticos.

Los segundos, realizados para cálculos preliminares de normas, cuentan con 3-5 pantallas de computadora

como máximo, y tienen la gran ventaja que le preguntan al usuario "grandes conceptos", los cuales el los puede seleccionar de un menú. Esta alternativa da resultados de un determinado "orden de magnitud", que permite un cálculo preliminar para saber si se cumple con la normatividad, y por ende con un diseño de uso eficiente de energía.

Un problema en todos los sistemas, es de que la información que tienen precargada, es para condiciones climáticas y de materiales de construcción, de países diferentes al nuestro. Es conveniente aclarar que en lo que respecta a los materiales, es posible utilizar algunos datos de "referencia", pero en lo que respecta a climas hay grandes diferencias que hacen imposible, o casi, su utilización.

Del estudio bibliográfico realizado, se concluyó que existen varios niveles de detalle en los modelos utilizados para simular las cargas térmicas en edificios, los cuales dependen básicamente de dos situaciones: i) las necesidades del modelado, es decir con que precisión se quiere simular; y ii) los recursos disponibles, es decir cuanto se desea invertir en conseguir la información de campo que permita obtener resultados más aproximados o validar los resultados que se obtengan del modelo.

Además de lo anterior, el modelado térmico también varía en función de los propósitos para los cuales se pretenden los resultados, es decir, en donde se utilizarán: construcciones nuevas, remodelaciones, normas, etc.

Los modelos seleccionados, dado el desarrollo de los sistemas en el mercado actual y los alcances deseados en el modelado, fueron dos: uno es para los casos iniciales que podríamos llamar sencillos, como es el caso del SUNCODE para computadora personal y el otro para casos más complejos, es decir el DOE2.1e, el cual corre en una computadora mediana o grande.

MEDIDAS DE CONTROL PASIVO DEL SOL ^[9]

La mejor y con frecuencia la manera más barata de ahorrar energía de enfriamiento sin afectar el ambiente de confort en el interior de construcciones, es a través de la reducción de ganancias de calor interna y externa.

La reducción de ganancia de calor interna se obtiene al disminuir el consumo eléctrico, mejorando la eficiencia, de los equipos que las generan como son las lámparas, copiadoras, computadoras y otros

equipos de uso en el hogar y oficinas.

Por su parte, la reducción de ganancia de calor externa, se obtiene por medio de la selección adecuada de la forma y materiales de la construcción, así como su orientación.

La primera distinción que se debe hacer al examinar el potencial de reducción de carga de enfriamiento de una construcción, es si está dominada por ganancias de calor interna o externa, las cuales varían con el tipo de uso (casa, comercio o servicio), para así poder conocer donde se tendrá que poner más énfasis. Las figuras 3 y 4 muestran los diferentes tipos de carga en una casa típica y un comercio típico, respectivamente ^[10].

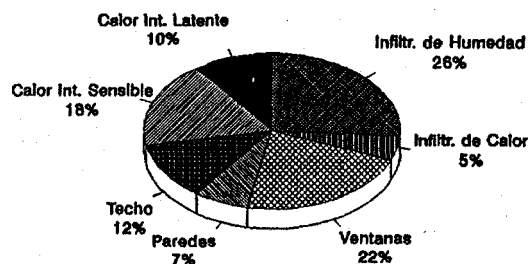


Figura 3. Distribución de carga de enfriamiento para una casa típica de 1500 pies² (140 m²) en un clima húmedo (USA).

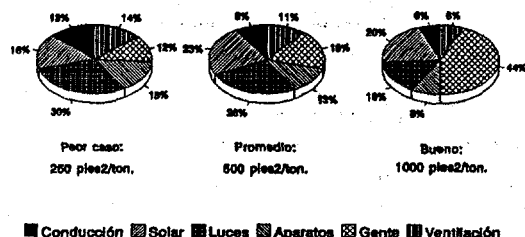


Figura 4. Distribución de carga de enfriamiento para una construcción comercial típica de 40,000 pies² (3700 m²) con carga total alta, media y baja.

Las medidas de control pasivo del sol más ampliamente utilizadas son las siguientes: a) aislamiento térmico en muros y techos; y b) reducción de infiltración; c) sombreado de ventanas; d) cristales de control solar; e) películas de filtrado solar; y f) sistemas para reducción de calor en techos y muros.

a) aislamiento térmico en muros.- La magnitud de la ganancia o pérdida de calor vía conducción a través de paredes y techo de una construcción, se ve afectada principalmente por el tipo de clima y materiales de construcción. En climas extremos en verano, la

carga de enfriamiento total puede variar desde un 19%, para una casa con clima húmedo, hasta el 30% o más, para una localizada en un clima cálido seco.

Para reducir la carga térmica existen diferentes materiales aplicables en techo y muros, como: la espuma de poliestireno, espuma de poliuretano y fibra de vidrio entre otros.

La propiedad física más importante de los materiales aislantes es su excelente capacidad de aislamiento térmico (baja conductividad térmica), la cual permite mantener una temperatura confortable al interior de la vivienda o edificio, sin el gasto oneroso del aire acondicionado o la calefacción, que crece con la diferencia en temperatura entre el interior y el exterior. Las características de ahorro al aislar térmicamente una construcción pueden variar de una edificación a otra dependiendo de factores como: ubicación geográfica, tipo de construcción, orientación, grado y tipo de aislamiento, entre otros. La figura 4 muestra la reducción de flujo de calor en el techo de una casa sin y con aislamiento.

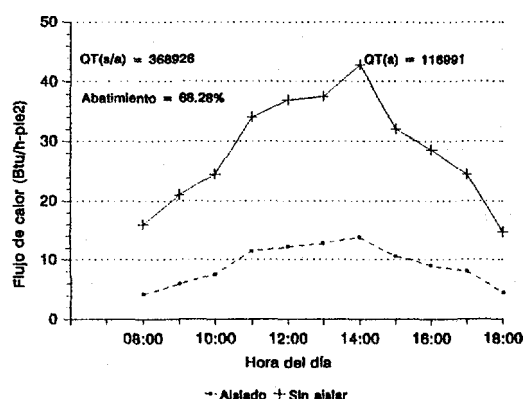


Figura 4. Reducción del flujo de calor a través del techo de una construcción al ser aislado térmicamente con espuma de poliestireno.

b) Infiltración.- La infiltración de aire externo en casas es un problema que se presenta por la entrada de aire externo a través de rendijas en ventanas, puertas y diferentes tuberías que salen o entran a la casa. Esta ganancia de calor por aire externo al espacio acondicionado, representa en climas húmedos hasta una tercera parte de la carga de enfriamiento total.

En el caso de construcciones comerciales se sustituye grandemente por cargas de ventilación, debido a que el sistema de aire acondicionado tiene una ventilación positiva mayor que el aire externo, que no permite la entrada de este.

El costo de la medida para reducir infiltración es relativamente barata, pues se lleva a cabo por medio del sellado de puertas y ventanas a base de guardapolvos y silicón, que son materiales fáciles de encontrar en el mercado a un costo accesible. Además, su instalación la puede realizar el mismo usuario.

c) Sombreado de ventanas.- El sombreado de ventanas consiste de elementos que proporcionan un sombreado al exterior de la ventana, como son las marquesinas, persianas móviles o fijas y voladizos estructurales, y al interior, como son las cortinas y persianas. Estas alternativas minimizan la ganancia de calor solar y sus cargas de enfriamiento resultantes.

d) cristales de control solar.- Los cristales "modernos" llamados técnicamente de control solar, presentan características de alta reflectancia, baja emitancia y alto aislamiento, que controlan la ganancia de calor solar con alta transmitancia de luz natural.

En una tarde calurosa de verano con una temperatura ambiente exterior de 32°C, una ventana de doble cristal claro, de cara al poniente y a sol directo, permite aproximadamente 550 W/m² de calor al interior de la construcción. En consecuencia, el parámetro de desarrollo más importante al seleccionar un vidrio (polarizado, reflejante, etc.), es el coeficiente de sombreado.

Los diferentes tipos de cristales son cinco: vidrios polarizados, vidrios reflejantes, cristales selectivos espectralmente, cristales cambiantes, y cristales de alto aislamiento.

e) Películas de filtrado solar.- En este caso se hace referencia a la aplicación de películas sobre vidrios normales, los cuales reducen la introducción de calor al interior de la construcción.

En la selección de este tipo de elementos se deben de considerar dos aspectos, uno relacionado con la reducción del calor y el otro con la reducción de iluminación, la cual debe ser reemplazada por iluminación artificial, con el respectivo incremento en carga interna para el equipo de acondicionamiento.

d) Sistemas para reducción de calor en techos.- La ganancia de calor en construcciones causada por la radiación solar incidente, tiene un efecto negativo en el confort durante la época de calor. El área de techo es una componente a través de la cual penetra una porción significativa de calor solar vía conducción (transferencia de calor del envolvente), que para el caso de casas típicas en EUA, es de alrededor del 20% de la carga de enfriamiento total.

Existen varios métodos de reducción de ganancia de calor, de los cuales en su mayoría son aplicables a

construcciones con áticos, pero algunos pueden ser adaptados y utilizados en el tipo de construcción mexicana.

Los sistemas más conocidos son: barreras radiantes, sistema de rocío de techo y pinturas de alta reflectancia.

SISTEMA PARA SIMULACIÓN DE MEDIDAS ⁽¹¹⁾

Como se indicó, el paquete seleccionado en una primera etapa fue el SUNCODE, debido a que corre en computadora personal (Lap Top), y en la primera etapa se requería así, para poder "llevar al usuario" y mostrarle las bondades potenciales, de dicho modelado.

Sin embargo, debido a que el paquete fue desarrollado en medios de investigación o para análisis energético de personas con experiencia en la materia, fue necesario implementar un sistema de interfase hombre-máquina, que permitiera su explotación. Además, debido a que una interfase detallada requería de muchas horas-hombre, se tomó la decisión de hacer un sistema "limitado", al variar en ciertos rangos, las variables que son más representativas para propósitos de mostrar las ventajas del diseño de construcciones, donde se utiliza equipo de aire acondicionado.

Las variables que simulan una determinada construcción y su confort, pueden ser vistas desde tres puntos de vista: de diseño original, modificable; y de medio ambiente.

a) **Variables de diseño originales.**- Definen los materiales utilizados para la construcción de los muros, las ventanas y el techo de la casa.

b) **Variables modificables.**- Simulan el comportamiento térmico de una construcción, a través de modificar las variables originales de diseño; y

c) **Variables de medio ambiente.**- Especifican las diversas condiciones ambientales donde se encuentra la construcción, como son la localización geográfica de la ciudad y la orientación de la casa.

Con base en lo anterior, a continuación se indican las variables que es posible modificar, así como el alcance de las mismas.

a) **Tipo de construcción.**- Se tiene la capacidad de calcular las cargas térmicas de dos tipos de casas, una de una sola planta con dos recámaras y otra en

dos plantas con tres recámaras. Con objeto de poder comparar el efecto de tener casas físicamente juntas, la casa de dos pisos puede calcularse con o sin casas vecinas. Las figuras 5 y 6 muestran el detalle de las mismas. Complementariamente, se hicieron algunas pruebas con un edificio y un local comercial, los cuales se muestran en las figuras 7 y 8, respectivamente.

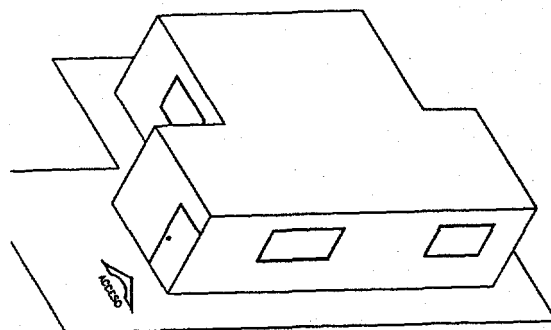


Figura 5. Casa de un piso.

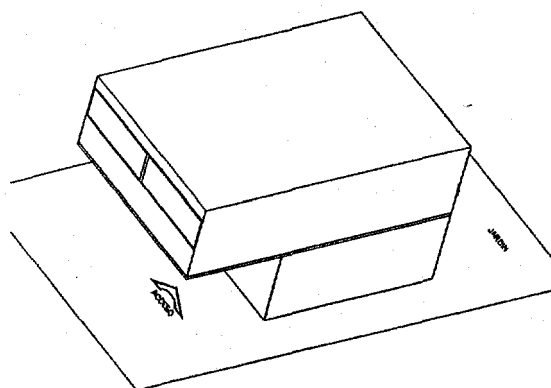


Figura 6. Casa de dos pisos.

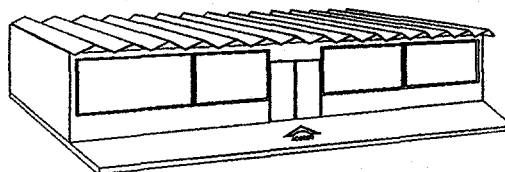


Figura 7. Comercio.

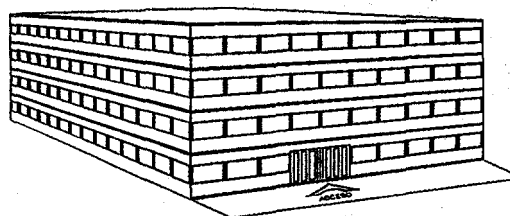


Figura 8. Edificio.

b) Localización geográfica.- Para simular el medio ambiente se contó con información meteorológica (temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, humedad relativa, velocidad del viento, dirección del viento y radiación solar), de un año y de 8 ciudades del país. La información fue procesada según los requerimientos del paquete y obtenida a través de los aeropuertos.

c) Orientación de la casa.- Para simular la orientación de la casa, el sistema permite "girar la casa" en intervalos de cuarenta y cinco grados, para así conocer el impacto de la radiación solar a través de las ventanas. La orientación se selecciona con base en la puerta de entrada de la construcción.

d) Muros.- El sistema incluye características típicas de las casas mexicanas, por lo que los aspectos incluidos son cuatro: material principal, acabado exterior, altura de los muros y aislante térmico.

Material principal. Las alternativas de selección son, considerar que todos los muros de la casa están hechos de tabique, piedra o bloc.

Acabado exterior. Se puede seleccionar una pintura normal o una reflejante, donde esta última ya es una medida de control pasivo del sol.

Altura de muros. Con objeto de poder comparar diversas alturas, por ejemplo entre casas de interés social y otras, el sistema presenta las opciones de 2.1 metros, 2.4 metros y 2.7 metros.

Aislante térmico. Esta alternativa permite comparar los efectos entre tener y no tener aislante térmico en una casa. El sistema presenta cuatro opciones, una sin aislante y las tres restantes con aislante de diversos espesores: 25 milímetros (delgado), 50 milímetros (mediano) y 100 milímetros (grueso).

e) Techos.- Para el caso del techo de la construcción, las características que se pueden simular en el sistema son tres: el espesor de la loza, su acabado exterior y la posible colocación de aislante térmico.

Espesor de la loza.- En todos los casos, el material con que se considera está construida la loza es concreto, pero se tiene la posibilidad de variar su espesor: 200 milímetros (normal), 300 milímetros (ancha) y 400 milímetros (extra ancha).

Acabado exterior.- Como terminado del techo se consideran dos alternativas: se deja tal cual, es decir no se le pone nada, o se le pone un material reflejante, el cual equivale a un "impermeabilizante", pero con características principalmente térmicas.

Aislante térmico.- Este caso es el mismo que el

contemplado en los muros.

f) Ventanas.- En el caso de las ventanas, las variables que se consideran son dos: el tamaño y el material.

Tamaño.- El tamaño de las ventanas juega un papel importante en la cantidad de energía solar que se transmite al interior de la casa. Las casas típicas que se simulan, tienen un ventanaje que podríamos llamar de tamaño normal y el sistema permite modificar su tamaño: o al doble, o a la mitad.

Material del vidrio.- Otra de las técnicas de control pasivo del sol, es la de reducir la entrada de iluminación a través de las ventanas. En nuestro caso, el sistema considera, dos alternativas: poner vidrio filtrazol en lugar del vidrio normal o simular la colocación de una película antirreflejante.

g) Sombreado.- El sombreado de ventanas consiste en colocar un volado o marquesina al exterior de la ventana, buscando minimizar la ganancia de calor solar, tratando de transmitir la luz natural adecuada para evitar iluminación artificial y sus cargas de enfriamiento resultantes.

El sistema tiene la alternativa de seleccionar si se le pone o no voladizo a la casa. En el caso de que se seleccione la alternativa de voladizo, el sistema presenta tres posibilidades: 0.5 metros (corto), 1 metro (mediano) o 1.5 metros (largo).

h) Infiltración.- La infiltración de aire externo en casas a través rendijas en ventanas y puertas, representa una ganancia de calor, que puede llegar a ser una tercera parte de la carga de enfriamiento total en climas húmedos. El costo de la medida para reducir infiltración es relativamente barata, pues se lleva a cabo por medio del sellado de puertas y ventanas a base de guardapolvos y silicón.

El sistema permite modificar la infiltración, a través de simular el número de veces que se cambia el aire del interior de la casa, por hora, en tres formas distintas: 0.5 cambios/hora (bajo), 2.0 cambios/hora (típico) y 4.0 cambios por hora (alto).

i) Ganancia interna.- La ganancia interna de calor es el calor que se generan por concepto del metabolismo de las personas, el uso de energía eléctrica del refrigerador, televisión, etc., que dan como resultado la generación de calor dentro de la casa.

En el modelado de las casas típicas, se consideró: una ocupación de cuatro personas presentes 50% del tiempo; 220W de iluminación durante cuatro horas diarias; un refrigerador de ¼ hp funcionando 20% del tiempo; y un televisor de 100W encendido durante cuatro horas diarias. Dichas consideraciones dan un

promedio de 310.6 Watts de ganancia interna de calor por día.

RESULTADOS OBTENIDOS ^[12]

Se realizaron diversas simulaciones, con el objeto de evaluar el comportamiento de las construcciones.

A continuación se presentan diversos casos:

a) Casa en Mérida.- La casa de una planta se modeló para la ciudad de Mérida, y en la tabla 2 se dan algunos de los resultados. Es de resaltar el efecto del bloque contra el ladrillo (casos 1 y 7), así como el aislamiento en techos y muros, utilizando solo 0.5 cambios/hora de infiltración (casos 1 y 6).

CASO	PELICULA REFLEJANTE	ASL. MURO	ASL. TECHO	MATERIAL MURO	INFILT.	KW	KWh
1	No	No	No	Tabique	2.0	3.81	11,248.81
2	Si	No	No	Tabique	2.0	3.78	10,218.84
3	No	50 mm	No	Tabique	2.0	3.29	9,802.48
4	No	No	50 mm	Tabique	2.0	3.78	11,091.81
5	No	50 mm	50 mm	Tabique	2.0	2.02	6,188.84
6	No	50 mm	50 mm	Tabique	0.5	1.82	5,748.82
7	No	No	No	Bloc	2.0	3.71	10,568.32

Tabla 2. Mérida: casa de una planta.

Otra de las simulaciones en Mérida fue la casa de dos pisos, en la cual solo se calcula el aire acondicionado en la recámara principal y no en toda la casa, como es el caso de la casa de un solo piso. Entonces, en este caso resulta interesante comparar las diferencias entre los materiales de construcción tradicional, como es el caso del tamaño de las ventanas (casos 1 y 2), o el caso del bloc y de la piedra (7 y 8).

CASO	ORIENT.	ASL. MURO	ASL. TECHO	TAM. VENTANA	MATERIAL MURO	KW	KWh
1	Sur	No	No	Normal	Tabique	3.33	2,811.88
2	Sur	No	No	C.S./2	Tabique	3.07	2,651.88
3	Sur	50 mm	No	Normal	Tabique	2.11	1,772.81
4	Sur	No	50 mm	Normal	Tabique	1.78	1,428.78
5	Sur	50 mm	50 mm	Normal	Tabique	1.64	1,318.87
6	Este	50 mm	50 mm	Normal	Tabique	1.91	1,611.91
7	Este	No	No	Normal	Bloc	2.74	2,185.98
8	Este	No	No	Normal	Piedra	2.84	2,398.38

Tabla 3. Mérida: casa de dos plantas.

b) Casa Mexicali.- En este caso se hicieron dos suposiciones, una casa de un piso y otra de dos pisos.

En el de caso de la casa de un piso, los resultados se muestran en la tabla 4, donde resaltan la casa sin aislar y toda aislada con solo 0.5 cambios por hora (casos 1 y 6), donde el ahorro es mayor al 50 %, y del uso del tabique y bloc, el cual presenta un ahorro este último (casos 1 y 7).

En el caso de la casa de dos pisos, la cual solo tiene aire acondicionado en la recámara principal, la cual se localiza en el segundo piso, es importante resaltar el efecto de tener dos casas juntas (caso 1 y 2), y el de la infiltración, es decir, los casos 1 y 8.

CASO	PELICULA REFLEJANTE	ASL. MURO	ASL. TECHO	MATERIAL MURO	INFILT.	KW	KWh
1	No	No	No	Tabique	2.0	8.88	18,488.81
2	Si	No	No	Tabique	2.0	8.88	9,487.81
3	No	50 mm	No	Tabique	2.0	4.81	8,717.08
4	No	No	50 mm	Tabique	2.0	8.81	7,884.88
5	No	50 mm	50 mm	Tabique	2.0	2.8	6,488.88
6	No	50 mm	50 mm	Tabique	0.5	2.81	6,887.88
7	No	No	No	Bloc	2.0	8.87	8,881.81

Tabla 4. Mexicali: casa de una planta.

CASO	ASL. TECHO	ASL. MURO	COLINDA	INFILTRA	ORIENTA	KW	KWh
1	No	No	No	2.0	S	8.80	14,088.78
2	No	No	Si	2.0	S	7.84	12,338.07
3	No	No	No	2.0	S	7.40	12,260.88
4	50 mm	No	Si	2.0	S	7.13	11,743.88
5	50 mm	50 mm	No	2.0	S	6.05	8,885.72
6	50 mm	50 mm	Si	2.0	S	6.78	9,178.43
7	50 mm	50 mm	Si	2.0	S-O	6.33	10,349.05
8	50 mm	50 mm	Si	0.5	S	4.90	6,448.77

Tabla 5. Mexicali: casa de dos pisos.

c) Casa Monterrey.- En este caso solo se presenta información de la casa de un piso. Así, si observamos la tabla 6 resaltan al menos dos aspectos: el uso de diferente material en los muros, casos 1 y 7, y la casa aislada con poca infiltración, es decir los casos 1 y 6.

CASO	PELICULA REFLEJANTE	ASL. MURO	ASL. TECHO	MATERIAL MURO	INFILT.	KW	KWh
1	No	No	No	Tabique	2.0	4.88	7,811.44
2	Si	No	No	Tabique	2.0	4.81	6,787.41
3	No	50 mm	No	Tabique	2.0	4.98	8,884.17
4	No	No	50 mm	Tabique	2.0	5.31	8,888.74
5	No	50 mm	50 mm	Tabique	2.0	2.87	4,388.08
6	No	50 mm	50 mm	Tabique	0.5	2.81	4,300.43
7	No	No	No	Bloc	2.0	4.88	7,478.78

Tabla 6. Monterrey: casa de un piso.

d) Comercio.- Con el objeto de estudiar construcciones comerciales, se hicieron también en diferentes ciudades y para diversos tipos de negocios, simulaciones bajo diversos escenarios. La tabla 7 muestra los resultados en la ciudad de Mérida.

CASO	ORIO	ASL. MURO	ASL. TECHO	COLINDANCIA	MATERIAL MURO	KW	KWh
1	Abarrotes	Normal	Normal	Don lado	Tabique	18.81	28,841.38
2	Abarrotes	50 mm	Normal	Don lado	Tabique	18.88	28,288.78
3	Abarrotes	Normal	50 mm	Don lado	Tabique	8.21	18,782.92
4	Abarrotes	50 mm	50 mm	Don lado	Tabique	7.27	12,802.21
5	Abarrotes	Normal	Normal	Don lado	Bloc	18.78	28,848.41
6	Abarrotes	Normal	Normal	Don lado	Cerámico	18.88	28,182.48
7	Abarrotes	Normal	Normal	Bote	Tabique	17.81	27,284.08
8	Abarrotes	Normal	Normal	Col. atras	Tabique	17.01	26,288.02
9	Abarrotes	Normal	Normal	Col. derecha	Tabique	17.11	26,788.43
10	Abarrotes	Normal	Normal	Col. izquierda	Tabique	16.91	26,678.98
11	Abarrotes	Normal	Normal	Tres lados	Tabique	16.81	26,284.38
12	Farmacia	Normal	Normal	Don lado	Tabique	18.81	28,832.53
13	Farmacia	50 mm	Normal	Don lado	Tabique	18.88	28,288.03
14	Farmacia	Normal	50 mm	Don lado	Tabique	8.16	14,328.53
15	Carnicería	Normal	Normal	Don lado	Tabique	18.98	28,938.98
16	Carnicería	50 mm	Normal	Don lado	Tabique	18.78	28,848.38
17	Carnicería	Normal	50 mm	Don lado	Tabique	8.913	12,488.38
18	Estadoc	Normal	Normal	Don lado	Tabique	17.02	26,322.48
19	Estadoc	50 mm	Normal	Don lado	Tabique	18.98	28,938.18
20	Estadoc	Normal	50 mm	Don lado	Tabique	8.42	14,388.08

Tabla 7. Comercios.

En dicha tabla son varias las diferencias que se pueden determinar, primeramente comparando un tipo de negocio contra otro, como por ejemplo una carnicería y una estética (casos 16 y 20), o el caso de una tienda de abarrotes, con y sin medidas de control pasivo (caso 1 y 4).

e) Edificio de oficinas.- Para este caso particular, se consideró la ciudad de México, debido a que en general no se requiere aire acondicionado, y se puede caer en el error de hacer un "sellado" tan grande, que resulta contraproducente con respecto a la carga del aire acondicionado. Concretamente es interesante observar en la tabla 8, si se analizan los casos 6 y 7, los cuales corresponden a un piso intermedio del edificio con aislamiento en los muros: el asilado consume más energía (9,614.91 kWh contra 9,507.75 kWh), debido a que la carga interna que debe de retirar el aire acondicionado es mayor, pues cuando está "sellado" no se sale nada por los muros.

CASO	NIVEL	ASL. MURO	ASL. TECHO	TIPO VENTANA	ORIENT.	KW	kWh
1	P. Baja	No	No	Normal	Sur	15.83	12,727.89
2	P. Baja	No	No	Normal	Este	12.83	10,576.28
3	P. Baja	25 mm	No	Normal	Este	12.42	10,226.34
4	P. Baja	No	No	P. Reflej.	Este	8.04	3,415.14
6	P. Intermedio	No	No	Normal	Sur	14.98	11,991.09
7	P. Intermedio	No	No	Normal	Este	14.09	9,507.75
8	P. Intermedio	25 mm	No	Normal	Este	15.66	9,614.91
9	P. Intermedio	No	No	P. Reflej.	Este	7.83	3,191.92
10	P. Alta	No	No	Normal	Sur	16.39	14,911.34
11	P. Alta	No	No	Normal	Este	16.91	13,822.87
12	P. Alta	25 mm	No	Normal	Este	16.41	12,548.15
13	P. Alta	No	25 mm	Normal	Este	14.61	10,902.29
14	P. Alta	No	50 mm	Normal	Este	14.38	10,476.81
15	P. Alta	No	No	P. Reflej.	Este	11.22	5,964.35
16	P. Alta	No	50 mm	P. Reflej.	Este	8.47	2,826.91

Tabla 8. Edificio en la ciudad de México.

Un último comentario: si se compararan las tablas, se pueden observar las diferencias entre ciudades.

CONCLUSIONES

Los trabajos aquí presentados muestran la importancia de tener un buen diseño adecuado a las necesidades ambientales, tanto desde el punto de vista de confort, como del ahorro y uso eficiente de la energía.

Otro aspecto que es muy importante resaltar es la rentabilidad de inversiones por utilizar materiales diferentes, como el caso de cambio por equipos más eficientes (este último caso no se toca aquí, pero puede ser obvio que el cambiar el equipo reditúa en ahorros). No entraremos en el detalle del costo beneficio, pero es un hecho que el ahorrar energía es negocio, el cual se ve algunos años después de construida y/o remodelada una construcción.

Finalmente, es conveniente remarcar que se logró crear infraestructura humana y material, la cual a permitido dar asesoría a diversos proyectos de normalización y construcción en México. Concreta-

mente se han apoyado desarrollos con empresas como CFE, FIDE, CONAE, FIPATERM, LBNL, UABC y se han dictado cursos diversos en instituciones de educación.

REFERENCIAS

- [1] G. Ramos, I. Alcocer y R. Covarrubias R; "Administración de la demanda"; Boletín IIE; Noviembre-Diciembre 1994, Vol. 18, Núm. 6; pp. 252-260.
- [2] Carl J. Hovevar; "USAID Responds to Global Climate Change Mandates"; Global Efficiency Monitor; A Quarterly Newsletter for Energy, Environment Development; pp. 4-7; October 1994.
- [3] World Energy Council; "International Energy Data: WEC Member Countries National Energy Data Profiles"; Report 1992; December 1992:
- [4] Alex Wilson and John Morrill; "Consumer Guide to Home Energy Saving"; Second Edition; American Council for an Energy-Efficient Economy; Berkeley, Cal.; 1991.
- [5] "Estadísticas por Entidad Federativa"; Comisión Federal de Electricidad; 1996.
- [6] "El Empleo de la Energía Eléctrica en la Iluminación de Edificios", Colegio de Ingenieros Mecánicos, Electricistas y Electrónicos; Revista 3; pp 26-29; mayo-junio 1993.
- [7] C. Heard y G. Ramos; "Búsqueda Bibliográfica Sobre el Modelado de Cargas Térmicas"; IIE; Informe interno 10202.E.III_A.1; 1994.
- [8] C. Heard y G. Ramos; "Selección de Software para el Modelado de Cargas Térmicas"; IIE; Informe interno 10202.E.III_A.2; 1994.
- [9] R. Fiscal y G. Ramos; "Definición del Alcance de las Medidas de Control Pasivo"; IIE; Informe interno 10202.E.I_A.1; 1994.
- [10] A. B. Lovins; "Reducing cooling loads"; Rocky Mountain Institute ; pp 77; COMPETITEK 1992.
- [11] C. Heard y G. Ramos; " Modelado de Cargas Térmicas: Casas Habitación"; IIE; Informe interno 10202.E.III_A.3; 1995.
- [12] Agustín Sánchez Viveros; "Informe Final de Prácticas Profesionales"; IIE, Unidad de Uso de la Energía Eléctrica; diciembre, 1995.

USOS FINALES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN HOGARES DE UN CONJUNTO HABITACIONAL

Eduardo Campero Littlewood*, José Romero Cortés, Eloín Alarcón Maldonado,
Juan Silva Oliver, Jorge Ortiz Segura y Julia Vargas Rubio,
Unidad Azcapotzalco,

Universidad Autónoma Metropolitana

*Departamento de Energía

Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, 02230 México, DF.

Fax 394 7378, correo ecl@hp9000a1.uam.mx

Resumen

En este trabajo se reportan los resultados de una encuesta aplicada a una muestra de hogares en un conjunto habitacional. El objetivo de la encuesta es conocer el número de habitantes, el equipamiento en electrodomésticos y la iluminación artificial que caracteriza a un departamento de tres recámaras de aproximadamente 65 m². En la introducción se suministra la información de la distribución del consumo mensual promedio de toda la unidad habitacional para dos períodos separados por más de seis años, lo que permite determinar las tasas promedio anuales de crecimiento. La información recopilada en la encuesta se presenta a manera de gráficas de frecuencias de los electrodomésticos, de las capacidades de los focos o de las características más importantes de los aparatos eléctricos. Los resultados corresponden a las respuestas de 188 encuestas declaradas confiables (se entregaron cuestionarios a 230 hogares). El análisis de la información permite conocer la capacidad de consumo de energía eléctrica que tienen las viviendas de la muestra y a hacer inferencias de la capacidad de consumo de la Unidad habitacional.

Introducción

Este artículo presenta un avance del trabajo realizado dentro del programa institucional de investigación de la Universidad Autónoma Metropolitana denominado "Uso de Energía en Edificaciones", que se lleva a cabo en las unidades Azcapotzalco e Iztapalapa. Los resultados presentados se enmarcan dentro de uno de los objetivos del programa en el que se propone el desarrollo de metodologías para la identificación de patrones de uso de la energía en el sector residencial. Precisamente se pretende proponer una metodología para estimar la curva de demanda diaria de un conjunto de usuarios residenciales. Al final la intención es estimar el valor de la demanda horaria para poder cuantificar los ahorros de capacidad que se pueden lograr al implantar políticas de ahorro de energía en este sector.

El planteamiento inicial se hace con un grupo homogéneo de usuarios de energía eléctrica del sector residencial. Para esto se seleccionó un conjunto habitacional cuya ventaja principal es que los departamentos tienen las mismas dimensiones y por lo tanto no existe una gran diferencia entre la cantidad y la capacidad de los aparatos eléctricos que tienen instalados.

Para seleccionar una muestra de la unidad habitacional se tomó como marco muestral los consumos de seis bimestres de 1993/94 de los 3453 usuarios de energía eléctrica. Para este estudio se utilizó sólo la información de 3081 departamentos, ya que se eliminaron 278 contratos de tarifa diferente a la residencial 1, así como 89 usuarios que registraban consumos menores (o iguales) a 10 kWh/mes y los cinco con consumos más altos. En la figura 1 se muestra la distribución de usuarios según su consumo mensual. En esa misma gráfica se incluye la distribución de los consumidores en otro período entre 1987 y 1988. Resulta interesante ver las diferencias en la distribución del consumo y señalar que el consumo medio de 87/88 es de 99 kWh/mes y el de 93/94 de 120.91 kWh/mes. Por otra parte la tasa promedio anual de crecimiento del consumo de energía de la unidad habitacional es de 3.6%. Este crecimiento es una combinación del 0.35% de incremento anual promedio de usuarios, y del aumento en el consumo de los usuarios que es de 3.2%.

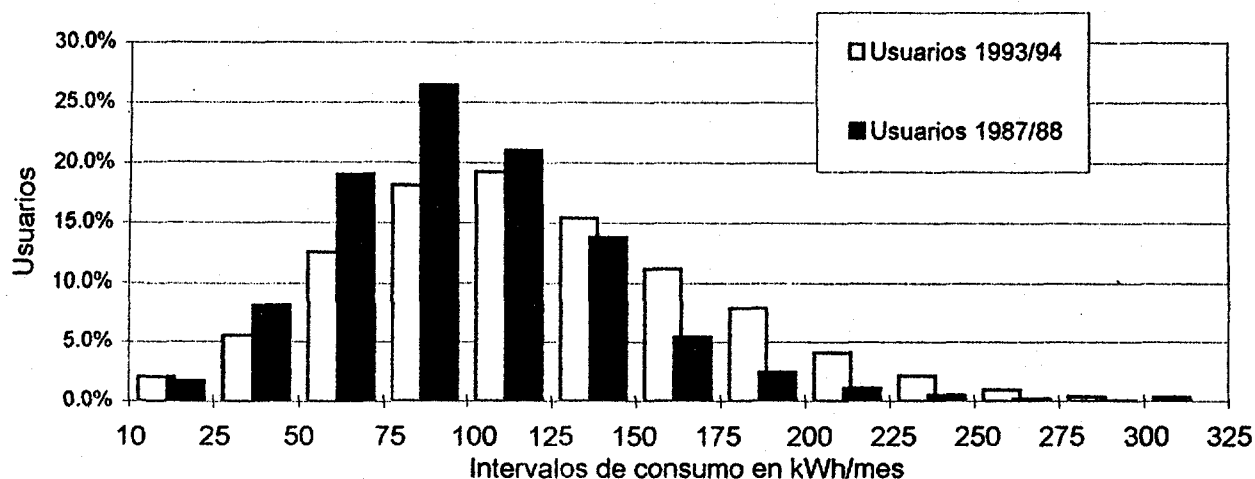


Figura 1. Distribución del consumo mensual de la unidad habitacional para dos períodos

Desarrollo de la encuesta

Para la aplicación de la encuesta se escogió una muestra simple aleatoria de los 3081 usuarios. Se consideró una confianza de 90% y una precisión de 95%. Lo que resultó en una muestra de 203 usuarios. Se analizó la alternativa de una muestra estratificada pero se obtuvo prácticamente el mismo tamaño para la confianza y precisión especificadas.

El cuestionario que se presentó a la muestra solicitaba información en relación con: el número de habitantes del hogar, el tiempo que llevan viviendo en ese departamento, la cantidad y capacidad de los focos que tienen, el tamaño del refrigerador, la cantidad y tamaño de los televisores, el tipo y tamaño de la lavadora de ropa y la enumeración del resto de los electrodomésticos. La información que se solicitó con mayor detalle es la que corresponde a la iluminación, el refrigerador y los televisores cuyo consumo representa un porcentaje alto del total.

Se intentó obtener respuesta del cuestionario en un total de 230 departamentos (considerando un 10% de no respuesta). La aplicación de la encuesta se inició al final de agosto de 1996, pero fue hasta principios de octubre que se tuvieron 188 respuestas confiables. Las dificultades para recolectar los datos fueron superadas gracias a la perseverancia de los alumnos que participaron en la entrega. Desde luego el problema más importante fue la desconfianza de los habitantes. Primero se tenía que lograr entrar al edificio (las entradas están permanentemente cerradas), posteriormente lograr que les recibieran el cuestionario y después que tuvieran confianza del uso que se le daría a la información y contestarla. Un elemento importante que ayudó a disminuir la desconfianza fue que en la carta de presentación se incluyó una extensión del conmutador de la UAM donde se recibían llamadas y se explicaba el objetivo de la encuesta.

La encuesta se diseñó para que los usuarios de los departamentos pudieran contestarla sin ayuda de un encuestador. Por ejemplo se incluyeron dibujos para que marcaran el aparato que se parecía al que tenían en casa. La intención era entregar personalmente el cuestionario y que posteriormente se regresara por las respuestas. En la mayoría de los casos contestaron después de varias visitas. En algunos casos solicitaron a los estudiantes que entregaron los cuestionarios que les ayudaran a llenarlos, mientras ellos contestaban verbalmente.

En la figura 2 aparece la distribución de los hogares encuestados según su consumo mensual (para los mismos intervalos de la figura 1). La desviación estándar de la muestra es de 53.85 y la media del consumo resultó de 127.25 kWh/mes lo que significa un 5.2% arriba de la media del total poblacional, que es de 120.91 kWh/mes con una desviación estándar de 54. Esto resulta muy razonable si se considera el crecimiento que hubo entre 1994 y 1996, que probablemente fue de 3.5% en promedio.

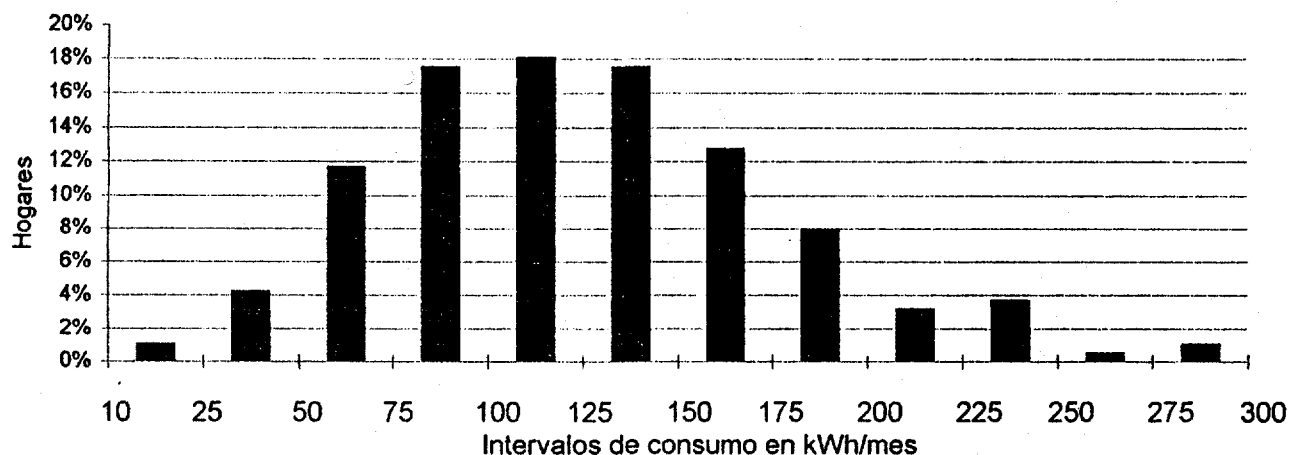


Figura 2. Distribución de consumos mensuales de la muestra.

En relación con la antigüedad (o permanencia) de las familias en esos departamento, se encontró que el 73% llevan viviendo allí más de 5 años. Por otra parte se obtuvo un promedio de 3.5 habitantes por vivienda, lo cual permite estimar en 12,855 el número total de habitantes en 1994. En la figura 3 se muestran las distribuciones de la muestra por número de personas por hogar y por años de antigüedad en el mismo departamento.

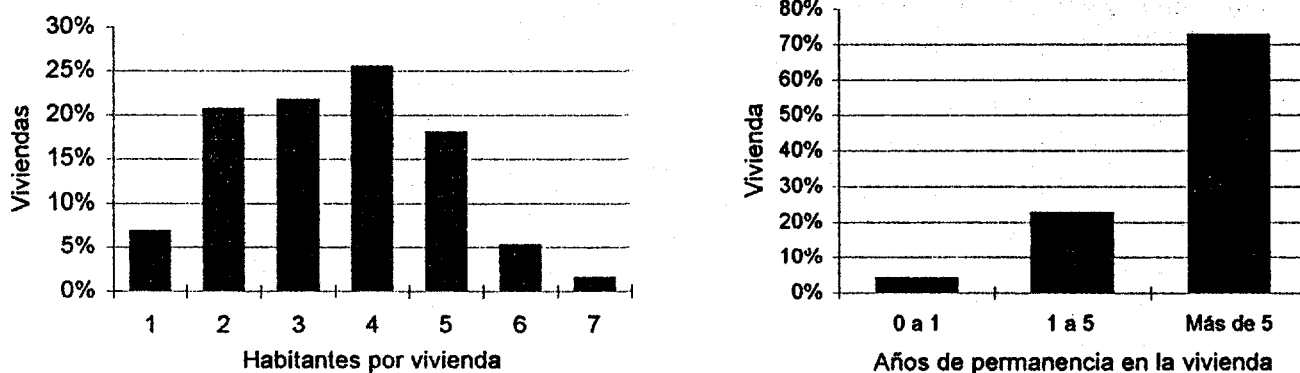


Figura 3. Distribución de la muestra por número de habitantes y por tiempo de permanencia

Iluminación

La iluminación de los hogares encuestados es mayoritariamente con focos incandescentes, aunque se encontraron algunas lámparas fluorescentes: 0.18 lámparas por hogar. Es interesante señalar que hubo un usuario que tenía siete lámparas fluorescentes compactas de 15W. El promedio de focos por vivienda para cada una de las capacidades del cuestionario resultó de 1.25 para 25W, 1.5 para 40W, 3 para 60W, 1.4 para 75W y 1.4 para 100W. La cantidad de focos mayores a 100W es despreciable (0.02 por vivienda). En la figura 4 se presenta la distribución de las capacidades de focos en la muestra. Como comentario adicional se puede decir que todo parece indicar que los usuarios tienen bien identificadas las capacidades de los focos y entienden muy bien lo que cada una de ellas significan para el consumo.

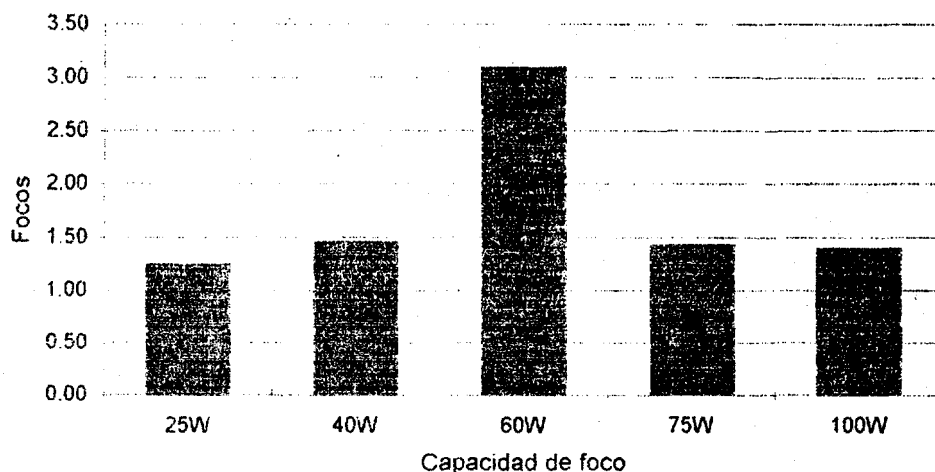


Figura 4. Cantidades de focos en la muestra de 188 hogares

Refrigeradores

En relación con el refrigerador las preguntas estaban encaminadas a conocer la marca, el modelo, el tipo (una o dos puertas), la edad y las dimensiones. Las respuestas a las preguntas permitieron estimar el volumen interior de los refrigeradores y conocer la distribución de los tamaños de los refrigeradores (volúmenes) de la muestra, tal y como se muestra en la figura 5. Fue sorprendente encontrar que el 2% de los hogares encuestados no tienen refrigerador, 79% lo tienen de una puerta, 19% tiene refrigerador de dos puertas (refrigerador y congelador) y un hogar tiene 2 refrigeradores. Al respecto de los años de uso se encontró que el 5% de los usuarios tienen 30 años con el mismo refrigerador. El promedio de edad de los refrigeradores de una puerta es de 12 años y de los de dos puertas es de 4 años. La media del volumen de los refrigeradores reportados es de 300 dm³ (10.6pies³).

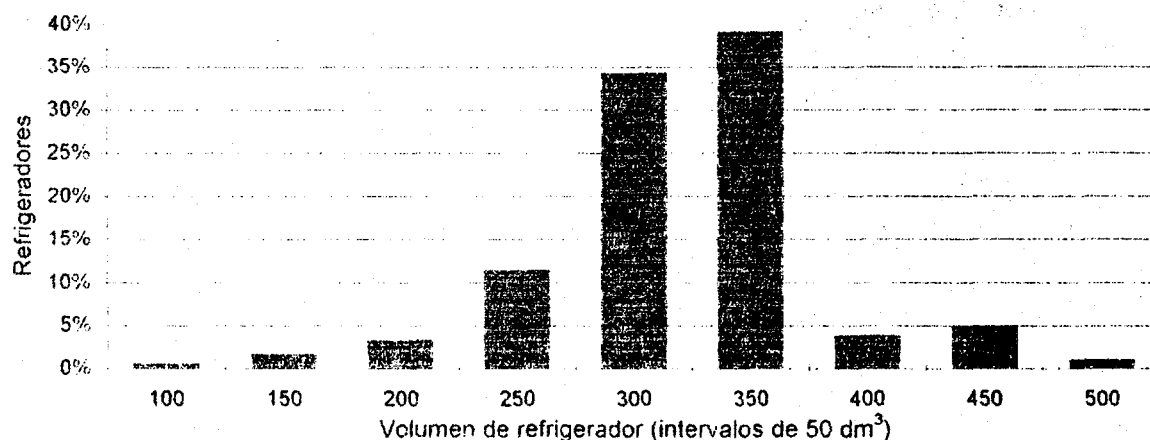


Figura 5. Distribución de refrigeradores en función del volumen (intervalos de 50 dm³).

Televisores

Para el caso de los televisores se preguntó la cantidad de aparatos que tenían y el tipo de cada uno (color o blanco y negro y dimensión de la pantalla), así como si tenían videocasetera. En total se contabilizaron 350 televisores, de los cuales el 83% resultaron ser de color y el resto blanco y negro. Tres hogares respondieron que no tienen televisor. En la figura 6 se presenta la distribución de televisores por vivienda y la distribución de televisores en función de la dimensión de la pantalla. El

promedio de aparatos por vivienda resulta muy cercano a 2. La pantalla más grande que se encontró es de 32 pulgadas.

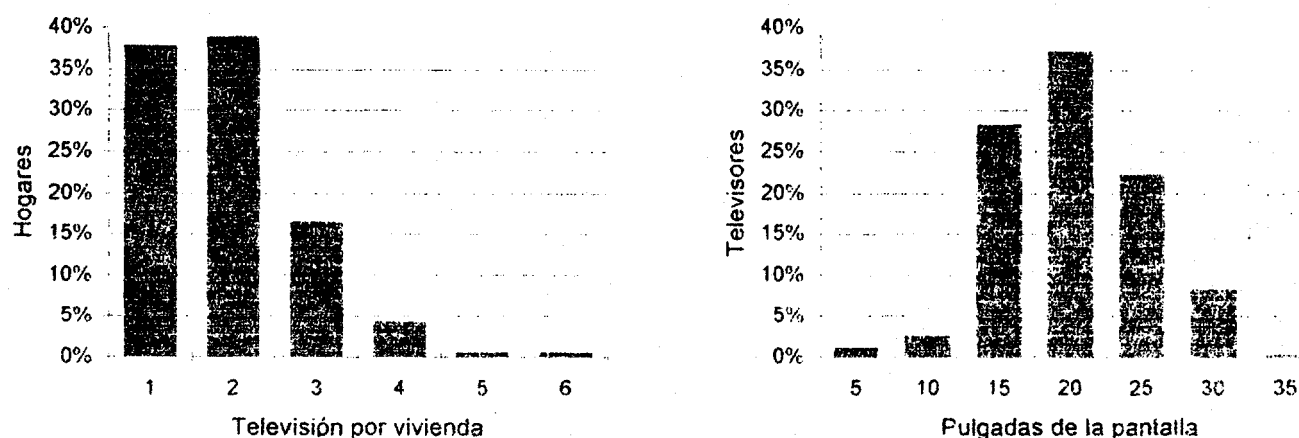


Figura 6. Distribución de televisores por vivienda y distribución de tamaños de pantalla.

Lavadora

En la encuesta se encontró que un 17.5% de los hogares de la muestra no tienen lavadora de ropa. De los hogares que sí tienen lavadora el 11% son del tipo que se carga por enfrente y 89% son de las que se cargan por arriba. En relación con el tamaño de las lavadoras resultó que el 80% son de 5 a 6kg de carga.

Otros electrodomésticos

En la última pregunta del cuestionario de la encuesta se listaban 13 electrodomésticos y se solicitaba que marcaran aquellos que tenían en casa. El último renglón de otros que estaba en blanco por si querían agregar más aparatos y mencionaron: 8 computadoras, 4 máquinas de escribir, 3 campanas de extracción y dos secadoras de ropa. En la tabla 1 aparecen los "otros" declarados.

Tabla 1. Otros electrodomésticos reportados

	Cantidad	% de hogares
Calefacción eléctrica	7	3.7
Horno eléctrico	71	37.8
Horno de microwondas	60	31.9
Plancha	185	98.4
Ventilador	60	31.9
Secador de pelo	90	47.9
Aspiradora	47	25.0
Tostador	44	23.4
Licuadora	184	97.9
Batidora eléctrica	99	52.7
Extractor de aire	90	47.9
Cafetera eléctrica	24	12.8
Equipo de audio	144	76.6

Conclusiones

La tasa promedio anual de crecimiento del consumo entre 88 y 94 resultó de 3.6%. La participación del aumento de usuarios (0.35%) es marginal debido a que se trata de un conjunto habitacional que no creció en número de departamentos durante ese período. Por esta razón los autores consideran que la tasa promedio anual de 3.6% puede considerarse como el crecimiento por el aumento de capacidad de consumo de los usuarios, es decir, por la adquisición de nuevos electrodomésticos o por la sustitución de aparatos viejos por otros más grandes. En la figura 1 puede verse el corrimiento de los usuarios a los intervalos de mayor consumo.

El resultado de la encuesta permite concluir que hay algunos electrodomésticos que ya llegaron a saturar el mercado de los hogares de la unidad habitacional.

En otra etapa del trabajo (artículo titulado "Agrupamientos Homogéneos de Usuarios Residenciales de Energía Eléctrica en Función de las Variables que Impactan el Consumo" que se presenta en este Seminario) se utilizará la técnica de formación de grupos ("Cluster Analysis") para determinar agrupamientos homogéneos dentro de la ya de por sí homogénea unidad habitacional. Esta técnica tiene la ventaja de permitir inferencias en cada agrupamiento mediante el análisis de una pequeña muestra de usuarios.

Las inferencias mostradas en este artículo están plenamente validadas por la comparación entre la media y la desviación estándar que se obtuvo para la muestra y los parámetros correspondientes obtenidos para la población.

Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a los alumnos Oswaldo Tapia Olguín, Rogelio Robles Encinal, Rita Araceli González Vargas y Jesús Horacio Espinosa por su colaboración en la entrega y recolección de los cuestionarios y a todos los inquilinos que contestaron la encuesta.

AGRUPAMIENTOS HOMOGÉNEOS DE USUARIOS RESIDENCIALES DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LAS VARIABLES QUE IMPACTAN EL CONSUMO

Eduardo Campero Littlewood* y José Romero Cortés*

Unidad Azcapotzalco,

Universidad Autónoma Metropolitana

*Departamento de Energía y *Departamento de Sistemas

Av. San Pablo 180, Colonia Reynosa, 02230 México, DF.

Fax 394 7378, correo ecl@hp9000a1.uam.mx

Resumen

En este artículo se presenta el resultado del análisis de correlación del consumo mensual de energía eléctrica y las capacidades en watts de los electrodomésticos e iluminación realizado a una muestra de usuarios de tarifa residencial. Para este trabajo se utilizó la información obtenida en las respuestas de una encuesta aplicada en un conjunto habitacional (los resultados de la encuesta se presentan en otro artículo en este Seminario). Las variables de la correlación se obtuvieron a partir de las especificaciones de capacidades o a través de mediciones en electrodomésticos similares a los encontrados en los hogares. Al final se presenta el resultado de la aplicación de la técnica de formación de agrupamientos ("Cluster Analysis") para obtener grupos homogéneos de usuarios, de forma que se pueda estimar el perfil de demanda eléctrica mediante el registro de la demanda (watts) de una pequeña muestra de usuarios.

Introducción

Dentro de los trabajos realizados en el programa de investigación de la Universidad Autónoma Metropolitana denominado "Uso de Energía en Edificaciones", se llevó a cabo una encuesta por muestreo en un conjunto habitacional, con el objetivo de caracterizar la capacidad instalada por hogar. Los resultados se presentan en otro artículo ("Usos Finales de la Energía Eléctrica en Hogares de un Conjunto Habitacional", presentado en este mismo Seminario), en el que se describe el tipo de electrodomésticos que se encontraron en una muestra de 188 hogares en un conjunto habitacional con 3453 usuarios de energía eléctrica de tarifa residencial. Ahora se utiliza la información obtenida y reportada para estimar la capacidad instalada (capacidad en iluminación y electrodomésticos) de los viviendas encuestadas y en función de estas variables formar agrupamientos homogéneos y proponer un método para la estimación de la curva horaria de demanda (patrón de uso) de la energía eléctrica en estos agrupamientos.

Capacidad Instalada de los Hogares encuestados

Las preguntas de la encuesta estaban encaminadas a conocer aquellas características de los electrodomésticos (refrigeradores, televisores y lavadora de ropa) que resultan determinantes para su capacidad en watts. También se obtuvo respuesta de la capacidad de los focos o lámparas utilizadas en la iluminación de los hogares

Para los televisores se obtuvo la capacidad en watts de las especificaciones de equipos similares o equivalentes, pero para el caso de los refrigeradores fue necesario medir la demanda (watts) de 28

aparatos para cubrir los tipos y tamaños de los que aparecieron en la encuesta. En las lavadoras se consideró que la capacidad en watts depende de la forma en que se carga (frente o arriba).

Con la anterior información se pudo determinar la carga instalada de cada hogar correspondiente a las capacidades de los focos, el refrigerador, los televisores y lavadora de ropa.

Análisis de Correlación

A las variables observadas mediante el cuestionario respondido por los hogares encuestados se les hizo una prueba de correlación para analizar la sensibilidad del consumo con respecto a estas variables. Algunos autores han analizado hipótesis en este sentido [1 y 2]. La búsqueda de correlaciones se llevó a cabo para ayudar a entender cuáles variables tienen mayor peso en la determinación de la homogeneidad de agrupamientos. En la tabla 1 aparecen las correlaciones significativas entre consumo mensual promedio, número de habitantes (mayores de 6 años), total de watts en iluminación, capacidad del refrigerador (en watts), número de televisores (el promedio de televisores por vivienda resultó muy cercano a dos), suma de la capacidad en watts de los televisores, capacidad de la lavadora en kilos de ropa, capacidad de la lavadora en watts y suma de watts instalados en iluminación, refrigerador, televisores y lavadora.

Tabla 1. Correlación de las variables observadas mediante la encuesta.

Variables	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18
X6: kWh/mes	si	si	no	si	no	no	no	no	no	si	no	no	no
X7: habitantes	si	si	no	no	si	no	si	no	no	si	si	si	si
X8: W iluminación	no	no	si	no	si	no	si	si	no	si	si	no	si
X9: W refrigerador	si	no	no	si	no	si	no	no	no	si	si	no	si
X10: cantidad tvs	no	si	si	no	si	no	si	si	si	si	si	si	si
X11: W tv1	no	no	no	si	no	si	si	no	no	si	si	si	si
X12: W tv2	no	si	si	no	si	si	si	si	no	si	si	si	si
X13: W tv3	no	no	si	no	si	no	si	si	si	si	si	si	si
X14: W tv4	no	no	no	no	si	no	no	si	si	si	no	no	si
X15: W tot-tvs	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si
X16: kilos-lav	no	si	si	si	si	si	si	si	no	si	si	si	si
X17: W lav	no	si	no	no	si	si	si	si	no	si	si	si	si
X18: W totales	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si	si

si = existe correlación significativa ($\alpha = 0.05$)

A continuación se mencionan las correlaciones más sobresalientes:

1. La variable que resultó correlacionada con todas las demás fue la suma de la capacidad en watts de los televisores.

2. Resulta muy interesante ver que la prueba realizada mostró que no existe relación entre el consumo promedio mensual y la suma de los watts de los focos, es decir, no se cumple el supuesto de que el consumo mensual de las familias es sensible a la carga en iluminación.

3. La prueba mostró además que el consumo promedio mensual no está correlacionado con la suma de watts instalados en iluminación, refrigerador, televisores y lavadora. Sin embargo, sí está relacionado con el número de habitantes (mayores de 6 años), los watts del refrigerador y el total de watts de todos los televisores. Con esto se fortalece la hipótesis de los autores en el sentido de que el refrigerador puede ser un trazador del consumo en los usuarios de la clase media.

Agrupamientos Homogéneos

Uno de los objetivos de la encuesta por muestreo fue la de generar grupos de hogares cuyas configuraciones en cuanto a capacidad instalada de electrodomésticos fuera muy parecida. Entonces a partir de la información de la encuesta se hizo un agrupamiento de la muestra o "Cluster Analysis" [3 y 4] en sectores homogéneos para posteriormente aplicar un programa de monitoreo a una muestra dentro de cada uno de esos agrupamientos homogéneos. El programa de cómputo que se utilizó para obtener los agrupamientos es conocido como SAS [5]. La ventaja de este procedimiento es que una muestra relativamente pequeña puede reportar resultados de confianza y precisión similares a las que un método tradicional daría con un número mayor de muestras. Al final la intención es determinar la curva de demanda de cada uno de los sectores homogéneos y obtener la curva total de demanda de la unidad habitacional.

Con la muestra obtenida y utilizando el criterio de grupo cúbico se observa que la población se representa por tres grupos homogéneos en cuanto a la multivariabilidad que se da dentro de estos y la heterogeneidad entre estos. En la figura 1 se presenta la gráfica obtenida mediante el criterio de grupo cúbico.

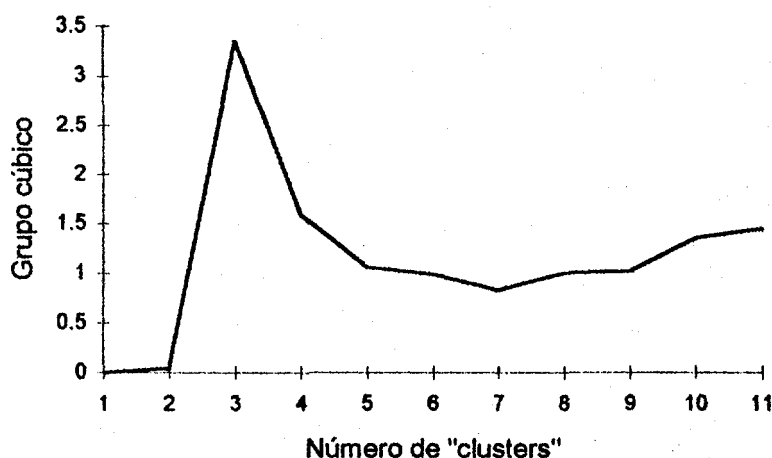


Figura 1. Determinación del número de agrupamientos homogéneos ("clusters") por el criterio de grupo cúbico.

A continuación, en la tabla 2, se le asigna un número consecutivo a cada uno de los agrupamientos o "clusters" y se presenta la cantidad de observaciones (usuarios encuestados) que quedaron anidadas en cada uno de los tres agrupamientos.

Tabla 2. Observaciones de la muestra que se anidan en cada agrupamiento.

Agrupamiento o "cluster"	Cantidad	Porcentaje
1	114	60.6%
2	41	21.8%
3	33	17.5%

En la tabla 3 aparecen las coordenadas de los centroides, que corresponden a las medias de las variables, y las desviaciones estándar asociadas a cada uno de los tres agrupamientos.

Tabla 3. Coordenadas de los centroides de los agrupamientos y desviaciones estándar de cada variable

Variables	Centroides			Desviaciones estándar		
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3
kWh/mes	128.9	125.2	124.1	53.9	57.1	51.1
Habitantes	3.7	3.5	2.8	1.4	1.1	1.3
W iluminación	467.4	797	433.5	116.5	96.1	155
W refrigerador	152.8	160.1	136.3	39.2	38.1	53.2
Cantidad televisores	1.88	2.3	1.3	.9	1.1	0.7
W televisor 1	95.93	96	84.7	34.2	29.6	40.8
W televisor 2	50.37	66.4	23.9	43.9	47.7	38.7
W televisor 3	17.5	30.9	0.3	36.4	46.6	1.6
W televisor 4	2.6	7.5	2.2	15	23.2	12.7
W lavadora	437.4	397.3	16.4	46.2	113.8	65.4

Finalmente, en la tabla 4, se presentan unos ejemplos de la distribución de las observaciones muestrales dentro de cada uno de los tres grupos.

Una vez identificados estos grupos donde los hogares que los constituyen son muy parecidos dentro de grupos, pero muy diferentes entre grupos, se podrá estimar las demandas total y por electrodoméstico en el tiempo, con muestras de tamaño pequeño debido a la menor multivariabilidad que se da dentro del grupo.

Conclusiones

Las actividades de operación y los procesos de planeación del sector de energía eléctrica requieren del conocimiento de la demanda de electricidad proveniente de las diferentes actividades económicas de la población. De la misma manera para la evaluación de los esfuerzos encaminados al ahorro de la energía se deben conocer los patrones del consumo de la energía.

Los métodos y enfoques para conocer los parámetros que expliquen los patrones de oferta y demanda son variados. En este artículo los autores sustentan sus inferencias acerca de la capacidad instalada en los hogares y su relación con el consumo, con los resultados de una encuesta por muestreo aplicada en un conjunto habitacional. Fundamentalmente se infieren las sensibilidades de las capacidades del refrigerador, televisor e iluminación, que representan un porcentaje importante de la carga instalada por hogar y de toda la unidad habitacional.

De los resultados de la matriz de correlaciones destacan la influencia que tienen en el consumo el número de habitantes, y las capacidades de los televisores y del refrigerador. Al mismo tiempo el hecho de que la capacidad en iluminación no sea determinante del consumo. Lo anterior permite a los autores continuar trabajando en la posibilidad de utilizar al refrigerador como un trazador del consumo en los usuarios de la clase media.

Por lo pronto el trabajo que se propone realizar en el futuro es la selección de una muestra aleatoria de casas habitación dentro de los agrupamientos y registrar la curva de demanda diaria en cada casa. Esto significa que el hogar es la unidad última de muestreo. Precisamente no se plantea como unidad última de muestreo al electrodoméstico por las dificultades técnicas y de costo que representa registrar el consumo de aparatos funcionando dentro de los hogares.

Tabla 4. Ejemplos de observaciones anidadas en los "clusters" o agrupamientos.

	Ident	Habitan	Wfocos	Wrefri	# tvs	W tvs	W totales	kWh/mes	Clust
1	1	3	525	114	2	192	1,281	55.2	1
2	2	5	380	114	3	186	1,130	99.3	1
3	3	5	310	155	3	147	1,062	128.3	1
4	4	5	510	155	2	107	1,042	124.1	1
5	5	5	615	240	2	215	1,520	178.6	1
6	8	2	450	123	1	90	1,113	94.7	1
7	9	3	595	157	2	184	1,386	120.9	1
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
115	7	5	725	155	4	194	1,524	116.1	2
116	30	3	715	155	1	110	1,430	83.8	2
117	31	3	795	155	3	248	1,468	84.5	2
•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
156	6	1	540	105	1	64	709	50.5	3
157	10	3	400	105	2	199	704	168.3	3
158	16	3	105	157	1	70	332	160.8	3

Bibliografía

1. O. Masera, O. de Buen y R. Friedmann, "Consumo Residencial de Energía en México: Estructura, Impactos Ambientales y Potencial de Ahorro", Primera Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano, diciembre de 1991, México D.F., UNAM/PUE, pp 73-96.
2. R. Friedmann, "El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro", Memoria del XII Seminario de Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía, noviembre 25-29, México D.F., ATPAE 1991, pp 347.57.
3. M. R. Anderberg, Cluster Analysis for Applications, New York: Academic Press Inc., 1973.
4. B. S. Everitt, Cluster analysis, Second edition, London: Heineman Educational Books Ltd., 1980.
5. SAS Institute Inc., SAS/STAT User's Guide, Release 6.03, Edition, Cary, NC: SAS Institute Inc., 1988.

APLICACIÓN DE LAS NUEVAS NORMAS ISO-14000, EN LA IMPLEMENTACION DEL DESALADO EN EL SISTEMA NACIONAL DE REFINERIAS Y SU IMPACTO EN EL CONSUMO DE ENERGIA

G. BAZAN, L. GONZALEZ

SUBGERENCIA INVESTIGACION TECNOLOGICA
PEMEX-REFINACION, TORRE EJECUTIVA 6º PISO MARINA NACIONAL 329
TEL. 545 3322

S. CASTILLO, M. MORAN-PINEDA

GERENCIA DE INVESTIGACION APLICADA DE PROCESOS
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO, EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152
TEL. 368 5911-20289 FAX 587 3967

RESUMEN

Todo proyecto tiene un objetivo, es decir persigue resultados; una manera de controlar el desarrollo de un proyecto es definiendo un sistema específico en el cual sus ordenadores son las normas que lo constituyen y es como mediante estas infraestructuras es posible sistematizar tanto en la parte tecnológica como en la administrativa de cualquier tipo de proyecto. En nuestro caso específico el proyecto consiste en la aplicación de las normas ISO-14000 en la implementación del desalado en el Sistema Nacional de Refinerías, con el objeto de optimizar el proceso en lo relativo a sus aspectos químicos, analíticos y uso racional de energía.

ANTECEDENTES

Esta idea es la que se adopta en la International Organization for Standarization (ISO) que es un Organismo Internacional no Gubernamental con sede en Ginebra, Suiza, cuya finalidad es el establecimiento de normas de aplicación internacional. Esta asociación reúne a cerca de 1100 agrupaciones o países miembros. Mediante un proceso de negociación y consenso, se elaboran las respectivas normas. La palabra ISO erróneamente se asocia a la Organización y su significado es el relativo a "igual" que va de acuerdo a la filosofía de la Organización, que busca la estandarización a nivel mundial. Las primeras normas que surgieron de esta asociación fueron las relativas a la administración de la calidad, elaboradas por el grupo técnico 176 y fueron bautizadas como normas ISO-9000.

Estas normas fueron terminadas en el año de 1987, y son el elemento fundamental de las negociaciones comerciales; en base a los logros que se tuvieron con estas normas se formó

un grupo asesor en el año de 1991, con la participación de 25 países para la elaboración de normas internacionales en el área de administración ambiental, resultando la serie de normas 14000.

Las familias de normas ISO-14000 se orientan a :

- Sistemas de administración ambiental (ISO-14001)
- Normas sobre auditoría ambiental (ISO-14010)
- Evaluación de desempeño ambiental (ISO-14031)
- Aspectos ambientales con las normas de productos (ISO-14060)
- Clasificación ambiental (ISO-14020, 21,22,23, y 24.
- Evaluación del ciclo de vida (ISO-14040, 41, 42 y 43)

En síntesis podemos decir que las normas ISO no son una concepción "nueva" y que las empresas de éxito desde hace mucho tiempo han aplicado estos conceptos y que básicamente, consta en escribir lo que se hace (documentación) fijación de objetivos, establecimiento de metas de un programa de planeación (programar, evaluar y controlar), así como el de realizar un proceso de mejora continua. Los sistemas ISO han cobrado gran renombre más bien debido a aspectos comerciales y políticos. Estos últimos conceptos se aplicaron al sistema de doble desalado en el Sistema Nacional de Refinación, que va a garantizar y abastecer de carga de buena calidad al Sistema de Refinación.

El ahorro debido a la aplicación de estos conceptos representa un beneficio económico muy importante en una refinería, que puede llegar a ser de un dólar por barril.

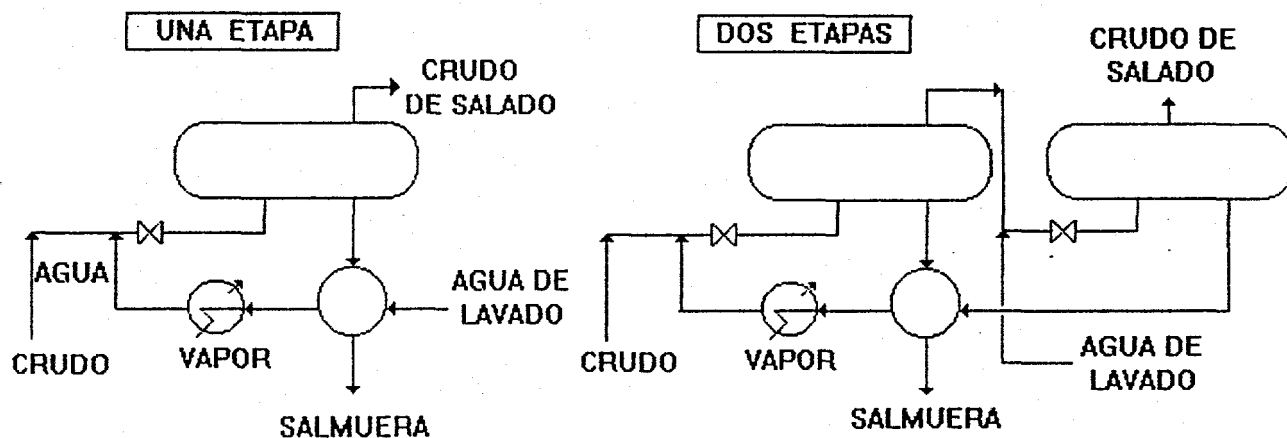
SISTEMA DE DESALADO

Los factores que mas importan en un centro de refinación lo constituye la calidad de la materia prima a procesar (crudo); las variaciones en la calidad de la materia prima afectan substancialmente las operaciones de todas las plantas en una refinería. En nuestro país, por la cantidad y diversidad de yacimientos con los que contamos, la proporción de diferentes crudos es muy variada para cada centro de refinación; las cuales se pueden disminuir mediante la construcción de líneas que permitan segregar diferentes crudos para que una refinería pueda preparar sus propias mezclas de materia primas en base a la demanda de combustibles. Otro aspecto por eliminar es el almacenamiento de materia prima el cual al tener un reposo da lugar a la eliminación de diferentes impurezas. En la Tabla 1, podemos observar los efectos que se originan por diferencias en la eliminación de impurezas. Dentro de las impurezas que más impacto tienen son los cloruros, sulfatos de sodio, calcio, magnesio, sedimentos y sólidos suspendidos. El procedimiento que nos va a permitir eliminar estas impurezas es el proceso de desalado el cual se proporciona en la Figura 1.

Tabla 1.- EFECTO DE IMPUREZAS

EFFECTO	SAL	AGUA	SEDIMENTO	SOLIDO SUSPENDIDOS
Disminución de carga	X	X	X	X
Corridas cortas	X	X	X	X
Ataque corrosivo	X			
Gastos de Mantenimiento	X	X	X	X
Ensuciamiento	X		X	X
Erosión de equipo			X	
Consumo de energía	X	X	X	X
Envenenamiento del Catalizador	X			
Costo para control de corrosión/ensuciamiento	X		X	X
Descontrol de operación		X	X	X
Problemas de efluentes			X	X
Productos fuera de especificación	X	X	X	X

Las sales de sodio representan el 75% de las sales totales, las sales de magnesio el 15% y las sales de calcio el 10% en promedio. Los cloruros de magnesio hidrolizan la temperatura ligeramente mayores a 121°C, los de calcio a 205°C y los de sodio a 538°C. Por lo anterior, las sales de calcio y magnesio son las principales formadoras de ácido clorhídrico en el proceso de destilación atmosférica, mientras que las de sodio aportan más en la sección de vacío.



TIPOS DE DESALADORA

- A).-CYELECTRICA
- B).-BAJA VELOCIDAD
- C).-BIELECTRICA

FIURA 1.- PROCESO DE DESALADO

Para efectuar un buen desalado se deben considerar los siguientes aspectos:

- Precalentamiento
- Adición del agua de lavado con la calidad y temperatura adecuada
- Mezclado óptimo entre el agua y petróleo
- Tiempo de asentamiento y nivel de agua en la desaladora
- Caída de presión a través de la válvula mezcladora
- Presión en la desaladora
- Variables eléctricas
- Fluctuaciones en el contenido de sal
- Eficiencia de desalado

Los criterios generales de operación que permiten estabilizar o mejorar el funcionamiento de la sección de desalado se indica en la tabla 2.

Tabla 2.- Criterios Generales de Operación de Desalado

Peso especifico Crudo	% Vol. Agua de Lavado	Temp. °C Agua de Lavado	Temp. °C operación Desaladora	ΔP Válvula Mezcladora	Nivel Pulgadas	Voltaje Volts	Amperaje Ampers
0.822- 0.866	3-4	80-90	120-126	0.90-1.50	36	>340	<50
0.868- 0.878	4-6	80-90	126-135	0.80-1.00	36	>340	<50
0.880- 0.920	6-8	80-90	135-145	0.33-0.13	36	>340	<50

Nota: La caída de presión mostrada aplica cuando el suministro de agua de lavado es antes de la válvula

Es importante mencionar que en la mayoría de las plantas atmosféricas de nuestro país se dispone de una sola etapa de desalado, lo cual no permite obtener eficiencias por arriba del 95% de remoción de sales; aunado a lo anterior, las variaciones en las condiciones operacionales y contenido de sal en el crudo, origina que se trabajen con remociones del orden del 90-94% en promedio.

Se realiza actualmente las adecuaciones en campo en esta sección, que permitirán incrementar la remoción de sales hasta un 94%. Adicionalmente, se disponen de las justificaciones técnico-económicas que avalan la inclusión de un doble desalado con lo cual se obtendrán eficiencias del 98%, garantizando la disminución de efectos corrosivos en tuberías y equipos de proceso.

El sistema de desalado esta dentro de un proceso general que se denomina tratamiento integral del crudo, que incluye el pretratamiento en la sección de almacenamiento del mismo.

El consumo de reactivos para eliminar impurezas depende de su calidad y cantidad y su efecto se proporciona en la tabla 2.

Como se observa en la tabla anterior la disminución de impurezas permitirán incrementar la vida útil del equipo y tubería, periodos de corridas mas grandes como consecuencia de minimizar los efectos de corrosión y eficientar el ahorro de energía para precalentamiento de crudo.

En síntesis, los beneficios que nos proporciona el tratamiento integral de crudo son:

- Menor nivel de contaminantes
- Mejores condiciones operacionales
- Tiempo de corrida prolongados
- Indices operacionales mayores
- Mínimo deterioro de equipos de intercambio térmico y tubería
- Disminución de mantenimiento

- Ahorro energético
- Ahorro en el agua de lavado

EL tratamiento del petróleo crudo incluyendo el pretratamiento en la sección de almacenamiento, constituye una operación importante dentro del fraccionamiento primario y al vacío. El consumo de reactivos depende de las impurezas que contenga la carga a procesar, de las condiciones de operación y de los puntos de suministro de reactivos, entre los más importantes. De lo anterior dependen los gastos que se originen por este concepto, los cuales se justifican por incrementar la vida útil de equipo y tubería, períodos de corridas más grandes como consecuencia de minimizar los efectos de corrosión y se eficiente el ahorro energético para precalentamiento del crudo.

Una de las impurezas que mas impacta lo es sin duda el contenido de sal en el crudo a procesar, las fluctuaciones en concentración de 30 lb/1000 B se han presentado en forma periódica, lo cual ha originado tomar medidas operativas importantes para minimizar su efecto y a su vez un consumo mayor de reactivos. Es por ello que la implementación de una segunda etapa de desalado se presenta como una alternativa para minimizar el contenido de sal en un 99%. Para determinar el beneficio económico se calcularon una serie de parámetros que involucran este concepto.

Los puntos que se consideran para estimar el beneficio económico se indican a continuación

- Ahorro de energía térmica
 - De la sección de desalado a la columna de despunte
 - De los calentadores
- Ahorro de amina neutralizante
- Ahorro en inhibidor de corrosión
- Ahorro en corrosión de tubería y equipo
- Ahorro en mantenimiento
- Ahorro por consumo de catalizador

Los aspectos importantes que permitieron mejorar el funcionamiento de la sección de desalado fueron:

- Ajuste en las condiciones de operación (ΔP , T, variables eléctricas)
- Suministro de Agua de lavado antes de la válvula mezcladora
- Sustitución de intercambiadores tipo "U" para precalentar el agua de lavado
- Sustitución de válvulas mezcladoras por mezcladores estáticos.
- Implementación de doble desalado.

Los factores que afectan la eficiente operación de la sección de desalado son:

- Precalentamiento del crudo
- Adición de agua de lavado con la calidad y temperatura adecuada
- Tiempo de asentamiento y nivel de la interface en la desaladora
- Caída de presión en la desaladora
- Variables eléctricas
- Fluctuaciones en el contenido de sal
- Tipo de desaladora

La aplicación de la norma ISO-14001 requirió del grupo de trabajo operativo de Pemex-Refinación de un plan para cumplir la política de disminuir el contenido de sal en la materia prima y sus repercusiones en costo a lo largo del proceso de la materia prima en una refinería.

Los pasos de planificación fueron:

- Fijar procedimiento para justificar los aspectos ambientales y de costo derivado de un alto contenido de sal.
- Fijar procedimiento para justificar requerimiento de las compañías que de tratamiento integral de crudo
- Fijar objetivos y metas para el nivel máximo de contenido de sal en el crudo
- Establecer un programa para alcanzar los objetivos y metas propuestos

Estos puntos resumen la aplicación de la norma ISO-14001.

AGRADECIMIENTO.- Grupo de jefes de plantas primarias de PEMEX, mediante un intercambio de experiencias que han logrado beneficios importantes para la empresa.

RESULTADOS

Los resultados que se obtuvieron en función de la aplicación de la norma ISO-14000 son :

1. La implementación de una segunda etapa de desalado es sumamente rentable
2. El punto de inyección de agua tiene un efecto significativo ya que dependiendo del lugar de adición se puede formar una emulsión estable difícil de romper.
3. Debe establecerse un nivel máximo de sal que se recibe en la materia prima, ya que de otra manera debe penalizarse, actualmente las compañías petroleras imponen una multa de 30 centavos de dólar por cada libra adicional arriba de la establecida por contrato, los cálculos afectados por problemas que ocasionan a todo lo largo de la cadena de refinación hacen que este valor se multiplique por un factor de 15, que ya como se menciona a lo largo de este trabajo se presentan daños en los equipos de proceso, consumo adicional de aditivos, catalizadores y energía.

4. El programa resultante fue el de tener un mejor control de calidad de la materia prima, realizando los análisis químicos correspondientes y fortalecer el área sur, con un laboratorio con mayor capacidad y certificado por las autoridades correspondientes.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, es posible constatar que el sistematizar un proceso mediante la aplicación de normas nos permite no solo alcanzar los resultados planeados, sino mejor aun, establecer un criterio analítico de las causas y efectos de todos los componentes que constituyen al mismo, ya sean de carácter científico como económico, tanto en el sentido positivo como negativo y de este modo disponer de una perspectiva del manejo de todas las variables del proceso, como fue en la implementación del proceso de desalado para el Sistema Nacional de Refinerías.

REFERENCIAS

- Las Nuevas Normas Internacionales para Administración Ambiental, Joseph. Cascio; Mc. Graw Hill, 1997
- ISO-14000 Directrices para la Implantación de un Sistema de Gestión Ambiental. Aenor, Asociación Española de Normalización y Certificación 1997.
- Petroleum Refining Engineering, Nelson; Mc. Graw Hill
- Petroleum Refining, William. L. Leffer; Penn Well Publishing Company
- Tecnicas de Conservación de Energía Ministerio de Industria y Energía Comisaria de la Energía y Recursos Minerales, Centro de Estudios de la Energía España, vol. I y II, 1982
- Petroleos Mexicanos ; Memorias de Labores 1993, 1994, 1995, 1996.
- Refinación del Petroleo; H.S. Bell; Editorial Diana, S.A:
- Reuniones de Jefes de Plantas Primarias y Visco-reductoras 27, reunión Minatitlan Ver.; 7-8 agosto de 1997.

LA NORMALIZACIÓN EN EL USO DE CALENTADORES SOLARES

Isaac Pilatowsky F., Adrian Terrones B. y Carlos R. García H.

Departamento de Sistemas Energéticos, Centro de Investigación en Energía, UNAM.

Cerrada Xochicalco s/n, Col., Centro, Apdo. Postal 34, 62580 Temixco, Morelos,

México. Tel: 73-200052, Fax 250018

E. Mail: ipf mazatl.cie.unam.mx

RESUMEN.

En el presente artículo se presentan los diferentes criterios tanto para el establecimiento de la normatividad de los dispositivos conversores y sistemas solares para el calentamiento de agua para uso doméstico, comercial y de servicios, así como los necesarios para la normatividad requerida en la instalación de los equipos y sistemas. Aunado a lo anterior se analiza el establecimiento de criterios para la creación de: programas de capacitación, de una comisión reguladora de la implantación, seguimiento y sanciones derivas de la aplicación de la norma, un marco legal, regulador de la relación jurídica entre los fabricantes y prestadores de servicios y los consumidores, así como un programa permanente de difusión sobre las características, ahorro de energía e impacto ambiental derivado del uso de la energía solar.

Adicionalmente se describen los primeros resultados experimentales obtenidos en un banco de pruebas, en donde se aplicó la norma ASHRAE 93-77, (1).

INTRODUCCIÓN.

La tecnología solar ofrece, en el caso de la conversión fototérmica, una gran variedad de dispositivos conversores y sistemas de calentamiento, cuyas aplicaciones van desde unos cuantos grados por arriba de la temperatura ambiente (calentamiento de agua para piscinas), hasta la generación de electricidad a gran escala (500 °C). La aplicación más generalizada es el calentamiento de agua para uso doméstico y recreativo que va desde 27 hasta cerca de 80 °C, en este caso se usa un dispositivo llamado colector solar plano.

Por lo general un sistema de calentamiento solar de agua está constituido por un subsistema de calentamiento (colectores solares), un subsistema de almacenamiento térmico (termotanque), un subsistema de calentamiento auxiliar (convencional) y un subsistema de distribución del agua caliente.

La industria solar produce una gran variedad de estos dispositivos en donde se incorporan materiales de construcción de muy diferente naturaleza, integrándose materiales de construcción metálicos como el cobre, fierro, aluminio y plásticos como el polietileno y el polipropileno, cubiertas de materiales transparentes como el vidrio, y los polímeros, aislamientos térmicos de espumas plásticas y minerales, recubrimientos que van desde pinturas negras hasta depósitos electroquímicos, baños químicos, etc., así como materiales estructurales como el acero y el aluminio.

El número de combinaciones posibles de todos estos materiales es tan grande como el número posible de colectores solares que pueden fabricarse. Lo anterior hace necesario la intercomparación entre ellos para definir su capacidad de conversión de la radiación solar a energía térmica utilizable, es decir su eficiencia o capacidad de calentamiento por unidad de superficie.

Lo anterior sólo se puede lograr mediante el establecimiento de una norma, en donde se regulen una serie de parámetros, que una vez interrelacionados brinden la información necesaria para la determinación de la eficiencia de conversión, la cual se puede definir como la relación entre la energía térmica total utilizable entre la energía solar incidente.

En México, la industria solar existe desde hace casi medio siglo y a pesar de esta relativa larga existencia, se desconoce la eficiencia de conversión de la mayoría de los colectores solares y las características de los termotanques, que se fabrican en el país, siendo el costo el único parámetro de comparación.

Hasta ahora no se dispone de una norma nacional que regule la calidad de los productos, ni una reglamentación sobre la instalación de los sistemas solares de calentamiento.

En muchos países existen no sólo una, sino varias normas, las cuales incluyen una serie de pruebas, en donde se certifica la calidad de los productos de fabricación y la eficiencia de conversión. Lo anterior ofrece al consumidor una serie de elementos de juicio, antes de tomar una decisión en la adquisición de un equipo solar.

La adquisición de equipos de baja calidad e instalaciones no adecuadas, ha provocado en los últimos años un deterioro considerable en la imagen de las aplicaciones de la energía solar en los sectores residencial, comercial e industrial.

La apertura internacional del mercado nacional a través de los mercados de libre comercio, obligará a nuestra industria solar nacional a establecer no sólo una normatividad de carácter nacional que regule nuestros productos y los de importación sino además los de exportación.

No se puede entender los aspectos de normalización sino es a través de un análisis global. La eficiencia instantánea de un colector solar no tiene sentido sino está asociada a una buena eficiencia, derivada de una instalación adecuada y garantizada por una mano de obra calificada, debiendo existir además, por un lado, un organismo coordinador que haga cumplir con eficiencia en su caso, la obligatoriedad de la norma, y que aplique las sanciones correspondientes y por otro un marco legal que regule la relación entre el fabricante y el instalador y el propio consumidor del equipo solar.

NORMATIVIDAD DE DISPOSITIVOS CONVERSORES, SISTEMAS Y SERVICIOS DE ENERGÍA SOLAR PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA.

La normatividad del uso de calentadores solares debe contener los siguientes aspectos:

1. Normatividad de los dispositivos conversores y sistemas solares.
2. Normatividad en la instalación de dispositivos y sistemas solares.
3. Programa de capacitación con reconocimiento profesional dirigido a instaladores de equipo solar.
4. Comisión reguladora de la implantación, seguimiento y sanciones correspondientes derivadas de la aplicación de la normatividad de los equipos, sistemas y servicios de calentamiento solar.
5. Merco legal con carácter federal que regule la relación de los fabricantes, distribuidores y prestadores de servicio con los usuarios de equipo solar.
6. Programa permanente de difusión sobre las características, el ahorro de energía y el impacto ambiental derivado del uso de la energía solar para el calentamiento de agua.

1. Normatividad de conversores y sistemas.

1.1. Definiciones y conceptos utilizados:

1.1.1 radiación solar.

1.1.1.1. tipos de irradiancia solar.

1.1.1.2. coordenadas solares.

1.1.1.2. equipos de medición de la radiación solar.

1.1.2 termoconvector o colector solar.

1.1.2.1. definición y tipos.

1.1.2.2. materiales que lo constituyen.

1.1.2.3. modo de funcionamiento.

1.1.2.4. propiedades de los materiales de construcción.

1.1.2.5. eficiencia de conversión.

1.1.2.6. modos de interconexión.

1.1.2.7. capacidad de calentamiento por unidad de superficie.

1. 1.3. Recipiente para el almacenamiento de agua caliente o termotanque.

1.1.3.1. definición y tipos.

1.1.3.2. materiales que lo constituyen.

1.1.3.3. modo de funcionamiento.

1.1.3.4. propiedades de los materiales de construcción.

1.1.3.5. capacidad de almacenamiento.

1.1.3.6. resistencia mecánica.

1.1.4 .Sistema de calentamiento solar de agua.

1.1.4.1. definición y tipos.

1.1.4.2. componentes.

1.1.4.3. modos de interconexión colector solar- termotanque.

1.1.5. Sistemas de control.

1.1.5.1. temperatura.

1.1.5.2. flujo.

1.1.5.3. presión.

1.1.5.4. prevención de la termocirculación inversa

1.1.5.5. prevención de la congelación.

1.1.6 Sistemas de calentamiento auxiliar convencional.

1.1.6.1. definición y tipos.

1.1.7. Sistemas híbridos de energía solar -energía convencional.

1.1.7.1. definición y tipos.

- 1.1.7.2. modos de interconexión.
- 1.1.7.3. sistemas de control.
- 1.1.8. Fluidos para transferencia de calor.
- 1.1.9. Intercambiadores de calor.
- 1.1.10. Equipo hidroneumático.
- 1.1.11. Normatividad.

1.2 . Criterios para el establecimiento de una normatividad en los equipos de calentamiento solar de agua.

- 1.2.1. normatividad de los termoconvertidores solares.
 - 1.2.1.1. definición del tipo de normatividad.
 - 1.2.1.1.1. equipo de fabricación nacional para el mercado nacional.
 - 1.2.1.1.2. equipo de fabricación nacional para el mercado internacional.
 - 1.2.1.1.2.1 mercado de libre comercio Canadá - Estados Unidos- México.
 - 1.2.1.1.2.2. mercado de libre comercio europeo.
 - 1.2.1.1.2.3. mercado asiático.
 - 1.2.1.1.2.4. mercado latinoamericano.
 - 1.2.2.2.2. Definición del tipo de pruebas que constituyan la normatividad.
 - 1.2.2.2.2.1 pruebas dinámicas.
 - 1.2.2.2.2.1.1. determinación de la constante de tiempo.
 - 1.2.2.2.2.1.1.1 capacitancia térmica.
 - 1.2.2.2.2.1.2 eficiencia térmica.
 - 1.2.2.2.2.1.2.1. instantánea.
 - 1.2.2.2.2.1.2.2. diaria.
 - 1.2.2.2.2.1.2.3. promedio mensual.
 - 1.2.2.2.2.1.2.4. promedio anual.
 - 1.2.2.2.2.1.3. modificador del ángulo de incidencia.
 - 1.2.2.2.2.1.4 potencia de calentamiento.
 - 1.2.2.2.2.1.4.1 a baja temperatura (40°C).
 - 1.2.2.2.2.1.4.2. a mediana temperatura (60°C).
 - 1.2.2.2.2.1.4.3 a alta temperatura (80°C).
 - 1.2.2.2.2.1.5. caída de presión.
 - 1.2.2.2.2.1.6. presión de trabajo.
 - 1.2.2.2.2.2 pruebas estáticas.
 - 1.2.2.2.2.2.1. temperatura de estancamiento.
 - 1.2.2.2.2.2.2. volumen de líquido retenido.
 - 1.2.2.2.2.3 pruebas de caracterización de componentes.
 - 1.2.2.2.2.3.1. transmitancia óptica de la cubierta.
 - 1.2.2.2.2.3.2. absorptividad de la placa absorbidora.
 - 1.2.2.2.2.3.3. conductividad térmica del aislamiento.
 - 1.2.2.2.2.3.4. degradación de las propiedades debida al intemperismo.
 - 1.2.2.2.2.4 otras pruebas a definirse.

1.3. Definición de criterios para el establecimiento de un banco de pruebas para la normalización de dispositivo y sistemas termoconvertidores de energía solar para el calentamiento de agua.

- 1.3.1. Requerimientos para las pruebas conducentes a la normalización de dispositivos y sistemas convertidores para el calentamiento de agua.
 - 1.3.1.1 Requerimientos generales
 - 1.3.1.1.1. criterios de selección del lugar y la superficie requerida para el establecimiento del (o de los) banco (s) de prueba.
 - 1.3.1.1.1.1 calidad y cantidad de la irradiancia solar
 - 1.3.1.1.1.2 acceso e infraestructura
 - 1.3.1.1.1.3 facilidades de intercomunicación con los otros bancos
 - 1.3.1.1.2. Obra civil
 - 1.3.1.1.2.1. caseta de control
 - 1.3.1.1.2.2. plataforma

- 1.3.1.1.2.3 cercado
- 1.3.1.1.2.4 estructuras
- 1.3.1.1.3. Instalaciones
 - 1.3.1.1.3.1. hidráulica
 - 1.3.1.1.3.2. eléctrica
 - 1.3.1.1.3.3. sanitaria
- 1.3.1.1.4. medición de parámetros climatológicos
 - 1.3.1.1.4.1. radiación solar
 - 1.3.1.1.4.2. temperatura ambiente
 - 1.3.1.1.4.3. velocidad del aire
- 1.3.1.2. Requerimientos de equipo específico
 - 1.3.1.2.1. equipo de medición
 - 1.3.1.2.1.1. piranómetro
 - 1.3.1.2.1.2. anemómetro
 - 1.3.1.2.1.3. sensores de temperatura
 - 1.3.1.2.1.4. sensor de presión diferencial
 - 1.3.1.2.1.5. rotámetros
 - 1.3.1.2.2. equipo para el control de la circulación del fluido térmico.
 - 1.3.1.2.2.1. bombas
 - 1.3.1.2.2.2. válvulas de paso
 - 1.3.1.2.2.3. válvulas de tres vías
 - 1.3.1.2.2.4. aereadores
 - 1.3.1.2.2.5. vasos de expansión
 - 1.3.1.2.2.6. válvulas antiretorno
 - 1.3.1.2.2.7. válvulas de alivio
 - 1.3.1.2.3. equipo para la adquisición y manejo de datos
 - 1.3.1.2.3.1. adquisidor automático de datos
 - 1.3.1.2.3.2. computadora para el control del adquisidor
 - 1.3.1.2.3.3. tarjetas electrónicas
- 1.3.1.3. Requerimientos de materiales de uso general
 - 1.3.1.3.1. aislamientos térmicos para tuberías
 - 1.3.1.3.2. tuberías y conexiones
 - 1.3.1.3.3. materiales para estructura
 - 1.3.1.3.4. otros
- 1.3.1.4. Requerimientos de mano de obra
 - 1.3.1.4.1. albañilería
 - 1.3.1.4.2. soldadura
 - 1.3.1.4.3. electricidad
 - 1.3.1.4.4. plomería

2.- Normatividad en la instalación de dispositivos y sistemas de calentamiento solar de agua

2.1. Instalación de colectores solares

- 2.1.1. Tipo de colector en función de la aplicación
 - 2.1.1.1 doméstica y comercial
 - 2.1.1.2 recreativa y deportiva
 - 2.1.1.3 industrial
- 2.1.2. Posicionamiento
 - 2.1.2.1. inclinación
 - 2.1.2.2. orientación
 - 2.1.2.3. análisis del sombreado
- 2.1.3. Análisis estructural
 - 2.1.3.1. resistencia contra vientos
 - 2.1.3.2. resistencia contra sismos
- 2.1.4. Tipo de interconexión
 - 2.1.4.1. conexión en paralelo
 - 2.1.4.2. conexión en serie
 - 2.1.4.3. conexión serie-paralelo

- 2.1.5. Análisis hidráulico
 - 2.1.5.1. circuito hidráulico de abastecimiento de agua fría
 - 2.1.5.2. circuito hidráulico de recolección de agua caliente
 - 2.1.5.3. flujo del fluido térmico a través de los colectores
 - 2.1.5.4. longitud de tuberías
 - 2.1.5.5. caídas de presión en los colectores y en las tuberías
 - 2.1.5.6. circuito de circulación del fluido térmico
- 2.1.6. Aislamientos térmicos
 - 2.1.6.1. tuberías de interconexión
- 2.1.7. Dispositivos de control
 - 2.1.7.1. vasos expansores
 - 2.1.7.2. válvulas de tres vías
 - 2.1.7.3. válvulas antiretorno
 - 2.1.7.4. aereadores
 - 2.1.7.5. válvulas de drenado
 - 2.1.7.6. dispositivos para prevenir la congelación del fluido térmico
 - 2.1.7.7. dispositivos de mezclado

2.2. Instalación de sistemas de calentamiento solar de agua.

- 2.2.1. Sistema termosifónico
 - 2.2.1.1. disposición de los elementos del sistema
 - 2.2.1.2. conexión termotanque-colector
 - 2.2.1.3. conexión sistema solar-suministro de agua de la red
 - 2.2.1.4. intercambiador de calor integrado en el termotanque
 - 2.2.1.5. dispositivos de control en el termotanque
 - 2.2.1.5.1. válvula de alivio
 - 2.2.1.5.2. dispositivo de control de mezclado
 - 2.2.1.6. interconexión del equipo solar con el equipo de calentamiento auxiliar
- 2.2.2. Sistema de circulación forzada
 - 2.2.2.1. circuito de circulación del fluido térmico
 - 2.2.2.2. dispositivos de control
 - 2.2.2.2.1. termostato diferencial de temperatura
 - 2.2.2.2.2. válvulas de tres vías
 - 2.2.2.2.3. aereadores
- 2.2.3. sistema auxiliar de calentamiento
 - 2.2.3.1. eléctrico
 - 2.2.3.2. quemador de gas propano licuado
- 2.2.4. aislamientos térmicos en tubería

3.- programa de capacitación con reconocimiento profesional

3.1 Definición de los diferentes niveles de capacitación

- 3.1.1 Instalaciones domésticas unifamiliares
 - 3.1.1.1. Sistemas termosifónicos para calentamiento de agua sanitaria
 - 3.1.1.2. Sistemas de circulación forzada para el calentamiento del agua de las piscinas
- 3.1.2. Instalaciones domésticas multifamiliares
 - 3.1.2.1. sistemas termosifónicos para el calentamiento de agua sanitaria
 - 3.1.2.2. sistemas de circulación forzada para el calentamiento de albercas
- 3.1.3. Instalaciones deportivas y recreativas
- 3.1.4. Instalaciones en el sector comercial y terciario
- 3.1.5 Instalaciones industriales.

3.2 . Propuesta del contenido general del curso de capacitación

- 3.2.1 Introducción al estudio de la radiación solar.
- 3.2.2. Geometría solar

- 3.2.3. Cálculo y diseño de colectores solares planos
- 3.2.4. Sistemas de calentamiento solar de agua
- 3.2.5. Instrumentación y sistemas de control en los equipos solares
- 3.2.6. Evaluación económica de sistemas solares
- 3.2.7. Ejemplos de aplicación

4.- criterios para la creación de una comisión para la regulación de la implantación, seguimiento y sanciones derivadas de la aplicación de las diferentes normas de equipos, sistemas y servicios de energía solar.

- 4.1 Criterios sobre el número y perfiles de los miembros representantes de los diferentes sectores ante la Comisión de evaluación de la normatividad.
 - 4.1.1. sectores representados
 - 4.1.1.1. industrial
 - 4.1.1.2. comercial
 - 4.1.1.3. firmas de ingeniería
 - 4.1.1.4. educativo
 - 4.1.1.5. sector público
 - 4.2.1 funciones
 - 4.2.1.1. definir la operatividad y la aplicabilidad de las diferentes normas establecidas.
 - 4.2.1.2. definir la periodicidad de las pruebas de normalización.
 - 4.2.1.3. establecer los costos de las diferentes pruebas de normalización
 - 4.2.1.4. gestionar los recursos necesarios para la instalación del banco de prueba.
 - 4.2.1.5. establecer y vigilar la calidad y el buen funcionamiento de los equipos de medición así como de las instalaciones de prueba.
 - 4.2.1.6. gestionar la certificación federal de las normalizaciones aplicadas.
 - 4.2.1.7 vigilar el cumplimiento de las normas establecidas y en su caso establecer las sanciones correspondientes por incumplimiento de las mismas.
 - 4.2.1.8 contratar y capacitar al personal técnico necesario para la operación de los bancos de prueba.
 - 4.2.1.9. certificar sobre la calidad de las instalaciones.
 - 4.2.1.10. promover la capacitación técnica y profesional en el área de las instalaciones solares
 - 4.2.1.11. y las demás que se le asignen.

5. Creación de un marco legal regulador de las relaciones entre los fabricantes, distribuidores y prestadores de servicios y los consumidores de equipo solar.

- 5.1 Criterios para el establecimiento de las cláusulas a contemplarse en un contrato de compra-venta de un equipo o servicio de energía solar.
- 5.2. Criterios para el establecimiento del tipo y condición del clausulado en lo referente a las garantías totales o parciales y los seguros en la adquisición de dispositivos, sistemas y servicios de energía solar.
- 5.3. Establecimiento de un Comité de Peritaje, con reconocimiento federal que dictamine sobre la situación que guarda un dispositivo o una instalación solar, con el objeto de deslindar responsabilidades en el caso de un conflicto entre fabricante, distribuidor o prestador de un servicio y el consumidor.
- 5.4. Proponer a la Procuraduría Federal del Consumidor como institución pública receptora y resolutive de los casos de demanda por el incumplimiento de las garantías o seguros o trabajos contratados por el consumidor.

6. programa de difusión sobre el uso de la energía solar en el calentamiento de agua y su impacto en el ahorro de energía y en el ambiente.

- 6.1 Elaboración de material de difusión sobre las aplicaciones de la energía solar en los sistemas de calentamiento de agua.
 - 6.1. Elaboración de una guía para el consumidor de equipo solar.

- 6.1.1. introducción.
- 6.1.2. el sistema de calentamiento solar.
- 6.1.3. anatomía de un colector plano.
- 6.1.4. como se interconectan.
- 6.1.5. cual es la inclinación y orientación adecuada.
- 6.1.6. como se almacena el agua caliente.
- 6.1.7. sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico.
- 6.1.8. sistemas solares para el calentamiento de agua para piscinas.
- 6.1.9. como comprar un equipo solar.
- 6.1.10. garantías y seguros.
- 6.1.11. contrato de compra-venta.
- 6.1.12. la economía del sistema solar.
- 6.1.13. operación y mantenimiento.
- 6.1.14. donde quejarse.
- 6.1.15. anexos.
 - 6.1.15.1. lista de posibles fallas en el equipo solar y como resolverlas.
 - 6.1.15.2. directorio nacional de fabricantes, distribuidores e instaladores de equipo solar y accesorios.

6.2. Elaboración de un boletín de la asociación nacional de la industria solar.

- 6.2.1 reportes de instalaciones solares.
- 6.2.2 información sobre nuevos productos.
- 6.2.3 información sobre exhibiciones de equipo solar.
- 6.2.4 información de cursos, reuniones, congresos y seminarios del área de la energía solar.
- 6.2.5 actualización del directorio de fabricantes, proveedores y prestadores de servicios de la industria solar.

6.3. Elaboración de material conteniendo cursos sobre el aprovechamiento de la energía solar

6.4. Elaboración de folletos explicativos sobre las ventajas que presenta el uso de la energía solar y su impacto en el ahorro de energía y en la disminución de contaminantes atmosféricos.

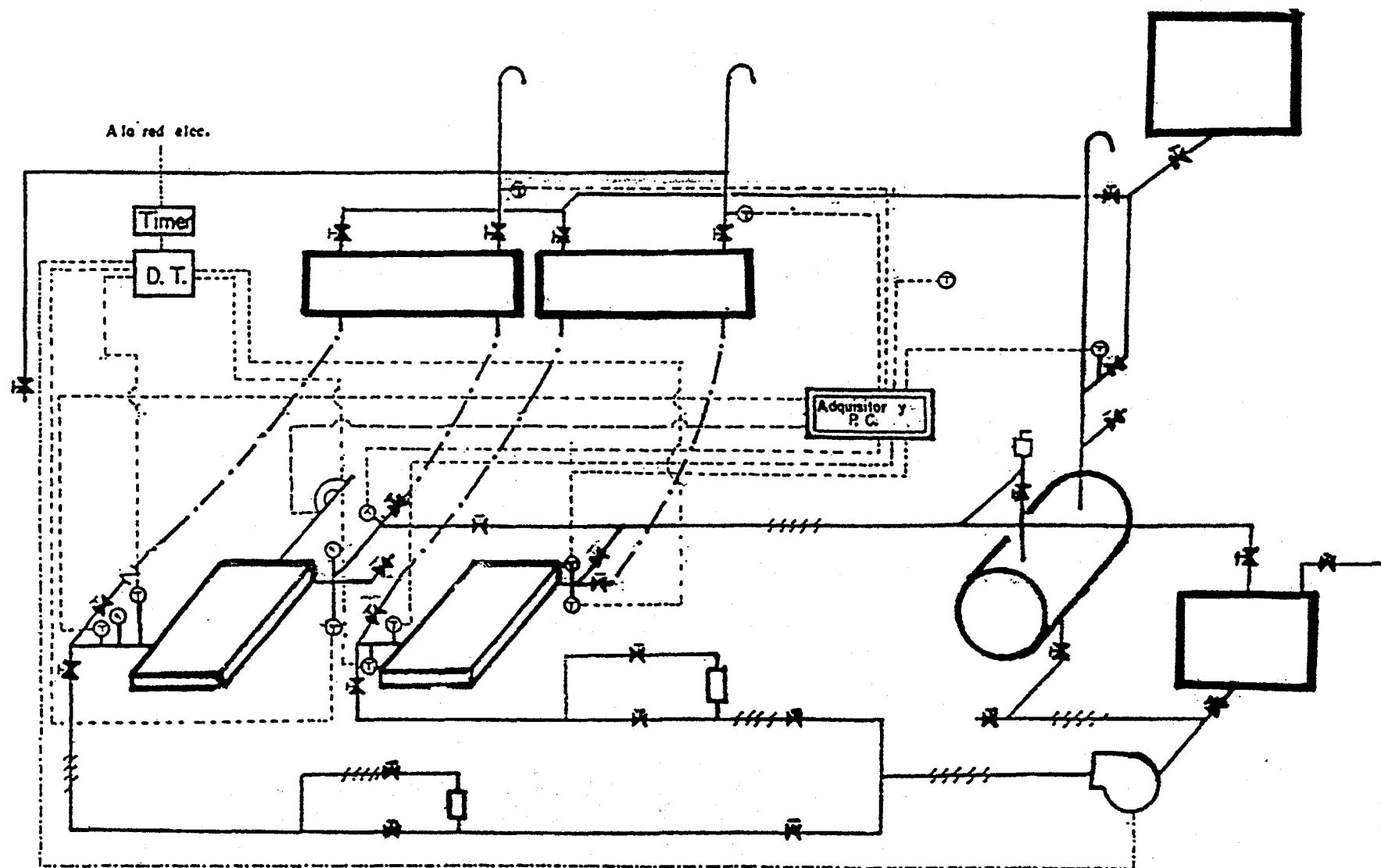
RESULTADOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS EN UN BANCO DE PRUEBAS.

Por medio de la aplicación de diferentes rutinas experimentales en un el banco de pruebas, se obtuvieron resultados sobre el comportamiento térmico de un colector solar, el cual se probó en el Laboratorio de Energía Solar del Instituto de Investigaciones en Materiales de la UNAM, ahora Centro de Investigación en Energía, durante los meses de abril, agosto y noviembre de 1994. Con base a los primeros resultados obtenidos, (2,3), se presentan aquí a manera de ejemplo, los resultados obtenidos en la caracterización de un colector solar plano (), en donde se aplicó la norma americana ASHRAE 93-77 (1). La figura (1), representa esquemáticamente el equipo experimental utilizado.

Se evaluó un colector solar plano con las siguientes características: el absorbedor está formado por 6 tubos aletados de cobre de 12.7 mm. de diámetro exterior. El espesor de la aleta es de 3mm., la separación entre tubos de 140 mm., los cabezales de cobre tienen un diámetro exterior de 22.2mm. El área transparente es de 1.66 m² con una cubierta de vidrio. Las aletas cuentan con un material selectivo de óxido de cobre ($\alpha = 0.86$, $\tau = 0.30$), el termocolelector se encuentra aislado en la parte posterior con una placa de fibra de vidrio y la caja estructural es de lámina de fierro galvanizado.

Determinación del rendimiento térmico.

En esta prueba se observa una variación de la eficiencia del termocolelector en función de la estabilidad de la temperatura de entrada al termocolelector y como se constata, existen dificultades para mantener constantes las condiciones de operación (fig.2).



- | | |
|--|---------------------------------|
| ⊙ Salida para termopar. | ----- Termopar. |
| ⊙ Medidor analógico (Temp. y presión). | ----- Conexión eléctrica. |
| ⊖ Medidor de radiación. | ----- Conexión del piranómetro. |

FIGURA 1.- Representación esquemática del equipo experimental.

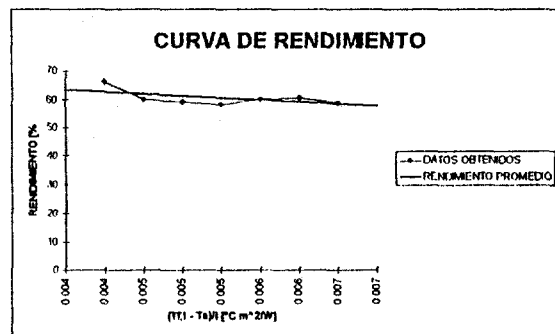


Figura 2. Variación de η en función de la temperatura de entrada.

Sin embargo, el equipo es confiable y las variaciones son poco apreciables, siendo necesario realizar un estudio estadístico para los puntos obtenidos durante la evaluación. Lo anterior se lleva a cabo para cada uno de los puntos, con la temperatura de entrada seleccionada, resultando los siguientes datos:

Punto No. 1

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 34.3^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 40.8^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 30.4^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 839 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 64.7\% \end{aligned}$$

Punto No. 2

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 74.3^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 78.9^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 29.3^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 870 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 44.0\% \end{aligned}$$

Punto No. 3

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 48.8^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 54.7^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 30.1^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 850 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 58.0\% \end{aligned}$$

Punto No. 4

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 40.2^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 45.9^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 28.9^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 860 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 55.0\% \end{aligned}$$

Punto No.5

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 66.0^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 70.4^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 29.7^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 845 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 43.0\% \end{aligned}$$

Punto No.6

$$\begin{aligned} T_{\text{prom},f,i} &= 31.3^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},f,e} &= 38.6^{\circ}\text{C} \\ T_{\text{prom},a} &= 29.9^{\circ}\text{C} \\ I_{\text{prom}} &= 840 \text{ Wm}^{-2} \\ \eta &= 72.0\% \end{aligned}$$

El ajuste de los puntos da como resultado la ecuación (1) y la curva de la figura (2), la cual caracteriza la operación del termocolelector bajo análisis.

$$\eta = 0.6829 - 5.31 \left[\frac{T_{f,i} - T_a}{I} \right] \quad (1)$$

en donde, la eficiencia óptica $F_R (\alpha\tau) = 0.6829$ y las pérdidas totales son: $F_R U_L = 5.31 \text{ Wm}^{-2} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. La curva (Figura 3), obtenida corresponde a un dominio de temperaturas entre 30 y 66°C , con eficiencias aproximadas de 72 y 40% respectivamente, con un fluido caloportor normalizado a 2 lmin^{-1} . El ajuste estadístico de los puntos da un rendimiento óptico de 68.29% , el cual disminuye con una relación de 5.31 Wm^{-2} en función de $(T_{f,i} - T_a) / I$. Estos valores corresponden a una eficiencia instantánea, cuando se tiene las mejores condiciones al medio día solar para un día en particular.

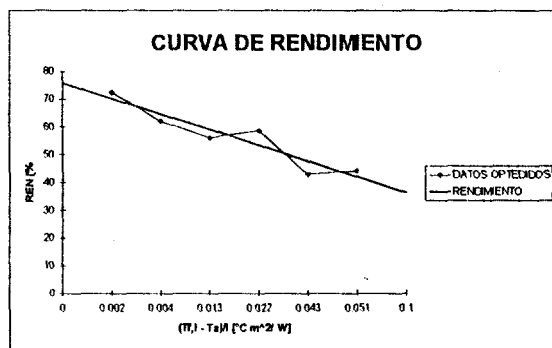


Figura 3. Curva de rendimiento del termocolelector.

Además de la determinación del rendimiento instantáneo se evaluó la constante de tiempo y el ángulo y el modificador del ángulo de incidencia. Fuera de la aplicación de la norma utilizada, fue posible obtener información adicional sobre el comportamiento térmico de los colectores, como las potencias de calentamiento por día tanto de un sistema de circulación forzada como de circulación natural.

El banco de pruebas utilizado permite además efectuar otro tipo de pruebas como la caída de presión y la resistencia mecánica del colector solar, así como la normalización de los termotanques y el comportamiento térmico global del sistema de calentamiento completo.

CONCLUSIONES

La normatividad en el uso de los de los calentadores solares tiene que contemplar todos los diferentes aspectos tratados y debe ser una tarea conjunta de todos los sectores involucrados, materializar la estructura necesaria para la creación de normas conducentes a resguardar la calidad de los productos solares y tratar de mantener una buena calidad en lo referente a las instalaciones. La creación de un marco legal, permitirá hacer valer los derechos de los consumidores y proteger a los industriales de competencias desleales.

En base a los resultados obtenidos en el banco de pruebas, fue posible la caracterización de los colectores solares planos, con una buena confiabilidad en las diferentes pruebas realizadas. Sin embargo, debido a limitaciones financieras, el sistema no contó con equipos de medición y control de mejor precisión, los cuales pudieron haber mejorado la calidad de la información.

REFERENCIAS

- [1]. ASHRAE Standard 93-77, 1977, " Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors", ASHRAE, N.Y.^
- [2]. García, C.R. y Terrones A. 1995 "Diseño, Construcción, Instrumentación y Evaluación Experimental de un Sistema para la Normalización de Colectores Solares Térmicos, Tesis, ITZ.
- [3] Pilatowsky, I , Terrones, A., y García C. 1996 " Estudio de un Sistema para la Normalización de Colectores Solares Térmicos". Memorias de la XX Semana Nacional de Energía Solar, 69-75, Jalapa, Ver. México.

BOMBAS SUMERGIBLES: NORMA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

ING. R. ARACELY ACOSTA TORRES
ING. EDUARDO H. BUENDÍA DOMÍNGUEZ

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS
AV. REFORMA No. 113 COL. PALMIRA
TEL. 91 (73) 18.38.11 EXTS. 7526, 72813
FAX. 91 (73) 14.41.72
62490 TEMIXCO, MOR., MÉXICO
EMAIL: raacosta@iie.org.mx ehbd@iie.org.mx

RESUMEN

El Instituto de Investigaciones Eléctricas apoyando a la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía ha elaborado el anteproyecto de norma de eficiencia energética para bombas sumergibles. Dicho documento ha cumplido con los trámites necesarios para la emisión de una norma. En el presente artículo se mencionan los resultados del análisis de las bombas sumergibles, los ahorros energéticos, así como la evaluación económica que sustenta el proyecto de norma, indicándose además el impacto ambiental que tendrá la implantación de la misma.

INTRODUCCIÓN

La presencia constante de las bombas en múltiples procesos y el consumo de energía de las mismas asociado no solo a la intensidad de su uso, sino también a las condiciones bajo las cuales se operan, sugieren la necesidad de contar con un marco normativo que a través de la eficiencia permita evaluar el desempeño de las bombas desde el punto de vista energético.

El uso de las bombas sumergibles en el sector agrícola cada vez toma mayor importancia, debido a que a diferencia de otros equipos, éstas pueden ser utilizadas cuando se requiera servicio de bombeo desde pozos con niveles de agua muy profundos, con diámetro de pozo muy reducido o bien cuando el pozo no presenta verticalidad.

En las bombas sumergibles para servicio de agua, ésta misma sirve como lubricante, la construcción de este tipo de bombas es normalmente de varios pasos, el número de los mismos depende de la columna que deban desarrollar.

Los motores que se utilizan con este tipo de bomba están diseñados para proporcionar gran servicio sin mantenimiento, pues en caso de falla del mismo es necesario extraer toda la bomba del pozo.

Una actividad básica para la emisión de una norma de eficiencia energética, es elaborar un estudio a nivel nacional que permita definir los valores de eficiencia que tienen los productos en el mercado, los valores máximos alcanzables mediante la incorporación de mejoras en los procesos de fabricación y el potencial de ahorro de energía mediante la implantación de la norma.

OBJETIVO

Mediante este artículo se dan a conocer los resultados del estudio técnico y económico que sustentan el proyecto de norma de eficiencia energética de bombas sumergibles

ESCENARIO DE EFICIENCIA DEL MERCADO NACIONAL

Uno de los acuerdos relevantes durante el desarrollo del proyecto de norma fue considerar por separado la eficiencia de la bomba y del motor. Esta decisión se fundamenta en el siguiente argumento: para el cálculo de la eficiencia conjunta de un intervalo de capacidad en particular, se requiere fijar la carga de la bomba para poder determinar la potencia del motor. El problema de usar esta metodología es que al fijar la carga, la eficiencia del conjunto motor-bomba hará referencia a aplicaciones puntuales que limitarían la norma. De esta manera se corre el riesgo de dejar fuera de estándar a una gran variedad de combinaciones posibles de carga y capacidad, por tanto la eficiencia de las bombas como la de los motores, se tomarán como valores de referencia para normalizar la eficiencia del conjunto motor bomba.

Otro motivo para individualizar la eficiencia de la bomba y el motor, es la necesidad que se presenta frecuentemente de sustituir únicamente el motor, por lo que se requerirá contar con las eficiencias por separado para estos equipos.

EFICIENCIA DEL MOTOR

Las eficiencias a plena carga obtenidas a partir de la información para motores sumergibles nacionales se reportan en la figura No. 1. Los motores se han clasificado tomando como base las potencias establecidas en la norma NEMA MG1.

De la figura No. 1 se observa una relación directamente proporcional entre potencia y eficiencia máxima del motor; es decir, los motores de baja potencia tendrán las eficiencias menores y conforme aumenta la potencia se incrementa también la eficiencia, llegando a obtenerse una diferencia de 18 puntos porcentuales para el intervalo indicado. Entre fabricantes los valores de eficiencia son muy similares, para algunas potencias existe una diferencia máxima de cinco puntos porcentuales.

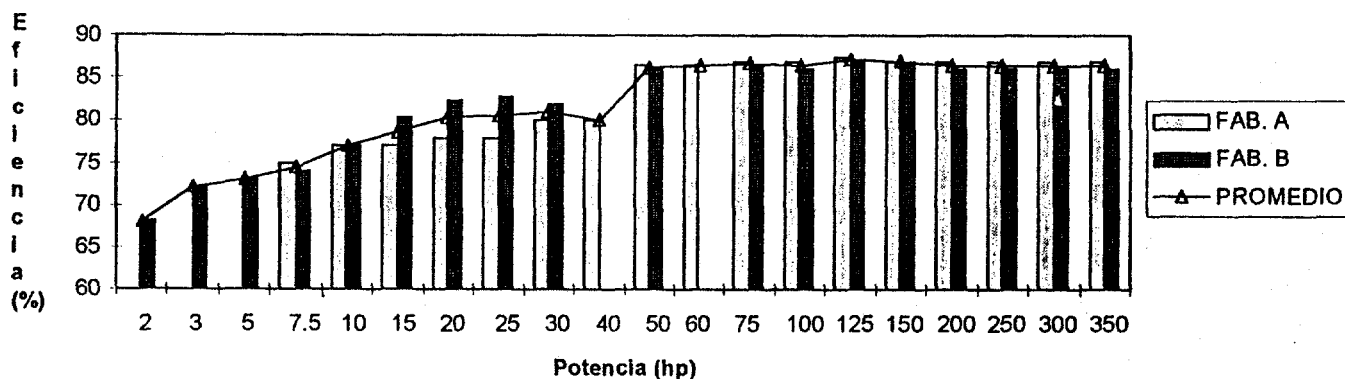


Figura No. 1 Eficiencia por fabricante y eficiencia promedio de los motores sumergibles nacionales.

EFICIENCIA DE LA BOMBA

Para la elaboración del escenario de eficiencia energética del mercado nacional de bombas sumergibles, se solicitó información técnica de estos equipos a fabricantes miembros de la Asociación Nacional de las Industrias del Bombeo e Ingeniería, A.C. (ANIBIAC), así como industrias independientes.

Para iniciar el análisis de la información con el objeto de establecer los escenarios de eficiencia, se definió previamente la variable base para la clasificación de las bombas sumergibles, acordando agrupar las bombas en base a su capacidad, en litros por segundo (lps) o bien en metros cúbicos por hora (m^3/h). La selección de los intervalos utilizados para la clasificación se hizo tomando en cuenta que a capacidades pequeñas las variaciones de eficiencia son significativas; para capacidades medias estas variaciones se reducen, y para más de 85 litros por segundo se vuelven mínimas.

La información con que se contó consta de curvas características de operación para bombas centrífugas tipo sumergible de cinco fabricantes nacionales.

Estos fabricantes si bien no constituyen el total de los que operan en territorio nacional, si conforman alrededor del 70 % del mercado, por lo que los valores surgidos del análisis de la información proporcionada por los mismos, puede considerarse representativa de los valores nacionales de eficiencia.

La figura No. 2 muestra la eficiencia para bombas sumergibles resultado del análisis de las curvas de operación proporcionadas por los fabricantes, se observa, al igual que en el caso de los motores, la relación directa entre capacidad y eficiencia, es decir para capacidades menores las eficiencias son bajas, a medida que aumenta la capacidad se incrementa la eficiencia.

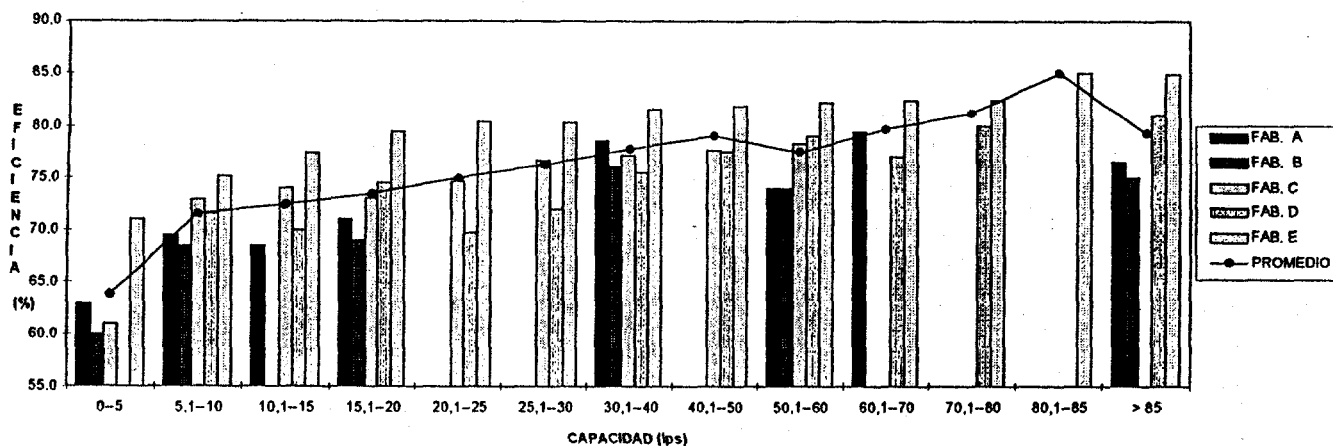


Figura No. 2 Eficiencia por fabricante y eficiencia promedio nacional de las bombas sumergibles.

En un análisis similar al realizado para motores sumergibles, se encuentra que existe una diferencia en eficiencia de 21.5 puntos porcentuales entre el intervalo de capacidad menor (0 a 5 lps) y el intervalo de máxima capacidad seleccionado (80.1 a 85 lps).

Es importante mencionar que la norma de eficiencia energética de bombas sumergibles regula la eficiencia del conjunto motor-bomba, misma que se determina como el producto de la eficiencia del motor por la eficiencia hidráulica de la bomba.

ESCENARIO DE EFICIENCIA DEL MERCADO INTERNACIONAL

Con referencia a las bombas, de la comparación entre las eficiencias promedio nacional y las eficiencias a nivel internacional se concluye que las eficiencias nacionales si bien son menores, se encuentran muy cercanas a éstas, sobre todo en los intervalos de 5.1-10 lps, de 10.1-15 lps y de 20-25 lps, es decir la diferencia máxima es de 1.5 puntos, sin embargo de 15.1-20 lps esta diferencia se incrementa a 6.6 puntos porcentuales. Para otros intervalos (0-5 lps y 40.1-50 lps). la eficiencia de las bombas nacionales es mayor hasta en 3.7 puntos porcentuales.

En cuanto a los motores, es importante señalar que éstos son especificados para equipos extranjeros por lo que operan con voltajes diferentes a los normalizados en México, así que únicamente se han seleccionado aquellos cuya tensión esté dentro del intervalo de (+/-) 10 % con respecto a los voltajes nominales nacionales de 220 y 440 volts; estas eficiencias solo se tomaron como referencia (Figura No. 3).

ESCENARIO DE EFICIENCIAS MOTORES SUMERGIBLES

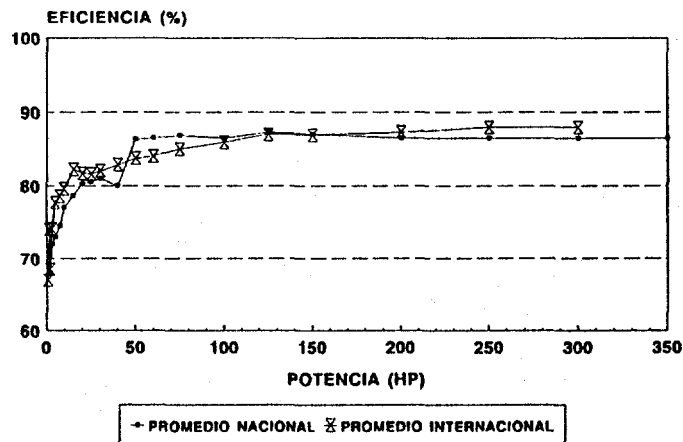


Figura No. 3 Comparación de eficiencias nacionales e internacionales de motores sumergibles.

EFICIENCIA TEÓRICA ALCANZABLE EN BOMBAS SUMERGIBLES

Bajo el principio de similitud dinámica aplicable a una bomba centrífuga, así como de la velocidad específica se puede determinar la eficiencia teórica de las bombas en estudio. En la figura No. 4 se muestra este análisis y su comparación con la eficiencia establecida por los fabricantes. También se observa que los valores calculados de la eficiencia teórica son considerados alcanzables, debido a que las curvas de referencia para determinar dichas eficiencias parten de pruebas experimentales.

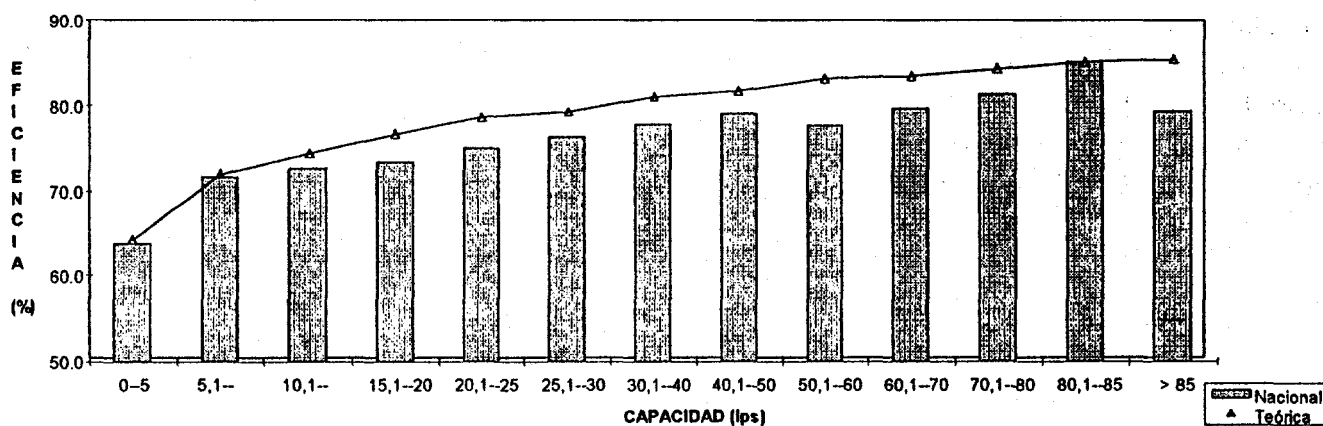


Figura No. 4 Eficiencia promedio nacional y eficiencia teórica de las bombas sumergibles.

POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO.

Hoy en día el ahorro energético es una preocupación mundial, la cual requiere de acciones concretas, mismas que contemplen el impacto ambiental como un aspecto relevante. Por otro lado es importante hacer notar que el crecimiento de un país se ve reflejado en un mayor consumo de energía eléctrica, por lo que el consumo de energía eléctrica para bombeo no es la excepción. De acuerdo a información del Sector Eléctrico, el consumo de energía en el sector agrícola para 1993 fue del 8% con respecto a las ventas totales y se engloban en las siguientes tarifas:

Tarifa 6 Bombeo de aguas potables o negras de servicio público
Tarifa 9 Bombeo de agua para riego agrícola

En la siguiente tabla se muestra el comportamiento real de las tarifas 6 y 9, hasta el año de 1993:

TARIFA		1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
6	GWh	2155	2314	2193	2204	2281	2348	2400	2571
	Usuarios	15849	17000	17095	17816	18552	19285	20242	21000
9	GWh	5413	6006	6409	7216	6707	6497	5672	5920
	Usuarios	61922	67000	70960	74626	77245	77203	78085	79000

Tabla No. 1 Comportamiento real del mercado eléctrico de las tarifas 6 y 9

Las ventas de la tarifa 6 muestra un incremento de aproximadamente un 7% para el año de 1993, sin embargo es conveniente señalar que debido a la magnitud de sus cargas hay usuarios de este servicio registrados en las tarifas de media ^{ya} alta tensión, por lo que, no se refleja en la tabla anterior la totalidad de los usuarios. En lo que se refiere a la tarifa 9 se observa una disminución en las ventas en los últimos años debido a los trabajos de rehabilitación de pozos profundos llevados a cabo por la Comisión Nacional de Agua (CNA). A pesar de lo antes expuesto, para el año de 1993 se observa un incremento del 4.4% con respecto a 1992. Los incrementos sufridos en las ventas de ambas tarifas, manifiesta entre otras cosas, la necesidad de contar con equipos eficientes que puedan sustituir a los equipos en operación, contribuyendo a un ahorro en consumo de energía eléctrica.

Como una forma de lograr los fines antes citados, se han conjuntado esfuerzos en la elaboración de una norma de eficiencia energética para el conjunto motor-bomba sumergible.

Para el caso de la eficiencia de la bomba por recomendaciones de los fabricantes se decidió reagrupar los intervalos de capacidad indicados en las figuras anteriores, modificando el primer intervalo de capacidad de las bombas en dos: de 0 a 2 lps y mayores que 2 hasta 5 lps, la propuesta se fundamenta en el hecho de que existe una diferencia de más de 10 puntos porcentuales entre los intervalos antes mencionados.

Debido a lo antes expuesto los valores de referencia de eficiencia energética de la bomba que se incluyen en la norma son los siguientes:

Capacidad lps	EFICIENCIA (%)
Hasta 2.0	48
Mayor que 2.0 hasta 5.0	61
Mayor que 5.0 hasta 15.0	71
Mayor que 15.0 hasta 25.0	72
Mayor que 25.0 hasta 30.0	74
Mayor que 30.0 hasta 60.0	77
Mayor que 60.0	78

Tabla No.2 Valores de referencia para la eficiencia de bombas sumergibles

En lo relativo a motores sumergibles, el criterio empleado para obtener la eficiencia a normalizar corresponde al promedio nacional indicado en la figura No. 3. Por lo que los valores de referencia de eficiencia para los motores sumergibles son los que se indican en la tabla No. 3.

MOTOR hp	EFICIENCIA %
Hasta 2.0	68
Mayor que 2.0 hasta 3.0	72
Mayor que 3.0 hasta 5.0	73
Mayor que 5.0 hasta 7.5	75
Mayor que 7.5 hasta 10.0	77
Mayor que 10.0 hasta 15.0	79
Mayor que 15.0 hasta 20.0	80
Mayor que 20.0 hasta 30.0	81
Mayor que 30.0 hasta 40.0	83
Mayor que 40.0 hasta 60.0	86
Mayor que 60	87

Tabla No. 3 Valores de referencia para la eficiencia de motores sumergibles

Los valores anteriores para bombas y motores sumergibles son además el resultado del proceso de concertación con los fabricantes nacionales y sirven solamente de referencia para calcular la eficiencia mínima que deberá cumplir los conjuntos motor-bomba, ya que la

Norma Oficial Mexicana (NOM) de eficiencia energética de bombas sumergibles establece que se certificará únicamente el cumplimiento del valor mínimo que se obtiene como resultado de la multiplicación de la eficiencia de la bomba por la eficiencia del motor que se tenga acoplado, pero tanto la bomba como el motor no serán verificados individualmente.

La aplicación de la norma oficial mexicana para el conjunto motor-bomba dará como consecuencia un ahorro de energía y potencia de 450,000 MWh y de 26 MW respectivamente.

EVALUACIÓN ECONÓMICA

El análisis beneficio-costos evalúa todos los impactos favorables y desfavorables para los fabricantes, usuarios y para el Sector Eléctrico generados al emitirse la norma. Para efectos de dicho análisis se toma como base un horizonte de cinco años, debido a que es el tiempo máximo en que los fabricantes de bombas consideran que éstas deben recibir un mantenimiento mayor o rehabilitación. Es importante mencionar que para la presente evaluación se consideraron precios, costos e indicadores económicos vigentes en 1995, así como una tasa de crecimiento del sector eléctrico para un escenario alto de 5.4%. Dado el ambiente de incertidumbre económica del año en estudio, se presenta éste análisis a través de tres diferentes escenarios. El primero utiliza los valores financieros de hace un año y permite comparar los resultados del presente estudio con los de proyectos anteriores de normalización de equipos de bombeo; el segundo escenario emplea los valores actuales que utiliza el Sector Eléctrico para sus evaluaciones económicas y un tercer escenario proyecta el estudio a mediano plazo. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 4.

		ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3
FABRICANTES	Beneficio Neto	6,303 M\$	3,910 M\$	5,865 M\$
SECTOR ELÉCTRICO	Ahorro de energía	247,387 MWh	247,387 MWh	247,387 MWh
	Ahorro en capacidad instalada	26 MW	26 MW	26 MW
	Beneficio neto	19,607 M\$	31,700 M\$	50,458 M\$
	Reducción de emisión de CO ₂	173,171 TON	173,171 TON	173,171 TON
	Reducción de consumo de agua	890,592 m ³	890,592 m ³	890,592 m ³
	Consumo de combustible	455,191 BARRILES	455,191 BARRILES	455,191 BARRILES
USUARIOS	Ahorro de energía	202,776 MWh	202,776 MWh	202,776 MWh
	Beneficio neto	9,372 M\$	4,176 M\$	10,079 M\$
BENEFICIO NETO		32,322 M\$	37,970 M\$	63,538 M\$

Tabla No. 4 Resumen de la evaluación beneficio-costos

Las cifras expresadas en miles de pesos (M\$), son cantidades a valor presente del acumulado a cinco años para los cuales fue hecha la evaluación. En el caso de energía (MWh), capacidad instalada (MW) y reporte de emisiones y consumos de energéticos, se considera también la suma correspondiente para el periodo de análisis.

Es importante mencionar que desde los tres puntos de vista estudiados: fabricantes, Sector Eléctrico y usuarios, la evaluación beneficio-costó resultó rentable.

CONCLUSIONES

El estudio realizado en los sistemas de bombeo en operación, nos indica que las bombas sumergibles representan el 15% del total de los equipos instalados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), abarcando un rango de potencias de hasta 250 hp.

La emisión de la norma oficial mexicana representa una opción práctica y efectiva para conseguir un ahorro de energía considerable en la extracción de agua del subsuelo. De los resultados del análisis de factibilidad podemos observar que si los equipos de bombeo se mantienen en los niveles de eficiencia que se incluyen en la norma (tablas 2 y 3) estamos hablando de evitar la instalación de alrededor de 26 MW en los próximos cinco años y una reducción en consumo de energía de 450,000 MWh.

REFERENCIAS

- 1 Acosta, A., Buendía, E. "Estudio de la eficiencia energética en bombas sumergibles para uso agrícola y servicios municipales", IIE/44/279, 1995.
- 2 Comisión Federal de Electricidad, Resultados de Explotación 1993.
- 3 Karassik, J. Igor, Carter Roy, Bombas Centrífugas, Selección, Operación y Mantenimiento, Cía. Edit. Continental, S.A., México, D.F.
- 4 Memorias del XII Curso sobre Planificación Energética - 5º en Latinoamérica y el Caribe -, México, D.F. 1994.
- 5 NEMA MG1-93 Test and Performance-AC and DC motors, National Electrical Manufacturers Association, Washington, D.C. 1983.
- 6 Reyes Filio, Miguel A., Propuesta de laboratorio de pruebas de acuerdo con la demanda del equipo de bombeo del sector agua, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Coordinador de Certificación de Equipos y Materiales, marzo de 1993.
- 7 U.S. Department of Energy, Clasification and Evaluation of Electric Motors and Pumps, DOE/CS-0147, February 1980.

OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO DE AIRE UTILIZANDO SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO DE BAJA TEMPERATURA

Javier Contreras Ramírez y Rubén Dorantes Rodríguez

Departamento de Energía, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo No. 180, Col. Reynosa Tamaulipas, 02200 México, D.F.
Tel. (5) 723 5939, Fax. (5) 394 7378, correo electrónico. rjdr@hp9000a1.uam.mx

RESUMEN

En los últimos años los diversos proyectos sobre ahorro y uso eficiente de la energía en el sector terciario han venido mostrando el gran potencial existente en los sistemas y equipos de aire acondicionado, cuyo uso intensivo se debe al predominio de los climas cálido seco y cálido húmedo en buena parte del territorio nacional. Sin lugar a dudas uno de los problemas más serios que enfrenta la compleja gestión y optimización de estos sistemas está relacionado con la variabilidad de la carga térmica y las posibilidades de regulación de la o las máquinas térmicas, de tal manera de lograr, a lo largo del día, un adecuado uso y optimización de la carga total instalada, con los mejores beneficios económicos posibles.

Entre las estrategias que permiten optimizar la capacidad de la instalación y la variación de la carga térmica está el almacenamiento térmico de baja temperatura, por ejemplo, el almacenamiento de hielo, el cual se produce y se almacena durante las horas en que normalmente las máquinas de refrigeración están paradas, y con el fin de usar esta energía almacenada durante el horario pico y durante las horas de operación normal del equipo, pero disminuyendo en forma importante la demanda eléctrica de la instalación al satisfacer la carga térmica con una combinación almacén térmico - máquina de refrigeración.

En este trabajo se presentan algunos antecedentes y tipos de almacenes térmicos utilizados comúnmente, se discute una metodología que permite dimensionar un almacén térmico, tanto técnica como económicamente, y se plantean algunos de los problemas en el control y operación de estos sistemas térmicos.

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento térmico de baja temperatura o también llamado "almacenamiento de frío" es una tecnología conocida en la industria de alimentos y cuya utilización en los sistemas de acondicionamiento de aire es reciente, principalmente en nuestro país. Dado el interés y el potencial de ahorro que representan los sistemas de acondicionamiento de aire en México, la tecnología del almacenamiento térmico de baja temperatura puede aportar ideas novedosas, no solo para el ahorro de energía en este rubro, sino para la optimización y disminución de los equipos de acondicionamiento de aire en proyectos nuevos o en sistemas en operación.

El almacenamiento térmico de baja temperatura puede ser dividido en dos categorías: el almacenamiento directo y el almacenamiento indirecto.

En los sistemas de almacenamiento directo el almacén térmico es uno más de los componentes de un ciclo de refrigeración, ya que el evaporador y el almacén están directamente acoplados, de ahí que ambos dispositivos se consideren termodinámicamente como un solo componente (figura 1).

Los sistemas de almacenamiento indirecto se caracterizan por el hecho de que la unidad de almacenamiento térmico es un componente totalmente independiente en donde el fluido térmico del almacén (generalmente agua) se almacena después de ser enfriado por una máquina de refrigeración conectada a la unidad de enfriamiento principal o por esta misma unidad de enfriamiento (figura 1).

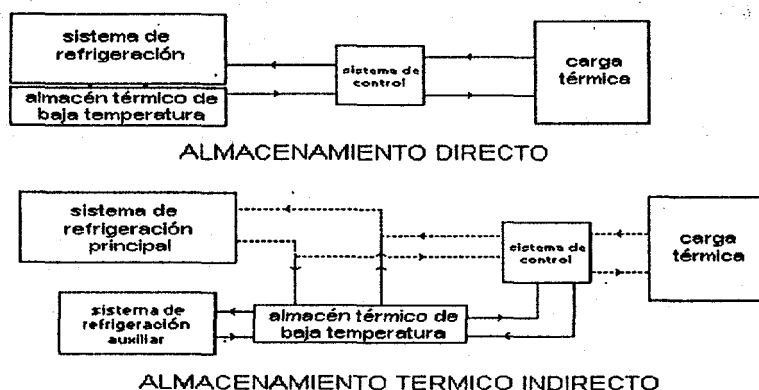


Figura 1. Sistemas de almacenamiento térmico de baja temperatura

ALMACENES TÉRMICOS DE BAJA TEMPERATURA

a) Tanque de agua fría.

Este almacén térmico es típico del almacenamiento indirecto y donde se emplea el calor sensible del agua que previamente ha sido enfriada a una temperatura comprendida entre la temperatura ambiente y 5°C . De esta manera el agua fría puede usarse dentro del circuito de enfriamiento en el momento que más convenga o cuando se desee, con la ayuda de una simple serie de válvulas y de otros aditamentos sencillos, lo cual es una ventaja. Sin embargo este sistema presenta algunos inconvenientes como son el control de la mezcla de agua fría con el agua caliente de retorno de la carga térmica, el volumen ocupado por este almacén y de algunas pérdidas térmicas.

b) Hielo en tubos.

En este sistema se tiene un intercambiador cuyos tubos están inmersos en agua en un tanque-almacén, el cual esta conectado por un lado con el sistema de refrigeración y por el otro lado a otro intercambiador de calor.

En este sistema el ciclo de refrigeración hace pasar parte del refrigerante por los tubos del almacén donde el refrigerante transforma en hielo el agua que rodea a los tubos formando una capa gruesa de hielo a su alrededor.

El intercambiador de calor al que se conecta el tanque se emplea para enfriar el agua que alimenta el sistema de aire acondicionado y utilizando para tal fin el agua helada almacenada en el tanque de almacenamiento.

La utilización de hielo, como sistema de almacenamiento, reduce considerablemente el volumen del almacén térmico por el calor latente de solidificación del hielo, pero la producción de hielo obliga al sistema de enfriamiento a disminuir su temperatura por debajo de los -10°C para producir hielo.

c) Cosechador de hielo.

Esta forma de almacén consiste en un evaporador conectado a la unidad central de refrigeración por medio de un circuito normal. En este evaporador se hace pasar una cierta cantidad de agua la cual es enfriada y congelada formando una placa de hielo a su alrededor. Cuando la placa de hielo ha alcanzado un espesor determinado se invierte el ciclo de refrigeración haciendo pasar un fluido caliente por el evaporador, lo que provoca el desprendimiento de la placa de hielo, la cual cae a un tanque donde se mezcla con agua del almacén térmico. La utilización de este sistema es similar al anteriormente descrito.

d) Sistemas a base de glycol.

Este tipo de sistemas de almacenamiento emplea una solución de agua con glycol, la cual se enfría con ayuda del sistema de refrigeración central. La solución enfriada se almacena en tanques aislados térmicamente y se emplea esta energía almacenada a través de un intercambiador de calor, donde el agua empleada por el sistema de refrigeración central se enfría con ayuda de la mezcla de agua con glycol. Este sistema tiene también la ventaja de ocupar poco volumen por el calor sensible de la mezcla de agua con glycol y por la temperatura de almacenamiento que es inferior a la del agua normal.

Con el fin de apreciar mejor la capacidad de almacenamiento de los sistemas anteriormente descritos, la tabla No. 1 muestra la energía por unidad de volumen que es posible almacenar con cada sustancia de trabajo.

TABLA No. 1

tipo de almacén	calor específico (sensible o latente (kJ/kg °K)	densidad (kg/m ³)	ΔT (°C)	capacidad de almacenamiento (kWh/m ³)
agua líquida de 12 a 5°C	4.186	1 000	12	8.12
agua con 20% de glycol (de 12 a -5°C)	3.95	1 020	17	19.0
hielo	332.0	916	0	84.4

A partir de esta tabla se puede ver la gran capacidad de almacenamiento del hielo con otras formas de almacenamiento, sin embargo y a pesar de este hecho, no son siempre los sistemas de almacenamiento de hielo los que mejores ventajas presentan a los diversos problemas de acondicionamiento de aire, ya que su selección, dimensionamiento, control y costo dependen de otros factores importantes.

OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Un aspecto importante a tomar en cuenta para analizar la factibilidad de utilizar la tecnología de almacenamiento térmico en los sistemas de acondicionamiento de aire lo constituye el análisis de la curva de carga del sistema, ya sea que se trate de una curva de carga obtenida experimentalmente o por medio de un cálculo de cargas térmicas de una instalación. Un ejemplo de una curva típica de carga térmica de refrigeración se puede observar en la figura 2. En esta curva, característica por ejemplo de una edificio para oficinas, la carga térmica comienza a las 7 horas, alcanzando su punto máximo alrededor de las 17 horas y suspendiéndose hacia las 18 horas por haber finalizado las labores. En esta curva es importante hacer notar que el sistema de refrigeración de la instalación sale de operación de las 18 a las 7 horas del día siguiente, por lo que su período de reposo es de 13 horas. Por lo tanto, el consumo de energía de esta instalación está representado por la suma de las áreas A2 y A3 y la demanda de potencia por facturar corresponde al 100% de la capacidad de la instalación. Por lo tanto, si se procede a utilizar el almacenamiento térmico, entonces la estrategia a seguir sería la de almacenar energía térmica de baja temperatura de las 22 a las 6 horas del día siguiente y utilizando solo el 35% de la capacidad total de la instalación, de tal manera que la suma de las áreas A1 + A4 sea numéricamente igual a A3, de forma tal que al iniciar la operación normal del edificio la carga térmica sea satisfecha utilizando el sistema normal de aire acondicionado, pero solo al 50% de su capacidad total y combinando su operación con el almacenamiento térmico, para que finalmente la carga total de enfriamiento sea totalmente satisfecha.

El resultado y los beneficios de utilizar esta estrategia son múltiples: primeramente, se utiliza solamente una parte de la capacidad total de enfriamiento con lo que la facturación por demanda máxima disminuye, segundo, se produce el almacenamiento térmico en período nocturno, donde las tarifas eléctricas disminuyen, por lo que hay un ahorro, no solo energético, sino también económico. Así, la instalación existente trabaja a una menor capacidad y con la posibilidad de optimizar su operación en función de la variación diaria de la carga térmica y de las condiciones al interior y al

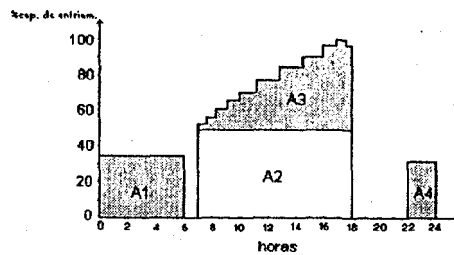


Figura 2. Curva de carga térmica de una instalación típica

Figura 2. Curva típica de la carga térmica de un edificio de oficinas.

exterior de la edificación, con la posibilidad de disminuir aún más la demanda máxima de potencia de la instalación y lograr beneficios energéticos y económicos, aún más importantes.

Sin embargo, solo el análisis detallado de este tipo de curvas de carga y de sus órdenes de magnitud, así como de las condiciones y características de operación del sistema de enfriamiento, además de las condiciones climatológicas del lugar, pueden indicar la factibilidad de utilizar el almacenamiento térmico y definir las características del mismo, como lo son el tipo de almacenamiento, su tamaño y su modo de operar, además de su costo, por lo que es difícil establecer una metodología sencilla y única de cálculo y selección de un sistema de almacenamiento térmico, sin embargo es importante que esta tecnología sea considerada dentro de las estrategias para el ahorro de energía eléctrica para instalaciones de acondicionamiento de aire.

REFERENCIAS

1. Luft und Kalte Technik (en polaco)
Rietchel und Reis
1993
2. Handbook of Storage cool thermal
ASHRAE
1995

EVALUACION DE UN INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CONTACTO DIRECTO

J. Siqueiros y O. Bonilla
Instituto de Investigaciones Eléctricas, Unidad de Fuentes No Convencionales,
Av. Reforma 113, Col. Palmira, 62490 Temixco, Mor.
Tel. (73) 18-38-11, Fax (73) 18-24-36

RESUMEN

Se mencionan las áreas de aplicación de los intercambiadores de calor de contacto directo, así como sus características principales. Se describe el equipo experimental a nivel piloto diseñado y construido incluyendo la instrumentación utilizada. Se presenta la metodología empleada así como el análisis y discusión de los resultados.

INTRODUCCION

Los intercambiadores de calor de contacto directo (ICCD) han sido propuestos para diversas aplicaciones entre ellas la desalinación de agua y para su utilización con fuentes alternas de energía como estanques solares y energía geotérmica de temperatura media. Estos intercambiadores de calor presentan ventajas comparados con los intercambiadores de calor convencionales de coraza y tubos: no ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor, altas velocidades de transferencia de calor y bajo costo de construcción (3, 4, 8, 9)

Se usa la diferencia de densidades para la transferencia de calor a contracorriente entre dos fluidos inmiscibles. Las eficiencias obtenidas son altas porque las pequeñas gotas que se forman dan mucha área de contacto para la transferencia de calor. Sin embargo, es muy difícil calcular dicha área por lo que los coeficientes de transferencia de calor se dan en base al volumen interno del intercambiador. Las temperaturas de acercamiento entre los fluidos puede ser muy pequeña del orden de 1°C .

Se han desarrollado técnicas simples para su diseño y construcción para algunos contactores. La altura del intercambiador es determinada por los requerimientos de transferencia de energía, el diámetro está determinado por los requerimientos de los flujos de los fluidos (1).

La mayor desventaja que presentan es la pérdida de material debido a disolución del fluido de trabajo en el fluido de proceso. También hace falta información para diferentes combinaciones de pares de fluidos en estos intercambiadores de calor. La predicción de la inundación es muy difícil pues se cuenta con estudios limitados.

La mayor parte de los estudios sobre estos ICCD se han realizado usando dos fluidos sin cambio de fase. Pocos estudios se han realizado con cambio de fase del fluido de trabajo (tres fases) (5).

La figura 1 muestra un esquema de un ICCD donde se presenta cambio de fase del fluido de trabajo. Se observa en la parte inferior que el fluido de trabajo entra en forma de chorro, luego forma gotas, las cuales se calientan hasta su temperatura de saturación, y después se van evaporando mientras ascienden por la columna hasta llegar a evaporarse completamente, luego se sobrecalienta a la presión de trabajo de la columna. En la figura 1 también se observa el perfil de temperatura del fluido de trabajo dentro de la columna.

La figura 2 muestra una planta de generación eléctrica de ciclo Rankine acoplada a un estanque solar. En este arreglo se puede utilizar un ICCD como evaporador de la planta. La utilización de un ICCD como

evaporador de la planta disminuiría los costos de capital al presentar altas velocidades de transferencia de calor comparadas con los intercambiadores de calor de coraza y tubos (9, 10).

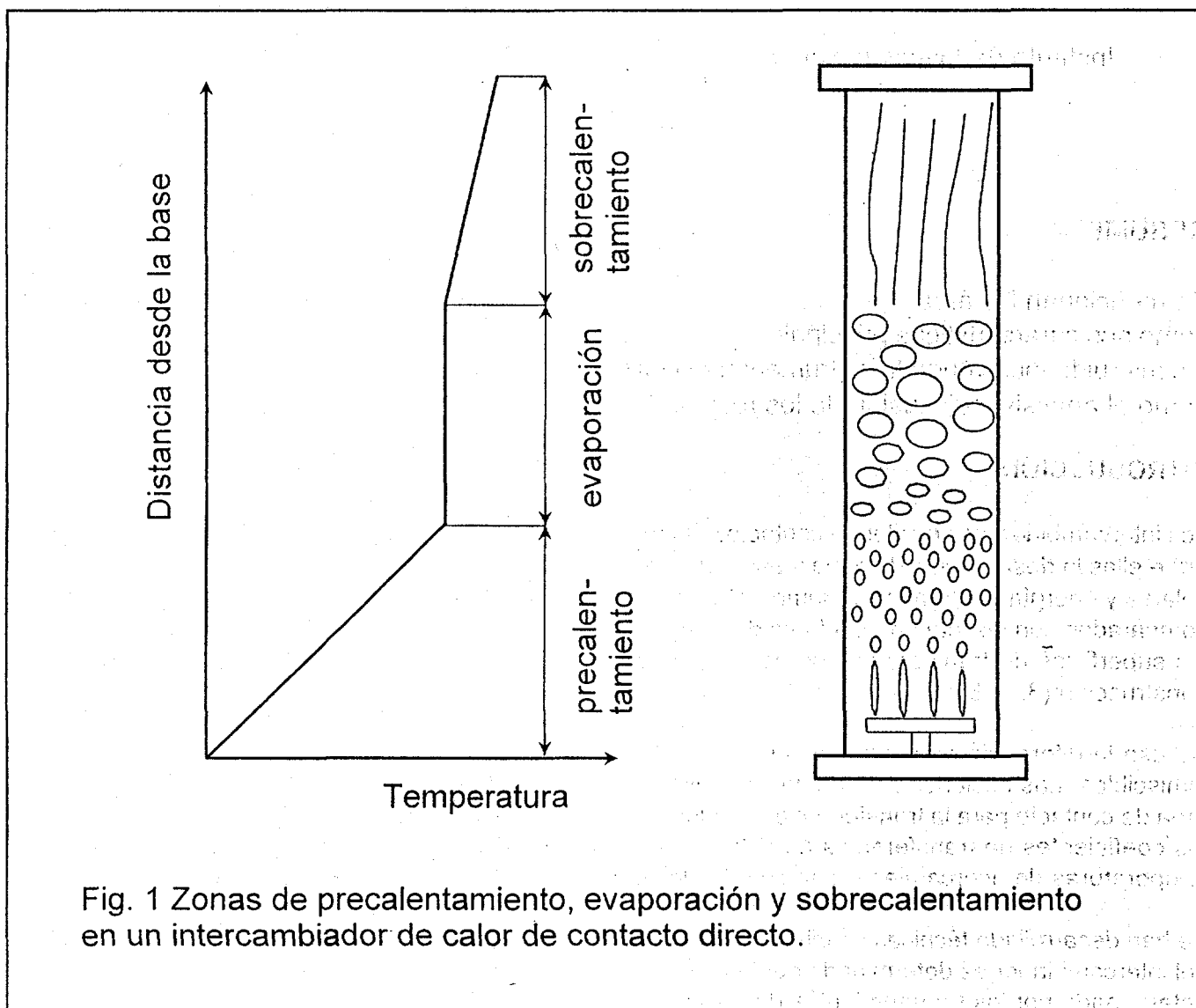


Fig. 1 Zonas de precalentamiento, evaporación y sobrecalentamiento en un intercambiador de calor de contacto directo.

El Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) participa en un estudio sobre un estanque solar de gradiente salino operando desde 1992. Este estanque es el primero en México para la producción de electricidad. Cuenta con 3000 m² de área efectiva de colección. El estanque se encuentra ubicado en las instalaciones de PEMEX en Tuzandepetl, Ver. (6).

Debido a la falta de información confiable para el diseño de un ICCD para ser utilizado en la utilización de la energía de estanques solares, el IIE diseñó, construyó y realizó pruebas sobre un ICCD. En este intercambiador de calor el agua es la fase continua y el pentano la fase dispersa. El pentano se escogió como fluido de trabajo por presentar altas eficiencias globales bajo las condiciones de un estanque solar (8,9).

DESCRIPCION DEL EQUIPO

El intercambiador de calor de contacto directo (ICCD) consta de una columna dispersora posicionada verticalmente de acero al carbon de 24 pulgadas de diámetro nominal y 3.3 metros de altura. Tiene 6 mirillas de 0.122 m de diámetro, 3 de ellas situadas a lo largo de la columna y las otras 3 en posición

opuesta con objeto de visualizar dentro del intercambiador. El distribuidor de agua se encuentra en la parte superior del intercambiador. El distribuidor de pentano se encuentra en la parte inferior del intercambiador. Tanto el distribuidor de agua como de pentano se encuentran montados en bridas, esto con objeto de poder reemplazarlos rapida y facilmente en caso de ser necesario. En la parte superior e inferior de la columna se cuenta con bridas para facilitar la sustitución de alguno de los distribuidores o bien para colocar un soporte de empaque en la parte inferior y empacar la columna con algún tipo de empaque.

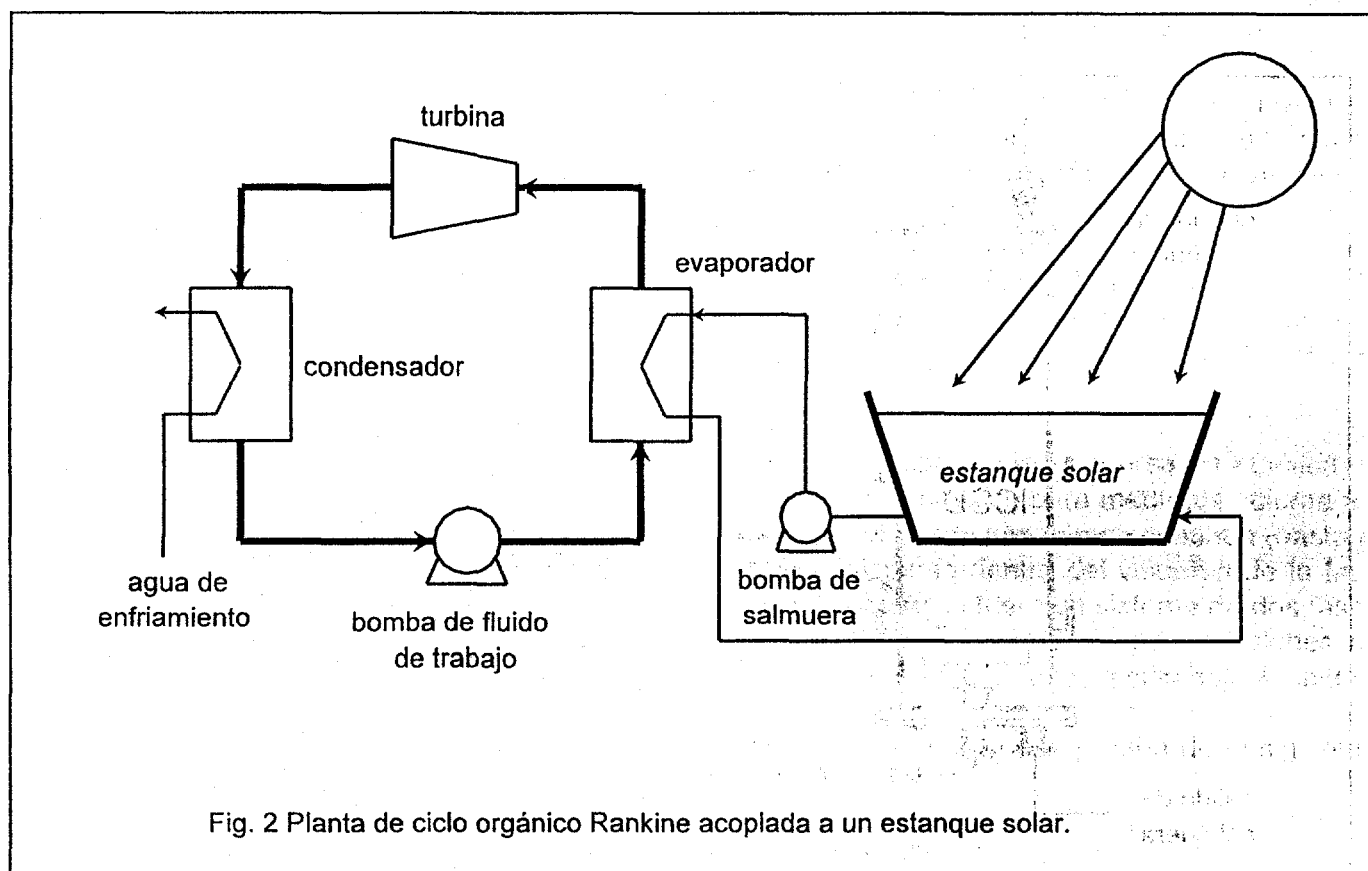


Fig. 2 Planta de ciclo orgánico Rankine acoplada a un estanque solar.

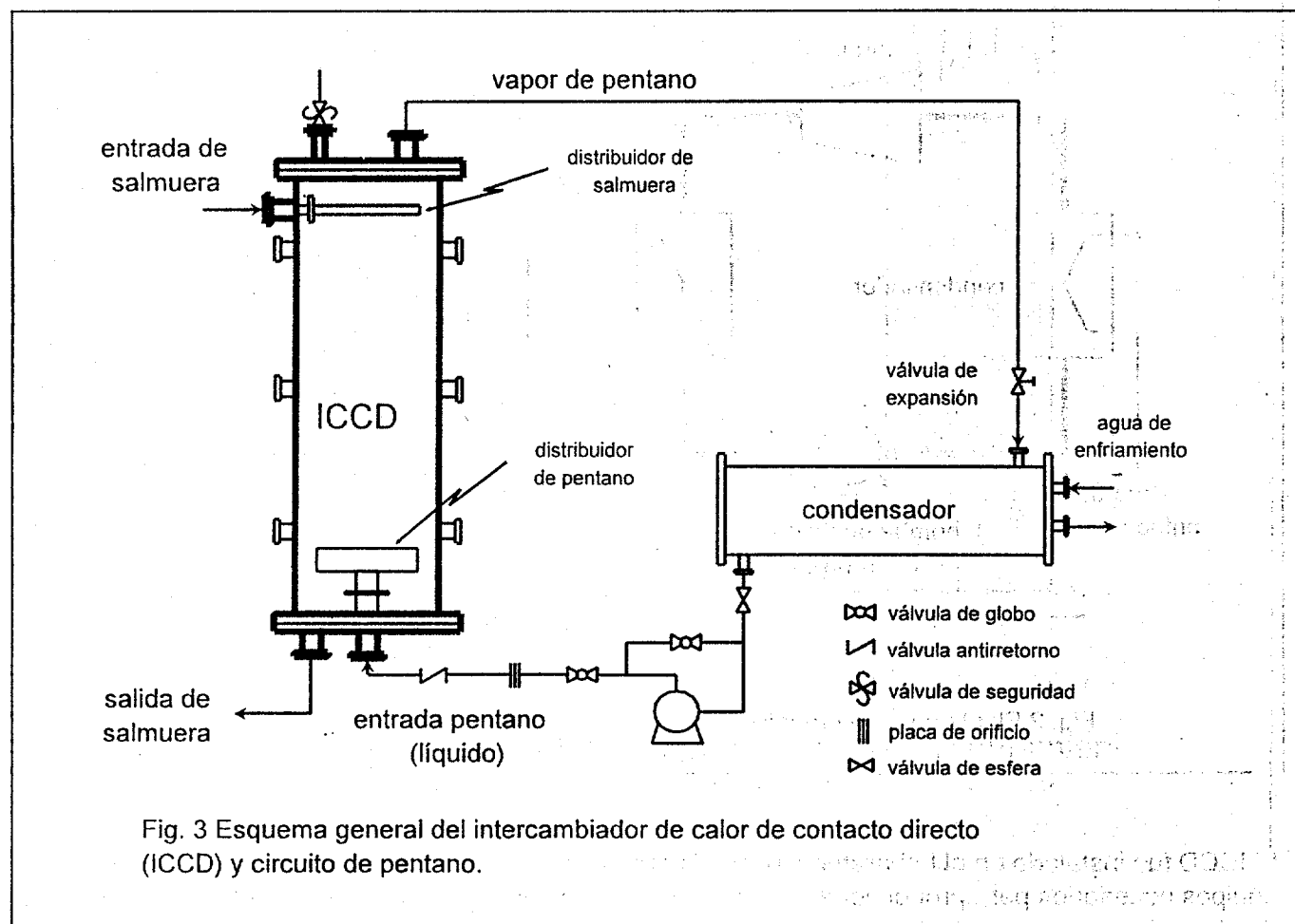
El ICCD fue instalado en el Laboratorio Termodinámico de Baja Entalpia. Este laboratorio cuenta con los equipos necesarios para proporcionar el suministro controlado de calentamiento y enfriamiento, además de otros servicios como electricidad, agua y drenaje. El laboratorio también cuenta con instrumentación y un sistema de adquisición y procesamiento de datos (7).

El circuito de agua consta de tubería de 2 pulgadas de diámetro nominal, una bomba de circulación, un tanque de almacenamiento y un intercambiador de calor auxiliar. En este intercambiador de calor se recibe la energía necesaria proveniente de la unidad de calentamiento para llevar a cabo cada prueba experimental.

El circuito de enfriamiento consta de tubería de 2 pulgadas de diámetro nominal, una bomba de circulación, un tanque de almacenamiento y un intercambiador de calor auxiliar. En este intercambiador se enfría el agua del circuito con agua proveniente de la unidad de refrigeración. El agua fría obtenida se envía al condensador de pentano.

La figura 3 muestra un esquema del ICCD. El agua caliente entra por la parte superior de la columna. A su paso por la columna transfiere calor al pentano y sale por la parte inferior de la columna. Luego el agua va hacia el intercambiador de calor auxiliar de calentamiento donde recibe la cantidad necesaria

de energía para regresar al ICCD a la temperatura seleccionada previamente. En la figura 2 también se muestra el circuito de pentano. El pentano es bombeado por una bomba y entra por la parte inferior de la columna. Dentro de la columna el pentano es distribuido por un distribuidor colocado en la parte inferior de la columna. El pentano líquido asciende y recibe calor hasta llegar a su temperatura de saturación, para continuar recibiendo calor y empezar a evaporarse hasta evaporarse totalmente antes de salir por la parte superior de la columna donde sale a condiciones de saturación o ligeramente sobrecalentado. Antes de llegar al condensador el pentano pasa por una válvula de expansión donde disminuye su presión y temperatura. Finalmente el pentano condensado en el condensador reinicia el ciclo nuevamente.



Se cuenta con termopares tipo T a las entradas y salidas del ICCD del agua y del pentano. Se cuenta con flujómetros de placa de orificio para el agua, el pentano y el agua de enfriamiento. Se cuenta también con transductores de presión para obtener la presión diferencial en los flujómetros y para sensar la presión de trabajo del ICCD. Para facilitar la operación durante las pruebas experimentales se cuenta con 3 manómetros tipo Bourdon y con 2 termómetros bimetalicos. Un adquisitor de datos monitorea y registra las variables antes, durante y después de cada prueba experimental. El registro de datos se lleva a cabo cada 30 segundos durante las pruebas.

Con respecto a la seguridad se cuenta con motores a prueba de explosión para las bomba de circulación de agua, pentano y agua de enfriamiento. También se cuenta con transductores de presión a prueba de explosión. En la parte superior del ICCD se cuenta con una válvula de seguridad con descarga fuera del edificio donde se encuentra el ICCD. Se cuenta con dos presostatos uno de alta presión que para la bomba de circulación de pentano si la presión es mayor a 30% de la presión de operación, el otro de baja presión también para la bomba de circulación de pentano al disminuir la presión por debajo de un 30%

de la presión de operación, esto puede ocurrir cuando se presente una fuga dentro de la columna y para evitar que la fuga continúe se para el suministro de pentano a la columna.

RESULTADOS

Para cada prueba experimental primero se calentaba el agua haciéndola circular por el intercambiador de calor auxiliar a un flujo preseleccionado hasta una temperatura preseleccionada. Una vez alcanzada esta temperatura se arrancaba el circuito de enfriamiento para contar con agua de enfriamiento hacia el condensador de pentano. Finalmente se arrancaba la bomba de circulación de pentano y se buscaba mantener condiciones estables por medio del control del suministro de pentano a la columna.

La temperatura del agua a la entrada del ICCD varió entre 75-88°C. La temperatura de entrada del pentano al ICCD varió entre 23-38°C. El intervalo de presiones en la columna fue 2-4 bar. En todas las pruebas el nivel de agua inicial se mantuvo a 1.9 m. El calor transferido por el agua al pentano varió entre 30-70kW.

En cada una de las 19 pruebas experimentales se obtuvieron las condiciones de estado estable. El estado estable se alcanza entre 60-90 minutos después de iniciada la prueba. Cada prueba se mantuvo por lo menos 20 minutos en estado estable, llegando a mantenerlo en algunas pruebas mas de 60 minutos para verificar la estabilización del sistema.

No fue posible obtener la retención (fracción del volumen que ocupa la fase dispersa en el volumen activo) para las pruebas experimentales debido a la falta de un dispositivo para medir los volúmenes activos durante las pruebas. El volumen activo es el volumen total que ocupa la fase continua (hasta el nivel dentro de la columna) y el volumen que ocupa la fase dispersa dentro del volumen de la fase continua. Sin embargo se estimaron las retenciones evaluadas como si fuera un sistema de dos fases unicamente, es decir las retenciones en la zona de precalentamiento (3,10). Estas retenciones no corresponden a la retención real en tres fases pero dan una forma de comparar los resultados obtenidos.

El coeficiente volumétrico de transferencia de calor, U_v se obtuvo para cada prueba de la siguiente ecuación:

$$Q = (V)(U_v)(LMTD) \quad (1)$$

donde:

Q es la cantidad de calor transferida por el agua al pentano.

V es el volumen de la fase continua dentro de la columna.

LMTD diferencia media logarítmica de temperaturas.

La relación volumétrica de flujos se obtiene de la división de flujo volumétrico del pentano entre el flujo volumétrico del agua. La relación másica de flujos se obtiene dividiendo el flujo másico de pentano entre el flujo másico de agua. La LMTD se obtuvo para cada prueba experimental de las temperaturas sensadas a las entradas y salidas del agua y pentano a la columna.

La figura 4 muestra la variación del coeficiente volumétrico de transferencia de calor, U_v , en función de la retención obtenida para sistemas de dos fases. Se observa que U_v aumenta al aumentar la retención. Los valores mas grandes del U_v no se obtienen para las relaciones volúmetricas de flujo mas elevadas. En algunas relaciones de flujo volumétrico elevadas se obtuvo inundación de la columna ocasionando que el U_v disminuyera. La inundación se presenta cuando la fase continua (agua) arrastra a la fase dispersa (pentano).

La variación de U_v en función de la relación de flujos másicos se presenta en la figura 5. Se observa que U_v aumenta hasta un cierto valor y luego disminuye mientras la relación de flujos másicos aumenta. El valor máximo de U_v corresponde a un valor muy cercano a la inundación. Si la relación de flujos másicos

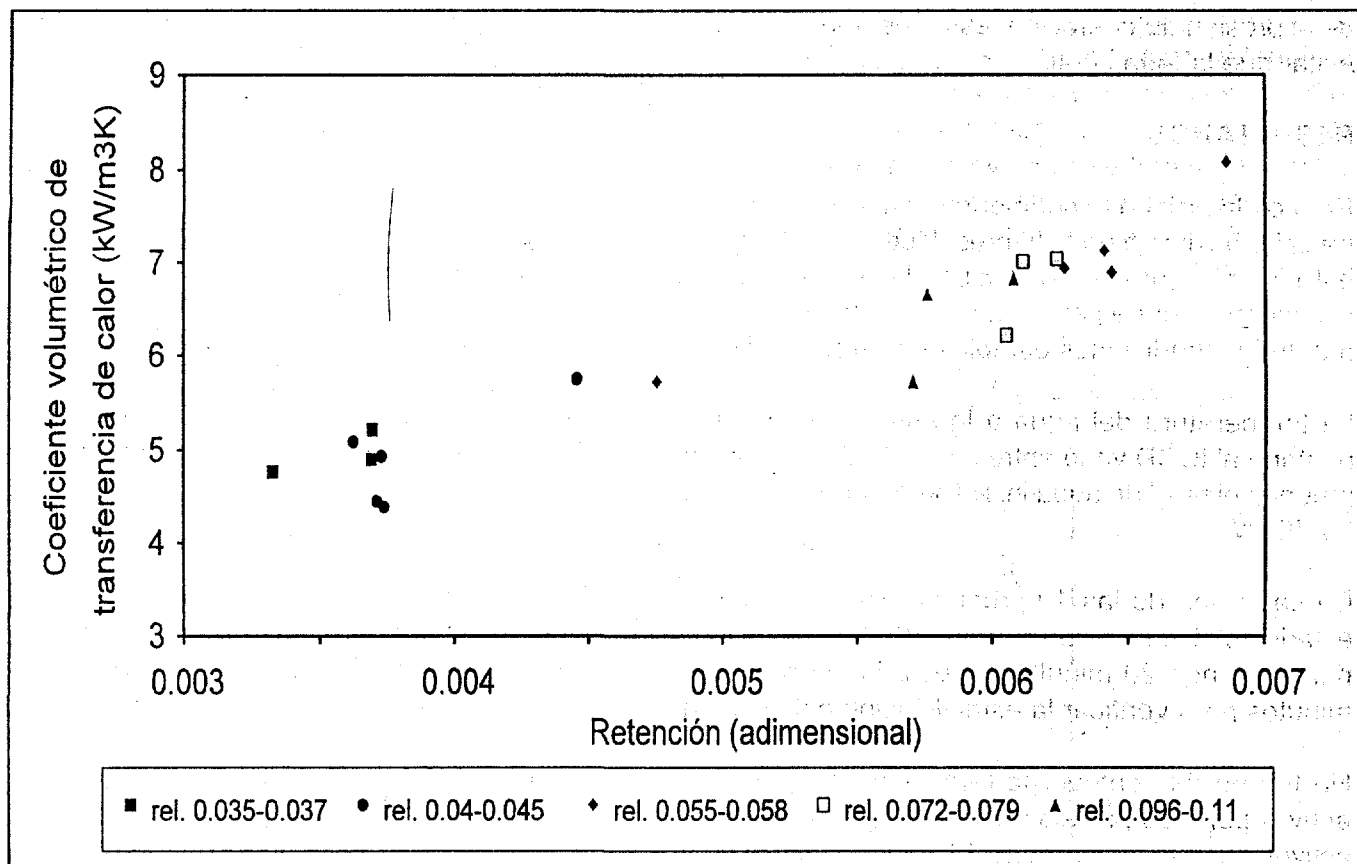


Fig. 4 Coeficiente volumétrico de transferencia de calor en función de la retención.

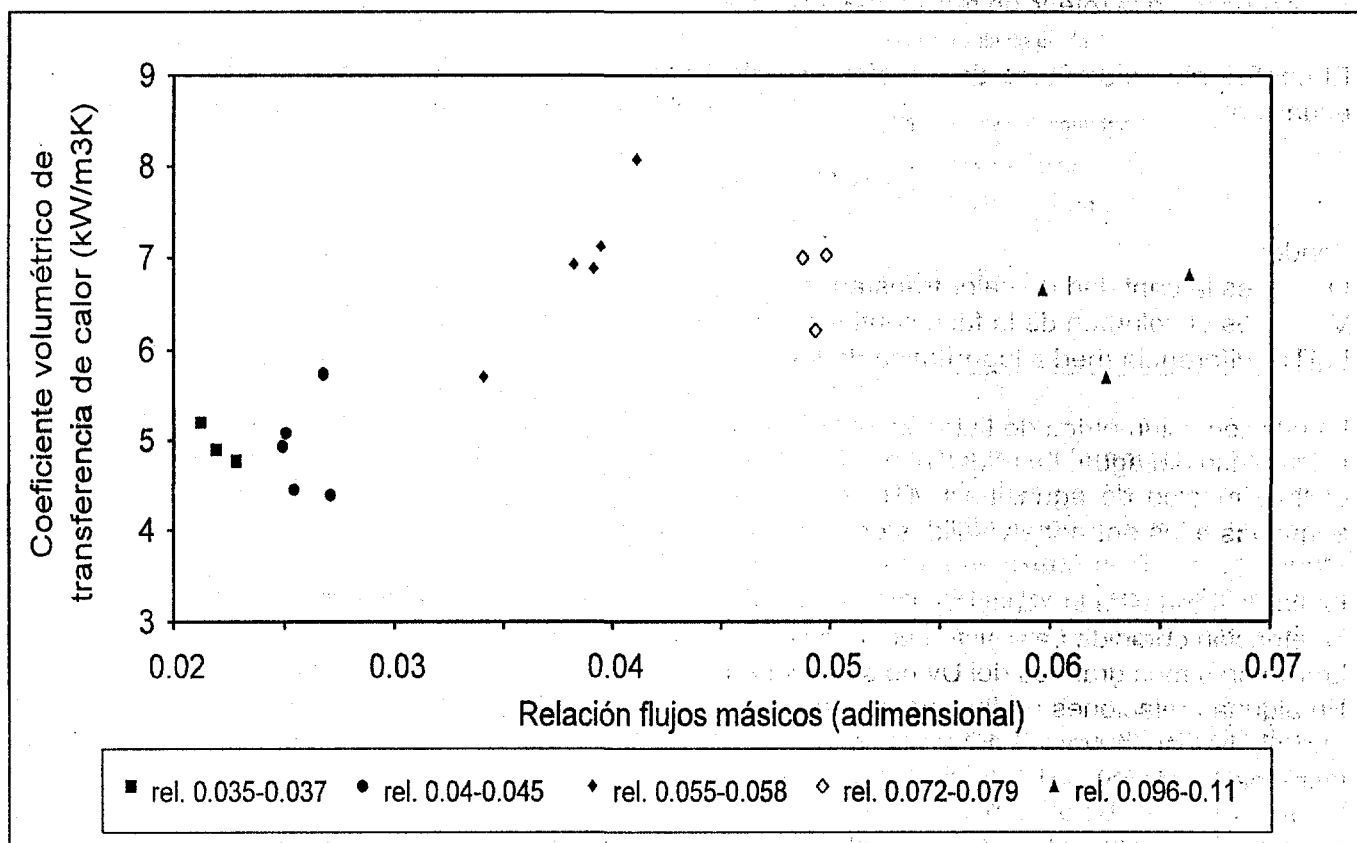


Fig. 5 Coeficiente volumétrico de transferencia de calor en función de la relación de flujos.

es mayor que el correspondiente al valor dado en la inundación el U_v tiende a disminuir, este resultado ha sido confirmado experimentalmente por otros autores (2).

En la figura 6 se presenta la variación de U_v en función del flujo de pentano. Se observa que U_v aumenta cuando el flujo de pentano se incrementa. Sin embargo los valores altos de U_v no corresponden a los valores altos para la relación volumétrica de flujos. La dispersión de puntos observada se debe a las diferentes condiciones del ICCD en cuanto a temperaturas de evaporación y presiones en la columna.

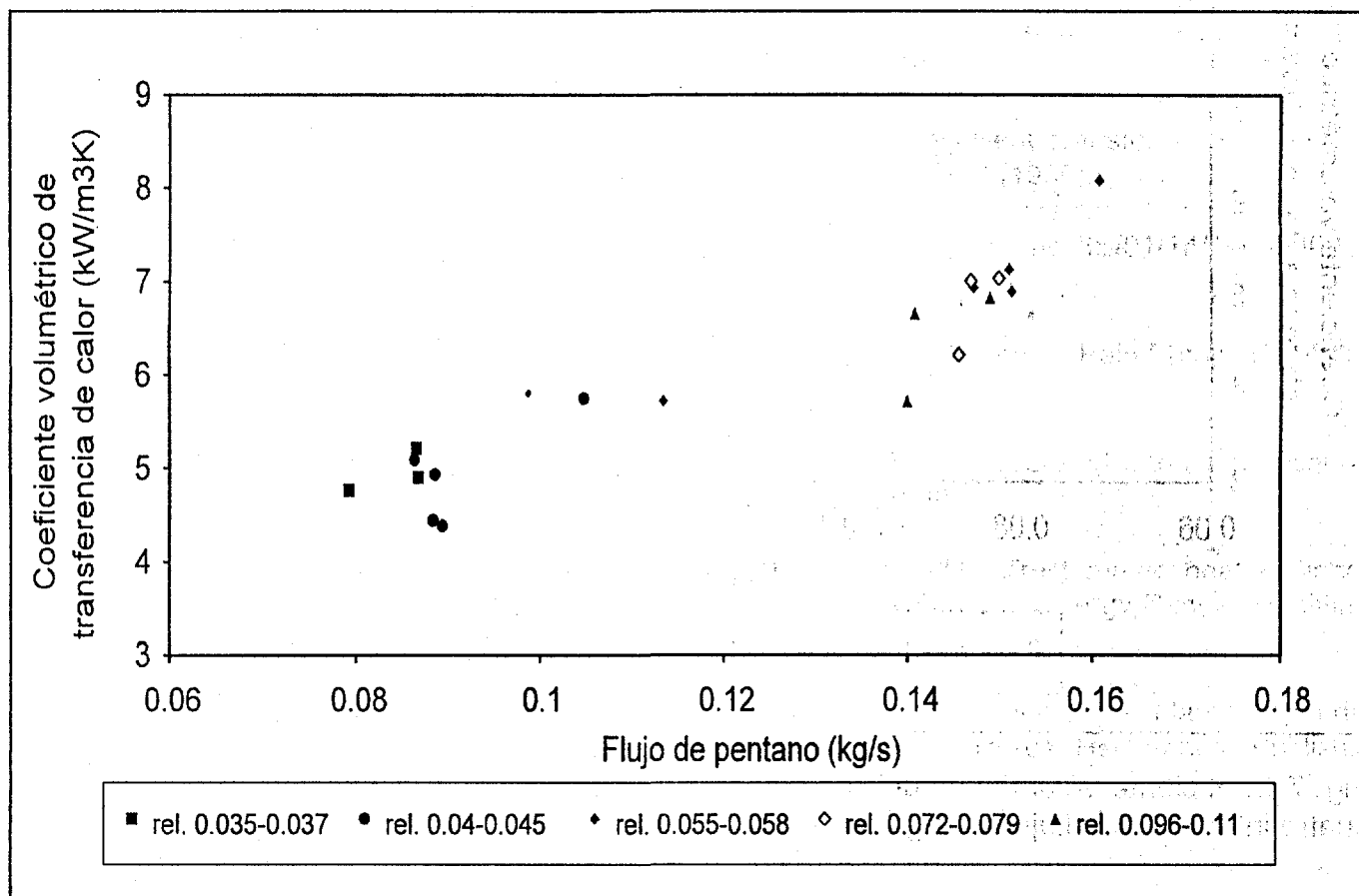


Fig. 6 Coeficiente volumétrico de transferencia de calor en función del flujo de pentano.

La figura 7 muestra la variación de U_v en función del flujo de pentano para diversos valores del flujo másico de agua hacia la columna. Se observa que independientemente de los valores del flujo másico del agua el valor de U_v se incrementa al incrementarse el flujo de pentano. Para un flujo másico de agua dado se observa que en la mayoría de los casos que al aumentar el flujo de pentano también aumenta U_v . El valor mas alto de U_v corresponde a los flujos de agua y pentano mas altos.

CONCLUSIONES

El ICCD operó satisfactoriamente, obteniéndose condiciones de estado estable para cada una de las 19 prueba experimentales. Los coeficientes volumétricos de transferencia de calor obtenidos son altos como se esperaba de la literatura, éstos variaron de 4.2 a 8.2 $\text{kW/m}^3\text{°C}$.

Se obtuvieron las condiciones de inundación en varias pruebas, no existen en la literatura correlaciones para evaluar la inundación en sistemas de tres fases. Se deberán hacer esfuerzos para obtener alguna correlación que permita la evaluación de estas condiciones de inundación. De los resultados obtenidos

la inundación se presenta para una relación volumétrica de flujos de 0.06 y para una relación másica de flujos de 0.04.

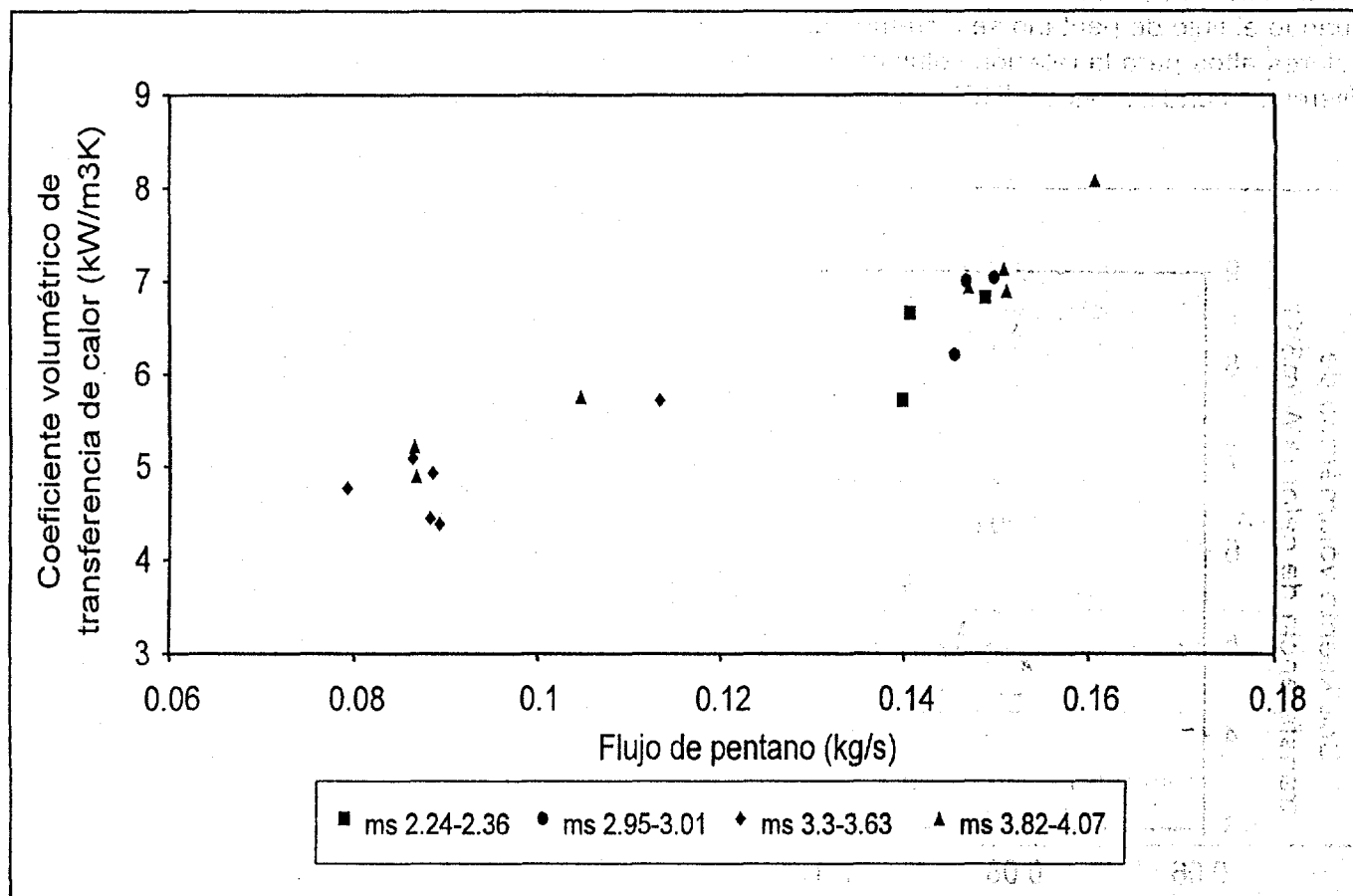


Fig. 7 Coeficiente volumétrico de transferencia de calor en función del flujo de pentano para cuatro intervalos de flujos de agua.

En una aplicación de los ICCD acoplados a estanques solares para generación de energía eléctrica es conveniente que la relación de flujos sea pequeña porque así se obtiene mayor aprovechamiento de energía del fluido de trabajo por unidad de masa de la salmuera del estanque solar. Esto implica obtener un mínimo de bombeo de salmuera del estanque hacia el ICCD por cada kW producido en la planta. Sin embargo a las relaciones bajas de flujos se presenta la inundación y ocasiona que se pierda fluido de trabajo hacia el estanque solar. Se recomienda trabajar el ICCD a un 90% del valor de la inundación para obtener altos coeficientes de transferencia de calor y evitar pérdidas de fluido de trabajo (5).

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la M. en C. Griselda Cerón, al Ing. Rafael Borja y al Tec. Mario Carrillo por su colaboración durante la construcción y pruebas del equipo experimental, así como al Tec. Rolando Siller y al Sr. Teodoro Arano por su ayuda durante la construcción del equipo.

REFERENCIAS

1. R. F. Boehm y F. Kreith, "Direct-contact processes promise high performance, low cost", Mechanical Engineering, pp. 79-81 (march 1986).

2. P. Goodwin, M. Coban y R Boehm, "Evaluation of flooding limits and heat transfer of direct contact three phase spray column", ASME paper 85-HT-49 22nd Nat. Heat Transfer Conf., Denver, Colorado (4-7 agosto, 1985).
3. H. R. Jacobs, "Thermal and hydraulic design of direct-contact spray columns for use in extracting heat from geothermal brines", Apéndice 5 en Direct Contact Heat Transfer, F. Kreith y R. F. Boehm Editores, Hemisphere Publishing Corporation, pp. 343-369, (1988).
4. H. R. Jacobs and R. F. Boehm, "Direct contact binary cycles", section 4.2.6, Sourcebook on the production of electricity from geothermal Energy. Edited by J. Kesting, U.S. Department of Energy, Wasington, D. C., DOE/RA/4051-1, pp. 413-471 (1980).
5. R. Letan, "Liquid-liquid processes", Capítulo 6 en Direct Contact Heat Transfer, F. Kreith y R. F. Boehm Editores, Hemisphere Publishing Corporation, pp. 83-118 (1988).
6. C. Ramos et al., "Ingeniería de estanques solares", Informe interno IIE/01/14/10060/I002/P (1995).
7. J. Siqueiros y O. Bonilla, "Operación del Laboratorio Termodinámico de Baja Entalpia", Informe interno, IIE/01/14/10115/I001/F (1997).
8. A. Soon y R Letan, "Thermal analysis of a Solar pond power plant operated with a direct contact boiler", Journal of solar Energy Engineering, pp. 262-269 (1982).
9. J. D. Wright, "An organic Rankine cycle coupled to a solar pond by direct-contact heat exchange- Selection of a working fluid, SERI/TR-631-1122, Golden, CO: Solar Energy Research Institute (june, 1981).
10. J. D. Wright, "Design of direct-contact preheater/boilers for solar pond power plants", Apéndice 3 en Direct Contact Heat Transfer, F. Kreith y R. F. Boehm Editores, Hemisphere Publishing Corporation, pp. 299-334 (1988).

OPTIMIZACION DEL USO DE LA ENERGIA EN UN PROCESO PETROQUIMICO

Picón Núñez Martín *, Quillares Vargas Luis & y Torres Reyes Ernestina *

* Instituto de Investigaciones Científicas
Universidad de Guanajuato, L. de Retana No. 5
Guanajuato, Gto.,
Tel y Fax : 262 52

& Tecnopinch, S.A de C.V.
Aniceto Ortega No. 624, Col. Del Valle
03100, México, D.F.
Tel y Fax : 5 753955

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados de un estudio para reducir el consumo de energía en una sección de una planta de dimetil tereftalato. Se realizó un análisis térmico para evaluar las oportunidades de ahorro de energía. Se encontró que la planta opera con un alto nivel de integración energética, es decir, se recupera la máxima cantidad de calor en forma de vapor y se reutiliza en otras secciones de la planta. Sin embargo, el diseño del proceso es tal que una fracción importante del potencial de calentamiento de este vapor se pierde debido a la expansión a que es sometido para ajustar su presión a la del cabezal de distribución, limitando de esta manera su uso óptimo. Se presenta una propuesta para reducir las pérdidas de potencial y reducir el consumo global de energía en aproximadamente 5 millones de BTU/hr.

INTRODUCCION

Maximizar la recuperación de energía para posteriormente ser utilizada en otras partes del proceso y minimizar los costos de inversión en equipo de transferencia de calor y los costos totales de operación por concepto de energía, es uno de los objetivos principales de las técnicas del análisis Pinch para la integración de procesos (1). La aplicación de estas tecnologías tanto a nivel mundial como nacional, ha resultado en beneficios significativos en lo referente a ahorros energéticos como a la eliminación de cuellos de botella relacionados con la transferencia de calor (2,3,4).

Existen varios factores que deben considerarse para determinar el grado de integración energética de un proceso. El primero es la determinación de la carga térmica mínima de energía que un proceso consumiría si toda la capacidad instalada para la recuperación de calor se utilizara en forma eficiente. Posteriormente es necesario analizar sistemas susceptibles de integración térmica como columnas de destilación, sistemas de cogeneración, y evaporadores entre otros (5)

La recuperación de calor mediante la generación de vapor, es una alternativa que da mucha flexibilidad en la reutilización de la energía en una planta de proceso, puesto que el calor generado en una zona puede ser transportado a través de las líneas de conducción de vapor para su utilización en un punto distante (6). En algunas ocasiones, dadas las condiciones específicas de operación, es necesario reducir la presión del vapor de calentamiento antes de ser empleado en un equipo. Esto reducirá su temperatura y evitará efectos perjudiciales en las corrientes a procesar, como por ejemplo degradación térmica.

Generalmente la distribución de vapor en plantas de proceso se realiza a través de líneas de alta, media y baja presión. Por lo tanto, cuando se recupera calor por medio de la generación de vapor, a una presión intermedia entre las presiones de operación de las líneas de distribución disponibles, entonces este vapor debe expandirse hasta la condición inmediata inferior para poder ser conducido hasta los usuarios. En algunos casos, como el que se presenta en la planta dimetil tereftalato, la pérdida de potencial debida a la expansión del vapor, puede conducir a una utilización subóptima de la energía resultando en mayores consumos energéticos globales.

La integración energética de procesos considera conjuntamente dos aspectos importantes relacionado con la recuperación de energía. El primero es la magnitud de las cargas térmicas y el segundo es el nivel de temperatura en el cual se encuentran disponibles. El uso eficiente de la energía en una planta de proceso debe necesariamente tomar en cuenta ambos aspectos. Es probable que en algunos casos sea necesario sacrificar potencial como se mencionó anteriormente, sin embargo, cuando la pérdida de potencial es innecesaria, esto conduce a un uso ineficiente de la energía y a una mala inversión de capital en forma de mayores áreas de transferencia de calor.

El caso de estudio que se presenta a continuación, es parte de un programa de optimización del uso de la energía de una planta petroquímica y está basado en la aplicación de una de las herramientas fundamentales de las técnicas del análisis Pinch, como lo es la Gran Curva Compuesta. Una descripción detallada sobre la construcción y aplicación de este tipo de diagramas se puede encontrar en la referencia (1). El análisis que se realizó en este trabajo permitió identificar una forma de mejorar el uso de la energía en el proceso. Con esto, el consumo global se redujo en 5 millones de BTU/hr, lo que equivale a un ahorro de aproximadamente 96 mil dólares anuales.

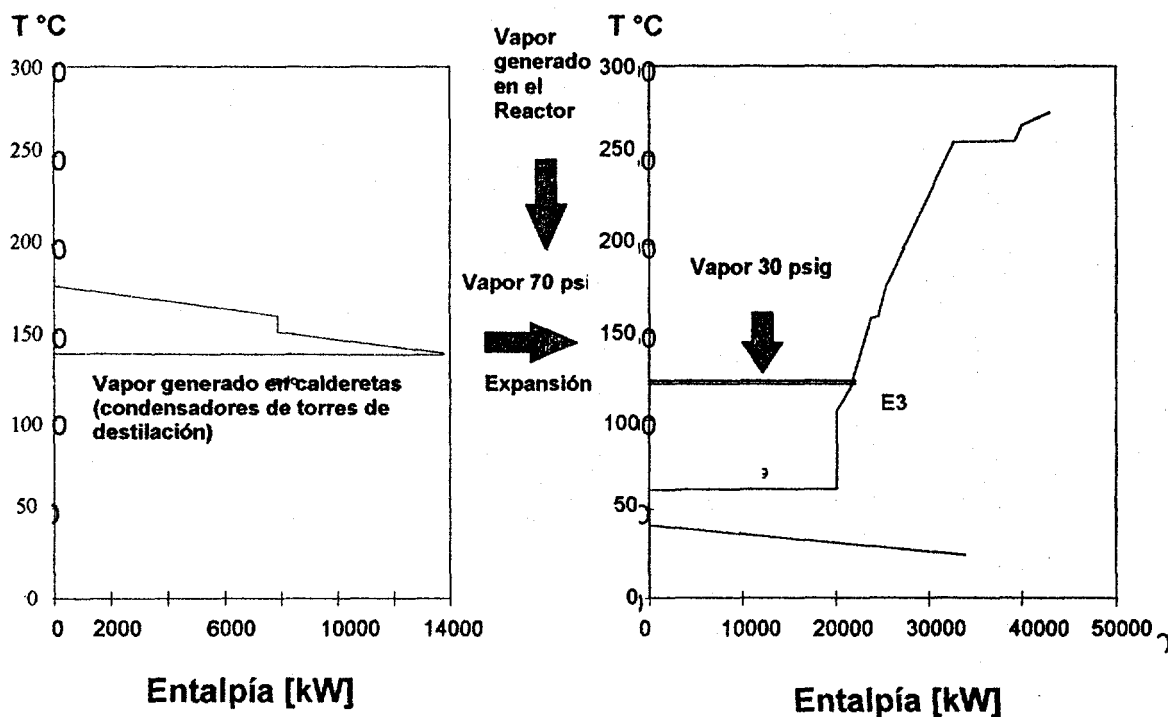


Figura 1. Gran Curva Compuesta de la sección de reacción y separación del proceso.

ANÁLISIS TÉRMICO DEL PROCESO

La Figura 1 muestra la Gran Curva Compuesta de la sección de reacción y separación del proceso de producción de dimetil tereftalato. La disipación de la energía que se genera en la etapa de reacción del proceso se realiza a través de la generación de vapor de 70 psig. Este vapor se combina con otra cantidad de vapor que se genera en los condensadores (calderetas) de dos torres de destilación, como se ilustra Figura 1. Ambos flujos de vapor de 70 psig se expanden a 30 psig para poder ser conducidos a los usuarios, a través de esta línea de baja presión.

Una fracción del vapor de reuso se emplea para calentar una de las corrientes de alimentación a la torre de T1, como se muestra en la Figura 2. El resto de la energía necesaria para incrementar la temperatura de la corriente hasta la temperatura requerida en este equipo, es suministrada por un fluido térmico que opera en circuito cerrado.

El diagrama de la Figura 1 proporciona información que guía al ingeniero a identificar oportunidades para optimizar el uso de la energía en esta sección del proceso. Puede observarse que el vapor de 70 psig recuperado en el proceso (con una temperatura de 150°C) se reduce hasta 30 psig (con una temperatura de 133°C). Si este vapor se utilizara directamente en el intercambiador E2, es posible incrementar la carga de éste, lo que reduciría la carga térmica del E3.

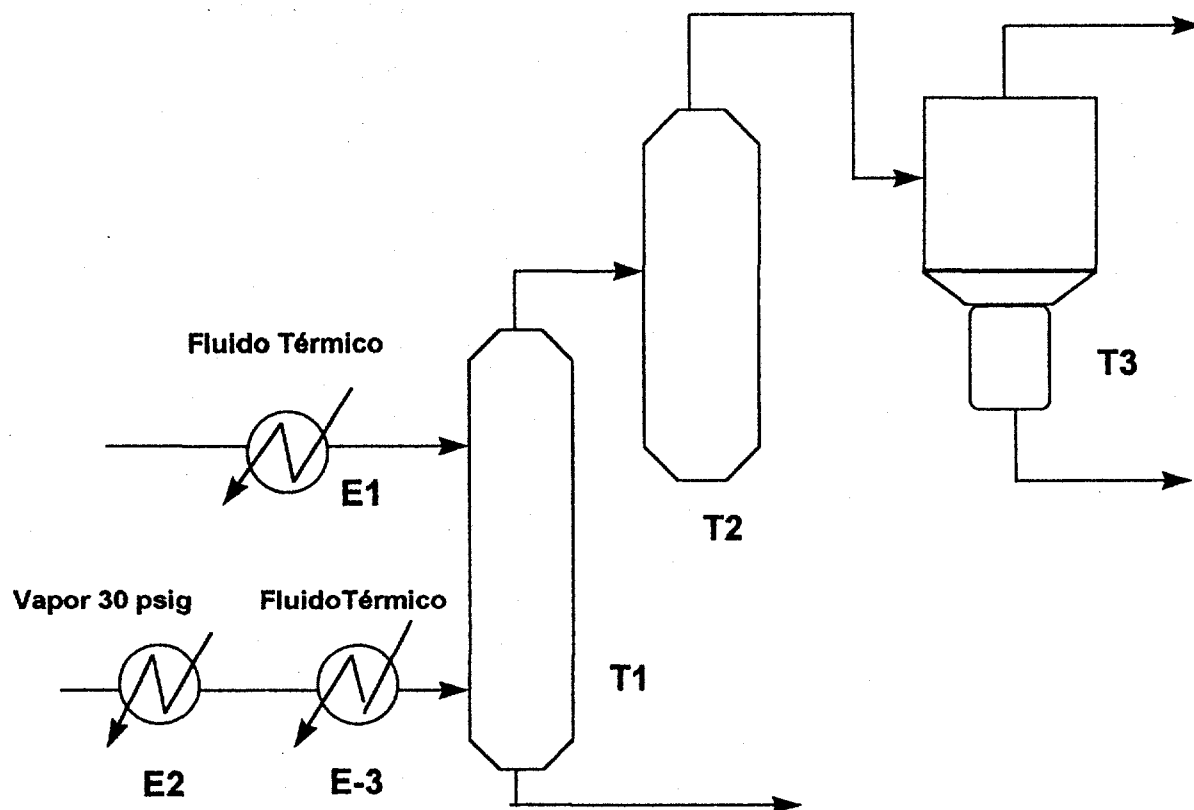


Figura 2. Intercambiadores de acondicionamiento de la alimentación a la torre de destilación en la sección de purificación del proceso.

En operación normal, usando uso vapor de 30 psig, la temperatura de la corriente de alimentación en el intercambiador E2 se eleva hasta 111.6 °C. El intercambiador E3, que opera con un fluido térmico como medio de calentamiento lleva la temperatura de la alimentación hasta 260 °C. Tal y como se describió anteriormente (ver Figura 3), si el vapor generado en las etapas de reacción y condensación se utilizara directamente para el acondicionamiento de la temperatura de la alimentación a la torre T1, la temperatura a la salida del intercambiador E2 sería de aproximadamente 140 °C.

Con las modificaciones antes mencionadas, se encuentra que la nueva carga térmica del intercambiador E3 se reduce en aproximadamente 5.2 millones de BTU/hr. Esto equivale a una reducción en costos energéticos de 96 mil dólares anuales. La Figura 4 ilustra gráficamente la nueva distribución de cargas térmicas en los intercambiadores E2 y E3.

La revisión detallada de los intercambiadores existentes reveló que el intercambiador E2 fue originalmente diseñado para la operación con vapor de 70 psig, lo que significa que no es necesario reemplazar el equipo existente.

Antes de considerar la implementación de las recomendaciones antes mencionadas, es necesario tomar en cuenta otros factores con son el layout de la planta, el aspecto operativo y el análisis de riesgos. Sin embargo, la primera parte del proyecto ha mostrado que termodinámicamente es posible optimizar el uso de la energía en la planta.

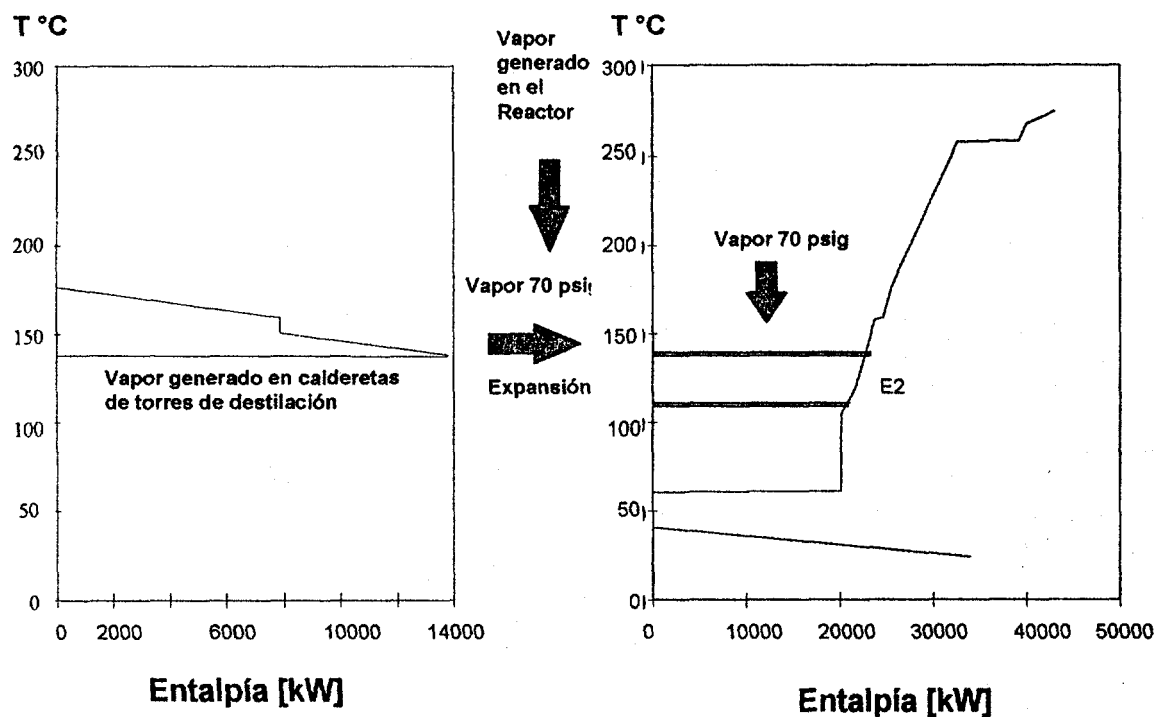


Figura 3. El uso directo de vapor de 70 psig en el intercambiador E2 resulta en la reducción de la carga térmica del circuito de aceite caliente.

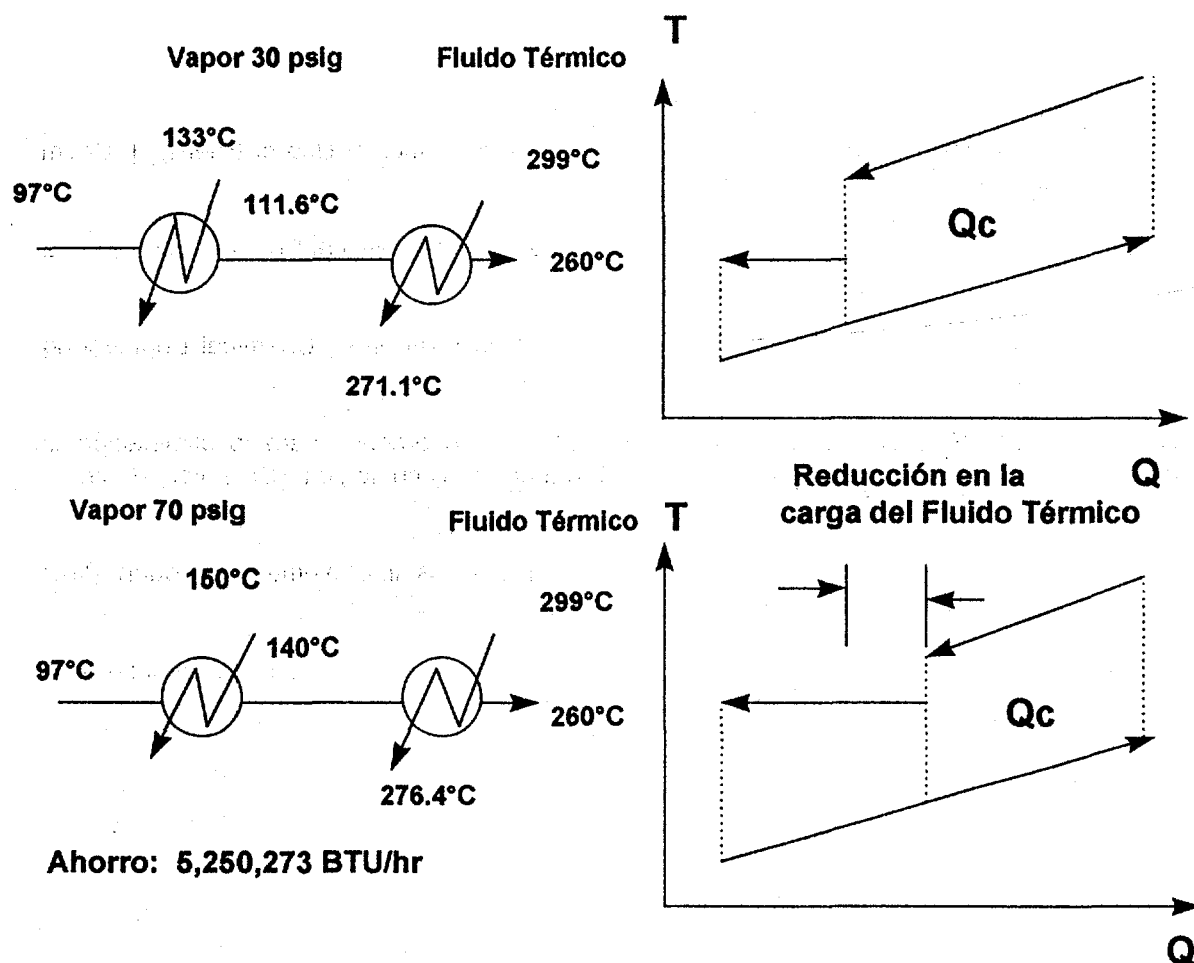


Figura 4. Nueva distribución de cargas térmicas y temperaturas en los intercambiadores E2 y E3.

CONCLUSIONES

La aplicación sistemática de los conceptos del análisis Pinch y particularmente el uso de la Gran Curva Compuesta permitió identificar un área de oportunidad para reducir el consumo de energía en una planta de dimetil tereftalato. La pérdida necesaria de potencial por expansión de vapor para llevarlo a las presiones de las líneas de distribución debe analizarse en función de los requerimientos energéticos tanto de carga térmica como de nivel de temperatura. El caso que aquí se presenta muestra que la reducción de la presión del vapor origina un aumento significativo en el consumo global de energía debido a la pérdida de nivel de temperatura. Los resultados indican que es posible reducir el consumo de energía en 5.2 millones de BTU/hr, lo que equivale a un ahorro aproximado de 96 mil dólares anuales.

REFERENCIAS

1. Linnhoff, B., et al, User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, I. Chem. E, Rugby, 1982, U.K.
2. Linnhoff, B, and Polley, G.T., "Stepping beyond the Pinch", The Chemical Engineer, pp. 25 - 32, February 1988
3. Tyce , T . N. and Linnhoff, B., "Pinch technology for process retrofits", Chemical Engineering, April 28, 1986.
4. Picón Núñez, M., "Análisis de flujos de calor en plantas de proceso para la eliminación de cuellos de botella", Revista Internacional de Información Tecnológica (CIT) vol. 8, No. 5 Septiembre - Octubre, 1997.
5. Linnhoff, B., Polly, G. T. and Sahdev, U., General process improvement through Pinch Technology", Chemical engineering Progress, June 1988, pp. 51-58.
6. Hui, C. W. And Ahmad , S., "Total site integration using the utility system", Computers and Chemical Engineering, Vol. 18, No. 8, pp. 729-742, 1994.

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS *PINCH* PARA EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN EN UNA INDUSTRIA PAPELERA

ALEJANDRO GERMÁN MANI GONZÁLEZ⁺, ALEJANDRO ARRIOLA MEDELLÍN⁺

⁺Instituto de Investigaciones Eléctricas, Unidad de Resultados de Ingeniería Mecánica,

Av. Reforma Num. 113, Col Palmira, 62490 Temixco, Mor. México

Tel: (73) 18-38-11, ext. 7585 Fax: (73) 14-41-72

E-mail: aarriola@iie.org.mx

Resumen

El Análisis *Pinch* es un conjunto de principios, herramientas y reglas de diseño que permiten al ingeniero encontrar la mejor manera de configurar los elementos de un proceso. En los últimos diez años se ha utilizado para el diseño de procesos nuevos así como en la optimación energética de procesos existentes. En el presente artículo se presentan las herramientas utilizadas para la integración de un sistema de cogeneración en un proceso de producción de papel. Se muestra también cómo el tratamiento combinado del Análisis *Pinch* y el concepto de exergía permite definir, antes del diseño detallado, el potencial de cogeneración, el consumo de combustible y la cantidad de emisiones contaminantes para diferentes esquemas de cogeneración.

1.1 El Análisis *Pinch* y el concepto de exergía

Para el análisis de sistemas que involucran calor y potencia como plantas de potencia, sistemas de refrigeración, bombas de calor, sistemas de cogeneración, etcétera, el análisis en términos de calor es insuficiente. Para estos sistemas se aplica el tratamiento combinado del Análisis *Pinch* y del análisis exergético (3).

Para establecer los objetivos de calor y potencia se utiliza la gran curva compuesta de exergía. Dicha curva se construye al reemplazar el eje vertical de la temperatura de la gran curva compuesta por el factor de *Carnot* $\eta_c = (1 - T_0/T)$, donde T_0 es la temperatura ambiente y T la temperatura de proceso.

El área bajo la gran curva compuesta de exergía es directamente proporcional a las pérdidas exergéticas, es decir, al trabajo ideal equivalente.

Para ilustrar lo anterior, en la figura 3 se representa el sistema de un turbina de vapor en la gráfica factor de *Carnot* (η_c) versus entalpía (H). La exergía del vapor sobrecalentado de alta presión VSAP, es igual al área 1-2-3-4, en tanto que la exergía del vapor de alta presión VAP a la salida de la turbina es igual al área 4-5-6-7. El trabajo ideal de eje desarrollado por la turbina desde VSAP hasta VAP es igual a la diferencia de exergía, es decir, al área 1-2-3-7-6-5. El trabajo real de eje es proporcional al trabajo ideal de eje, tomando en cuenta la eficiencia exergética de la turbina, η_{ex} . De esta manera, el objetivo de cogeneración W , es el área delimitada por 1-2-3-7-6-5, multiplicada por η_{ex} .

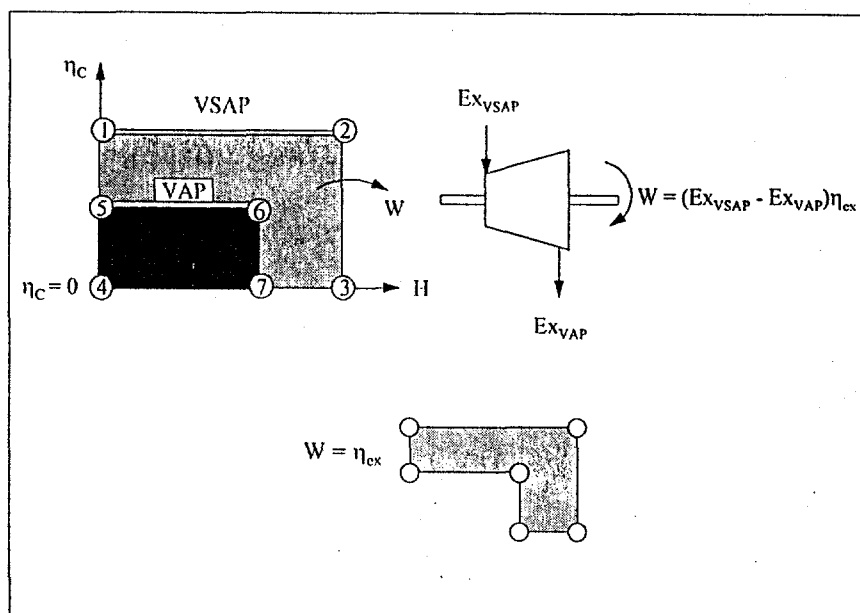


Figura 3 Representación de una turbina de vapor en el gráfico factor de Carnot-entalpía.

En la figura 4 se presentan en forma esquemática un complejo industrial y el sistema de servicios generales asociado a este conjunto de procesos. Con la ayuda de estas curvas se puede apreciar el uso correcto o incorrecto del vapor en sus diferentes niveles de presión; también es posible definir las pérdidas exergéticas en la transferencia de calor entre los procesos del sitio y los servicios, además puede representarse el potencial de cogeneración.

Esta representación permite establecer las cargas térmicas para la generación y uso del vapor a diferentes niveles de temperatura. Por ejemplo, la generación de vapor de media presión (VMP) proveniente de los procesos se representa por D y la demanda remanente (C) la suministra la turbina. La demanda de vapor de alta presión del conjunto de procesos tiene como valor objetivo (B). De esta manera el sistema de la turbina necesita satisfacer la demanda (C) de vapor de media presión y la demanda (B) de vapor de alta presión (VAP).

Con base en estas demandas se define la turbina para cubrir los requerimientos (A) de vapor sobrecalentado de alta presión (VSAP). La carga térmica (A) del vapor sobrecalentado de alta presión define los objetivos de capacidad de la caldera. Las necesidades de combustible (F) se calculan de la proyección del perfil de combustible en el eje de la entalpía.

Conociendo la cantidad y composición del combustible pueden establecerse los objetivos de emisiones (CO_2 , SO_2 , etcétera) del proceso o conjunto de procesos. El objetivo de enfriamiento para el complejo industrial se identifica como (E).

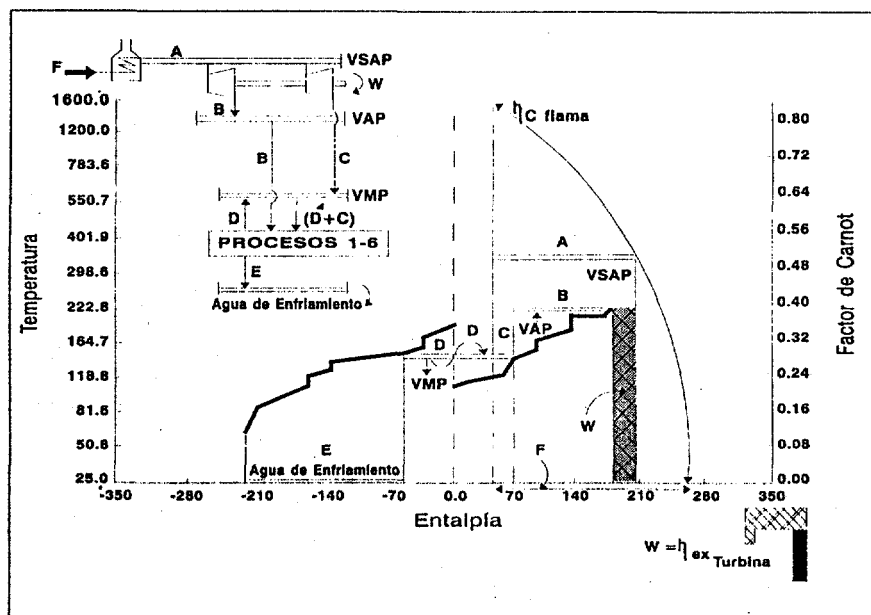


Figura 4 Uso de las curvas del perfil total del sitio para la integración de servicios generales.

El objetivo de cogeneración puede encontrarse al sustituir el eje de temperatura del perfil del sitio, por el factor de *Carnot*. El área sombreada entre el VSAP (A), VAP (B), VMP (C) y el nivel de temperatura del agua de enfriamiento, es directamente proporcional a la cogeneración (W), teniendo en cuenta la eficiencia exergética η_{ex} de la turbina.

2. Cogeneración

En la actualidad, la cogeneración es una alternativa técnicamente factible para lograr el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos finitos.

En su sentido más amplio, la cogeneración se define como la generación conjunta de dos o más manifestaciones de energía a partir de una misma fuente energética. Estas manifestaciones de energía pueden ser térmica, eléctrica y mecánica; y se utilizan en el proceso productivo de la industria. En la figura 5 se muestra de forma esquemática el concepto de cogeneración.

Normalmente las industrias cubren sus necesidades energéticas comprando la electricidad y los combustibles a las empresas suministradoras. Este modo de satisfacer las necesidades energéticas resulta cómodo y sencillo para el industrial, sin embargo el rendimiento que puede lograrse en una central térmica convencional suele ser en muchas ocasiones elevado desde el punto de vista económico y además, poco eficiente en el uso racional de la energía.

La cogeneración no disminuye la demanda de energía final de un proceso sino la cantidad de energía primaria necesaria para satisfacerla, es por tanto, un sistema con un elevado rendimiento energético, capaz de conseguir una reducción importante en el costo de la factura energética de las industrias. Entre otros beneficios se encuentran: ahorro en el consumo de combustible, ahorro de energía eléctrica en su transformación y distribución, y una reducción en las emisiones de partículas contaminantes, etcétera.

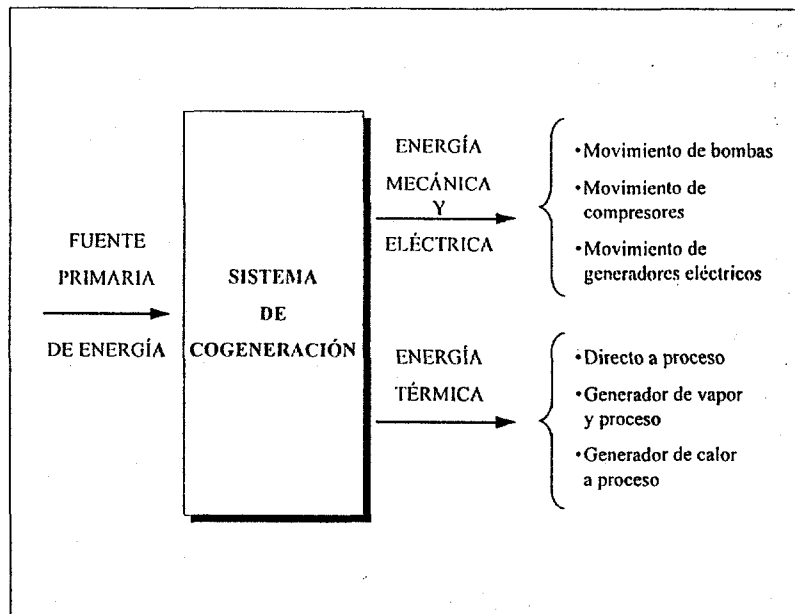


Figura 5 Esquema general de la cogeneración.

El objetivo de la cogeneración es mejorar la eficiencia de conversión de los combustibles a otras formas de energía como son el calor y la electricidad.

En una termoeléctrica convencional aproximadamente un 33 % de la energía contenida en el combustible se convierte en energía eléctrica, y el resto se pierde a través del condensador, los gases de escape, las pérdidas mecánicas y las pérdidas por transformación y transmisión entre otras (figura 6). En los sistemas de cogeneración se aprovecha el 84 % de la energía contenida en el combustible, de esta cantidad, cerca del 30 % se transforma en energía eléctrica y el 54 % en energía térmica (figura 7).

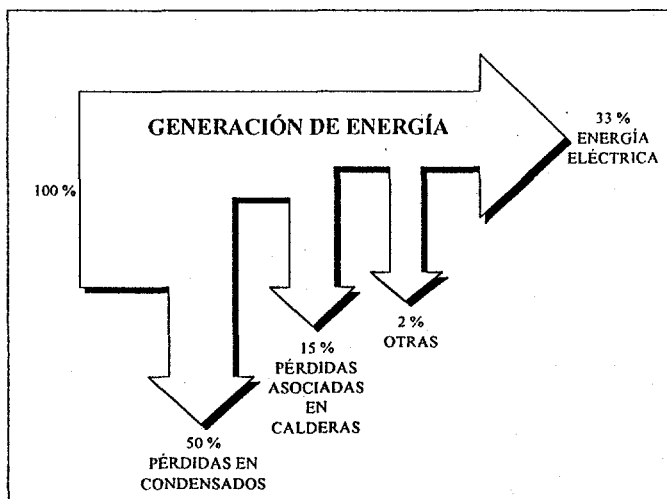


Figura 6 Sistema convencional.

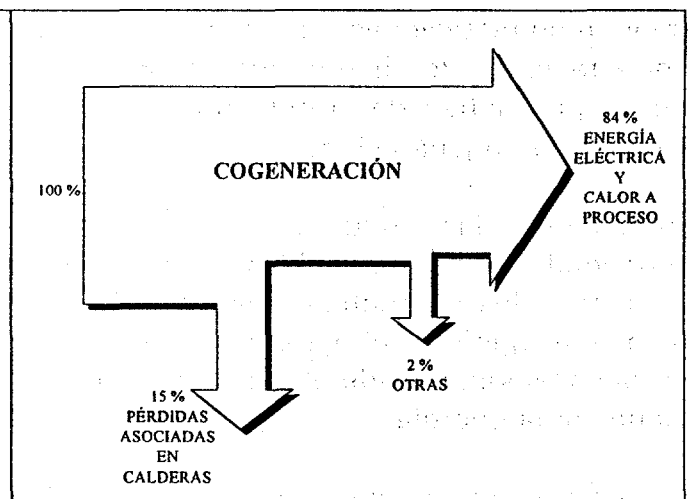


Figura 7 Sistema de cogeneración.

3. Caso de estudio: industria de papel

La aplicación industrial del Análisis *Pinch* se llevo a cabo al proceso de una industria de papel, la cual tiene como objetivo implantar un sistema de cogeneración para cubrir sus necesidades de energía térmica y eléctrica.

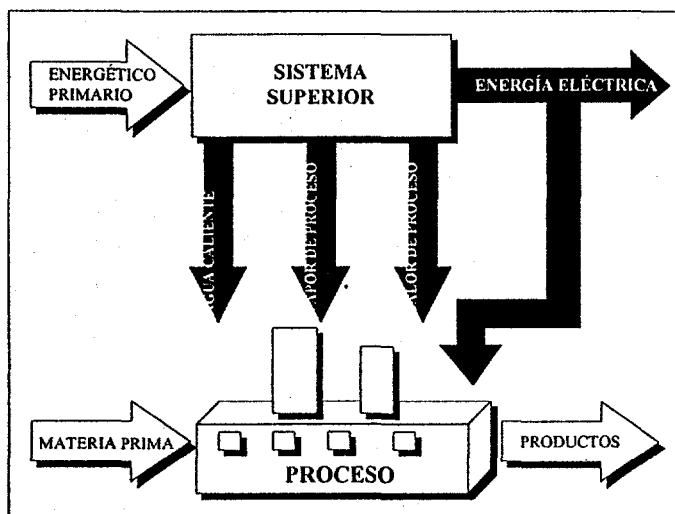


Figura 8 Sistema superior de cogeneración.

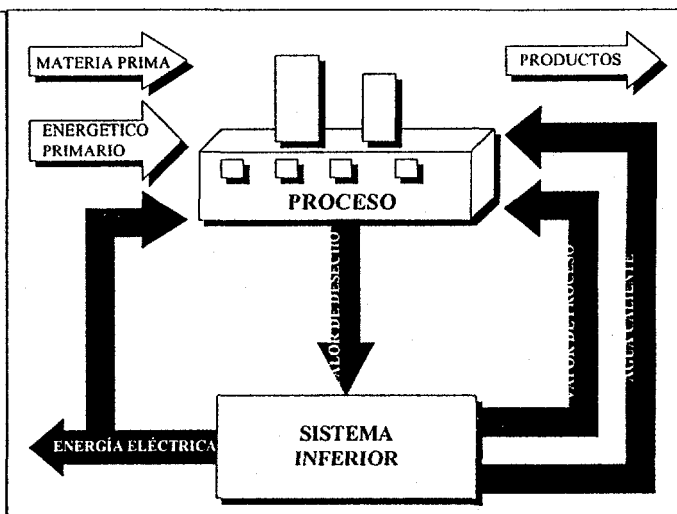


Figura 9 Sistema inferior de cogeneración.

La planta se dedica a fabricar papel bond para escritura y papel base para la manufactura de papel autocopia a partir de celulosa y papel de reciclo. Las principales áreas del proceso productivo son:

- **Selección de materias primas.** Las materias primas que se utilizan en el proceso son celulosa y papel de reciclo. La celulosa es laminada, blanqueada, que se obtiene de la transformación de la madera de encino, para la de tipo larga y de madera de pino para la de tipo de fibra corta.
- **Planta de reciclo.** En esta área se prepara una pasta con las materias primas, la pasta pasa por una serie de limpiadores para que posteriormente pase a un tratamiento de blanqueo. Después, una parte de la pasta se almacena en un tanque para su uso posterior en la máquina de papel y la otra parte se transforma en pacas para su venta o uso en la máquina de papel.
- **Máquina de papel.** En esta etapa, la pasta tiene un tratamiento de refinación, y por último pasa a la sección de secado donde se obtiene la hoja de papel con las características deseadas.
- **Sección de acabado.** En esta área se tienen cortadoras para papel carta, oficio y papel extendido. Aquí se maneja alrededor del 75 % de la producción de la máquina de papel, el restante 25 % se vende.

Los servicios con los que cuenta el proceso para que este se lleva a cabo son:

- *Aire comprimido.* El aire comprimido se utiliza para la instrumentación de medición y control del proceso, y también como auxiliar en mantenimiento y limpieza.
- *Agua limpia y recuperada.* El proceso requiere de una cantidad elevada de agua para su funcionamiento, la recirculación de agua se realiza en aquellas zonas donde no se requiere agua limpia.
- *Vapor.* El vapor se utiliza como fluido térmico en la planta para elevar la temperatura de la pasta en la planta de reciclo, evaporar el agua de la hoja en las secciones de secado, en la preparación de los aditivos y para calentar agua. El vapor que se produce en el generador de vapor es de 9.8 bar abs. saturado con una temperatura de 179 °C. La demanda de vapor que requiere el proceso es de 33 MW.
- *Aire caliente.* En las secciones de secado de la máquina de papel para retirar el agua contenida en la hoja se inyecta aire caliente.
- *Energía eléctrica.* Para la operación del proceso se requiere de energía eléctrica, de la carga eléctrica conectada el 97.6 % corresponde a motores y el 2.4 % a iluminación. La demanda eléctrica promedio es de 6.8 MW.

En el tratamiento del Análisis Pinch para el diseño de sistemas de cogeneración, el primer paso es la integración térmica del proceso, para reducir al mínimo las necesidades de servicios.

3.1 Integración térmica del proceso

Para determinar las necesidades mínimas de calentamiento y enfriamiento, el primer paso consiste en identificar las corrientes calientes y frías del proceso. Con este conjunto de corrientes se construyen las curvas compuestas, y a partir de estas se realiza la integración térmica del proceso. Como resultado de la integración se tiene que las nuevas necesidades de calor disminuyen de 33 a 23.10 MW, lo que significa una reducción del 30 % en la demanda de energía térmica.

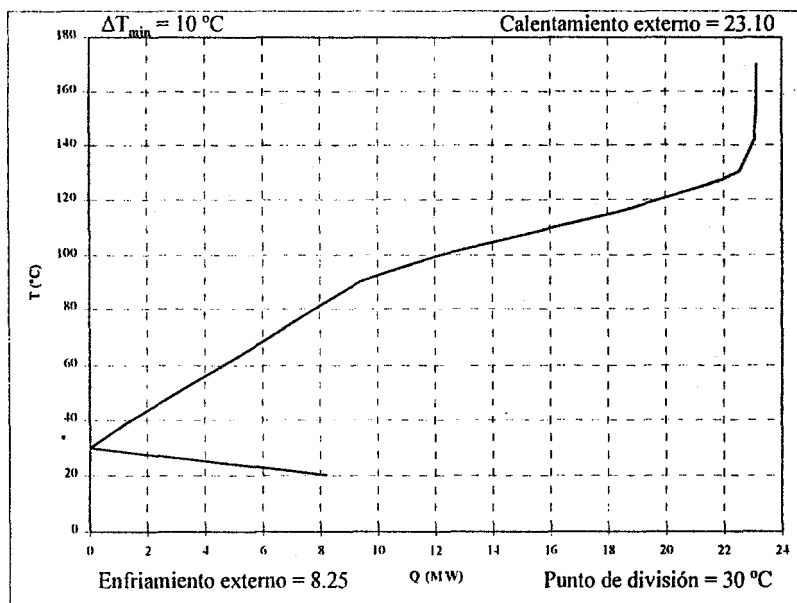


Figura 10 Perfil de la gran curva compuesta.

En la figura 10 se ilustra el perfil de la gran curva compuesta, que representa la cantidad total de energía que requiere el proceso, y los niveles de temperatura en que se necesita la energía. El perfil es una herramienta de gran utilidad en el diseño de sistemas de cogeneración.

3.2 Análisis *Pinch* y exergía

Una vez definido el perfil de necesidades mínimas de calor del proceso, se plantea el tipo de sistema de cogeneración. De acuerdo a la relación calor/potencia es como se selecciona el tipo de turbina. Para este estudio la relación Q/E es de 3.4, este valor corresponde a turbinas de gas y de vapor, la turbina que se selecciona para este análisis es la de turbina de vapor; sin olvidar que también se puede realizar para una turbina de gas.

Para el diseño del sistema de cogeneración se considerará únicamente el perfil de necesidades de calor de la gran curva compuesta y se empleará la combinación del Análisis *Pinch* y del análisis exergético, para definir los objetivos de cogeneración, combustible y emisión de contaminantes.

Con la turbina de vapor se pueden plantear dos formas de satisfacer las necesidades térmicas del proceso:

- Variar la producción de vapor y mantener constante la temperatura del vapor a la salida de la turbina (alternativa 1).
- Mantener la producción de vapor constante y variar el nivel de temperatura del vapor a la salida de la turbina (alternativa 2).

Para cada forma se realizan tres casos diferentes de los cuales se reporta el nivel de temperatura a la salida de la turbina, la producción de vapor, de consumo de combustible, el potencial de cogeneración y los costos de operación y equipos (tabla 1).

En la alternativa 1 se observa que el caso 1 es el que menor combustible consume y también el de menor costo, sin embargo el caso en donde el potencial de cogeneración es mayor es en el caso 3, esto se debe en parte a que la producción de vapor es mayor, también se observa que este caso es el de mayor costo. En las figuras 11 y 12 se representan, en forma esquemática, el proceso y los servicios generales de los casos 1 y 3 respectivamente.

El caso 4 representa el proceso sin integración.

Para la alternativa 2 se muestra que el caso 5 es el que tiene el mayor potencial de cogeneración y además es el que consume menos combustible y por lo tanto emite una menor cantidad de contaminantes, también hay que notar que es el de menor costo. En esta alternativa se observa que cuando la temperatura a la salida de la turbina va disminuyendo el costo del sistema de cogeneración también disminuye, lo que indica que: cuando el gradiente de temperatura entre el vapor que se suministra al proceso y el

proceso el costo del sistema de cogeneración también disminuye. En las figuras 13 y 14 se muestran los casos 5 y 7 respectivamente.

Casos	Temperatura ° C	Vapor de Alta MW	Vapor de Media MW	Combustible MW	Cogeneración MW	Costos de Operación \$/año	Costos de Equipos \$/año	Costo Total \$/año
Alternativa 1								
1	264.12	25.79	23.21	32.24	2.58	4.85	0.57	5.42
2	264.12	27.54	24.78	34.42	2.75	4.99	0.62	5.61
3	264.12	32.13	28.91	40.16	3.21	5.37	0.69	6.06
4	264.12	36.68	33.00	45.85	3.68	5.74	0.76	6.50
Alternativa 2								
5	250.00	27.54	24.53	34.42	3.01	4.89	0.64	5.53
6	264.12	27.54	24.78	34.42	2.75	4.99	0.62	5.61
7	274.15	27.54	24.96	34.42	2.57	5.06	0.59	5.66

Tabla 1 Caso de estudio: Servicios y comparación de costos.

4. Conclusiones

Los graficos que combinan el perfil de necesidades de calor del proceso con el factor de exergía asociado a la temperatura, muestran la interface proceso-servicios a nivel de la planta completa, permitiendonos considerar simultaneamente el potencial de cogeneración, el consumo de combustible y la generación de emisiones, para diferentes opciones de diseño del sistema de cogeneración. Los resultados en la Tabla 1 representan los objetivos de calor, combustible y cogeneración para los diferentes esquemas presentados

De la Tabla 1 se observa la importancia de la integración del proceso antes de diseñar el sistema de cogeneración, ya que la optimización térmica permitiría disminuir las necesidades de combustible en un 30 % y, además, el costo total del sistema de cogeneración se podría reducir en un 17 %, (diferencia entre el caso 4 sin integrar y el caso 1 con integración).

De la misma tabla 1 se muestra como un mejor ajuste entre el perfil de necesidades del proceso y el nivel de temperatura de los servicios nos permite mejorar el potencial de cogeneración al menor costo (casos 5 y 7).

El Análisis Pinch hace diez años introdujo el concepto de "definir objetivos de calentamiento y enfriamiento antes del diseño", para la optimización energética de procesos existentes y diseños nuevos. Con el tiempo estos objetivos se han ampliado para incluir combustible, cogeneración y emisiones asociadas al combustible, para la optimización de la interface proceso-servicios. La definición de objetivos ayudan al ingeniero a identificar los cambios mas prometedores en el proceso o en los servicios, antes del diseño.

Referencias

1. Tomio Umeda, 1983, "Computer Aided Process Synthesis", en: Computers and Chemical Engineering, 7 (4): pp. 279-309.
2. Bodo Linnhoff, 1994, "Use Pinch Analysis to Knock Down Capital Costs and Emissions," en: Chemical Engineering Progress, 90 (8): pp. 33-57.
3. Vikas R. Dhole and Bodo Linnhoff, 1993, "Total Site Targets for Fuel, Co-generation, Emissions, and Cooling," en: Computers and Chemical Engineering suppl., 17: pp. S101-S109.

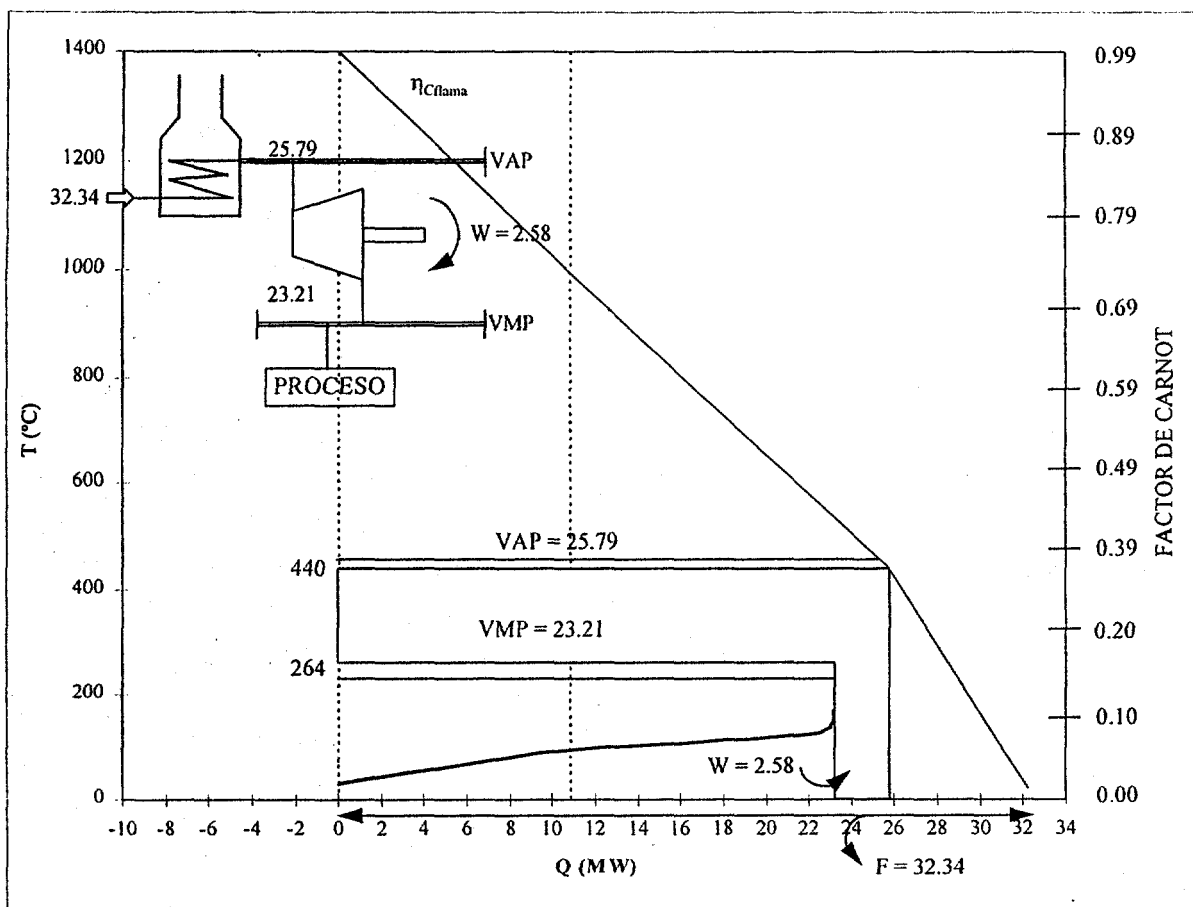


Figura 11 Caso 1.

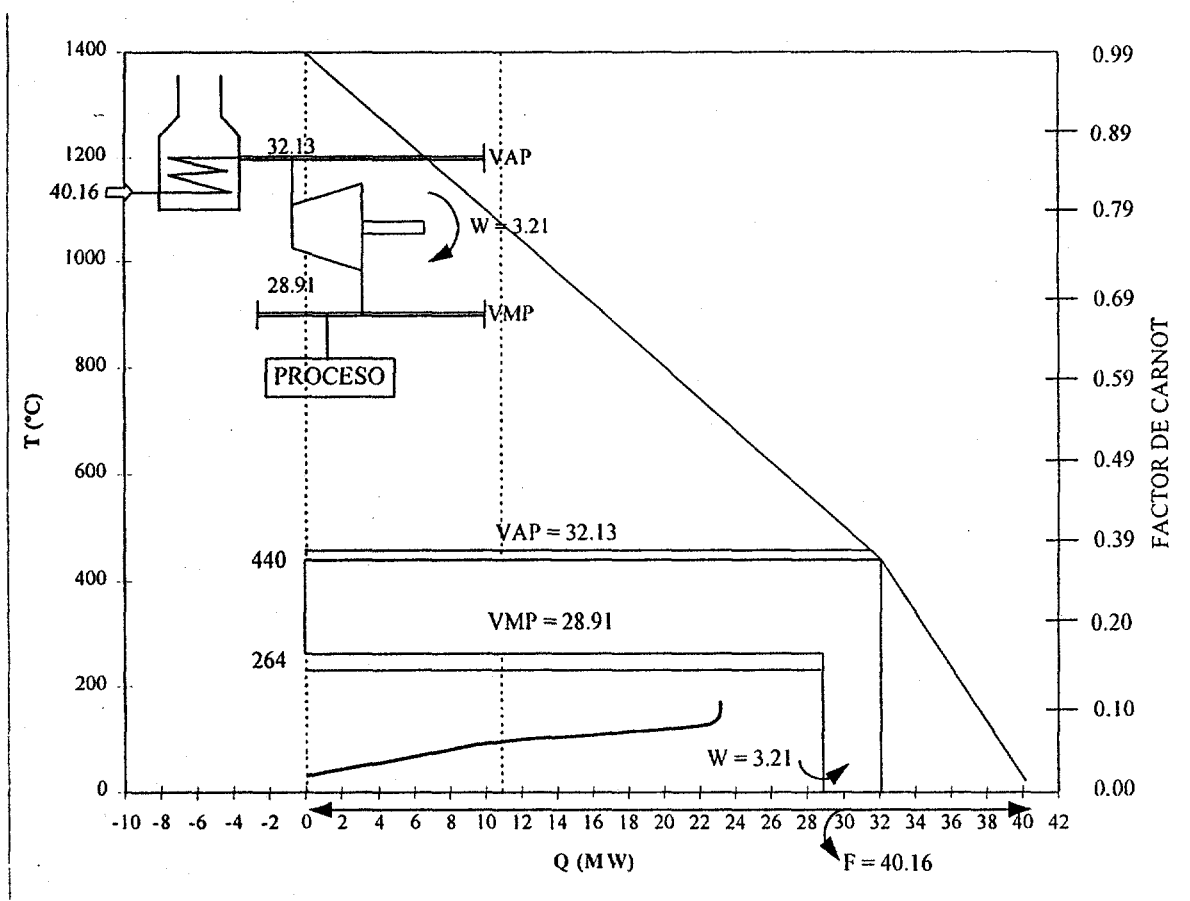


Figura 12 Caso 3.

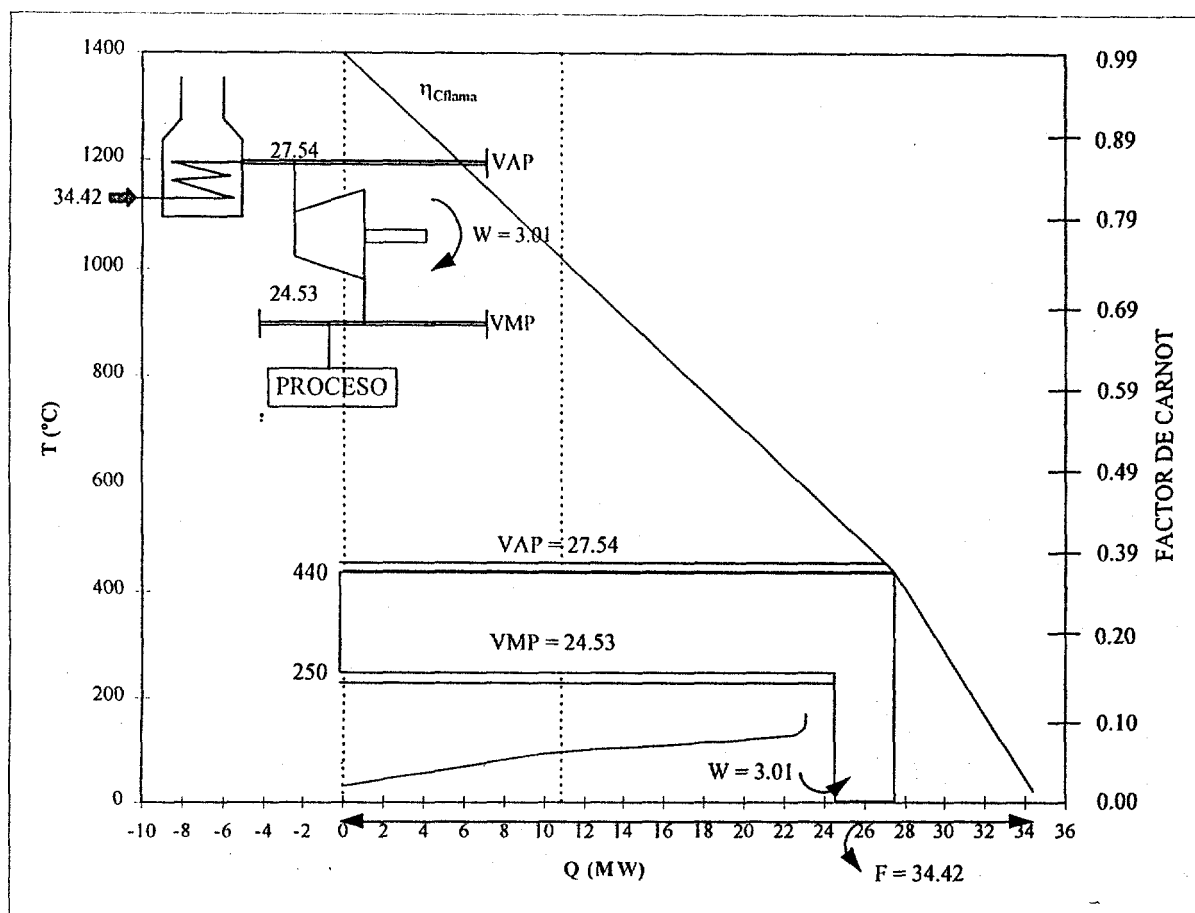


Figura 13 Caso 5.

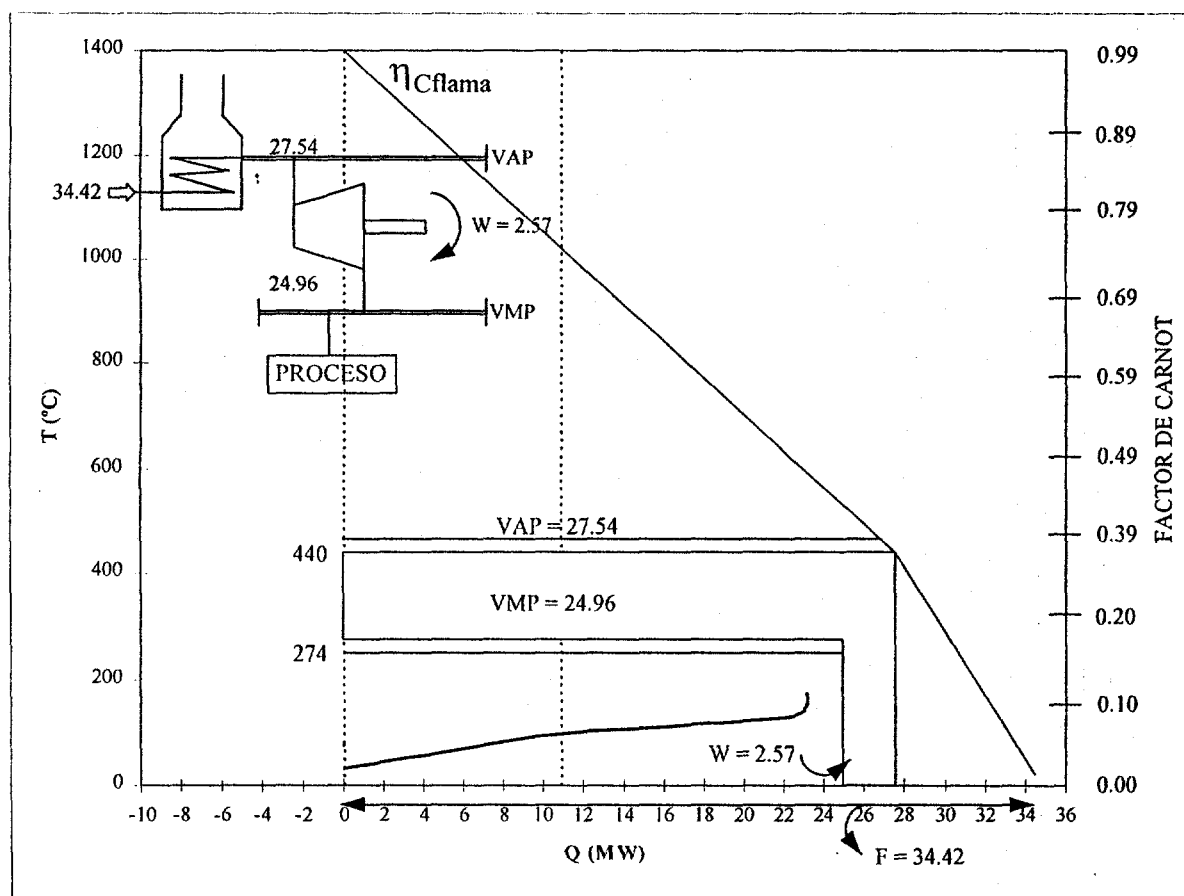


Figura 14 Caso 7.

BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO CONTEMPLA BENEFICIOS DE LA COGENERACIÓN PARA SU NUEVA PLANTA

ING. ROGELIO RUIZ ESPARZA GUTIÉRREZ
INVESTIGADOR
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS

ING. ALICIA KHOURI SOLÍS
GERENTE DE PROYECTOS
BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO

RESUMEN

El presente artículo presenta los resultados del estudio de factibilidad que se realizó en **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO** para determinar los beneficios que podría rendir un sistema de cogeneración al satisfacer las demandas energéticas de su planta actualmente en ampliación.

Los resultados mostraron que de acuerdo al modo de operación de la planta ya ampliada, los beneficios más altos se obtendrían de un sistema de cogeneración con capacidad de 1,600 kW que satisfaría parcialmente las demandas térmica y eléctrica de **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO**.

INTRODUCCIÓN

BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO es un laboratorio de reconocidos productos farmacéuticos cuya planta, ubicada en Xochimilco, D.F., produce diversos medicamentos en presentaciones líquidas y sólidas.

Actualmente ha iniciado la ampliación de su planta para incrementar su producción de formas sólidas. El Proyecto "OPINA", bajo el que se coordina el trabajo, engloba no solo los trabajos propios de construcción de una nueva instalación, sino también la innovación tecnológica, reducción de los costos de producción, así como su mejor adaptación al entorno que rodea a la planta.

En ese sentido resulta de gran interés para **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO** la instalación de un sistema de cogeneración, en la que sería pionero en el tipo de aplicación, con el beneficio de la reducción de los costos de la facturación energética y su participación en la reducción de emisiones contaminantes en el Valle de México.

El INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELÉCTRICAS estuvo a cargo de realizar el estudio de prefactibilidad de implantar un sistema de cogeneración en las instalaciones de **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO** para determinar el sistema que mejor se adapte a la operación de la planta ya ampliada, así como

evaluar la rentabilidad que ofrecería efectuar la inversión en él.

El estudio se basó en la capacidad de la planta de emergencia, previamente definida en el proyecto de ampliación, para establecer la del sistema de cogeneración.

El estudio se planteó en dos alternativas:

- Satisfacción eléctrica parcial
- Satisfacción eléctrica total

EVALUACIÓN ENERGÉTICA

El proyecto inició con las actividades de evaluación de las necesidades térmicas y eléctricas que se tendrán a futuro, sobre la base de la operación que muestra la planta actual y los datos e información del proyecto de ampliación.

La operación esperada de la planta de **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO** se basa normalmente en dos turnos (7:00 - 15:00 y 15:00 - 22:00) de lunes a viernes, en el primero se operará la planta en su totalidad, mientras que en el segundo trabajará la ampliación solamente, quedando detenida la actual.

El tercer turno en los días hábiles, normalmente no de trabajo, representa una reducción fuerte de las demandas tanto eléctrica como térmica ya que solo se mantiene la satisfacción de las necesidades de acondicionamiento ambiental y de servicios varios. Esta condición se mantiene durante los fines de semana.

Demanda térmica

La demanda térmica esperada se evaluó con base en los datos de los usuarios de agua caliente y vapor y las duraciones de servicio, de acuerdo con el proyecto de la ampliación, y con las estadísticas de operación de los equipos actualmente en operación. Dichos datos se integraron a los modos de operación dependiendo del turno de trabajo.

En la Tabla 1 se muestran las demandas de vapor y agua caliente que se espera a futuro.

TABLA 1 DEMANDA TÉRMICA EN BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO

OPERACIÓN PRIMER TURNO	
CONSUMO VAPOR (7 kg/cm ²), kg/h	5,342
CONSUMOS DE AGUA, kg/h	
PROCESO (60°C)	13,170
ACONDICIONAMIENTO AIRE (80°C)	64,957
OPERACIÓN SEGUNDO TURNO	
CONSUMO VAPOR (7 kg/cm ²), kg/h	2,702
CONSUMOS DE AGUA, kg/h	
PROCESO (60°C)	10,170
ACONDICIONAMIENTO AIRE (80°C)	64,957
OPERACIÓN TERCER TURNO Y CARGA MÍNIMA	
CONSUMO VAPOR (7 kg/cm ²), kg/h	255
CONSUMOS DE AGUA, kg/h	
ACONDICIONAMIENTO AIRE (80°C)	64,957

El consumo de combustible que se espera tener para dar el servicio será 324, 310 l / mes de gas L.P. que es el que actualmente se emplea, con un costo de \$5'410,000.00 anuales. En caso de que se decida por la instalación del esquema de cogeneración, este sería a gas natural, lo que permitiría cambiar del combustible actual a este último, por lo que el equivalente del consumo anterior sería 253,515 Nm³ / mes con un costo estimado de \$2'640,000.00.

Demanda Eléctrica

El consumo eléctrico y su comportamiento se evaluó bajo la Tarifa H-M, tanto para los meses del horario de verano como los del resto del año proyectando el modo de operación a futuro con base en las estadísticas de consumo del año anterior, las nuevas cargas que se instalaran y las mediciones que durante el mes de diciembre se realizaron con el registrador digital que instaló Luz y Fuerza del Centro, de acuerdo con el cambio de tarifa.

En la Tabla 2 se muestra, en resumen, la estimación del consumo eléctrico y su comportamiento mensual.

TABLA 2 DEMANDA ELÉCTRICA EN BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO

CONSUMO PROMEDIO MENSUAL	706,348	kWh
DEMANDA MÁXIMA FUTURA	2,522	kW
DEMANDA MEDIA (730 h / mes)	968	kW
DEMANDA MEDIA EN OPERACIÓN EFECTIVA PRIMER TURNO	2,054	kW
DEMANDA MEDIA EN OPERACIÓN EFECTIVA SEGUNDO TURNO	1,195	kW
DEMANDA MEDIA A CARGA MÍNIMA (HORAS Y DÍAS INHÁBILES)	376	kW
PERIODO DE OPERACIÓN EFECTIVA AL MES	347	hs
FACTOR DE CARGA EN OPERACIÓN EFECTIVA	0.81	
FACTOR DE CARGA (730 h / mes)	0.38	

Con base en lo anterior, se establecieron el consumo y demanda máxima en los distintos períodos, base, intermedio y punta, de acuerdo con la tarifa, así como para los meses de verano y el resto del año. Con lo anterior se determinó el costo de la energía eléctrica que se espera tener en el futuro, con los precios correspondientes a consumo y demanda facturable, corregidos por los ajustes por combustibles, promedio entre diciembre de 1996 y marzo de 1997

La facturación eléctrica esperada a futuro asciende a \$281,200.00 por mes en horario de verano y \$320,400.00 por mes del resto del año, totalizando \$3'570,000.00 al año.

ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Las alternativas de sistemas de cogeneración que se analizaron, como se mencionó anteriormente, corresponden a:

- satisfacción eléctrica parcial
- satisfacción eléctrica total

La capacidad del sistema de cogeneración se definió con base en la requerida por las necesidades mínimas de la planta en caso de sufrir una falla de la red eléctrica, es decir la capacidad de la planta de emergencia; para el sistema de cogeneración se seleccionó un motor de combustión interna de 1,600 kW de capacidad nominal, una unidad para satisfacción parcial y dos unidades para satisfacción total.

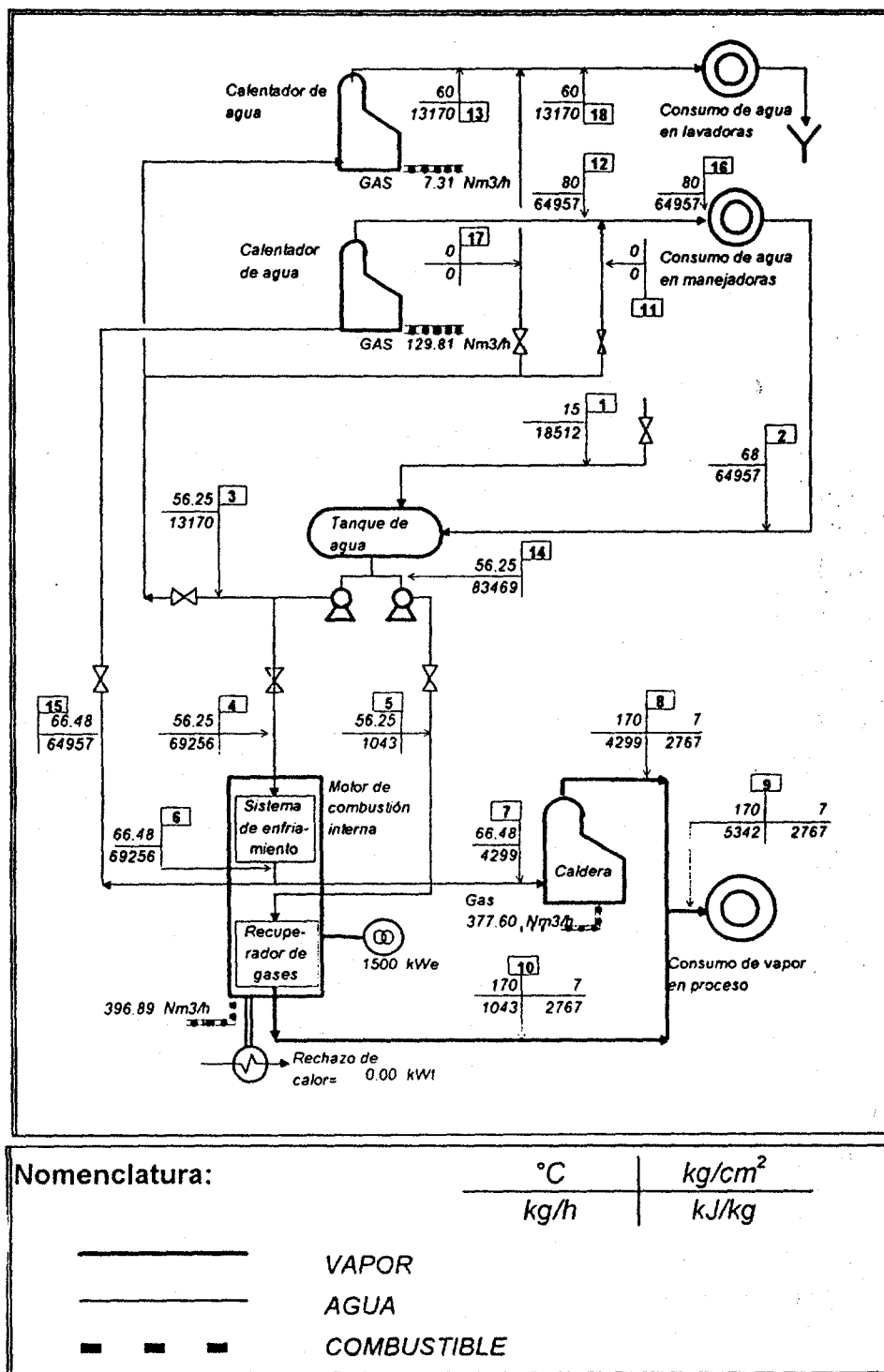
Como se mencionó anteriormente, en caso de implantar el sistema de cogeneración, el combustible al que se tendría acceso sería gas natural, que desplazaría el uso de gas L.P. que actualmente se utiliza para la generación de vapor y agua caliente, lo que representa un beneficio en el costo del mismo.

De manera preliminar, se realizaron análisis del sistema operando con diesel, sin embargo no resultaron atractivos en términos económicos.

Con base en los resultados de los análisis preliminares se decidió que las alternativas a establecer como definitivas serían utilizando motor a gas natural, del que se obtuvieron los datos de comportamiento a cargas total y parciales (100, 75, 50 y 25% de carga).

La Figura 1 muestra un esquema del arreglo propuesto para recuperación de calor del motor, el diagrama corresponde con el balance de energía realizado para la condición de operación de primer turno bajo la alternativa de satisfacción eléctrica parcial.

FIGURA 1 **DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN**
PARA BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO
(PRIMER TURNO - SATISFACCIÓN ELÉCTRICA PARCIAL)



En lo referente a la generación térmica, en ambas alternativas el sistema de cogeneración no satisface al cien por ciento las necesidades bajo ningún modo de operación por lo que el

agua caliente que entrega se introduce en calentadores de agua para que en ellos se le imparta calor para hacerla llegar a la temperatura deseada, asimismo el flujo de

vapor que se obtiene del sistema se complementa con el producido por una caldera convencional. Bajo el modo de operación de carga mínima, en el tercer turno, será necesario rechazar calor al medio ambiente lo que se traduce en un heat rate de cogeneración mayor que bajo los otros modos de operación.

Las tablas 3 y 4 contienen el resumen del comportamiento del sistema de cogeneración para ambas alternativas, con la generación eléctrica y la producción de agua caliente y vapor para los dos turnos de trabajo y el tercero da carga mínima.

TABLA 3 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN SATISFACCIÓN ELÉCTRICA PARCIAL

		TURNOS		
		1er	2do	3er
CARGA MEDIA OPERACIÓN	kW	1,500	1,195	376
AGUA CALIENTE	kg/h	69,256	66,805	64,957
TEMPERATURA DE SALIDA	°C	67	68	72
TEMPERATURA DE RETORNO	°C	56	59	68
VAPOR (7 kg/cm ²)	kg/h	1,040	854	255
HEAT RATE COGENERACIÓN	kJ/kWh	4,700	4,910	5,070
CONS. COMB./ GENERAC. ELEC.	Nm ³ /h	199	166	54

TABLA 4 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN SATISFACCIÓN ELÉCTRICA TOTAL

		TURNOS		
		1er	2do	3er
CARGA MEDIA OPERACIÓN	kW	2,054	1,195	376
AGUA CALIENTE	kg/h	68,839	66,805	64,957
TEMPERATURA DE SALIDA	°C	72	68	72
TEMPERATURA DE RETORNO	°C	56	59	68
VAPOR (7 kg/cm ²)	kg/h	1,460	854	255
HEAT RATE COGENERACIÓN	kJ/kWh	5,067	4,910	5,070
CONS. COMB./ GENERAC. ELEC.	Nm ³ /h	294	166	54

La Tabla 4 presenta los resultados de la operación de dos módulos gemelos de cogeneración durante el primer turno, para satisfacer totalmente la demanda eléctrica de BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO, la

operación en el segundo turno sería de solo un módulo quedando el otro de respaldo.

De acuerdo con el modo de operación en el primer turno, las necesidades de electricidad obligan al sistema a operar a aproximadamente

el 65% de su capacidad nominal (con la capacidad disponible para satisfacer los picos máximos), lo que da como resultado un heat rate de cogeneración por encima del obtenido en la alternativa de satisfacción parcial, en que el motor se opera cerca de su carga nominal.

Como puede notarse el comportamiento del sistema de cogeneración difiere en ambas alternativas solo en el primer turno, uno de los módulos permanece ocioso durante la mayor parte del tiempo.

BENEFICIOS NETOS DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

Los beneficios y costos adicionales del sistema de cogeneración, en base anual, se resumen en la Tabla 5. Con objeto de tomar en consideración las eventualidades de no generación por salidas del sistema, se introdujo un factor de planta en cada alternativa, la de satisfacción total muestra un factor mas alto al contar con dos unidades que se respaldarían entre sí.

TABLA 5 BENEFICIOS Y COSTOS ADICIONALES DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN

ALTERNATIVA DE SATISFACCIÓN			PARCIAL	TOTAL
a)	FACTOR DE PLANTA (hs. OPERAC. / hs. AÑO)		0.92	0.96
b)	GENERACIÓN ELÉCTRICA SIST. COGENERACIÓN	kWh/año	6,713,771	8,123,005
c)	CONSUMO ELÉCTRICO DE LFC	kWh/año	1,762,408	353,174
d)	CONSUMO COMB. MOTOR / GEN. ELEC. (GAS NAT.)	Nm ³ /año	920,875	1,154,113
e)	CONSUMO DE GAS NATURAL / GENERACIÓN TÉRMICA	Nm ³ /año	3,042,150	3,042,150
f)	REDUCCIÓN COMBUSTIBLE CALDERAS (gas L.P.)	l/año	3,891,684	3,891,684
g)	FACTURACIÓN ELÉCTRICA DE LFC	\$/año *1,000	711	160
h)	COSTO COMB. MOTOR / GEN. ELEC. (GAS NAT.)	\$/año *1,000	799	1,001
i)	COSTO GAS NATURAL GENERACIÓN TÉRMICA	\$/año *1,000	2,638	2,638
j)	AHORRO EN FACTURACIÓN ELÉCTRICA	\$/año *1,000	2,859	3,410
k)	AHORRO EN CONSUMO GAS L.P.	\$/año *1,000	5,409	5,409

Dado que la alternativa de satisfacción parcial implica el consumo de electricidad de la red pública, se determinó el costo del mismo sobre la misma base de la proyección a futuro que se hizo para la evaluación de la demanda eléctrica, con la reducción debida a la generación interna.

Como puede observarse en la Tabla 5, el consumo de combustible asignado a la generación térmica (e) es el mismo para ambas alternativas; no quiere decir que ese será el consumo en calentadores y calderas sino que,

sobre esa base se puede ver claramente cual es el consumo aplicable a la generación eléctrica interna (d), o bien el costo adicional en el que se incurre por concepto de combustible (h) para lograr el ahorro en la facturación eléctrica (j).

Puede notarse también que uno de los beneficios importantes resulta ser precisamente el cambio de combustible para generación térmica, de gas L.P. a gas natural (k-i).

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Bases de evaluación económica

Las bases de evaluación económica acordadas con BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO se muestran en la Tabla 6.

TABLA 6 BASES Y CONSIDERACIONES PARA EVALUACIÓN ECONÓMICA

VIDA ECONÓMICA DEL PROYECTO	25	años
TASA DE DESCUENTO	10	%
PARIDAD DEL PESO	8.00	\$/U.S.Dlls.
PERIODO DE OPERACIÓN DEL SISTEMA	8,030	h/año
COSTO MANTENIMIENTO	0.12	\$/kWh

Inversión inicial

Una vez determinados los beneficios netos del sistema de cogeneración, en sus dos alternativas, se evaluó el costo de inversión de los equipos involucrados mediante la cotización presupuestal de los mismos.

El proyecto de ampliación había contemplado la adquisición de una planta de emergencia de 1,500 kW, con un presupuesto de \$1'600,000.00, de tal manera que al costo de los sistemas de cogeneración se le restó el de la planta de emergencia.

Los costos varios, instalación, obra civil, ingeniería, transporte, seguros, etc. se determinaron con base en el costo de inversión inicial del equipo, como un porcentaje del mismo y conforme a la experiencia del proyecto de ampliación de la instalación de BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO.

La Tabla 7 contiene los costos de inversión estimados para ambas alternativas.

TABLA 7 INVERSIÓN INICIAL EN EL SISTEMA DE COGENERACIÓN

ALTERNATIVA DE SATISFACCIÓN ELÉCTRICA	PARCIAL	TOTAL
MILES DE \$ M.N.		
COSTO EQUIPO PRINCIPAL		
MOTOR A GAS NATURAL CON RECUPERACIÓN DE CALOR	7,600.00	16,800.00
GASODUCTO Y CASETA	1,870.00	1,870.00
COSTOS VARIOS		
INSTALACIÓN	920.00	1,380.00
OBRA CIVIL	1,240.00	1,288.00
INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN	600.00	920.00
TRANSPORTE, SEGUROS, IMPUESTOS, ETC.	2,024.00	4,048.00
TOTAL	14,254.00	26,306.00

Resultados de la evaluación económica

Los parámetros de evaluación económica utilizados para medir la rentabilidad de las alternativas son:

- Valor presente neto (VPN)
- Tasa interna de retorno (TIR)
- Relación beneficio / costo (B/C)
- Período de recuperación (PR)

La Tabla 8 presenta los resultados del análisis económico.

**TABLA 8 RESULTADOS DE LA
EVALUACIÓN ECONÓMICA
(ANTES DE IMPUESTOS)**

PARÁMETRO ECONÓMICO	ALTERNATIVA DE SATISFACCIÓN ELÉCTRICA	
	PARCIAL	TOTAL
VPN, Miles \$ M.N.	22,291.00	11,870.00
TIR, %	28.19	15.56
B / C	2.56	1.45
PR, años	4.6	10.3

Los resultados del análisis económico muestran que el sistema de cogeneración para satisfacción eléctrica parcial es mas rentable que la alternativa de satisfacción total, debido principalmente al modo de operación al que estaría sometido el sistema en esta última, ya que la operación de las dos unidades sería sólo durante un turno en los días hábiles.

En adición, con fines ilustrativos, se efectuó el análisis económico después de impuestos, asumiendo 34% de tasa del impuesto sobre la renta, 10% de reparto de utilidades y depreciación de la inversión a diez años.

Asimismo, se consideró un financiamiento por el 80 % de la inversión total a pagarse en un período de 5 años a una tasa de interés real de 11.4 %.

Los resultados del análisis después de impuestos se muestran en la Tabla 9.

Se corrió un análisis de sensibilidad de la evaluación económica para observar el efecto de la inversión inicial en los parámetros económicos.

**TABLA 9 RESULTADOS DE LA
EVALUACIÓN ECONÓMICA
(DESPUÉS DE IMPUESTOS)**

PARÁMETRO ECONÓMICO	ALTERNATIVA DE SATISFACCIÓN ELÉCTRICA	
	PARCIAL	TOTAL
VPN, Miles \$ M.N.	9,985.00	2,360.00
TIR, %	19.45	11.34
B / C	1.7	1.09
PR, años	7	17.3

El análisis mostró que la alternativa de satisfacción parcial se ve poco afectada por variaciones de la inversión en equipo principal entre el 75 y 125% del utilizado originalmente, dando períodos de recuperación entre 5.8 y 8.2 años y tasa interna de retorno entre 22.5% y 16.5%, respectivamente

Por último se introdujo el efecto que tendrían diferentes factores de escalación anual del precio del gas L.P., del gas natural y de la electricidad, los factores que se manejan fueron entre 0.5 y 3% de escalación anual.

Considerando solo el efecto del precio del gas natural, manteniendo sin escalación los de los otros energéticos, una escalación del 3% daría como resultado un período de recuperación de 7.3 años con una tasa interna de retorno de 18%, como el efecto mas adverso en el análisis. La escalación en el precio de los otros energéticos resulta en un efecto favorable al proyecto.

CONCLUSIONES

- Los resultados de los análisis de comportamiento del sistema de cogeneración muestran, desde el punto de vista técnico, que es posible acoplar un sistema de cogeneración basado en motor reciprocante y recuperación de calor para producción de agua caliente y vapor a la operación de una empresa como **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO**, con necesidades energéticas variables entre sus turnos de trabajo.
- Para el caso de **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO**, el proyecto de cogeneración presenta mayor rentabilidad en la alternativa de satisfacción eléctrica parcial contra la de satisfacción total.

En todo caso, si el modo de operación cambia en el futuro, atendiendo a una necesidad de incrementar la producción, aumentando por lo tanto las demandas energéticas, es factible que se pueda llegar a la satisfacción eléctrica total, que se lograría con la adquisición del siguiente módulo de cogeneración, gemelo con el que se instale si la decisión es positiva para la primer alternativa.

- Los resultados obtenidos han permitido definir el alcance del proyecto en términos de la capacidad y tipo del sistema de cogeneración que resulta rentable a **BOEHRINGER INGELHEIM PROMECO**.

Con la cuantificación de los beneficios energéticos y económicos derivados de su implantación se cuenta con los elementos para decidir llevar a cabo la ingeniería de detalle y el proyecto de instalación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cogeneration Planner's Handbook. J. A. Orlando. The Fairmont Press, Inc. 1991.
2. Diario Oficial del 15 de noviembre de 1996. Acuerdo que autoriza el ajuste y modificación de las tarifas para suministro y venta de energía eléctrica.
3. Factores de ajuste por las variaciones en los precios de los combustibles y la inflación nacional para las tarifas de alta, media y baja tensión para los meses de enero, febrero y marzo de 1997. CFE
4. Evaluación de comportamiento de motor de combustión interna para gas natural W12V25SG 900 rpm. WÄRTSILÄ DIESEL de México.
5. Especificaciones de motores JENBACHER. Maquinaria IGSA, S.A. de C.V.
6. Catálogos de motores ULSTEIN, CATERPILLAR y MAN.
7. Cotización de recuperadores de calor. Vaporphase Engineering Controls, Inc.
8. Proyecciones sobre la economía de México. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Consulta en Internet.
9. Estudio de prefactibilidad de cogeneración en PROMECO. Instituto de Investigaciones Eléctricas. IIE / 44 / 10488 / I006/ F. URIM 44317. Ruiz Esparza G., R., Figueroa, I. L. Enero 1997.
10. Estudio de incrementar la capacidad de cogeneración en PROMECO. Instituto de Investigaciones Eléctricas. IIE / 44 / 10488 / I007/ P. URIM 44324. Ruiz Esparza G., R., Figueroa, I. L. Marzo 1997.

DESARROLLO E IMPLANTACION DE UNA RED PILOTO DE MONITOREO CONTINUO DE ENERGIA ELECTRICA

Augusto Sánchez Cifuentes
Alejandro Cortés Eslava
Programa Universitario de Energía - Facultad de Ingeniería, UNAM
Apartado postal 70-172, C.P. 04510, México, D.F.
Tel. 622-8533, 550-0931, Fax. 622-8532
Email: ace@servidor.unam.mx - augsan@servidor.unam.mx

RESUMEN

El Programa Universitario de Energía (PUE) de la Universidad Nacional Autónoma de México, a través del proyecto "Control Ecológico del Campus Universitario", tiene como objetivo instrumentar políticas de uso racional de la energía en las instalaciones universitarias.

El PUE ha realizado una serie de actividades encaminadas a establecer un programa integral de administración de la energía eléctrica en la UNAM.

El programa mencionado debe considerar medidas de ahorro de energía (MAE) de tipo general y promover una serie de medidas particulares, para ser adecuadas e implantadas por cada una de las dependencias. El éxito en el establecimiento de una serie de MAE, obliga a cuantificar sus efectos, registrarse y analizarse para poder mejorarse, ya que se debe tener presente que aquello que no pueda medirse no se puede mejorar.

A este fin, el PUE está desarrollando una red piloto de monitoreo continuo de energía eléctrica con acceso local y remoto, y de un sistema automatizado de medición. Se experimentan dos esquemas de monitoreo; uno con equipo de medición comercial y otro con equipo de medición de tecnología propia. El presente trabajo describe las características de los esquemas de monitoreo propuestos.

OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es la auditoría energética continua de las instalaciones universitarias, eficientizando los consumos de energía de acuerdo a políticas particulares y globales. Se pueden distinguir los siguientes *objetivos particulares*:

- a) Caracterización local de los consumos de energía eléctrica.- Obtener de forma continua datos de parámetros eléctricos de las subestaciones derivadas de Ciudad Universitaria (CU), caracterizando, en diferentes periodos, los consumos de las dependencias. Estableciendo y evaluando, de manera local, medidas correctivas de eficientización de la energía eléctrica.
- b) Caracterización general de los consumos de energía eléctrica.- Evaluar, analizar y correlacionar de forma global los consumos de energía de todas las dependencias de C.U.; evaluando globalmente el impacto de las medidas de eficientización de la energía eléctrica. Esto implica el establecimiento de un acopio centralizado de la información.

A partir de los datos generados se pueden establecer indicadores o índices formales de medición (de referencia) para cada una de las dependencias o inmuebles y su comparación tanto interna como externa para guiar la mejora. Lo anterior permite dar un seguimiento efectivo a medidas de uso eficiente de la energía eléctrica en las Dependencias Universitarias.

1. INTRODUCCION

Las instalaciones de la UNAM se encuentran distribuidas en diferentes zonas geográficas del País. Sin embargo, se consideró, dentro de las actividades del seguimiento de las MAE, implantar la red piloto en las instalaciones de C.U ya que la estructura del consumo muestra, de acuerdo a la facturación, que C.U. representa el 72% del total (de las instalaciones ubicadas en el Valle de México).

1.1. SISTEMA ELECTRICO EN CIUDAD UNIVERSITARIA

La Ciudad Universitaria es alimentada por tres acometidas en tres subestaciones generales las cuales distribuyen la energía de la siguiente forma general:

Subestación 1 (Ciudad Universitaria).- Es una subestación general con dos bancos de distribución de 7.5 MVA de capacidad nominal cada uno, con una relación de 23,000 a 6,000, que es el potencial en que se distribuye internamente a las instalaciones. Esta subestación alimenta a toda la zona conocida como escuelas y

anexos, representando el trazo original de CU y la zona denominada de anexos, por medio de 82 subestaciones derivadas que suministran la energía adecuada en las diferentes dependencias.

Subestación 2 (DGO).- Tiene dos bancos de distribución de 6.5 MVA de capacidad nominal cada uno, con relación 23/6000. Alimenta la zona de institutos de investigación por medio de 26 subestaciones derivadas.

Subestación 3 (Zona Cultural).- Es propiamente una estación de medición ya que distribuye internamente a 23 kV en el circuito denominado Zona Cultural por medio de 11 subestaciones derivadas. Las tres acometidas están contratadas en tarifa HM.

A partir de estas subestaciones generales se distribuye internamente a subestaciones derivadas, ubicadas en cada dependencia. Se consideró muy conveniente conocer el patrón consumo por separado de cada una, lo que permite identificar y controlar mejor el uso de la energía eléctrica. Cabe señalar que la fuente principal de energía es la eléctrica.

1.2. ESCENARIO ACTUAL DEL SEGUIMIENTO DE LAS MAE EN LA UNAM

El PUE ha realizado diagnósticos energéticos en todas las instalaciones de la UNAM ubicadas en sus diferentes campus del Valle de México y de la zona de Cuernavaca, Morelos. Las instalaciones de la UNAM lo conforman 756 edificios, constituidos éstos por 4,070 aulas, 11,844 cubículos y oficinas, 1,424 laboratorios, 403 talleres y 11,555 servicios. De la información recabada se obtuvo que la iluminación representa en forma global el 29% de la carga conectada y los sistemas de fuerza el 71%; siendo la carga por iluminación la de mayor horas de uso. El PUE ha monitoreado en total 353 subestaciones y tableros; 160 subestaciones y 66 tableros por primera vez y 115 mediciones de seguimiento de subestaciones y 66 tableros.

Es conveniente señalar que las actividades de una dependencia a otra varían ampliamente, por lo que las MAE recomendadas a una dependencia no pueden tener éxito en otra. Sin embargo, se han elaborado una serie de propuestas generales de tipo administrativo, para que cada una de las dependencias las consideren y decidan cuáles pueden aplicar.

Para evaluar y dar seguimiento a las MAE se realiza principalmente dos actividades. Una actividad es la medición periódica (en algunos casos transcurren varios meses entre una y otra) de las principales variables eléctricas, en la acometida principal, durante una semana de operación normal de la dependencia bajo estudio, considerando que es representativo del comportamiento energético de las instalaciones.

Se realiza un seguimiento de la facturación para evaluar los resultados obtenidos. Nuevamente, hay un lapso considerable en la entrega de resultados.

De acuerdo a lo anterior, puede señalarse las siguientes desventajas del seguimiento actual de las MAE:

- El seguimiento que se le da a las MAE no es dinámico; transcurre un período largo para conocer los resultados.
- Hay un grado de incertidumbre en la evaluación de los resultados de las MAE por realizar mediciones no continuas de las variables eléctricas.
- Es difícil determinar con cierta exactitud qué medidas son más efectivas que otras.
- Se considera que no hay cambio sustancial en la carga conectada. Lo cual, en la mayoría de los casos, tiene una variación considerable.
- Los resultados de los análisis involucran varios supuestos y no se pueden dar recomendaciones particulares. En general es difícil definir puntualmente las áreas que merecen mayor atención.

A pesar de las anteriores desventajas, se han logrado ahorros globales de energía eléctrica, cuantificados a partir de la facturación.

Es importante destacar, que en las Dependencias no existe un departamento específico de energía. Sin embargo, en varias de ellas, se han establecido comités de trabajo aprovechando la estructura operativa de la Dependencia, además se cuenta con el apoyo de la Dirección de la misma. Muchos de los comités de energía no cuentan con personas especializadas en el área y en algunos casos les es difícil interpretar los resultados de los seguimientos de las MAE, así como de llevar a cabo las medidas propuestas.

2. PROPUESTA

Teniendo presente las limitaciones del seguimiento actual de las MAE, el Programa Universitario de Energía inició las siguientes actividades tendientes a superar dichas limitaciones, estas son:

- Implantación de una red piloto de monitoreo continuo, con acceso local y central (remoto). Se entiende por acceso local cuando se realiza el monitoreo en las propias instalaciones de la dependencia; si el acceso se

efectua desde el exterior de la dependencia se dice que es remoto. Para nosotros, el acceso remoto lo realiza el concentrador de datos o equipo de monitoreo central.

- Desarrollo de software de procesamiento de datos y de presentación homogénea de reportes de consumos y demandas de energía eléctrica (denominado Software de Monitoreo Automatizado de Subestaciones, SMAS)
- Desarrollo de una base de datos dinámica de la carga conectada.
- Análisis y establecimiento de índices energéticos.

2.1 AVANCE DE LA RED PILOTO DE MONITOREO CONTINUO

A continuación se describen los esquemas de monitoreo que se han experimentado. Cabe señalar que ambos cumplen con los objetivos planteados, sin embargo, hay notables diferencias en la forma en que lo realizan, lo cual se ve reflejado en el requerimiento de equipo y de software.

2.1.1. ESQUEMA DE MONITOREO CON EQUIPO COMERCIAL

El desarrollo de este esquema (al que se le designará como E-1) se encuentra ligado al aprovechamiento del equipo de medición electrónico ya existente, instalado en las siguientes dependencias:

Anexo de la Facultad de Derecho (subestación con capacidad nominal de 225 kVA)

Dirección General de Publicaciones (subestación con capacidad nominal de 500 kVA)

Centro de Lenguas Extranjeras (subestación con capacidad nominal de 225 kVA)

El esquema de monitoreo (ver figura 1) esta formado por el equipo localizado en la dependencia y por el concentrador de datos remoto, constituido de la siguiente forma:

- a) Equipo ubicado en la Dependencia (monitoreo local): Formado por el equipo electrónico de medición PowerLogic (montado en la subestación), cable de comunicaciones RS-485, convertidor RS 485/232, computadora tipo PC, software comercial de comunicaciones PC-equipos de medición (PSW 101 versión 4) software SMAS local, modem de 14.4 Kbps y línea telefónica.
- b) Equipo concentrador de datos (monitoreo central, ubicado en las instalaciones del PUE): Formado por una línea telefónica, modem de 14.4 Kbps, computadora tipo PC, software comercial de control remoto y software SMAS central.

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEDICION

El equipo de medición es un monitor de circuitos PowerLogic modelo CM-2250 programable. El equipo de medición posee varias características de medición y de operación, sin embargo se mencionaran aquellas que se ajustan a la metodología del PUE.

Registro de variables eléctricas

El equipo puede programarse para que registre las siguientes variables eléctricas:

Variable eléctrica

Registro PowerLogic

-Voltaje

1. Voltaje entre fase a neutro:

Van, Vbn, Vcn.

2. Voltaje promedio de las tres fases:

VL-N 3.

-Demanda de corriente

3. Demanda de corriente promedio de las tres fases: I3

4. Demanda de corriente de cada fase: Ia, Ib, Ic

-Demanda de potencia

5. Demanda de potencia promedio de las tres fases: P3

-Energía

6. Energía instantánea:

E real IN, E real OUT*, E sign/abs*

-Frecuencia

7. Frecuencia:

Fr.

-Factor de potencia

8. Factor de potencia por fase:

PFa, PFb, Pfc.

9. Factor de potencia promedio de las tres fases:

PF 3.

10. Factor de potencia total de la última demanda:

PF total*.

En total representan 18 registros, de los cuales 15 son de interés. Los registros marcados con asteriscos no se utilizan, pero los registra el Medidor, aun cuando no sea un parámetro de interés.

Intervalos de memorización y capacidad de almacenamiento del Medidor

Se especifican, en general, intervalos de memorización de 60, 120 y 240 minutos; siendo el de 60 minutos el más utilizado. Con éste último y con el registro de las variables eléctricas listadas anteriormente, el equipo de

RED PILOTO DE MONITOREO CONTINUO DE ENERGIA ELECTRICA

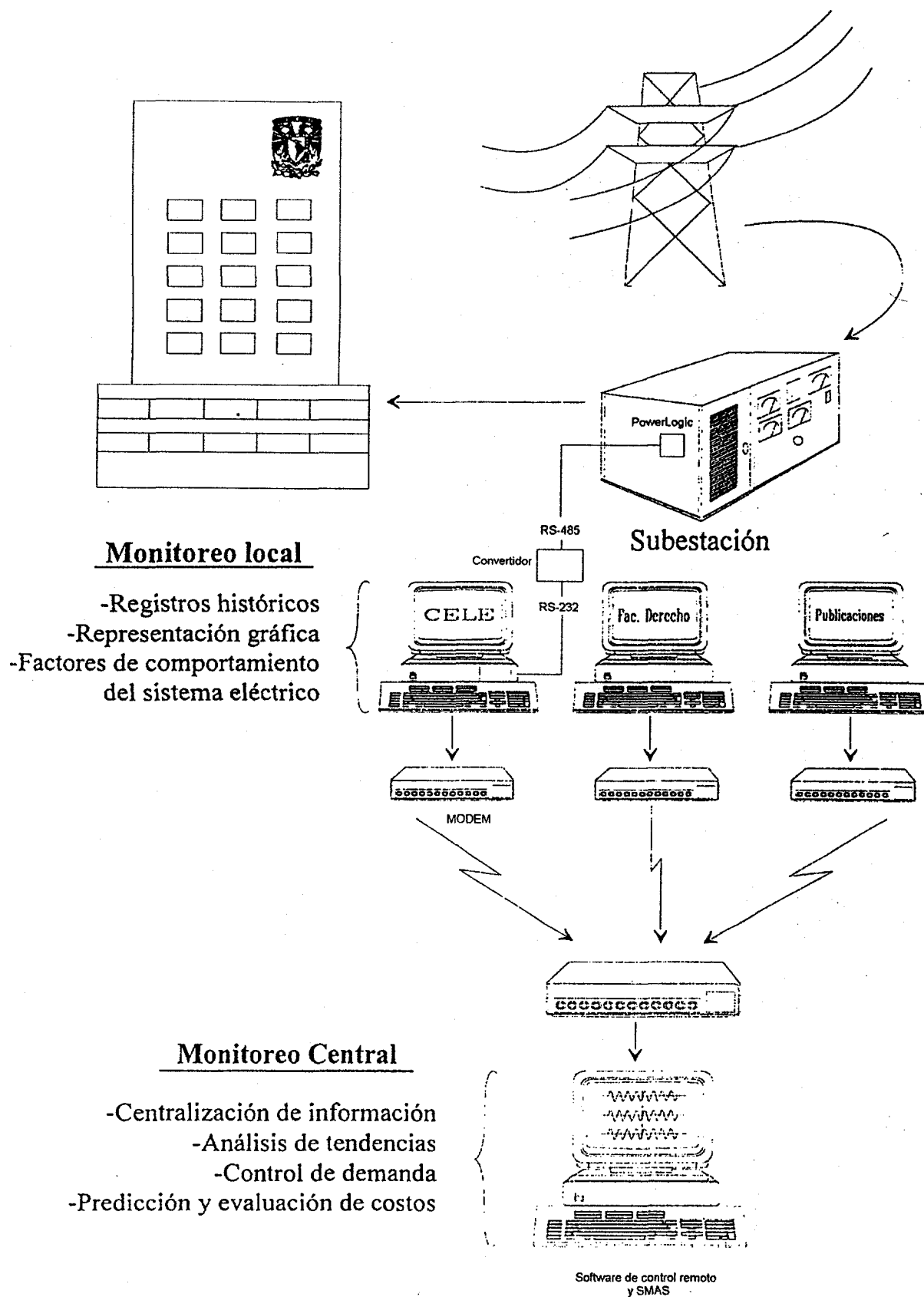


Figura 1

medición tiene capacidad para conservar en su memoria 170 horas de medición, equivalentes a 7 días continuos de medición.

Comunicación con el Medidor

Se puede acceder al medidor a través de un puerto de comunicaciones RS-485 (ópticamente aislado) para una comunicación permanente (monitoreo local) o por medio de un puerto de comunicación óptico, empleando como accesorio una interface de comunicación óptica con salida RS-232, para monitoreos momentáneos en la subestación.

Este esquema presenta las siguientes desventajas:

- Software comercial de propósito general y costoso.
- Es difícil la creación de software de aplicación específica.
- Algunas variables eléctricas son instantáneas y no promedias en el tiempo de memorización definido.

2.1.2. ESQUEMA DE MONITOREO CON EQUIPO DE TECNOLOGIA PROPIA

A raíz de la metodología que ha desarrollado el PUE, se consideró conveniente desarrollar un equipo de medición que se ajustase a nuestras necesidades y enfocado principalmente al monitoreo centralizado de las subestaciones.

Los requerimientos principales exigidos y con los que cuenta el equipo son:

- Amplia autonomía (hasta un mes de memorización de datos en el mismo equipo).
- Acceso remoto directo al equipo (acceso a las funciones de medición, almacenamiento y control del equipo).
- Medición de variables eléctricas, con valores promediados a diferentes tiempos de integración; desde dos minutos hasta un día.
- Medición de parámetros ya estandarizados para el seguimiento de las MAE:
 - Voltaje eficaz "RMC" promedio por fase y promedio de las tres fases.
 - Corriente eficaz "RMC" promedio por fase y sumatoria promedio de las tres fases.
 - Potencia real promedio por fase y sumatoria promedio de las tres fases
 - Energía acumulada por fase y por las tres fases
 - Frecuencia promedio de las tres fases.
 - Factor de potencia por fase y promedio.
 - Consumo de energía horaria.
 - Potencia disponible.

Generación de archivos con formato de tabla compatible con hojas de cálculo y estandarizado para su posterior procesamiento mediante un software de aplicación específica, en nuestro caso el software SMAS.

Determinar la Calidad de la energía suministrada a través de la forma de onda del voltaje y corriente para determinar el espectro de frecuencia, distorsión armónica total y los factores de amplitud y forma. La distorsión armónica es un parámetro que ha cobrado importancia debido al fuerte incremento en la instalación de equipo de estado sólido que ha tenido la UNAM en los últimos años.

El equipo fue diseñado y fabricado en la sección de instrumentación del Instituto de Ingeniería de la UNAM según convenio con el PUE, que patrocinó el desarrollo del equipo. El equipo recibe el nombre de Analizador de Redes Eléctricas Trifásicas y actualmente se encuentran instalados en las siguientes Dependencias:

- Facultad de Ingeniería, edificio principal (subestación con capacidad nominal de 500 kVA)
- Torre de la Rectoría (subestación con capacidad nominal de 500 kVA)
- Instituto de Ingeniería (subestación con capacidad nominal de 612.5 kVA)

En la figura 2 se muestra el diagrama de bloques del equipo desarrollado. A este esquema de monitoreo se identificará como E-2.

Una ventaja importante del equipo desarrollado es su crecimiento en software de aplicación, puesto que se conocen sus características tal como los protocolos de comunicación y códigos fuente.

CARACTERISTICAS DEL EQUIPO DE MEDICION

Las etapas y funciones principales del sistema se pueden estructurar en tres partes:

a) Analizador de redes eléctricas trifásico autónomo

Éste permite realizar la medición y almacenamiento del perfil de consumo de la energía eléctrica con tiempo de integración programable y autonomía por periodos de un mes o más. Está basado en una microcomputadora de propósito general, la cual controla tres tarjetas para la medición analógica de las variables eléctricas básicas por fase, las cuales son: voltaje y corriente eficaz, potencia real, energía y frecuencia, a partir de las cuales se calculan variables complementarias como son: potencia aparente, factor de

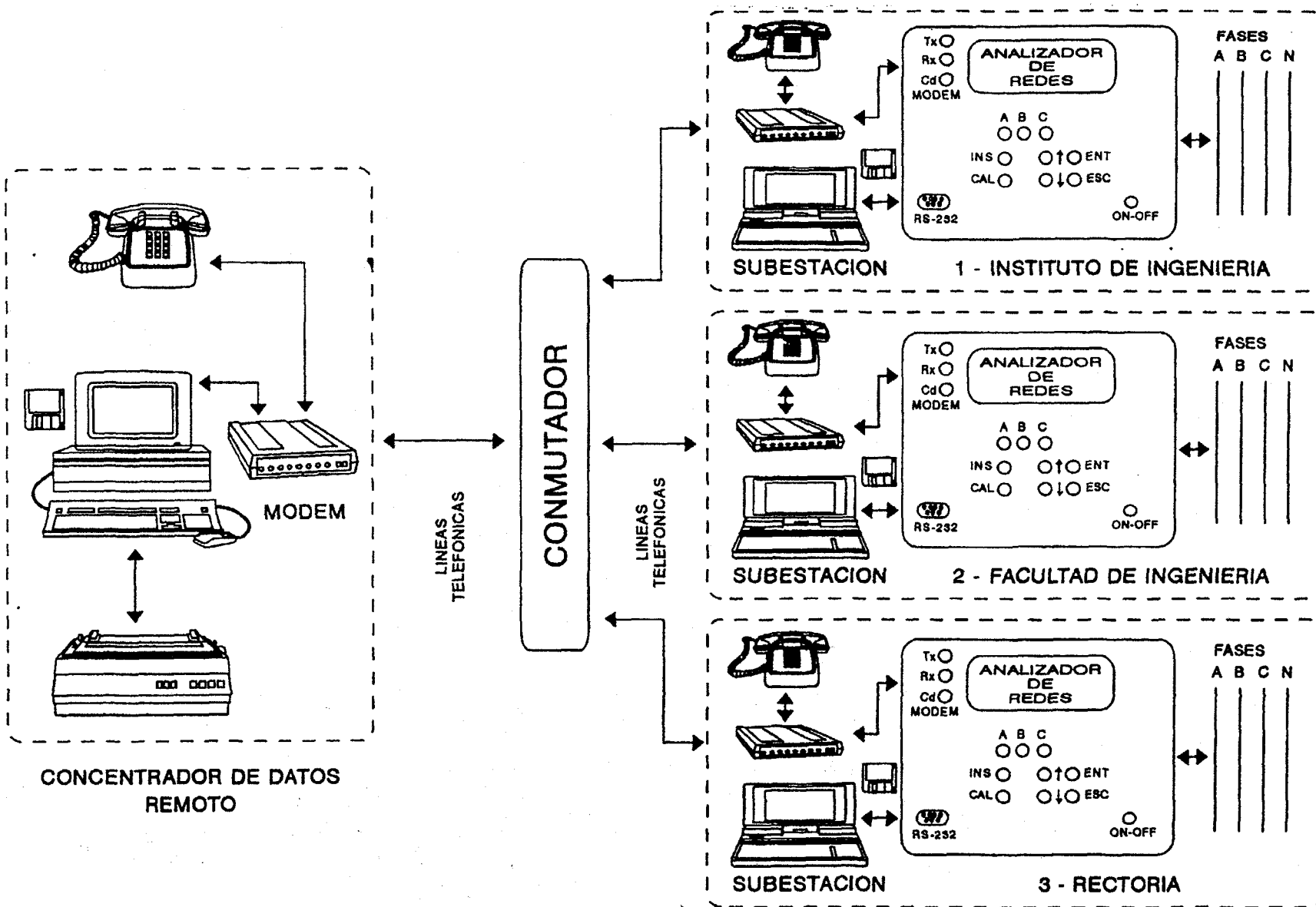


FIGURA II. Diagrama general de la Micro Red para el Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia.

potencia y energía disponible. Se cuenta con un teclado y pantalla de cristal líquido para la visualización de valores instantáneos, así como las interfaces seriales para establecer la comunicación local y remota vía telefónica y modem.

b) Interfaces seriales de comunicación RS-232 para enlace local y remoto

Permiten al analizador de redes eléctricas la comunicación con el concentrador de datos. Tiene integrado dos interfaces seriales asíncronas programables con estándar RS-232 controladas por la microcomputadora. La velocidad de funcionamiento es de 9600 bps. Se tienen dos enlaces: local y remoto, el primero es para longitudes de hasta 25m., la velocidad puede ser hasta de 19.2 kbps y la conexión es directa entre los puertos seriales, mientras el segundo es para distancias grandes.

c) Programa de enlace local y remoto

Mediante éste, el usuario tiene la comunicación con el analizador de redes local o remotamente. Se basa en una computadora tipo PC; el programa se elaboró en lenguaje gráfico de alto nivel, llamado "G", desarrollado en la plataforma de Labview que funciona sobre ambiente Windows. Las funciones que se pueden realizar son: monitoreo de parámetros de operación (se despliegan valores instantáneos de las variables eléctricas), reprogramación del analizador, solicitud del perfil de consumo con o sin reinicio del período de medición, almacenando y graficando los valores, así como analizar la calidad de la energía eléctrica instantánea en base a su distorsión armónica mediante el muestreo simultáneo del voltaje y la corriente por fase.

2.2. AVANCE DEL SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICION

El sistema automatizado de medición se subdivide en dos etapas:

- a) Software de acceso y control remoto del equipo de medición vía telefónica.
- b) Software de análisis SMAS.

El software de acceso y control remoto del equipo de medición del esquema E-1 es comercial, sin embargo es necesario elaborar una aplicación específica, en el lenguaje del propio paquete, para automatizar el proceso. Para el segundo esquema de monitoreo, el software fue desarrollado totalmente en la sección de instrumentación del Instituto de Ingeniería de la UNAM bajo la supervisión y patrocinio del PUE.

Ambos esquemas de monitoreo proveen los datos que procesará el software de análisis SMAS. Cabe señalar que el SMAS puede procesar los archivos de datos generados por equipos de medición diferentes, modificando el bloque de procesamiento de datos del mismo programa, ya que este es modular. El software SMAS fue desarrollado en el PUE.

2.2.1. SOFTWARE SMAS

El software SMAS tiene como finalidad procesar y visualizar la información, de los datos provenientes de los equipos de medición, en forma de gráficas y reportes de consumo estandarizados.

El SMAS central incluye las mismas funciones que el SMAS local, pero además permite el manejo de los datos de las 3 dependencias.

A continuación se describen, brevemente, las opciones del software que se han desarrollado hasta el presente. En el futuro se irán agregando otros módulos. La figura 3 muestra el despliegue de las opciones del menú principal.

OPCIONES DEL PROGRAMA

Procesamiento.- Esta opción procesa los archivos de datos y genera otros con un formato predefinido para ser utilizados módulos del programa y por hojas de cálculo si así se desea.

Búsqueda.- Permite realizar una búsqueda en la base de datos de acuerdo a una fecha determinada.

Graficación.- Permite visualizar las gráficas, por día, de los siguientes parámetros:

- Variación de voltaje por fase y promedio
- Variación de corriente por fase y total
- Demanda total
- Consumos acumulados totales
- Frecuencia
- Factor de potencia por fase y promedio
- Consumos horarios

Gráficas comparativas de los anteriores parámetros entre la última y penúltima semana y entre dos fechas cualesquiera.

Consumo total por día durante todo un mes

Reportes.- Despliega, en forma de tabla y por semana:

INTERFACE GENERAL :

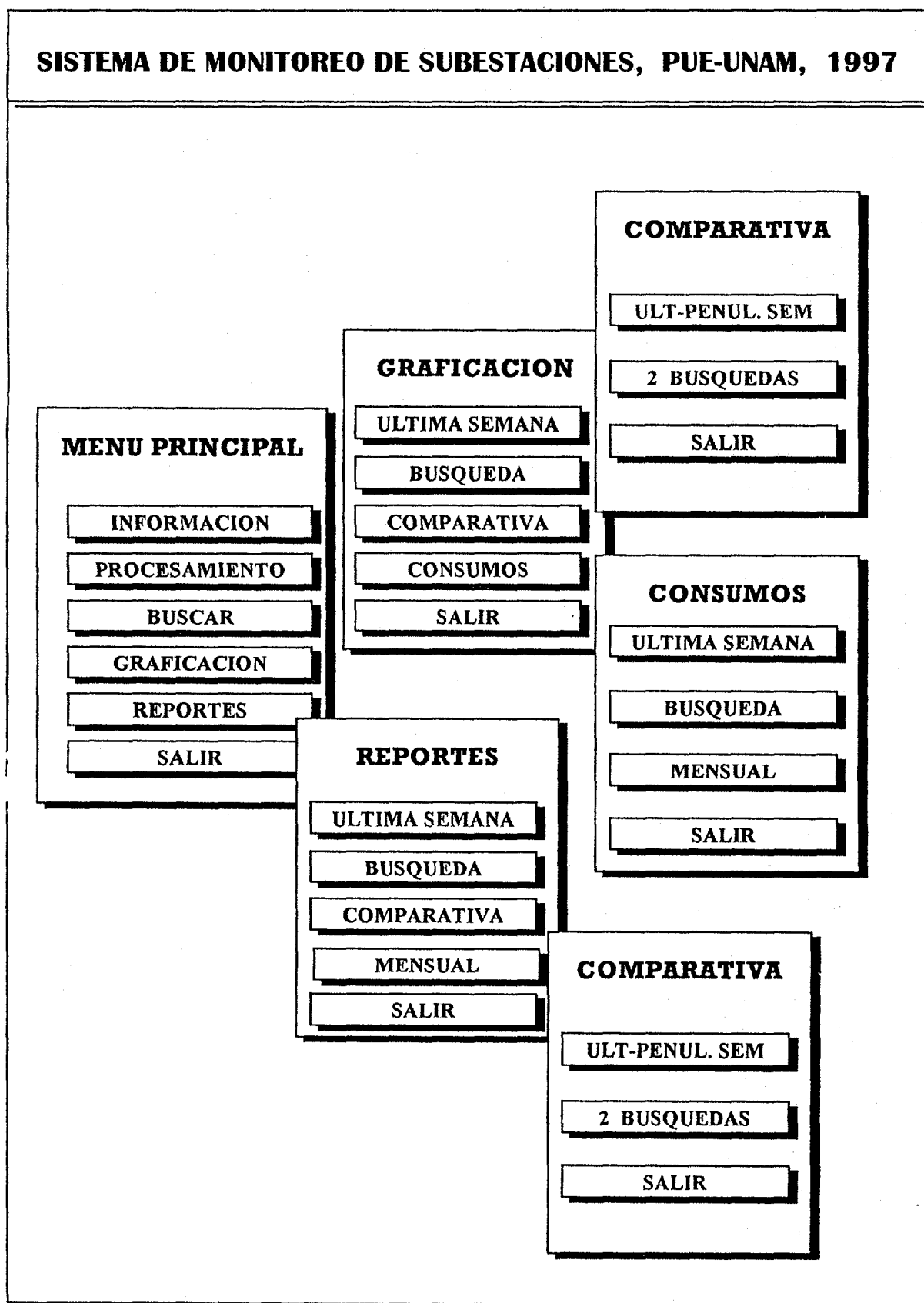


figura 3

Los consumos, separándolos en periodos base, intermedio y pico, y el total por día.
La demanda máxima por día y la hora en que ocurre.
Los factores de carga por día.

Despliega también los consumos mensuales

Realiza tablas comparativas de los consumos semanales registrados entre la última y penúltima semana (sustituida, más tarde por un promedio estadístico) y entre dos semanas cualesquiera.
En las siguientes páginas se muestran algunos ejemplos de la información que proporciona el software.

3. CONCLUSIONES

Como puede deducirse, la cuantificación de los efectos de las MAE permite optimizar el sistema sin grandes cambios tecnológicos pero sí en la forma de medir y controlar. Abarcando el control desde el aseguramiento en la eliminación de desperdicios hasta el seguimiento de la mejora tecnológica del sistema, tal como la sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías eficientes o el control automático, para la operación de cualquier proceso. El control automático no debe pensarse como la adquisición de dispositivos costosos, porque existen algunos tan elementales que permiten obtener ahorros significativos. Su manifestación más generalizada es la que conecta o desconecta un equipo a partir del alcance de valores extremos de la magnitud física.

El control de las MAE permite, a nivel operativo, detectar las fallas en la planeación y organización del trabajo de los comités asignados para la ejecución de las mejoras; realizando la evaluación continua y sistemática de los resultados. Lo anterior presupone la generación y entregar, a dichos comités, los elementos necesarios que aseguren su evaluación, tal como reportes internos de consumos semanales o mensuales.

4. REFERENCIAS

Ana Cecilia Campos Hernández. El control automático en función de la Inteligencia Energética. Memorias del primer congreso nacional de la Asociación Mexicana para la Economía Energética A. C., 1995.

Oscar Frías L., Roberto Sánchez O. Ahorro de energía en una industria química, Caso Grupo IRSA. Memorias del primer congreso nacional de la Asociación Mexicana para la Economía Energética A. C., 1995.

Augusto Sánchez Cifuentes. Uso eficiente de la energía eléctrica en la UNAM. Memorias del primer congreso nacional de la Asociación Mexicana para la Economía Energética A. C., 1995.

Augusto Sánchez Cifuentes. Efectos del cambio de horario en la facturación de la Ciudad Universitaria. VII Congreso del Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas del Estado de Jalisco, A.C., 1996. Guadalajara, Jalisco.

Valente Vázquez Tamayo, coordinador. Diseño y construcción de una micro red vía telefónica para enlace de tres Analizadores de Redes Eléctricas Trifásicas a un concentrador de datos remoto. Reporte interno No. 6136. Instituto de Ingeniería, UNAM. Septiembre 1996 a marzo 1997.

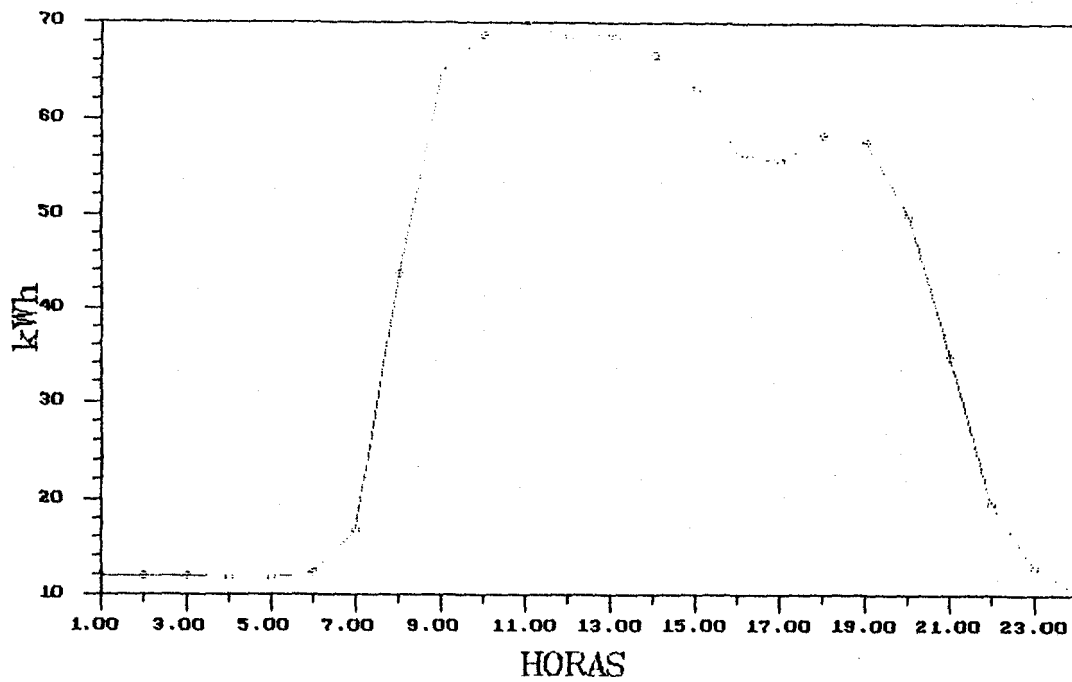
Laura Mendiola G., M. Guadalupe Díaz A. Manual del Usuario del software SMAS. Reporte interno. Programa Universitario de Energía, UNAM. 1997.

Instruction Bulletin No. 3020IM9301/94: PowerLogic Circuit Monitor Series 2000. Square D Company, March 1994, Smyrna, TN, USA.

Instruction Bulletin No. 3080IM9302: PowerLogic Product Communications Software (PSW-101). Square D Company, september 1993, Smyrna, TN, USA.

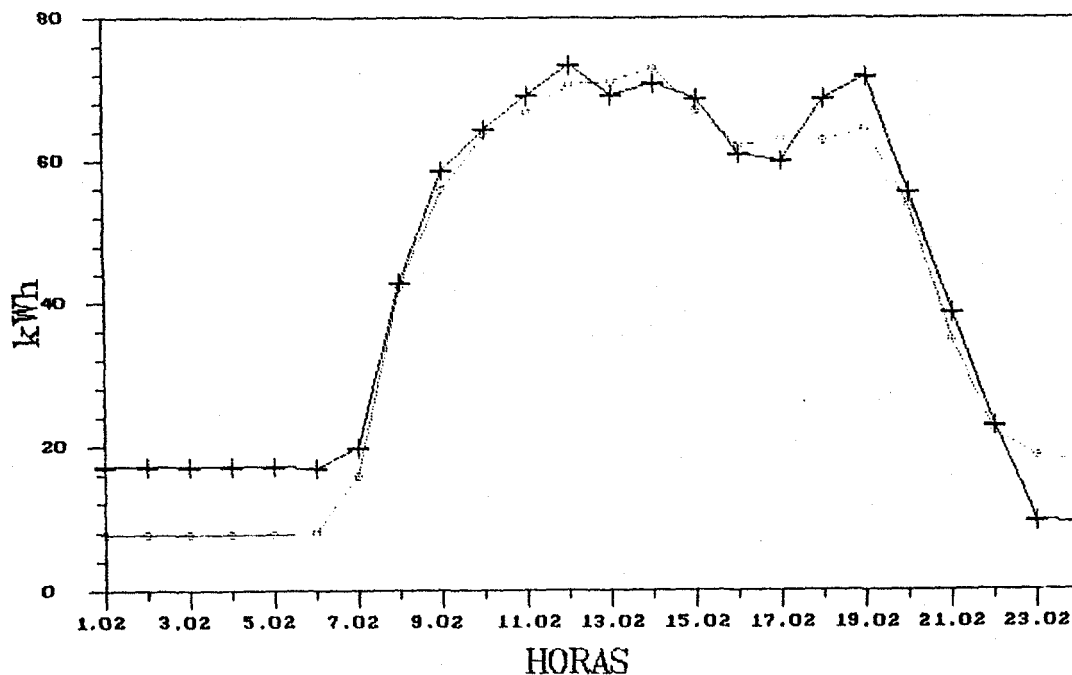
Consumos_Totales

CELE (19-5-1997/25-5-1997), miércoles 21



Consumos_Totales

CELE , Jueves



+ 1a. med.(20-Feb-1997)

o 2a. med(27-Feb-1997)

CELE (19-5-1997/25-5-1997)

	C.BASE[kwh]	C.PICO[kwh]	C.INTERM.[kwh]	C.TOTAL[kwh]
LUNES	29	51	812	893
MARTES	66	55	840	962
MIÉRCOLES	71	54	831	956
JUEVES	63	58	833	956
VIERNES	46	50	688	784
SABADO	64	0	104	169
DOMINGO	74	0	27	101
PERIODO L-U	277	270	4006	4554
PERIODO S-D	138	0	131	270
TOTAL SEMANA	416	270	4138	4825

	LUN	MAR	MIE	JUE	UIE	SAB	DOM
KW	67	69	70	68	61	10	7
Hr.	11 AM	6 PM	12 PM	1 PM	10 AM	2 AM	10 PM

	LUN	MAR	MIE	JUE	UIE	SAB	DOM
DEM. MEDIA [kw]	37	40	39	39	32	7	4
DEM. MAXIMA [kw]	67	69	70	68	61	10	7
FAC. DE CARGA [%]	55	58	56	58	53	70	60

CELE

CONSUMOS TOTALES

FEB, 1997

DIA	FECHA	[kwh]	DIA	FECHA	[kwh]
Lunes			Lunes	17	962528
Martes			Martes	18	931872
Miércoles			Miércoles	19	1020352
Jueves			Jueves	20	1034048
Viernes			Viernes	21	875776
Sábado	1	480000	Sábado	22	355744
Domingo	2	202240	Domingo	23	199424
Lunes	3	949312	Lunes	24	927296
Martes	4	977376	Martes	25	303552
Miércoles	5	69280	Miércoles	26	367904
Jueves	6	393024	Jueves	27	969088
Viernes	7	852480	Viernes	28	885824
Sábado	8	297280	Sábado	29	
Domingo	9	140416			
Lunes	10	943840			
Martes	11	983712			
Miércoles	12	438304			
Jueves	13				
Viernes	14	483168			
Sábado	15	230656			
Domingo	16	150304			

EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA ELECTRICA EN LOS SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRANEA EN EL BAJIO

ING. ENRIQUE GARCIA Y GARCIA
PTF S.C. CONSULTORES
DIRECTOR GENERAL
PASEO DE LA ALBORADA 3442
COL. VILLAS DE IRAPUATO
36670 IRAPUATO, GTO., MEXICO
TEL. (462) 3 01 92 FAX (462) 3 01 56
email ptfsc@intercon.intercon.net.mx

RESUMEN

En la región del Bajío, el agua subterránea constituye la principal fuente de agua potable y aproximadamente, el 50% del agua para riego agrícola; desde el punto de vista energético, el bombeo de ella representa el 33% de la electricidad que se consume y se estima un desperdicio del 35%.

Para atender la problemática, se diseñó una metodología para un diagnóstico energético de los sistemas de bombeo de los pozos, con el objetivo básico de conocer la eficiencia electro-mecánica de los equipos, el comportamiento de los equipos auxiliares y la capacidad de respuesta hidráulica del pozo.

El análisis de los resultados de 221 diagnósticos realizados, pone de manifiesto la redituabilidad de la rehabilitación de los equipos, además de otras ventajas de carácter colectivo.

ANTECEDENTES

En algunas regiones del País, el agua subterránea constituye la principal fuente de agua potable y de primordial importancia para la actividad agrícola, como es el caso de los estados de Aguascalientes, Querétaro, Guanajuato y Jalisco. En esta región del centro de la República Mexicana el 15% del agua subterránea se utiliza para el consumo humano y el 85% restante, es usada para la actividad agrícola en la producción de distintos tipos de hortalizas y todavía en algunos granos básicos y forraje para el ganado, Tabla 1.

ORIGEN Y USO DEL AGUA GUANAJUATO 1997

ORIGEN	U S O	
agua subterránea 58%	15% agua potable	9% agua potable
	85% agua de riego	91% agua de riego
agua superficial 42%	100% agua de riego	

Fuente: Gerencia Estatal de la Comisión Nacional de Agua. 1997.

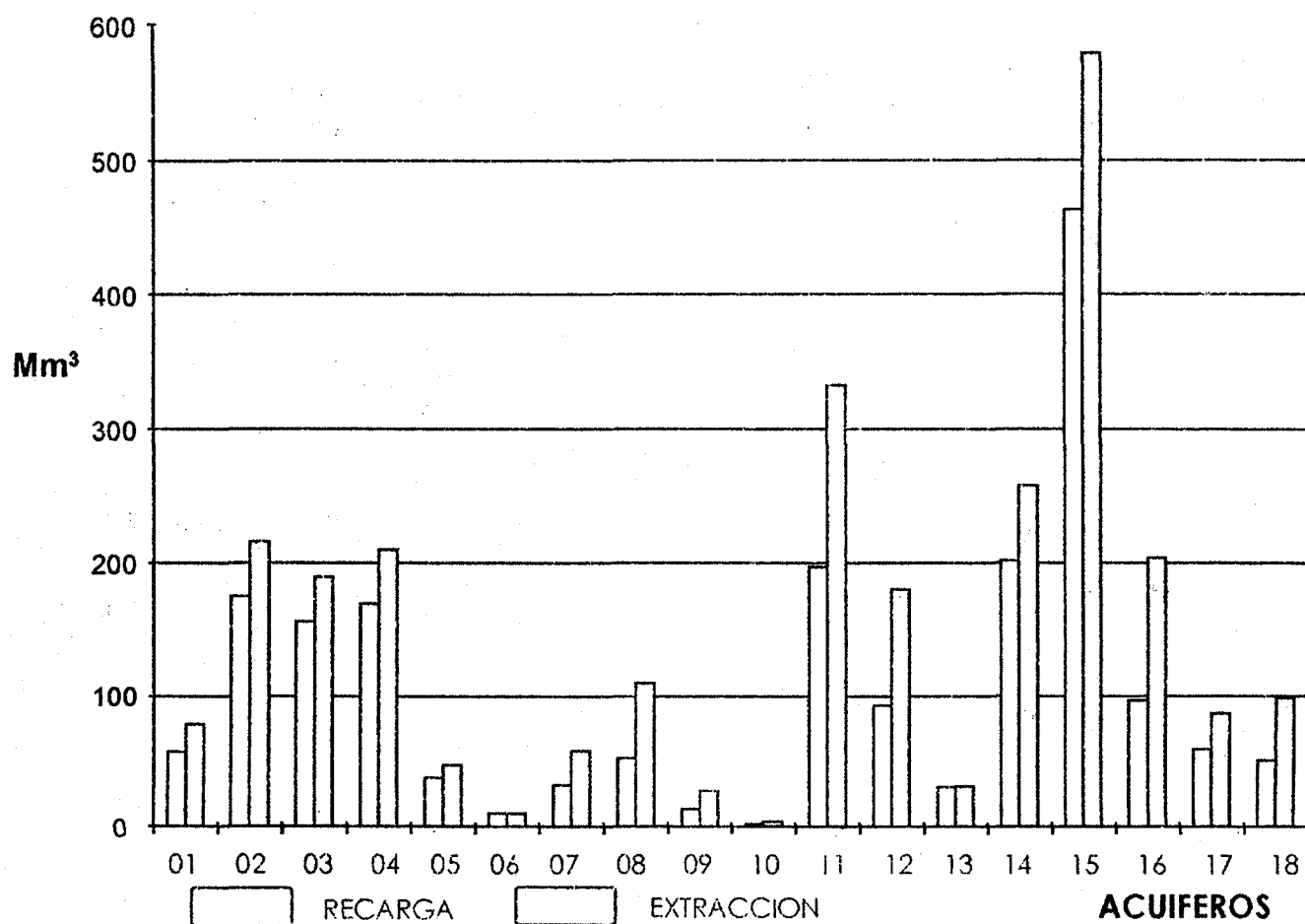
TABLA 1

Cabe señalarse que el bombeo de agua se realiza en un 99%, mediante motores eléctricos, siendo excepcionales los casos de bombeo mediante motores de combustión interna o alguna fuente alterna como eólica.

El costo del consumo eléctrico en los sistemas de bombeo es muy elevado y tiene un gran peso en los costos globales de extracción de agua, haciendo que la potable sea muy cara y que en el caso del agua para riego, tiene como repercusión que la rentabilidad agrícola está en entredicho.

La situación anterior se ha venido agravando en los últimos años por dos motivos: primeramente, los equipos de bombeo trabajan ineficientemente por escaso o nulo mantenimiento y en segundo término, porque la profundidad del bombeo de agua subterránea es cada vez mayor, debido a la sobre-explotación de los acuíferos, Gráfico 1.

BALANCE DE AGUA SUBTERRANEA GUANAJUATO 1997



- | | |
|--------------------------------|------------------------|
| 01. CIENEGA PRIETA MOROLEON | 10. SAN LUIS DE LA PAZ |
| 02. IRAPUATO VALLE | 11. PENJAMO ABASOLO |
| 03. ACAMBARO | 12. LA LAJA |
| 04. Z.R. PRESA SOLIS | 13. SAN FELIPE |
| 05. LA CUEVITA | 14. SILAO ROMITA |
| 06. CUITZEO | 15. CELAYA |
| 07. DR. MORA SAN JOSE ITURBIDE | 16. LEON |
| 08. LAGUNA SECA | 17. RIO TURBIO |
| 09. SAN MIGUEL DE ALLENDE | 18. JARAL DE BERRIOS |

GRAFICO 1

Desde el punto de vista energético, el consumo de electricidad por bombeo de agua subterránea, representa el 33% del total, correspondiendo 4% al bombeo para agua potable y el 29% para agua de riego agrícola. Se estima que existe un desperdicio energético del orden del 35%, por lo que es urgente identificar los equipos y sistemas que lo ocasionan, para emprender las acciones que reviertan lo anterior, Gráfico 2.

CONSUMO DE ENERGIA ELECTRICA POR SECTOR ESTADO DE GUANAJUATO 1997

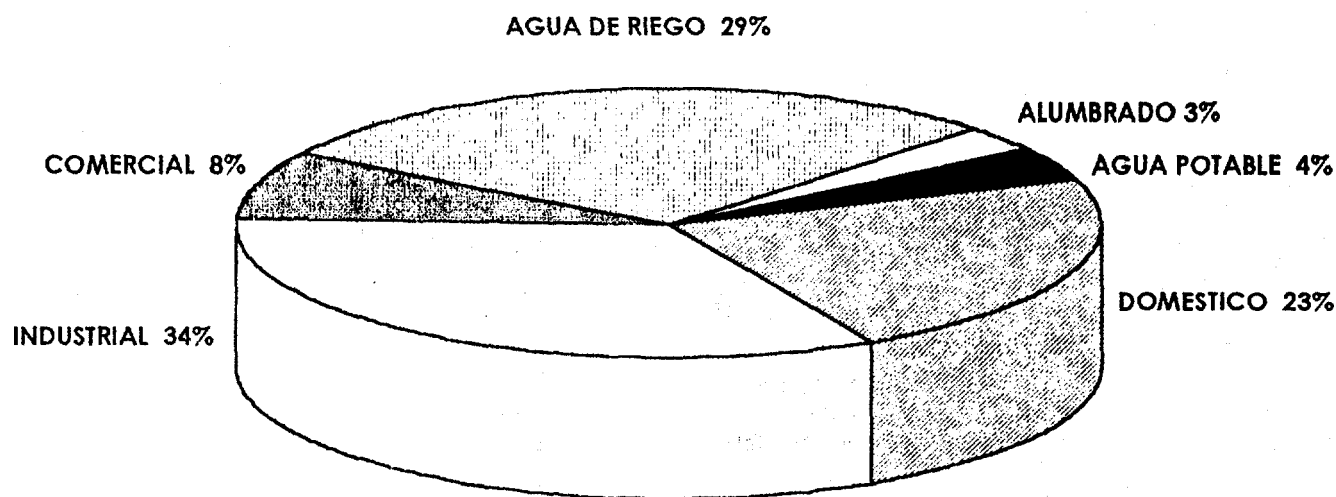


GRAFICO 2

Ante ese panorama, PTF S.C. ha venido trabajando desde hace cuatro años para desarrollar una metodología de ingeniería de campo y de gabinete que resuelva de manera integral el problema, tanto a nivel puntual como en un ámbito regional.

Si bien es cierto, se han utilizado complementariamente técnicas de hidrología isotópica para resolver problemas relacionados con el abatimiento de los niveles de agua subterránea, en esta ocasión solo se tratará lo relacionado con el uso eficiente de la energía eléctrica en el bombeo de pozos profundos y se restringe a los avances y resultados en la región del Bajío.

OBJETIVO

Dada la situación existente, se llevó a cabo un análisis del problema desde varios ángulos, tanto aspectos humanos de capacitación y adiestramiento, renglones técnicos, eléctricos e hidráulicos y los rubros económicos, como rentabilidad y financiamiento. Lo anterior tuvo como resultado primeramente, que es imprescindible tener un verdadero diagnóstico técnico para el uso eficiente del agua y la energía eléctrica y que éste sea asimilado por el productor usuario del sistema de bombeo.

AVANCES

De acuerdo al análisis previo, los diagnósticos permiten conocer tres aspectos: primero, el grado de desperdicio de la energía eléctrica mediante la determinación de la eficiencia electromecánica del conjunto motor - bomba y la valoración de la operación de los equipos eléctricos auxiliares como el transformador, arrancador e interruptor; segundo, si las mediciones del consumo eléctrico y de agua son correctas; en tercer término se puede conocer el potencial hidráulico del pozo y las tendencias de abatimiento de los niveles freáticos del acuífero, lo que significa mayores consumos de electricidad por el bombeo a mayor profundidad, Gráfico 3.

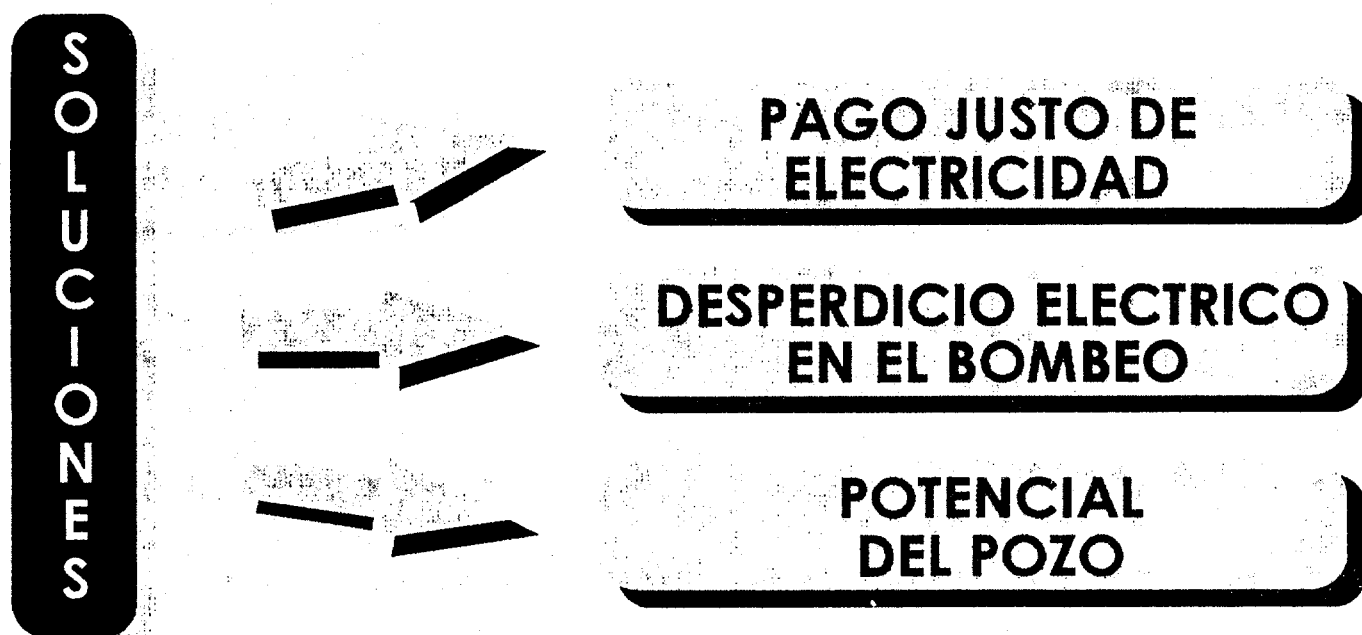


GRAFICO 3

Con la ayuda del diagnóstico, los usuarios han podido conocer su sistema de bombeo y pozo y como eficientarlo, para hacer su actividad más rentable. Por otro lado, un conjunto de diagnósticos da información sobre una zona del acuífero donde se encuentran, lo que ha permitido tener un beneficio colectivo adicional.

En este aspecto, es posible hacer presupuestos precisos para la rehabilitación de un conjunto de pozos y sistemas electromecánicos, también, como ventaja adicional, se tiene información que se puede utilizar para realizar acciones para detener el abatimiento de los niveles de bombeo de agua subterránea por la sobreexplotación de los acuíferos, Gráfico 4.

diagnósticos eficaces
... para el uso eficiente del agua y la energía eléctrica

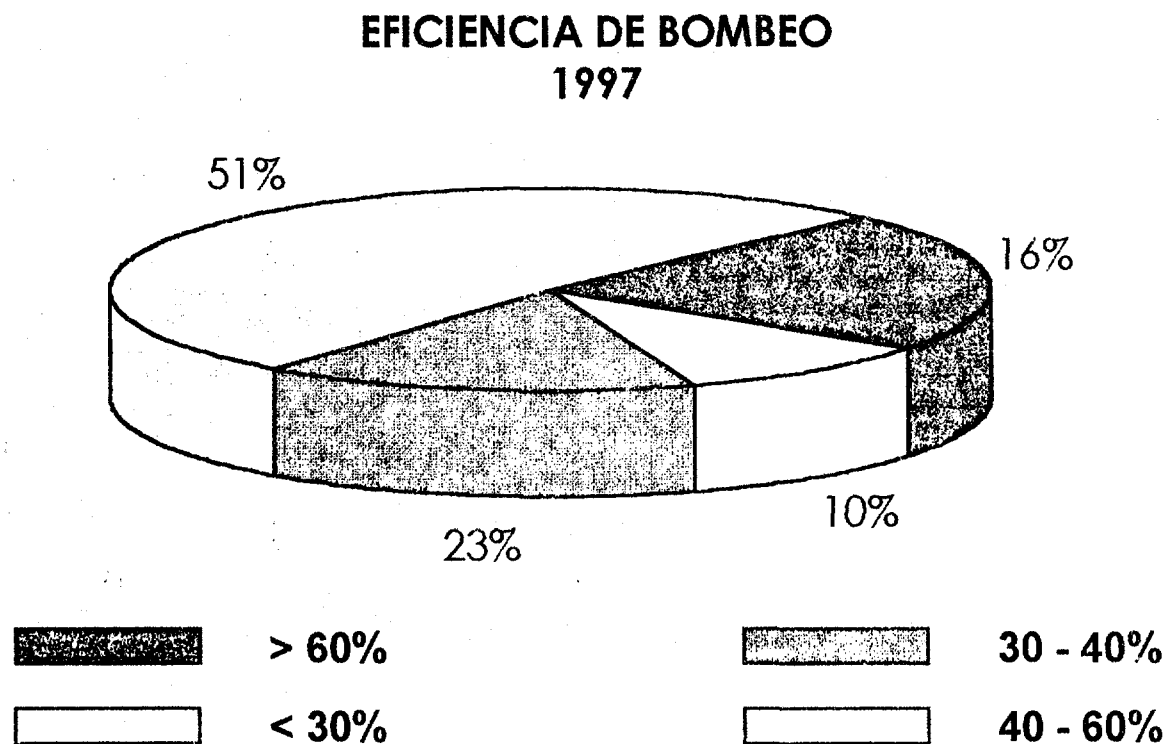


GRAFICO 4

RESULTADOS

Una vez desarrollada la metodología de los diagnósticos técnicos, éstos se fueron realizando en pozos cuyos usuarios manifestaban su preocupación por el alto costo de la energía para la extracción de agua y no solamente agua para riego agrícola sino también para agua potable.

A la fecha se tiene un total de aproximadamente 450 sistemas de bombeo diagnosticados, de los cuales 350 se encuentran en los estados de Guanajuato y Querétaro y 100 en los estados de Aguascalientes y Jalisco. Los resultados que a continuación se presentan en el Gráfico 5 y en la Tabla 2, corresponden exclusivamente a los del estado de Guanajuato.



Fuente: PTF S.C. Diagnósticos realizados en el período 1995-1997 en el Estado de Guanajuato

GRAFICO 5

De la información presentada, sobresale el hecho de que el 26% de los pozos, tienen una eficiencia menor del 40%, por lo que de acuerdo a la normatividad existente, es urgente la rehabilitación de equipos de bombeo y accesorios. En el 74% restante, la eficiencia promedio es de 54% y solo el 23% del total presenta una eficiencia superior al 60%.

EFICIENCIA DE BOMBEO 1997

	% TOTAL	EFICIENCIA PROMEDIO %	AHORRO MENSUAL MWh **	AHORRO MENSUAL MILES DE PESOS ***	INVERSION ESTIMADA MILES DE PESOS ****	TIEMPO DE AMORTIZACION MESES
TOTAL DE POZOS	100	48.7	1,926	358.2	7,200-12,100	15-40
POZOS CON EFICIENCIA MAYOR A 40%	74	54.2	1,106	205.6	4,920 - 8200	24 - 40
POZOS CON EFICIENCIA MENOR AL 40%	26	30.9	801	149.0	2,280 - 3,990	15 - 26
POZOS CON EFICIENCIA MAYOR AL 60%	23	66.9	69	12.9	N D	N D
POZOS CON EFICIENCIA ENTRE 40 Y 60%	51	49.3	1,024	190.3	3,420 - 5700	18 - 30
POZOS CON EFICIENCIA ENTRE EL 30 Y 40%	16	35.8	435	80.9	1,440 - 1,800	18 - 22
POZOS CON EFICIENCIA MENOR AL 30%	10	22.5	370	68.7	1,260 - 1,470	18 - 21

* Fuente: PTF S.C. Diagnósticos realizados en el período 1995-1997 en 221 pozos en el Estado de Guanajuato.

** 30 días de operación y 18 horas diarias.

*** Tarifa 9M \$0.18590 kWh.

**** Inversión entre 30 y 70 mil por pozo.

TABLA 2

CONCLUSIONES

1. El uso eficiente de la energía eléctrica en los sistemas de bombeo de agua subterránea, representa un gran reto dada la importancia que tiene el agua en la región, el consumo energético tan alto y la baja preparación técnica de los usuarios.
2. La metodología aplicada ha mostrado su eficiencia en la aplicación y en los resultados obtenidos, tanto a nivel individual como colectivo.
3. El 26% de los pozos presenta una eficiencia promedio del 30%, por lo que es prioritario hacer la rehabilitación de equipos y sistemas correspondientes.
4. Los tiempos de recuperación de las inversiones están en una banda de 15 a 26 meses, lo que pone de manifiesto la rentabilidad de las inversiones.
5. El diagnóstico energético constituye el paso inicial para el uso eficiente del agua y la energía eléctrica.

REFERENCIAS

1. FIDE. Recomendaciones generales para ahorro de energía eléctrica en sistemas de bombeo, México D.F. 1996.
2. FIDE. Elementos básicos de un Diagnóstico Energético, orientado a la aplicación de un programa de ahorro de energía. México D.F. 1996.
3. E. García y García. PTF S.C., Diagnóstico energético en sistemas de bombeo en pozos profundos para riego agrícola. Revista Energía Racional, FIDE N°25, 1997.
4. Diario Oficial de la Federación. Norma Oficial Mexicana NOM 006 ENER-1995, México D.F. 1995.

Agosto de 1997

Tendencias del consumo de energía en el Sector Transporte de México y su impacto al medio ambiente.

**Elizabeth Mar
Claudia Sheinbaum
Instituto de Ingeniería, UNAM
tel 622-81-32 E-mail:csp@pumas.iingen.unam.mx**

Resumen

El sector transporte mexicano, como el de muchos otros países se caracteriza por basar su consumo energético en hidrocarburos (gasolina, diesel y gas licuado). Actualmente esta dependencia ha traído consigo una serie de problemas de tipo ambiental, los cuales se concentra en mayor escala en las áreas urbanas. Por tanto, el estudio del sector transporte como consumidor de energía requiere plantear nuevos términos donde la constante a estudiar (de forma directa e indirecta) sea la variable ambiental tratando de vincular las actividades propias del sector, su desarrollo y el consumo de energía con el medio ambiente.

El objetivo de este artículo es conocer la situación del sector transporte en el Area Metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) y su impacto al medio ambiente. Se trata de un inventario energético-ambiental enfocado al uso de los combustibles en el sector transporte, cuyo efecto ambiental tiene un costo significativo para el país.

El trabajo se ha dividido en cuatro partes. Primero se caracteriza la importancia del sector como consumidor de energía en el AMCM de forma agregada. Segundo, se describen las principales variables que inciden en el desarrollo del sector para obtener el consumo de forma desagregada, así como los criterios base para su desarrollo, obteniendo una serie de resultados que muestren la incidencia de los diferentes modos y tipos en el consumo de energía. En la tercera parte, se hace referencia al impacto ambiental generado por el uso de combustibles fósiles en el sector transporte, destacando el modo de transporte que más impacta por la emisión de contaminantes. Por último se presentan una serie de alternativas que permitirán encontrar un balance entre transporte-energía-medio ambiente.

Antecedentes

El área metropolitana de la Ciudad de México (AMCM) es sede de una de las ciudades más grandes del mundo, aquí se asienta la capital del país y gran parte de la actividad económica nacional. Alrededor del 20% de la población nacional vive en el AMCM; es decir, aproximadamente 17 millones de habitantes ocupan menos del 1% del territorio nacional. La extensión de los municipios y delegaciones que conforman al AMCM suman alrededor de 4,500 km., aunque una parte importante de ese territorio son montañas y zonas rurales sin urbanizar.

Una parte de las mejoras en las condiciones de vida de los habitantes de la AMCM depende del desarrollo del transporte, sin embargo a pesar de que el transporte es responsable del 40% del consumo de energía final en México y de que ha sido uno de los sectores de mayor crecimiento energético en la última década, es uno de los menos estudiados. Este trabajo tiene como objetivo analizar las variables que inciden en el consumo de energéticos, determinando el como se distribuye este consumo, el cuando y el quien. De tal forma que se determinen el impacto de forma desagregada del transporte en el AMCM y el medio ambiente.

Aproximadamente el 45% de los vehículos del país se encuentran registrados en el área metropolitana (Lizt Mendoza, 1988) y de acuerdo al inventario de emisiones de las cuatro millones de toneladas de contaminantes el transporte de la metrópoli genera el 75%.

El sector transporte mexicano, como el de muchos otros países se caracteriza por basar su consumo energético en hidrocarburos. Esta dependencia prevalecerá hasta finales de siglo, pero las opiniones científicas y del público en general, señalan a los combustibles y a los motores de combustión interna como las fuentes principales generadoras de contaminantes, en perjuicio del medio ambiente y por lo tanto del ser humano.

La emisión de gases contaminantes en los vehículos automotores se debe principalmente a una combustión incompleta e ineficiente de los vehículos automotores, además de la calidad de los combustibles y el proceso que se lleva a cabo con el combustible desde su obtención hasta su compra para un vehículo automotor

Los gases residuales de la combustión, son emitidos a la atmósfera a través del tubo de escape del vehículo, siendo estos gases una mezcla reactiva que, algunas veces reacciona con el medio ambiente, generando productos secundarios tales como el ozono y otros por sí solos son precursores del efecto de invernadero.

La investigación de fuentes alternas de energía repunta a partir de 1973, cuando se da el primer embargo petrolero, se hace evidente la importancia del petróleo como fuente primaria de energía, provocando que se destinen recursos a la investigación de nuevas fuentes de energía tales como la solar, geotermia, etc. Entre las alternativas viables para el transporte, se plantea el uso de alcoholes, el gas LP y el gas natural. De igual forma se desarrollan investigaciones sobre vehículos eléctricos. Esta reacción de sustitución de fuentes energéticas fue una de las causas que obligo al mercado petrolero disminuir su precio.

No obstante, hoy la variable económica en cuanto al precio de los combustibles no es suficiente para originar un cambio en la tendencia de consumo, es necesario que el cambio energético se base también en el impacto ambiental que provoca el uso de estos. La estrategia energética actual está en términos de energía-medio ambiente, en la cual se tiene que encontrar un balance con los costos que implica el desarrollo de la energía "limpia".

La ruptura del balance entre energía y medio ambiente en México y de forma particular en el caso del transporte, ha provocado la necesidad de implantar programas y medidas de control ambiental; por ejemplo, el *triple* "Hoy No Circula" y la verificación de vehículos automotores.

I. Perfil del consumo de energía en México

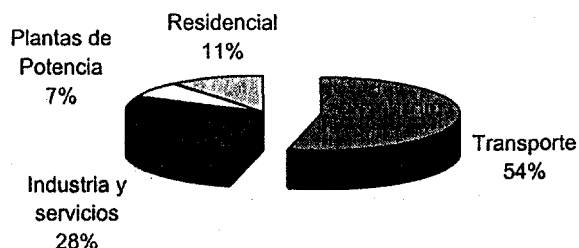
El AMCM consume en promedio el 25% del total nacional de energía, de los cuales el 82% son hidrocarburos y el restante 18% es electricidad. La demanda de energía final en el AMCM es equivalentes a 43.8 millones de litros de gasolina¹, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 54% para el sector transporte, 7% para plantas de potencia; 22% el industrial y de servicios y con un 11% el residencial, comercial y publico.

Con respecto a los combustibles en el Valle de México se emplean diariamente 43 millones de litros de combustibles derivados del petróleo². Más de la mitad de estos combustibles los consume el sector transporte. La gasolina es el principal combustibles en el Área Metropolitana con el 43.6% y el diesel con el 11.2%. En la ciudad el gas LP ya es representativo dentro del consumo con un 5%. En el caso de las gasolinas, en los últimos años el consumo promedio diario se ha incrementado en un 15% al pasar de 15.4 millones de litros diarios en 1989 a 18 millones en 1993.

¹ Quintanilla, Juan. Reordenación de la jornada laboral.1995

² El volumen de los distintos combustibles se expresa en su equivalente como gasolina Nova Plus, con base en su poder calorífico.

Gráfica 1. Consumo por Sector en el Valle de México

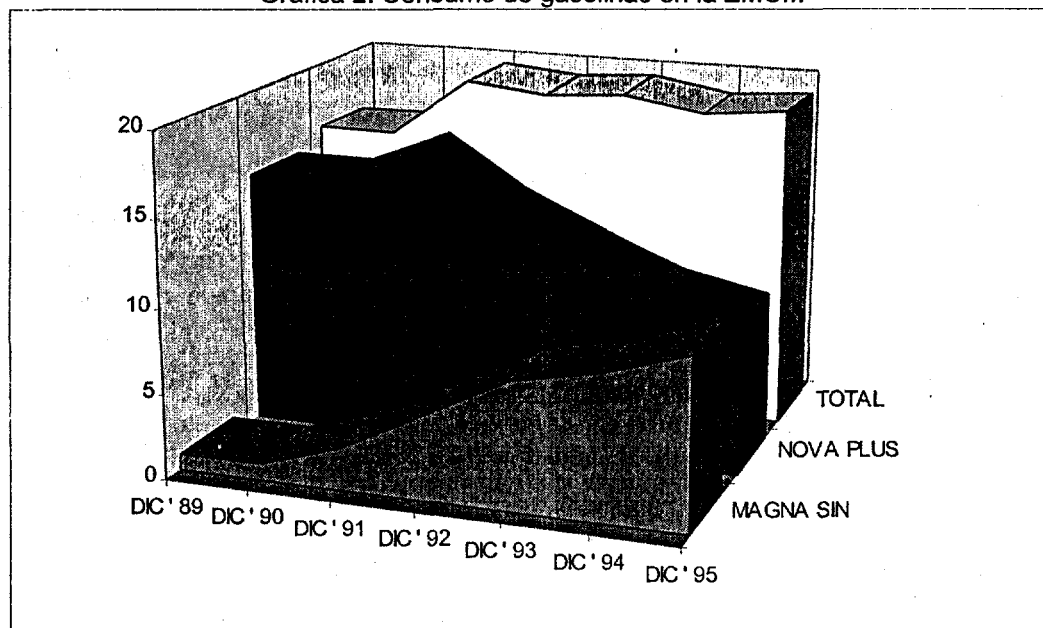


Fuente : Informe anual de operaciones, Pemex, 1993

X

Asimismo, la tasa promedio de venta anual de autos nuevos se ha incrementado en un 17.8% a partir de 1987, año en que se inicia una recuperación económica de la crisis enfrentada desde principios de los 80's.

Gráfica 2. Consumo de gasolinas en la ZMCM



Fuente : Informe anual de operaciones, Pemex, 1993

II. Metodología

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 forma de interacción hombre-tecnología en el suministro de los servicios energéticos necesarios o deseados. El indicador más agregado que da cuenta de esta relación es la tasa Energía / producto interno bruto (E/PIB). Este índice, denominado intensidad E/PIB, tiene la ventaja de dar una visión global del uso de la energía en un país; sin embargo, tiene la desventaja de ocultar los cambios de las actividades económicas relativas a este indicador económico y la cantidad de energía usada para cubrir dichas actividades.

En particular, para el interés de este trabajo, la intensidad agregada E/PIB ayuda poco a explicar los cambios ocurridos en el consumo de energía en el transporte de pasajeros. Esto se

debe a que el transporte de pasajeros no utiliza toda su energía para producir o generar riquezas, que es lo que constituye y refleja el PIB, además de que el modelo sólo se aplicara en una zona del país. El objetivo primordial del uso de la energía en el transporte de pasajeros se realiza de forma particular, es por esta razón que los estudios acerca de las tendencias y perspectivas del uso de la energía en el transporte de pasajeros, utiliza una aproximación metodológica diferente.

Un enfoque metodológico a emplear en esta ocasión se basa en el modelo desarrollado por el Departamento del Distrito Federal llamado "MOBILE-MCMA" el cual estima la cantidad de emisiones contaminantes y su impacto al medio ambiente debidos al uso de la energía del transporte. La información que requiere el modelo es:

- ◊ Pruebas de emisiones por tipo y tecnología de vehículos
- ◊ Parque vehicular
 1. Tipo de combustibles usados en el sector transporte
 2. Tipo de tecnología que se emplea en la combustión
 3. Eficiencia del parque en circulación
 4. Tecnología para el control de las emisiones
- ◊ Kilómetro recorrido promedio por tipo de vehículo
- ◊ Ciclo vehicular

II.1 Base de datos para la obtención de emisiones vehiculares para el desarrollo del Modelo MOBILE_MCMA

1. Las emisiones de los vehículos obtenidas de pruebas de laboratorio desde la década de los 70's
2. Distancia promedio recorrida por tipo de vehículo (año-modelo)
3. Parque vehicular por edad
4. Obtención en pruebas de laboratorios las tasas de emisiones por tipo de vehículo para diferentes gases contaminantes
5. Temperatura ambiente
6. Estación del año (invierno o verano)
7. Factor de uso para usos "no autorizados" como carga extra, remolques, etc.
8. Modos de operación de un vehículo automotor en una ciudad

Cálculos para la base de datos

El consumo de energía (CE) se obtienen de conocer flota vehicular (PV), el promedio de km. recorridos al año (km./año), el rendimiento promedio de los vehículos (RVP) y el poder calorífico superior de los combustibles (PC), mediante la fórmula siguiente:

$$CE \text{ clase} = (PV) * (Km./año) * (1/RVP) * PC$$

- El parque vehicular es conocido para todas las clases del autotransporte.
- El km./año es estimado en 36 km./s para las diversas clases del autotransporte de pasajeros
- En el caso del parque vehicular se la agencia EPA realiza una clasificación por peso del vehículo esta clasificación se adopto de acuerdo al características de los vehículos que circulan en la ciudad

II.2. Indicadores para AMCM

Los rendimientos del autotransporte público federal para pasajeros que utilizan diesel, se obtuvieron de estudios de CONAE (1990, 1995) y de la Cámara Nacional del Transporte

Urbano. Los rendimientos de autobús urbano se mantienen constantes a lo largo del periodo a partir de un estudio del DDF (1992) de CONAE (1990) y reconociendo que no ha habido una renovación importante de este parque desde 1988.

En el caso de los automóviles, el rendimiento promedio del parque se basó en datos obtenidos por CONAE, un estudio realizado por la Cámara Nacional de Autopartes, las ventas registradas en territorio nacional y el rendimiento reportado por las empresas automotrices (INEGI 1992, 1994, CONAE 1992). El cálculo se realiza con el siguiente método:

1. Para 1985 se toma el dato del rendimiento vehicular promedio estimado por el estudio de CONAE (1990).
2. Se calcula la composición del parque vehicular por automóviles nuevos y antiguos suponiendo que todas las ventas de vehículos nuevos se integran al parque vehicular y desaparece un porcentaje del parque en circulación total.
3. Se "castiga" el rendimiento vehicular del auto antiguo y del auto nuevo, suponiendo que cada año el rendimiento decae en un 2%. (ver apéndice 1 para mayor explicación de datos).
4. Se supone que el rendimiento reportado por las compañías automotrices es en realidad 5% menor, debido a que el uso del automóvil es mayor en las ciudades y por tanto la velocidad promedio para el cálculo del rendimiento en la "etiqueta" es considerablemente menor.
5. Para el cálculo del rendimiento promedio del auto nuevo se hace un promedio pesado por las ventas de cada marca.
6. El rendimiento promedio del parque es un promedio pesado entre el rendimiento del auto en cada año (con su "castigo" asociado y su participación en el parque vehicular).

Los rendimientos obtenidos para cada clase del autotransporte de pasajeros se muestran a continuación:

Km./lt	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
APF	2.41	2.47	2.37	2.48	2.32	2.43	2.37	2.37	2.48
Autobús urbano	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Automóvil	7.53	7.57	7.63	7.76	7.95	8.07	8.27	8.43	8.85

El importante incremento en la eficiencia del automóvil proviene de la incorporación de tecnología como el "fuel injection" que aumenta la eficiencia del motor de combustión interna, y del incremento de la participación en las ventas totales del automóvil Nissan popular (Tsuru) que tiene el mayor rendimiento en el mercado (17 km./lt). La rapidez en el incremento de la eficiencia no es mayor debido a la importancia relativa en las ventas (ver cap. 3) de los autos compactos, de lujo, deportivos e importados.

Fuentes de información y suposiciones: rendimiento de las clases del autotransporte

Pasajeros:		
Automóvil	Automóvil nuevo (Informe del PREMCE para automóviles nuevos). CONAE*	Se "castiga" el rendimiento de los automóviles nuevos a partir de 1985 y hasta 1994. Antes de 1985 (CONAE 1992)
Autobús A.P.F.:(Diesel)	AMIA (1992), CONAE*	
Autobús urbano (Diesel)	CONAE (1990), PICCA (1992).	Se mantiene constante a lo largo del periodo.

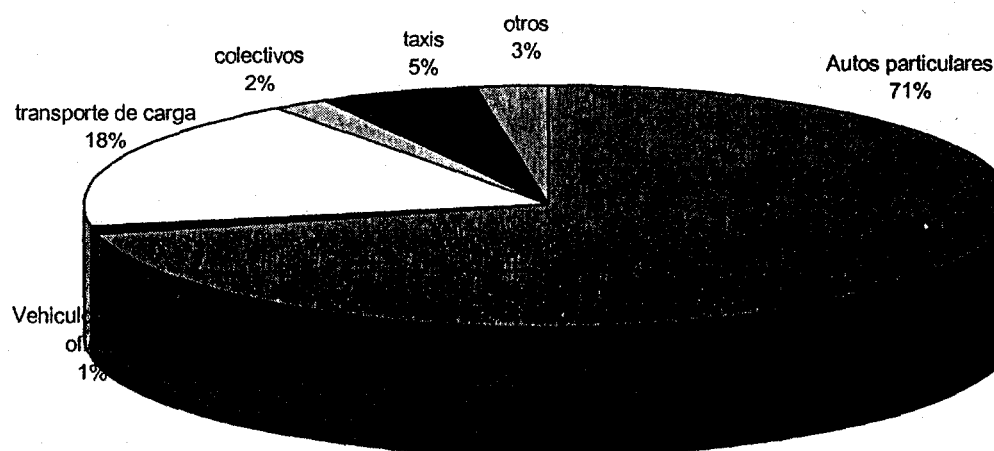
* Estudios realizados por CONAE (1995)

Participación de servicios de Transportación de Pasaje

TIPO DE TRANSPORTE	UNIDADES DE TRANSPORTE DE PASAJE (MILES)	USUARIOS DIARIOS (MILLONES)	PARTICIPACIÓN (%)
TAXIS	76.0	1.5	6.5
MINIBUSES	27.9	3.5	15.0
COMBIES	36.8	1.8	7.7
AUTOBUSES CONCESIONADOS	11.9	5.5	23.6
RUTA 100 (ó EX RUTA -100)	2.4	1.1	4.7
TROLEBUS Y TRANVIAS	0.4	0.5	2.1
VEHICULOS PARTICULARES	2,400.0	4.4	18.9
METRO	8 LINEAS	5.0	21.5

Fuente: General Motors de México, 1992.

Distribución del parque en circulación en el Valle de México



Fuente : DDF, 1996

III. Gases de efecto invernadero y el Sector Transporte

III.1 Metodología para el cálculo de emisiones de gases contaminantes debidas al sector transporte

$$\text{Emisión} = S (\text{FE abc} * \text{Actividad abc})$$

donde

FE : Factor de Emisión

Actividad : Cantidad de energía consumida para una fuente móvil dada

a : Tipo de combustible (diesel, gasolina, turbosina, etc.)

b : Tipo de vehículo (automóvil, autobuses, camiones, etc.)

c : control de emisiones (magna sin, nova, diesel sin, etc.)

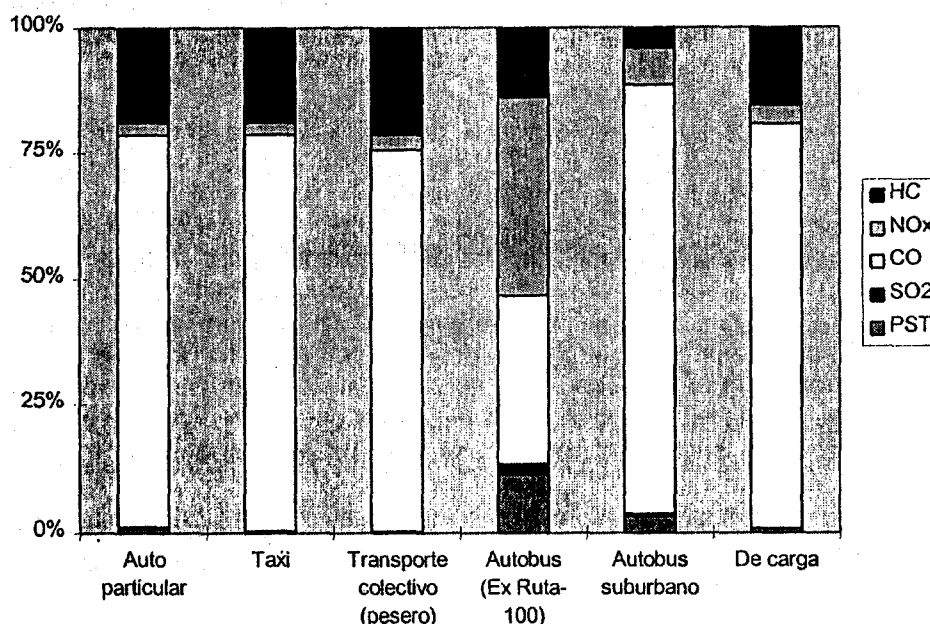
Basándose en esta fórmula se siguen los siguientes pasos para realizar una estimación de las emisiones:

1. Determinar la cantidad de energía consumida por tipo de combustible.
2. Para cada tipo de combustible (gasolina y diesel) determinar la cantidad de energía consumida por cada tipo de vehículo
3. Multiplicar la cantidad de energía consumida por cada categoría de vehículo o medida de control de emisión, por el factor de emisión para tal categoría.

Las emisiones se sumarán a través de todas las categorías y tipos de vehículos para determinar el total de emisiones de fuentes móviles.

III.2 Resultados

Emisiones por tipo de transporte en la ZMCM



IV. Las propuestas para restablecer este equilibrio son:

1. Desarrollo y uso de nuevos combustibles

La energía utilizada en el sector transporte tiene su origen en los hidrocarburos, es decir, las gasolinas y el diesel se han constituido en los combustibles más utilizados en el sector, debido a que son la principal fuente de energía del autotransporte de pasajeros y carga; su consumo entre 1980 y 1995³ equivale a poco más del 90% del utilizado en el transporte a nivel nacional.

Desde 1989, Pemex oxigena toda la gasolina distribuida en el Valle de México con una adición del 5% por volumen del compuesto químico éter-metil-terbutílico (MTBE)⁴. En septiembre de 1990, Pemex puso a la venta en el territorio nacional la gasolina sin plomo denominada *magna-sin* con características de octanaje y calidad que satisfacen todas las especificaciones de las gasolinas sin plomo del mercado estadounidense.

³ SEMIP, 1994.

⁴ De acuerdo a estudios realizados por el Instituto Mexicano del Petróleo el uso de gasolinas oxigenadas reduce en 15% las emisiones de monóxido de carbono y en 11% de hidrocarburos, sin incrementar la generación de los óxidos de nitrógeno, precursores del ozono

El uso de esta gasolina se hizo obligatorio para vehículos automotores con convertidor catalítico — dispositivo que transforma en agua y bióxido de carbono los gases nocivos de los escapes — lo que contribuye a combatir la contaminación.

Al salir a la venta la gasolina magna-sin, Pemex redujo en 50% el contenido de plomo en la gasolina nova e inició el suministro de gasóleo industrial en sustitución de combustóleo que se consume en el Valle de México.

Las gasolinas son una mezcla de hidrocarburos derivados del petróleo y en términos generales, están compuestas por parafinas, isoparafinas, aromáticos, naftenos y olefinas. Por sus emisiones contaminantes, los principales parámetros de la gasolina son los aromáticos y las olefinas, ya que son los hidrocarburos reactivos y precursores de ozono. También son de interés el benceno — hidrocarburo aromático cancerígeno — y la presión de vapor Reid, que determina la facilidad con que la gasolina se evapora.

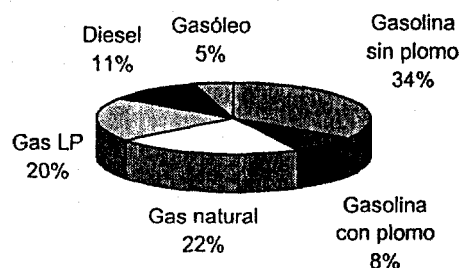
En 1992, en las gasolinas magna-sin y nova se limitó el contenido de hidrocarburos reactivos, de igual forma en 1993 se puso a la venta el diesel-sin para unidades de autotransporte de carga y pasajeros, con un contenido de azufre 10 veces inferior.

De acuerdo con estudios elaborados por Pemex, se estimó que para finales de 1995 el 50% de los vehículos que circulan en el área metropolitana estarán consumiendo magna-sin y aproximadamente el 25% diesel-sin, las cuales no resultan tan nocivas para el medio ambiente.

Sin embargo, el cambio de la formulación de combustibles fósiles no es suficiente, el gas natural representa una alternativa atractiva, desde el punto de vista económico y ecológico, para sustituir las gasolinas y reducir sustancialmente las emisiones de los vehículos en circulación.

En México el uso del gas natural como combustibles se inició en 1992, con un programa piloto en el cual se abastecían 45 mil vehículos de uso intensivo. El gas natural presenta bastantes ventajas con respecto a otros combustibles, ya que al quemarse en el motor de un auto este elimina totalmente las emisiones evaporativas de hidrocarburos; reduce en más del 92% la emisión de hidrocarburos del escape; disminuye en un 80% la emisión de monóxido de carbono; reduce en más de un 65% la emisión de óxido de nitrógeno; elimina la generación de humos y partículas; reduce al mínimo la generación de bióxido de azufre. Y como esto produce 50% menos de gases precursores de ozono que la gasolina⁵. No obstante, el uso del gas natural sólo podrá hacerse masivo cuando exista toda una infraestructura que permita asegurar su abasto.

Gráfica 2. Consumo de combustibles en el Valle de México



Fuente : Informe de operaciones. Pemex, 1993

Otra alternativa que se presenta es el uso de gas LP, el 5.4% del consumo de energéticos en la Ciudad de México corresponde al gas L.P, pero debido a su alto contenido de butadieno y de butano se descarta como una buena alternativa.

Con respecto al auto eléctrico, está siendo desarrollado como respuesta a preocupaciones de carácter ambiental y legislativo. El Consejo de Recursos del Aire (CARB: California Air Resources Board) de Estados Unidos tiene como meta obligar a los fabricantes de automóviles a comercializar, a partir de 1998, un mínimo del 2% de vehículos con emisión cero, nivel que ira en aumento hasta alcanzar una cifra del 10% en el 2003. El vehículo eléctrico presenta varias desventajas, primero es que su costo en promedio es 70% mayor que la de un vehículo convencional, al igual que el costo de la batería resulta alto y su perímetro de acción es limitado. Otra variable importante es el hecho de que para cargar la batería se requiere de la generación previa de electricidad generada por medio de combustibles fósiles, de tal forma que se estaría dañando de forma indirecta al medio ambiente.

2. Ahorro y uso eficiente de la energía

Los esfuerzos para prevenir y controlar la contaminación, en el país se inicia en 1971, cuando se promulga la Ley General para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, la cual contiene 34 artículos y tiene como propósitos fundamentales regular el transporte y la composición de los combustibles⁶. Los esfuerzos por regular al ambiente continuaron cuando, en 1982, fue promulgada una nueva Ley (Ley Federal de Protección al Ambiente de 1982) la cual incluye el término de "protección, entendido como el mejoramiento, conservación y restauración del ambiente. Junto con esta ley se publican varios ordenamientos como lo fue el que estableció un rendimiento mínimo para automóviles⁷, llamado oficialmente Promedio de Rendimiento Mínimo de Combustibles por Empresa, de especial importancia para conocer los rendimientos del sector de automóviles⁸.

El decreto era novedoso para México, pero en EUA los esfuerzos para regular la eficiencia de automotores había empezado desde principios de los 70's⁹ como medida para minimizar los efectos de la primera crisis energética mundial.

Esto obligo a las empresas automotrices ha mejorar su eficiencia energética, aumentando el número de kilómetros por litros consumidos en modelos mas recientes, también se debió a la incorporación de tecnología como el "fuel injection" que aumenta la eficiencia del motor de combustión interna y del incremento de la participación en la ventas totales del automóvil Nissan Popular (Tsuru) que tiene el mayor rendimiento en el mercado (17 km./l). La rapidez en el incremento de la eficiencia no es mayor debido a la importancia relativa de las ventas de los autos compactos con respecto a los autos de lujo, deportivos e importados que algunas veces no resultan tan eficientes como otros modelos.

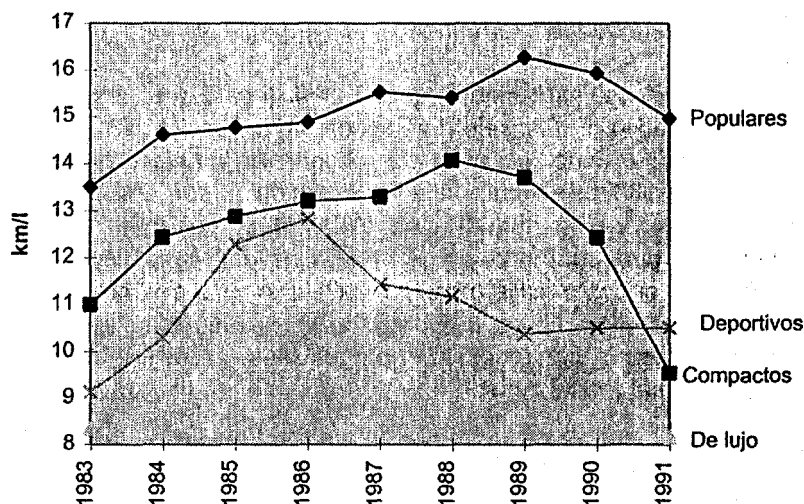
⁶ Alanis, Gustavo. 1995.

⁷ Alvarez Garibay, J. 1995.

⁸ Diario Oficial de la Federación, 21 de diciembre de 1981.

⁹ Socolow, R.H. 1977.

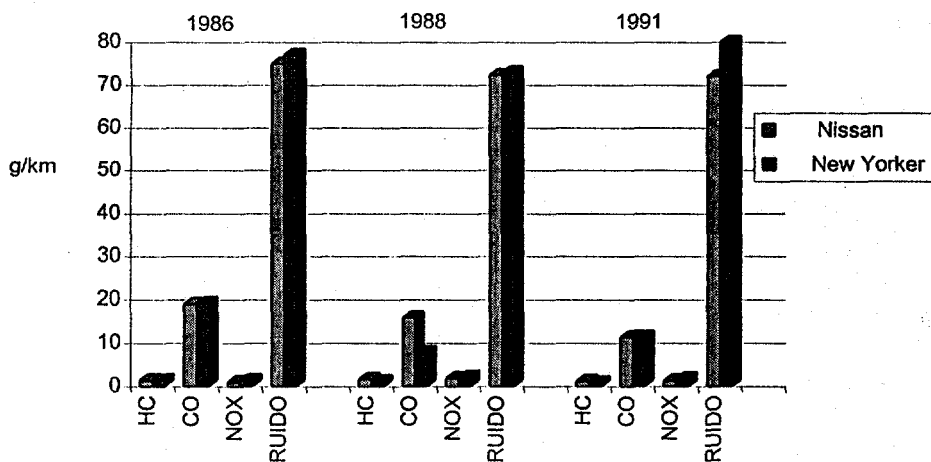
Gráfica 3. Promedio pesado de la eficiencia por tipo de vehículo



Fuente : Diario oficial de la Nación, varios años.

De igual forma como aumenta la eficiencia en los motores de combustión interna también disminuye la emisión de contaminantes, por ejemplo a continuación se presenta los datos del automóvil representativo por su alta eficiencia (popular -Tsuru) contra un vehículo de lujo que consume más gasolina.

Gráfica 4. Emisión de diferentes contaminantes para dos tipos de vehículos



Fuente : Diario Oficial de la Nación, varios años

3. Eliminación gradual de los combustibles fósiles

En México, dentro del sector transporte resalta el uso de derivados de petróleo, es decir, gasolina, diesel, gas licuado, combustóleo y turbosina, representando más del 90% del consumo total. La demanda de energía del transporte ha sido en promedio de 1986 a 1994 de 131 1596 TJ, que representan el 29% del consumo final nacional de energía.

El punto de partida sería gestar una nueva cultura del transporte, donde se trate de desalentar el uso del vehículo particular, por medio de:

-Iniciar un proceso de sustitución de autobuses por microbuses, ya que estos basan su consumo en diesel y su capacidad es mayor.

-Promover el uso de otros medios de transporte tal como el Metro, el uso de trolebuses, etc.

-Crear mecanismos que permitan y alienten el uso de nuevas tecnologías, tal como el automóvil eléctrico.

-Diseñar políticas que permitan una renovación en la flota vehicular

Distribución modal de los viajes en el Valle de México

Modo de transporte	Porcentaje
Autobuses (antes Ruta-100)	8.1
STC- Metro	10.5
STE (trolebús y tren ligero)	1.0
Colectivos	50.9
Taxis	5.9
Autobuses urbanos	7.8
Autos particulares	15.8
Total	100.0

Fuente : INEGI, 1995

Conclusiones

- En México, dentro del sector transporte resalta el uso de derivados de petróleo, es decir, gasolina, diesel, gas licuado, combustóleo y turbosina. Dentro de éste, la infraestructura de cada modo de transporte influye en el consumo energético.
- Por lo tanto la demanda de energía en el sector transporte se traduce en consumo de combustibles fósiles, ya que más del 90% del total se deriva de hidrocarburos. Este consumo no se modificara ni en el corto ni mediano plazo ya que los instrumentos de política energética nacional no alienta el uso de nuevas tecnologías y combustibles alternativos.
- La política de precios de combustibles para el sector transporte se orienta al uso de gasolina y diesel en detrimento de un posible uso de gas natural comprimido, jugando un papel importante en el esquema impositivo del gobierno federal. Esta situación se ha reforzado dado que el gobierno ha preferido mejorar y reformular dichos combustibles dejando de lado la posibilidad de utilizar otro tipo de vehículos.
- Por estas razones las gasolinas y el diesel mantendrán durante un largo periodo su hegemonía como los combustibles base en el sector transporte, siendo una opción viable el mejorar la eficiencia del parque vehicular y tomar medidas que mejoren la vialidad tanto en las ciudades como en las carreteras mejorando la infraestructura y coordinación adecuada entre semáforos.

USO DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

G. Robles Morales *, C. Sheinbaum Pardo **

*Centro de Instrumentos, UNAM, A.P. 70-186, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.

Tel 622 8654, fax. 622 8620, email. grobles@aleph.cinstrum.unam.mx

**Instituto de Ingeniería, UNAM, A.P. 70-472, Coyoacán, C.P. 04510, México, D.F.

Tel. 622 8132, fax 622 8091, email. csp@pumas.iingen.unam.mx

Resumen

Se realiza un estudio sobre el impacto que tendría la introducción de vehículos eléctricos (VE) en la contaminación ambiental del área metropolitana de la ciudad de México (AMCM) para diferentes escenarios de penetración de esta tecnología y se analiza el costo de los vehículos eléctricos en comparación con su contraparte de gasolina. Se determinaron las emisiones asociadas a un flota compuesta de VE y vehículos con motor de combustión interna (VMCI) y se analizó la reducción que producía en las emisiones de los diferentes contaminantes considerados en el periodo 1995-2010. Se encontró que la introducción de VE podría reducir de manera importante las emisiones de monóxido de carbono, metano y dióxido de carbono y marginalmente las de óxidos de nitrógeno. Se determinó que si los VE son producidos masivamente sus costo total para toda su vida útil sería comparable al correspondiente al de los VMCI.

1. CONTAMINACIÓN EN EL ÁREA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MÉXICO

La contaminación en el área metropolitana de la ciudad de México ha llegado a convertirse en un grave problema para la salud de sus habitantes, ya que se ha demostrado que los contaminantes químicos presentes en el aire pueden provocar o contribuir a enfermedades respiratorias que incluyen bronquitis, enfisema, fibrosis pulmonar y asma, entre otras. Los principales usuarios de la cuenca atmosférica del AMCM son los siguientes sectores: industria, servicios, transporte y fuentes naturales (vegetación y suelos). De todos ellos, el sector transporte es el más grande emisor de contaminantes. Según el Inventario de Emisiones del AMCM 1994¹, el transporte aportó 3 026 645 toneladas de contaminantes que representan el 75% del total. Estos contaminantes son arrojados por alrededor de 3 millones de vehículos automotores en circulación que consumieron unos 20 millones de litros equivalentes diarios de gasolina².

En este trabajo se realiza un estudio sobre el impacto que tendría la sustitución de los (VMCI) (únicamente autos que usan gasolina) por vehículos eléctricos (VE), con el fin de aportar una solución al grave problema de contaminación atmosférica que sufre actualmente el AMCM. Nos limitamos a la sustitución de vehículos a gasolina porque ellos son responsables de la mayor parte de las emisiones contaminantes, por lo que, si se reducen sus

emisiones significativamente, entonces también se reducirá de manera importante la contaminación atmosférica total.

2. EMISIONES DE LOS VE Y DE LOS VMCI

Las emisiones asociadas a los VE son la que producen las centrales eléctricas, de las cuales se toman en cuenta en este trabajo las siguientes: CH₄, NO_x, CO y CO₂. Estas emisiones dependen del tipo de central, del combustible empleado, del tipo de control de emisiones que posea la central, de la eficiencia de conversión de la misma, de la eficiencia de distribución de electricidad y de la eficiencia en el uso de la electricidad por parte del VE. Las emisiones unitarias (g/km) de los VE se calculan con ayuda de los índices de emisión de las centrales eléctricas, según el tipo de combustible empleado, y de la participación de cada tipo de central en la generación total de electricidad:

$$IE_{PROM} = \sum_i (IE_i)(F_i) \quad (1)$$

donde:

IE_i: índice de emisión de la central por tipo de combustible empleado (GJ).

F_i: contribución de la central de tipo *i* a la generación total, como fracción.

i: combustible empleado: carbón, combustóleo, gas...

El índice de emisión promedio en g/GJ, se transforma a g/km con ayuda de la eficiencia promedio de generación, η_G , la eficiencia de transmisión, η_T , y de la eficiencia con que usa la electricidad el VE, η_{VE} . La eficiencia del VE se da en km/kWh_{SAL}, donde kWh_{SAL} designa a la energía consumida por el VE tal como se mide en la toma doméstica. Los índices de emisión de las centrales eléctricas se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Índices de emisión de las centrales eléctricas².

	CO ₂ (kg C/GJ)	CO (kg/GJ)	NO _x (kg/GJ)	CH ₄ (kg/GJ)
Carbón	26.2	0.014	0.857	0.0006
Petróleo	21.1	0.015	0.201	0.0007
Gas	15.3	0.032	0.188	0.0059

Las emisiones de los VMCI dependen en gran medida de las características de la flota que circula en el AMCM, entre las que destacan: número de vehículos, distancia recorrida diaria, edad del vehículo, tipo de control de emisiones del vehículo, eficiencia en el uso de combustible, calidad del combustible empleado, fuentes de emisiones consideradas (de escape, evaporativas...), velocidad promedio de circulación. Los contaminantes considerados son los mismo que en el caso de los VE, es decir, CO, CH₄, CO₂ y NO_x.

En cualquier año, la flota de VMCI está compuesta por una mezcla de autos nuevos, autos de un año de uso, de dos años... La edad máxima considerada es de 15 años (los vehículos de 16 años y más se incluyen en los de 15 años). Se determina un índice de emisión promedio (g/km) para toda la flota multiplicando los índices de emisión que corresponde a cada modelo según su edad, por la fracción con que contribuye ese modelo en el total de la flota y sumando para todos los modelos:

$$IE_{FLOTA} = \sum_i (IE_i)(F_i) \quad (2)$$

donde:

IE_{FLOTA} : índice de emisión promedio de la flota

IE_i : índice de emisión de los autos de edad i

F_i : contribución de los autos con edad i en la flota, como fracción

i : edad del vehículo ($i=1, 15$ años)

Este índice de emisión se determina para cada contaminante considerado. Los índices de emisión por edades que se emplearon en el cálculo son los que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Índices de emisión de los VMCI por edades.

EDAD	CO^3	HC^3	NO_X^4	CO_2^4	CH_4^3
80 y anteriores	87.06	5.58	2.14	108.80	0.2790
81-85	60.54	2.37	1.97	108.80	0.1185
86-90	21.52	1.55	1.59	108.80	0.0775
91-94	3.12	0.67	0.52	69.27	0.0400
95 y posteriores	2.11	0.25	0.50	54.54	0.0125

3. EMISIONES DE LA FLOTA COMPUESTA 1995-2010

Se hicieron estimaciones sobre el crecimiento de la flota vehicular en el AMCM y el aumento de la generación de electricidad con el objeto de determinar los índices de emisión promedio (g/km) para los VMCI y los VE para el periodo 1995-2010. También se supusieron escenarios de penetración de los VE en la flota vehicular que circula en el AMCM, que van desde una participación nula hasta una sustitución completa de los VMCI. Suponiendo que los VE representan desde un 0% hasta un 100% del total de la flota vehicular en el AMCM y usando sus respectivos índices de emisión promedio para el

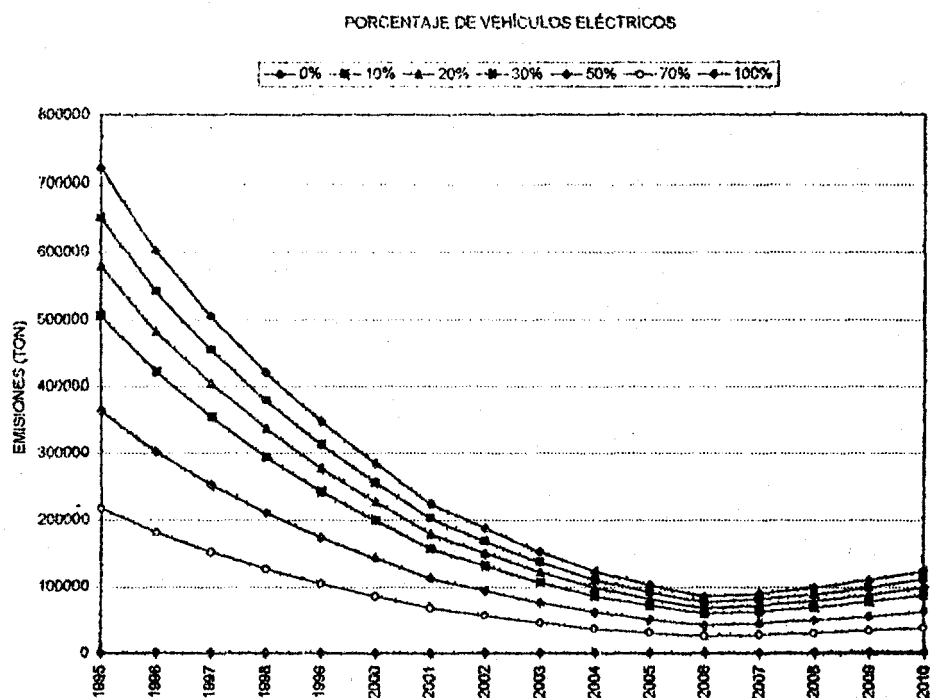


Fig. 1. Emisiones totales de CO de la flota vehicular compuesta, 1995-2010.

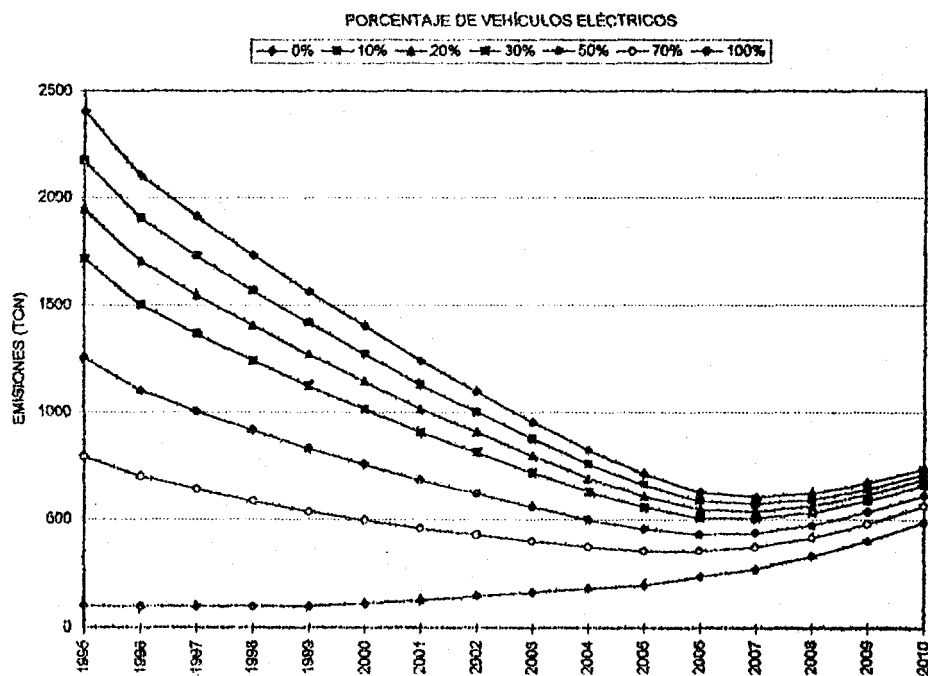


Fig. 2. Emisiones totales de CH₄ de la flota vehicular compuesta, 1995-2010.

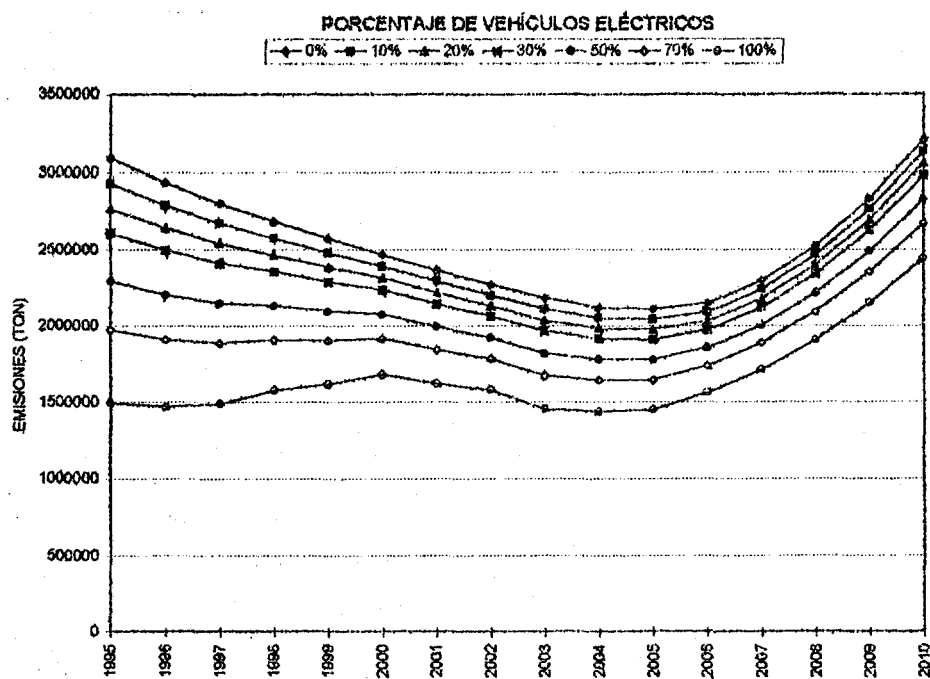


Fig. 3. Emisiones totales de CO₂ de la flota vehicular compuesta, 1995-2010.

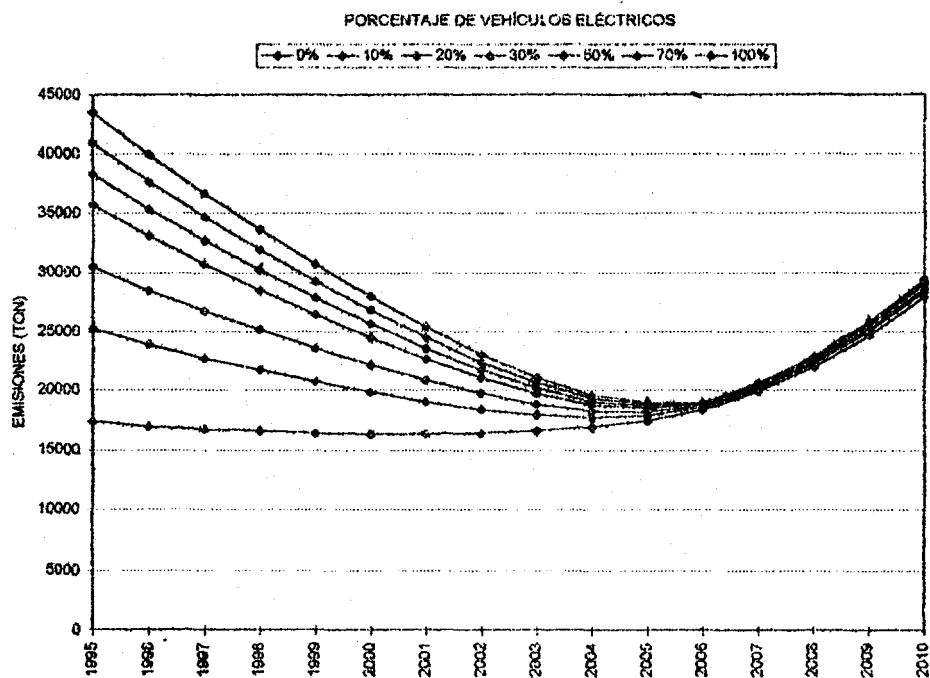


Fig. 4. Emisiones totales de NO_x de la flota vehicular compuesta, 1995-2010.

periodo 1995-2010, se obtienen los índices de emisión promedio de la flota compuesta multiplicando la participación porcentual de cada tipo de vehículo en la flota por su correspondiente índice de emisión y sumando ambos productos. Lo anterior se hace para cada contaminante considerado. En las figuras 1-4, se pueden apreciar la variación de las emisiones de los distintos contaminantes.

Las emisiones unitarias de CO asociadas a los VE son muy inferiores a las de los VMCI y, por tanto, la introducción de VE en la flota vehicular del AMCM las reduciría significativamente. Si los VE remplazaran en su totalidad a los VMCI, las emisiones totales de CO serían en todo momento al menos un 98% inferiores a las que corresponderían a una flota de VMCI (fig. 1). En el caso del CH₄, la diferencia entre las emisiones unitarias de ambos tipos de vehículos no es tan pronunciada por lo que la reducción en las emisiones unitarias y en las totales debida a la introducción de VE, no es tan grande como lo fue para el CO, pero sí es significativa. Una flota compuesta sólo por VE tendría emisiones de CH₄ un 73% menores a las correspondientes a la flota de VMCI en el 2005 y un 56% en el 2010 (fig. 2).

La reducción de las emisiones unitarias y totales para el caso del CO₂, son menores que las obtenidas para el CH₄ y el CO, pero todavía son importantes. Las emisiones de CO₂ de una flota de VE serían un 37% menores que las correspondientes a una flota de VMCI en el año 2005. Para el año 2010 esta reducción sería del 32% (fig. 3). De todas las emisiones consideradas, las de NO_x son las que se verían menos reducidas con la introducción de VE debido a que las emisiones unitarias de los VMCI son muy parecidas a las de los VE. Las emisiones totales de NO_x tienden a aumentar a partir del año 2006 y son prácticamente las mismas con o sin VE en la flota (fig. 4).

4. COSTOS

Se hizo una comparación entre los costos totales de los VE y de los VMCI, para toda su vida útil, que se estima sea de 15 años para ambos. La comparación se hace trayendo todos los costos a valor presente (VP). Sólo se consideran VE impulsados por baterías de Plomo-ácido. El costo del VE es aquel que resulta de su producción a escala reducida, como ocurre actualmente. Este costo varía de \$15 000-\$40 000 USD⁵. Se toma un costo de 33995 USD (Sedan Force de Solectria o EV₁ de General Motors), a un tipo de cambio de \$8 por dólar que resulta en \$271 960. Este costo ya incluye el remplazo de baterías bajo el esquema de arrendamiento que se utiliza hoy día en el comercio de estos vehículos. Se hacen la siguientes consideraciones: el costo de mantenimiento del VE se estima que sea un 50-75% del costo promedio del de un VMCI⁶, se toma un 75% que representa el valor más desfavorable; bajo el rubro de costo de inspección se incluye el costo de la verificación de emisiones de contaminantes del auto; la distancia recorrida en promedio cada día es de 35 km que totaliza 12 775 km al año; el rendimiento del VE es de 6 km por kWh medidos en la toma doméstica; el costo de las baterías actualmente oscila entre \$70 y \$100 USD por kWh⁷, se supone de \$100 USD/kWh y se considera que un banco de baterías que almacene

16 kWh de energía será suficiente para impulsar un VE y costará entonces \$1600 USD (aproximadamente \$13 000); la vida útil de las baterías⁷ es de 3 años. Bajo este esquema se encontró que el VE tendrá un costo aproximadamente dos veces mayor que el VMCI.

Por otro lado, si se supone que el precio inicial del VE es el mismo que el del VMCI, asumiendo que se produce masivamente y todos los demás costos son los mismos considerados anteriormente, se determinó que el costo del VE es aproximadamente igual al del VMCI debido a que el alto costo que implica el remplazo de sus baterías se ve compensado por su menor costo de operación y mantenimiento. Bajo estas condiciones, el VE resulta una opción atractiva para remplazar al VMCI.

5. CONCLUSIONES

La introducción de VE en lugar de VMCI en la flota vehicular en el AMCM contribuiría a mejorar significativamente la calidad del aire. Una sustitución total de VMCI por VE eliminaría prácticamente las emisiones de CO provenientes de los autos a gasolina, al rebajarlas un 98% en los años 2005 y 2010, mientras que las de CH₄ se reducirían en 73% en el año 2005 y un 57% en el 2010. Por otra parte, las emisiones de CO₂ disminuirían un 37% en el 2005 y un 32% en el 2010. Sin embargo, las correspondientes a los NO_x sólo se verían disminuidas un escaso 2% para los años 2005 y 2010. Como se desprende de las cifras anteriores, los vehículos eléctricos tienen el potencial de reducir grandemente la contaminación ambiental en el AMCM así como mitigar las emisiones de CO₂ con lo que ayudarían a aliviar el problema de calentamiento global del planeta.

Por otra parte, los VE podrían competir en costos con los VMCI siempre y en cuando sean producidos masivamente, por lo que se deben diseñar políticas que promuevan el uso de los VE así como dar incentivos fiscales a los fabricantes y usuarios de VE.

6. REFERENCIAS

1. Programa para mejorar la calidad del aire en el Valle de México, Departamento del Distrito Federal et al, 1995, p74.
2. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual, IPCC, 1995, p1.39.
3. Verificación vehicular, Departamento del Distrito Federal, 1995, p4.
4. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Reference Manual, IPCC, 1995, p1.64.
5. Frequently Questions Asked About Electric Vehicles, CALSTART, Inc., 1996, p2.
6. Electric Vehicles: Performance, Life-Cycle Costs, Emissions and Recharging Requirements, De Luchi, M. A., Wang, Q., Sperling, D., reprint 7, 1989, The University of California Transportation Center, p265.
7. The Keys to the Car: Electric and Hydrogen Vehicles for the 21st Century, MacKenzie, J.J., World, Resources Institute, 1994, p45.