

CONF-9511314--

**16th national seminar on the rational use of energy and exposition of
equipment and services. Transactions. [Selected Papers]**



**ASOCIACIÓN DE TÉCNICOS Y PROFESIONISTAS
EN APLICACIÓN ENERGÉTICA, A.C.**

**XVI SEMINARIO NACIONAL SOBRE EL USO
RACIONAL DE LA ENERGÍA Y EXPOSICIÓN
DE EQUIPOS Y SERVICIOS**

MEMORIA TÉCNICA

*México, D.F.,
27 de Noviembre al 1° de Diciembre
1995*



DISCLAIMER

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

AHORRO DE ENERGIA BASADO EN LA REDUCCION DE PERDIDAS EN LA TRANSMISION Y REDISTRIBUCION DE LA GENERACION AL AMPLIAR LAS CAPACIDADES DE TRANSMISION POR MEDIO DEL EMPLEO DE LA TRANSMISION EN CORRIENTE DIRECTA.

**ING. EDUARDO MERAZ ATECA
ING. JOSE PAZ ALANIS RODRIGUEZ
ING. HUMBERTO SALINAS BARRERA
M.C. LUIS DAVID ARECHIGA RODRIGUEZ
M.C. JUAN JOSE GUERRERO GARZA**

**SUBDIRECCION DE TRANSMISION, TRANSFORMACION Y CONTROL
CENTRO NACIONAL DE CONTROL DE ENERGIA
AREA DE CONTROL NORESTE
COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

RESUMEN.-

El presente trabajo propone el empleo de la tecnología de transmisión en corriente directa, que proporciona un ahorro de pérdidas del orden del 50 % al transmitir la misma cantidad de potencia que la línea energizada en corriente alterna, así como el contar con una mayor capacidad de transmisión, dado que la limitante en la línea trabajando en corriente directa está dada por su capacidad térmica. El aspecto del costo de las estaciones terminales en corriente directa es elevado comparado con uno de corriente alterna, por lo que debe compensarse con los beneficios de la transmisión.

La propuesta del proyecto es como primera alternativa, emplear las líneas de 400 KV de Carbón II-Lampazos-Escobedo como una sola línea en corriente directa, reduciendo con esto alrededor de un 12% las pérdidas existentes e incrementando la capacidad de transmisión existente desde las Centrales Carboeléctricas de Río Escondido y Carbón II. Para 1995 se contará con 2600 MW de generación y cuatro circuitos de 400 KV prácticamente para transmitir energía a la Zona Metropolitana de Monterrey, llegando a este lugar aproximadamente 1500 MW. Se propone transmitir 750 MW por la línea en corriente directa en forma bipolar. La inversión consistirá únicamente en las estaciones convertidoras, las cuales para una potencia de 750 MW será del orden de 103 Mdólares, este costo incluye el equipo de switcheo de alterna, filtros para armónicas, bancos de Vars para compensar a factor de potencia unitario, transformadores, convertidores, electrodos de tierra, comunicaciones, edificios, preparación del sitio, costos de administración del proyecto y de los estudios preliminares y de ingeniería. Estos costos se pueden reducir en función de los estudios a detalle, como puede ser; Se tiene capacidad de vars en las unidades generadoras, si se transmite en un solo sentido siempre, emplear diodos en vez de tiristores.

Para las condiciones planteadas, se tiene una disminución de 10 MW, se obtiene un ahorro de 23.82 Mdólares, se obtiene además una mayor capacidad de transmisión disponible del orden de 500 MW, adicionalmente se recupera equipo terminal de alterna de las líneas operando en corriente directa, así como el que no se tendrán restricciones de generación por indisponibilidades de las líneas de alterna, la confiabilidad ganada no es evaluada pero será otro beneficio.

La otra alternativa propuesta del proyecto de empleo de líneas en corriente directa consiste en modificar o emplear el enlace que se construirá desde la C.T. de Río Escondido al Area

Norte y que operará en paralelo con la red de alterna. Este proyecto proporciona los beneficios de ahorro de pérdidas de alrededor de 20 MW, se tiene también el aumento de capacidad efectiva de transmisión hacia el Area Norte, debido a que se contará con un medio de potencia controlado, el cual facilita las funciones de despacho y de redistribución de los flujos de potencia en la red de alterna. Este enlace se propone de 500 MW, operando en forma bipolar al menos en 400 KV y llegando hasta la Zona de Chihuahua, permitiendo además redespachar unidades en el Area Norte al contar con una mayor capacidad de transmisión efectiva. El ahorro por redespacho puede ser significativo, adicionalmente este enlace liberará capacidad de transmisión de las Centrales Carboeléctricas hacia la Zona de Monterrey.

No se profundiza en este trabajo sobre las ventajas en cuanto al comportamiento dinámico del sistema eléctrico al operar estos enlaces en corriente directa, pero no son menos importantes ya que pueden aportar grandes beneficios al sistema durante condiciones de disturbio o emergencia.

1.- INTRODUCCION

El crecimiento del sector eléctrico se ha incrementado notablemente en los últimos años presentando el reto de suplir la energía a un menor costo y con un mejor aprovechamiento de los recursos energéticos y de su propia infraestructura. En la gran mayoría de los países las plantas generadoras de energía se encuentran alejadas de los grandes centros de consumo, lo cual lleva a tener líneas de transmisión largas y con la encomienda de transportar grandes bloques de energía. En donde el incremento de los niveles de voltaje no siempre es posible aumentar y con distancias muy largas de transmisión es donde surge el desarrollo de la transmisión en corriente directa. Aunque se inicia en los cincuentas el crecimiento de esta tecnología se da en los años setentas con el auge de la electrónica de potencia.

Como la generación y utilización de la energía eléctrica se realiza en corriente alterna el sistema de transmisión en corriente directa utiliza en sus dos extremos un sistema de rectificación e inversión en sus puntos de envío y recepción respectivamente. Los procesos de rectificación e inversión son realizados en estaciones convertidoras por medio de dispositivos estáticos como los Tiristores de Potencia. Existen otras aplicaciones de la transmisión de corriente directa (CD) tales como: conexión de dos sistemas asíncronos, inclusive a diferentes frecuencias como ocurre en Japón y la transmisión a cortas distancias subterráneas o bajo el mar.

Una alternativa para incrementar la capacidad de transmisión CA y en donde no existen facilidades para los derechos de vía de nuevos circuitos es la conversión de los sistemas existentes de CA a transmisión en CD resultando en un incremento substancial de la capacidad de transmisión, confiabilidad en el suministro y aumento global en la seguridad

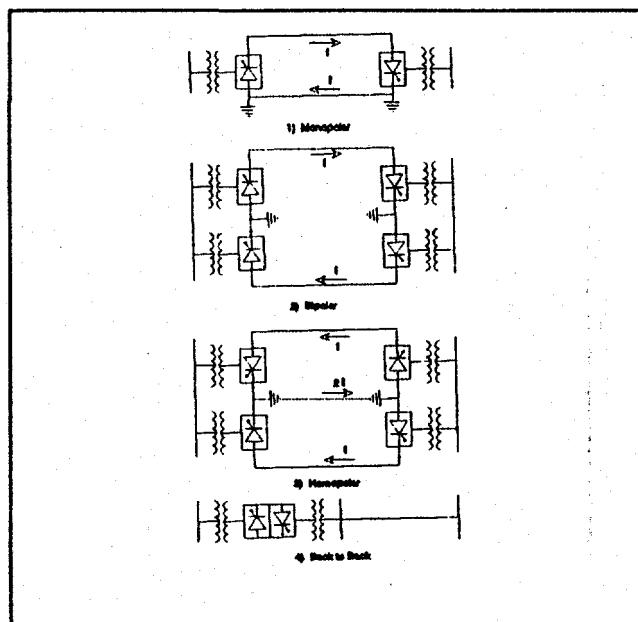
del sistema ante disturbios y contingencias ya que los sistemas de CD pueden regular y controlar de manera eficaz el flujo en los enlaces e interconexiones.

Tipos de Enlaces de CD.

Los enlaces de corriente directa se clasifican en tres tipos:

- Monopolares
- Bipolares
- Homopolares

y dependiendo de donde se encuentran el rectificador y el inversor se clasifican en: enlaces a larga distancia de dos terminales y los "Back to Back" en los cuales el convertidor y el inversor se encuentran en la misma subestación y sirven para enlazar dos sistemas asíncronos.



Tipos de enlaces y configuraciones

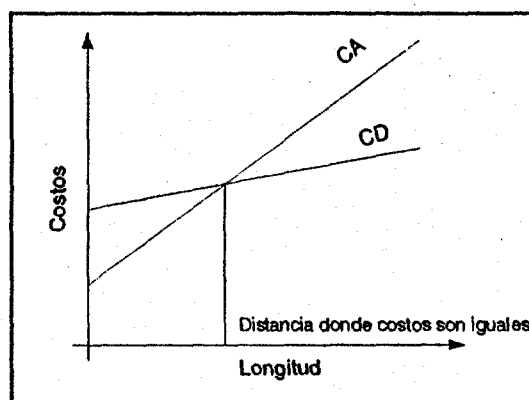
- | | |
|-----------------|---|
| 1) Monopolar | Tiene un solo conductor y usa el retorno por tierra o por mar, en algunas ocasiones se utiliza retorno metálico. |
| 2) Bipolar | Tiene dos conductores uno positivo y otro negativo de los cuales pueden ser dos o más por polaridad. La unión entre las estaciones convertidoras se aterriza en ambos extremos. |
| 3) Homopolar | La polaridad de las estaciones es la misma y es muy semejante al sistema bipolar utiliza el retorno por tierra o retorno metálico. |
| 4) Back-to-Back | Es también llamada estación acoplada y es colocada en la misma subestación y el flujo puede establecerse en ambas direcciones. |

Economía de Transmisión en CD

Los costos de un sistema de CD pueden ser de dos tipos: de inversión y de operación. Los

costos de inversión incluyen: torres de transmisión, conductores, derechos de vía y los equipos convertidores, los de operación son reflejados en el mantenimiento y en la reducción de pérdidas; de un sistema de CA al compararlo con uno de CD las pérdidas se reducen en aproximadamente 3.5 veces ya que no existe el efecto piel y las pérdidas solo se deben al calentamiento del conductor reduciendo considerablemente la generación de estas.

En CD las torres de transmisión son más pequeñas y se utiliza un conductor menos, se reduce también el derecho de vía, los aisladores son similares a los utilizados en CA; lo que encarece a estos sistemas son las estaciones convertidoras, pero estas pueden ser justificadas por el aumento en capacidad de transmisión y la disminución de pérdidas. Cuando se piensa en utilizar el mismo derecho de vía, torres y conductores de CA las adecuaciones son mínimas. En la siguiente figura se muestra los costos de transmisión de CA y CD para una misma distancia.



Variación de Costos de CA vs CD

De la gráfica anterior se muestra que para distancias grandes es conveniente la CD y en el punto donde se igualan costos dependen del nivel de transmisión de CA y el flujo de potencia.

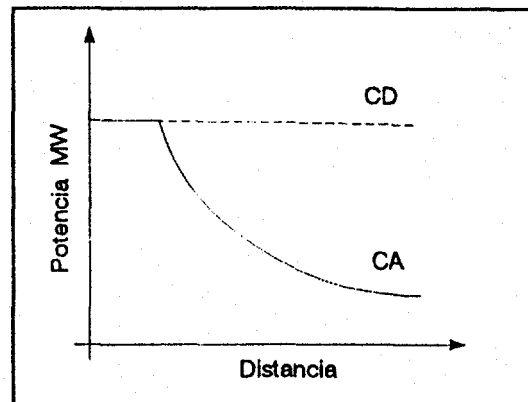
Mejorías Técnicas

En la transmisión de CD se presentan ventajas en el desempeño y operación de las redes eléctricas, entre ellas se menciona:

- Control total del flujo a transmitir.
- Amortiguación y control de oscilaciones de potencia en la red de CA.
- Coordinan los intercambios y evitan transmitir disturbios entre sistemas aislados.
- Aumento en el nivel de confiabilidad y reserva del sistema de transmisión.

La transmisión de potencia entre las líneas de CA depende de la diferencia angular y la caída de tensión entre los dos nodos y en la líneas de CD no son afectadas por estos factores y

la capacidad de transmisión solo depende del límite térmico del conductor; la caída tensión puede ser controlada por los tiristores y además la línea por si misma no requiere de potencia reactiva.



Capacidad de Transmisión vs Distancia

Aunque los avances en CD han sido grandes esto no implica que las redes de CA sean sustituidas por las de CD debido a algunas razones: el control y la protección de los enlaces de CD es muy complejo, su alto costo inicial y los problemas de transformación para realizar una o más "bajadas" en diferentes secciones, sin embargo, sus ventajas ya antes enumeradas los hacen que sean una buena opción para los sistemas modernos de potencia.

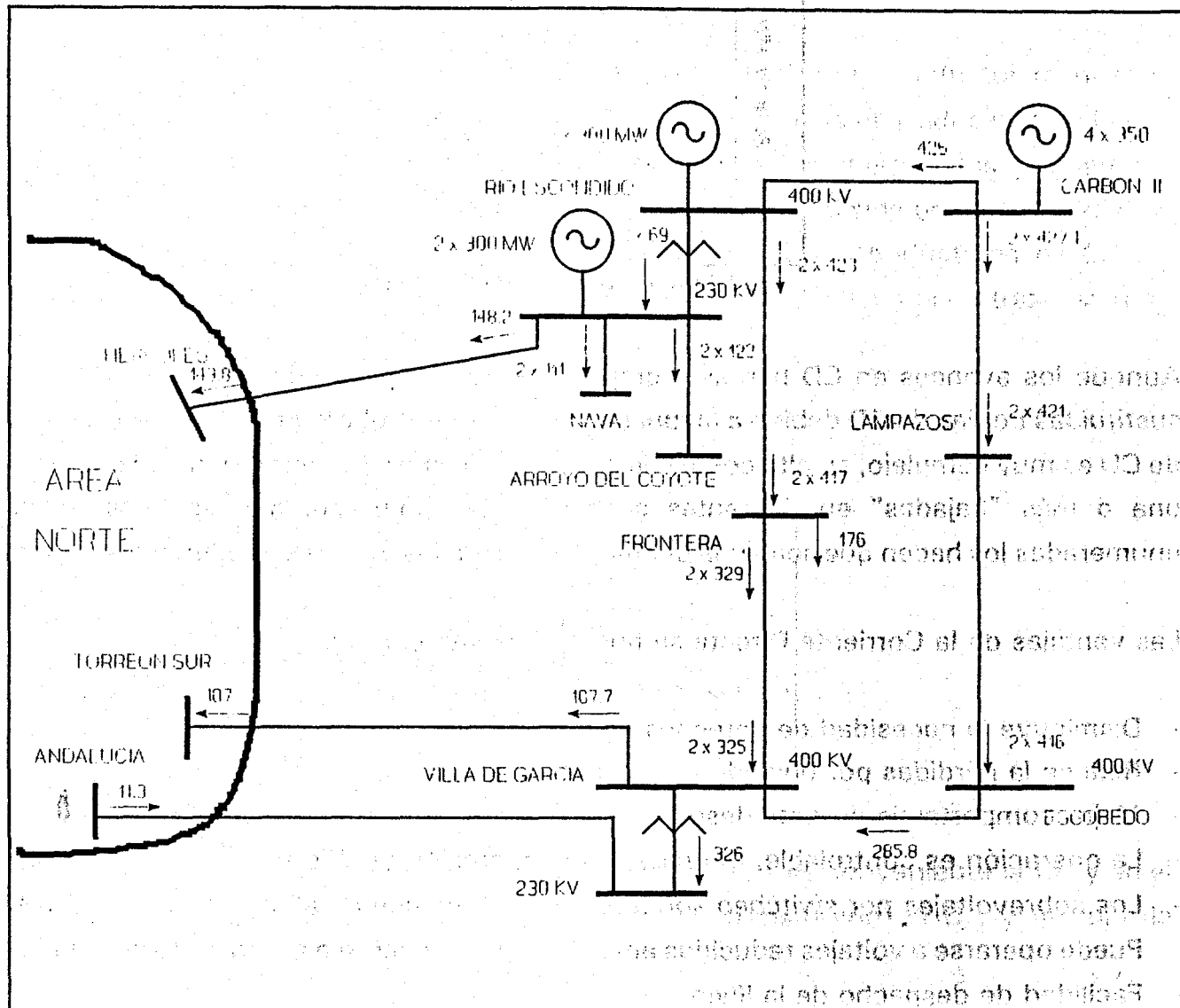
Las ventajas de la Corriente Directa se pueden resumir como :

- Disminuye la necesidad de derechos de vía.
- Reduce la pérdidas por unidad.
- Mejor comportamiento ante descargas.
- La operación es controlable, optimizando la operación del Sistema.
- Los sobrevoltajes por switcheo son mucho menores que en alterna (1.5-1.8 p.u.).
- Puede operarse a voltajes reducidos ante falla de aislamiento o aislamiento contaminado.
- Facilidad de despacho de la línea.
- Al conectarse en paralelo con un sistema de alterna proporciona beneficios substanciales sobre todo en la estabilidad y en aumento de la capacidad de transmisión en la red de alterna.
- Interconexión de dos sistemas de CA donde existe completa libertad operativa de cada uno.
- No se incrementa la potencia de corto circuito.
- Mayor confiabilidad (estadísticamente se tienen bastante menos disparos por descargas).

II.- DESCRIPCION DEL PROYECTO

PROYECTO A: Utilizar la línea actual de Carbón II-Lampazos-Escobedo para transmitir en CORRIENTE DIRECTA.

La red y condiciones existentes para 1997 asociada a las centrales de Río Escondido y carbón II se muestran en la Figura 1.



Este proyecto tiene el objetivo de utilizar la infraestructura de la red de transmisión aprovechando los derechos de vía existentes y el diseño de la línea, requiriéndose únicamente las estaciones convertidoras para ponerlo en operación.

La red asociada, principalmente los enlaces en 400 KV, se consideran operando a su máxima capacidad operativa, quedando capacidad en las líneas únicamente para soportar la salida de algún tramo de línea (reserva para emergencia por contingencia sencilla). Esto significa que si se desea instalar otra unidad generadora, será necesario aumentar la capacidad de transmisión.

Las líneas operando con altos flujos de potencia, producen altas pérdidas, por lo que se propone la alternativa de su operación en Corriente Directa, buscando el beneficio de ahorro en pérdidas, así como el aumento en capacidad de transmisión. Se analiza utilizando la línea existente sin modificaciones y energizándola en 400 KV de directa. En la tabla 1 se muestran las pérdidas globales del Area Noreste para diversas alternativas de empleo de esta línea.

TABLA 1
PERDIDAS TOTALES EN MW. DEL AREA NORESTE

Configuraciones en Corriente Directa

	+ 400 Kv. 6 conductores	400Kv 4 conductores	400 Kv. (*) 6 conductores	+ 500 Kv. (**) 6 conductores
430 mw	80.3	81.2	79.4	79.9
750 mw	72.6	76.4	71.4	70.5
1000 mw	72.9	79.9	71.0	69.7
Capacidad térmica de la línea en Mw	2660	1700	2660	3660

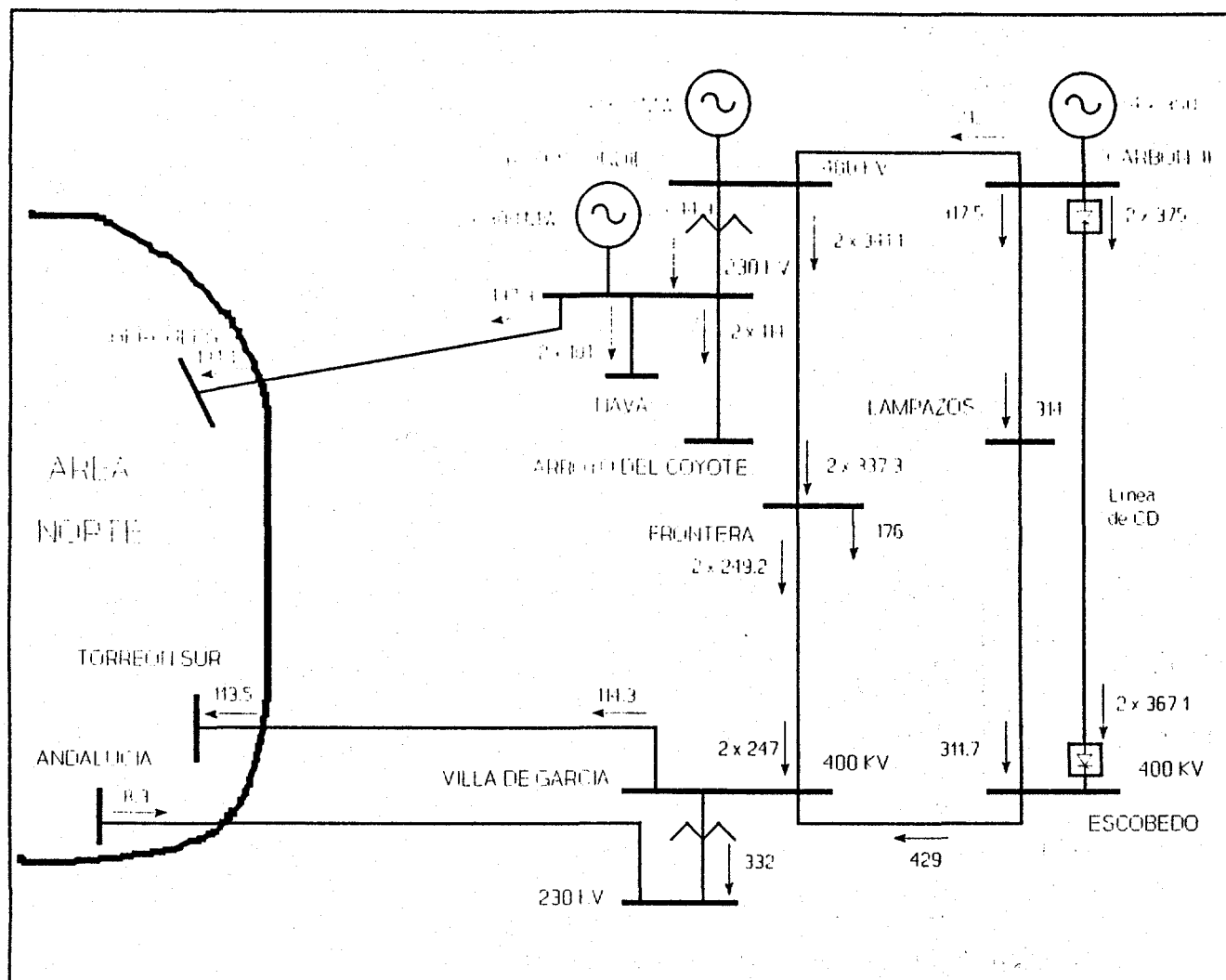
- (*) De los 6 conductores disponibles en la torre (2 por fase) se reacomodan en dos polos de 3 cada uno, y es probable haya necesidad de reforzar los brazos de las estructuras.
- (**) Para operar a este nivel de tensión de directa se requiere sustituir los aisladores.

Las pérdidas del sistema **sin** línea de Corriente Directa para condiciones de 1997 son de 86.4 MW.

Como se muestra en la tabla anterior, la ocupación de los 6 conductores disponibles en la línea proporciona un ahorro adicional de 5 MW de pérdidas, lo cual debe evaluarse contra el costo de modificación de la estructura para soportar 3 conductores en cada polo.

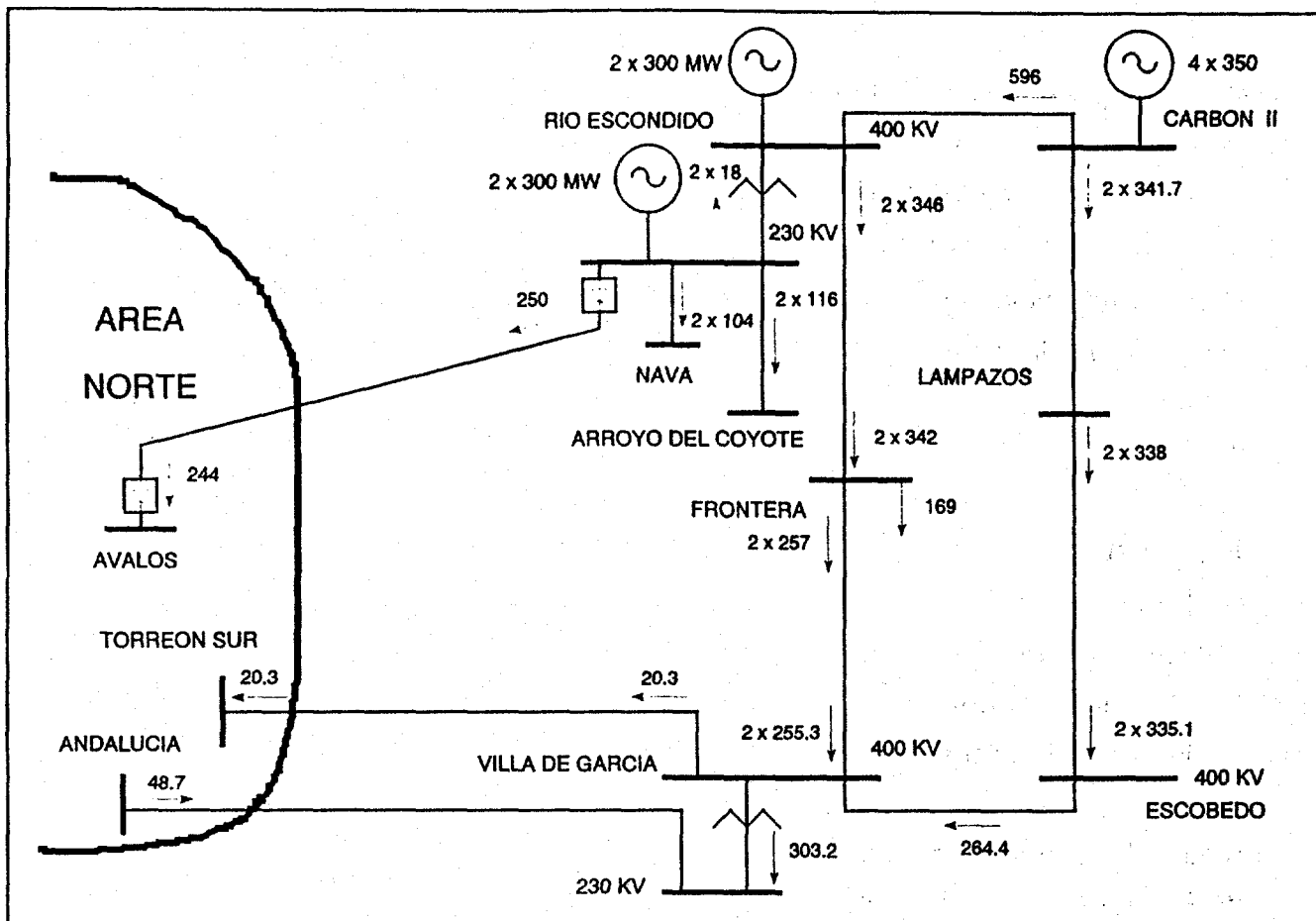
La operación en forma monopolar aunque tiene un mayor ahorro de pérdidas (por emplear 6 conductores) posee desventajas, como es la confiabilidad, y que no es muy recomendable su uso en circunstancias permanentes. Para el caso de operar a mayor voltaje (550 KV), redunda naturalmente en menos pérdidas pero es necesario el cambio de aisladores diseñados para Corriente Directa, lo cual debe ser evaluado también.

En la Figura 2 se muestran las condiciones con la línea de corriente directa operando



PROYECTO B: Modificar la línea proyectada a construirse entre la C.T. Río Escondido y el Area Norte para operar en CORRIENTE DIRECTA.

Se propone trabajar la nueva línea en proyecto entre las Areas Norte y Noreste en Corriente Directa desde la C.T. Río Escondido y la S.E. Avalos en Chihuahua, aproximadamente a 600 Km., se considera que la línea se construye según proyecto (aislada a 400 Kv, aunque puede diseñarse exprofeso para operar en corriente directa). Operando esta línea con 250 MW para el año de 1997, se tiene una disminución en las pérdidas globales de las Areas Norte y Noreste del orden de 20 MW, y siendo el flujo de las líneas de alterna entre el Noreste y Norte del orden de 0 MW, esto significa que la inyección de potencia por el Area Norte es precisamente en la parte Norte del Area. Si la línea en proyecto entrará inicialmente en 230 KV como se tiene planeado, llevaría aproximadamente 150 MW, siendo difícil lograr que tome, mayor flujo de carga.



Aquí es donde se puede manifestar una de las ventajas de la Corriente Directa, que es el control del flujo a través de la línea, aprovechando esta ventaja y la ganancia en la capacidad de transmisión es posible obtener un mejor despacho de la generación que redundaría en ahorros tanto económicos como de energía al trabajar con las unidades mas eficientes u optimizando pérdidas. Como beneficios que redundan al contar con una inyección importante de potencia en la parte Norte del Area Norte, se tiene el que se descarguen y se tenga reserva de transmisión en las líneas de 230 KV que van de Gómez Palacio hacia el Norte, algo similar sucede en el Area Noreste en las líneas que van desde Piedras Negras hasta Monterrey (incluyendo enlaces en 230 KV en menor grado) y esto es debido a que la energía generada en las Centrales de Carbón por decirlo así, no tendrá que ir hasta Monterrey para luego dirigirse hacia Gómez Palacio y de nuevo ir hacia el Norte a Chihuahua.

III.- ANALISIS COSTO BENEFICIO

El análisis Costo-Beneficio se hará sobre tres factores principales

- A).- Costo de la energía de reemplazo debido al ahorro de pérdidas.
- B).- Costo de Capacidad de reemplazo debido al ahorro de pérdidas.
- C).- Costo diferencial de la energía de generación reacomodada (donde se de) se considera un período de 5 años para propósitos de evaluación.

PROYECTO A:

Pérdidas (MW)	10
Horas del año	8760
Factor de utilización de la línea	0.9
Pérdidas de energía anual (MWH)	78,840
Valor de las pérdidas en el sistema:	
Energía de reemplazo capitalizada (Dls/MWH)	150
Capacidad de reemplazo capitalizada (Dls/KW)	1200
Total de Pérdidas Capitalizadas	
Reemplazo de Energía (Mdólares)	11.82
Reemplazo de Capacidad (Mdólares)	12.0
Total(Mdólares)	23.82

El costo de la inversión de las estaciones de Corriente Directa para 750 MW es de aproximadamente 103 Mdólares. Para estas condiciones la inversión será recuperable mas alla de los 30 años, unicamente por pérdidas de MW por lo que habría que evaluar otros beneficios obtenidos como es el aumento en la capacidad de transmisión, que es del orden de 500 MW, y que si se considera que es la capacidad de una nueva línea en 400 KV pudiera representar un ahorro de 40 Mdólares.

PROYECTO B :

Pérdidas (MW)	20
Horas del año	8760
Factor de utilización de la línea	0.9
Pérdidas de energía anual (MWH)	157,680
Valor de las pérdidas en el sistema:	
Energía de reemplazo capitalizada (Dls/MWH)	150
Capacidad de reemplazo capitalizada (Dls/KW)	1200

Total de Pérdidas Capitalizadas	
Reemplazo de Energía (Mdoláres)	23.65
Reemplazo de Capacidad (Mdoláres)	24.0
Total(Mdoláres)	47.65

Reacomodo de generación (MWH)	250
Horas del año	8760
Costo diferencial de reemplazo de gen. (Dls/MWH)	30
Factor de reacomodo de generación	0.7
Costo de la energía de reemplazo (MDoláres)	46
Total(MDoláres)	93.65

El costo total de inversión de las terminales en corriente directa para 500 MW es aproximadamente de 79 Mdoláres, por lo que se recupera en un plazo de 5 años. y la relación beneficio/costo será de : **1.186**.

IV.- CONCLUSIONES

Se analiza la utilización de la corriente directa como una opción importante a considerarse para ciertas situaciones en el Sistema Eléctrico de CFE, tales como capacidad de transmisión saturada, limitantes de transmisión por estabilidad o caída de voltaje, imposibilidad de construir nuevas líneas por problemas con los derechos de vía, operación interconectada de sistemas, control de flujos de potencia y algunas otras. Las alternativas planteadas en este trabajo son la aplicación de una tecnología de transmisión con menos pérdidas, y aprovechando las ventajas de transmisión con este medio obtener ahorros adicionales tanto en energía como económicos, sin embargo, existen beneficios adicionales las cuales no se cuantificaron se analizaron más profundamente, pero que pueden representar una parte importante para cada caso y llegar a justificar una inversión.

De las alternativas analizadas; la del "PROYECTO B" resulta redituable en el período de 5 años que se plantea, considerando solo los aspectos mencionados de pérdidas y reacomodo de la generación. Se demuestra también que el proyecto es factible y otorga beneficios técnicos al Sistema de Potencia los cuales deben ser tomados en cuenta en un proceso de Planeación de la red. El "PROYECTO A" no resulta redituable analizado bajo las mismas bases, sin embargo hay un punto en común entre ambos y este es la fuente generadora, por lo que el "PROYECTO B" viene a ofrecer un doble beneficio (a dos Áreas). Sabemos que hay puntos que deben analizarse a más detalle y desde el punto de vista de la planeación a fin de que la solución sea óptima.

Sí en México se da la tendencia de cogeneradores y productores independientes mayores, las unidades de menor capacidad (menos económicas) operarán cada vez menos y la transmisión requerirá incrementarse al ir quedando solo los grandes centros de consumo y las centrales generadoras mayores, las centrales exclusivamente generadoras dentro de las poblaciones serán cada vez más problemáticas. El acceso al sistema de transmisión por parte de particulares deberán encontrar una red con la suficiente capacidad de transmisión para atenderlos.

PREFACTIBILIDAD DEL PROYECTO DE REPOTENCIACIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE NACHI-COCOM, EN MÉRIDA ESTADO DE YUCATÁN

ING. JOSÉ LUIS SÁNCHEZ PÉREZ TEJADA

**COORDINACIÓN DE PROYECTOS TERMOELÉCTRICOS
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD**

1.0 RESUMEN

El presente trabajo da una alternativa de solución al uso mas eficiente de la energía y solución a los problemas de contaminación ambiental a un costo reducido, satisfaciendo la demanda de energía eléctrica con capacidad adicional de tres veces mayor a la capacidad instalada. Empleando técnicas de evaluación de proyectos para análisis de la prefactibilidad del proyecto. La inversión para este tipo de proyectos resulta factible y atractiva por el corto tiempo de amortización. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 4.

2.0 INTRODUCCIÓN

La Comisión Federal de Electricidad (CFE), consiente de la crisis energética y ecológica en sus diversas centrales eléctricas en el país, está llevando a cabo esfuerzos enfocados a hacer un uso racional y mas eficiente de los energéticos en las instalaciones a base de combustibles fósiles como son las centrales que operan a base de combustóleo, gas natural, carbón y diesel principalmente que aportan una generación bruta al sistema eléctrico nacional de aproximadamente 60% a diciembre de 1991 y 47% a diciembre de 2001 (pronosticado) (5).

La CFE planea en conjunto con PEMEX realizar inversiones en instalaciones que ayuden a preservar el medio ambiente, utilizando gas natural (existen reservas probadas para satisfacer el consumo durante 60 años (5) y combustibles desulfurados, no descuidando el crecimiento de las necesidades de instalaciones en el ramo de refinación del petróleo para satisfacer una demanda creciente de 4.5 % anual de combustibles por parte de PEMEX y una demanda de energía eléctrica de 6.1 % anual por parte de CFE (5). Para esta demanda de energía eléctrica, es, necesario construir instalaciones con una capacidad en conjunto de 1,700 MW como promedio anual, por lo menos durante los próximos diez años que es el período de tiempo pronosticado en los estudios que se basa CFE para la construcción de sus centrales eléctricas.

Actualmente está en proceso de licitación la central termoeléctrica de ciclo combinado Mérida III, en la modalidad de productor independiente de energía eléctrica con una capacidad instalada de aproximadamente 440 MW que va a operar con gas natural como combustible principal proveniente de un gasoducto desde Ciudad PEMEX, Tabasco, hasta Mérida Yucatán..

Asociado al proyecto del gasoducto también se planea el suministro del gas natural para consumo en las centrales termoeléctricas actualmente en operación que están en la Península de Yucatán, las cuales están incluidas la C.T. Lerma-Campeche (4U x 37.5 MW), C.T Mérida II (2U x 84 MW), C.T. Nachi-Cocom (2U x 24.5 MW), C.T. Valladolid (2U x 37.5 MW) y el Ciclo combinado en Valladolid (2 TG 70 MW + 1 TV 80 MW).

La C.T. Nachi-Cocom es de las unidades de este tipo mas antiguas en la península operando comercialmente desde 1971 (23 años en servicio a 1994), y con bajas eficiencias del orden de 26% . El despacho para este tipo de central no resulta económico, por lo que los factores de capacidad son bajos, existen también serios problemas de contaminación por el combustóleo, que se quema, con porcentajes de azufre de 3 a 4 % en peso en el combustible y por el tipo de hogar presurizado en el

cual existen fugas de gases al exterior y chimeneas de baja altura que provocan que la pluma de gases se abata rápidamente al nivel del terreno.

3.0 OBJETIVO

Debido a los problemas planteados anteriormente resulta factible analizar una repotenciación a las dos unidades que están actualmente en servicio, cercanas al término de su vida útil y aprovechando los turbogeneradores de vapor actuales, por medio de la adición de capacidad con turbinas de gas modernas, con objeto de reducir las emisiones contaminantes a niveles aceptables utilizando la energía prácticamente limpia del gas natural como combustible principal y diesel como combustible de respaldo. Con el uso del gas para repotenciación se mejoran los niveles de eficiencia energética de la central, con lo que se reducen los costos de inversión por adición de capacidad incremental con tiempos cortos de construcción para la conversión del orden de ocho a diez meses, aprovechando la disponibilidad de espacio de los equipos removidos adyacentes al edificio de casa de máquinas actualmente en operación y se utilizarían las instalaciones e infraestructura de servicios, equipos e instalaciones eléctricas actuales con pocos cambios, el consumo de agua sería prácticamente el mismo para la central repotenciada.

4.0 DESCRIPCIÓN

El concepto de repotenciación (repowering) es un término aplicado para incrementar la capacidad instalada de generación eléctrica y mejorar la eficiencia de una central termoeléctrica convencional en operación cercana a su vida útil, donde el generador de vapor existente se sustituye por un conjunto turbina de gas - generador eléctrico y recuperador de calor para generar vapor que se conduce a la turbina de vapor existente aprovechando todos los equipos auxiliares que la componen, formando así un ciclo combinado.

Se presenta el esquema del balance térmico actual (figura 1) y el balance térmico con repotenciación (figura 2).

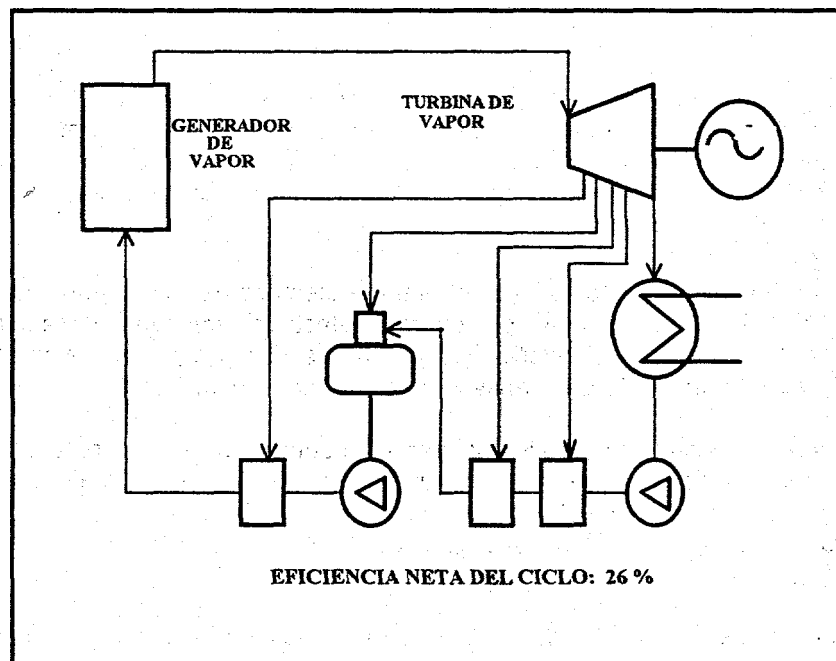


Figura 1 - Balance Térmico Actual para una Unidad de la C.T Nachi-Cocom

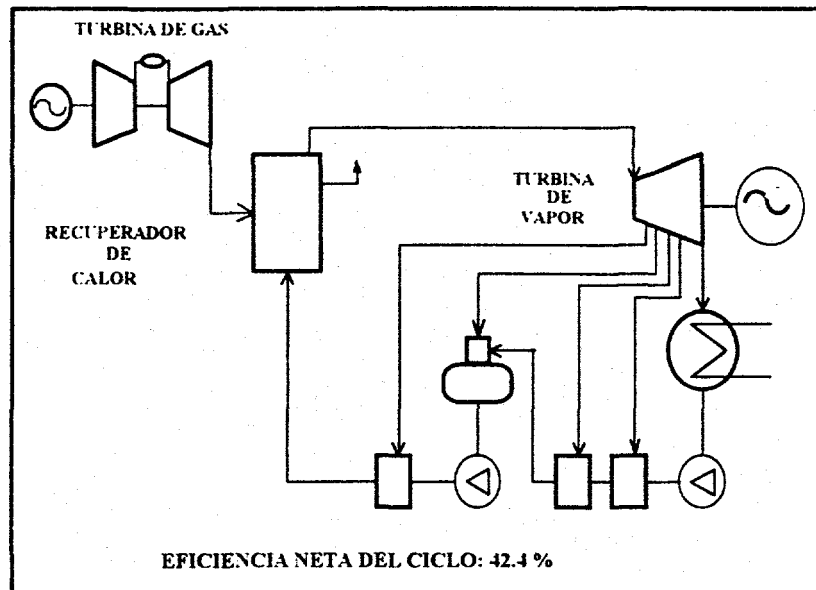


Figura 2 - Balance Térmico para una Unidad de la C.T. Nachi-Cocom Repotenciada

En el arreglo general de la central actual Nachi-Cocom (figura 3) y la central repotenciada (figura 4) donde se muestra el espacio disponible con las nuevas instalaciones.

ARREGLO GENERAL PARA LA CENTRAL ACTUAL

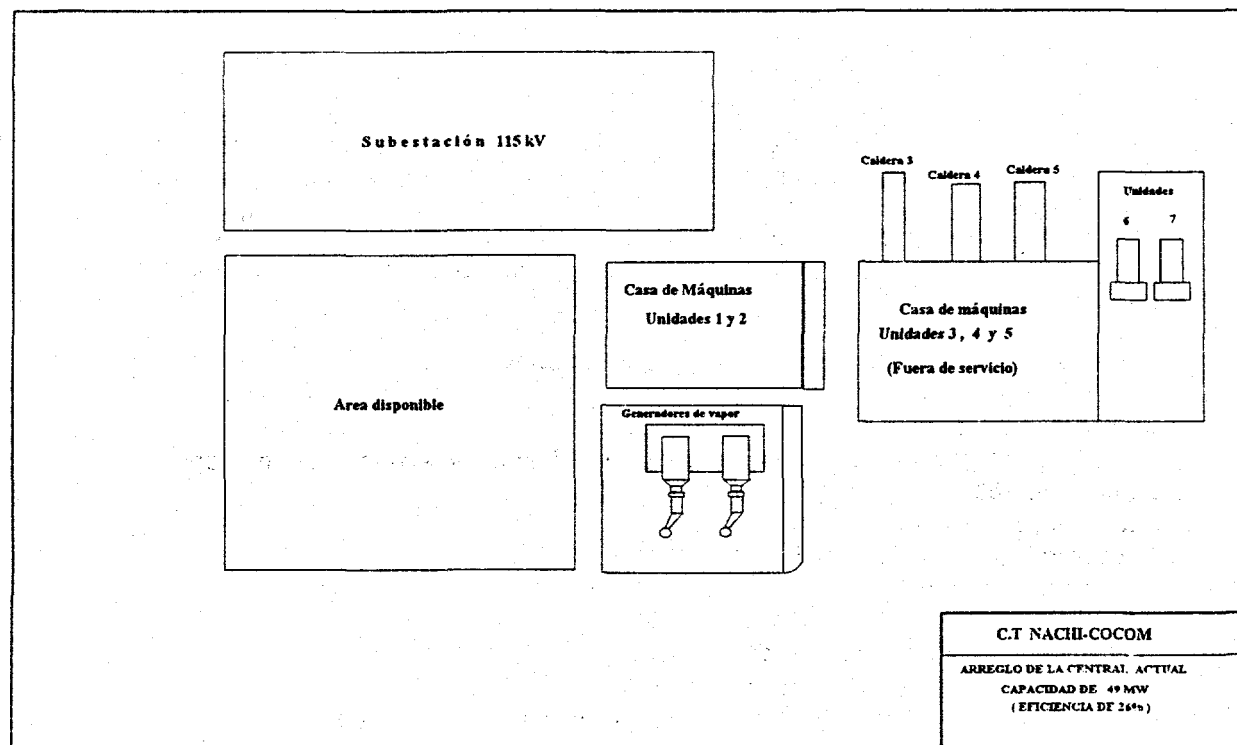


Figura 3

ARREGLO GENERAL PARA LA CENTRAL REPOTENCIADA

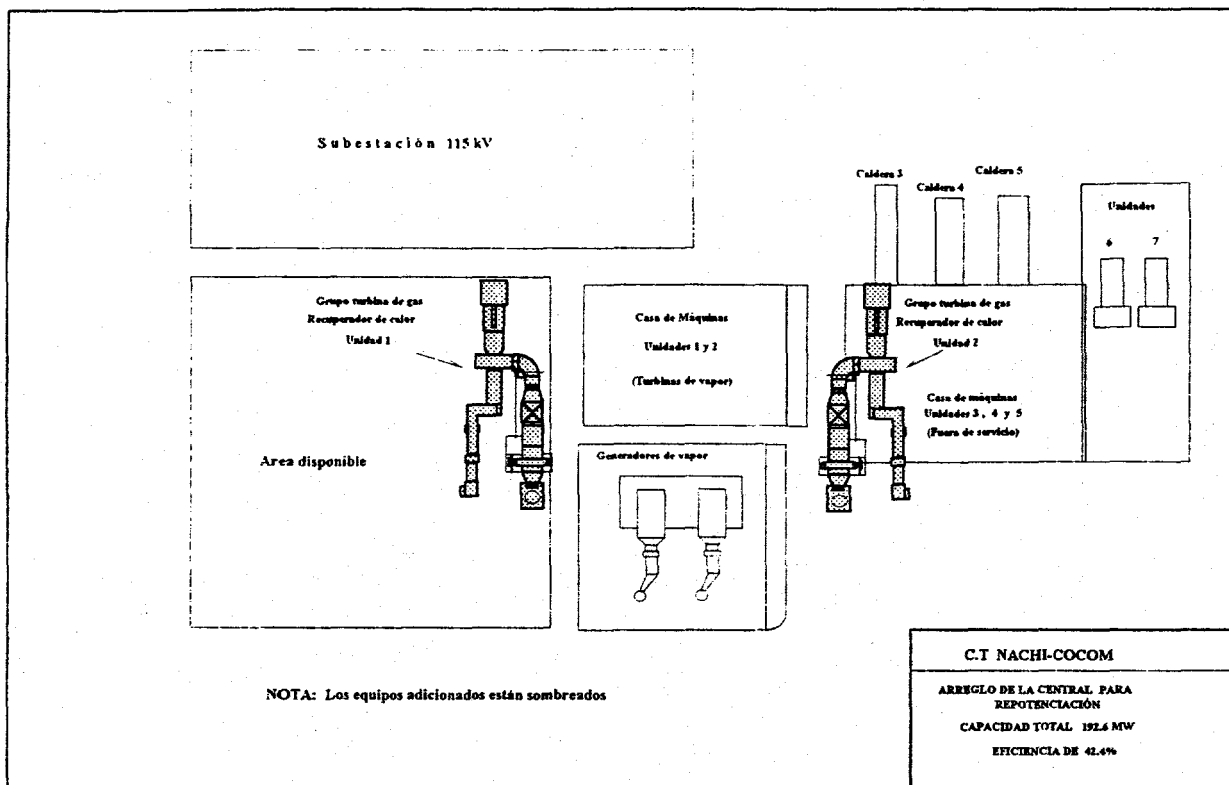


Figura 4

De la investigación realizada de turbinas de gas modernas disponibles en el mercado, se seleccionó una turbina comercial para propósitos de verificación de su comportamiento en el ciclo combinado de repotenciación para los cálculos de los balances térmicos para la configuración del sistema.

La capacidad adicional de cada unidad repotenciada es de 83.5 MW en condiciones ISO y de 74.3 MW en condiciones de diseño en verano. Resultando una capacidad neta total instalada para la central de 192.6 MW.

4.1 Características de las Turbinas de Vapor Instaladas

Cantidad: 2 unidades
Tipo: Condensación, flujo axial, sin recalentamiento, con extracciones de vapor.
Capacidad: 24,500 kW
Velocidad: 3600 rpm
Vapor de entrada: 61 kg/cm² man y 485 °C
Presión vapor escape etapa B.P.: 89 mm de Hg abs.
Número de extracciones: 4
Número de pasos: 1 paso curtis + 15 pasos de reacción
Sistema de control: Hidráulico de regulación de velocidad y presión de vapor

4.2 Características de las Turbinas de Gas para Repotenciación (Condiciones de diseño ISO)

Cantidad: 2 unidades

CONDICIONES OPERATIVAS POR UNIDAD:

Capacidad: 83,500 kW (ISO de Base)
Velocidad: 3600 rpm
Relación de presión: 12.4
Régimen térmico: 2641.13 kcal/kWh
Eficiencia: 32.56 %
Temperatura de gases de escape: 530 °C
Flujo de gases de escape: 1,066,000 kg/h

4.3 Características Generales de los Recuperadores de Calor para Repotenciación (Comportamiento Figura 5)

Flujo vapor principal: 110,000 kg/h
Temp. del vapor principal: 485°C
Presión del vapor principal: 63 kg/cm² abs
Temp. agua de alimentación: 191°C
Flujo salida gases turbogas: 1,051,200 kg/h
Temp. salida gases turbogas: 530 °C

Calor absorbido en el recuperador:

Sobrecalentador: 61.89 GJ/h
Evaporador: 185.2 GJ/h
Economizador: 42.94 GJ/h
Total: 290.04 GJ/h

Temp. salida de gases:

Sobrecalentador: 481.92°C
Evaporador: 334.1°C
Economizador: 298.95 °C

Área de transferencia de calor aproximada:

Sobrecalentador: 3,264 m²
Evaporador: 7,086 m²
Economizador: 2,554 m²

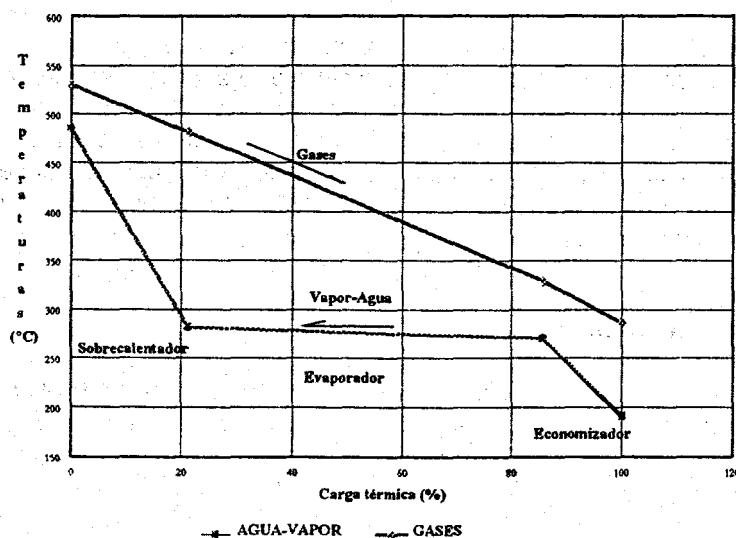


Figura 5 - Gráfica Comportamiento de Temperaturas en el Recuperador de Calor

4.4 Ventajas de la Repotenciación

- a) Aumento de la capacidad en tres veces mas la capacidad instalada actual.
- b) Aumento de la eficiencia térmica de 26 % a 42.4 % (16.4 puntos porcentuales)
- c) Disminuye el nivel de contaminantes a la atmósfera, para NOx (15% vol.) de 350 ppm (combustóleo) a 45 ppm (utilizando gas natural.) y de SO2 de 450 ppm (combustóleo) a 0 ppm (gas natural).
- d) Requiere menos energía para sus propios auxiliares, de 6.5% a 3.5 % de la capacidad instalada.
- e) Requiere menos consumo de agua, de 1 lps a 0.4 lps por MW instalado.
- f) Menor inversión en la capacidad instalada
- g) Menor tiempo de ejecución de la construcción y montaje, de 4 años a 2 años.
- h) Mayor confiabilidad y disponibilidad de las unidades.
- i) Disponibilidad inmediata de la generación.
- j) Se reducen los trámites para la autorización de permisos y licencias.

4.5 Desventajas de la Repotenciación

- a) Sujeta a disponibilidad de espacio.
- b) Requiere de la rehabilitación de algunas instalaciones y equipos existentes.
- c) Compromiso de utilizar combustibles de alto grado (gas natural o diesel)

4.6 Modo de Control

Otra consideración es el modo de control de la turbina de vapor, donde en ciclos convencionales de las turbinas de vapor, la presión y temperatura de diseño de vapor de estrangulamiento es mantenida sobre un gran rango de operaciones cíclicas como sea posible. Mientras la optimización de un ciclo combinado las condiciones de vapor de estrangulamiento son permitidas que varíen optimizando el uso de la turbina de gas y el comportamiento de la turbina de vapor con el recuperador de calor sobre un gran rango de operaciones a presión variable y pérdidas del sistema que son provocadas por las válvulas de control.

5.0 EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la repotenciación de las dos unidades de vapor existentes de 24.5 MW c/u de capacidad de generación de energía eléctrica con una turbina de gas para cada unidad, con capacidad de generación de energía eléctrica de 83,500 kW por unidad a condiciones ISO con gas natural y operando con un recuperador de calor sin postcombustión, por medio de análisis de tipo económico para poder cuantificar los beneficios y ventajas de la repotenciación, aplicando cuatro técnicas básicas de evaluación de proyectos. Los costos estarán referidos al año de 1994 y estarán proporcionados en dólares de los Estados Unidos de Norteamérica (\$USD) para facilitar los mecanismos de evaluación.

- a. **Valor Presente.** El valor presente es un concepto que relaciona gastos de dinero que ocurrirán en diferentes fechas en el futuro con una cantidad total equivalente a una fecha específica presente. Para una inversión es la cantidad máxima que una empresa o compañía puede pagar por la oportunidad de realizar una inversión considerando todos los gastos y evaluar los riesgos económicos y financieros.
- b. **Tasa Interna de Retorno.** El método de la tasa interna de retorno utiliza el concepto de valor presente, pero busca una selección arbitraria de una tasa de interés en la evaluación de una propuesta de inversión. El procedimiento es definir una tasa de interés que hace el valor presente de los costos esperados de una inversión igual al valor presente de los gastos de efectivo requeridos para la inversión.
- c. **Relación Costo-Beneficio.** La estimación de la relación Costo-Beneficio es un parámetro de que tan atractiva puede ser una inversión. Esto involucra simplemente dividir los beneficios por los costos. Si la relación es mayor a 1 (uno), los beneficios son mayores que los costos y el proyecto es juzgado como atractivo.
- d. **Periodo de Retorno de Capital.** El periodo de retorno de capital es una forma simple y aparentemente uno de los métodos usados frecuentemente para medir el valor económico de una inversión. El periodo de retorno de capital es definido como el lapso de tiempo requerido para que el proceso de flujo de efectivo producido por una inversión iguale el flujo de efectivo original requerido por la inversión, entre menor sea el periodo de recuperación del capital mas atractiva será la inversión.

5.1 Parámetros Ambientales

Las condiciones ambientales del sitio se resumen en la tabla 1

Tabla 1 Condiciones Ambientales del Sitio

CONCEPTO	VALOR
Temperatura de bulbo seco diseño en verano	37°C
Temperatura de bulbo húmedo diseño invierno	27°C
Temperatura de bulbo seco media anual	26°C
Temperatura de bulbo húmedo media anual	22.3°C
Presión atmosférica	1010.7 milibar

5.2 Parámetros Operativos

El resumen del comportamiento se muestra en la tabla 2

Tabla 2 Datos Técnicos Actuales y con Repotenciación

CONCEPTO	ACTUAL	REPOTENCIADA
Potencia total turbinas de vapor (MW)	49.00	49.00
Potencia total turbinas de gas (MW)	-----	148.60
Potencia total para auxiliares (MW)	2.45	5.00
Potencia total neta (MW)	46.55	192.60
Eficiencia neta (%)	26	42.4
Modo de operación	presión fija	presión fija y deslizante
Combustible	combustóleo	gas natural
Nivel de bióxido de azufre (kg/10 ⁶ kcal)	6.00	0.00
Nivel óxidos de nitrógeno (kg/10 ⁶ kcal)	0.87	0.10

5.3 Parámetros Económicos

Los parámetros de evaluación económica (Tabla 3) son basados en el método del valor presente considerando que la central tiene un factor de planta con las unidades repotenciadas de 85%.

Los costos de los combustibles son típicamente para el gas natural utilizando el costo nivelado a valor presente del mismo para un período de tiempo de vida útil estimado para la central repotenciada de 20 años suponiendo que empieza a consumir el gas a partir de 1997, a una tasa estimada de escalación promedio anual del costo de 4.7 % .

Tabla 3 Parámetros para Evaluación Económica

CONCEPTO	VALOR
Costo nivelado unitario del gas natural a 94 (\$USD /GJ)	2.92
Costo unitario por adición de capacidad (\$USD/kW)	688
Período de vida útil (años)	20
Tasa real de descuento para el valor presente (% / año)	10
Factor de valor presente total	8.513
Tasa de cargos fijos nivelada (%)	15.6
Factor de planta para la central repotenciada (%)	85

5.4 Estimación del Costo por Ahorro de Combustible (CAC)

La diferencia en el consumo térmico de una unidad está dado por:

Eficiencia de la unidad actual = 26%

Consumo térmico unitario (CTU) neto

$$CTU = (3600 \text{ kJ/kWh}) / 0.26 = 13,846 \text{ kJ/kWh}$$

Eficiencia la unidad repotenciada = 42.4 %

Consumo térmico unitario (CTU) neto

$$CTU = (3600 \text{ kJ/kWh}) / 0.424 = 8,490 \text{ kJ/kWh}$$

Por lo tanto la diferencia en el consumo térmico unitario (DCTU) es:

$$DCTU = 13,846 - 8,490 = 5,356 \text{ kJ/kWh}$$

El costo por ahorro en consumo de combustible, considerando que se dejaría de generar con unidades de baja eficiencia, del mismo orden:

$$CAC = (5,356 \text{ kJ/kWh}) (192,600 \text{ kW}) (8760 \text{ hr/año}) \\ (0.85) (2.92 \text{ $USD/Gj}) (1 \text{ GJ}/1 \text{ E6 kJ})$$

$$CAC = 22.43 \times 10^6 \text{ $USD/año}$$

5.5 Inversión Inicial (II)

El costo por capacidad adicional instalada es de: **688 \$USD/kW** (Costo actualizado estimado de la referencia 2 considerando una inflación de 4.0% anual durante 4 años.)

Este costo incluye; la adquisición de los equipos, transporte, construcción, montaje, puesta en servicio y servicios administrativos .

$$I = (688\text{\$/kW})(148,600\text{kW})$$
$$I = 102.237 \times 10^6 \text{ \$USD}$$

5.6 Estimación del Costo Anual Nivelado por la Capacidad Adicional Instalada (CCAI).

El costo nivelado de la capacidad adicional instalada es de:

$$\text{CCAI} = (688\text{\$/kW})(148,600\text{kW})(0.156)$$

$$\text{CCAI} = 15.95 \times 10^6 \text{ \$USD/año}$$

5.7 Estimación de los Costos Totales Fijos y Variables de Operación y Mantenimiento (CTOM).

Los costos fijos (Cf) son aquellos que no dependen de la generación de energía eléctrica, incluyen costos por mano de obra, salarios, prestaciones, seguro social, etc.

Cf = 4.93 \\$USD/kW-año (Costo estimado de la referencia 1 y actualizado de 1988 a 1994 con una tasa de 4.0 % anual por efectos de inflación en EUA).

Costo fijo nivelado a 20 años y una tasa de 10%; da un factor de nivelación de 1.494

$$\text{Cf} = (4.93 \text{ \$USD/kW-año}) (1.494)$$

$$\text{Cf} = 7.36 \text{ \$USD/kW-año}$$

Los costos variables son los que dependen directamente de la generación de energía eléctrica como son: Materiales, Servicios a terceros Gastos generales, productos químicos, etc.

Cv = 0.0049 \\$USD/kWh (Costo estimado de la referencia 1 y actualizado de 1988 a 1994 con una tasa de 4% anual por efectos de inflación en EUA).

$$\text{Cv} = (0.0049\text{\$/kWh})(8760)(0.85)$$
$$(1.494)$$

$$\text{Cv} = 54.51 \text{ \$USD/kW-año}$$

5.8 Costo Total de Operación y Mantenimiento (CTOM)

$$\text{CTOM} = (\text{Cf} + \text{Cv}) (\text{Capacidad Neta})$$
$$(7.36 + 54.51\text{\$/kW-año})$$
$$(192,600 \text{ kW})$$

$$\text{CTOM} = 11.91 \times 10^6 \text{ \$USD/año}$$

5.9 Costo Total a Valor Presente (CTVP)

El valor presente de los costos se asocian al combustible, a la inversión y a los gastos de operación y mantenimiento.

a. Combustible

El costo a valor presente por el uso del combustible (CVPC) es:

$$CVPC = (8,490 \text{ kJ/kWh})(192,600 \text{ kW})(2.92 \text{ \$USD/Gj})(8760 \text{ hr/año})(0.85)(1 \text{ GJ}/10^6 \text{ kJ})(8.513)$$

$$CVPC = 302.66 \times 10^6 \text{ \$USD}$$

b. Inversión

El costo nivelado a valor presente de la inversión (CVPI) (incluye gastos indirectos) es:

$$CVPI = (688 \text{ \$USD/kW})(148,600 \text{ kW})(0.156)(8.513)$$

$$CVPI = 135.773 \times 10^6 \text{ \$USD}$$

c. Costos de operación y mantenimiento

Los costos a valor presente por operación y mantenimiento son (CVPOM):

$$CVPOM = (11.91 \times 10^6 \text{ \$USD/año})(8.513)$$

$$CVPOM = 101.39 \times 10^6 \text{ \$USD}$$

d. Costo total a valor presente (CTVP)

$$CTVP = (302.66) + (135.773) + (101.39)$$

$$CTVP = 539.82 \times 10^6 \text{ \$USD}$$

5.10 Costo del kWh Generado (CkWhG)

$$CkWhG = (539.82 \times 10^6 \text{ \$USD}) / (192,600 \text{ kW} \times 8760 \text{ hr/año} \times 8.513 \times 0.85)$$

$$CkWhG = 0.0442 \text{ \$USD/kWh}$$

5.11 Tasa Interna de Retorno del Capital (TIRC)

Costo nivelado anual total (CNAT)

$$CNAT = (22.43 \times 10^6 \text{ \$USD/año} / 5,356 \times 8,490) + (15.95 \times 10^6 \text{ \$USD/año}) + (11.91 \times 10^6 \text{ \$USD/año})$$

$$CNAT = 63.41 \times 10^6 \text{ \$USD/año}$$

$$\begin{aligned} VPNT = & (-539.82 \times 10^6) \\ & + (63.94 \times 10^6) (1 + TIRC)^{-1} + (63.94 \times 10^6) (1 + TIRC)^{-2} \\ & + (63.94 \times 10^6) (1 + TIRC)^{-3} \\ & + \dots \\ & + (63.94 \times 10^6) (1 + TIRC)^{-n} \end{aligned}$$

donde n=20 años

Tasa interna nivelada de retorno de capital (TIRC):

$$TIRC = 0.1012 \text{ (10.12 \%)}$$

La tasa interna nivelada de retorno de capital es la correspondiente al costo de energía eléctrica de 0.0442 \$USD/kWh, por lo que la venta de energía igual o mayor al valor anterior o factores de planta mayores hacen mas rentable la inversión (figura 6).

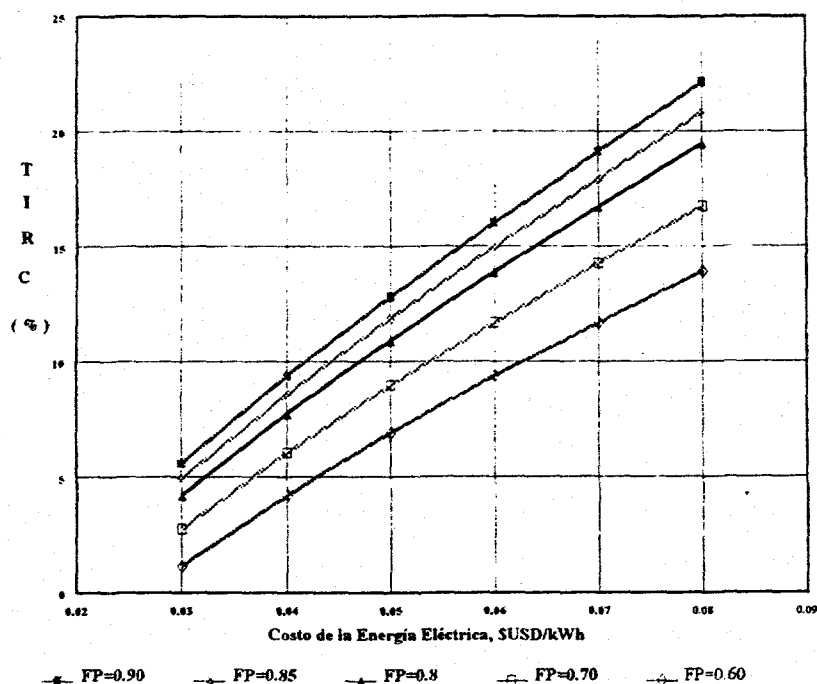


Figura 6. Gráfica de variación de la tasa interna de retorno contra el costo de la energía eléctrica y el factor de planta.

5.12 Relación Costo-Beneficio (RCB)

$RCB = \text{Val. Pte. de los beneficios} / \text{Val. Pte. de la inversión.}$

El beneficio es el ahorro de combustible a valor presente.

(Se considera que los costos operativos son iguales a los que originaría la central actual).

$$RCB = (22.43 \times 8.513) / (135.773)$$

$$RCB = 1.406$$

5.13 Período de Recuperación del Capital (PRC)

El período de recuperación del capital está en función de la inversión inicial y del costo nivelado anual por ahorro de combustible.

$$PRC = \frac{I}{CAC}$$

Dónde:

$PRC = \text{Período de recuperación del capital (años)}$

$I = \text{Inversión (millones de \$USD)}$

CAC=Costo nivelado por ahorro de combustible (millones de \$USD/año)

$$PRC = \frac{102.237 \times 10^6}{22.43 \times 10^6}$$

PRC = 4.56 años

Tabla 4 Resumen de Resultados Económicos

CONCEPTO	UNIDADES	CRITERIO DE ACEPTACIÓN	VALOR
Inversión Inicial	10 ⁶ \$USD	Ninguno	102.237
Costo por Ahorro de Combustible	10 ⁶ \$USD/año	Ninguno	22.43
Costo Total a Val.Pte.(Invers,Comb, OyM)	10 ⁶ \$USD	Ninguno	539.82
Tasa Interna de Retorno Nivelada	%	> 10	10.12
Periodo de Retorno de Capital	Años	< = 5	4.56
Relación Costo-Beneficio	Adim.	> 1	1.406
Costo del kWh Generado	\$USD	Ninguno	0.0442

5.14 Sensibilidad

Para propósitos de sensibilidad del PRC se considera que la variación del costo del combustible es de +30 % y de -10% y del factor de planta la variación es de 0.5 a 0.9 para la central repotenciada (figura 7).

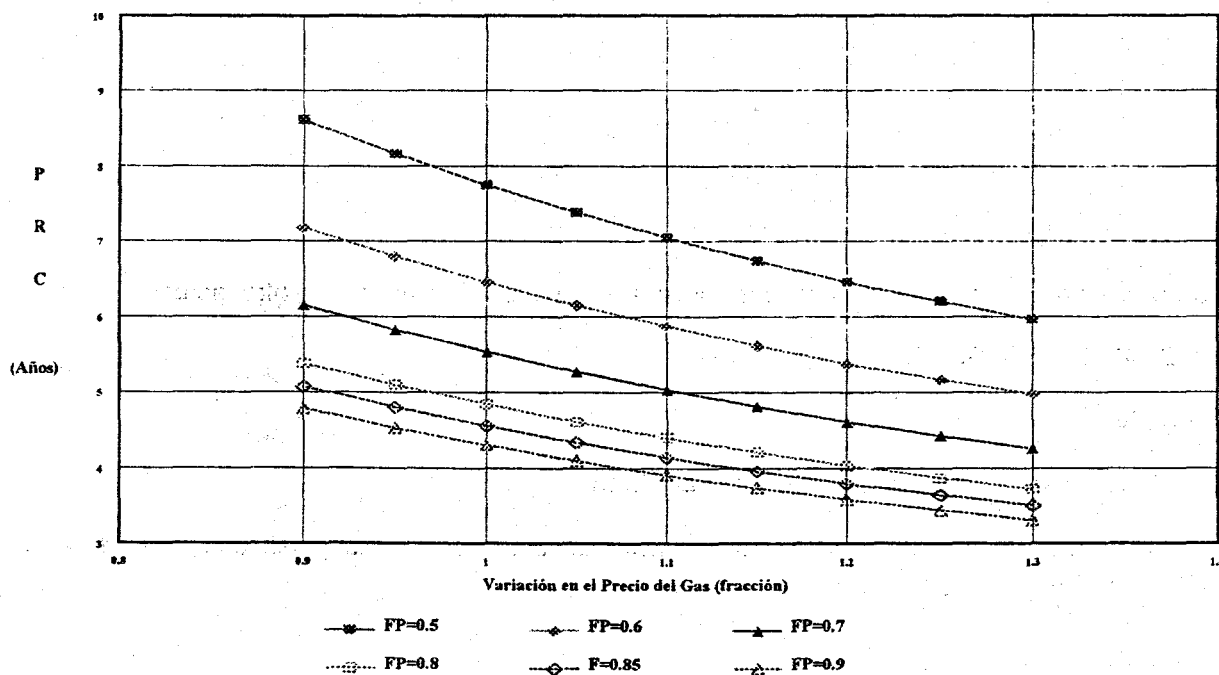


Figura 7 - Gráfica de variación del "PRC"

6.0 CONCLUSIONES

Con la política del uso racional de la energía y la utilización de equipos modernos por su avance tecnológico en el desarrollo de turbinas de gas para reducción de emisiones contaminantes a la atmósfera y la mejoría en la eficiencia de conversión de energía obtenida al combinar dos ciclos termodinámicos (Rankine-Brayton) se obtienen costos económicamente atractivos. Por lo que la realización del proyecto de repotenciación resulta factible. Pudiéndose conseguir fuentes de financiamiento por la alta rentabilidad de la inversión.

7.0 RECOMENDACIÓN

En las instalaciones de CFE en la península de Yucatán existen turbinas de gas para satisfacer la demanda pico de energía eléctrica con capacidad total de 249 MW en unidades de 45 y 30 MW principalmente, por lo que se puede sugerir rehabilitar y modernizar algunas turbinas de gas a un menor costo comparativo que una nueva y poder utilizarlas para repotenciar unidades ya al término de su vida útil, siendo mas atractiva esta opción en caso de autorización.

Se requiere planear y programar su construcción de acuerdo a la demanda de energía eléctrica en la zona y sustitución de unidades turbogas de baja eficiencia o de algún otro tipo para su reemplazo.

El análisis de conversión y modernización de mas centrales en operación de Comisión Federal de Electricidad para repotenciación se puede hacer mas extensivo y analizar cada caso en particular para continuar con el programa de la política de uso eficiente de la energía y aprovechar en una mayor medida la disponibilidad y la energía contenida en el gas natural para su utilización como combustible con inversiones atractivas.

8.0 REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Technical Assessment Guide (TAG), Volumen 1, 1989, EPRI P-6587-L
2. The Economics of Repowering Steam Turbines, Jhon M. Kovacik and Harry G. Stoll, General Electric Industrial and Power Systems, Presented at the 1990, American Power Conference.
3. Increasing the Economy of Fossil-fired Steam Power Plants by Conversion to Combined-Cycle Plants, by A. Aerni, R. Kehlhofer and K. Kotschenreuther. VGB-KRAFTWERKSTECHNIK., March 1987.
4. Repowering. Options proliferate for managing generation assist.. Power, June 1994.
5. Primeras Jornadas de Cogeneración, Congreso Internacional. México 1992, CONAE.
6. Segundas Jornadas de Cogeneración, Congreso Internacional. México 1993, CONAE.
7. Costos y Parámetros de Referencia para la Formulación de Proyectos de Inversión en el Sector Eléctrico. COPAR-1992, Subdirección de Programación CFE.
8. Gas Turbine World. The 1992-1993 Handbook, Volume 14. For Project Planning, Design and Construction.
9. Major Options and Considerations for Repowering With Gas Turbines by Narasimha Kudlu, Bechtel Power Corporation, San Francisco California. USA.
10. Economic Evaluation of Plant-upgrading Investments, Volume 1: Summary Report and Volume 2, Case Studies EPRI EA-3890. February 1985.
11. Repowering Reheat Units With Gas Turbines, EPRI AP-5212, May 1987

12. Gas Turbine Procurement and Combined-Cycle Repowering: 1986 Workshop. EPRI AP-5190, May 1986.
13. Applied Heat Transfer by V. Ganapathy. PennWell Books, Tulsa Oklahoma, 1982.
14. 32nd GE Turbine State-of-the-Art Technology Seminar, GE Power Systems, October 1988.
15. Factores de Evaluación y Penalización, Departamento de Ingeniería Mecánica, Gcia. Técnica de Proyectos Termoeléctricos, Subdirección de Construcción, CFE

SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES EN LA COMERCIALIZACIÓN DE LAS GASOLINAS.

ING. RODOLFO CASAS BARBA

Instituto Mexicano del Petróleo
Jefe de la División de Control Energético
Eje Central Lázaro Cárdenas N° 152
Tels 368 59 11 y 368 93 33 exts 21224 y 20531

ING. JORGE RICARDO MOLINA GALLEGOS

Coordinador de Proyectos

RESUMEN

En los últimos años los estudios realizados con respecto a contaminación ambiental reflejan que el ozono es uno de los contaminantes más problemáticos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), y los hidrocarburos son los principales precursores de este. La principal fuente de emisión de vapores de hidrocarburos proviene de las operaciones de manejo y distribución de combustibles.

En este artículo se hace una descripción de las etapas involucradas en la comercialización de las gasolinas en la ZMCM, se describen también, los sistemas utilizados para controlar las emisiones en las tres etapas del ciclo de almacenamiento y distribución de combustibles y se explica en que grado se reducirán las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera¹, una vez que se instalen los sistemas de recuperación en todas las etapas involucradas.

1. INTRODUCCION

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se ha convertido en una de las áreas urbanas más pobladas del planeta con más de 20 millones de habitantes. Uno de los problemas no resueltos a la fecha que se padece en esta zona es la contaminación por ozono, provocada principalmente por la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV's), que son un factor que contribuye en un alto porcentaje a la formación de ozono. La principal fuente de emisión de COV's proviene de las operaciones de manejo y distribución de combustibles.

El ozono es un compuesto que en forma natural se encuentra presente tanto al nivel del suelo (troposfera) como en las capas superiores de la atmósfera (estratosfera).

En la estratosfera (capa superior de la atmósfera que rodea a la tierra entre los 40 y 50 kilómetros de altitud), la capa de ozono absorbe gran parte de la radiación ultravioleta emitida por el sol, impidiendo su paso a la superficie

¹ En base a un estudio que realizó el IMP en 1991, en el cual se estimaron las emisiones para dos escenarios: 1.- 1991 con una base de 38 millones de barriles y 2. Cuando se instalen sistemas de recuperación de vapores en todas las etapas con una base aproximada de 47 millones de barriles.

terrestre. Por el contrario, en la troposfera (la capa inferior de la atmósfera que envuelve a la tierra desde su superficie hasta los diez kilómetros), el ozono es un contaminante que puede causar daños a la salud.

El ozono a diferencia de los contaminantes primarios (como el CO, SO₂, NO_x y HC's) en que no se emite en los escapes de los automotores ni en las chimeneas, sino que proviene de complejas y numerosas reacciones entre hidrocarburos no metánicos (CCNM) y NO_x, en presencia de la luz solar. Se pueden señalar dos ciclos generales de reacciones en donde participan el oxígeno molecular, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos reactivos como se ilustra en la **figura 1**.

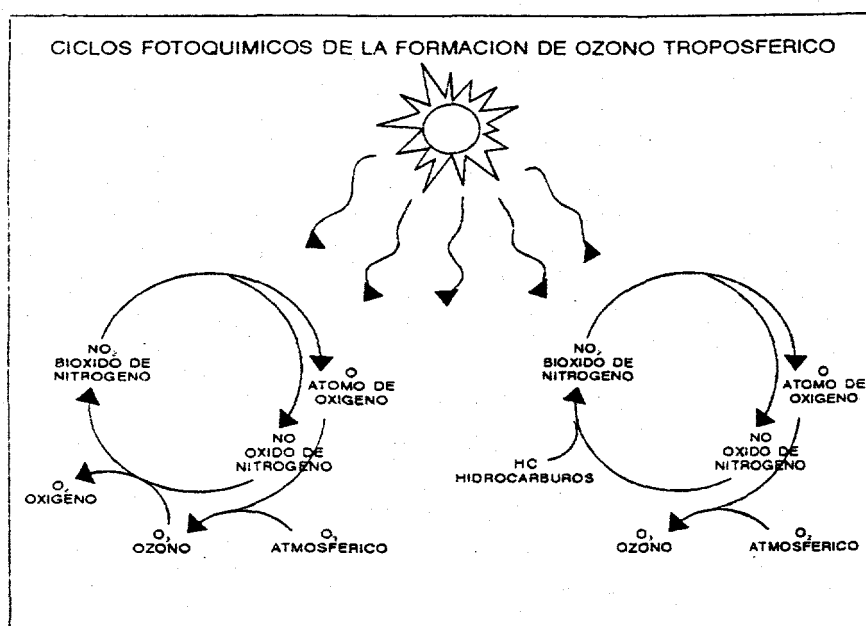


FIGURA 1

El proceso de recuperación de los vapores de hidrocarburos generados en el ciclo de almacenamiento, distribución y venta al público de combustibles se integra por las siguientes etapas:

- Sistemas que evitan que los vapores generados durante la carga de combustible a los vehículos se emitan a la atmósfera en las estaciones de servicio, mediante su retorno a los tanques de almacenamiento. (Fase II).
- El trasvaciado y traslado de los vapores recuperados en los tanques de las estaciones de servicio a las terminales de almacenamiento y distribución, mediante autotanques adecuadamente equipados para ello. (Fase I) y finalmente,
- La captación y recuperación final de los vapores en las terminales de almacenamiento y distribución de combustibles de PEMEX-Refinación (Fase 0).

Desde hace varios años se inició un proceso complejo para el mejoramiento de los combustibles que se expenden en el Valle de México⁽¹⁾ para así lograr que su combustión fuera ambientalmente más limpia, de tal forma que sus emisiones resultaran menos tóxicas y menos reactivas en la atmósfera. Estas

- medidas han incluido: la reducción del contenido de plomo en la gasolina Nova; la introducción de la gasolina Magna Sin, sin plomo; la reformulación de las gasolinas con compuestos menos tóxicos, con menor potencial para formar ozono y menos volátiles para reducir su evaporación. Por otra parte se realiza la instalación de SRV's en todo el ciclo de almacenamiento, transporte y venta al público de gasolina permitirá controlar las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera.

Actualmente PEMEX tiene en marcha la instalación de unidades de recuperación de vapores (URV) de hidrocarburos para sus terminales de almacenamiento y distribución de combustibles del Valle de México. La URV instalada en la terminal de San Juan Ixhuatepec se encuentra ya operando, en las terminales de Añil, Barranca del muerto y Azcapotzalco se espera su puesta en operación en el transcurso del presente año. Asimismo, se ha hecho obligatorio que las estaciones de servicio de la ZMCM instalen SRV's en sus fases I y II, además de que los 279 autotankers de PEMEX que distribuyen la gasolina a las estaciones de servicio de la ZMCM cuentan ya con sistemas que permiten el trasvaciado y traslado de los vapores de hidrocarburos.

Dentro de las acciones que se han llevado a cabo para la reducción de las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera en el ciclo de almacenamiento y distribución de combustibles destacan las siguientes:

- Instalación de URV's en las terminales de almacenamiento y distribución de combustibles de PEMEX en la ZMCM,
- Conversión de tanques de almacenamiento de techo fijo a tanques con membrana interna,
- Adecuación de los autotankers para ser llenados por el fondo y no como tradicionalmente se hacia por la parte superior y
- Instalación de SRV's en las estaciones de servicio tanto para la fase I como par la fase II

2. CICLO DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES.

En nuestra ciudad en el año de 1993 consumimos más de 44.4 millones de litros diarios de combustibles, del total el 56% se utilizó en el transporte de bienes y personas.

Las principales fuentes de emision de hidrocarburos a la atmosfera se origina en las operaciones de manejo y distribución de los combustibles. La manera en que opera este ciclo desde las terminales hasta los consumidores finales es la siguiente:

A las terminales de almacenamiento y distribución el combustible llega a través de carotankers, ductos y autotankers, una vez ahí se almacena en tanques verticales y se suministra a través de llenaderas a los autotankers. Los autotankers conducen los combustibles a las estaciones de servicio y los depositan a los tanques de almacenamiento subterráneo que en ellas se

encuentran, por último en las estaciones de servicio son suministrados a los tanques de almacenamiento de los vehículos automotores.

La infraestructura con la que cuenta la ZMCM para el almacenamiento y distribución de combustibles es la siguiente:

- Cuatro terminales de almacenamiento y distribución de combustibles: Satélite Norte (San Juan Ixhuatepec) con un promedio de volumen manejado de aproximadamente 14000 barriles/día, Satélite Oriente (Añil) con 9000 blls/día, Satélite Sur (Barranca del Muerto) con 12000 blls/día y Azcapotztlco con 6000 blls/día.
- Una flota vehicular de 279 autotankes para el año de 1994
- Un total de 365 estaciones de servicio para el año de 1994.

3. UNIDADES DE RECUPERACIÓN DE VAPORES EN TERMINALES DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES

Una terminal se integra de dos instalaciones principales: área de almacenamiento y área de distribución de combustibles.

3.1 Área de almacenamiento: Es aquella donde se ubican los tanques de almacenamiento del tipo vertical que contienen los diferentes combustibles, desde donde son bombeados hacia el área de distribución.

En México contamos con diferentes tipos de tanques destinados para almacenar combustibles entre ellos se encuentran principalmente los de techo fijo y los tanques de techo flotante, se han implementado membranas internas a tanques de techo fijo con el fin de reducir las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera.

Las emisiones en los tanques de almacenamiento se clasifican en: emisiones estacionarias que son las originadas por la evaporación natural de los combustibles, y emisiones de trabajo que son las generadas por las operaciones de llenado del tanque.

Tanques de techo fijo: Estos tanques pueden almacenar productos cuya presión de vapor Reid (PVR) no llegue a 0.169 kg/cm^2 (2.4 lb/pulg^2).

Tanques de techo flotante: Estos tanques pueden almacenar productos cuya presión de vapor se encuentre entre 0.169 kg/cm^2 (2.4 lb/pulg^2) y 1 kg/cm^2 (14.2 lb/pulg^2). Este techo está diseñado de tal forma que le permite flotar sobre el líquido almacenado evitando los grandes volúmenes vapores que existen en los tanques de techo fijo

3.2 Área de distribución: Es el conjunto de islas dispuestas de manera estratégica para el suministro de combustible a los autotankes. Estas se integran por un número variado de posiciones de llenado (llenaderas) donde se realiza el suministro de combustibles a los autotankes para su distribución, el número de llenaderas para una terminal en nuestro país varía desde 4 hasta 47.

4. SISTEMAS DE RECUPERACION DE VAPORES FASE 0.

Es la etapa en la recuperación de vapores en la cual se recolectan y recirculan los vapores de gasolina originados por la transferencia de combustible del tanque de almacenamiento de la terminal de distribución hacia el autotanque. Estos vapores son conducidos a la unidad de recuperación de vapores la cual puede operar bajo diferentes principios.

Unidad de recuperación de vapores: Consiste en la instalación de accesorios y equipos destinados a la recuperación y control de las emisiones de vapores de gasolina, generados durante la fase 0. Los vapores recuperados son conducidos desde cada posición de llenado a través de un cabezal de tubería hacia la URV.

Tecnologías

Existen seis tecnologías conocidas para efectuar la recuperación de vapores en las terminales, las cuales se mencionan a continuación:

Saturación-Almacenamiento-Compresión-Absorción-Termo-oxidación: Se basa en la saturación de la mezcla aire-hidrocarburos con gasolina fresca. Implica una etapa de almacenamiento de los vapores en un tanque amortiguador para su posterior compresión fuera de los límites de explosividad. Los líquidos condensados son recuperados en gasolina fresca. Los vapores no recuperados son incinerados por medio de un quemador de alta eficiencia.

Sistema Criogénico: Consiste en dos etapas de refrigeración, en la primera los vapores de gasolina son enfriados hasta 35°F a través de un serpentín, por el cual circula el refrigerante R-22. En un segundo serpentín en el que circulan los refrigerantes R-23 y HP-62 la temperatura desciende a -100°F. La segunda etapa involucra el uso de nitrógeno líquido a través de un tercer serpentín a fin de llevarlos hasta -180°F si se requieren emisiones a la atmósfera del orden de 10 mg/lt.

Refrigeración con propano: Es el proceso que involucra el enfriamiento de los vapores de gasolina a través de un serpentín que conduce gas propano a una temperatura de -35°F, y posterior recuperación de los condensados en una corriente de gasolina fresca.

Absorción-Evaporación instantánea-Absorción: Los vapores son absorbidos por un líquido selectivo, la corriente de salida es alimentada a una columna de vaporización instantánea de dos cámaras conectadas en serie, en estas se separan los hidrocarburos del líquido selectivo, el cual es recirculado. Los vapores que salen de la columna de vaporización se recuperan en una columna de absorción con una corriente de gasolina fresca.

Adsorción-Desorción-Absorción: Consiste en el tratamiento de vapores de gasolina a través de camas de carbón activado, de donde son desorbidos y

recuperados en gasolina líquida para su recirculación al tanque de almacenamiento de combustible de menor calidad de la terminal.

Termo oxidación: El termo oxidador opera a una temperatura de 872°C, asegurando que el vapor de gasolina entrante reside por lo menos un segundo, con el fin de presentar un emisión de COV's a la atmósfera menor a 10 ppm.

5. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE VAPORES FASE I Y FASE II

El control de las emisiones de vapores de gasolina en las estaciones de servicio se divide en dos fases denominadas fase I y fase II. Los vapores recuperados son transferidos del tanque de almacenamiento hacia el autotanque y finalmente se llevan a la terminal de distribución de PEMEX, para su tratamiento y recuperación final.

5.1 Sistema de recuperación de vapores fase I

Consiste en la instalación de accesorios y dispositivos para la recuperación y control de las emisiones de vapores de gasolina durante la transferencia de combustible del autotanque al tanque de almacenamiento de la estación de servicio⁽²⁾. Los vapores recuperados son transferidos del tanque de almacenamiento hacia el autotanque y finalmente se llevan a la terminal de distribución de PEMEX para su procesamiento.

5.2 Sistema de recuperación de vapores fase II

Accesorios y dispositivos para la recuperación y control de las emisiones de vapores de gasolina generados durante la transferencia del combustible del tanque de almacenamiento de la estación de servicio hacia el vehículo automotor. En su caso los vapores excedentes que no puedan ser recuperados son incinerados mediante un sistema de procesamiento de vapores para evitar su emisión a la atmósfera.

En la actualidad existen tres tipos de sistemas de recuperación de vapores para la fase II, los cuales se describen a continuación.

5.2.1 Sistemas de balance

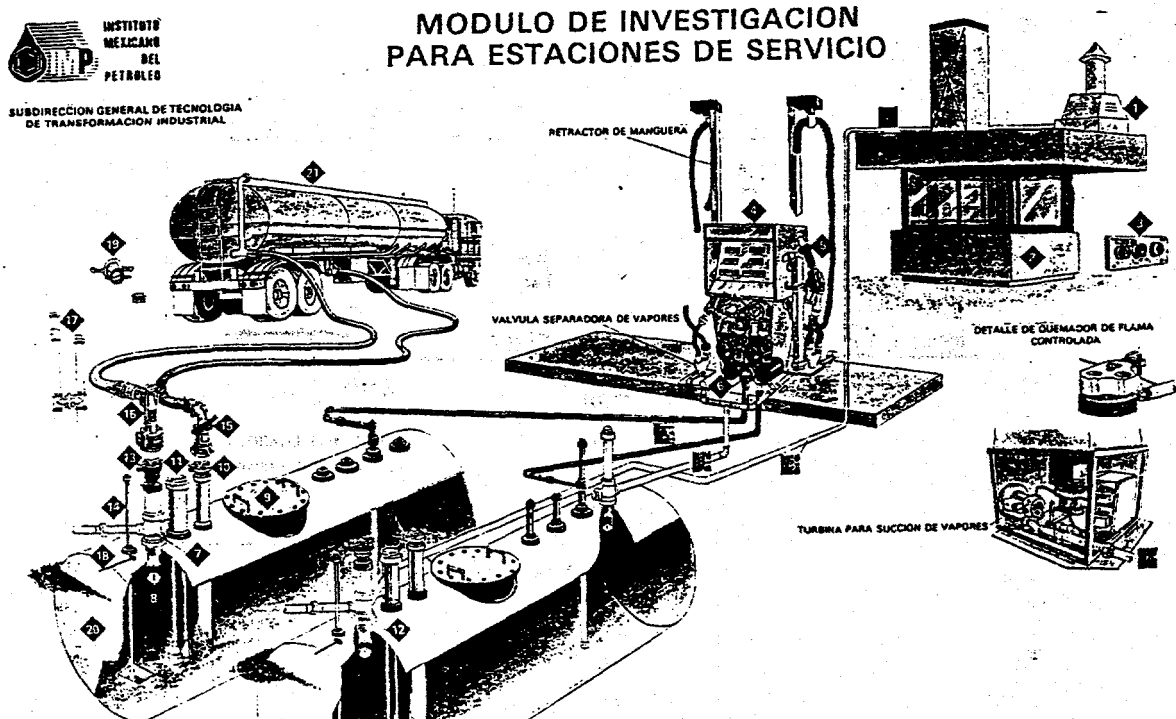
Es un sistema de recuperación de vapores en el que no existe dispositivo alguno que favorezca el retorno de los vapores al tanque de almacenamiento de combustible de la estación de servicio y en el cual no se incluye un procesador de vapores. Es decir donde por cada litro de combustible suministrado al tanque del vehículo automotor, corresponde un volumen igual de vapores de gasolina que son retornados al tanque de almacenamiento de la estación de servicio, con este comportamiento el valor de la tasa volumétrica vapor/líquido no excede del 100%. En este tipo de sistemas, el exceso de vapores acumulado en el tanque es venteado a la atmósfera.

En este tipo de sistemas es indispensable lograr un sello perfecto entre el fuelle de la pistola y la bocatoma del tanque del vehículo automotor, ya que solo así se logra una tasa volumétrica de 100%, lo que en la práctica garantiza el funcionamiento adecuado del sistema.

5.2.2 Sistema asistido por vacío

Es un sistema de recuperación de vapores el cual incluye un dispositivo de succión que favorece el retorno de los vapores al tanque de almacenamiento y un procesador para los vapores excedentes. En función de la ubicación del dispositivo de succión, los sistemas asistidos por vacío se clasifican en dos tipos: primer tipo aquel en el que el dispositivo de succión se ubica dentro del procesador de vapores y segundo tipo, aquel en el que el dispositivo de succión se ubica fuera del procesador de vapores.

El primer tipo funciona en un rango de presión negativa de 3.0 a 3.3 pulg de columna de agua. El vacío es producido por una turbina, donde los vapores son succionados a través de una serie de orificios localizados en el extremo final de la pistola, pasando a través de la manguera coaxial estándar, ver **figura 2**. El segundo tipo funciona a una presión positiva máxima de 0.7 pulg de columna de agua. El vacío es generado por una bomba recíproca, donde los vapores son succionados a través de una serie de orificios localizados en el extremo final de la pistola, pasando a través de la manguera coaxial invertida. En este sistema los vapores son enviados una parte al tanque subterráneo y otra al procesador de vapores. El procesador de vapores es controlado por una válvula de presión vacío como medida de seguridad.



En este tipo de sistemas el exceso de vapores acumulado en el tanque es enviado al procesador de vapores. Estos sistemas alcanzan tasas volumétricas vapor/líquido mayores al 140%, lo que implica que se tiene una cantidad de vapores en exceso.

5.2.3 Sistema de membranas selectivas

Para este sistema se emplean filtros de membranas que remueven los vapores de combustible para asegurar que el aire emitido a la atmósfera sea limpio. De esta manera la cantidad atrapada es retornada al tanque de almacenamiento subterráneo, trabaja con tasas volumétricas de aproximadamente 150%.

6. EMISIONES GENERADAS EN LAS ETAPAS DEL CICLO DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES.

Durante el ciclo de distribución de combustibles se encuentran tres fases involucradas como lo muestra la **figura 3**, a continuación se describe como se localizan las emisiones para cada etapa.

6.1 Fase 0

Existen emisiones en dos puntos principalmente, el primero se encuentra en los tanques de almacenamiento vertical de techo fijo en los venteos cuando aumenta la temperatura o cuando se bombea combustible a su interior, el segundo punto se ubica en el área de llenaderas donde se suministra combustible a los autotanques por la parte superior.

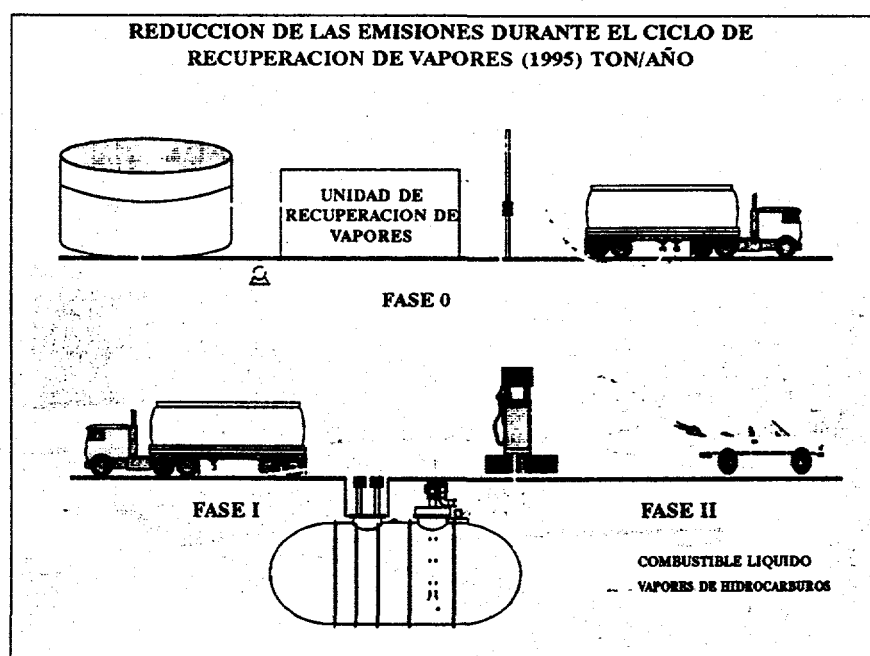


FIGURA 3

6.2 Fase I

En esta etapa las emisiones se generan cuando el autotanque suministra combustible al tanque de almacenamiento de la estación de servicio y los vapores buscan una salida a través de los venteos de la estación de servicio, a esta etapa vamos a incluir los derrames en la estación de servicio.

6.3 Fase II

En la última etapa o fase II se generan emisiones de hidrocarburos al momento de despachar el combustible a los vehículos automotores escapando dichos vapores a la atmósfera.

La estimación de las emisiones para cada una de las fases en la comercialización de los combustibles se calculó para el año de 1991 tomando una base de aproximadamente 38 millones de barriles.

Los datos obtenidos fueron los siguientes: Para 1991 las emisiones de hidrocarburos originadas en tanques de almacenamiento fueron de aproximadamente 5 ton/día, para las emisiones relacionadas a la carga y descarga de autotankers se obtuvieron 20 ton/día, el valor que corresponde a derrames en las estaciones de servicio y respiración en tanques de almacenamiento fue de 3 ton/día y por último para el llenado de tanques de vehículos automotores se obtuvo un valor de 15 ton/día.

Con la conversión de tanques de techo fijo a techo flotante interno (membranas internas) se pronostica que la emisión se reduciría a 0.3 ton/día, si la carga de autotankers se realiza completamente por el fondo y se considera la instalación de URV's para la fase 0 la emisión de hidrocarburos será de 1 ton/día, para el caso de derrames y respiración de tanques de almacenamiento no se consideró la existencia de medidas para su control por lo tanto hay un aumento en las emisiones debido a los mayores niveles de ventas de gasolina de 4 ton/día y finalmente para el llenado de automóviles se consideró la instalación de SRV's en la fase II con eficiencia mayor al 90% en promedio y el resultado fue de 2 ton/día. Todo lo anterior para una base de aproximadamente 47 millones de barriles.

De lo anterior la reducción en las emisiones de hidrocarburos realizando las actividades mencionadas es de aproximadamente 43 ton/día para 1991 y de 7 ton/día una vez que se realicen las acciones antes mencionadas, ver **figura 4**.

7. CONCLUSIONES

Una vez que se instalen sistemas de recuperación de vapores en todo el ciclo de almacenamiento y distribución de los combustibles en la ZMCM se reduzcan considerablemente las emisiones de hidrocarburos a la atmósfera y con ello se abatirán los niveles de ozono en nuestro ambiente.

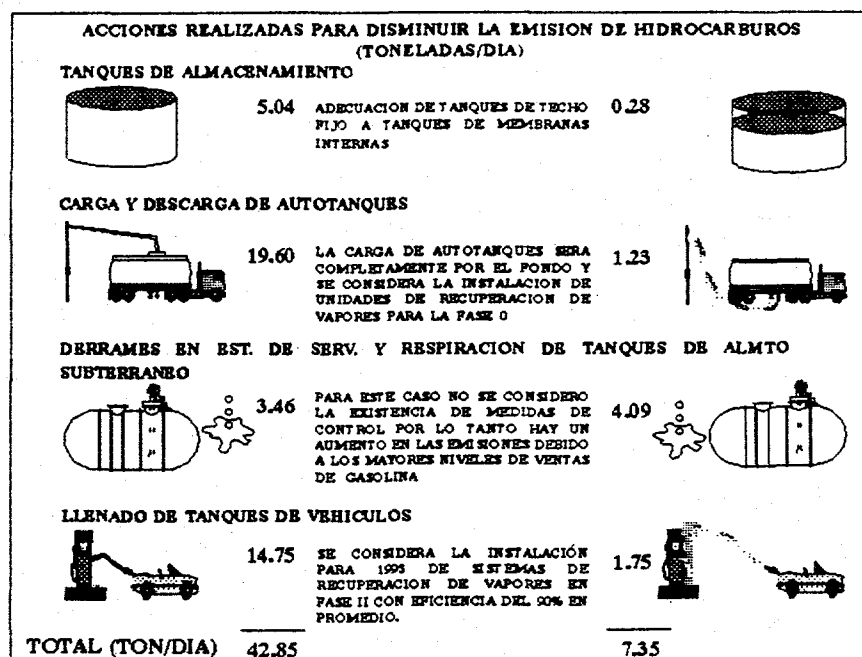


FIGURA 4

8. REFERENCIAS

Básicas:

- American Petroleum Institute, *Evaporation loss from tank cars, tank trucks, and marine vessels*, API Bulletin 2514, Washington, D.C., Noviembre 1959.
- American Petroleum Institute, *Evaporation loss from floating roof tanks*, API Bulletin 2517, Washington, D.C., Noviembre 1962.
- American Petroleum Institute, *Evaporation loss from fixed roof tanks*, API Bulletin 2518, Washington, D.C., Noviembre 1962.
- American Petroleum Institute, *Use of internal floating covers for fixed floating roof tanks to reduce evaporation loss*, API Bulletin 2519, Washington, D.C., Noviembre 1962.
- Environmental Protection Agency, *Air pollution emissions factors*, AP42, U.S.A. 1985.

Para la elaboración de este informe:

1. Comisión Metropolitana para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental en el Valle de México, *La contaminación atmosférica en el Valle de México - Acciones para su control 1988-1994*, México Distrito Federal 1994.
2. PEMEX-Refinación, *Especificaciones generales para proyecto y construcción de estaciones de servicio*, Edición 1994, México Distrito Federal 1994.
3. Instituto Mexicano del Petróleo, *Evaluación de emisiones evaporativas para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*, Proyecto EBO-8100, México Distrito Federal, Junio 1993.
4. California Air Resources Board, *Gasoline facilities phase I & II*, U.S.A. october 1988.

M X 9800019

*XVI Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía
Museo Tecnológico, CFE, 27 Nov.-1 Dic. 1995*

Técnicas modernas para el control de emisiones en centrales termoeléctricas

César A. Romo Millares
Depto. Sistemas de Combustión
Instituto de Investigaciones Eléctricas
Apdo. Postal 1-475, 62001 Cuernavaca, Mor

RESUMEN

Se presentan las técnicas y equipos de control de emisiones para centrales termoeléctricas que tienen mayores posibilidades de ser consideradas en el futuro inmediato dentro del panorama energético nacional y el marco establecido por la normatividad ambiental. Los compuestos contaminantes sujetos a revisión son los óxidos de nitrógeno y azufre y las partículas inquemadas.

INTRODUCCION

El proceso de combustión inevitablemente conlleva la producción de compuestos indeseables para el medioambiente de entre los cuales las partículas inquemadas, los óxidos de nitrógeno, y los óxidos de azufre son los más importantes. Dependiendo del tipo de combustible utilizado, la producción de estos compuestos puede verse acentuada o aminorada y es por ello que una primera estrategia en el control de emisiones considera, dentro de lo posible, la utilización de combustibles con bajos contenidos de azufre y nitrógeno. Es por esta razón que el gas natural es considerado como el combustible idóneo en lo que respecta a menor aportación de contaminantes al medioambiente.

En México sólo unas cuantas centrales de generación en base a combustibles fósiles operan con gas natural (14.53%) (ver figura 1), siendo la mayoría de ellas operadas en base a un combustible residual derivado de la refinación del petróleo crudo. Este combustible, denominado combustóleo pesado, se destina casi exclusivamente para fines de generación de energía. Desafortunadamente, éste ha venido sufriendo un serio proceso de deterioro en su calidad, a medida que los procesos de refinación se han eficientado, separando cada vez una mayor cantidad de hidrocarburos aprovechables. Como resultado, el combustóleo suministrado a Comisión Federal de Electricidad (CFE) se ha tornado en un combustible residual con altas concentraciones de azufre y compuestos alquitranados de alto peso molecular, comúnmente denominados como asfaltenos. La figura 2 muestra un análisis típico de un combustóleo mexicano.

Fig. 1 Distribución de la generación en base a la utilización de combustibles fósiles

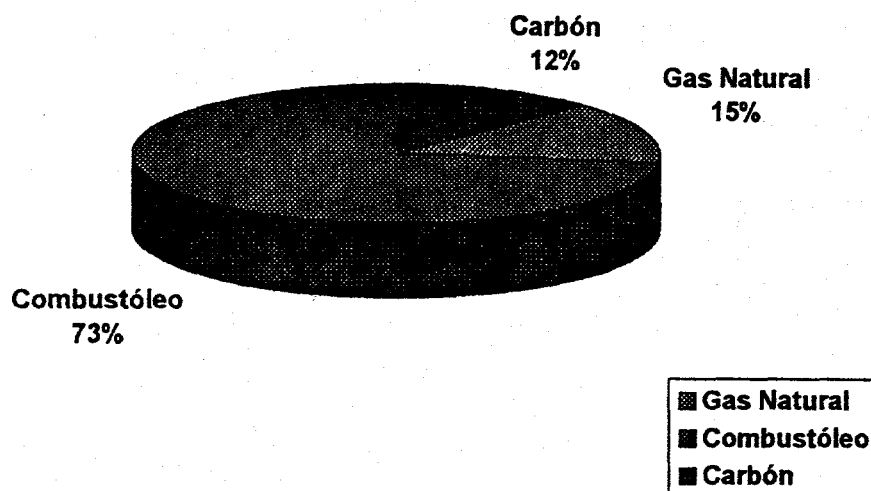


Fig. 2 Análisis del Combustóleo Nacional

Compuesto	Valor medio	(Máximo)
Azufre (%)	3.24	(4.3)
Carbono (%)	84.23	
Asfaltenos (%)	15.85	(21)
Cenizas (%)	0.07	
Hidrógeno (%)	9.86	
Nitrógeno (%)	0.40	
Vanadio (ppm)	285	
Fe (ppm)	4.03	
Mg (ppm)	5.2	
Na (ppm)	38.47	
Ni (ppm)	11.69	
Temperatura de inflamación	95 °C	
Viscosidad SSF (50°C)	450	

Aunque el origen del problema de la emisión de los compuestos arriba mencionados radica principalmente en el tipo de combustible utilizado, existen otros factores que contribuyen a acrecentar la problemática de la operación de las centrales de CFE no sólo ambientalmente hablando, sino también a nivel de la propia disponibilidad de las unidades generadoras de vapor.

Uno de ellos se refiere al propio diseño de los equipos de combustión, es decir, los quemadores, cajas de aire y hogar, los cuales realizan la función primordial de suministrar el combustible y aire, además de proporcionar el tiempo y condiciones de mezclado para que se lleve a cabo el proceso de combustión. Estos equipos de combustión son en cierta medida los responsables de la emisión de partículas y óxidos de nitrógeno y es en ellos donde se basan gran parte de las estrategias de control de emisiones en centrales termoeléctricas. Por otro lado, la presencia de azufre en el combustóleo involucra la

existencia de dióxido y trióxido de azufre y la existencia, dependiendo de las temperaturas en el generador de vapor, de ácido sulfúrico. A este respecto, son bien conocidos sus efectos corrosivos (1)

NORMATIVIDAD AMBIENTAL

En México, la normatividad en materia de emisiones ha venido evolucionando hacia un control más estricto de las emisiones de fuentes fijas, principalmente en las zonas consideradas como críticas, las cuales abarcan las principales metrópolis del país, zonas fronterizas y diversos corredores industriales (ver figura 3). La norma (NOM-085-ECOL-1994) está dando como plazo hasta diciembre de 1997 para que tanto los productores de combustibles (PEMEX) como las industrias emisoras se preparen y tomen provisiones para apegarse a norma. La norma ha avanzado también en el sentido de considerar el concepto "burbuja" en la emisión de contaminantes en un predio determinado, similarmente a como se realiza en diversos países industrializados. Esto permitirá que en una central termoeléctrica se puedan utilizar diversos tipos de combustibles o mezclas de ellos, considerándose para efectos de emisión total el aporte global contenido dentro de la burbuja o predio de la central termoeléctrica.

Fig. 3 Norma ecológica para fuentes fijas en base a combustóleo

Zona Crítica

Período de vigencia	Partículas (mg/m ³)	Dióxido de azufre (ppm)	Oxidos de Nitrógeno (ppm)
1994 a 1997	325	2100	280
1998 en adelante	250	1100	110

Resto del país

Período de vigencia	Partículas (mg/m ³)	Dióxido de azufre (ppm)	Oxidos de Nitrógeno (ppm)
1994 a 1997	500	2500	400
1998 en adelante	350	2200	375

TECNICAS PARA EL CONTROL DE PARTICULAS

El control de las emisiones de partículas representa uno de los principales retos de la actualidad en el sector de la generación de energía. Las partículas pueden ser formadas por diversos componentes. Por ejemplo, las producidas por una central carboeléctrica están compuestas por cenizas principalmente, mientras que las de centrales a base de combustóleo pueden contener altos porcentajes de carbono. Este último caso suele ejemplificar a un ineficiente proceso de combustión que deja sin aprovechar una significativa cantidad de combustible. La figuras 4 y 5 muestran microfotografías de partículas carbonáceas (denominadas cenósferas) colectadas en la chimenea de una central termoeléctrica (2). Aquí se pueden apreciar dos tipos de partículas. En la primera, que corresponde a una cenósfera con un solo poro se tiene una muy baja eficiencia de

combustión, del orden del 10%. En contraste, la segunda figura muestra una partícula de aspecto esponjoso, que tiene una mediana eficiencia de combustión o burnout, de aproximadamente 70%, de acuerdo con las consideraciones de Lawn (3).

Detalle de una cenósfera con baja eficiencia de combustión

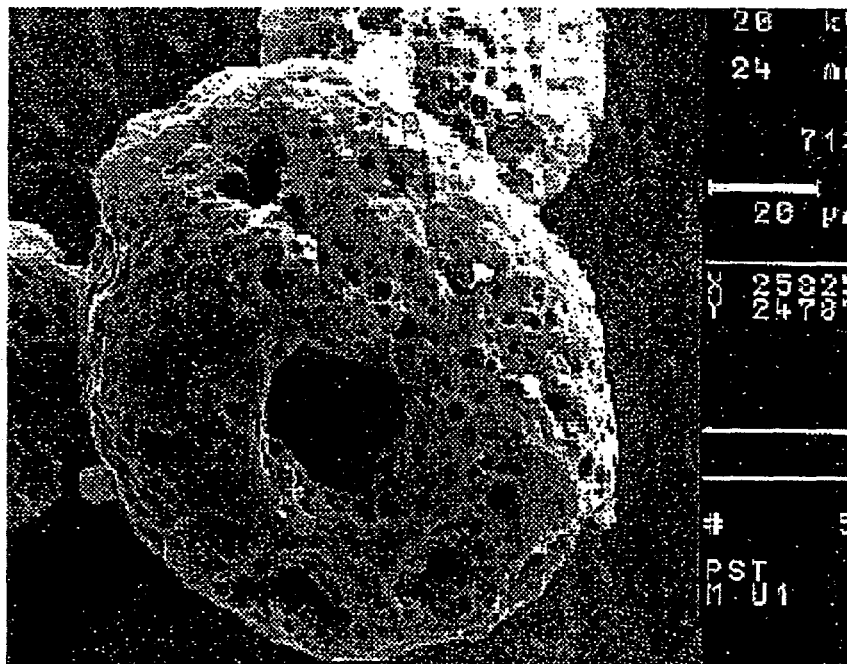


Figura 4

10% Burnout

Detalle de una cenósfera con mediana eficiencia de combustión

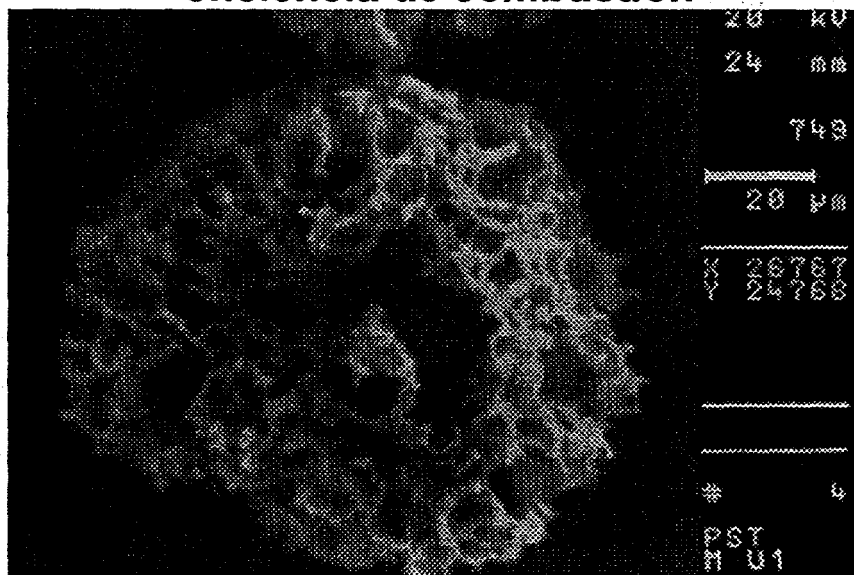


Figura 5

70% Burnout

Las estrategias para establecer un control en la emisión de partículas dependen, desde luego, del tipo de partícula producida. En los casos como el mostrado anteriormente, es lógico pensar que una manera de solucionar el problema es mediante la eficientación del proceso de combustión, es decir mediante una mejor atomización del combustible y un mezclado más intenso del combustible-oxidante dentro del hogar de la caldera. Por otro lado, en el caso de una alta emisión de cenizas, no queda más remedio que la instalación de equipos filtradores de partículas como son los precipitadores electrostáticos o los filtro bolsa.

Concentrándonos en el caso de emisión de partículas carbonáceas, las cuales también pueden representar problemas en términos de opacidad de plumas de gases (2), existen tecnologías de combustión, en este caso de atomización (Figura 6), que se han especializado en proveer distribuciones de tamaños de gota en el spray adecuados para una combustión completa (4). Normalmente se considera que una distribución de tamaños de gota en el spray del orden de 70 a 80 micrones, debe ser quemada sin dificultad. El problema se presenta cuando se tienen gotas que rebasan los 100 micrones de diámetro, las cuales difícilmente contarán con el tiempo de residencia adecuado dentro del hogar para su combustión completa.

El complemento lógico para una adecuada atomización de combustible, lo forma el suministro de aire de combustión, el cual es proporcionado en parte por el elemento denominado como difusor o estabilizador de flama (figura 7). Como su nombre lo indica, este artefacto estabiliza la flama mediante la creación de un patrón aerodinámico de flujos que no sólo permite anclar y sostener la flama en una posición cercana al quemador, sino que mediante la creación de zonas de recirculación de gases calientes al interior de la flama, permite la ignición del combustible (figura 8).

Fig. 6 Diagrama esquemático de un atomizador de mezclado interno

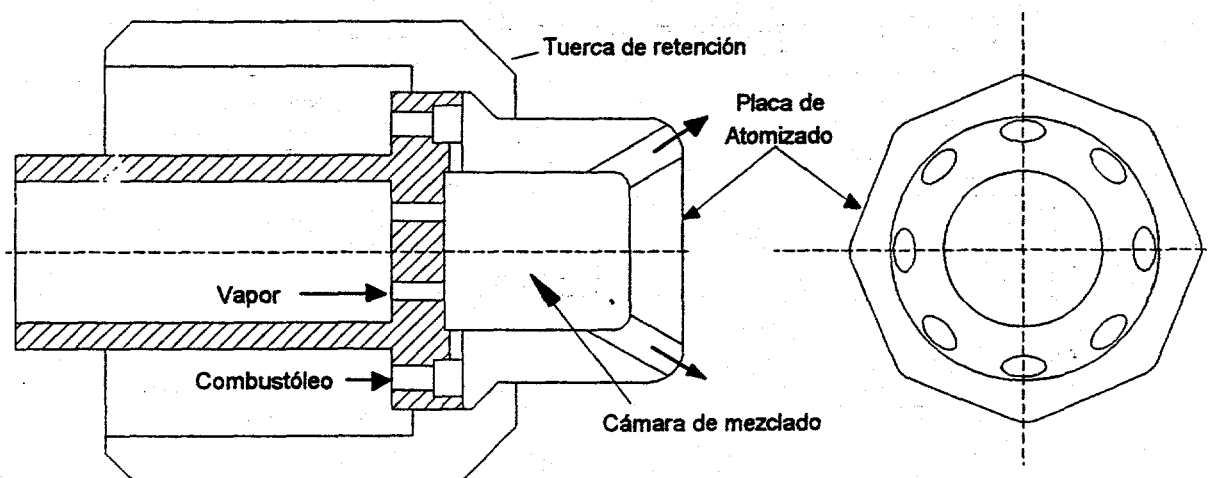


Fig. 7 Estabilizador de flama

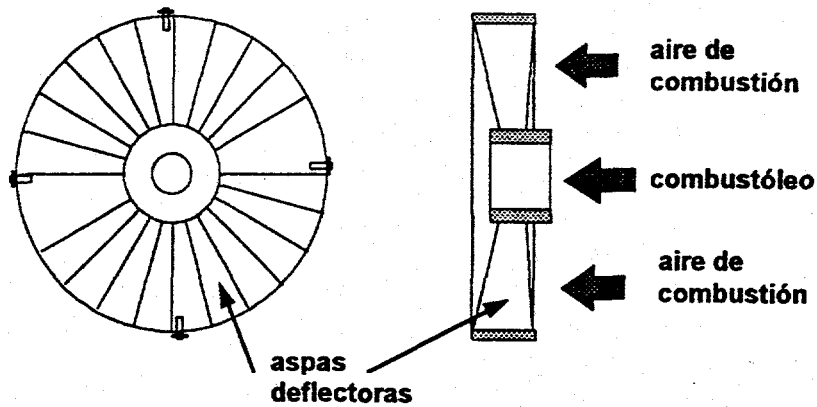


Fig. 8 ATOMIZACION Y ESTABILIZACION DE FLAMA

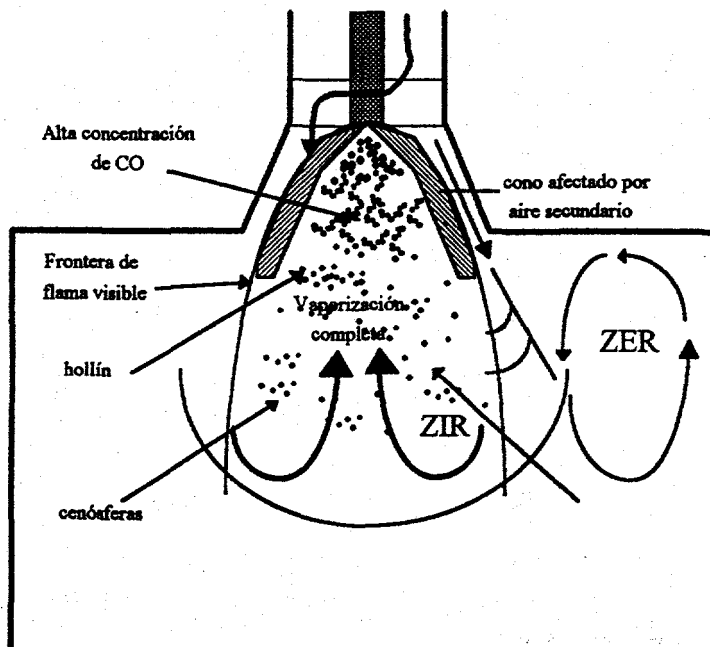
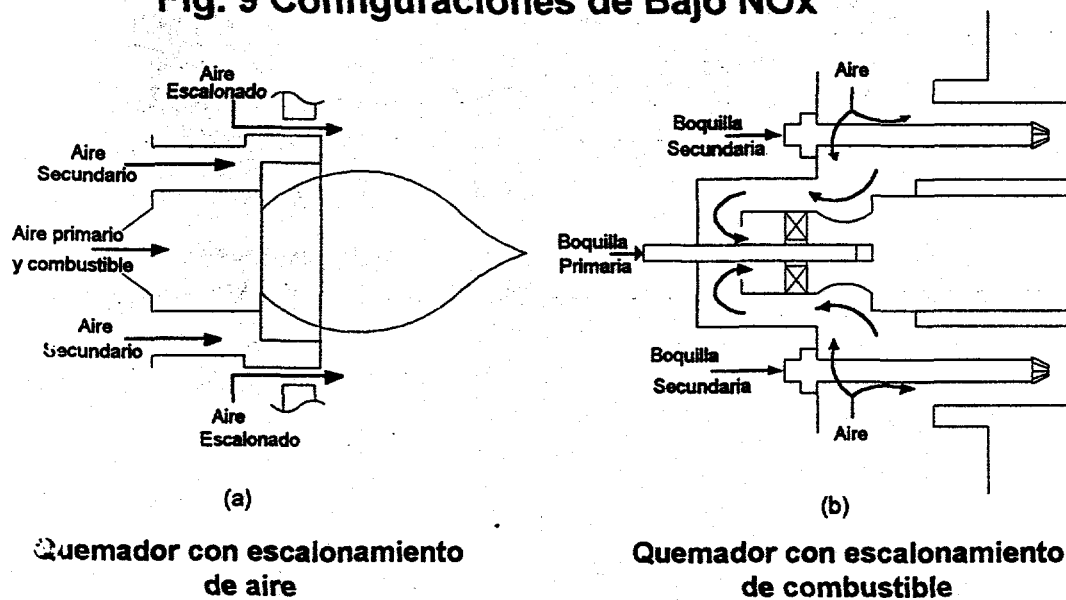


Fig. 9 Configuraciones de Bajo NOx



TECNICAS PARA EL CONTROL DE NO_x.

Dentro de los equipos que participan en la combustión, existe una gran diversidad de equipos tendientes a proporcionar algún tipo de control a la emisión de NO_x.

Como es ya bien conocido, son dos los factores principales que inciden en una alta formación de óxido nítrico en el interior de un generador de vapor: alta disponibilidad de oxígeno para reaccionar con el nitrógeno ya sea del combustible o del aire, y alta temperatura que promueve la reacción entre nitrógeno molecular y oxígeno para formar el NO_x térmico.

Los equipos de control de NO_x tratan de explotar estas dos condiciones mediante la separación de los flujos de combustible y oxidante (realizándose una mezcla rica en combustible y pobre en oxígeno) y mediante la disminución de la temperatura de flama. Este es esencialmente el principio de operación de un quemador de bajos NO_x (5) (figura 9).

Aunque en estos equipos se tienen experiencias positivas en términos de reducción de compuestos NO_x, también se ha observado una tendencia a acentuar el problema de emisión de partículas, en gran parte gracias a la falta de oxígeno para completar la combustión. Las figuras 10 y 11 muestran el efecto de la operación de apertura de las compuertas auxiliares para reducción de NO_x, denominadas "over fire air (OFA)" en las emisiones de NO_x y partículas, respectivamente (2)

Existen otras técnicas para reducir los NO_x actuando directamente en los gases de combustión. Estas técnicas basan su operación en la reacción del óxido nítrico (NO) con compuestos nitrogenados como pueden ser el amoníaco o la urea. Esta reacción (figura 12) tiene la particularidad, si se realiza adecuadamente, de reducir el NO de los gases a nitrógeno molecular (N₂).

La diferencia entre los distintos métodos derivados de estas reacciones se basa en la temperatura a la que se llevan a cabo, y desde luego en las zonas del generador de vapor correspondientes.

El método de reducción catalítica selectiva (SCR por sus siglas en inglés) actúa a una temperatura relativamente baja de 350°C. Dada esta temperatura, se requiere de la presencia de un agente catalizador que acelere la reacción entre el amoníaco y el NO. En este caso se utiliza normalmente dióxido de titanio (TiO₂) fijado a una serie de placas por las cuales se hacen circular los gases de combustión.

El otro método (SNCR) no requiere de un agente catalizador ya que se lleva a cabo a temperaturas significativamente más altas que en el otro método (760-1050°C), y consiste en la adición directa de urea o amoníaco a los gases de combustión.

Ambos procesos requieren de precauciones especiales en la operación, principalmente debido a los problemas en que se pueden incurrir si el amoníaco adicionado no reacciona adecuadamente y pasa como potencial agente corrosivo de los elementos del generador de vapor (5).

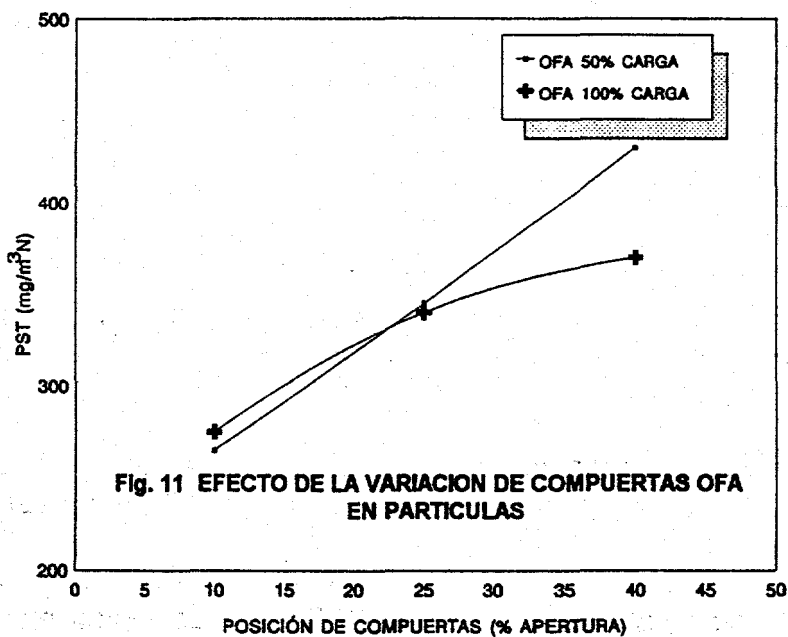
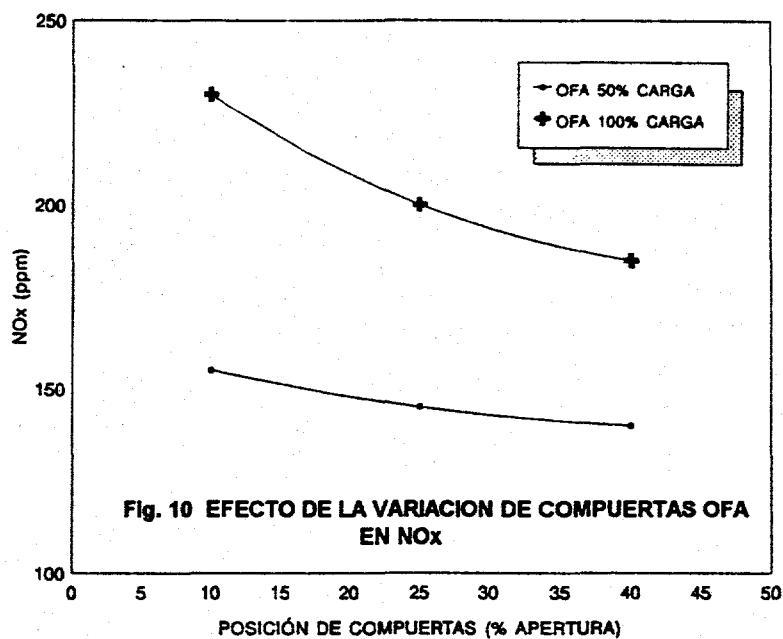


Fig. 12 PROCESOS DE REDUCCION DE NOx EN GASES DE COMBUSTION

(TECNOLOGIAS DE POSTCOMBUSTION)

- Reacción clave



- En presencia de un catalizador o a alta temperatura

TECNICAS PARA EL CONTROL DE SO_x

A nivel mundial existe una gran cantidad de tecnologías tendientes a reducir el SO₂ de los gases de combustión. Existe una clasificación genérica que determina el tipo de proceso involucrado en el proceso de desulfuración: húmedo, seco y de recuperación. Las variantes sobre cada tipo de configuraciones son bastantes y abarcan desde procesos ya comercializados hasta plantas experimentales (6).

Para la instalación de un proceso de desulfuración se requiere en todos los casos de un estudio a detalle del proceso más adecuado de acuerdo a las condiciones de la central. Entre los parámetros principales que definen el tipo de aplicación se cuenta: grado de remoción de SO₂ esperado, disponibilidad de espacio tanto para proceso como para deposición de desechos, factibilidad de utilización de subproductos, capital de inversión disponible.

En lo que respecta al trióxido de azufre (SO₃), existe un gran interés en su control dado el impacto que éste tiene en la opacidad de la pluma de emisión. El SO₃ al salir de chimenea tiende a condensar en pequeñas gotitas (0.7-1 micrones) de ácido sulfúrico las cuales dispersan eficazmente la luz y dan el efecto de una coloración entre azulosa y blanca a la pluma de gases.

Un método que ofrece buenas perspectivas para la remoción del SO₃ de los gases de combustión, es la utilización de filtros bolsa recubiertos con algún agente alcalino como la cal hidratada (2). Al paso de los gases por los filtros se produce la reacción que da como resultado compuestos de sulfato, los cuales se recolectan y depositan sin problema.

CONCLUSIONES

Se han presentado los equipos y técnicas que pueden colaborar a controlar las emisiones contaminantes de centrales termoeléctricas. En México, dada la particularidad del combustóleo utilizado, se requiere especial atención en aquellos equipos y técnicas que puedan controlar las emisiones de partículas. A otro nivel de importancia, es también indispensable el tratar de comenzar la integración de estrategias tendientes al control de NO_x y SO_x.

REFERENCIAS

1. Fontana, M.G. (1985). Corrosion Engineering. McGraw Hill.
2. Romo, C., Penna, A., Bautista, R., Martínez, O., Huerta, M., Mora, J., Escalera, R. (1995). Estudio de factibilidad técnico-económica para la reducción de emisiones contaminantes en centrales termoeléctricas. Informe IIE/15/5579/I 01/FINAL.
3. Lawn, C. (1987). Principles of combustion engineering for boilers. Academic Press.
4. Electric Power Technologies, (1994). REACH: Reduced Emissions and Advanced Combustion Hardware.

5. Romo, C. y Huerta, M. Métodos para control de óxidos de nitrógeno (NOx) en centrales termoeléctricas. Boletín IIE, marzo/abril, 1994.
6. Longoria, R. y Reyes C. (1994). Procesos de desulfuración de gases de combustión y análisis de su aplicabilidad en la CFE. Informe IIE/15/5579/I 07/ANUAL.

NORMALIZACION DE EFICIENCIA ENERGETICA EN SISTEMAS DE BOMBEO

**ING. R. ARACELY ACOSTA TORRES
ING. EDUARDO H. BUENDIA DOMINGUEZ**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ELECTRICAS
AV. REFORMA No. 13 COL. PALMIRA
TEMIXCO, MOR.**

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 en sistemas de bombeo, específicamente para el sector agrícola. Dicho documento ha cumplido con los trámites necesarios para la emisión de una norma, y está próximo a publicarse como norma oficial mexicana de eficiencia energética. En el presente artículo se mencionan los resultados del análisis de los sistemas de bombeo en operación, 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.

INTRODUCCION

El programa nacional de desarrollo indica que es indispensable para el país un uso racional de los recursos energéticos, razón por la cual se han promovido acciones como normalizar equipos y sistemas mediante normas de eficiencia energética, las cuales son disposiciones obligatorias que contienen reglas sobre especificaciones que deben cumplir los productos que se fabriquen y/o comercialicen en México.

El empleo de bombas verticales tipo turbina con motor externo es importante en el servicio de riego agrícola, representando el 70% del total de los equipos instalados por la Comisión Nacional del Agua (CNA) (3), abarcando un rango de potencias de 7.5 hasta 350 hp. La eficiencia con la que operan alrededor del 50% de dichos equipos, es inferior al 40%, por lo cual existe un gran potencial de ahorro de energía que se vislumbra atractivo.

Por otro lado, es normal que el crecimiento de un país se vea reflejado en un mayor consumo de energía, y el consumo de energía eléctrica para bombeo no es la excepción. Aproximadamente el 6% (1) de las ventas totales de la Comisión Federal de Electricidad en el año 1992 fueron destinadas al servicio de bombeo para riego agrícola (tarifa 9) mientras que alrededor del 2.5% correspondió a la tarifa 6 -bombeo de aguas potables y negras-, por consiguiente la operación eficiente de las instalaciones electromecánicas, comparadas con la situación actual, representa un ahorro de energía importante.

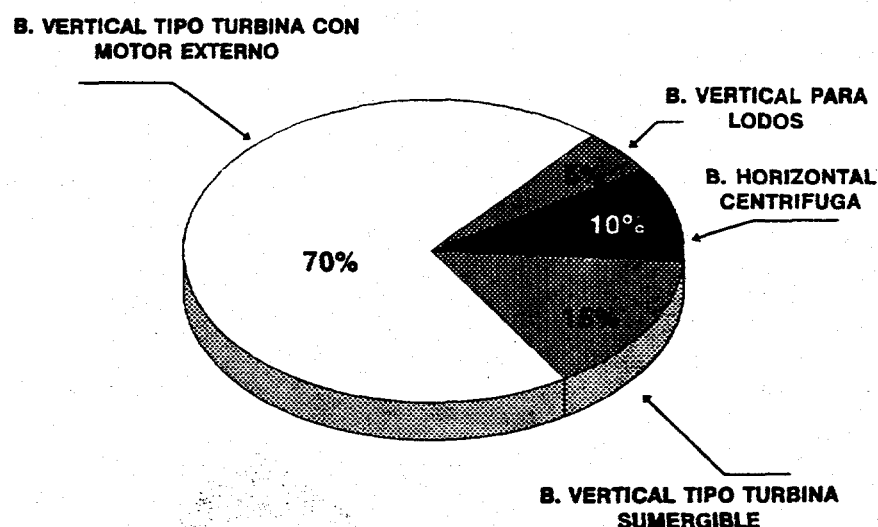
OBJETIVO

El propósito de este artículo es dar a conocer los resultados del estudio técnico y económico que sustentan el proyecto de norma de eficiencia energética para sistemas de bombeo.

ESCENARIO ACTUAL DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

A continuación se presenta un panorama de los sistemas de bombeo en cuanto al tipo de equipo instalado (figura 1, 2 y 3), y de las potencias de los motores utilizados en el servicio de riego agrícola.

EQUIPOS DE BOMBEO MAS UTILIZADOS POR C.N.A.



FUENTE: INSTITUTO MEXICANO DE TECNOLOGIA DEL AGUA

Figura 1

EQUIPOS DE BOMBEO MAS UTILIZADOS EN AGUA POTABLE

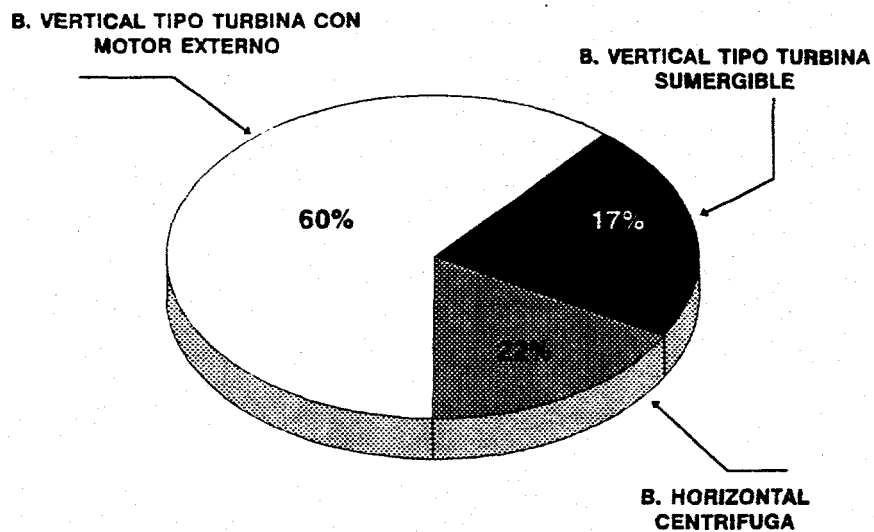


Figura 2

EQUIPOS DE BOMBEO MAS UTILIZADOS POR UNIDADES DE RIEGO

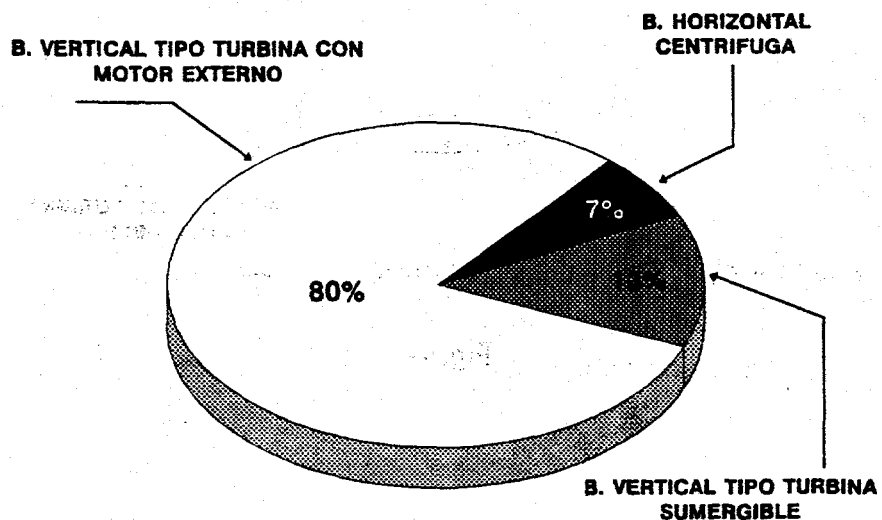


Figura 3

Como se puede observar en las gráficas anteriores las bombas verticales tipo turbina con motor externo son los equipos mas utilizados en los sistemas de bombeo.

Para un mejor manejo de la información, se hizo una clasificación de los equipos en función de la potencia del motor eléctrico acoplado a la bomba (4).

Con base a estudios realizados, el rango de potencias de los motores eléctricos empleados en las bombas vertical tipo turbina se encuentra entre 7.5 y 350 hp, las potencias comerciales para este rango se muestran en la tabla 1.

POTENCIA (hp)	Intervalo hp (kW)
7.5	7.5-20 (6-15)
10	
15	
20	
25	21-50 (16-37)
30	
40	
50	
60	51-125 (38-93)
75	
100	
125	
150	126-350 (94-261)
200	
250	
300	
350	

Tabla 1 Potencias comerciales en motores eléctricos

Finalmente se definieron cuatro intervalos para la clasificación del conjunto motor-bomba, basándose en los siguientes aspectos: el potencial de conservación de energía y un número manejable de intervalos, ya que los estudios realizados, muestran que el grueso de los equipos instalados se encuentran en el intervalo de 20 a 125 hp.

Por otro lado, se tomó como base una muestra de 1876 pozos para riego agrícola localizados en 12 estados de la República Mexicana, en la figura 4 se muestra la distribución en porcentaje de los cuatro intervalos de potencia antes mencionados.

CANTIDAD DE EQUIPOS POR INTERVALO DE POTENCIA RIEGO AGRICOLA

(12 ESTADOS DE LA REPUBLICA, 1876 POZOS)

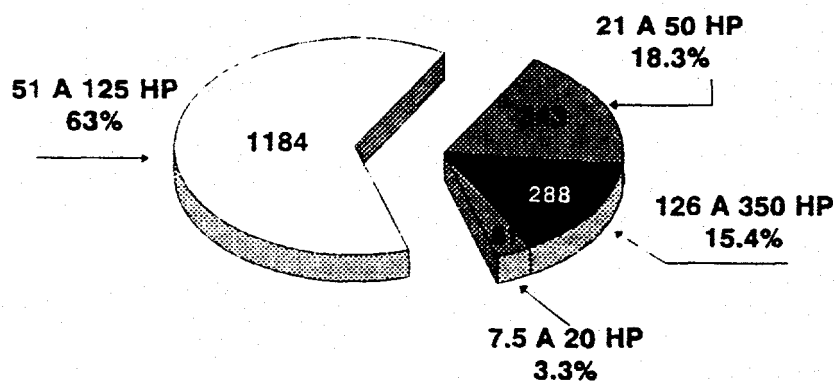


Figura 4

En la tabla 2 se muestra el porcentaje de equipos por intervalo de eficiencias promedio.

Intervalo de potencias (hp)	Porcentaje de participación de equipos por rango de eficiencia (%)				Número de equipos de la muestra
	≤ 40	> 40 -50	> 50 -60	> 60	
7.5 -20	50.0	31.0	8.0	11.0	61
21-50	52.0	20.0	13.0	15.0	343
51-125	46.3	26.6	14.1	14.0	1184
125-350	43.3	20.5	16.3	19.9	288

Tabla 2 Porcentaje de participación de equipos por intervalo de eficiencia y potencia.

Como se puede observar en el intervalo de 51-125 hp se concentra el 63% del total de los equipos de la muestra, también se observa que más del 50% de los equipos correspondientes a los intervalos 7.5-20 y 21-50 hp reportan eficiencias menores o iguales al 40%.

La figura 5 muestra de forma gráfica los valores de eficiencia promedio para cada uno de los cuatro intervalos de potencia en que se han clasificado los equipos, observándose que el 46.6% del total de la muestra de equipos tienen eficiencias menores al 40%, lo que representa una oportunidad importante de ahorro de energía en el sector agrícola.

EFICIENCIAS EN EQUIPOS DE BOMBEO EN OOPERACION RIEGO AGRICOLA

(12 ESTADOS DE LA REPUBLICA, 1876 POZOS)

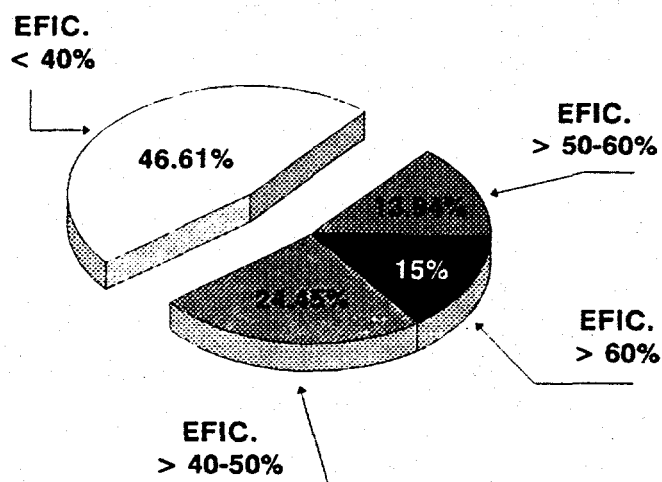


Figura 5

POTENCIAL DE AHORRO ENERGETICO.

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. De acuerdo a información de CFE, el consumo de energía en el sector agrícola para 1992 es del 6% con respecto a las ventas totales, y si consideramos por un lado, que la tasa de crecimiento del sector eléctrico para un escenario alto es de 5.4% (2) y por otro lado, las regulaciones actuales en cuanto a emisiones contaminantes al ambiente, cobra una gran relevancia el empleo de equipos eficientes que contribuyan a estos dos aspectos.

Como una forma de lograr los fines antes citados, se han conjuntado esfuerzos en la elaboración de normas de eficiencia energética para los sistemas de bombeo en operación. Sabemos que las eficiencias actuales de los conjuntos motor-bomba en el mercado nacional para equipos nuevos y en condiciones de operación óptimas son los indicados en la tabla 3.

INTERVALO DE POTENCIAS (hp)	EFICIENCIA DEL CONJUNTO (%)
7.5-20	64.0
21-50	70.8
51-125	74.9
125-350	78.0

Tabla 3 Valores de eficiencia promedio del conjunto motor-bomba vertical tipo turbina con motor externo

La experiencia del personal usuario y de los propios fabricantes indica que en operación estos valores se ven reducidos en algunos puntos porcentuales por diversas causas, tales como:

operar fuera del punto de diseño, variaciones en las condiciones de operación originales, exactitud de la instrumentación utilizada, defectos constructivos de los pozos, falta de mantenimiento tanto de los equipos como de los pozos, y problemas regionales entre otros.

Debido a lo antes expuesto los valores de eficiencia que se incluyen en la norma son los siguientes:

INTERVALO DE POTENCIAS (hp)	EFICIENCIA DEL CONJUNTO (%)
7.5-20	52
21-50	56
51-125	60
125-350	64

Tabla 4 Valores mínimos de eficiencia en sistemas de bombeo en operación.

Por otro lado, se determinó que la rentabilidad de la rehabilitación de equipos es adecuada cuando las eficiencias de operación son del 40% o inferiores, e incrementándose éstas como mínimo 20 puntos porcentuales después de la rehabilitación.

De acuerdo con estudios realizados el número de equipos instalados que cumplen con las condiciones promedio de operación (carga de bombeo de 75 m y caudal de 35.4 lps), y que tienen eficiencia electromecánica de 40% o menor, asciende a 22 500 para el año de 1992.

La aplicación de la norma oficial mexicana para sistemas de bombeo dará como consecuencia un ahorro de energía y potencia de 8,656,307 MWh y de 1,026 MW respectivamente.

EVALUACION ECONOMICA

El análisis beneficio-costos evalúa todos los impactos favorables y desfavorables para los fabricantes, usuarios y para CFE 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 1994, obteniéndose el siguiente resultado: beneficio neto total 716,935 miles de nuevos pesos

CONCLUSIONES.

El estudio realizado en los sistemas de bombeo en operación, nos indica que las bombas verticales tipo turbina con motor externo representan el 70% del total de los equipos instalados por la Comisión Nacional del Agua (CNA), abarcando un rango de potencias de 7.5 hasta 350 hp. De acuerdo con estudios realizados el número de equipos instalados que cumplen con las condiciones promedio de operación (carga de bombeo de 75 m y caudal de 35.4 lps), y que tienen eficiencia electromecánica de 40% o menor, asciende a 22 500 para el año de 1992.

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 (tabla 4) estamos hablando de evitar la instalación de alrededor de 1,026 MW en los próximos cinco años y una reducción en consumo de energía de 8,656,307 MWh.

REFERENCIAS.

- 1 Comisión Federal de Electricidad, Resultados de Explotación 1992.
- 2 Memorias del XII Curso sobre Planificación Energética - 5º en Latinoamérica y el Caribe -, México, D.F. 1994.
- 3 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.
- 4 U.S. Department of Energy, Clasification and Evaluation of Electric Motors and Pumps, DOE/CS-0147, February 1980.

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS ÍNDICES DE DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO EN EDIFICIOS

Ing. Jesús Ignacio Cruz Hernández y MDB. David Morillón Gálvez

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
Dirección de inmuebles y Alumbrado Público.
Francisco Márquez 160 Col. Condesa. C.P. 06140, México D.F.
tel. 5539000 ext 50 fax 5539020

RESUMEN

Se presenta un estudio sobre la situación nacional de los sistemas de alumbrado en edificios, con el objeto de conocer su consumo y compararlos, de acuerdo a los términos de Densidad de Potencia Eléctrica que deben cumplir los sistemas de alumbrado, publicados recientemente en la norma, NOM 007 ENER-1995 (Eficiencia Energética para los Sistemas de Alumbrado en Edificios No Residenciales).

Se describe la forma de aplicar la norma para determinar los Índices de Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado (DPEA) en edificios, lo cual permitió conocer la situación actual de los sistemas de alumbrado, comparar con los reportados internacionalmente y con los especificados en la propia norma. Como conclusión se tiene la necesidad de eficientizar los sistemas de alumbrado, con tecnología ahorradora, mejorar los niveles de iluminación e igualar los índices energéticos de DPEA con los recomendados.

ANTECEDENTES

La función principal de las compañías suministradoras de energía eléctrica ha sido la de satisfacer los requerimientos en calidad, cantidad, precio, oportunidad y servicio, de dicha energía. Sin embargo, actualmente se exige el cumplimiento de requisitos adicionales, como los especificados en la NOM y el costo/beneficio del proyecto, que no eran ignorados, pero tampoco representaban los puntos medulares para la planeación.

Ante la necesidad de la protección del ambiente y la conservación de los recursos energéticos - especialmente los no renovables -, los nuevos proyectos se condicionan al uso de nuevas tecnologías y la reestructuración de los procesos de producción de las empresas, para disminuir el consumo de energía.

El aumento acelerado de la población en nuestro país va acompañado de una serie de servicios y esto produce que cada día aumente la demanda de energía eléctrica, asimismo, la necesidad de recursos humanos que tengan conocimientos sólidos en el campo de la electrotecnia que comprende: generación, transmisión, distribución, transformación y el uso múltiple de la electricidad.

Desde el punto de vista de los energéticos empleados para la generación de energía eléctrica, aproximadamente la mitad de la producción diaria de hidrocarburos en México se destina para ello. De acuerdo con las tendencias actuales de consumo y considerando exclusivamente las reservas probadas, nuestro país podría correr el riesgo de dejar de ser exportador de crudo en el mediano plazo para convertirse en un importador.

Para resolver ó al menos atenuar los problemas de contaminación, de acabar con los recursos energéticos no renovables, de generación y distribución de la energía eléctrica, la alternativa más viable es el ahorro y uso eficiente de la energía.

Una práctica extendida entre las empresas eléctricas es la llamada planeación para el costo mínimo. De acuerdo con esta práctica las empresas analizan si es más conveniente aumentar la capacidad de generación, que invertir en la promoción de medidas de ahorro y uso eficiente de energía.

En casi todos los países se ha concluido que en promedio resulta dos veces más caro aumentar 1 kW de capacidad instalada de generación, que incentivar al usuario a reducir en 1 kW la carga instalada. Por ello, algunas compañías suministradoras en otros países ofrecen bonificaciones hasta por \$100,000.00 USD al año, a los usuarios que inviertan en equipos ahorradores de energía.

Por lo anterior, el Gobierno Federal estableció como prioritarias, las acciones orientadas al ahorro y uso eficiente de la energía, en el Plan Nacional de Desarrollo y en el Programa de Modernización Energética; como respuesta, el Sector Eléctrico integró en enero de 1990 su Programa de Ahorro de Energía denominado PAESE, para impulsar en forma vigorosa estas acciones.

En respuesta a la convocatoria de CFE, las empresas involucradas en la producción y consumo de electricidad y las Cámaras que las representan, acordaron con las autoridades del sector, la creación de un Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (FIDE), en el cual participan la CFE, LyFC y el SUTERM, con el objetivo de identificar áreas de oportunidad para el ahorro de energía, se crea la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), en 1989 por decreto presidencial.

AHORRO DE ENERGÍA EN LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO EN EDIFICIOS

Aunque los sistemas de alumbrado representan una parte del total de la energía utilizada en una instalación típica, requieren especial atención debido a que son el obvio consumidor de

la misma. Sin embargo, reducir los niveles de iluminación a valores por debajo de los requeridos, sólo por bajar el consumo de energía, resulta contraproducente.

La iluminación comercial, residencial y de servicios públicos, llega a alcanzar en algunos países entre el 20 y 25% del consumo de energía eléctrica. Personal del Laboratorio de Investigaciones Lawrence Berkeley (LBL), indica que se puede ahorrar entre un 80 y 90% de la electricidad utilizada en los sistemas de alumbrado si se aplican los avances en electrónica de control y las nuevas lámparas con sus aditamentos. Por su parte, el EPRI (Electric Power Research Institute) estima un ahorro casi del 55% si se implementan tan sólo las tecnologías económicamente rentables a corto plazo.

En general existe la necesidad a nivel mundial de ahorrar energía eléctrica para:

- Obtener ahorros en facturación.
- Apoyar a la ecología y conservación de recursos naturales.
- Mejorar las áreas de trabajo.

Los Detonadores o Catalizadores de un Movimiento Nacional hacia el Uso Racional de la Energía se enumeran a continuación;

- ♦ Marco Normativo.
- ♦ Marco Social.
- ♦ Marco Económico Directo (incentivos fiscales, reembolsos, precios, etc.)
- ♦ Marco Tecnológico.
- ♦ Marco Internacional.

Uno de los sectores a las que se debe enfocar los problemas de ahorro de energía, debido a su gran consumo potencial de electricidad, son los edificios, del Gobierno Federal y los de un alto potencial de ahorro de energía como son:

- Escuelas
- Hoteles
- Hospitales
- Oficinas
- Centros de reunión, terminales, etc.
- Espectáculos
- Mercados y centrales de abasto
- Centros comerciales, tiendas
- Clubes, deportivos
- Internados, cuarteles, asilos, etc.
- Grandes residencias
- Restoranes y similares
- Vivienda media
- Vivienda popular
- Bodegas y almacenes

Para detectar las áreas de oportunidad de ahorro de energía, se realiza un Diagnóstico Energético, en el cual, se visualizan los factores que afectan el buen funcionamiento de los sistemas de alumbrado, en los realizados por CONAE se encontró de manera común deficiencias en: El manejo y control del alumbrado, equipo obsoleto y no adecuado o nulo mantenimiento.

Por lo que se plantean cuatro estrategias para implantar un programa para el ahorro de energía:

Costumbres y Operación.

- Campañas nacionales de concientización a todos los niveles y cuadros.
- Administración del alumbrado, eliminando iluminación innecesaria o excesiva y apagando en horario inhábil.
- Sistemas de atenuación de luz diurna (cortinas, persianas, pintura, etc.) sólo lo indispensable.

Dar mantenimiento a;

- Seccionamiento de circuitos y uso de más apagadores.
- Limpieza de elementos y accesorios del alumbrado.
- Reemplazo oportuno de partes deterioradas.
- Pintura de colores claros.
- Reparación de fugas en muebles y accesorios de baño.

Readecuar el equipo de los sistemas de alumbrado por;

- Dispositivos ahorradores.

Proyecto y diseños con;

- Tecnología moderna no convencional (fotoceldas y sensores de presencia).
- El diseño de edificios (arquitectura bioclimática).
- Tecnología ahorradora en muebles y accesorios de baño.
- Diseño adecuado de los sistemas eléctricos.

ÍNDICES DE DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA EN ALUMBRADO (DPEA)

¿ Que es la DPEA?

La densidad de potencia eléctrica de los sistemas de alumbrado (DPEA), es un índice de carga conectada para alumbrado por superficie de construcción; es decir, la potencia instalada en $\frac{\text{Watts}}{\text{m}^2}$ del sistema de alumbrado referido a el área en m^2 que abarca el mismo, se expresa en W/m^2 .

Este índice persigue obtener el máximo rendimiento de la energía eléctrica consumida en el sistema de alumbrado, a través del establecimiento de valores límite de la DPEA sin menoscabo del confort de sus ocupantes.

Los resultados obtenidos y publicados por la reciente Norma Oficial Mexicana NOM-007 ENER-1995, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales, son los valores máximos permisibles de la Densidad de Potencia Eléctrica para sistemas de Alumbrado (DPEA) en edificios no residenciales, que se enumeran en la tabla 1.

TABLA 1

TIPO DE EDIFICIO	DENSIDAD DE POTENCIA ELÉCTRICA W/m ²
Oficinas	16.0
Escuelas	16.0
Hospitales	14.5
Hoteles	18.0
Restaurantes	15.0
Comercios	19.0
Bodegas o áreas de almacenamiento	8.0
Estacionamientos interiores	2.0

Cálculo de la DPEA

Consideraciones generales

Cuando un edificio sea diseñado y contruido para un uso único, se considerará para fines de aplicación de la presente tesis, la Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado (DPEA) máxima permisible corresponde a lo establecido en la tabla 1.

Cuando un edificio sea diseñado y construido para más de un uso (uso mixto), se determinarán por separado las DPEA correspondientes a cada uso aplicándose para cada una de ellas los valores máximos permisibles establecidos en la tabla 1 del presente capítulo.

Cuando un edificio sea diseñado y contruido para uso mixto y tenga usos no contemplados en el Campo de Aplicación, se considerará como DPEA máxima permisible de estos usos el valor de la DPEA de aquel uso que predomine sobre los demás en términos de la superficie ocupada.

La determinación de las DPEA del sistema de alumbrado de un edificio no residencial nuevo o ampliación de alguno ya existente, de los tipos cubiertos por dicha norma serán calculadas a partir de la carga total conectada de alumbrado y el área total por iluminar de acuerdo a la metodología indicada a continuación.

La expresión genérica para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica en Alumbrado(DPEA) es:

$$\text{DPEA} = \frac{\text{Carga Total Conectada para Alumbrado}}{\text{Área Total Iluminada}}$$

donde la DPEA está expresada en W/m^2 , la carga total para alumbrado está expresada en Watts y el área total iluminada está expresada en m^2 .

Se considerará que la instalación cumple con lo establecido por la NOM 007 si y sólo si, las DPEA calculadas son iguales o menores que los valores límites establecidos para cada uso del edificio analizado, tomando en cuenta las excepciones aplicables y los ajustes por bonificaciones de potencia permitidos y mencionados en la tabla 2.

Metodología

Las DPEA totales para los sistemas de alumbrado interior, se determinarán en forma independiente una de otra. Estas densidades no podrán ser combinadas en ningún momento, por lo que se determinarán y reportarán los valores de cada una de ellas en forma separada.

En el caso de estacionamientos interiores y bodegas o áreas de almacenamiento que formen parte de alguno de los tipos de edificios cubiertos por dicha norma, se determinarán y reportarán también en forma separada las DPEA correspondientes a estas áreas.

En el caso de edificios de uso mixto se determinarán y reportarán en forma separada las DPEA para alumbrado

Las DPEA se compararán contra los valores límite indicados en la tabla 1, serán:

- a). Las DPEA totales para cada uso.
- b). La DPEA total para estacionamientos interiores.
- c). La DPEA total para bodegas o áreas de almacenamiento.

En los sistemas de alumbrado se pueden obtener bonificaciones por el uso de equipos o sistemas de control para sistemas de alumbrado, mostrados en la tabla 2.

Las DPEA se obtendrán en cada caso a partir de la carga total conectada de alumbrado y el área total por iluminar, considerando las excepciones mencionadas anteriormente y las bonificaciones de potencia establecidas en la tabla 2, lo anterior significa que para algunas áreas o espacios del edificio, en función de las actividades y tareas específicas que en su interior se desarrollan, se podrán obtener valores de DPEA mayores de los límites establecidos en la reciente NOM 007 pero que tendrán que ser compensadas por otras áreas con valores de DPEA menores y así lograr que los valores de DPEA totales del inmueble cumplan con lo establecido por esta norma.

Determinación de la DPEA del sistema de alumbrado.

A partir de la información contenida en los planos del proyecto de la instalación eléctrica y de los valores de potencia real nominal obtenidos de los fabricantes de los diferentes equipos de alumbrado considerados en dicha instalación, se cuantificará la carga total conectada destinada a iluminación así como el área total iluminada a considerarse en el cálculo para la determinación de la DPEA del sistema de alumbrado, siguiendo la siguiente secuencia:

- Se identificará el número total de niveles o pisos que integran el edificio así como los diferentes usos del inmueble. Para cada uno de éstos se identificarán los diferentes espacios o particiones; para cada una de éstas se determinará la carga total conectada para iluminación como la suma de las potencias nominales de todos los equipos de alumbrado incluidos en el proyecto.
- Se excluirán aquellas áreas, sistemas y cargas específicas conceptualizadas como excepciones indicadas anteriormente.
- En el caso de los equipos de alumbrado que requieran el uso de balastos u otros dispositivos para su operación, se considerará para fines de cuantificar la carga conectada el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-balastro-dispositivo; la información anterior será expresada en Watts.
- Para los equipos de alumbrado que utilicen atenuadores de los tipos de resistencia en serie y autotransformador en su operación, se considerará para fines de cuantificar la carga conectada, el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-atenuador; la información anterior será expresada en Watts.
- Para cada uso se determinarán las áreas anteriores de los espacios o particiones a ser iluminadas; la información anterior, será expresada en m^2 . A partir de la información anterior, se integrará para cada uno de los niveles o pisos la carga total conectada para alumbrado y el área de cada nivel por uso.
- La carga total conectada y el área total de cada uso se integrarán a partir de los valores parciales obtenidos para cada piso o nivel; con estos datos se determinarán las diferentes DPEA de alumbrado interior.

Estacionamientos interiores.

- Se identificarán los espacios, pisos o niveles interiores destinados al estacionamiento de vehículos, se determinará el área de cada uno de ellos y se integrará para obtener el área total en m^2 . De la misma manera, se cuantificará la carga total conectada para iluminación en estos estacionamientos, calculada como la suma de las potencias nominales de todos los equipos de alumbrado considerados en el proyecto expresada en Watts.
- Se incluirán aquellas áreas, sistemas y cargas específicas conceptualizadas como excepciones indicadas anteriormente.
- En el caso de los equipos de alumbrado que requieran el uso de balastos u otro dispositivo para su operación, se considerará para fines de cuantificar la carga conectada el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-balastro-dispositivo; la información anterior será expresada en Watts.
- Para los equipos de alumbrado que utilicen atenuadores de los tipos de resistencia en serie y autotransformador en su operación, se considerará para fines de cuantificar la

carga conectada, el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-atenuador; la información anterior será expresada en Watts.

- La carga total instalada para alumbrado y la superficie total obtenida serán consideradas para la determinación de la DPEA en estacionamientos interiores.

Bodegas o áreas de almacenamiento.

- Se identificarán los espacios, pisos o niveles destinados a bodegas o áreas de almacenamiento, se determinará el área de cada uno de ellos y se integrará para obtener el área total en m^2 . De la misma manera, se cuantificará la carga total conectada para iluminación en bodegas o áreas de almacenamiento, calculada como la suma de las potencias nominales de todos los equipos de alumbrado considerados en el proyecto expresadas en Watts.
- Se excluirán aquellas áreas, sistemas y cargas específicas conceptualizadas como excepciones indicadas anteriormente.
- En el caso de los equipos de alumbrado que requieran el uso de balastos u otro dispositivo para su operación, se considerará para fines de cuantificar la carga, conectada el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-balastro-dispositivo; la información anterior será expresada en Watts.
- Para los equipos de alumbrado que utilicen atenuadores de los tipos de resistencia en serie y autotransformador en su operación, se considerará para fines de cuantificarla carga conectada, el valor de la potencia nominal del conjunto lámpara-atenuador; la información anterior será expresada en Watts.

La carga total instalada para alumbrado y la superficie total obtenida serán consideradas para la determinación de la DPEA en bodegas o áreas de almacenamiento.

Bonificaciones por el uso de controles.

Para la cuantificación de las cargas conectadas de los diferentes espacios, niveles o pisos del edificio para el cálculo de las diferentes DPEA, se deberán considerar las bonificaciones de potencia para aquellos equipos de alumbrado cuya operación esté regulada por equipos o sistemas de control de los tipos indicados en la Tabla 2, misma en la que se indican adicionalmente los factores de reducción de potencia permitidos sobre la potencia nominal de los equipos controlados.

La bonificación de potencia en Watts derivada de la aplicación de estos factores se restará para fines de cuantificación de la carga total conectada para cada espacio, nivel o piso del edificio.

En el caso de equipos de alumbrado controlados por dos o más dispositivos de control, se considerará exclusivamente la bonificación correspondiente al control que ofrezca la mayor reducción de potencia.

TABLA 2 Créditos de potencia eléctrica por uso de equipos o sistemas de control para sistemas de alumbrado.

TIPO DE CONTROL	
TIPO DE ESPACIO	FACTOR
Sensores de presencia (con sensor independiente para cada espacio)	
Cualquier espacio menor de 25m ² sin particiones de piso a techo	0.20
Bodegas o áreas de almacenamiento	0.50
Cualquier espacio mayor de 25m ²	0.10
Atenuadores (dimmers)	
Manual para lámparas fluorescentes	0.50
Programable centralizado para lámparas fluorescentes	0.20
Sensores de luz natural (daylight)	
Zona perimetral de interiores distante de ventanas hasta 5m	0.10
Temporizadores (timers)	
Cualquier espacio menor de 25m ² sin particiones de piso a techo	0.40
Alumbrado exterior	0.50
Controles combinados	
Sensor de ocupación en combinación con atenuador programable centralizado	0.50

Será obligatorio para fines de certificación y verificación del cumplimiento de la presente norma que los proyectos que incluyan un cuadro resumen del cálculo de las DPEA para el sistema de alumbrado del inmueble y se anexe una memoria de cálculo que detalle toda la información y consideraciones efectuadas durante el cálculo. La preparación de esta información será una obligación del responsable del proyecto, por lo que deberá estar debidamente integrada y firmada por el mismo.

La autoridad responsable de la certificación y verificación del cumplimiento de dicha norma, revisará y tomará en cuenta esta información para fines de aprobación del proyecto, así como comprobar que durante la construcción del inmueble o ampliación, las instalaciones que constituirán el sistema de alumbrado se realice con estricto apego al proyecto.

Cálculo para la determinación de la densidad de potencia eléctrica para alumbrado (DPEA) aplicando la bonificación de potencia por el uso de controles.

Un espacio destinado cuyo superficie es 50 m^2 y don de se instalarán 10 luminarios con potencia nominal de 85 W, los cuales serán controlados a través de un sensor de presencia.

APLICACIÓN

La potencia conectada en este espacio será:

$$\text{Potencia conectada} = 10 \text{ luminarios} \times 85 \text{ W/luminario} = 850 \text{ W}$$

La bonificación de potencia por el uso del sensor de presencia será:

$$\text{Bonificación de potencia} = 0.10 \times 850 \text{ W} = 85 \text{ W}$$

La potencia ajustada será:

$$\text{Potencia ajustada} = 850 \text{ W} - 85 \text{ W} = 765 \text{ W}$$

La DPEA del espacio será:

$$\text{DPEA} = 765 \text{ W} / 50 \text{ m}^2 = 15.30 \text{ W} / \text{m}^2$$

SITUACIÓN INTERNACIONAL, NACIONAL VS NORMATIVIDAD

Dentro de los Índices de Densidad de Potencia Eléctrica reportados internacionalmente son:

TIPO EDIFICIO	ÍNDICES DE DPEA W/m^2						
	MÉXICO situación NOM actual		SINGAPUR	MALASIA	FILIPINAS	INDONESIA	THAILANDIA
OFICINAS	19*	16	20	21	12.7	15.9	18.4
COMERCIOS	18*	19	53.6*	34*	7.8*	-	36.2*
HOTELES	-	18	-	14.3*	17.4*	12*	11*
HOSPITALES	30.4°	14.5	-	-	13.3*	-	19.8*

(*)Estos índices son promedio.

(°) Zona norte del país.

(°) Zona Occidente del país.

CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio de las Densidades de Potencia Eléctrica en Alumbrado (DPEA) a diversos tipos de edificios, se observó que en nuestro país los índices de la DPEA generalmente se encuentran por encima de los índices máximos permisibles en la recién publicada norma.

Por lo que se recomienda:

- Aplicación de equipos, dispositivos y controles ahorradores de energía en los sistemas de alumbrado ya existentes, buscando obtener con esto la máxima eficiencia; algunos de estos equipos son: lámparas ahorradoras, balastros electrónicos o de alta eficiencia, reflectores especulares, difusores parabólicos, sensores de presencia, atenuadores, sensores de luz natural, temporizadores, controles combinados, etc.
- Seccionamiento de circuitos, mantenimiento adecuado, aprovechar fuentes naturales de iluminación, control de alumbrado exterior, rectificar niveles de iluminación, selección de colores claros de pintura en interiores y exteriores, campañas de concientización a todos los niveles de personal.

Todo esto enfocado a tener un uso sensato y eficiente de la energía eléctrica en los sistemas de alumbrado, obteniendo de ellos el máximo rendimiento de la energía consumida en los mismos, sin menoscabo del confort lumínico y visual para sus ocupantes.

REFERENCIAS

1. DOE/EIA-0318(89), Comercial Buildings Energy Consumption and Expenditures, USA, 1992.
2. ASEAN USAID final Report, Buildings Energy Conservation, Project, Vol, 1 Energy Standards, USA, 1992.
3. NOM-007-ENER-1995, Eficiencia Energética para Sistemas de alumbrado en Edificios no Residenciales, México, D.F., 1995
- 4.- Cruz Hernández, Jesús Ignacio, Índices de Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado en Edificios, Tesis profesional, ESIME-IPN, México, D.F., (En proceso).

Tendencias del uso de la energía en el sector industrial mexicano

Claudia Sheinbaum¹

Israel Jáuregui²

Abstract

Este artículo presenta un análisis de las tendencias del uso de la energía para la industria en México. Para las diversas ramas industriales (minería, construcción, química, azúcar, cemento, papel y celulosa y vidrio) se presentan los cambios en la intensidad energética (medida como uso de la energía entre valor agregado) y en la participación de las mismas en el PIB industrial. Esto se desarrolla por medio del análisis de índices de cambio de Laspeyress. Se encuentra que en la mayoría de las ramas industriales hubo una disminución en la intensidad energética. Las razones de la caída de este indicador son estructurales y de cambio tecnológico dependiendo de la rama industrial. Sin embargo el análisis clásico de los índices de Laspeyress es insuficiente para explicar los cambios ocurridos en la intensidad energética de la industria mexicana para los últimos años.

1. Metodología

En este trabajo se utiliza la metodología por usos finales, por medio de la cual es posible definir un indicador sectorial, que represente en forma genérica las actividades o servicios que generan la demanda de energía. En general y para todos los sectores, puede explicarse la evolución en el uso de la energía a través de tres factores: actividad, estructura (cambios en la proporción de actividades específicas respecto a la actividad agregada) e intensidad energética (en general, la intensidad energética representa el inverso de la eficiencia y está definida como un consumo unitario de energía.)

Sea A_{it} el nivel agregado de actividad del sector "i" en el año "t", S_{ijt} ($j=1,2,3,4,...,n$) el nivel de actividad específica "j" por unidad de actividad agregada, e I_{ijt} la intensidad energética de la actividad específica "j". Entonces el uso de la energía del sector "i" está dada por:

$$E_t = A_{it} \sum_{j=1}^n S_{ijt} I_{ijt}$$

Esta ecuación es una forma sencilla de dar una identidad contable al uso de la energía. Esto permite evaluar los indicadores que determinan la demanda. La Tabla 1 muestra los indicadores de actividad y estructura para los diversos sectores.

Asimismo, en este trabajo se utiliza la metodología de índices de cambio. De acuerdo con el índice de Laspeyres (Howarth et al. 1992), el objetivo de la metodología de desagregación por índices de cambio, es aislar los factores de actividad, estructura e

¹ Instituto de Ingeniería, UNAM y

² Comisión Nacional para el Ahorro de Energía

intensidad energética. Se puede, por ejemplo, mantener constante el consumo de energía para un uso final para cierto periodo " t_0 " y permitir la variación de los elementos estructurales.

El porcentaje de variación del uso de la energía si solamente hubiese habido cambios en la actividad y se mantuvieran constantes a su valor en el año " t_0 " los factores estructurales y los de intensidad sería una sencilla aproximación lineal expresada por (*efecto de la actividad*):

$$\% E_{Ai} = A_{it} \sum_{j=1}^n (S_{ijo} I_{ijo} - E_{io}) / E_{io}$$

De manera similar, el cambio hipotético en el uso de la energía debido a los cambios estructurales, manteniendo constante las variaciones en la intensidad y la actividad es (*efecto estructural*):

$$\% E_{Si} = A_{io} \sum_{j=1}^n (S_{ijt} I_{ijo} - E_{io}) / E_{io}$$

Y el cambio de la energía debido a la intensidad energética, manteniendo constante la actividad y los cambios estructurales está dado por:

$$\% E_{Ii} = A_{io} \sum_{j=1}^n (S_{ijo} I_{ijt} - E_{io}) / E_{io}$$

2. El sector industrial

El consumo de energía en el sector industrial mexicano creció cerca de tres y medio veces en las últimas tres décadas, llegando a 1247 PJ en 1993. El ritmo de crecimiento sin embargo, no fue constante a lo largo del tiempo. Entre 1965 y 1983 la demanda de energía industrial aumentó a una tasa anual promedio de cerca del 7%. Entre 1983 y 1988 tuvo un crecimiento negativo de 1% anual y durante 1988 y 1993 se recuperó en 2.0% anual.

Comparando la evolución del uso de la energía con la del PIB industrial³ se observa un crecimiento similar entre 1965 y 1980 (Figura 1). Sin embargo entre 1980 y 1982, mientras el uso energético sigue aumentando, el PIB industrial cae cerca de 13%. Entre 1982 y 1985 el PIB del sector crece nuevamente, disminuye ligeramente en 1986 y vuelve a crecer durante el periodo de 1987 a 1993.

³El PIB industrial se contabiliza restando la extracción y procesamiento de petrolero y gas natural, ya que estos no son tomados en cuenta en lo que el balance de energía caracteriza como autoconsumo del sector energético

Cambios en el consumo de energía final del sector industrial

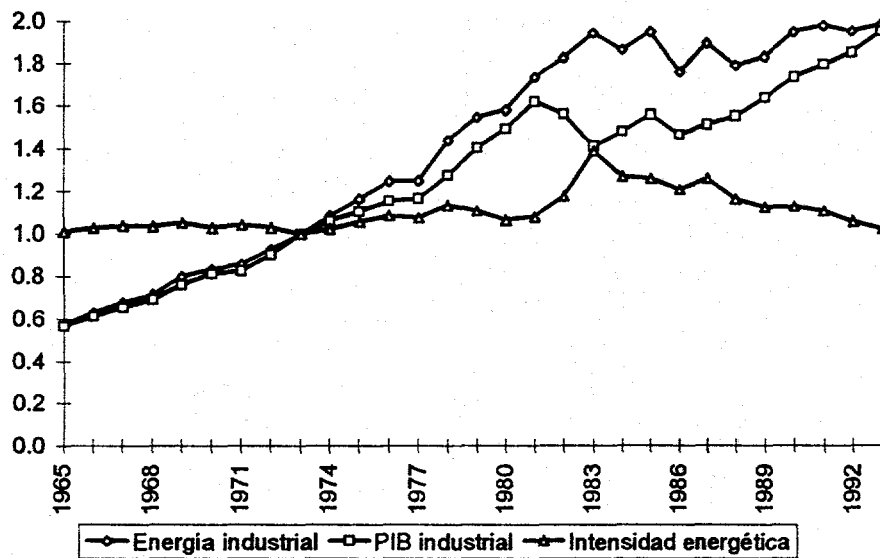


FIGURA 1

Fuentes: Balance de Energía, SEMIP
VI Informe de Gobierno, 1994

Consumo de energía por fuente en el sector industrial

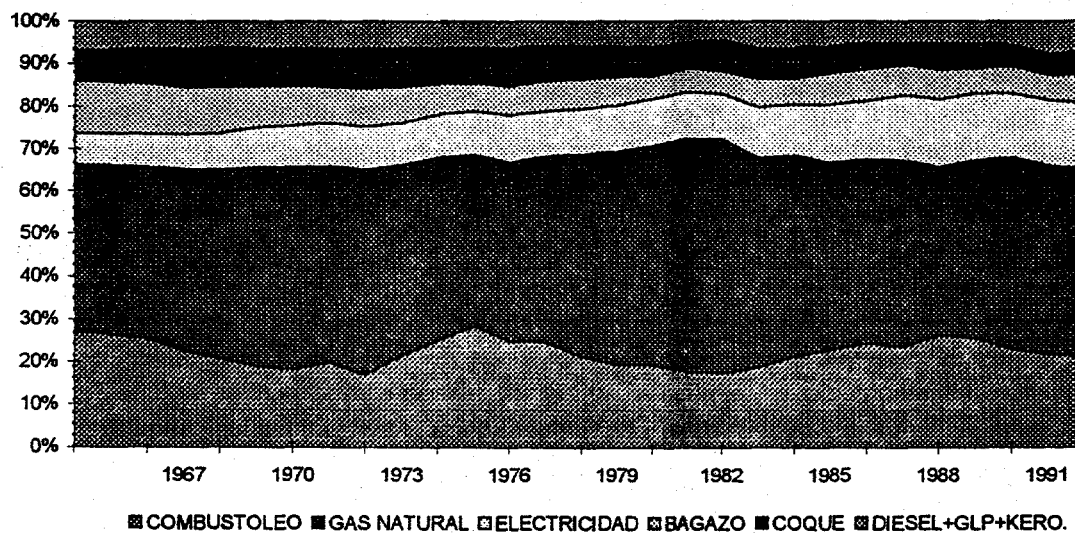


FIGURA 2

Fuente: Balance Nacional de Energía, SEMIP

La Figura 2 muestra la importancia relativa de los diversos energéticos en el sector industrial. El combustóleo y el gas natural representaron la mayor contribución, sin embargo la importancia relativa de la electricidad creció. Por otro lado existe una importante sustitución entre el gas natural y el combustóleo; cuando este último disminuye, el gas natural va ganado espacio y viceversa. En 1993 el gas natural y el combustóleo representaron 44% y 20% del uso final respectivamente. La electricidad contribuyó con 15%, el diesel con 5%, la biomasa con 5% y el coque con 6%.

Algunos autores estiman que la intensidad energética del sector industrial mexicano no muestra variaciones debido a los bajos precios de la energía y a la limitada competencia de la industria mexicana hasta mediados de los ochetas (Stern 1985). El análisis de las diversas ramas industriales, permite entender con mayor profundidad los cambios ocurridos en el consumo de energía industrial. Para ello, se analizan con detalle algunas industrias manufactureras a partir de 1986 (año en el que aparecen desagregados en el Balance Nacional de Energía).

Las Figuras 3 y 4 muestran los cambios de intensidad y estructurales para las diversas ramas intensivas en el uso de la energía.

2.1 Minería

La rama industrial minera contabilizada en el Balance Nacional de Energía se refiere a la extracción de minerales, excluyendo el gas natural y el petróleo. Su actividad incluye la extracción de metales preciosos, industriales no-ferrosos, minerales, siderúrgicos y no-metálicos. Excluyendo la producción de gas natural y petróleo la participación de la minería en el PIB industrial disminuyó ligeramente su participación de 5.5 a 4.7% entre 1986 y 1993.

Los diversos procesos que existen para la actividad minera hacen que el uso de la energía sea muy variado dependiendo de su producto final. Por esta razón, la forma más factible de medir la intensidad energética es como el cociente del uso de la energía y el valor agregado. Al analizar los cambios en la minería, claramente se aprecia una disminución en la estructura (participación de la minería en el PIB industrial), mientras ocurre un aumento en la intensidad.

2.2 Construcción

La rama de la construcción representa alrededor del 17% del PIB de la industria, por lo que su actividad tiene gran importancia en el crecimiento económico industrial. En contraste, su participación en el consumo de energía es de tan sólo el 0.5% del sector. Los energéticos que se utilizan son el diesel, que en 1993 representó el 82% y la electricidad con el 18%. La participación en el PIB industrial (estructura) decrece ligeramente entre 1987 y 1991 y se recupera en 1992. Sin embargo, la intensidad energética crece en 1988 cerca del 40%.

2.3 Industria Manufacturera

El análisis del sector manufacturero que aquí se presenta incluye el estudio detallado de seis ramas industriales intensivas en el uso de la energía: siderurgia, química, que incluye petroquímica, química básica, fertilizantes y hule, azúcar, cemento, celulosa y papel, vidrio, y finalmente otras ramas industriales.

a) Siderurgia

La industria siderúrgica mexicana representa entre el 4 y 5% del PIB manufacturero, importancia relativa que se ha mantenido constante de 1986 a 1993.

Existe una importante disminución en la intensidad energética de la siderurgia. Graficando las variaciones estructurales, de intensidad se puede observar que a pesar de que el PIB de esta rama mantuvo su participación en el PIB manufacturero, creciendo a una tasa similar, la energía utilizada por unidad de valor agregado disminuyó cerca del 16% (Figuras 3 y 4). Esta importante disminución de la intensidad energética puede ser atribuible a un cambio tecnológico de la industria siderúrgica. Es decir, desaparición de la tecnología de hogar abierto (de menor eficiencia que el BOF y el EAF) y en general, una modernización tecnológica de las empresas. Sin embargo, para una explicación aun más detallada de los cambios dentro de la industria siderúrgica sería importante analizar la evolución estructural de la misma (variaciones relativas en la producción de los productos y procesos intermedios y terminales). Por ejemplo, de 1986 a 1993, la producción de acero en México creció 27%. Sin embargo, la apertura comercial y las limitaciones en la capacidad instalada nacional permitieron un incremento acelerado en las importaciones. De esta forma, las importaciones crecieron 211% y en 1993 más del 90% de las mismas fueron productos terminados y elaborados. Las exportaciones, en cambio, crecieron 59% y en 1993 el 65% de dichas exportaciones fueron materias primas.

Otro elemento que pudiese explicar la disminución en el consumo de energía por unidad de acero producida es la participación de la chatarra como materia prima, en comparación con el mineral de hierro. Sin embargo, entre 1987 y 1993, ambos crecieron alrededor del 30% (INEGI 1994).

b) Industria química

El cálculo y análisis del uso de la energía de la industria química es más complicado que en otras ramas industriales debido a la gran variedad de productos y procesos. Por conveniencia analítica normalmente se divide esta rama industrial de acuerdo a sus productos, los cuales se pueden identificar en cuatro subsectores principales: petroquímicos, químicos inorgánicos, fertilizantes, hule y plásticos. Sin embargo, en el caso de México, la rama petroquímica incluye polietilenos, que en algunos casos están clasificados como plásticos. En este trabajo y de acuerdo a la desagregación del Balance Nacional de Energía, se analizan por separado la producción petroquímica relativa a PEMEX, la química básica y los fertilizantes.

• Petroquímica PEMEX

La producción de petroquímicos de PEMEX incluye básicos (Butano/Butileno, Butano Crudo, Hetano, Heptano, Hexano, Materia prima para negro de humo, Pentanos), secundarios (Amoníaco, Benceno, Butadieno, Etileno, Metanol, Meta Paraxileno, Ortóxileno, Paraxileno, Propileno, Tetrámero y Tolueno) y otros (que incluye producción de polietilenos). La petroquímica se caracteriza por grandes volúmenes de producción y bajo valor agregado. En México, esta rama representa entre el 1.3 y el 1.7% del PIB manufacturero. Tuvo una participación creciente entre 1986 y 1992 y un decremento en

1993. En realidad de 1992 a 1993 el volumen de la producción de PEMEX petroquímica disminuye cerca de un 20%.

La contracción de la producción se debió en parte al cierre de plantas obsoletas cuyas escalas y tecnologías excluían, de acuerdo con PEMEX, toda posibilidad de competencia. Estos fueron los casos de la planta II de amoníaco de Cosoleacaque, la planta I de metanol de San Martín Texmelucan y la de acrilonitrilo de Cosoleacaque. Otra causa que provocó la disminución en la producción fue la disminución en la demanda de productos petroquímicos tanto a nivel nacional como internacional. Finalmente la apertura comercial y la mayor competencia de productos petroquímicos tuvo un efecto negativo en la producción nacional.

Esta rama es la segunda consumidora de energía del sector industrial. Entre 1987 y 1992 creció 10% pero se redujo casi en un la misma proporción entre 1992 y 1993. El principal energético utilizado para la petroquímica básica es el gas natural, en menor medida la electricidad y en los últimos años el combustóleo. La petroquímica es una de las ramas con mayor autoproducción de electricidad. En 1993, ésta fue de 6.7 PJoules.

Las Figuras 3 y 4, muestra la variación en la intensidad energética, así como los cambios estructurales (participación en el PIB manufacturero). Mientras los cambios en la actividad y la estructura muestran un incremento apreciable, la intensidad energética disminuye. Probablemente, la caída en la intensidad se deba al cierre de plantas petroquímicas antiguas. Sin embargo se requiere una análisis más detallado de la producción y modernización tecnológica de esta rama, para hacer conclusiones más acertadas.

- *Química básica*

La industria de la química básica representa cerca del 1.5% del PIB manufacturero y cerca del 10% del consumo de energía del sector. A diferencia de la petroquímica los productos de esta sub-rama son compuestos químicos inorgánicos que involucran una gran variedad de productos y procesos de producción. El combustóleo es la fuente de energía principal seguida por el gas natural y la electricidad. La autoproducción eléctrica fue de 2.0 PJ en 1993.

Para 1993, la industria de la química básica tuvo una intensidad de 5.7 GJ por nuevo peso de valor agregado, el cual fue 6% menor que en 1992 y 28% menor que en 1986. La caída más importante de la intensidad ocurre en 1987 y 1988 cuando también decrece el consumo de energía del sector. Posteriormente la intensidad se mantiene constante hasta 1992 y en 1993 vuelve a disminuir ligeramente. En contraste, la estructura crece los primeros dos años, disminuye hasta 1990 y vuelve a aumentar. La disminución abrupta de 1987 y 1988 es probable que haya tenido lugar debido a cambios en la producción de los diversos productos.

- *Fertilizantes*

La industria de los fertilizantes representa alrededor del 0.4% del PIB del manufacturero y cerca del 1% del consumo de energía. El gas natural es el principal combustible de esta sub-rama industrial. La intensidad energética de la industria de los fertilizantes tiene disminuciones e incrementos, sin embargo para 1993, su valor era mayor que en 1986. Estos cambios tienen un origen estructural ya que la participación de los fertilizantes en el PIB manufacturero disminuye cerca de 40%.

Para esta industria, la intensidad tiene un aumento de 1986 a 1990 y después decrece entre el 25 y el 30% hacia 1993. Una parte importante de los cambios en la intensidad se deben a los cambios estructurales. En 1990, la participación de esta sub-rama industrial en el PIB manufacturero decrece cerca de 30%. En realidad la producción de azúcar fue en 1993 muy cercana a la de 1986 (145 a 149 toneladas de azúcar), después de que durante el periodo, ésta sufrió una importante caída. En 1990, la producción fue de 122 toneladas, cerca de 25 toneladas menos que en 1986.

c) Cemento

La industria del Cemento representa menos del 1% del PIB manufacturero, pero alrededor del 9% del consumo final de energía. En México, el proceso que se utiliza desde hace varios años es del tipo *seco*, lo que hace a la industria del cemento mexicana sea de gran competitividad internacional.

La mayor parte del cemento que se produce en el mundo es del tipo Portland que proviene de la quema de barro, piedra caliza y otros materiales similares para producir el llamado "clinker". El proceso de producción del cemento incluye la preparación de la materia prima, la producción de clinker y el molido de cemento. El mayor consumo de energía lo constituye el área de clinkerización del horno, la cual tiene que llegar a temperaturas cercanas a los 1500 °C. La fuente principal de energía para este proceso lo constituye el combustóleo y en menor medida el gas natural.

La intensidad energética de la industria del cemento ha tenido importantes variaciones en los últimos años. La intensidad cae entre 1986 y 1987, se incrementa en 1988, se reduce nuevamente entre 1989 y crece más suavemente hacia 1993. Sin embargo, el resultado final es que en 1993, la intensidad fue 10% menor que en 1986.

La participación de esta rama industrial en el PIB manufacturero crece en 1987 decrece hasta 1990 y se mantiene constante entre 1991 y 1993. Estos cambios hacen suponer que las variaciones en la intensidad energética son producto de causas estructurales. Es de resaltar, sin embargo, que a diferencia de otras industrias como la siderurgia y la química, la última tendencia en la intensidad de la industria del cemento es creciente, lo cual puede tener implicaciones para el futuro energético de la industria.

Comparando el consumo específico de la industria del cemento mexicana con la de otros países, se encuentra que esta rama está dentro de los niveles de consumo de energía de los países de la OCDE.

d) Papel y Celulosa

La industria de la celulosa y el papel representa cerca del 6% del PIB manufacturero y entre 4 y 5% del consumo de energía. La producción de papel involucra dos procesos. En el primero las materias primas fibrosas son convertidas a celulosa o pulpa, en el segundo, la celulosa es convertida en papel. Las plantas productoras de celulosa y papel pueden ser integradas o sólo producir uno de los dos productos.

En el proceso de producción de la celulosa, se descomponen materias primas fibrosas en pulpa, ya sea por medios químicos o mecánicos, o por una combinación de ambos. Al final del proceso, la pulpa es una suspensión de material fibroso en agua. Para la producción de papel, la pulpa se seca por medio de rodillos calientes.

Las productoras de celulosa pueden ser subdivididas en categorías de acuerdo a la materia prima que utilizan o de acuerdo a su proceso de producción. Otras materias primas que se utilizan para la producción de pulpa son el bagazo de caña y el reciclaje de papel. En algunos casos el bagazo de arroz e inclusive de algodón es también utilizado.

La celulosa química de madera es la de mayor producción y consumo en México y en el mundo. En general, la producción de pulpa y el secado de la misma son las partes más intensivas en el uso de la energía. En México la producción de celulosa se ha reducido desde 1986 a 1993. Esto se ha debido al incremento tanto de las importaciones de celulosa como del uso de las llamadas fibras secundarias, que en general se componen de papel reciclado.

El consumo de energía de la industria de la celulosa y el papel se compone principalmente de combustóleo, gas natural y electricidad. Entre 1986 y 1990 el consumo de energía de esta rama se incrementa y después decrece hacia 1993. La intensidad energética también refleja un decremento, el cual se debe sobre todo a la disminución en la producción de celulosa y en general a una disminución de la participación en el PIB manufacturero.

e) Vidrio

La industria del vidrio en México representa menos del 1% del PIB manufacturero y alrededor del 3% de su consumo de energía. El gas natural representa más del 80% del consumo del sector. La producción del vidrio está básicamente dominada por un grupo industrial, que posee la mayor parte del mercado. Esta subrama industrial puede dividirse según su producción en vidrio plano, botellas y envases y vidrios diversos. Para 1993, la producción total de vidrio en México fue de 28 mil toneladas, ligeramente menor que en 1992. La participación de la industria del vidrio en el PIB manufacturero aumentó, mientras que la intensidad disminuyó en cerca del 30%.

Cambios en las intensidades energéticas de diversas ramas industriales

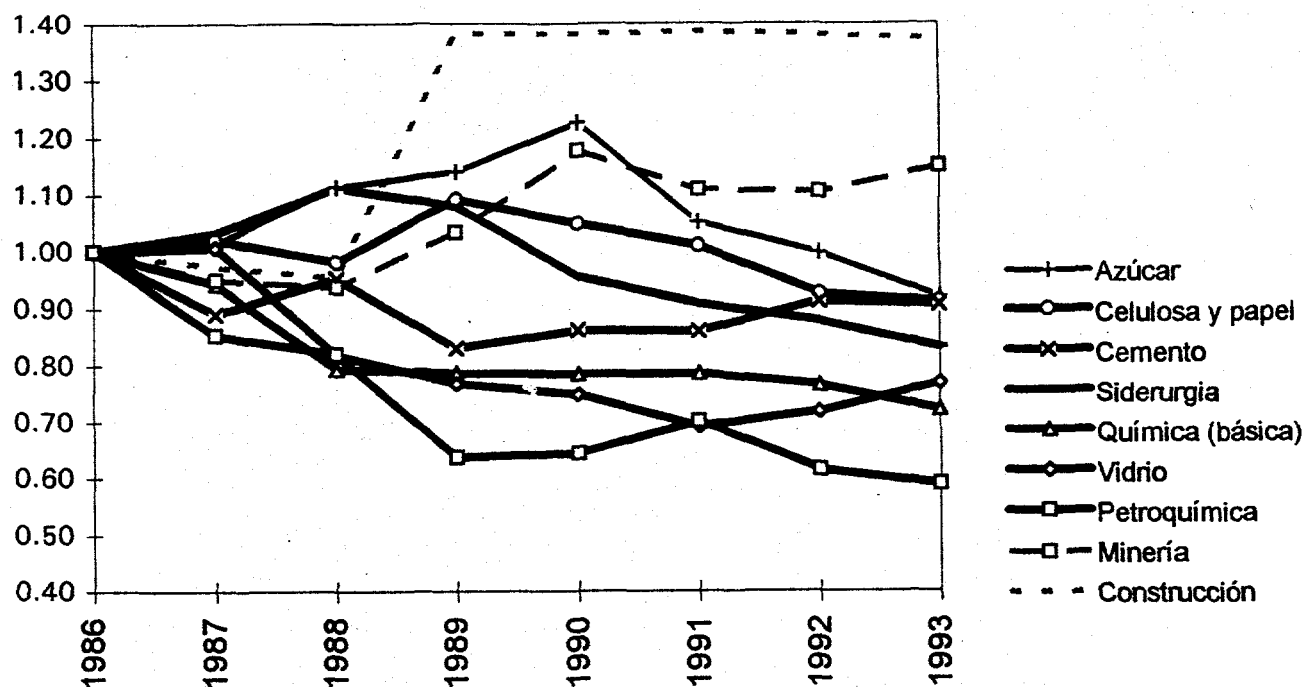


Figura 3

Cambios estructurales en la industria Mexicana

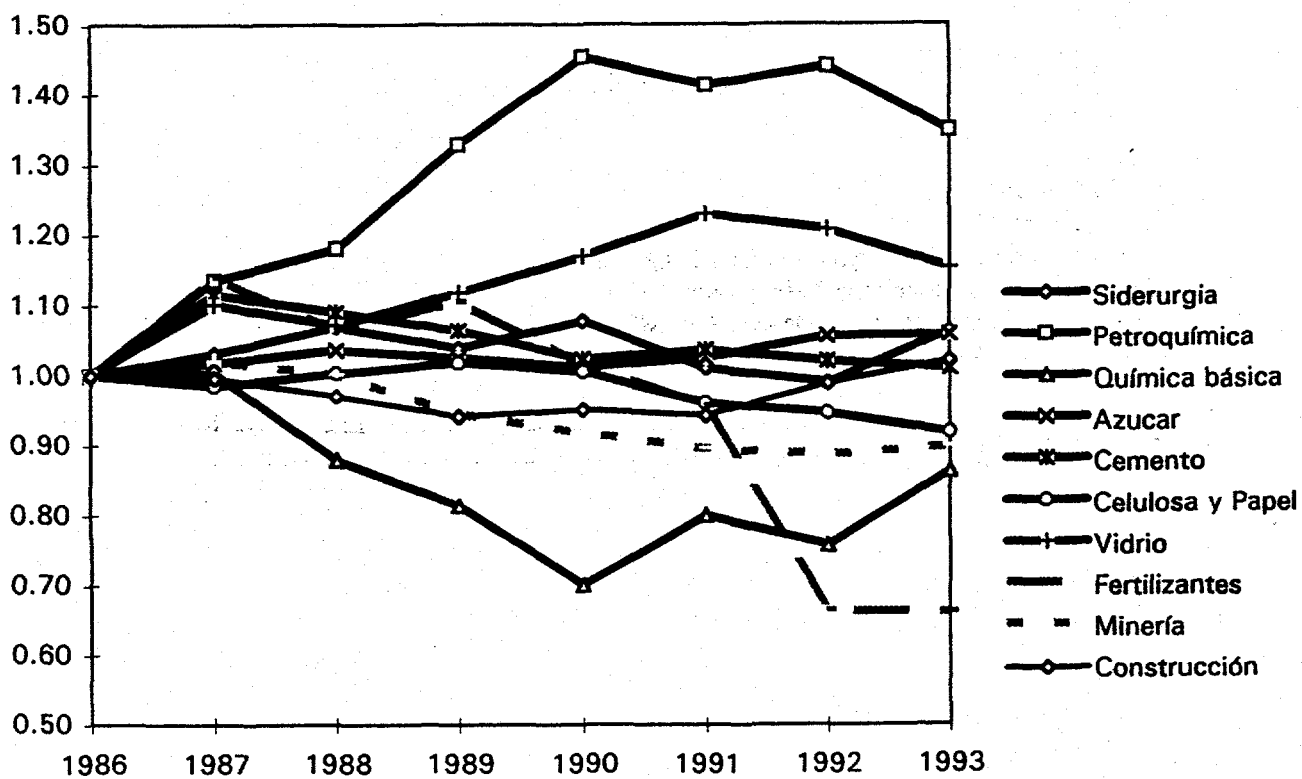


Figura 4
159

3. Conclusiones

En la mayoría de las ramas industriales ocurre una disminución en el consumo de energía por unidad de valor agregado durante los últimos años. Este cambio en la intensidad energética se ha debido a diversos factores. En el caso de la industria siderúrgica, la caída de la intensidad se debió a un cambio tecnológico (desaparición del hogar abierto y mayor penetración del arco eléctrico y del convertidor al oxígeno). En el caso de la celulosa y el papel el cambio se debió a una disminución importante en la producción de celulosa. Para el caso de la industria química los cambios fueron de tipo estructural, aunque cambios en la eficiencia producto del cierre de empresas obsoletas también implantaron a esta rama industrial. En el caso del cemento y el vidrio, los cambios estructurales parecen explicar el comportamiento de la intensidad energética en los últimos años.

Con excepción quizás de la siderurgia es difícil evaluar si las intensidades energéticas seguirán cayendo o habrá cambios en los mercados que harán que la disminución sea reversible. Lo cierto es que la apertura del mercado y la competencia sufrida en los últimos años en México impactó la tendencia en la que se venía consumiendo la energía en el sector industrial mexicano.

El índice de Laspeyress indica a grandes rasgos las razones más básicas del cambio en las intensidades energéticas. En el caso mexicano, los cambios tan abruptos en la economía, hacen insuficiente la explicación que brindan estos índices. Por ejemplo en el caso de la celulosa y el papel, la razón del cambio aparecería como de intensidad (probable cambio tecnológico), pero la realidad es una disminución en uno de los productos básicos (la celulosa). El análisis de los índices de Laspeyress debería realizarse aun más desagregadamente para el sector industrial, para tener una mayor evaluación de las razones de los cambios energéticos.

Referencias

- CANACINTRA. Memoria 1993.
- CANACERO. Informe 1994
- INEGI. 1994. La Industria Siderúrgica en México. Ags. México
- INEGI. 1994. La industria química en México. Ags. México
- INEGI 1994. La industria petrolera en México. Ags. México
- Informe de Gobierno 1994.
- SEMIP. 1965-1985, 1988, 1993. Balance Nacional de Energía. México DF
- Howarth R y Schipper L. 1990. Manufacturing Energy Use in OECD countries. Energy V.12 No 4.
- Sterner T. 1985. Consumo de energía en la Industria Mexicana. Colegio de México. México DF.

PROGRAMAS INTEGRALES DE AHORRO DE ENERGIA (exergia) EN LA INDUSTRIA PETROLERA*

Dr. Ricardo RIVERO RODRIGUEZ
INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO

RESUMEN

En este trabajo se presentan algunos aspectos fundamentales relacionados con los programas de ahorro de energía en general, y en la industria petrolera en particular, con objeto de lograr que los mismos sean integrales, es decir que consideren no sólo los aspectos puramente energéticos, sino también los aspectos ecológicos y económicos. Esto se logra utilizando conjuntamente las dos leyes fundamentales de la termodinámica (la ciencia que estudia la energía, sus características y sus transformaciones), mediante la utilización del concepto de exergia, que es una medida de la calidad de la energía y de su alejamiento con respecto al medio ambiente. Se presentan los orígenes de las tendencias tecnológicas actuales en materia de ahorro de energía, las estrategias generales a corto, mediano y largo plazos y las etapas en la implementación de programas integrales de ahorro de energía, para concluir con una serie de políticas generales tendientes a lograr que los programas de ahorro de energía sean congruentes con el mantenimiento de un desarrollo sustentable.

INTRODUCCION

El incremento en la eficiencia energética de las industrias ha sido una de las metas técnico-científicas de administradores, ingenieros y científicos desde siempre, pero el problema se ha convertido ahora en PRIORITARIO. La experiencia de las dos últimas décadas en la implementación de Programas de Ahorro de Energía, ha demostrado que es posible obtener ahorros hasta del 15 % mediante medidas de primer nivel, es decir de "conservación de la energía", de evitar el dispendio, tales como el mantenimiento oportuno, la concientización, etc. Sin embargo, para ir más lejos se requiere aplicar medidas de segundo y tercer nivel, que requieren normalmente de inversión adicional, y para ello es necesario responder a las dos preguntas siguientes [1]:

1. ¿Dónde y cómo se degrada la energía en la industria?
2. ¿De qué manera puede reducirse la degradación de energía?

Como se sabe la energía no puede ser creada ni destruida, sólo se transforma (es la Primera Ley de la Termodinámica). No obstante, en todo proceso real su calidad disminuye, es decir la energía se degrada (es la Segunda Ley de la Termodinámica), y la creciente importancia de esta segunda ley es el resultado de dos cambios significativos que se han producido a nivel internacional en lo que a política energética se refiere [2] (ver Figura 1).

* Documento presentado en ocasión del XVI Seminario Nacional sobre el Uso Racional de la Energía, organizado por la Asociación de Técnicos y Profesionistas en Aplicación Energética (ATPAE), Cd. de México, nov. 27 - dic. 1, 1995.

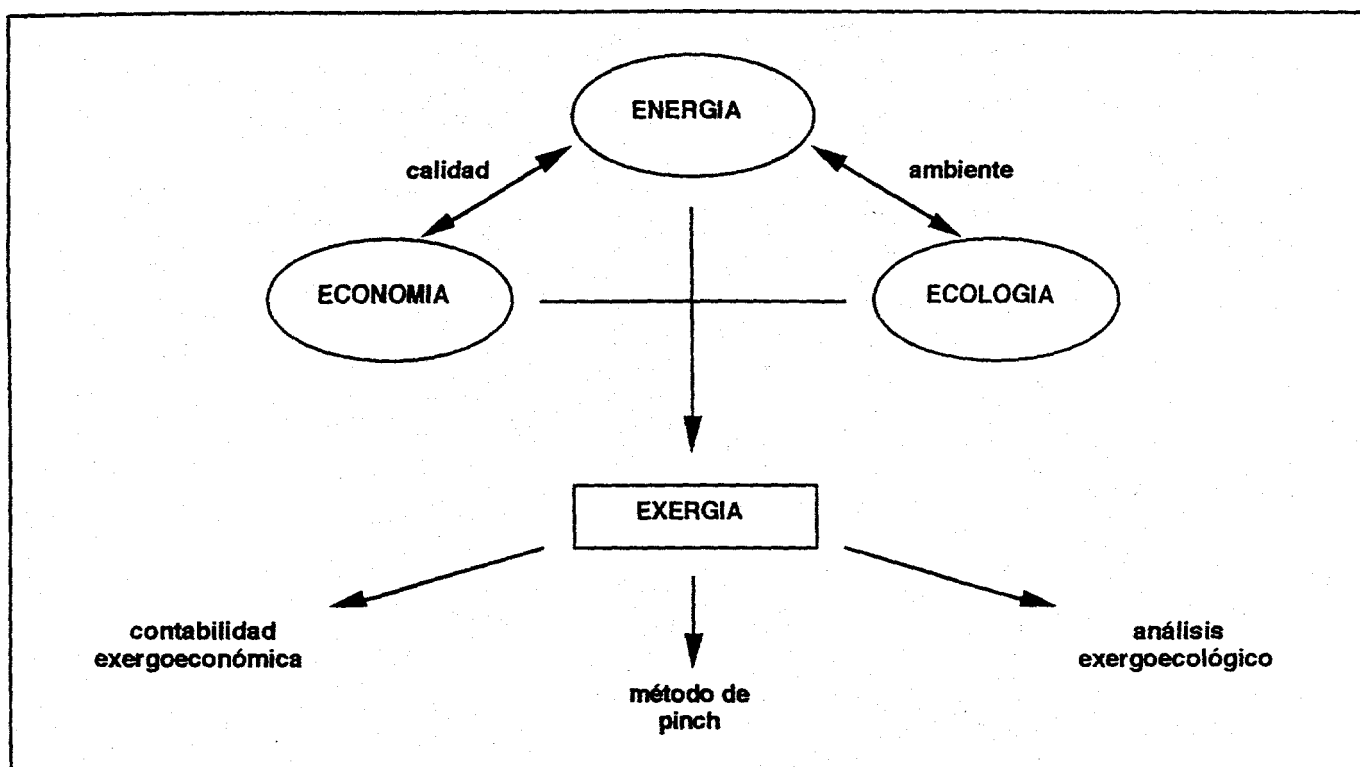


Figura 1. La Conexión Energía - Economía - Ecología.

El primero corresponde a la necesidad de considerar no sólo la cantidad de la energía cuando se desea optimizar su uso, sino también la calidad de la misma. Este cambio fue originado por la crisis energética de principios de los setentas, que puso de manifiesto la conexión ENERGIA - ECONOMIA, y que dio origen a los primeros Programas de Ahorro de Energía.

El segundo cambio se refiere a la necesidad evidente de detener el deterioro del medio ambiente originado por el consumo creciente de combustibles fósiles, a fin de garantizar un desarrollo sustentable. Este cambio fue originado por una toma de conciencia de la conexión ENERGIA-ECOLOGIA.

Teniendo esto como base, la Tabla 1 muestra los aspectos fundamentales en la implementación de un Programa Integral de Ahorro de Energía.

ESTRATEGIA GENERAL

Como se mencionó en la introducción, los programas de ahorro de energía tienen su origen hace más de veinte años como resultado de la primera crisis energética. Su propósito es capitalizar los beneficios de un uso eficiente de los recursos energéticos disponibles.

Las estrategias claves para lograr el éxito de un Programa de Ahorro de Energía en la Industria Petrolera se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Implementación de un Programa Integral de Ahorro de Energía.

1. La realización de estudios de optimización de las instalaciones industriales.
2. La implementación física de las medidas generadas en dichos estudios.
3. El seguimiento y la valorización adecuada de los beneficios obtenidos.
4. El desarrollo tecnológico de las metodologías que permitan realizar dichos estudios considerando simultáneamente la energía, la economía y la ecología.
5. La investigación, el desarrollo tecnológico, la implementación, y el seguimiento y valorización de procesos y equipos específicos, integralmente óptimos.

Tabla 2. Estrategias de Ahorro de Energía.

- Establecer a la Energía como parte de la Administración.
- Responsabilizar a cada centro de trabajo de sus propios presupuestos de energía.
- Concientizar y motivar al personal, involucrando a todos los niveles jerárquicos, sobre la importancia y beneficios del ahorro de energía.
- Determinar la eficiencia energética periódicamente, revisando el consumo de energía lo más detallada y frecuentemente posible (para cada centro de trabajo, unidad de proceso, equipo, etc.).
- Establecer una política energética global, en la que se incluyan los ejes de investigación y desarrollo tecnológico a seguir.
- Determinar las unidades críticas y concentrar los esfuerzos en dichas unidades.
- Categorizar las oportunidades de ahorro, considerando aquellas que pueden aplicarse con una mínima inversión de capital o incluso sin inversión, aquellas que requieren de una inversión recuperable a corto plazo (menos de un año) y aquellas que requieren de una inversión recuperable a mediano plazo (de 2 a 5 años).

Es importante que la estrategia general del Programa de Ahorro de Energía considere todo tipo de acciones en función de su tiempo de implementación (ver Figura 2):

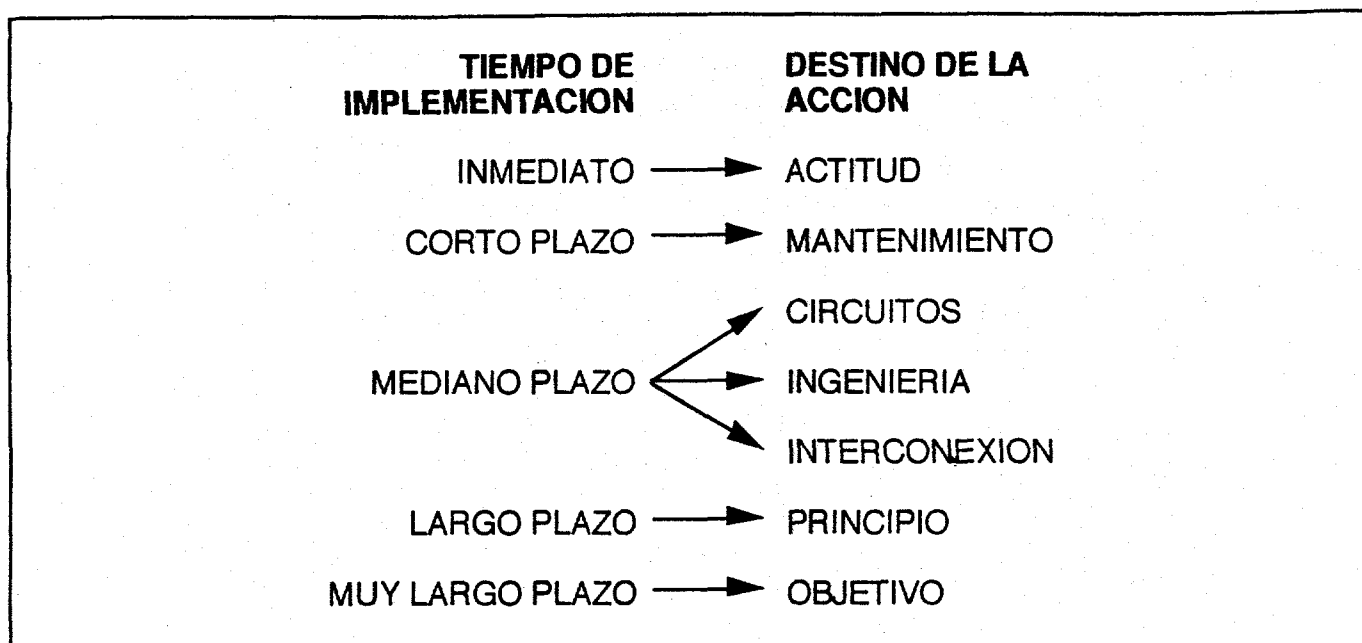


Figura 2. Tipos de acciones.

1. Inmediato: Acción psicológica sobre la ACTITUD de los operadores.

Se trata aquí de tomar acciones inmediatas sobre la actitud de los operadores, que no requieren inversión ni mano de obra adicionales. Es una lucha contra el "ahí se va", el desperdicio, mediante campañas de concientización y motivación del personal.

2. Corto Plazo: Acción sobre el MANTENIMIENTO de las instalaciones.

Este tipo de acciones no requiere de inversión adicional, pero sí de un aumento de mano de obra. Se requiere hacer que las instalaciones trabajen de acuerdo a las eficiencias energéticas para las que fueron diseñadas. Son acciones de "conservación de energía" que tienden a un reforzamiento generalizado del mantenimiento. Por ejemplo:

- limpieza más frecuente de cambiadores de calor.
- mejor calibración de purgas de vapor y eliminación de fugas.
- reemplazo de aislamientos térmicos en mal estado.

3. Mediano Plazo: Acción sobre los CIRCUITOS dentro de los procesos.

Este tipo de acciones no requiere de una inversión muy importante, se trata de transformar los circuitos de fluidos que conectan los equipos dentro de un proceso para reducir el consumo de energía de alta calidad y aprovechar energía de baja calidad. El método llamado de "pinch" (o punto de pliegue) es particularmente útil para generar este tipo de acciones.

4. Mediano Plazo: Acción sobre la INGENIERIA de los procesos.

Este tipo de acciones ya requiere de una mayor inversión. El principio del proceso no se modifica, ni las materias primas, ni los productos obtenidos, pero sí se modifica la ingeniería. Para generar este tipo de acciones no basta con considerar la cantidad de la energía, sino que es ya necesario considerar también su calidad. El método llamado de "exergia" (o calidad de energía) es indispensable para evaluar las acciones. Este tipo de acciones podrían ser, por ejemplo:

- reemplazar operaciones discontinuas por operaciones continuas.
- reemplazar reactores a lecho fijo por reactores a lecho fluidizado.
- reemplazar una destilación por una extracción líquido-líquido
- reemplazar un transporte por carretera por un transporte por barco.

5. Mediano Plazo: Acción sobre la INTERCONEXION de varios procesos.

La inversión para este tipo de acciones es también considerable, y se requiere desde luego considerar la calidad de la energía (exergia). El objetivo es similar al tercer tipo de acciones, pero esta vez a nivel de unidades de producción completas. Por ejemplo:

- asociación de una unidad de destilación de una planta de nitrógeno líquido, con una unidad de evaporación de metano de una planta petroquímica básica.

6. Largo Plazo: Acción sobre el PRINCIPIO de los procesos.

En este caso la inversión es mucho mayor y las acciones son el resultado de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico completos (o de una asimilación de tecnologías avanzadas en caso de no ser desarrolladas), en los que la consideración de la calidad de la energía (exergia) es todavía más importante. Este tipo de acciones no implican una modificación de las especificaciones de los productos obtenidos en los procesos, pero sí una modificación de los procesos (de su topología), así como de las materias primas, en caso de ser necesario. Por ejemplo:

- producción de destilados de petróleo a partir de crudos pesados, en lugar de crudos ligeros (tecnologías de fondo de barril).
- producción de plásticos a partir de carbón, en lugar de petróleo.
- reemplazo de materiales metálicos por materiales plásticos en la fabricación de automóviles.

7. Muy Largo Plazo: Acción sobre el OBJETIVO técnico-social de los procesos.

Este tipo de acciones revasan el alcance de un programa de ahorro de energía en la industria petrolera y sólo pueden realizarse a muy largo plazo como resultado de políticas y estrategias energéticas globales a nivel nacional. Se trata de modificar la naturaleza misma de los productos que generan las plantas industriales. Por ejemplo:

- convencer a la población de que puede mantener su nivel de bienestar consumiendo menos energía, o energía de menor calidad (menos exergía), o bien utilizando bienes y servicios que requieran menos energía (en términos de cantidad y calidad).

Con excepción de este último tipo de acciones, el Programa de Ahorro de Energía de la industria petrolera puede considerar TODOS los tipos de acciones mencionados.

ETAPAS DE IMPLEMENTACION DEL PROGRAMA

Las etapas de implementación de un Programa de Energía, involucran normalmente la realización Estudios Energéticos y la realización de los proyectos de investigación y desarrollo tecnológico resultantes. Dichas estudios pueden clasificarse en tres niveles (ver Figura 3):

DESTINO DE LA ACCION	NIVEL DEL ESTUDIO
ACTITUD	primer nivel
MANTENIMIENTO	
CIRCUITOS	segundo nivel
INGENIERIA	
INTERCONEXION	tercer nivel
PRINCIPIO	
OBJETIVO	

Figura 3. Estudios Energéticos.

Estudio Energético de Primer Nivel:

Es el primer paso en la implementación de un Programa de Ahorro de Energía. Consiste en realizar balances energéticos de tipo global y/o parcial cuantitativos a nivel de planta o unidad industrial. Con ello se detectan y analizan las primeras áreas de oportunidad para el ahorro de energía, y se implementan acciones de los dos primeros tipos mencionados anteriormente, es decir, acciones sobre la Actitud y sobre el Mantenimiento.

La realización de este tipo de estudios puede efectuarse simplemente mediante una inspección física general de las instalaciones, la recopilación de los consumos estadísticos globales de las mismas, y la generación de las recomendaciones típicas de ahorro de energía.

Como se explicó anteriormente, las acciones de eficientación no involucran inversión adicional o bien una inversión mínima, y pueden implementarse de manera inmediata.

Estudio Energético de Segundo Nivel:

En estos estudios se requiere realizar un balance energético detallado cuantitativo a nivel de equipos y sistemas, con lo que se generan acciones no sólo del primer y del segundo tipo, de los que se mencionaron con anterioridad, sino también del tercero, es decir acciones dirigidas a los Circuitos de interconexión de equipos dentro de los procesos. Sin embargo dichas acciones deben evaluarse muy cuidadosamente dado que el hecho de no considerar todavía la calidad de la energía (exergia) puede llevar a optimizaciones parciales o locales que pueden ser contraproducentes en diversos aspectos.

Estos estudios involucran la realización de actividades como la verificación de la instrumentación, la toma de datos en campo, la videotermografía de equipos, la determinación de parámetros energéticos básicos (eficiencias) de equipos y procesos, la generación de propuestas de eficientación y su evaluación técnico-económica. La inversión requerida para la implementación de las propuestas es ya más importante y su realización es a mediano plazo.

Estudio Energético de Tercer Nivel:

Es el estudio más avanzado, en el que se realizan balances energéticos detallados no sólo cuantitativos, sino sobre todo cualitativos (exergia) a nivel de equipos y sistemas. En él, además de generarse acciones de los primeros tres tipos, se generan acciones que van dirigidas a la Ingeniería de los Procesos, al Principio de los Procesos y a la Interconexión de los Procesos, considerando no sólo los aspectos energéticos sino también los aspectos económicos y ecológicos.

Estos estudios involucran aspectos como la determinación de diversos parámetros exérgicos, exergoeconómicos y exergoecológicos, la simulación completa de los procesos, la realización de estudios paramétricos, la realización de modificaciones de la topología de los procesos, el incremento del nivel tecnológico de los procesos, la evaluación técnico-económica rigurosa de las propuestas de eficientación y la repartición adecuada de los costos globales de producción entre los diferentes productos que se generan en los procesos.

La inversión requerida para la implementación de dichas propuestas es ya considerable y su realización es a mediano y largo plazos, pero permite optimizar integralmente los procesos, generando propuestas de optimización económicamente rentables y ecológicamente sustentables.

Este tipo de estudios sirve además para determinar los ejes de investigación y desarrollo tecnológico a seguir, para evaluar diferentes tecnologías disponibles y para garantizar el avance tecnológico de un Programa de Ahorro de Energía de largo alcance.

Las etapas requeridas para capitalizar los resultados de la realización de Estudios de Segundo y Tercer Nivel se muestran en la Figura 4.

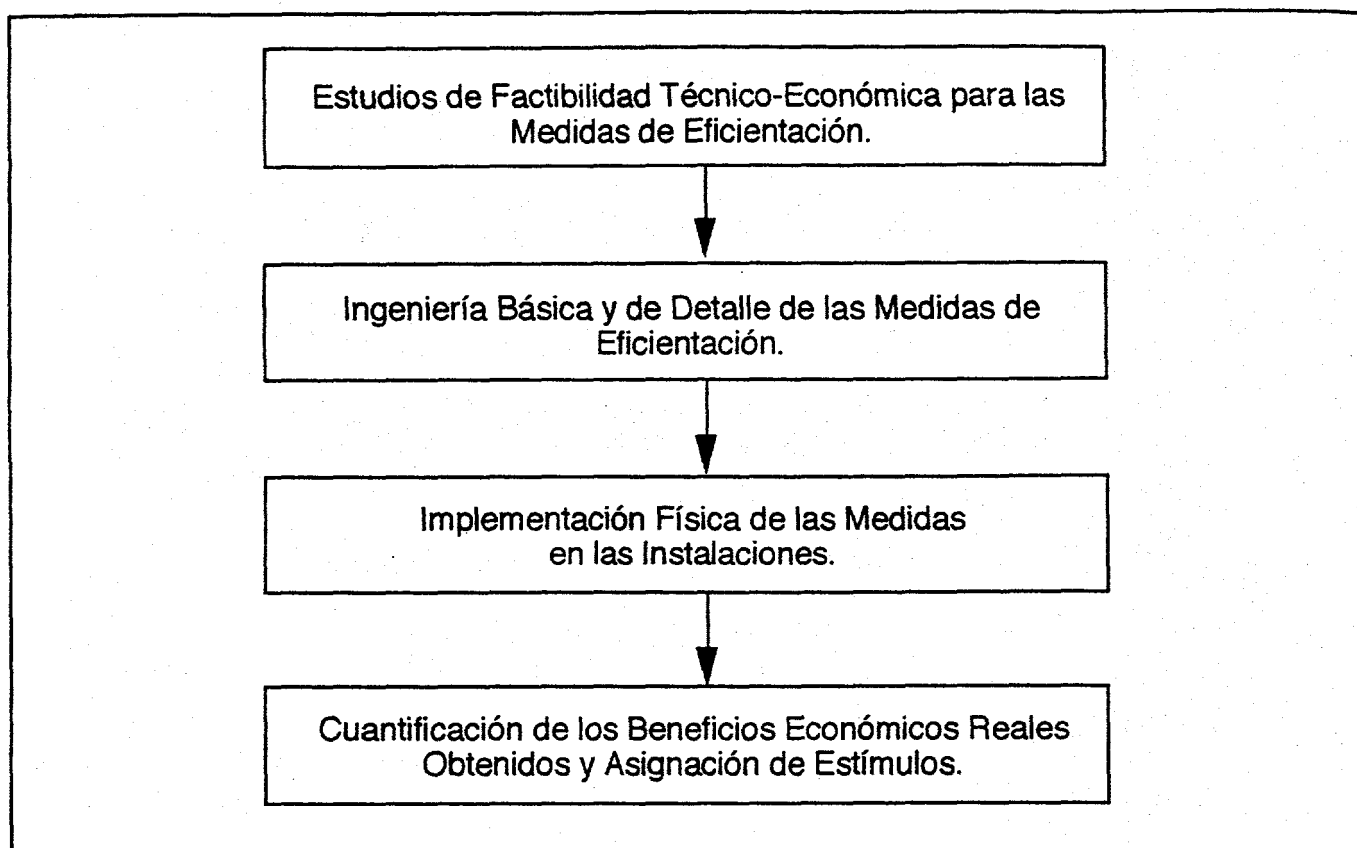


Figura 4. Capitalización de Estudios de Segundo y Tercer Nivel.

La última etapa es de particular importancia, ya que la diferencia en el consumo de energía (en cantidad y calidad) antes y después de la implementación de las medidas, puede utilizarse para capitalizar el beneficio económico y ecológico, mediante la asignación de estímulos económicos o reconocimientos a los logros de cada centro de trabajo, y mediante la asignación de presupuestos adicionales para investigación y desarrollo. En este sentido, la experiencia de los países desarrollados, cuyos programas de ahorro de energía empezaron a implementarse hace más de veinte años, es un magnífico ejemplo de los logros sostenidos que pueden obtenerse tanto en el aspecto energético, económico y ecológico, como en el aspecto de desarrollo tecnológico.

Numerosas empresas en el Reino Unido, cuentan con programas de ahorro de energía, apoyados por la EEO (Energy Efficiency Office). En ellos se contempla por ejemplo la realización de programas de capacitación del personal en los que se integran los aspectos del ahorro de energía. Los empleados y operadores deben presentar un examen al final del programa, otorgándose un Bono a los trabajadores aprobados. El desempeño es evaluado periódicamente y si éste baja, el Bono es retirado [3].

Otro ejemplo de estímulos, es el Trofeo de Tecnologías Ecnómicas y Limpias, que la ADEME (Agencia para el Medio Ambiente y el Ahorro de Energía de Francia), otorga anualmente desde 1993, para recompensar a las empresas industriales y comerciales, que hayan realizado inversiones o que hayan instalado un proceso o un equipo industrial innovativo, destinados a reducir el consumo de energía primaria y la contaminación [4].

En la industria petrolera mexicana, se tiene el antecedente del Programa de Ahorro de Energía establecido en 1986, en el que se otorgaron estímulos económicos a los trabajadores que presentaron las mejores propuestas de ahorro de energía en los centros de trabajo, y se realizó un seminario de ahorro de energía en fase de proyecto, en el que los mejores trabajos fueron premiados y dieron lugar a diversos proyectos de desarrollo tecnológico e ingeniería [5].

CONCLUSIONES

La implementación de un Programa de Ahorro de Energía en la Industria Petrolera y en la industria en general, puede estar soportado por políticas como las siguientes, congruentes con los lineamientos de la Agencia Internacional de la Energía [6], que agrupa a los países integrantes de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE):

1. La disminución en la degradación de energía de la industria petrolera es una de las condiciones básicas para asegurar a mediano y largo plazo el suministro de las materias primas de la industria petroquímica y química, y la producción de los combustibles que requiere la industria en general, el sector transporte y los demás sectores de la economía.
2. La disminución del impacto ambiental de la industria petrolera es fundamental, al mismo tiempo que las políticas en materia del medio ambiente deben tomar en cuenta sus implicaciones energéticas; la conexión energía-ecología es y será cada día más importante, por lo que los estudios que consideran la calidad de la energía y sus implicaciones ecológicas (exergia) son fundamentales.
3. La industria petrolera es uno de los consumidores más importantes de los combustibles fósiles que produce, por lo que es sumamente importante que su consumo sea limpio y eficiente.
4. El mejoramiento de la eficiencia energética de la industria petrolera contribuye tanto a la protección del medio ambiente, como a un aseguramiento económicamente rentable del suministro de energía de la economía. Existe un potencial significativo para incrementar la eficiencia energética (mucho más allá de las medidas obvias de ahorro) en todas las etapas de la industria petrolera, si se considera la calidad de la energía y no sólo su cantidad en los programas de ahorro de energía y en los proyectos de eficientación.
5. La realización de estudios de costos de producción considerando la calidad de la energía (exergia) es muy importante para evitar distorsiones en los precios de los energéticos producidos por la industria petrolera, lo cual contribuirá a que todo el sector industrial en general trabaje más eficientemente. Es importante que los precios de los productos de la industria petrolera reflejen sus costos reales de producción, que dependen de la calidad de la energía que contienen y de los costos ambientales implicados en su producción.
6. La investigación, el desarrollo tecnológico y la promoción de mercados para nuevas y mejores metodologías de análisis y optimización, y para nuevas tecnologías energéticas específicas, es fundamental. Es importante promover la cooperación internacional en el desarrollo y la diseminación de tecnologías en materia de conservación y ahorro de energía.

REFERENCIAS

1. Le Goff, P., "Energétique Industrielle", ISBN: 2-85206-053-1, tome 1, Technique et Documentation, Paris 1979.
2. PEMEX-REFINACION, "Memorias de la Segunda Reunión de Trabajo para la Determinación del Programa de Investigación y Desarrollo Tecnológico a Mediano y Largo Plazos", México 1995.
3. Energy Efficiency Office (EEO), United Kingdom.
4. Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME), France.
5. PEMEX, "Memorias del Seminario de Aplicaciones Factibles de Conservación y Ahorro de Energía en Fase de Proyecto", México 1986.
6. International Energy Agency (IEA), "The Shared Goals", adopted by IEA Ministers at their 4 June 1993 meeting in Paris.

"EVOLUCION Y RESULTADOS DE LOS PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGIA EN PEMEX-REFINACION"

Ing. José Antonio Machado Soberanes
Jefe Unidad Control de Pérdidas y
Uso Eficiente de la Energía

PEMEX-REFINACION**RESUMEN.**

LA NATURALEZA MISMA DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES DE PEMEX-REFINACIÓN, ENFOCADA AL ÁREA DE PRODUCCIÓN DE ENERGÉTICOS EN LAS REFINERÍAS DEL SISTEMA, REQUIERE PARA SUS OPERACIONES DE UN CONSUMO DE ENERGÍA QUE REPRESENTA UN RENGLÓN ALTAMENTE SIGNIFICATIVO DENTRO DE SUS COSTOS TOTALES DE OPERACIÓN. DICHOS COSTOS DE ENERGÍA SE HAN VENIDO REDUCIENDO DE PORCENTAJES SUPERIORES AL 50% EN 1990 A 43% EN 1993, MEDIANTE PROGRAMAS COORDINADOS DE ACCIONES E INVERSIONES ORIENTADOS AL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA Y AL CONTROL DE PÉRDIDAS.

EN ESTE TRABAJO SE PRESENTA LA RESEÑA HISTÓRICA DEL DESARROLLO, AVANCE Y LOGROS QUE A LA FECHA SE HAN OBTENIDO EN ESTA MATERIA EN LA PLANTA PRODUCTIVA DE PEMEX-REFINACIÓN A PARTIR DE LA INTENSIFICACIÓN DEL PROGRAMA DE CONSERVACIÓN Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN 1990.

COMO PARTE SUBSTANCIAL DE ESTE TRABAJO SE ENLISTAN LAS DIVERSAS ACCIONES QUE SE HAN VENIDO APLICANDO DESDE EL INICIO DEL PROGRAMA CON SU RESPECTIVO ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO, PARA LA ELIMINACIÓN DE DISPENDIOS ENERGÉTICOS QUE CORRESPONDEN FUNDAMENTALMENTE A MEDIDAS A CORTO PLAZO QUE REQUIEREN DE MÍNIMA INVERSIÓN Y ACCIONES A MEDIANO PLAZO CON INVERSIONES MODERADAS. ASIMISMO SE PRESENTA EL PLAN DE ACCIONES POR REALIZAR PARA LA OPTIMIZACIÓN EN LA OPERACIÓN DE SISTEMAS Y EQUIPOS EXISTENTES, CON ACCIONES A LARGO PLAZO QUE PARA SU REALIZACIÓN REQUIEREN DE INVERSIONES CONSIDERABLES.

LOS ESFUERZOS REALIZADOS EN ESTE SENTIDO EN LOS ÚLTIMOS 4 AÑOS EN LAS REFINERÍAS DEL SISTEMA, HAN SIDO IMPORTANTES; LO QUE SE HA REFLEJADO EN UNA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÉTICOS PROMEDIO DE 10,000 BARRILES DE CRUDO EQUIVALENTE POR DÍA (BCED), SIN EMBARGO TODAVÍA EXISTEN GRANDES ÁREAS DE OPORTUNIDAD PARA ALCANZAR LOS NIVELES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y RENTABILIDAD DE LAS REFINERÍAS DE VANGUARDIA EN EL MUNDO, LO QUE ES CONSISTENTE CON EL MARCO CONCEPTUAL DEL PLAN DE NEGOCIOS 1995-2000 ESTRUCTURADO PARA PEMEX-REFINACIÓN.

ANTECEDENTES

A CONSECUENCIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE ENERGETICOS 1984-1988, EN EL CUAL SE ENFATIZO QUE EL CONSUMO EFICIENTE DE LA ENERGIA ES UN INDICADOR DEL NIVEL ECONOMICO, SOCIAL, CIENTIFICO Y TECNOLOGICO DE UN PAIS, EN ESE TIEMPO LA S.T.I. REALIZO UN DISGNOSTICO EN SUS INSTALACIONES, CONCLUYENDO QUE:

1. EL CONSUMO DE ENERGIA ERA SUSCEPTIBLE DE SER DISMINUIDO EN CANTIDADES IMPORTANTES.
2. SE HIZO PATENTE LA INSUFICIENCIA DE INSTRUMENTOS CONFIABLES DE MEDICION.
3. NO EXISTIA PERSONAL EXCLUSIVO PARA ACTIVIADES DE AHORRO DE ENERGIA.
4. LA MAYORIA DE LAS PLANTAS FUERON DISEÑADAS CON INGENIERIA QUE NO CONTEMPLABA OPTIMIZACION ENERGETICA

DURANTE ESTE PERIODO (1984-1989) NO SE MATERIALIZARON ACCIONES CONCRETAS DE LOGROS ENERGETICOS.

SUCESOS A PARTIR DE 1990.

- FORMACION DE LOS GRUPOS C.P.A.E. (CONTROL DE PERDIDAS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA) A NIVEL CENTRAL COMO EN LAS REFINERIAS.
- ESTABLECIMIENTO DE UN PROGRAMA DE TRABAJO GENERAL, SEÑALANDO CLARAMENTE LOS OBJETIVOS, METAS, POLITICAS Y ESTRATEGIAS A SEGUIR.
- ASIGNACION DE UN EJERCICIO PRESUPUESTAL ESPECIFICO.
- INICIO DE LAS EVALUACIONES DEL DESEMPEÑO DE LAS REFINERIAS POR LA CIA. SOLOMON Y ASOCIADOS.

PROGRAMA DE TRABAJO.

OBJETIVO: DISMINUIR EL CONSUMO DE ENERGIA POR UNIDAD PRODUCIDA Y REDUCIR A VALORES MINIMOS LAS PERDIDAS DE HIDROCARBUROS Y OTROS, DE TAL MANERA QUE EL BENEFICIO ECONOMICO QUE SE OBTENGA SEA MAYOR AL COSTO DE LAS MEDIDAS TOMADAS Y ASI PODER AUMENTAR EL APROVECHAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.

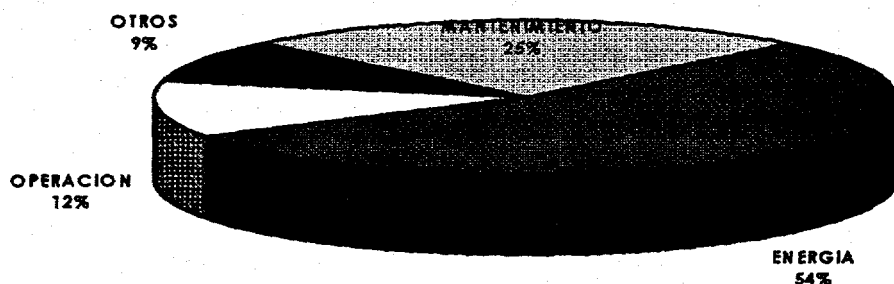
METAS:

- QUE LAS REFINERIAS TENGAN UN SISTEMA DE MEDICION DE PERDIDAS Y CONSUMO DE ENERGETICOS PRECISO Y REDUNDANTE PARA LOS AÑOS 1992-1993.
- DESARROLLAR INDICADORES DEL USO DE LA ENERGIA POR REFINERIA Y POR PLANTA PERMANENTEMENTE.
- REDUCCION DEL CONSUMO Y PERDIDAS DE ENERGETICOS EN 20,000 BCED, PARA TODO EL SISTEMA DE REFINACION.
- DESARROLLAR, IMPLEMENTAR Y LLEVAR A CABO UN PROGRAMA DE CONCIENTIZACION, CAPACITACION Y ENTENDIMIENTO SOBRE EL USO EFICIENTE DE LA ENERGIA Y EL VALOR DE LAS PERDIDAS A TODOS LOS NIVELES DE LA ORGANIZACION EN FORMA PERMANENTE.

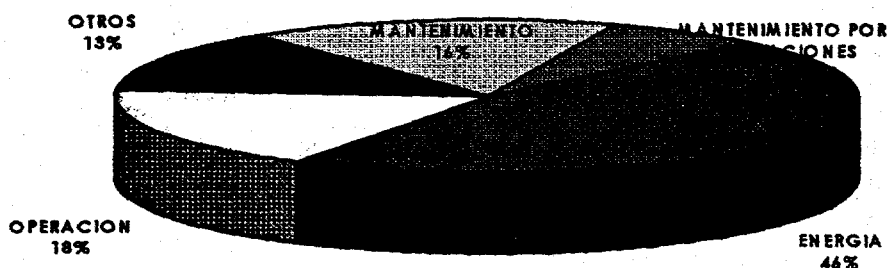
LOS ALTOS COSTOS OPERATIVOS DE PEMEX - REFINACION SON IMPACTADOS PRINCIPALMENTE POR LOS ALTOS CONSUMOS DE LA ENERGIA, ESTOS COSTOS AL INICIO DE LA PRESENTE ADMINISTRACION SE ENCONTRABAN LOS VALORES SUPERIORES AL 54% DE LOS COSTOS TOTALES OPERATIVOS, LOS CUALES SE HAN VENIDO REDUCIENDO A LOS VALORES PROMEDIO DE 46% (FIG. 1), POR MEDIO DE LA APLICACION DE MEDIDAS CONCRETAS ENCAMINADAS A EFICIENTAR EL USO DE ENERGETICOS; SIN EMBARGO, TODAVIA EXISTE UN POTENCIAL IMPORTANTE DE REDUCCION DE ESTOS COSTOS (APROX. 25%) PARA ALCANZAR LOS NIVELES DE EFICIENCIA Y RENTABILIDAD DE LAS REFINERIAS DE VANGUARDIA DEL MUNDO.

COSTOS TOTALES DE OPERACION

1990



1994 (1ER SEMESTRE)



ACCIONES DE CARACTER GENERAL QUE SE HAN VENIDO APLICANDO EN LAS REFINERIAS DEL SISTEMA A PARTIR DE LA IMPLANTACION DEL PROGRAMA.

1. DISMINUCION O ELIMINACION DEL FLUJO DE VAPOR A TRAVES DE LAS VALVULAS REDUCTORAS DE PRESION.
2. REDUCCION O ELIMINACION DEL CONSUMO DE GAS NATURAL.
3. INCREMENTO EN LA PRODUCCION DE GAS DE PROCESO.
4. INCREMENTO EN LA RECUPERACION DE CONDENSADO.
5. ELIMINACION O REDUCCION DEL VOLUMEN DE GASES A LOS QUEMADORES DE CAMPO.
6. OPTIMIZACION DE LA COMBUSTION EN CALDERAS Y CALENTADORES.
7. REHABILITACION DEL SISTEMA DE TRAMPAS DE VAPOR.
8. REHABILITACION Y REPOSICION DEL AISLAMIENTO TERMICO EN TUBERIAS DE VAPOR, ASI COMO EN EQUIPOS Y CIRCUITOS DE PROCESO.
9. ELIMINACION DE FUGAS DE VAPOR EN EQUIPOS Y CIRCUITOS.
10. ELIMINACION DE VENTEOS Y CONDENSADO DEL VAPOR DE BAJA PRESION.

-
11. CAMBIO DE TURBINAS POR MOTORES ELECTRICOS.
 12. EFECTUAR LIMPIEZA OPORTUNA DEL EQUIPO DE INTERCAMBIO DE CALOR.
 13. CAMBIOS EN LOS MOTORES DE OPERACION DEL AREA DE SERVICIOS AUXILIARES, PERMITIENDO DEJAR DE IMPORTAR ENERGIA ELECTRICA Y POSTERIORMENTE EXPORTAR LOS EXCEDENTES A C.F.E.

CABE SEÑALAR QUE PARA LA MAYORIA DE ESTAS ACCIONES LA APLICACION ES CONTINUA Y PERMANENTE.



**SUBDIRECCION DE PRODUCCION
GERENCIA DE EVALUACION DE REFINERIAS
CONTROL DE PERDIDAS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA**

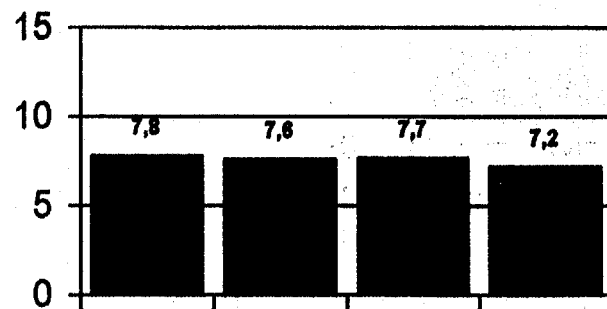
LOGROS RELEVANTES

ACTIVIDAD	SITUACION INICIAL	SITUACION ACTUAL	OBSERVACIONES
1. REDUCCION DE VAPOR EN VALVULAS REDUCTORAS DE PRESION.	SE REDUCIAN APROXIMADAMENTE 900T/H DE VAPOR DEBIDO AL USO INADECUADO DE LOS SISTEMAS DE EXTRACCION DE LOS TURBOGENERADORES.	LA REDUCCION AUN DE APROXIMADAMENTE 550 T/H DE VAPOR EN LAS REFINERIAS DE MADERO Y MINATITLAN SE DEBE AL MAL ESTADO DE LOS SISTEMAS DE EXTRACCION.	
2. OPERACION DE CALDERAS Y TURBOGENERADORES	LA OPERACION DE CALDERAS Y TURBOGENERADORES SE REALIZABA CON BAJAS EFICIENCIAS Y BAJOS INDICES OCUPACIONALES.	EL AUMENTO EN EFICIENCIAS E INDICES OCUPACIONALES PERMITIO DAR DE BAJA A 9 CALDERAS Y 1 TURBOGENERADOR.	
3. IMPORTACION-EXPORTACION DE E.E.	SE IMPORTABAN 57.3 MW DE ENERGIA ELECTRICA, SIENDO LA EXPORTACION, CERO.	ACTUALMENTE SE IMPORTAN 13.6 MW Y SE EXPORTAN 18.6 MW, HABIENDOSE ALCANZADO VALORES DE 1.1 Y 28.4 RESPECTIVAMENTE.	
4. DESFOGUES A LOS QUEMADORES DE CAMPO.	EN EL AÑO DE 1991 LOS DESFOGUES HACIA LOS QUEMADORES DE CAMPO ALCANZABAN UN VALOR DE 1.3 MM M3/D.	ACTUALMENTE EL VOLUMEN PROMEDIO DESFOGADO SE HA REDUCIDO A 0.85 MM M3/D, PERMITIENDO SACAR DE OPERACION 13 QUEMADORES DE CAMPO.	LA REDUCCION DE 0.45 MM M3/D DE GAS A LOS QUEMADORES DE CAMPO EQUIVALE A UNA DISMINUCION EN LA PERDIDA DE HC DE 3180 B.C.E.D. Y A UN AHORRO DE N\$ 87.050 MM/AÑO.
5. RECIBO DE GAS NATURAL.	SE RECIBIAN INICIALMENTE EN EL AÑO DE 1990 UN PROMEDIO DE 2.9 MM M3/D.	ACTUALMENTE EL RECIBO DE GAS NATURAL ES DE 1.4 MM M3/D; ESTO DEBIDO A UN MEJOR APROVECHAMIENTO DEL GAS OBTENIDO EN PROCESOS.	LA REDUCCION DE 1.5 MM M3/D EN EL RECIBO DE GAS NATURAL EQUIVALE A UN AHORRO DE 10600 B.C.E.D. CON UN VALOR DE N4 290.2 MM/AÑO.
6. RECUPERACION DE CONDENSADO.	EL INDICE DE RECUPERACION DE CONDENSADO ERA DE 55%.	ACTUALMENTE ESTE VALOR ES DE 57%.	LA RECUPERACION ADICIONAL DE 114 T/H CORRESPONDE A UN AHORRO DE N\$ 7.0 MM/AÑO.
7. VENTEOS Y CONDENSACION DEL VAPOR DE BAJA.	EXISTIAN VENTEOS Y CONDENSACION DE ESTE VAPOR EN TODAS LAS REFINERIAS.	EL BALANCEO EN LOS CABEZALES DE VAPOR Y LA ROTACION ADECUADA DE EQUIPO MOTRIZ PERMITE UN MINIMO TANTO DE VENTEO COMO DE CONDENSACION.	

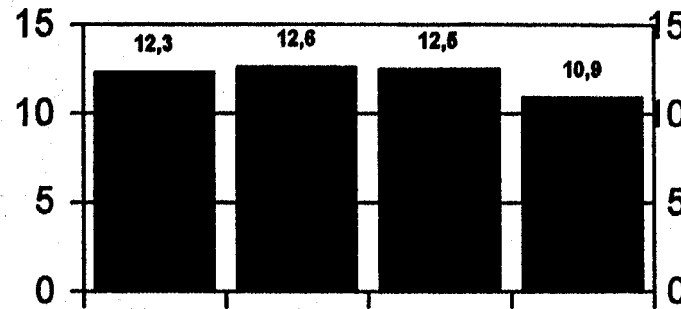
PEMEX-REFINACION

INDICE ENERGETICO EN REFINERIAS

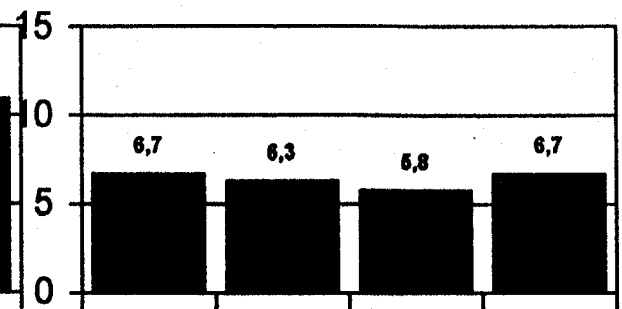
1991 - 1994



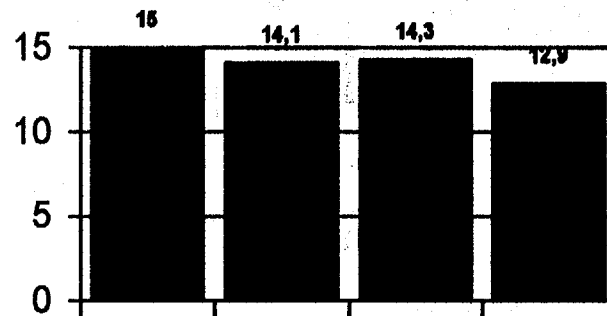
CADEREYTA



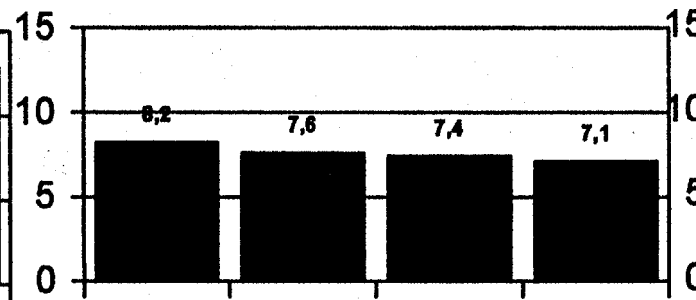
MADERO



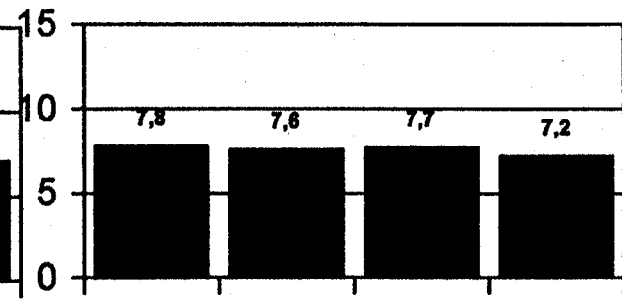
MINATITLÁN



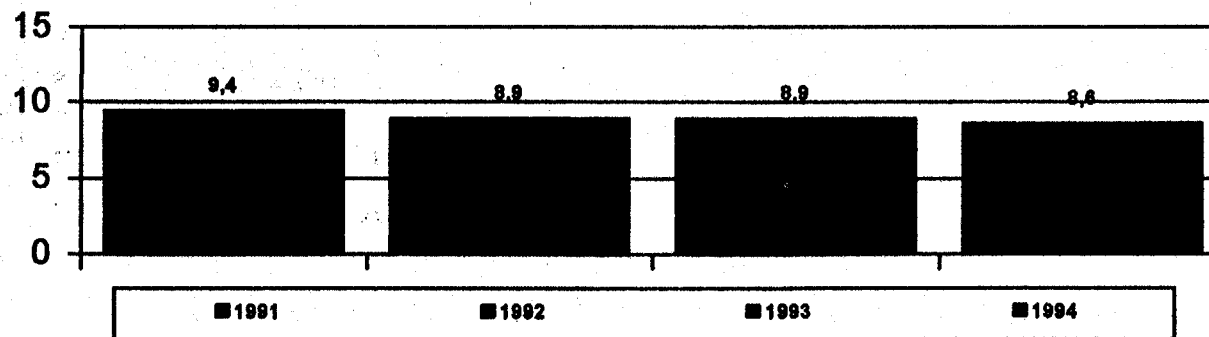
SALAMANCA



SALINA CRUZ



TULA



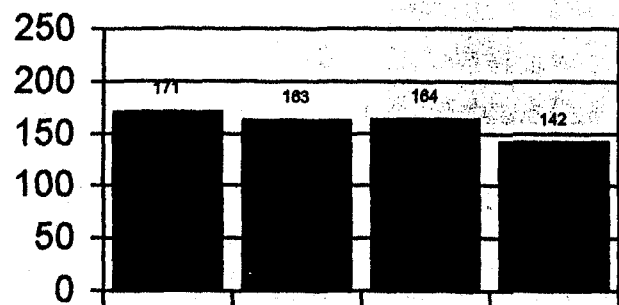
EN REFINERIAS



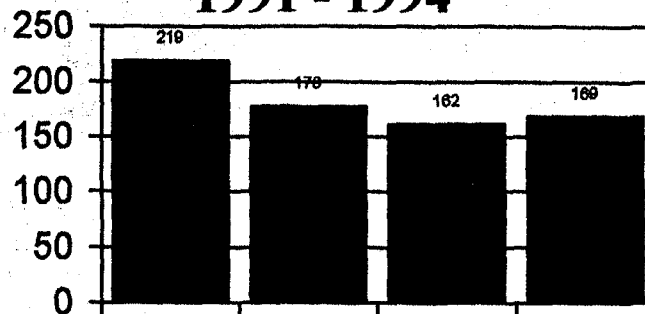
PEMEX-REFINACION

INDICE SOLOMON POR REFINERIAS

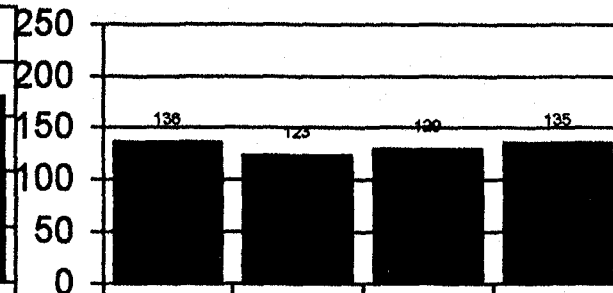
1991 - 1994



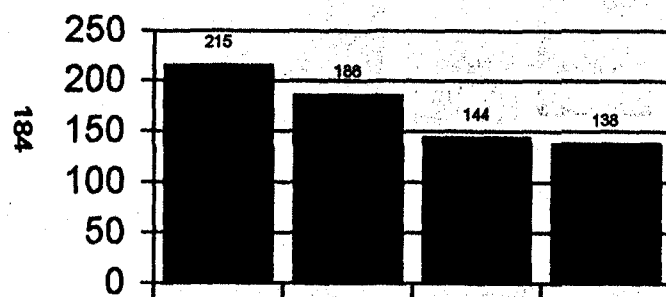
CADEREYTA



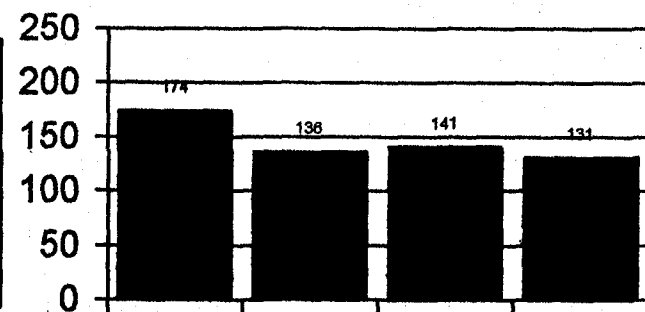
MADERO



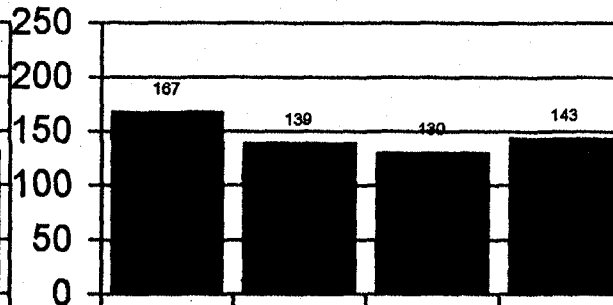
MINATITLÁN



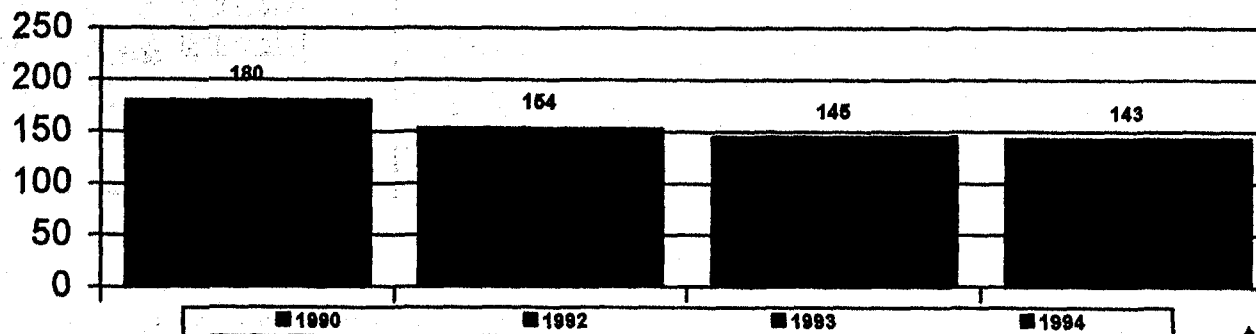
SALAMANCA



SALINA CRUZ



TULA



EN REFINERIAS





SUBDIRECCION DE PRODUCCION
GERENCIA DE EVALUACION DE REFINERIAS
UNIDAD DE CONTROL DE PERDIDAS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA

TABLA RESUMEN

**AHORROS CALCULADOS EN EL SISTEMA DE REFINACION EN CUANTO A LA DISMINUCION
DE LOS CONSUMOS ENERGETICOS Y AL CONTROL DE LAS PERDIDAS**

CONCEPTO	1991	1992	1993	1994
I. GLOBAL	9.4	8.94	8.90	8.58
I.I.E. SOLOMON	180 (1)	154	145	143
B.C.E.D. (2)	23895	9866	4452	5050
MM N\$ AÑO	457.8	189.0	85.3	96.7

(1) Corresponde a 1990.

(2) Barriles de Crudo Equivalente por Día.

ANALISIS DE COMPETITIVIDAD DEL SISTEMA DE REFINACION (1990-1994)

PARAMETRO	VALOR	COMENTARIO
% DE UTILIZACION EN REFINERIAS	73 AL 79 %	ALCANZO NIVELES INTERNACIONALES
TULA	72 AL 80 %	
MADERO	64 AL 85 %	
SALINA CRUZ	66 AL 86 %	
INDICE DE EXPANSION VOLUMETRICA	56 AL 75 %	ALCANZO NIVELES INTERNACIONALES.
INDICE DE INTENSIDAD ENERGETICA	180 A 142	SE REDUJO 20%, NO OBSTANTE CONTINUA POR ARRIBA DEL NIVEL INTERNACIONAL.
(*) GASTOS DE OPERACION	44 A 28 Cts.	SOBRESALEN DE MANERA ESPECIAL, SALAMANCA Y SALINA CRUZ.
PERSONAL EQUIVALENTE	468 A 280 H-H	SE REDUJO CONSIDERABLEMENTE, SIN EMBARGO, AUN ESTA POR ARRIBA DEL NIVEL INTERNACIONAL.
(*) INDICE DE MANTENIMIENTO	27 A 25 DLLS.	NO SE OBSERVAN CAMBIOS SIGNIFICATIVOS.
FUENTE: INDICADORES DE DESEMPEÑO DE SOLOMON 1994.		
(*) POR UNIDAD EQUIVALENTE DE DESTILACION.		

CONSERVACION Y AHORRO DE ENERGIA

SITUACION ACTUAL.

LA GRAN DISPONIBILIDAD DE RECURSOS ENERGETICOS A BAJO COSTO Y LA NECESIDAD DE MANTENER E INCREMENTAR LA PLANTA PRODUCTIVA, RESTRINGIERON LA INCORPORACION DE FILOSOFIAS DE AHORRO DE ENERGIA, EN LOS ULTIMOS AÑOS SE HAN REALIZADO ESFUERZOS SIGNIFICATIVOS EN TRES SENTIDOS.

- REALIZACION DE ESTUDIOS ESPECIFICOS.
- FORMACION DE RECURSOS HUMANOS Y TECNICOS.
- APLICACION DE MEDIDAS DE PRIMERO Y SEGUNDO NIVELES.

TENDENCIAS

- METODOLOGIAS PARA REALIZAR DE MANERA SISTEMATICA Y CONFIABLE AUDITORIAS ENERGETICAS.
- DESARROLLO Y ADAPTACION DE TECNICAS PARA EL DISEÑO Y READAPTACION DE PROCESOS INTEGRADOS TERMICAMENTE.
- INCORPORAR PROCESOS DE COGENERACION DENTRO DE LAS REFINERIAS.
- DESARROLLOS ORIENTADOS AL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE EQUIPO DE TRANSFERENCIA DE CALOR MAS EFICIENTE.
- ASIMILACION Y DESARROLLO TECNOLOGICO DE PROCESOS ENERGETICAMENTE INTEGRADOS.

MISION Y OBJETIVOS DE PEMEX - REFINACION

MISION

SATISFACER LA DEMANDA NACIONAL DE PRODUCTOS PETROLIFEROS, MAXIMIZANDO EL VALOR ECONOMICO DE LOS ACTIVOS, CONTRIBUYENDO AL FORTALECIMIENTO GLOBAL DE PEMEX, DENTRO DE UN MARCO DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.

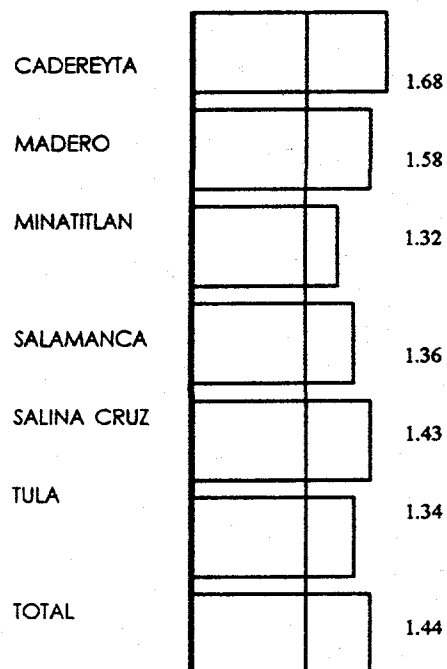


OBJETIVOS

- 1 - MAXIMIZAR EL VALOR DE LOS ACTIVOS CON NIVELES DE EFICIENCIA Y RENTABILIDAD INTERNACIONALMENTE COMPETITIVOS.
- 2 - GARANTIZAR EL SUMINISTRO DE PRODUCTOS PETROLIFEROS EN EL PAIS, AL MINIMO COSTO, CON LAS ESPECIFICACIONES DE CALIDAD QUE DEMANDA EL MERCADO.
- 3 - CUMPLIR CON ESTANDARES DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL.
- 4 - DESARROLLAR INTEGRALMENTE LOS RECURSOS HUMANOS.
- 5 - DESARROLLAR LOS MERCADOS NACIONALES E INTERNACIONALES CON UNA VOCACION PLENA DE SERVICIO AL CLIENTE.

REZAGO EN PRACTICAS OPERATIVAS EN LAS REFINERIAS, 1993

INDICE DE
CONSUMO DE
ENERGIA.



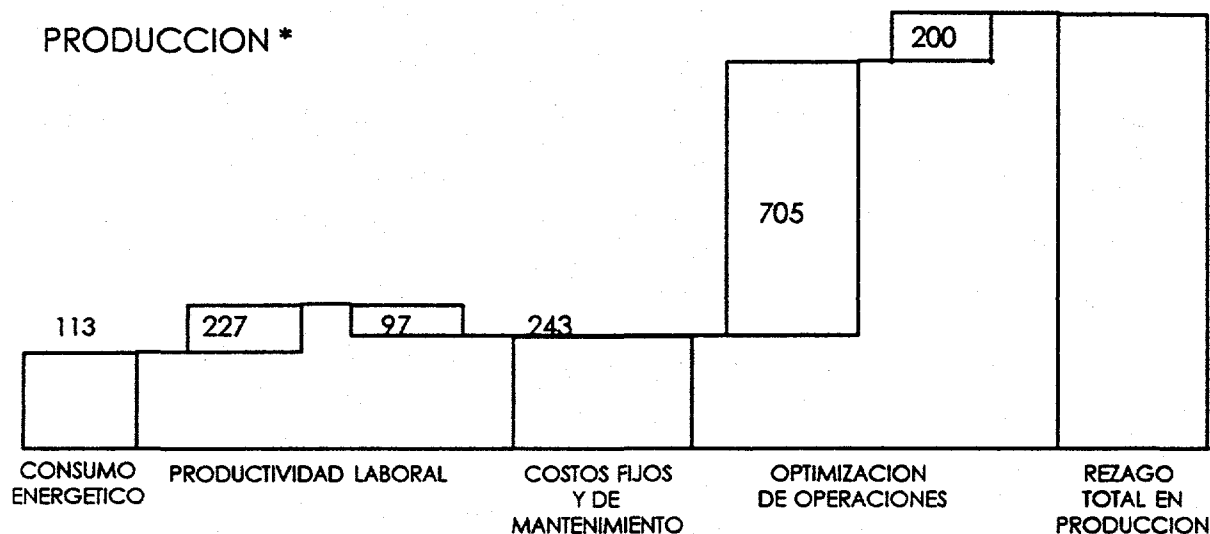
CNGM = 1.0

IMPACTO EQUIVALENTE (MILLONES DE DOLARES POR AÑO)= 113

BRECHAS OPERATIVAS Y DE OPTIMIZACION RESPECTO A ESTANDARES DE REFERENCIA. (MILLONES DE DOLARES ANUALES)

1148

PRODUCCION *



* COMPARACION ENTRE EL SNR Y LA CNGM. LOS REZAGOS DE PRODUCCION ESTAN BASADOS EN LOS RESULTADOS DE OPERACION DE 1993.

MODERNIZACION DE LA PLANTA COMBINADA I, TULA, HGO.

SECCION DE DESTILACION ATMOSFERICA

SE REDISEÑO EL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO, INCORPORANDO CINCO INTERCAMBIADORES DE CALOR DISPONIBLES EN LA REFINERIA Y MODIFICANDO LA SECUENCIA DE INTERCAMBIO, A FIN DE RECUPERAR CALOR ADICIONAL DEL RESIDUO DE REDUCTORA DE VISCOSIDAD Y DEL GASOLEO PESADO PRIMARIO.

LAS MODIFICACIONES REPRESENTAN UNA REDUCCION EN EL CONSUMO DE ENERGIA DE 30 MMBTU/H Y PERMITIRAN INCREMENTAR LA CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO DE LA UNIDAD EN 18,400 BPD.

MODERNIZACION DE LA PLANTA COMBINADA I, TULA, HGO.

BASES DE ESTUDIO

SECCION DE DESTILACION ATMOSFERICA

- ASEGURAR UNA CAPACIDAD MAXIMA DE PROCESAMIENTO DE CRUDO DE 160,000 BPD EN OPERACION NORMAL (CAPACIDAD ACTUAL 141,600 BPD)
- OPERACION INDEPENDIENTE DE LOS TRENES DE PRECALENTAMIENTO PARA MAYOR FLEXIBILIDAD EN LA OPERACION
- RECUPERACION ADICIONAL DE CALOR DE CORRIENTES CALIENTES
- DISPONIBILIDAD EN CAMPO DE EQUIPO DE INTERCABIO TERMICO

SECCION DE DESTILACION AL VACIO

- AUMENTAR RENDIMIENTO DE GASOLEOS
- REDUCIR VOLATILIDAD DEL RESIDUO
- DISMINUIR LA COQUIZACION EN LA SECCION DE LAVADO
- NO CONSIDERAR CAMBIO EN EL TIPO DE EMPAQUE



SUBDIRECCION DE PRODUCCION
UNIDAD DE CONTROL DE PERDIDAS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA
POTENCIAL DE DISMINUCION DE CONSUMOS ENERGETICOS
REFINERIA: SALINA CRUZ

ACTIVIDAD	INVERSION (MM NS)	AHORRO (MM NS/AÑO)	RET. DE INVERSION (AÑOS)	AHORRO (BCED)	DESCRIPCION
1- CAMBIO DE LOS MODOS DE OPERACION DE LAS CALDERAS		10.2		127.3	AUMENTAR EL PORCIENTO DE EFICIENCIA OCUPACIONAL DE CALDERAS Y REDUCIR EL NUMERO DE ESTAS EN OPERACION (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA HECHO POR LA CIA. KRAFTANLAGEN).
2.- CAMBIO EN LA PRESION DE OPERACION DE LOS DEAERADORES.		9.4		126.1	ELEVAR LA TEMPERATURA DEL AGUA DE ALIMENTACION A CALDERAS DISMINUYENDO EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES DE ESTAS (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA HECHO POR LA CIA. KRAFTANLAGEN).
3.- ELIMINACION TOTAL DE FUGAS DE VAPOR.	1.0	9.6	0.1	350	VALORES ESTIMADOS EN BASE A LA EXISTENCIA DE 500 FUGAS.
4.- AUTOMATIZACION DE PURGAS DE CALDERAS.	0.6	4.6	0.1	168	REDUCIR LAS PERDIDAS POR PURGAS DE CALDERAS (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA HECHO POR LA CIA. KRAFTANLAGEN).
5.- REHABILITACION Y REPOSICION TOTAL DEL AISLAMIENTO TERMICO.	1.8	7.6	0.2	280	VALORES ESTIMADOS EN BASE AL FALTANTE DE 1000 M LINEALES DE AISLAMIENTO.
6.- AUTOMATIZACION DE SISTEMAS DE OPERACION MOTOR-TURBINA.	16.6	22.4	0.7	816	LA SELECCION DE ESTOS SISTEMAS Y SU AUTOMATIZACION EVITARAN VENITEOS Y CONDENSACION DE VAPOR (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA HECHO POR LA CIA. KRAFTANLAGEN).
7.- INSTALACION DE UN SISTEMA PACKINOX.	9.0	12.17	0.73	371	ELEVAR LA TEMPERATURA DEL PRECALENTAMIENTO DISMINUYENDO POSTERIORMENTE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES (PROYECTO REALIZADO EN LA REFINERIA DE TULA).
8.- REHABILITACION Y OPTIMIZACION DE CALENTADORES A FUEGO DIRECTO.	43	21.2	2.0	775	SE ANEXA LISTA DE EQUIPO (AUDITORIA DE COMBUSTION REALIZADA POR LA COMPAÑIA PETROCHEM).
9.- INSTALACION DE PRECALENTADORES EN CALENTADORES A FUEGO DIRECTO	131.6	28.0	4.7	1025	EN PLANTAS ATMOSFERICAS 1 Y 2, VACIO 1 Y 2 Y REFORMADORA 1 (ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA AHORRO DE ENERGIA HECHO POR LA CIA. KRAFTANLAGEN).
TOTAL	203.6	132.66	1.5	4038.4	

NOTA: LA REDUCCION EN 4234 DE BCED EN CONSUMO DE COMBUSTIBLES CORRESPONDE A UNA DISMINUCION DE ±30 PUNTOS EN EL INDICE SOLOMON.

POTENCIAL DE REDUCCION DE GASES ENVIADOS AL QUEMADOR

ACTIVIDAD	INVERSION (MM NS)	AHORRO (MM NS/AÑO)	RET. DE INVERSION (AÑOS)	AHORRO (BCED)	DESCRIPCION
10.- DISMINUCION DE DESFOGUES A VALORES MINIMOS (DE 91 MM3/D A 15 MM3/D).		16.6		488	UNICAMENTE CON AJUSTE OPERACIONAL (EL VALOR MINIMO ESTA FIJADO EN CORRIENTES NO RECUPERABLES POR ESTE CONCEPTO).
11.- RECUPERACION TOTAL DE DESFOGUES (15MM3/D).	11.4	2.9	3.9	107	UTILIZANDO UNA PLANTA DE RECUPERACION DE VAPORES.
TOTAL	11.4	19.5	0.7	595	

GRAN TOTAL	215	152.16	1.4	4633.4	
------------	-----	--------	-----	--------	--

OBSERVACIONES:

- 1.- LA ACTIVIDAD 1 SE HA LLEVADO A CUMPLIMIENTO.
- 2.- LA ACTIVIDAD 2 SE HA LLEVADO A CABO SIN ALCANZAR LA PRESION DE OPERACION RECOMENDADA.
- 3.- LA ACTIVIDAD 10 SE HA LLEVADO A CABO PARCIALMENTE CON REDUCCIONES DE APROX. 12 MM3/D EQUIVALENTES A 85 BCED.

NOTA: EL TIPO DE CAMBIO UTILIZADO ES DE 5 NUEVOS PESOS POR U. S. DOLAR Y EL PRECIO DEL BARRIL DE CRUDO DE 15 U. S. DOLAR.

ENERO 95.

CONCLUSIONES:

- LOS RESULTADOS OBTENIDOS HASTA 1994 CON LA APLICACION DE LOS PROGRAMAS DE AHORRO DE ENERGIA EN EL SISTEMA NACIONAL DE REFINACION HAN SIDO IMPORTANTES COMO LO MUESTRA EL AHORRO PROMEDIO POR COMBUSTIBLES DE 10,000 B.C.E.D. EN 4 AÑOS. SIN EMBARGO, COMO SE HA OBSERVADO EXISTE TODAVIA UNA BRECHA OPERATIVA AMPLIA RESPECTO A ESTANDARES DE REFERENCIA QUE SE PUEDE ALCANZAR MEDIANTE EL CUMPLIMIENTO DE LOS PROGRAMAS DEFINIDOS PARA ELLO.
- ES IMPERATIVO CONTINUAR CON LOS PROGRAMAS INMEDIATOS PARA EL AHORRO DE ENERGIA QUE INTEGRAN MEDIDAS YA IDENTIFICADAS, ALTAMENTE RENTABLES Y QUE REQUIEREN DE BAJOS NIVELES DE INVERSION.
- ASIMISMO SE DEBERAN CONTINUAR CON LA APLICACION DE AQUELLAS MEDIDAS PARA EL AHORRO DE ENERGIA CORRESPONDIENTES AL MEDIANO Y LARGO PLAZO QUE HAN SIDO DETECTADAS POR LOS ESTUDIOS Y AUDITORIAS ENERGETICAS, QUE IMPLICAN NIVELES DE INVERSION AMPLIOS Y QUE GENERARAN AHORROS ENERGETICOS TALES QUE PERMITAN ALCANZAR LOS NIVELES OPERATIVOS DE LAS REFINERIAS DE VANGUARDIA.

- PARA LOGRAR ESTO SE DEBERAN REFORZAR LAS ESTRUCTURAS ORGANIZATIVAS PARA AVOCARSE EXCLUSIVAMENTE A LA ATENCION Y RESPONSABILIDAD DEL MANEJO EFICIENTE DEL RECURSO ENERGETICO, DEBERA COMPLETARSE Y MODERNIZARSE EL SISTEMA DE MEDICION EN TODAS LAS REFINERIAS PARA CONTAR CON CUANTIFICACIONES CONFIABLES DE LOS CONSUMOS ENERGETICOS, DEBERA CONTARSE CON UN SISTEMA PARA LA ADMINISTRACION DE LA ENERGIA Y CON LA ASIGNACION CONTINUA DE RECURSOS PRESUPUESTALES PARA POSIBILITAR ESTA FUNCION.
- PARALELAMENTE A LA REDUCCION DE CONSUMOS ENERGETICOS, LOS PROYECTOS PARA AHORRO DE ENERGIA INCIDEN DIRECTAMENTE EN LA MEJORA DE LA CALIDAD DEL MEDIO AMBIENTE, ASPECTO DE VITAL IMPORTANCIA Y ESPECIAL ATENCION PARA EL CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVIDAD ECOLOGICA.
- POR ULTIMO, PERO NO MENOS IMPORTANTE ES EL CONTINUAR CON LOS PROGRAMAS DE CAPACITACION AL PERSONAL PARA SUSTENTAR LA FUNCION Y SISTEMAS ASOCIADOS.



**SUBDIRECCION DE PRODUCCION
CONTROL DE PERDIDAS Y USO EFICIENTE DE LA ENERGIA**

RENTABILIDAD DEL SISTEMA DE INTERCAMBIO DE CALOR (PACKINOX)

REFINERIA	INVERSION MM US.DL/MMNS	AHORRO (4) (MMNS/AÑO)	PERIODO REC.(AÑOS)	AHORRO (BCED)	DESCRIPCION
TULA (1) (Reformadora I)	0.79/4.74	11.49	0.42	350	AUMENTO DE AREA EN EL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA EA501 A/B.
TULA (2) (Reformadora I)	0.79/4.74	7.44	0.63	227	AUMENTO DE AREA EN EL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA EA501 A/B.
TULA (2) (Reformadora II)	1.5/9.0	12.17	0.73	371	AUMENTO DE AREA EN EL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA EA501 A/B.
SALINA CRUZ (3) (Reformadora II)	1.5/9.0	11.60	0.78	353	AUMENTO DE AREA EN EL TREN DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA EA501 A/B.

NOTAS

- (1) DATOS TECNICOS OBTENIDO SEGUN ANALISIS DE EXERGIA REALIZADO POR I.M.P.
 (2) EVALUACION CON DATOS ACTUALES AL 26-IV-95.
 (3) EVALUACION CON DATOS ACTUALES AL 4-V-95.
 (4) PRECIO DE CRUDO DE 15 U.S. DL./BL Y TIPO DE CAMBIO 6 NS/U.S. DL.

EN LAS REFINERIAS DE MADERO Y MINATITLAN NO SE TIENEN INSTALADOS NI REQUISITADOS ESTOS EQUIPOS.
 EN REF. CADERYTA ESTA DIFERIDA LA ADQUISICION DE EQUIPO, MIENTRAS QUE EN REF. SALAMANCA SE EN
 CUENTRA EN TRAMITE DE ADQUISICION (1 EQUIPO).

PROGRAMA DE ACCIONES PARA EL AHORRO DE LA ENERGÍA EN LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE PÚBLICO URBANOS.

M.en C. L. Ignacio Sánchez Arellano
 Profesor-Investigador, Facultad de Ingeniería,
 Universidad Autónoma del Estado de México
 Ciudad Universitaria, 50130 Toluca, México
 Tel. 91(72) 140534 ó 140855 FAX (72)154512

RESUMEN:

La Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México, dentro de su programa de Posgrado en Ingeniería del Transporte realiza proyectos de investigación tendientes en la buena operación de los transportes públicos urbanos, en la definición de las redes de transporte y su explotación así como la el ahorro y uso eficiente de la energía utilizada para su funcionamiento. El trabajo aquí presentado se inscribe dentro de las líneas de interés de este programa.

Las características propias de operación y de consumo de energía de los diferentes tipos de vehículos utilizados en el servicio de transporte público urbano, dependen principalmente de las aplicaciones para las que se hayan previsto. Sin embargo un punto importante es el conocer de manera más concreta y específica la naturaleza y otras opciones de utilización posibles de los diversos sistemas de transporte urbano, así como su impacto energético y la posibilidad de ahorros bien canalizados.

El objetivo de este trabajo es la de presentar de manera concreta los diferentes equipos utilizados en el transporte público urbano, haciendo una comparación energética, además de plantear un programa de acciones tendientes al ahorro de energía para los vehículos que operan actualmente en las principales ciudades del país. Se indican las principales acciones y sus características básicas para su puesta en marcha, las cuales se pueden resumir en tres grandes rubros:

- acciones dentro de las mismas empresas y sobre el parque vehicular existente.
- acciones sobre la administración y explotación de los sistemas de transporte.
- acciones para la utilización de nuevos equipos y vehículos más eficientes.

Una explicación detallada de cada uno de estas acciones y su impacto en el consumo de energéticos son el propósito final de este estudio.

Introducción

El sector de los transportes constituye hoy en día la llave para obtener una independencia energética en cualquier país (aún en el caso de México que es un país productor de petróleo). Esto nos lleva al planteamiento de programas para una utilización racional de la energía que producen los vehículos automotores, a través de una serie de acciones que permitan la reducción de los consumos de energía en este sector, el cual ha consumido en 1994 a nivel nacional 23.83 millones de litros diarios en promedio (entre gas LP, diesel y las gasolinas).

Los planes de acción deberán guiarse para alcanzar dos objetivos básicos:

- por una parte, obtener ahorros energéticos en cada modo de transporte, es decir, disminuir sus consumos específicos.

- por otra parte, mejorar la organización y explotación de los sistemas de transporte con miras a que sea utilizado cada modo, en condiciones óptimas dentro del plan energético, favoreciendo la transferencia de modos menos económicos, hacia los modos con consumos específicos más bajos o bien utilizando tipos de energía sustitutos.

En México el consumo de combustibles para el sector transportes a nivel nacional y desde 1989 ha sido el siguiente:

Año	Millones de litros diarios	% del total nacional
1989	16.26	51.4
1990	20.64	47.2
1991	21.53	48.8
1992	21.78	50.5
1993	20.70	48.1
1994	23.83	54.7

Tabla 1. Consumos de combustible anual en México (Gas LP, Diesel y gasolina).

Como se aprecia en la tabla 1. el lugar que ocupan los transportes en el consumo final de productos petroleros, rebasa el 50% del total consumido en país (los otros sectores corresponden a la industria y siderúrgicas, la termoeléctrica, la domestica).

Desafortunadamente no fue posible desglosar o calcular la parte del consumo de combustibles que corresponde a los transportes urbanos, sin embargo, una estimación nos dice que anda entre el 65% al 70% del total y que son utilizados por autos particulares, transporte público vehículos utilitarios o de carga.

Dadas estas cifras se considera importante la puesta en marcha de programas tendientes a la reducción del consumo de combustibles en las ciudades, debiéndose considerar en estos programas lo siguiente:

- el establecimiento permanente de sus acciones
- la definición de un mínimo o meta a alcanzar en la reducción de carburantes.
- las políticas aquí definidas deberán ser extensivas a todos los modos de transporte urbano, que tengan un efecto directo o indirecto en el consumo de combustibles.
- la identificación clara de las acciones y compromisos para reducir el consumo global del parque vehicular.

Para lograr el éxito en este tipo de programas, los diagnósticos de energéticos suelen dar la pauta para definir las políticas a seguir, debiéndose considerar en éstos al menos lo siguiente:

- el análisis del parque vehicular y sus condiciones de explotación (composición del parque vehicular, su organización, los tipos de servicio que se ofrecen, los recorridos o rutas, el tipo de mantenimiento que se hace a la flota, etc.).

- un balance del consumo energético global, por actividad, así como la definición de acciones ya implementadas para conocer mejor los consumos de combustibles (métodos de seguimiento en el consumo, capacitación del personal, equipamientos en los vehículos, etc.).

- la selección de las acciones, que por su carácter prioritario deban figurar en el programa global.

Ahora bien, por otra parte, los consumos de combustible representan alrededor del 25% de los costos de explotación de un parque vehicular en cualquier empresa transportista (ya sea de carga o pasaje). Esto significa que un ahorro en este rubro, permite entonces reducir sensiblemente los gastos de explotación del parque vehicular, hasta en un 10% de economía en el combustible, que equivale aproximadamente a un 5% de los gastos de explotación de la flota, además de que un ahorro así repercute también en los presupuestos para el funcionamiento en general.

La premisa principal es que esto se puede lograr de una manera real sin reducir o afectar la calidad del servicio ofrecido.

Esto se logra de manera general aplicando tres tipos de medidas básicas:

a).- Acciones dentro de las mismas empresas y sobre el parque vehicular existente.

- mejorar el mantenimiento de las unidades
- la puesta en operación de un sistema de medidas y gestión de los consumos.
- la adaptación en los vehículos de equipos que ahorre combustibles.
- la capacitación del personal
- la instalación de equipos que ayuden a una conducción económica.

b).- La organización de los sistemas de transporte

- Optimización en la utilización de los vehículos

c).- La utilización de nuevos equipos y vehículos mas eficientes.

La eficacia de un plan de acciones para el control de la energía, supone la existencia de una estructura capaz de asegurar la ejecución y el control de resultados efectivos, llegando a ser necesaria la designación de un organismo responsable de llevar a cabo la política energética general.

Cada una de estas acciones antes mencionadas tendrá una repercusión en el total de los consumos de combustibles y que puede variar según se especifica a continuación:

- En capacitación al personal

Es necesaria la sensibilización del personal administrativo, de los mecánicos y de los conductores sobre los nuevos métodos que implican tomar en cuenta los factores energéticos en su práctica cotidiana y prever la organización de cursos y prácticas de capacitación y perfeccionamiento de sus hábitos, se obtienen economías del orden del 5 al 15%.

- Poner en operación sistemas de medición y de gestión de los consumos diarios.

Las medidas directas de los consumos sobre los vehículos (contadores de consumo, odómetros, tacógrafos, etc.) y la distribución automática del combustible (sistemas de inyección), permiten conocer con precisión los consumos efectivos. Como se trata muchos datos existen en el mercado programas Informáticos para su gestión. Los ahorros van de un 2 a un 4%.

- Mejoras en el mantenimiento de los vehículos

Asegurar un mantenimiento regular y un control preventivo de ciertas partes y dispositivos de las unidades es uno de los puntos más importantes para la obtención de un buen rendimiento en los combustibles y la disminución de los tiempos que pasan inmovilizados en el taller. Ahorros del 1 al 2% se obtienen.

- La optimización en la utilización de las unidades

Buscar las mejores condiciones de utilización de los vehículos, se refleja en la reducción de los costos de explotación y básicamente en los consumos de combustible, ya sea mejorando la organización de los recorridos con la ayuda de computadoras personales.

- La adaptación en los vehículos de equipos ahorradores

Estos dispositivos ayudan a mejorar la operación de ciertas partes de los vehículos como son el motor, la transmisión los neumáticos, etc.,

- La instalación de equipos que ayudan a la conducción técnica

Permiten al conductor adaptarse a la conducción técnica establecida, como son la velocidad, el régimen del motor, consumo del combustible, etc.

Comparaciones energéticas.

Siempre que se hacen comparaciones se tiene que caer tarde o temprano en el punto relativo a las cifras o unidades utilizadas para hacer la comparación, o método de medición, esto se convierte en un punto delicado ya que es posible a través de ciertos artificios hacer ver grandes diferencias en los datos. Por ejemplo, en el caso particular que nos interesa sobre el consumo de combustible y el ahorro energético, si decimos que la diferencia en el consumo entre dos medios de transporte es de entre un 10 a un 20 %, esto es poco significativo, si por el contrario se dice que la relación en el consumo de combustibles es de 3 a 5 entre un automóvil y el transporte colectivo, esto ya suena más impactante y debe tomarse en cuenta.

Nos encontramos entonces que uno de los métodos más utilizados para la comparación entre modos de transporte es el que relaciona el consumo de energía con los pasajeros/kilómetro transportados y con un determinado coeficiente de ocupación promedio. Este indicador parece ser de los más confiables y su evolución depende básicamente de los diversos medios de transporte existentes, ya sean colectivos o individuales, considerando siempre la evaluación de los parámetros tales como el coeficiente de ocupación la distancia de recorrido en relación con la distancia útil, los efectos inducidos, las mejoras tecnológicas, etc.

Aumentar el parque vehicular de los transportes colectivos parece ser un buen plan para el ahorro de energéticos, esto se puede lograr a través de diversas formas, solo dos de ellas serán analizadas en el presente trabajo por ser las más interesantes de explotar de una manera simultánea y son:

1).- limitar la atraktividad del automóvil en las ciudades, por ejemplo con la implantación de un apolítica de estacionamientos en los centros de las ciudades, que permita compartir mejor las características geométricas de las calles y que favoricen los modos de transporte más económicos, o bien limitar la construcción de nuevas infraestructuras viales, etc.

2).- Aumentar la atraktividad de los transportes colectivos urbanos, mejorando su regularidad, velocidad comercial, frecuencia de paso y la creación de redes coherentes.

La experiencia en otros países ha demostrado que solo la puesta en marcha de una organización global de los sistemas de transporte que integre estos dos tipos de medidas permitirá llegar al éxito de la política implantada.

El desarrollo de los transportes colectivos urbanos rebasa el solo aspecto del ahorro energético, ya que podemos decir que existen otros argumentos que juegan un papel importante en favor de este desarrollo y que tienen un nexo indirecto con la energía, como son:

a).- La contaminación, que depende de la cantidad de energía consumida y del tipo de energía utilizada. Así por ejemplo en el caso de los transportes colectivos con motor térmico (combustión interna), contaminan menos por pasajero / kilómetro transportado que los automóviles particulares. En el caso de los sistemas de tracción eléctrica, estos no producen contaminación atmosférica al medio urbano, aunque si generan otro tipo de contaminación en forma de calor y ruidos, pero que son relativamente menores que los producidos por los automotores de combustión interna.

b).- El consumo del espacio, es claramente inferior en los transportes colectivos (cuando circulan o aun estacionados), este es un factor que tiende a disminuir la saturación de las vías de circulación (ya que se sabe que los congestionamientos son causa de un sobre consumo de energía).

c).- La seguridad, los transportes colectivos disminuyen la energía cinética que lleva cada pasajero transportado (más aún en los casos de transportes en vías reservadas), donde el principio es las colisiones son directamente ligadas a la energía cinética que se genera y a la forma como se disipa esta energía cinética.

Los Sistemas

En el cuadro 1 se observa una relación con los diversos modos de transporte colectivo urbanos. Cada uno presenta particularidades propias que los conducen a ser utilizados por ciertos usuarios, más que otros:

	Autobús estándar
Sistemas de combustión interna	Autobús articulado
	Microbús
	tranvía
Ferrovianos	Metro
	tren ligero
	tren a gran capacidad
Sistemas eléctricos	trolebús
No ferroviarios	ruedas neumáticas (Val, Aramis, Poma 2000)
	sistemas hectométricos (teleférico)
	sistemas de colchón de aire (OTIS)
	sistemas de sustentación magnética

Cuadro 1.

En cuanto a sus capacidades podemos mencionar las siguientes (ver cuadro 2)

	10,000	20,000	30,000	40,000 Pasajeros
METRO	██████████	██████████	██████████	██████████
TRANVÍA	██████████	██████████		
BIMODO	██████████			
AUTOBÚS	██████████			
VAL	██████████	██████████	██████████	
ARAMIS	██████████	██████████		
POMA 2000	██████████			
POMA 2000	██████████	██████████	██████████	██████████
SX	██████████			
DELTA	██████████			
TRAX	██████████			

Cuadro 2.

Los flujos del cuadro 2 representan las capacidades máximas de cada uno de los modos de transporte señalados, calculados en función de 6 pasajeros parados por metro cuadrado, sin embargo cada medio variará su capacidad en función de las características técnicas y de las condiciones económicas.

Sistemas que utilizan la combustión interna

Son los medios de transporte más generalizados en las ciudades, por su flexibilidad y su fácil inserción a la estructura urbana, por lo que no es extraño encontrarlos en todas las ciudades del mundo.

Del punto de vista del consumo energético, las mediciones por pasajero transportado no se han optimizado del todo, debido principalmente a que dependen de las condiciones generales de circulación sobre las cuales se desenvuelven los fenómenos de distribución no uniformes de la demanda (problemas en las horas valle y en coacciones el compromiso que tienen de no limitar su función atractiva), en fin su concepción tecnológica misma.

este sistema puede ser considerablemente mejorado sobre el plan energético, a través de diversas medidas que tienen que ver con la organización general del sistema de transporte, tales como:

- corredores o vías reservadas para los autobuses
- prioridad a los autobuses en las intersecciones
- servicios rápidos directos o semidirectos
- adaptación de acuerdo con la demanda: microbuses, o bien autobuses articulados de gran capacidad.

Por otra parte también algunos programas de innovación tecnológica como:

- cadenas de tracción más desarrolladas y optimización de las auxiliares
- la utilización de componentes nuevos tales como: transmisión hidráulica (que podría tener recuperación de la energía cinética por el frenaje)
- el aligeramiento de los vehículos desde su concepción original y la utilización de materiales nuevos).
- pasar a la utilización de los autobuses eléctricos.

Sistemas eléctricos

La utilización de los sistemas de transporte colectivo con tracción eléctrica revisten una importancia particular por razones de ahorro energético, (independencia petrolera y la posibilidad de recuperaciones de energía importantes) pero también por razones de confort, seguridad y protección al medio ambiente (reducción en la contaminación atmosférica y ruidos).

Entre las alternativas que existen para el ahorro de energía utilizando los transportes eléctricos tenemos:

- los minibuses eléctricos con baterías adaptadas para dar servicio en el centro de las ciudades.

- el trolebús

- el trolebús bi-modo, que es un medio de transporte utilizado en ciudades, que permite suprimir el cableado de alimentación de corriente en algunas zonas, donde se considera que su instalación es difícil o que no se adapta a las características arquitectónicas del lugar, (centros históricos y comerciales por ejemplo). Este vehículo tiene la característica de utilizar además del motor eléctrico, tener otro de combustión interna lo que le da esta característica de ser bi-modo, o bien en ocasiones todo el motor es eléctrico, pero puede funcionar de manera autónoma algunos kilómetros por medio de baterías.

- el tranvía, que en ciertas ciudades Europeas se ha propagado nuevamente su utilización, adaptándole las mejoras tecnológicas de la época actual.

- los sistemas en sitios reservados, entre los que se encuentran el metro y el tren ligero.

En términos de eficiencia energética el paso sucesivo en la utilización de cada uno de estos medios de transporte eléctrico, permite llegar a controlar y dominar más las infraestructuras viales para la reducción de los consumos energéticos, es claro que si se disminuyen las paradas y retardos que son los generadores de desperdicios en los consumos y se aumenta la atractividad a estos sistemas será posible inducir a los utilizadores de los autos particulares a preferir más los sistemas colectivos. Naturalmente los ahorros obtenidos se tendrán que comparar con los sobre costos financieros que implican la puesta en marcha de estos sistemas de transporte.

Conclusiones

El desarrollo de los transportes colectivos urbanos es uno de los grandes medios potenciales para el ahorro de combustibles. Sin embargo las soluciones más sofisticadas generalmente son las más costosas, de ahí que se tengan que implantar de una manera progresiva, lo que llevará a resultados generalmente de largo plazo.

Entre las medidas más importantes se tienen la creación de carriles especiales para los autobuses, que tienen un efecto a largo plazo y que permiten posteriormente realizar sistemas automáticos guiados, tales como líneas de tranvías, trolebuses, o de otros sistemas de tracción eléctrica.

Mejorando la forma de hacer atractivos los transportes colectivos y asociándolos con otros tipos de medidas, tales como:

- compartir mejor la vialidad con otros modos.
- la organización de los estacionamientos
- variaciones en los tiempos de entrada y salida de trabajadores

Se lograrán ahorros considerables en los consumos de energéticos, con las otras repercusiones favorables en el campo de la seguridad, el nivel de vida y el medio ambiente.

REFERENCIAS

Departamento del Distrito Federal, 1992, "Anuario de Transporte y Vialidad de la Ciudad de México. CGT.

Departamento del Distrito Federal, 1994, Datos Estadísticos de la Secretaría del Medio Ambiente".

Jachimiak, B., Soulas, C. 1983, "Transports collectifs Urbains et Maitrise de l'energie", Agence Française por la Maîtrise de l'Energie.

Transportation Research Board, 1983, "Proceedings of the Conference on Energy Contingency Planning in Urban Areas", Special Report 203, U.S.A.

APLICACIÓN DE CONVERTIDORES DE FRECUENCIA Y/O MOTORES DE ALTA EFICIENCIA EN VENTILADORES

Eficiencia Energética S.A. de C.V.

Ing. Alejandro Delmar S.

Resumen

En este artículo se describirán las curvas características de los ventiladores, algunas de las oportunidades de ahorro de energía que se pueden aplicar y las precauciones que hay que tomar cuando se seleccione un motor de alta eficiencia para estos equipos

Introducción

Los ventiladores eléctricos son una de las cargas más comunes en industrias, edificios y comercios, por lo tanto merecen una atención especial sobre su operación y las oportunidades de ahorro de energía que pudieran aplicarse en ellos.

Sistema de Ventilación

Primero tenemos que relacionar a los ventiladores con los elementos que lo acompañan, como son; motor, ductos conectados en la succión y en la descarga, compuertas, serpentines de enfriamiento o calefacción, humidificadores, difusores etc., a todo esto lo identificaremos como "el sistema de ventilación". El ventilador es el componente que en el sistema, proporciona la energía necesaria para que el aire pueda vencer la resistencia que presenta al flujo otros componentes.

Cada sistema presenta una resistencia al flujo de aire y su magnitud depende de los componentes individuales. Las caídas de presión a través de los componentes individuales puede obtenerse con cada uno de los fabricantes o manuales de ingeniería.

Curvas del Sistema

Para poder evaluar los ahorros de energía en un sistema de ventilación, es necesario entender primero la importancia de las curvas del sistema. Por ejemplo si un determinado flujo de aire q (m^3/s) que pasa a través de un sistema, tendrá su correspondiente "resistencia del sistema" o caída de presión P (P_s). Si el flujo de aire varía, la resistencia del sistema cambiará.

La relación que existe entre las pérdidas de presión, antes y después de tal cambio, son

gobernadas por la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(q_1)^2}{(q_2)^2}$$

Esta ecuación nos indica que la ecuación de la curva característica del sistema es parabólica y tiene de esta manera, la misma forma que la curva de operación de un ventilador.

En la Figura No.1 se muestran curvas características de tres sistemas A, B y C.

Supongamos que un sistema a sido diseñado para un 100% de flujo de aire y 100% de resistencia del sistema. Si el flujo se incrementa hasta un 120%, la resistencia aumentará hasta 144% de acuerdo con la ecuación anterior. De la misma forma una reducción en el flujo del 50% dará por resultado una reducción en la caída de presión del 25%.

El punto de intersección entre las curvas características del sistema y del ventilador determina el flujo real de aire o gas

Este punto de intersección es conocido como el "punto de diseño", en la figura No.1 se puede apreciar.

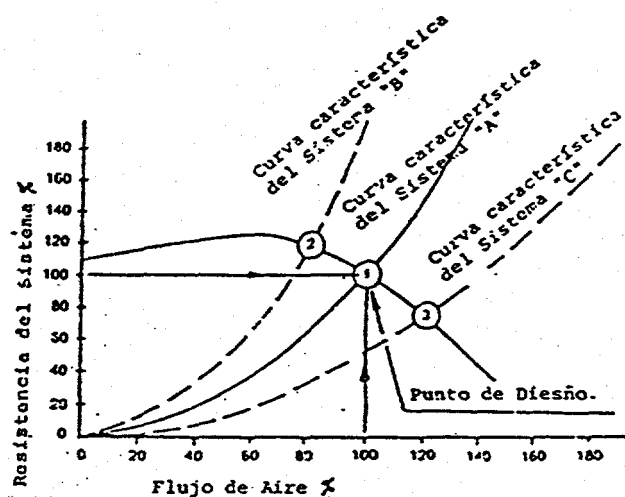


Figura No.1 Curvas Características del Ventilador y del Sistema

El flujo de aire a través del sistema puede variarse, alterando la resistencia del sistema, por medio de una compuerta, en la figura anterior, el flujo es alterado del 100% (punto 1 curva A) hasta el 80% debido al incremento de la resistencia y así desplazando la curva del sistema hasta la curva B. De aquí que el ventilador operará en el punto 2.

Si la velocidad angular del ventilador se modifica (p.ej. variando la velocidad de motor) mientras que los demás accesorios del sistema no son alterados, el punto de operación se

desplazará a lo largo de la curva característica del sistema y las siguientes formulas son aplicables.

Flujo de aire: $\frac{q_1}{q_2} = \frac{n_1}{n_2}$ o $q_2 = \frac{n_2}{n_1} \times q_1$

Caída de presión: $\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2}$ o $P_2 = \frac{(n_2)^2}{(n_1)^2} \times P_1$

Consumo de energía: $\frac{kW_1}{kW_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3}$ o $(kW_2)^3 = \frac{n_2}{n_1} \times kW_1$

Si incrementamos un 10% la velocidad angular, el flujo de aire se incrementará un 10%, la presión se incrementará un 21% y el consumo de potencia en 33% (ver figura No.2).

Ya que el punto de operación es desplazado a lo largo de la curva de estrangulamiento, un cambio en la velocidad angular no involucrará cambios significativos en la eficiencia del ventilador.

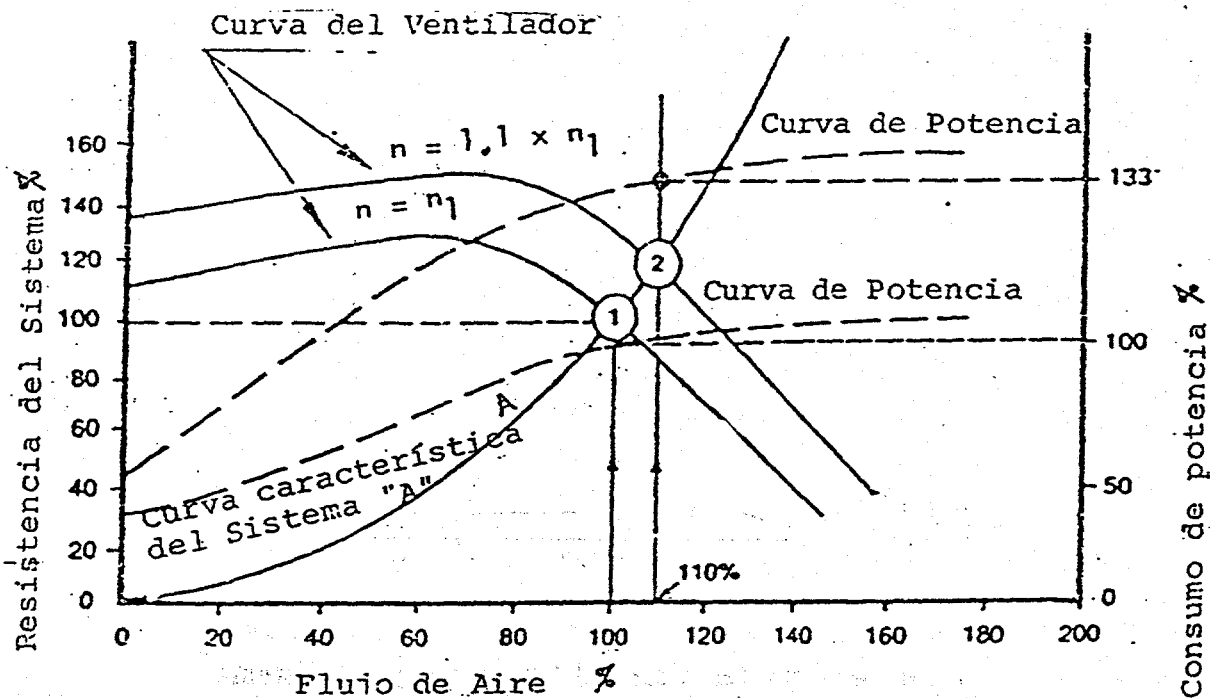


Figura No.2 Efecto del Incremento de Velocidad Angular del Ventilador en un 10%

Control de Ventiladores

El control del flujo de aire en una planta puede lograrse tanto modificando la curva del ventilador (sistema) o la curva de estrangulamiento.

La curva del ventilador puede ser modificada por medio de:

- 1.- Alternando la velocidad angular.
- 2.- Variando el ángulo de las venas directrices de una compuerta en la succión.
- 3.- Variando el ángulo de las aspas de un ventilador de flujo axial.

La curva de estrangulamiento se puede modificar por:

- 1.- Compuertas de regulación en el sistema.
- 2.- Recirculación de aire desde la descarga del ventilador hacia la succión de este.

En los casos donde el comportamiento del ventilador se varía, la demanda de potencia en la flecha puede expresarse como:

$$P_e = P_{eo} \frac{n_o}{n} \frac{(q)^3}{(q_o)^3}$$

n = eficiencia del ventilador

El subíndice "0" es el punto de intersección entre las curvas de estrangulamiento y la característica del ventilador (curva del sistema).

En el caso de controlar la velocidad del ventilador a lo largo de la parabólica curva de estrangulamiento, la eficiencia del ventilador permanecerá prácticamente constante y el control será ideal desde el punto de vista de la demanda de potencia del ventilador.

$$P_e = P_{eo} \frac{(q)^3}{(q_o)^3} \text{ [kW]}$$

1. Control por medio de las compuertas de regulación

Comentaremos brevemente el control variando el ángulo de inclinación de las aspas. El cambio en el flujo varía casi linealmente con la inclinación de las aspas. En la figura No.3 se muestran las curvas características de un ventilador de este tipo. Las curvas presión- flujo y potencia - flujo para un ventilador, también se muestra la curva característica del circuito de aire.

Se fija la velocidad a 1,450 rpm se estudiará la acción de la compuerta de regulación en tres supuestos:

- Cuando se emplea el 100% del flujo (punto A)
El circuito produce una pérdida de carga de 360 mm C.A. (punto B), como el ventilador proporciona 410 mm C.A. la compuerta se posiciona para producir 50 mm C.A. de pérdida de carga. **La potencia absorbida es 142**
- Cuando se emplea el 75% del flujo (punto D)
Presión del ventilador 450 mm C.A., pérdida de carga en el circuito: 200 mm C.A. (punto E). **Potencia absorbida 125 kW.**
- Cuando se necesita el 50% del flujo (punto G)
Presión del ventilador 460 mm C.A., pérdida de carga en el circuito 90 mm C.A. (punto

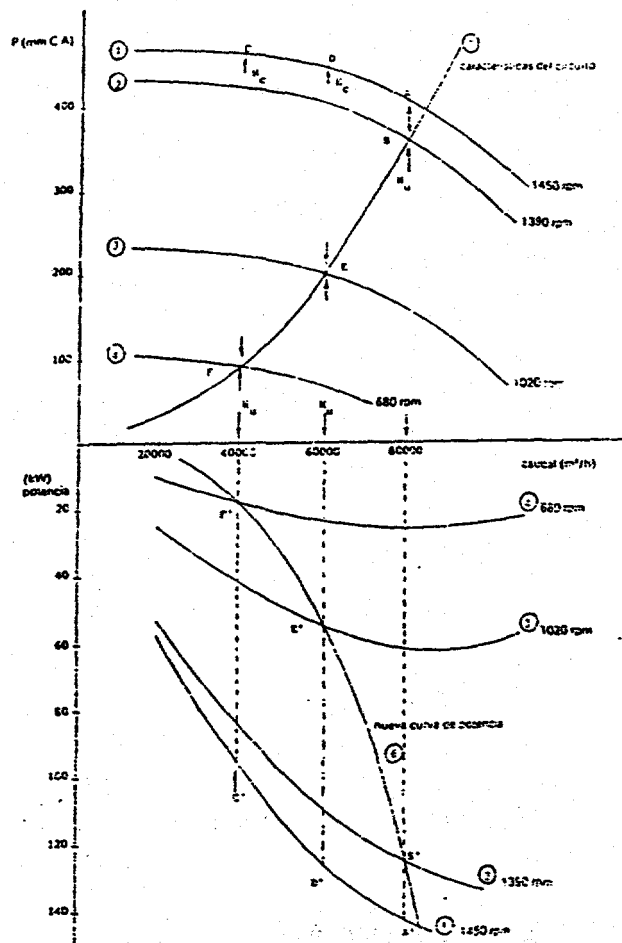


Figura No.3 Variación de las Características de un Ventilador con la Velocidad

2. Control por Medio de Motores de Dos Velocidades

Es una forma intermedia de ahorro de energía entre las compuertas y la utilización de motores de velocidad variable. En la Figura No.4 el ventilador puede variar su velocidad únicamente en

dos posiciones, velocidad A y velocidad D. Así siempre que se requiera un flujo comprendido entre los correspondientes a estas velocidades, la compuerta cerrará parcialmente y el ventilador funcionará a la velocidad A y consumirá la potencia correspondiente a esta velocidad y parte de esta potencia se desperdiciará en compensar la pérdida de carga creada por la compuerta parcialmente cerrada. Cuando el flujo necesario sea inferior al correspondiente a la velocidad D a compuerta abierta, el motor cambiará la velocidad y pasará a esta velocidad D, con lo que consumirá menos energía. Cuando se requiera menos flujo la compuerta cerrará parcialmente.

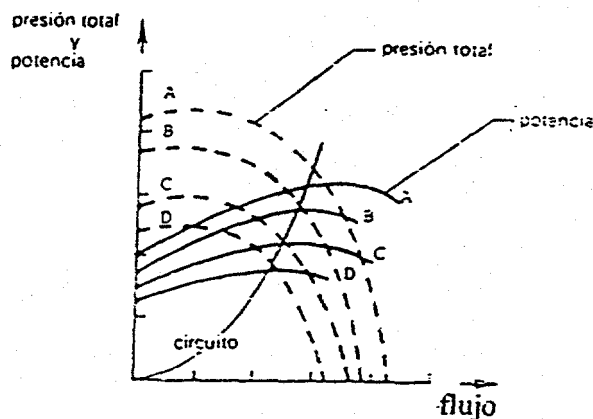


Figura No. 4 Curvas Características de un Ventilador en Función de la Velocidad (A-B-C-D)

3. Control por Medio de Convertidores de Frecuencia

Esta es la mejor forma para ahorrar energía en los ventiladores. Volviendo nuevamente a la Figura No. 3 supongamos que el motor puede ajustarse a cualquier velocidad requerida.

Entonces estará consumiendo en cada punto de funcionamiento la potencia correspondiente al flujo preciso sin perder parte de ella en compensar la pérdida de carga creada por la compuerta. En este caso se trata del ventilador de una caldera y el circuito aire - gas de la caldera responde de acuerdo a la curva (5). para ellos se eligió un ventilador cuya curva (1) a 1450 rpm cubra en todo momento la curva (5).

Al 100% (80,000 m³/h) el punto de funcionamiento debería ser el B (ya que la ordenada B es la pérdida de carga del circuito). Sin embargo para poder regular se dispone de más presión, que se emplea en poder vencer la pérdida de carga de la compuerta de regulación. Por lo tanto el punto de funcionamiento es el A.

En estas condiciones se tiene. Punto A

Flujo	80,000 m ³ /h
Presión estática	410 mm C.A.
Potencia absorbida	142 kW

Regulando la velocidad, el funcionamiento será en el punto B.

Flujo	80,000 m ³ /h
Presión estática	360 mm C.A.
Potencia Absorbida	142 kW
Velocidad	1,390 rpm

Para una demanda de aire de 75% se tendrá:

	Sin regulación de velocidad	Con regulación de velocidad
Flujo	60,000 m ³ /h	60,000 m ³ /h
Presión estática	450 mm C.A.	200 mm C.A.
Potencia absorbida	125 kW	55 kW
Velocidad		1,020 rpm

Para una demanda del 50%

	Sin regulación de velocidad	Con regulación de velocidad
Flujo	40,000 m ³ /h	40,000 m ³ /h
Presión estática	460 mm C.A.	90 mm C.A.
Potencia absorbida	95 kW	18 kW
Velocidad		680 rpm

Por lo tanto si la demanda oscilara entre el 75 y el 50% los ahorros variarían entre 70 y 77 kW que sobre los anteriores sistemas de control suponen entre el 56 y el 81 %. En general el ahorro sería la porción comprendida entre las curvas 1 y 6.

Beneficios de los Convertidores de Frecuencia

- Disminución del consumo de energía
- Incremento en la precisión del proceso
- Mejora del factor de potencia
- Aumento de la vida de los equipos
- Incremento de la producción
- Proporcionan una respuesta rápida

En general casi todas las cargas que tengan regulación pueden ser evaluadas para aplicarles el convertidor de frecuencia.

Para que estos equipos sean rentables el equipo tendrá que operar gran parte del tiempo, por abajo de las condiciones de máxima carga.

Por lo tanto es necesario conocer el perfil de carga del sistema de ventilación determinando las variaciones de flujo (o carga), las variaciones en el consumo de energía y el tiempo en que estas ocurren.

No se tiene ahorro a plena carga.

Si el motor trabaja a plena carga será 4% menos eficiente con el convertidor de frecuencia. Un

motor que trabaja la mayoría del tiempo a plena carga será menos eficiente con el convertidor de frecuencia.

Compatibilidad entre el motor y el convertidor de frecuencia.

Para asegurarse de que el motor y el convertidor de frecuencia son compatibles, se le tiene que especificar al proveedor, el tipo y las variaciones de carga y el ciclo de trabajo.

4.0 Aplicación del Motor de Alta Eficiencia

Cuando el motor instalado se encuentre operando constantemente con un bajo porcentaje de carga ($<40\%$), o tenga varios reembobinados, o trabaje más de 4,000 horas al año, es recomendable sustituirlo por un motor de alta eficiencia.

En estos casos es muy importante identificar el deslizamiento del nuevo motor y evitar comprar un motor de alta eficiencia con un deslizamiento muy pequeño.

Para explicar mejor esto, repasemos una de las leyes que rigen la operación de un ventilador.

La Ley Cúbica

La ley cúbica se utiliza en muchas aplicaciones en las cuales, los ventiladores y bombas centrífugas son utilizados para mover aire, agua u otros fluidos. Su nombre proviene del hecho de que la potencia que se requiere para mover esas cargas se incrementa al cubo de su velocidad.

Por ejemplo doblar la velocidad de una de estas carga incrementa la demanda de potencia ocho veces (2^3). Reducir la velocidad un 20% resulta en una disminución del 50% de los requerimientos de potencia.

El rango en el que se pueden aplicar estas leyes es muy amplio y representa un poco más de la mitad de los consumos de energía.

En general la ley cúbica aplica solamente para cargas en las cuales se requiere incrementar el torque con la velocidad debido a la fricción del fluido.

Consideremos un ventilador moviendo aire a través de un ducto. El único trabajo del ventilador es vencer la fricción del ducto, la potencia necesaria para mover el aire en el ducto es directamente proporcional a la eficiencia del ventilador, el flujo y la presión. Asumiendo que:

La eficiencia del ventilador es prácticamente la misma a todas las velocidades, la potencia del ventilador será proporcional al flujo y a la presión, estas variables dependen de la velocidad del ventilador.

El flujo es proporcional a la velocidad (doble la velocidad, doble el flujo).

La presión es proporcional al cuadrado de la velocidad (doble la velocidad, cuádruple la presión), porque está se encuentra controlada por la fricción, la cual se incrementa al moverse el aire más rápido.

La ley cúbica puede demostrarse con las siguientes tres ecuaciones, que aplican al flujo de fluidos. Este ejemplo es para un ventilador pero aplica a cualquier otro fluido.

Como la potencia del ventilador es proporcional al cubo de la velocidad, la velocidad del fluido es proporcional a la velocidad del motor.

$$HP = \frac{QP}{(6354 N_v)N_m} \quad (1)$$

HP = Potencia del motor

Q = Flujo (pies³ / minuto)

P = Caída de presión (Pulgadas de agua)

N_v = Eficiencia del ventilador

N_m = Eficiencia del motor

$$Q = VA \quad (2)$$

V = Velocidad promedio del fluido (pies / segundo)

A = Area de la sección transversal del ducto (pies²)

$$P = fLV^2 / 2Dg \quad (3)$$

f = Factor de fricción de Moody

L = Longitud del ducto (pies)

D = Diámetro equivalente del ducto (pies)

g = Constante gravitacional (32.2 pies/segundo²)

Ahora sustituyendo las ecuaciones 2 y 3 en 1 tenemos.

$$HP = [fLV^3/2Dg] [A/(6354 N_v)N_m] \quad (4)$$

$$HP ==> V^3$$

La ley cúbica aplica en ambos sentidos, pequeños cambios en la velocidad producen fuertes incrementos o decrementos en la potencia de entrada. Este hecho tiene que considerarse cuando se realice algún cambio de un motor estándar por uno de alta eficiencia, ya que estos motores tienen un deslizamiento bajo.

Ejemplo:

Un motor estándar con un deslizamiento de un 5 % para una carga dada gira a 1710 rpm y un motor de alta eficiencia trabajando a la misma carga gira a 1750 rpm con un deslizamiento del 3%. Esto incrementará la potencia de salida del dispositivo, pero incrementará también la energía consumida por el motor. En este caso se tiene que.

La velocidad de rotación del motor y el ventilador se incrementa un 2.3% (40 rpm/1710 rpm)

La razón de flujo se incrementa por un 2.3 %
La velocidad promedio se incrementa en 2.3 %
La potencia requerida por el ventilador se incrementa en 7.1 %

Deslizamiento

El deslizamiento es la diferencia en porciento entre la velocidad actual del motor y su velocidad de sincronismo (1,200 1,800 o 3,600 rpm).

El deslizamiento es necesario en los motores de inducción para poder desarrollar el torque. A mayor torque mayor deslizamiento.

Comparación del consumo de energía cuando se operan motores de la misma capacidad, pero con diferente deslizamiento.

Se tomaron motores estándar y de alta eficiencia.

4 polos 60 Hz, 1,800 rpm

A plena carga el deslizamiento varía de 2.5 % a 0.5 %

Todos los ventiladores tuvieron la misma carga

Resultados:

Con un deslizamiento del 2.5 %	demandará 94.6 hp	(Motor de ef. est. de 100 hp)
"	2.0 %	96.0 hp
"	1.5 %	97.2 hp (Motor de alta eficiencia de 100 hp, "lento")
"	1.4 %	97.4 hp (Motor de 100 hp AE promedio)
"	1.0 %	98.7 hp
"	0.5 %	100 hp (Motor de alta eficiencia de 100 hp, "rápido")

Un deslizamiento grande (velocidad de rotación menor) reduce el flujo y ahorra energía.

Un deslizamiento pequeño (Velocidad de rotación alta) incrementa el flujo, pero incrementa el consumo de energía.

El deslizamiento puede beneficiar o perjudicar la rentabilidad de la inversión, una mala selección puede incrementar el período de recuperación de 1.8 años a 12.6 años simplemente por escoger no considerar el deslizamiento del motor de alta eficiencia que se este comprando.

Conclusiones

Las principales oportunidades de ahorro de energía en el sistema de ventilación no están en lasustitución del motor estándar por otro motor de alta eficiencia de la misma capacidad, en caso de que se haga un reemplazo tendrá que ser por otro motor pero de menor tamaño (tamaño adecuado), y cuidando que las RPM de este nuevo motor sean iguales o muy parecidas a las del anterior.

La principal oportunidad de ahorro de energía es la aplicación del convertidor de frecuencia, para lo cual es necesario caracterizar adecuadamente el sistema.

"Llegará el tiempo que una gota de petróleo valdrá más que una gota de sangre".

REFERENCIAS

Mc. Coy G. Litman and J Douglass. "Energy Efficient Electric Motor Selection Handbook". Bonneville Power Administration. 1991.

R.J. Lawrie. "Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos". Editorial Oceano/Centrum.

A. Delmar, R. Torres. Metodología de Diagnósticos Energéticos. Ingeniería Energética. 1993.

Buitron Sanchez Horacio. "Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos". Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.

Gene Kempers. "DSM Pitfalls for Centrifugal Pumps and Fans", Energy Engineering. Vol 92, No.2 1995.

CARACTERIZACION DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

Eficiencia Energética S.A. de C.V.

Ing. Rubén Torres Gutiérrez

Resumen

En este artículo se describe la caracterización de los sistemas de bombeo y se explica la necesidad de evaluar en detalle la posibilidad de implementación de variadores de frecuencia, como una alternativa para el ahorro de energía, explicando como el simple uso de las leyes de semejanza o afinidad llevan a sobre-evaluar los ahorros.

CARACTERIZACIÓN Y PARTES BÁSICAS DE LOS SISTEMAS DE BOMBEO

La capacidad de una bomba, se expresa generalmente por la cantidad de líquido descargado por ella, medida en: unidades de flujo por unidad de tiempo. En las bombas centrífugas, el gasto es directamente proporcional a su velocidad de rotación.

Una instalación de bombeo se compone básicamente de:

- Tubería de succión
- Bomba
- Tubería de descarga

Para caracterizar correctamente un sistema de bombeo es necesario conocer cada una de los siguientes puntos:

- Carga total
- Carga estática de succión
- Carga estática de descarga
- Pérdidas de carga en la tubería incluyendo las de la succión y descarga por fricción.

Carga Total

La carga total, que es la que debe vencer la bomba, es la diferencia entre el estado final e inicial del líquido, y se le suele denominar también "altura diferencial". De esta manera, considerando H_t como la altura diferencial (ver Figura 1), entonces tendremos que:

$$H_t = H_d - H_s$$

Si consideramos las diferentes cargas que integran la carga total, mostradas en la Figura 1, tenemos que:

$$H_t = H_d + H_s$$

$$H_f = H_{fd} - H_{fs}$$

tendremos que:

$$H_t = H_d + H_s + (H_{fd} + H_{fs})$$

$$H_t = H_d + H_s + H_f$$

Donde:

- H_t : Carga total (m)
- H_d : Carga estática de descarga (m)
- H_s : Carga estática de succión (m)
- H_f : Pérdidas de carga por fricción en toda la tubería (m)
- H_{fd} : Pérdidas de carga por fricción en la descarga (m)
- H_{fs} : Pérdidas de carga por fricción en la succión (m)

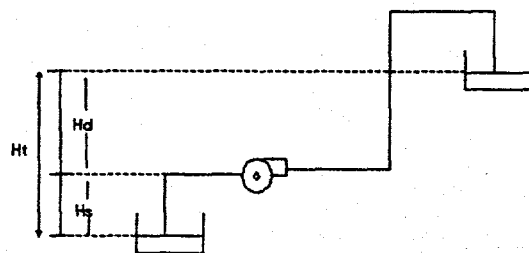


Figura 1. Carga Estática Total

Curvas Características del Comportamiento de una Bomba

Las características de comportamiento de una bomba, se presenta con curvas. Las curvas de una bomba centrífuga determinada, se encuentran generalmente disponibles por el fabricante, para facilitar la selección adecuada de la misma; adicionalmente, dicha información permite determinar las consecuencias de cualquier cambio que se desee hacer en el sistema. Una curva típica para seleccionar la bomba requerida, se muestra en la Figura 2.

Las curvas mostradas, ilustran los rangos de una sola bomba perteneciente a una familia de bombas; la misma bomba, puede tener además 2 juegos de curvas, si la

ilustrada en la Figura 2 anterior representa la operación a 1,800 RPM, se podría tener para la misma, otras curvas para una operación a 3,600 RPM.

Debido a que la mayor parte de las bombas utilizadas para sistemas tanto de bombeo de agua potable, plantas de tratamiento o alimentación de agua a equipos, son impulsadas por acoplamientos directos, las velocidades mencionadas son las más comunes y corresponden a las de los motores eléctricos utilizados para mover las bombas.

Existe únicamente una familia de curvas para cada bomba operada a una velocidad en particular. El grupo o "sub-familia" de curvas se produce por variación en tamaños de impulsores instalados en la misma medida de carcasa. Las diferentes curvas para varias medidas de impulsores, mostradas en la Figura 2 son usadas para impulsores de diámetros estándar, usualmente con incrementos entre 1/2 y una pulgada.

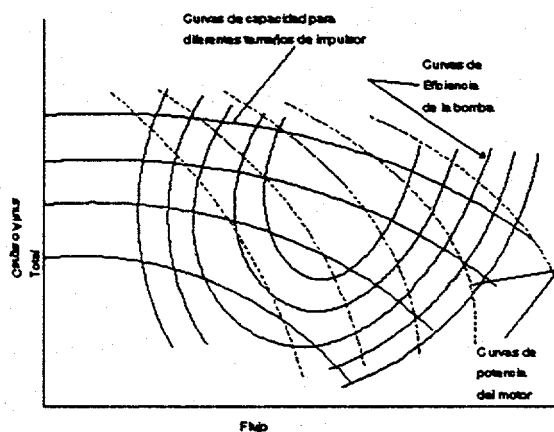


Figura 2. Curva Típica de Bombas

Debido a la posibilidad de que se produzca ruido y vibración por un impulsor seleccionado que esté cercano al diámetro interior de la carcasa, o cercano al diámetro de la flecha, es muy recomendable que el impulsor no sea mayor del 85% ni menor del 60% del diámetro máximo del mismo.

La selección de una bomba, basándose en tales curvas, se hace determinando el punto de intersección del gasto requerido y las pérdidas de carga calculadas en el sistema. La curva de carga representa la carga estática disponible para vencer las pérdidas en el sistema. El punto de intersección mencionado, cae en una o entre dos de las curvas de capacidad de carga, cada una de las cuales por lo general se identifican con una medida de impulsor. Se debe considerar que, una vez establecido el punto carga-capacidad, las otras características gráficas de la bomba seleccionada (tales como: eficiencia, potencia del motor, diámetro del impulsor y hasta el NPSH), también quedan determinadas.

Se debe tener en cuenta varias consideraciones, cuando se posiciona el punto

seleccionado:

- De ser posible, es mejor localizarlo ya sea sobre, o ligeramente a la izquierda del área de mayor eficiencia. En este caso, no es únicamente que la eficiencia será alta, sino que el NPSH será bajo.
- Una operación uniforme es también muy importante, por lo que la selección del diámetro del impulsor no debe ser el mínimo o el máximo preestablecidos. Cuando se selecciona un impulsor cuyo diámetro esté en la parte media, éste puede ser reemplazado de ser necesario en campo, con medidas de impulsores mayores o menores.
- La pendiente de la curva de la bomba, requiere serias consideraciones. Una curva demasiado plana, da como resultado que el flujo varíe drásticamente, cuando ocurran pequeños cambios en la carga total del sistema. Una curva con una pendiente pronunciada, mostrará un abatimiento del lado izquierdo, lo que producirá una operación inestable en caso de que opere la bomba en esta área (ver Figura 3).

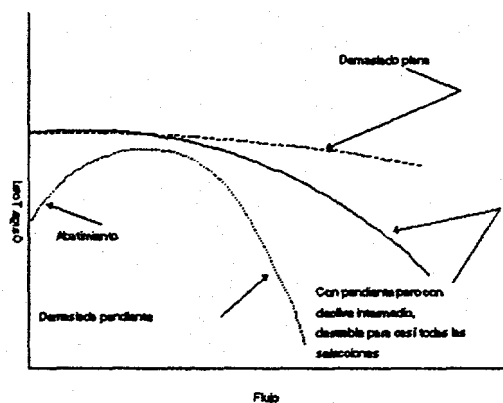


Figura 3. Curvas de Tipos de Bombas

Una vez que se ha seleccionado la bomba, se debe determinar el tamaño o capacidad del motor. Esto se realiza de tal modo que la bomba no lo sobrecargue, es decir que no sobrepase las condiciones de diseño.

Para determinar el efecto en cambios de carga en la operación de la bomba, lo único que se debe hacer, es seguir la curva del impulsor, ya sea a la izquierda o a la derecha del punto de selección o de diseño. A la izquierda, indica una disminución en el flujo con un incremento en la carga, hasta que se alcance el límite en que el flujo es cero y la carga es máxima. A la derecha, indica un incremento en el flujo con disminución de la carga. Moviéndose a la derecha a lo largo de la curva, se determina la potencia del motor. La primera curva de potencia que se encuentre, indicará el tamaño mínimo del motor requerido. Si además, la curva del impulsor no intersecta a la de potencia, el motor seleccionado nunca se sobrecargará, si existiera alguna intersección,

entonces la primera curva de potencia que no intersecte representa la selección de motor que nunca se sobrecargará, aun cuando un motor de menor potencia satisficaría los requerimientos necesarios para las condiciones de diseño, pero con la posibilidad de sobrecargarse si el punto de operación real se mueve hacia la derecha del de diseño y rebasa la intersección con la curva de potencia (ver Figura 2).

Leyes de Semejanza (o Afinidad)

En el caso de ventiladores y bombas, siguen una serie de "leyes" o relaciones matemáticas, que ayudan a predecir, las condiciones de operación. La definición de los términos a usar son:

- Q = Flujo o gasto del líquido, volumen/unidad de tiempo
- N = Velocidad de rotación de la bomba, rpm
- HP = Potencia al freno, requerida por la bomba, potencia; kW, BHP
- D = Diámetro del impulsor de la bomba, longitud
- H = Presión (kg/cm^2 , lb/pul^2), columna de fluido (metros, pies)

Debido a que las ecuaciones son proporciones, se puede utilizar cualesquiera unidades de medida siempre y cuando sean congruentes.

El número de ecuaciones es reducido, debido a la naturaleza de los líquidos a bombear, comparadas con el de bombeo de gases o del aire manejado por ventiladores.

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{N_2}{N_1} \qquad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2 \qquad \frac{hp_2}{hp_1} = \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^3$$

Estas fórmulas, pueden ser transpuestas en varias formas diferentes.

Potencia al Freno, Potencia Hidráulica y Eficiencia

Muchas curvas de bombas mostradas en los catálogos de los fabricantes, indican la potencia únicamente en términos de capacidad de los motores, como se muestra en la Figura 2. El propósito es establecer una selección rápida del motor requerido, para una aplicación específica.

Nótese que dicha potencia es la nominal de placa, que coincide con la potencia requerida para operar la bomba sólo cuando la curva carga-capacidad del impulsor y la curva de potencia del motor se intersectan y solamente en este punto, la entrega de potencia del motor y la potencia necesaria para mover la bomba se igualan, suponiendo que el acoplamiento no consume potencia alguna.

En los pocos casos donde se utilizan embragues y/o bandas para mover las bombas,

la potencia disponible del motor (o entregada) debe reducirse por las pérdidas ocasionadas por las bandas o embragues o bien, la potencia requerida por la bomba (la que demanda al motor) debe incrementarse por la misma causa.

Como la mayor parte de las bombas utilizadas en los sistemas son de acoplamiento directo, la siguiente discusión supone que no hay pérdidas de potencia por las causas antes mencionadas.

Para determinar la cantidad de potencia consumida por la bomba, se hace necesario añadir otra curva a la gráfica, para cada curva de impulsor. Los valores en esta curva son por la potencia al freno, requerida en el eje de la bomba, esta curva representa, la potencia consumida por la bomba debido a: pérdidas en baleros, turbulencia, fricción del agua y la recirculación entre los espacios internos de la misma bomba (entre el impulsor y carcasa), más la potencia consumida para mover el agua.

Esta relación puede expresarse de la siguiente manera:

$$BHP_{\text{entrada}} = WHP_{\text{salida}} + HP_{\text{pérdidas}}$$

donde:

BHP_(entrada) : Potencia al freno = Potencia suministrada al eje de la bomba por el motor, turbina o polea.
 WHP_(salida) : Potencia Hidráulica = La potencia realmente cedida al agua.
 HP_(pérdidas) : Potencia consumida, que no desarrolla trabajo útil.

Basada en estos términos, la eficiencia o rendimiento mecánico de la bomba, expresada en % es:

$$\text{Eficiencia de la bomba en \%} = \eta_{\text{bomba}} = \frac{WHP}{BHP} \times 100\%$$

Las ecuaciones que expresan potencia son:

$$WHP = \frac{SP Q H_t}{4,560 \text{ kgm/min} \cdot \text{hp}}$$

y

$$BHP = \frac{SP Q H_t}{(4,560 \text{ kgm/min} \cdot \text{hp})(\eta_{\text{expresado en decimales}})}$$

Donde:

SP : Peso específico en¹ kg/m³

Q : Gasto en m³/min

H_t : Carga total en metros

4,560 kg m/min = 1 hp

Como un margen de seguridad es común sobredimensionar los sistemas de bombeo con un mínimo de un 10% de los valores de diseño y de un 30% para el caso de ventiladores, con lo cual es necesarios, en algunas ocasiones, hacer uso de válvula de control para regular el flujo.

Aplicación de las Leyes de Semejanza (o Afinidad)

Debido a que la mayoría de las bombas centrífugas son de transmisión directa, por lo general sus velocidades son constantes, a menos que el motor se cambie de 1,800 a 3,600 rpm o viceversa o bien se utilice un variador de velocidad. Es más, las deficiencias en el gasto normalmente no son un problema, debido a que casi siempre existe la tendencia a sobredimensionar las tuberías con base en los cálculos del diseño, en cuyo caso, el exceso de agua puede ser restringido en forma manual cuando se balancee el sistema, o en forma automática mediante válvulas de control. En muchos casos, el exceso de agua, no va en detrimento de la operación del sistema, a menos que las altas velocidades produzcan ruido, pero esto si afecta el rendimiento energético.

Existen varias aplicaciones de estas leyes; algunas de ellas se ilustran más adelante, pero antes, es importante señalar los dos siguientes puntos, los cuales se deben tomar muy en cuenta:

1. Cuando se cambia una característica del sistema o de la bomba, es muy importante que los nuevos valores de otras características se revisen para asegurar que no se excedan las limitaciones del sistema y la bomba.
2. Cuando se cambia el tamaño del impulsor debe de recordarse siempre, que se crea una nueva curva de la bomba, por lo que es muy importante el uso de las leyes antes mencionadas para asegurarse que se usan los puntos de la nueva curva en los cálculos y no los valores originales.

Las tres fórmulas de la ley de afinidad standard, mostradas en el párrafo anterior son usadas comúnmente en las evaluaciones de sistemas de bombeo. La ley No.3 (tercer formula), se emplea para evaluar los ahorros por la disminución de la velocidad,

¹ El peso específico del agua es 1, siempre y cuando sea medida a 16.5°C de temperatura

actualmente con el uso de los variadores de velocidad. Estas fórmulas tienen la intención específica de identificar los cambios de un punto a otro, en un tiempo en la curva de velocidad plena, como un resultado de cambios en la velocidad. Un 50% de reducción de la velocidad mueve el punto a un 50% de flujo, a un 25% de cabeza y a un 12.5% del nivel de la potencia comparado a las condiciones de velocidad plena. Dibujando una nueva curva de la cabeza de este nuevo punto.

Usando la Ley de Afinidad No.3 para evaluar este sistema pueden estar bien sólo si la densidad del fluido no cambia; la eficiencia de la bomba o del ventilador permanecen constante, y las características del sistema resultan en la relación $H_2 = H_1 * (Q_2 / Q_1)^2$. La medición de la temperatura debe de permanecer constante para todo el rango del flujo y el sistema debe de tener sólo las pérdidas por fricción. **¡Ninguna cabeza estática puede estar presente en la característica del sistema!** Por eso los sistemas cuya aplicación tiene una elevación del fluido o una presión de vacío experimentará problemas al usar la ley de afinidad No.3. Muchas de las aplicaciones originales de los variadores de frecuencia fueron escogidos para aplicaciones con ventilador donde no se tiene cabeza estática. Estos sistemas dan buenos resultados en ahorro de energía porque las leyes de afinidad aplican correctamente. **¡No todos los sistemas son de este tipo!**

TIPOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE BOMBEO

Los sistemas típicos de bombeo pueden clasificarse en cuatro grupos básicos. Estas clasificaciones son Fricción Pura, Cabeza Estática Moderada, Cabeza Estática Alta y Cabeza Estática Compleja.

Fricción Pura

Los ventiladores que simplemente mueven aire de una localidad a otra o circulan aire por ductos sin dispositivos de control caen en esta categoría. Las bombas que se aplican a sistemas cerrados o que simplemente circulan agua, caen en esta categoría. Si el sistema está abierto a la atmósfera, el depósito de entrada y el de la salida deben estar nivelados a la misma altura para calificar en esta categoría (ver Figura 4).

Es común el uso de dispositivos de control de flujo en este tipo de sistemas, los cuales no requieren proporcionar una presión específica. La importancia de esta primera categoría es que si la temperatura del fluido permanece constante (y por ello la densidad), las fórmulas de la ley de la afinidad puede usarse con resultados satisfactorios.

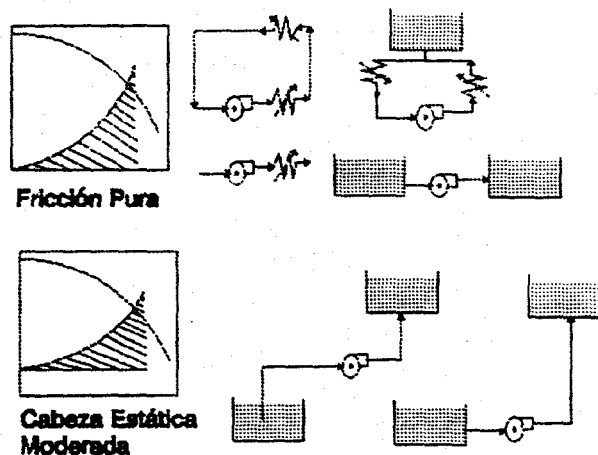


Figura 4. Ejemplos de Tipos de Sistemas de Bombeo

Cabeza Estática Moderada

Las bombas frecuentemente se emplean en sistemas que elevan flúidos desde un punto bajo, a otro más elevado. Esta diferencia de elevación es la Cabeza Estática, referida así a menudo en este artículo. El punto de diseño de la bomba debe de entregar una cabeza que permita vencer la cabeza estática, las pérdidas por fricción e incluso las pérdidas creadas por válvulas de control (ver Figura 4).

Cabeza Estática Alta

Si la cabeza estática es una contribución significativa a la cabeza total de la bomba o ventilador, el sistema llega a ser por ello, un candidato donde no aplican las leyes de afinidad. Sistemas que requiere un control de la presión por razones del proceso introduce este mismo efecto (ver Figura 5).

Cabeza Estática Compleja

Finalmente, hay algunas aplicaciones donde no sólo se presenta una cabeza estática importante, si no que también este desplazamiento varía con respecto al flujo en el sistema. Estos sistemas llegan a ser muy complejo para analizar, porque la contribución relativa de la cabeza estática a la cabeza total, requiere cambios en todo el rango del flujo (ver Figura 5).

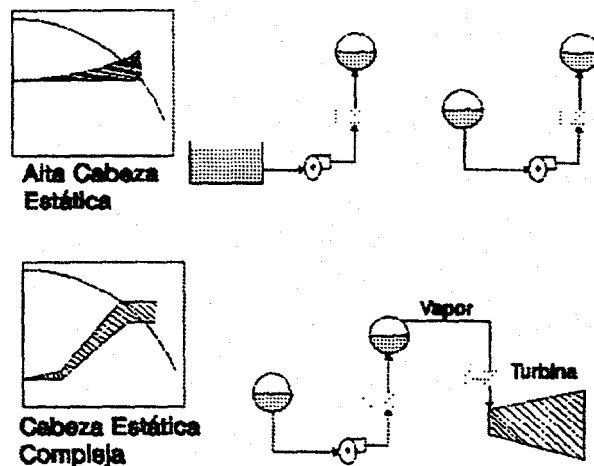


Figura 5. Ejemplo de Tipos de Sistemas de Bombeo

RAZON PARA CARACTERIZAR LOS SISTEMAS DE BOMBEO EN LAS EVALUACIONES DE AHORRO DE ENERGÍA

Usando sólo la ley de Afinidad No.3 para calcular ahorro de energía, sin considerar la curva de la bomba o del ventilador y/o sin considerar las características del sistema, resultarán en proyectar en una relación cubica la disminución de la energía al disminuir la velocidad. Como un ejemplo, una reducción de la velocidad del 50% dará un $0.5 * 0.5 * 0.5 = 0.125$ o 12.5% de la potencia a plena velocidad.

Esta simplista visión de la reducción de la velocidad no toma en cuenta las características del sistema, cambios en la densidad del fluido ni las características de la eficiencia de la bomba o del ventilador, considerándola igual en todo su rango. Éstos tres factores pueden ser significativos e ignorarlos pueden llevar a exagerar los ahorro de energía en 50% o más dependiendo de la influencia del factor relativo que cada uno tenga en la evaluación de los ahorro.

A continuación se ilustra la comparación entre la capacidad de operación de la bomba y las condiciones actuales de operación con respecto a las condiciones de diseño para un sistema cerrado.

Aplicación en un Sistema Cerrado sin Diferencia de Presiones entre los depósitos de succión y descarga (curva del sistema)

Este es un ejemplo en el que los cálculos para las condiciones de diseño dieron como resultado un gasto de 200 GPM, con una carga de 58 pies. La bomba fue seleccionada de tal modo que el punto de diseño queda contenido en la curva carga-capacidad. Sin embargo, bajo la operación real del sistema, el flujo medido fue de 270 GPM con una carga de 48 pies. Este punto, también se encuentra en la curva carga-capacidad ya que el impulsor no se cambió. Para facilitar el seguimiento de este ejemplo en la Figura

6 se han eliminado curvas de otros impulsores, las de eficiencia y las de potencia de motores. Sin embargo, las curvas de bombas suministradas en los catálogos de los fabricantes, pueden utilizarse para trazar las curvas del sistema.

Con referencia en la Figura 6 la curva del sistema basada en las condiciones de diseño, se determina con los siguientes cálculos:

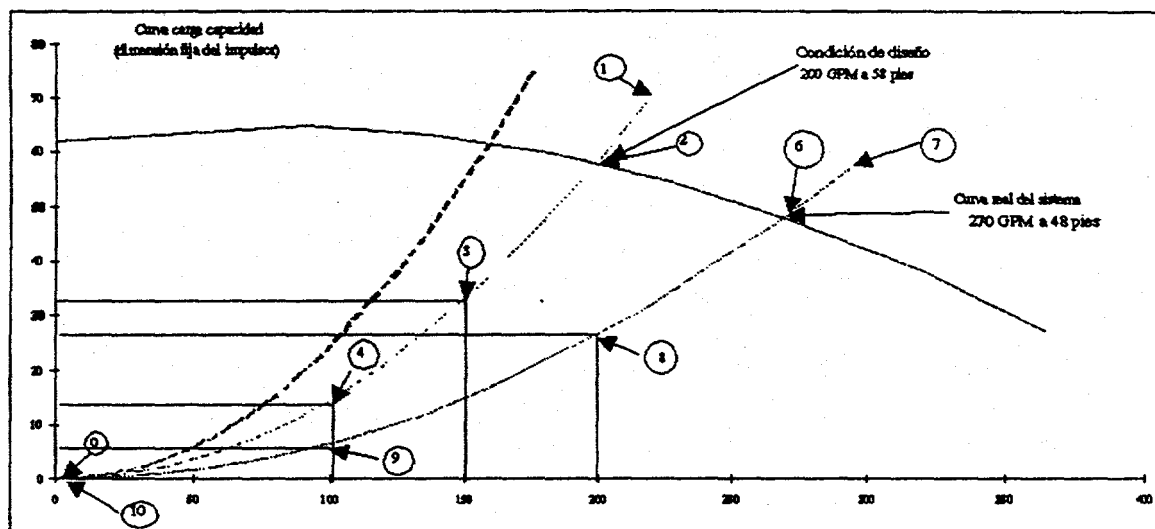


Figura 6. Curva de Bomba y Sistema -una sola Bomba- Sistema Cerrado

Punto (2) : Condición de diseño = 200 GPM y 58 pies

Punto (1) : Determinar la carga, suponiendo un flujo de 220 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 58 (220 \text{ GPM}/200 \text{ GPM})^2 = 58 (1.1)^2 = 70.1 \text{ pies}$$

Punto (3) : Seguir el mismo procedimiento del punto (1). Suponer un flujo de 150 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 58 (150 \text{ GPM}/200 \text{ GPM})^2 = 58 (0.75)^2 = 32.6 \text{ pies}$$

Punto (4) : Seguir el mismo procedimiento del punto (1). Suponer un flujo de 100 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 58 (100 \text{ GPM}/200 \text{ GPM})^2 = 58 (0.50)^2 = 14.5 \text{ pies}$$

Punto (5): Flujo = cero GPM en el límite.

Esta curva representa las condiciones del sistema en función de la carga, suponiendo que la intersección entre la curva carga-capacidad de la bomba y la del sistema ocurra bajo operación normal de la bomba.

Suponer que una válvula automática de control restrinja el flujo a 186 GPM, la carga del sistema corresponde a 50 pies; dado que el impulsor de la bomba no se ha cambiado, la operación de la misma cambia a lo largo de la curva carga-capacidad del impulsor para producir 186 GPM, pero la carga será de 60 pies. En este caso, se añadieron dos pies de carga a la condición de diseño original ($60 - 58 = 2$ pies). Sin embargo, el sistema presenta una resistencia de 50 pies a 186 GPM, por lo tanto, la pérdida de carga real producida por la válvula automática es de 10 pies ($60 - 50 = 10$ pies).

Debido a que el punto real de operación medido, es 270 GPM y 48 pies, existe otra curva real, diferente a la curva de diseño del sistema. La diferencia entre las condiciones reales de operación y las condiciones de diseño, dio como resultado que en los cálculos de diseño se sobreestimó la resistencia del sistema.

La curva real del sistema se desarrolla de la misma manera que la curva de diseño del sistema:

Punto (6) : Condición real = 270 GPM y 48 pies

Punto (7) : Determinar la carga, suponiendo un flujo de 300 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 48 (300 \text{ GPM}/270 \text{ GPM})^2 = 48 (1.11)^2 = 59.3 \text{ pies}$$

Punto (8) : Seguir el mismo procedimiento del punto (7). Suponer un flujo de 200 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 48 (200 \text{ GPM}/270 \text{ GPM})^2 = 48 (0.71)^2 = 26.3 \text{ pies}$$

Punto (9) : Seguir el mismo procedimiento del punto (7). Suponer un flujo de 100 GPM

$$H_2 = H_1 (Q_2/Q_1)^2 = 48 (100 \text{ GPM}/270 \text{ GPM})^2 = 48 (0.37)^2 = 6.6 \text{ pies}$$

Punto (10): Flujo = cero GPM en el límite = punto (5).

Esta nueva curva, representa la curva real del sistema.

En el caso de que fuera necesario manejar al flujo original de diseño de 200 GPM, se puede utilizar una válvula manual de estrangulamiento. El análisis de esta restricción, es similar al usado en el diseño de la curva del sistema. La operación de la bomba, se mueve hacia la izquierda a lo largo de la curva del impulsor carga-capacidad, hasta encontrar el punto de 200 GPM a 58 pies de carga o altura. La carga adicional

experimentada por la bomba, es de 10 pies ($58 - 48 = 10$ pies). Sin embargo, la carga requerida por ese flujo se mueve hacia la izquierda a lo largo de la curva real del sistema; es decir, para 200 GPM, la carga requerida por el sistema instalado es 26.3 pies (punto 8).

La caída producida por la válvula manual es de: $58 - 26.3 = 31.7$ pies. Si se hubiera calculado con más exactitud las pérdidas de carga, se habría tenido como resultado la instalación de un motor y bomba más pequeños, produciendo ahorros en los costos iniciales y también en los de operación que además, permanecen durante toda la vida del servicio.

Para mantener el flujo de diseño será necesario mantener la válvula de estrangulamiento permanentemente en la posición que modifique la curva real del sistema para igualarla a la de diseño.

Por otro lado, si la resistencia mínima del sistema, para el máximo flujo de 270 GPM, es 48 pies, no habrá forma de incrementar el flujo a menos que se cambie el diámetro del impulsor por uno mayor o se incremente la velocidad de la bomba.

Conclusiones

El uso de variadores de frecuencia en algunos sistemas de bombeo, y en ventiladores, representa una de las mejores oportunidades de ahorro de energía, sin embargo evaluar una aplicación de variadores de frecuencia haciendo uso exclusivo de las leyes de afinidad puede traer como consecuencia sobre-evaluar los ahorros hasta en un 50%.

Toda evaluación de variadores de frecuencia que sea con fines de ahorro de energía necesariamente requiere de una caracterización correcta del sistema de bombeo.

REFERENCIAS

Mc. Coy G. Litman and J Douglass. "Energy Efficient Electric Motor Selection Handbook". Bonneville Power Administration. 1991.

R.J. Lawrie. "Biblioteca Práctica de Motores Eléctricos". Editorial Oceano/Centrum.

A. Delmar, R. Torres. Metodología de Diagnósticos Energéticos. Ingeniería Energética. 1993.

Buitron Sanchez Horacio. "Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos". Fideicomiso de Apoyo al Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico.

Ralph T. Buscarello. "Soluciones Prácticas a Problemas de Vibración y Mantenimiento en Maquinarias". Update Internacional, Inc.

UTILIZACION DE TECNICAS COMPUTACIONALES PARA PROMOCIONAR Y DIFUNDIR EL AHORRO DE ENERGIA

Nicolás Kemper Valverde ^(1,2)

(1) Asesor de la Coordinación de Promoción Regional y Financiamiento
Comisión Nacional Para el Ahorro de Energía - CONAE
Francisco Márquez 160 - PB, C.P. 06140, Col. Condesa, México D.F.
Telf.: 553 - 900, 553 - 9160, Fax: 553 - 9020

(2) Laboratorio de Inteligencia Artificial, Instituto de Ingeniería, UNAM
Apartado Postal 70-470, C.P. 04510, Coyoacan, México D.F.
Telf.: 622 - 8092, Fax: 622 - 8091
Email: nkv@pumas.iingen.unam.mx

RESUMEN

En este trabajo se presentan los desarrollos obtenidos por la aplicación de las nuevas tecnologías de computación a las tareas de difusión y promoción del uso eficiente y ahorro de energía. Se describen los aspectos más relevantes de tres cursos multimedia que fueron diseñados con el objeto de incrementar las posibilidades de brindar capacitación individualizada en técnicas energéticas eficientes, así como de contar con herramientas de consulta totalmente abiertas e interactivas. Los cursos que se describen son: "Diseño de Programas de Ahorro de Energía en la Industria", "Ahorro de Energía en Equipos de Combustión" y "Tecnologías de Cogeneración de Energía". Por otro lado, también se hace un análisis de las posibilidades para el desarrollo y aplicación de sistemas expertos que asesoren y apoyen el trabajo de técnicos e ingenieros dedicados al ahorro de energía. Se describen las características principales de un sistema experto diseñado para brindar apoyo en análisis energéticos de sistemas de iluminación industrial, centros comerciales, edificios y hoteles.

1. INTRODUCCION

Estos tiempos se caracterizan por una marcada competencia comercial y por la globalización de la economía, así como por una mayor preocupación para mejorar las relaciones entre usos de energía y su impacto en los costos de producción y calidad del medio ambiente.

Frente a este panorama, la búsqueda de mejoras tecnológicas se hace una necesidad inmediata. Es por ello que en años recientes el estudio de la aplicación de técnicas automatizadas inteligentes para la solución de problemas tanto a nivel de gestión pública como a nivel de la industria y los negocios ha adquirido una gran importancia.

De igual modo, la globalización de la información ha originado un nuevo problema, que es el de la inundación de información. Dentro de ello, todo lo relacionado con el ahorro de energía se encuentra sumergido en mares de información, de los que es muy problemático o casi imposible seleccionar lo que realmente redunde en una ventaja competitiva o de utilización práctica e inmediata, por lo cual la necesidad de ayudas automatizadas para analizar en forma racional e inteligente la información se vuelve relevante.

En lo que se refiere a lograr una eficiente promoción de las políticas y técnicas de ahorro y uso eficiente de energía, la base importante para el logro de estos objetivos es la capacitación inmediata y masiva del personal involucrado.

Precisamente una de las alternativas de relativo bajo costo para lograr una mayor difusión de los temas referentes a esta área, es el desarrollo y distribución masiva de cursos computarizados, que permitan la capacitación individualizada, sin requerir la presencia de instructores humanos, o la asistencia a cursos acelerados cuyos resultados son generalmente poco satisfactorios.

Por otro lado, la aceleración del cumplimiento de objetivos y metas sobre implementación y seguimiento de medidas de ahorro, puede ser incrementada utilizando sistemas de apoyo totalmente automatizados, como son los sistemas expertos, los cuales se diseñan para procesar mucha información y obtener recomendaciones sobre las mejores medidas de ahorro que se deben implementar en una empresa, facilitando a los técnicos mayor tiempo para recolectar información y ampliar el número de empresas atendidas.

Es así que La Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE), encargó al Laboratorio de Inteligencia Artificial del Instituto de Ingeniería de la UNAM, como una etapa inicial, el diseño y desarrollo de tres cursos multimedia y un sistema experto aplicado a iluminación de industrias, centros comerciales y hoteles, patrocinado por la Comunidad de la Unión Europea.

2. TECNICAS DE INTELIGENCIA ARTIFICIAL

La Inteligencia Artificial (IA), es la ciencia que se encarga del estudio del comportamiento inteligente con el propósito de emularlo o simularlo a través de una computadora. Puesto que la inteligencia humana es duplicada en un sistema externo, la inteligencia que tal sistema externo emplea, se le conoce como inteligencia artificial. Los desarrollos a través de la inteligencia artificial, son capaces de manejar mucha información y conocimiento en la solución de problemas.

Ahora, las organizaciones de todo tipo buscan soluciones inteligentes que sean capaces de descubrir nueva información que pueda convertirse en conocimiento para ellos, conocimiento que puedan explotar para ofrecer mejores servicios y productos, para distinguirse de la competencia a la que se ven sometidos. Por ejemplo, mejores sistemas financieros, de producción, de planeación, de pronóstico, de diagnóstico, de control, de búsqueda de soluciones, etc, más automatizados y que sean capaces de tomar decisiones por ellos mismos, a tiempo y de forma inteligente. Es aquí donde el uso de técnicas de representación y manipulación inteligente de la información, del conocimiento y de la experiencia se hacen cruciales y necesarias.

En este escenario económico e informático ampliamente competitivo, la INTELIGENCIA ARTIFICIAL (IA) destaca por contar con las técnicas más apropiadas para lograr el desarrollo y aplicación de todo tipo de sistemas con cualidades inteligentes, denominados sistemas inteligentes.

El término "sistema inteligente" lo definimos como un programa de computadora que se desarrolla integrando alguna de las técnicas de la Inteligencia artificial para solucionar un problema específico dentro de un área operativa de la organización. Las técnicas de la IA pueden ser: sistemas expertos, redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, razonamiento basado en casos, razonamiento basado en modelos, robótica, multimedia y realidad virtual. Los tipos de problemas que podría resolver un sistema inteligente son: diagnóstico, diseño, control, configuración, secuenciación, optimización, interpretación, pronóstico, planeación, programación, simulación, capacitación, entrenamiento, o la integración de éstos.

3. SISTEMAS EXPERTOS

Es la técnica que ha sido y es utilizada con mayor amplitud, especialmente en los países desarrollados. Un sistema Experto (SE), es un programa de computadora que simula el proceso de razonamiento de un experto humano para resolver problemas complejos en un dominio específico mediante el uso de conocimiento. Este conocimiento puede ser heurístico o técnico y es adquirido de un experto humano.

¿Porqué utilizar sistemas expertos?

Básicamente el empleo de sistemas expertos permite mejorar la productividad, con la consecuente reducción de costos e incremento de ingresos. Otros beneficios son:

- Permiten retener en una computadora la experiencia de personal especializado.
- Proporcionan experiencia cuando esta es escasa, o cuando es costosa.
- Proporcionan experiencia cuando los expertos no están disponibles, o no pueden estar en todos los lugares requeridos.
- Permiten integrar la experiencia de varios expertos.
- Permiten hacer más rápido el análisis de un problema, encontrando soluciones satisfactorias.
- Es posible mejorar el desempeño del personal menos especializado.
- Permitir el entrenamiento del personal sin experiencia.
- Asegurar que la experiencia se aplique uniforme, objetiva y concientemente.
- Disminuir errores debido al cansancio o estados emocionales.
- Operación de procesos en ambientes peligrosos.
- Transferir conocimiento a zonas remotas.

Estructura de un sistema experto

Los componentes de un sistema experto son:

-Base de conocimiento: que es donde se almacena el conocimiento necesario para comprender, formular y resolver un problema. Incluye todos los hechos acerca del problema y todas las heurísticas o experiencia de los expertos humanos. El conocimiento experto se representa como reglas de decisión.

-Motor de inferencia: se le considera el "cerebro" del sistema experto. Este componente proporciona al sistema experto, una metodología para razonar y formular conclusiones.

-Interfase de usuario: Permite la comunicación entre el sistema experto y el usuario empleando lenguaje natural. Está constituido por todas las pantallas de comunicación usuario-sistema experto para el intercambio de información. El usuario da al sistema experto datos e información, y éste brinda recomendaciones y una serie de respuestas.

-Interfase explicativa: Es la capacidad del sistema experto de poder explicar al usuario el proceso de solución y comportamiento del sistema experto. Responde a preguntas ¿Cómo? y ¿Porqué?

-Interfase externa: constituye la posibilidad del sistema experto de poder comunicarse con otros programas o bases de datos, con el propósito de recuperar información adicional que se necesite en la solución del problema.

3.1. SISTEMA EXPERTO EN ILUMINACION INDUSTRIAL

El sistema experto desarrollado tiene una arquitectura modular y cubre los aspectos fundamentales y críticos de la evaluación energética de sistemas de iluminación, tanto en la industria, como en centros comerciales y hoteles. El acceso al sistema experto es totalmente libre, disponible en cualquier momento, y sin límites de tiempo de uso.

El sistema fué desarrollado pensando en un usuario final que posiblemente no tenga un vasto conocimiento acerca de cuestiones de iluminación de computación, pero si en metodologías de ahorro de energía, por lo cual se ha procurado manejar un lenguaje casi coloquial dentro de un

entorno amigable que proporcione al usuario ayuda, ya sea en términos de manejo del paquete o de cálculos básicos de iluminación incluidos en el mismo.

Al correr el sistema, la información requerida por el mismo, será utilizada para establecer, en primer término, las condiciones físicas del lugar y los requerimientos mínimos que en cuestión de iluminación recomiendan los manuales especializados o los reglamentos de construcción. Posteriormente, se solicita al usuario la información básica referente al equipo de iluminación empleado (lámparas, balastos, reflectores), para determinar el nivel de iluminación en la zona en estudio.

Una vez que el sistema ha realizado la evaluación, comparará la información obtenida de la misma contra la contenida en las bases de datos, a partir de donde, el sistema estará en condiciones de presentar los resultados finales del análisis y una serie de recomendaciones para mejorar la eficiencia de la instalación y disminuir el consumo de energía en la misma.

Las recomendaciones no se presentan tan solo de manera cualitativa sino que también están respaldadas por resultados obtenidos y mostrados al usuario como resultado de la sustitución de equipos (lámparas, luminarias y balastos).

Estructura del sistema experto

-Módulo 1: Evaluación de la iluminación actual: En base a las características y condiciones actuales de operación, se establecen los niveles de iluminación recomendados que deben corresponder a cada recinto y por tipo de actividad, así también, calcula los niveles de iluminación actuales. De igual modo, realiza una evaluación de los aspectos cromáticos de los ambientes (paredes, techos y pisos) y su incidencia en los niveles de iluminación. Se emplea el método del lumen para calcular la iluminación general y el método de los puntos para la iluminación localizada.

-Módulo 2: Evaluación de las instalaciones de iluminación: Este módulo analiza y evalúa las condiciones de lámparas, luminarios y balastos que se emplean actualmente, en la perspectiva de identificar posibles modificaciones y reemplazamientos de estas instalaciones.

-Módulo 3: Evaluación del uso de la iluminación: Este componente permite analizar los periodos de utilización de la luz artificial y como se podría integrar con la luz natural. El sistema plantea el empleo de diversos dispositivos para racionalizar el uso de la iluminación artificial, tratando en lo posible de agotar el aprovechamiento de luz natural

-Módulo 4: Evaluación del mantenimiento: Aquí, el sistema evalúa los actuales programas de limpieza y reemplazamiento de lámparas y luminarias, con las respectivas recomendaciones más apropiadas que permitan mantener los niveles de iluminación.

-Módulo 5: Evaluación económica de mejoras: Por medio de este módulo, el sistema realiza la evaluación económica de las propuestas de ahorro. Para ello emplea el método del periodo de recuperación y del valor presente neto.

4. APLICACIONES DE LA MULTIMEDIA

La incorporación de metodologías de enseñanza auxiliada por computadora incrementa la eficiencia en la transmisión y adquisición del conocimiento, permitiendo la manipulación de grandes volúmenes de información, la homogeneización del conocimiento en los educandos, la disponibilidad, masificación y la permanente actualización del mismo.

Por estas razones, actualmente los cursos por computadora constituyen una excelente alternativa para la consulta y capacitación técnica de estudiantes, técnicos, ingenieros, u otros usuarios que

requieren en muchos casos de cierta información especializada en un área de su interés, ya que les permite la búsqueda y obtención rápida de esta información, la cual ha sido debidamente organizada, clasificada y estructurada para cumplir tales fines.

La multimedia (conocida también como multimedios) es una de las tecnologías de cómputo, que a diferencia de otras tecnologías de interfase, ofrece la posibilidad de integrar diferentes tipos de transferencia de información en una sola aplicación para computadora, como son: texto, gráficas, imágenes fijas, audio, imagen en movimiento y animaciones, de los cuales, la imagen fija, en movimiento y el audio son los principales mecanismos de comunicación natural del hombre.

Las aplicaciones de la multimedia por sus características se clasifican en:

-Historias electrónicas: aplicaciones que tienen los niveles de interactividad más bajos. El objetivo principal de este tipo de aplicaciones es presentar una secuencia de pantallas con información sin interrupción. Estas historias pueden asociarse a archivos de audio concurrente o secuencial dentro de la presentación.

-Publicaciones electrónicas (PE) o presentaciones interactivas. Estas aplicaciones tienen un nivel de interactividad mayor, donde el usuario puede tomar diferentes direcciones en la secuencia. La Interactividad de las PE están basados en el concepto de aplicación de "árbol" con diferentes niveles de "navegación".

-Kioskos multimedios. Estos son desarrollados bajo los mismos principios que una presentación interactiva, solo que los kioskos están pensados para no ser aplicaciones transportables debido a la cantidad de información que incluyen. Entre éstos, se distinguen los espacios públicos para transmitir el conocimiento o información de carácter general y las estaciones de conocimiento para instruir al usuario en un tema particular. Un kiosko multimedia tiene control absoluto sobre el flujo de información, y la navegación en el mismo se realiza dentro de toda la información que posee.

4.1. CARACTERISTICAS DE LOS CURSOS MULTIMEDIA

Cada curso tiene una estructura modular y son totalmente independientes, ya que cada uno de ellos persigue diferentes objetivos, aún cuando sean complementarios. El acceso a cada curso será bajo dos modalidades: con fines de consulta o con fines de capacitación. En el primer caso, se tendrá total interactividad con los contenidos de los cursos, mientras que en el segundo caso, la interacción es hacia atrás, es decir solamente con los contenidos que el usuario ya haya estudiado, esto con el fin de controlar de algún modo el avance del aprendizaje individualizado del usuario.

Los contenidos están organizados de tal manera que integran textos, diagramas fijos, animaciones, imágenes en movimiento y sonido o voz, esto con el propósito de presentar explicaciones de los temas de manera más objetiva.

El alcance en cuanto a contenidos de los cursos son los siguientes:

Curso 1: Diseño de Programas Integrales de Conservación y Ahorro de Energía (PICA-E)

El objetivo de este curso es proporcionar información sobre la metodología para aplicar programas integrales de conservación y ahorro de energía, así como orientar en la realización de diagnósticos energéticos y en el seguimiento y control de las medidas de ahorro de energía. Se compone de tres módulos totalmente interactivos:

- Módulo 1: Programa Integral de Ahorro de Energía
- Módulo 2: Guía para el diseño de un programa de ahorro de energía
- Módulo 3: Diagnósticos Energéticos

Curso 2: Ahorro de Energía en Equipos de Combustión

En este curso se integra información metodológica y técnica que permita eficientar los equipos de combustión en una planta industrial, como las calderas, hornos y secadores; para ello también se hace una revisión de los aspectos físicos, químicos y energéticos de la combustión. Se compone de cuatro módulos:

- Módulo 1: Teoría de la combustión
- Módulo 2: Ahorro de Energía en Calderas
- Módulo 3: Ahorro de Energía en Hornos
- Módulo 4: Ahorro de energía en Secadores

Curso 3: Tecnologías de Cogeneración de Energía

Este es un curso prácticamente introductorio sobre las tecnologías de cogeneración de energía. Abarca una descripción de las ventajas de la cogeneración y de las características técnicas de cada tipo de esquema. El curso no está orientado a brindar capacitación en lo relacionado al diseño de plantas de cogeneración. Se compone de cuatro módulos:

- Módulo 1: Aspectos generales de la cogeneración
- Módulo 2: Cogeneración con turbinas de vapor
- Módulo 3: Cogeneración con turbinas de gas
- Módulo 4: Cogeneración con motores de combustión interna

Tipos de usuarios de los cursos

Se consideran dos tipos de usuarios:

-**De consulta:** serán aquellos que solamente utilizarán el curso con fines de consultar algún tema específico de interés. No tendrá acceso a los módulos de evaluación, y la consulta será totalmente interactiva y podrá navegar sin ninguna restricción.

-**De capacitación:** estos usuarios, tendrán restricciones de navegación y de interacción según el avance del aprendizaje que ellos mismos se impongan. El control del avance del usuario se irá registrando en una base de datos que será parte misma de cada curso.

5. POTENCIAL DE DESARROLLOS

Este acápite está dirigido a mencionar de una manera muy general la problemática específica de las diferentes áreas del sector energético, proponiendo un universo potencial de las posibilidades de desarrollo de sistemas inteligentes. Las áreas consideradas son las siguientes:

-**Conservación y uso eficiente de la energía en la industria principalmente:** En esta área se considera evaluar la posibilidad de diseñar una automatización inteligente para: elaboración de diagnósticos energéticos, evaluación de proyectos de uso eficiente de energía, control y monitoreo de equipos consumidores de energía, control de procesos térmicos, control de la operación eficiente de motores, control eficiente de sistemas de aire acondicionado, etc.

-**Cogeneración de energía:** En ésta área existe la posibilidad de desarrollar sistemas inteligentes exclusivamente para el diseño, control y monitoreo de la operación de plantas de cogeneración de energía en la industria. Además se podría estudiar el posible desarrollo de un sistema de diseño para proponer las soluciones más apropiadas para la implementación de la microcogeneración en servicios.

-Fuentes alternas de energía: En este caso se puede identificar la necesidad de contar con herramientas de este tipo para asesorar el diseño de sistemas de energía solar (calentadores, plantas fotovoltaicas, etc), plantas eólicas, microhidráulica, etc.

-Planeación energética: En este punto consideramos que existe un gran potencial para eficientar la toma de decisiones empleando sistemas que apoyen los estudios de prospectiva y planificación energética.

Todo sistema inteligente que se establezca como necesario con posibilidades de mejoras, deberá estar caracterizado en función de: problemática a resolver, tipo de técnica de IA a emplear, beneficios estimados, etc.

6. REFERENCIAS

- (1)Kemper V. Nicolás, Felipe Lara R., Luis Rodríguez V. SEILUM: An Illumination Expert System. Proceeding of the Second IASTED International Conference COMPUTER APPLICATIONS IN INDUSTRY, Alexandria, Egipt. May 5-7, 1992. A Publications of The International Association of Science and Technology for Development-IASTED, pp 162-164.
- (2)Kemper V. Nicolás, Felipe Lara R., Luis Rodríguez V. Aplicación de Sistemas Expertos al Ahorro Energético para la Iluminación en la Pequeña y Mediana Industria. Informe Interno elaborado para el Programa Universitario de Energía. Instituto de Ingeniería, UNAM. México Febrero 1992.
- (3)Waterman, D.A. A Guide to Expert Systems. Addison Wesley Publishing Company, USA 1986.
- (4)Turban Efraim. "Expert Systems and Applied Artificial Intelligence". Ed. Mc. Millan Press, New York, 1992.
- (5)Galán López, Ramón. Introducción a los Sistemas Expertos. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Superior de Ingenieros Industriales. Madrid. España 1990
- (6)Exsys Professional Expert System Development Package. EXSYS Inc. USA 1988.
- (7)Thumann, Albert. Energy Conseravtion in Existing Buildings Deskbook. Prentice Hall, USA 1992.
- (8)IES Ligthing Handbook. Application Volume. Illuminating Engineering Society of North America. New York, USA 1987.
- (9)Commercial Sector Conservation Technologies. Lawrence Berkely Laboratory, University of California. Berkely, USA 1989.
- (10)Catálogo Condensado Holophane. Holophane S.A. C.V., México 1990.
- (11)Manual de Alumbrado Philips, Philips Ibérica S.A., Madrid, España 1988.
- (12)Catálogo General de Luz. Osram S.A. de C.V., México 1993.
- (13)Electronics Ballasts Fundamental. Motorola Lighting Inc. USA 1994.
- (14)Memoria de la I Jornada de Iluminación. IESNA Sección México, México, Junio 1994.
- (15)Manual de Iluminación Crouse-Hinds, Coruse-Hinds S.A. de C.V., México 1989.
- (16)Lara Rosano F. y N. Kemper Valverde, "Manual para la Elaboración de Sistemas Expertos", En proceso de desarrollo, Instituto de Ingeniería UNAM, México.
- (17). Goleman D., Kaufman P. & Ray M. . The Creative Spirit. (1992)
- (18). Wodaski R.. Multimedios Madness. (1922)

OPORTUNIDADES DE OPERAR LAS CENTRALES TERMoeLECTRICAS DE CFE, EVENTUALMENTE RETIRABLES COMO UNIDADES DE COGENERACION.

ING. EDUARDO H. BUENDIA DOMINGUEZ*

ING. ROSA MARIA MERLOS RUEDA**

*Instituto de Investigaciones Eléctricas, Av. Reforma No. 113 Col Palmira Temixco Mor.

** Programa de Ahorro de Energía para el Sector Eléctrico Tolstoi No. 22 Col. Nva Anzures

RESUMEN

El Programa de Ahorro de Energía para el Sector Eléctrico (PAESE), en colaboración con el Instituto de Investigaciones Eléctricas, decidieron evaluar técnica y económicamente las posibilidades de operar las Centrales termoeléctricas (CT's) de CFE, eventualmente retirables, como unidades de cogeneración al ofrecer calor a la industria. El estudio se enfocó en las Centrales de Monterrey y San Jerónimo, determinado en una primera etapa el radio óptimo para el manejo y transporte de vapor y/o agua caliente y así definir a las industrias que potencialmente podrían recibir calor de las CT's., en esta etapa se determinaron las necesidades térmicas de las industrias evaluadas (presión, temperatura y flujo). En una segunda etapa se evaluó los diferentes arreglos para operar las CT's seleccionadas para que pudieran satisfacer dichas demandas térmicas. En este trabajo se presentaran los resultados de dicho estudio.

INTRODUCCION

La cogeneración se define como la generación simultánea de dos manifestaciones de energía: electricidad y/o energía mecánica, y calor útil a partir de una fuente energética.

Con su aplicación se ha demostrado que ofrece un importante ahorro de energía primaria pues al comparar el consumo que se requiere para generar tanto energía eléctrica como calorífica en un mismo proceso, con la suma de los consumos necesarios para producir independientemente las misma energías, se observará que con el primer sistema el consumo térmico unitario disminuye significativamente. El mencionado ahorro que ofrece la cogeneración se consigue al utilizar la energía del vapor que se desecha en el sistema de enfriamiento de un ciclo convencional al producir energía eléctrica o mecánica, o bien al aprovechar el calor que se desperdicia cuando el combustible se emplea para producir gases de alta temperatura y los gases de escape menos calientes que se desechan del proceso, se aprovechan por ejemplo en una caldera de recuperación. En algunos casos, este ahorro de energía en cualquiera de los dos sistemas descritos puede traducirse hasta en un 30% del costo del combustible.

En México, la generación de energía eléctrica a través de plantas termoeléctricas que utilizan combustibles fósiles pesados es la principal fuente de abastecimiento, y se puede anticipar que durante mucho tiempo seguirá siendo la más importante. El uso eficiente de la energía en una central termoeléctrica es una preocupación fundamental del personal especializado de CFE desde el momento de la concepción de la misma. Para tener idea de lo importante de estos aspectos, basta decir que la ganancia de un punto porcentual en la eficiencia total de una unidad de 350,000 kW, ahorraría el consumo de más de 2,000 kg por

hora de combustóleo. En una planta cogeneradora la ganancia en eficiencia total puede llegar a tener valores hasta de un 30% o más.

Hoy en día, las mejoras que se pueden llegar a cabo en los diseños de centrales termoeléctricas, incluyendo la introducción del vapor supercrítico en plantas convencionales, el lecho fluidizado o la gasificación de carbón en centrales de ciclo combinado incrementan efectivamente el rendimiento general en no más de un 10%. El ciclo Rankine en el cual se basa el funcionamiento de las centrales eléctricas convencionales obliga a desechar alrededor del 42 al 48% de energía en el agua de enfriamiento del condensador dependiendo de la temperatura del agua, del 10 al 15% en el generador de vapor y el resto en otros equipos como la turbina, generador eléctrico, etc. Por medio de la cogeneración, una parte de la energía desecheda se puede ahorrar al suministrarlo a un proceso que requiera energía calorífica.

Por esta razón el PAESE en colaboración con el IIE, estableció un proyecto para evaluar la factibilidad técnica y económica para operar las CT's, que eventualmente están por retirarse, como unidades de cogeneración al ofrecer calor a un proceso que requiera dicha energía. La razón de seleccionar centrales que eventualmente están por retirarse fue debido a que lejos de ser abandonadas, se les puede integrar nuevamente a la red, al mejorar su eficiencia global del ciclo y hasta en un momento dado podría incrementarse la capacidad de las unidades actuales y mejorar el rendimiento económico de las unidades termoeléctricas actuales.

Para éste estudio se seleccionaron a las Centrales de Monterrey y de San Jerónimo, definiendo el proyecto en dos etapas: En la primera se evaluó la distancia técnica y económicamente factible para el manejo y transporte del vapor y/o agua caliente. Con base a este resultado se realizó un estudio de las demandas de energía térmica de las industrias más importantes entorno a las CT's seleccionadas. En la segunda etapa se determinó la factibilidad de operar las CT's como unidades de cogeneración, ofreciendo energía térmica en forma de vapor y/o agua caliente a las industrias previamente seleccionadas.

EVALUACION DE LA DISTANCIA OPTIMA PARA EL MANEJO DE VAPOR Y/O AGUA CALIENTE.

Para la definición de la distancia óptima para el manejo y transporte de vapor y/o agua caliente se realizó una evaluación técnico-económico de la tubería para el suministro de calor desde una central de cogeneración a su industria circundante. El análisis técnico se realizó en base a las pérdidas de presión y de calor que se presentan a lo largo de la tubería. El análisis económico se efectuó en base al costo total de instalación de la tubería y aislante, para un rango de distancias, y en base a los ahorros obtenidos por la venta de calor (o ahorro de la industria incurrido por la no generación de éste calor).

Los beneficios por la venta de vapor o agua caliente se estimó considerando que ésta energía sustituirá su generación en la industria. El costo de la generación de vapor se calcula en base a las condiciones finales de entrega, las cuales toman en cuenta la caída de presión y la formación de condensado debido a las pérdidas de calor, el combustible utilizado y la eficiencia del generador de vapor.

Para determinar el efecto del flujo de vapor y sus condiciones sobre los costos de inversión y de generación, se analizó un flujo de 56 t/h de vapor a 29.5 kg/cm² abs. y de 99 t/h para vapor a 15.6 kg/cm². Estos rangos de presión y flujo se seleccionaron en base a las necesidades que comúnmente tiene la industria (1), así como las centrales analizadas cubran dichas condiciones, considerando la extracción de vapor de más alta presión. Para el flujo de agua caliente se analizó el rango de 1000 a 2500 t/h; consideración realizada en base a una extrapolación de otros estudios realizados en otras compañías (2). Cabe mencionar que para la generación de agua caliente, en sistemas de cogeneración, se utiliza el vapor de las extracciones de más baja presión. Para el análisis de la carga horaria se estudió el rango de 1000 a 2000 horas anuales, el cual es un rango típico para el factor de demanda en viviendas y hoteles (3).

En las figuras 1, 2 y 3 se muestran los resultados de éste análisis, llegando a las siguientes conclusiones:

- a).- Para el caso de generar y exportar la mayor cantidad de vapor a la mayor presión posible, el factor limitante es el criterio económico. Esta presión de generación sería suficiente para proporcionar los niveles de presión requeridos por la mayoría de las industrias situadas a una distancia de hasta 3 km. Sin embargo el tiempo de recuperación de la inversión sería mayor a un año. Para un periodo de recuperación de la inversión de un año, la distancia máxima depende de la carga térmica requerida por los procesos. Para los rangos analizados, la distancia máxima sería de entre 1.6 y 2.4 km.
- b).- Con respecto a la generación y transporte de agua caliente para consumo urbano, la distancia máxima depende tanto del criterio económico para la inversión de proyectos, como de la cantidad y carga horaria en el consumo de agua caliente. Para un retorno de capital de un año, esta distancia sería de hasta 3.5 km para la mayor capacidad de generación y la mayor carga horaria posibles.

EVALUACION DE LAS INDUSTRIAS ENTORNO A LAS CT's ANALIZADAS.

En cuanto a las industrias potencialmente usuarias de las centrales de Monterrey y San Jerónimo, se identificaron trece para la primera solamente dos para la segunda. Los alrededores de la central San Jerónimo es una área de carácter residencial y comercial, principalmente. De ellas se seleccionaron, para la realización de la segunda etapa de éste estudio, a dos en el área de la central de Monterrey y a dos en el área de San Jerónimo, con base a que son las únicas, dentro del radio especificado, que requieren vapor o agua caliente para su operación y que no cuentan con algún sistema de cogeneración. En la tabla siguiente se muestra los requerimientos de energía térmica de las industrias seleccionadas:

TABLA I

INDUSTRIAS		VAPOR (t/h)		AGUA CALIENTE (t/h)
		ACTUAL	FUTURO	
CENTRAL MONTERREY	INDUSTRIA A	2.8	--	--
	INDUSTRIA B	4.5	--	--
CENTRAL SAN JERONIMO	INDUSTRIA C	1.9	3.2	--
	INDUSTRIA D	1.0	--	12.3

Con el fin de mantener la confiabilidad de los datos proporcionados por las industrias visitadas se les designó una letra para su identificación. En la tabla II se muestran los costos de generación de vapor de tres de las cuatro industrias analizadas:

TABLA II

INDUSTRIA	FLUJO DE VAPOR PROMEDIO (t/h)	TIEMPO DE OPERACION (h/año)	COSTO DE GENERACION (N\$/t)
INDUSTRIA A	2.8	4608	45.07
INDUSTRIA C	1.91	7488	46.77
INDUSTRIA D	0.5	8760	55.30

Estos costos de generación de vapor incluyen los costos de combustible, operación y mantenimiento, agua e inversión. Esta evaluación fue realizada a mediados del año de 1994.

De la tabla I se observa que la demanda de vapor de las industrias a las centrales es muy baja, sin embargo, si se toma en cuenta que dos empresas tienen interés en que se lleve a cabo el proyecto y considerando que esta baja relación demanda/oferta no afectaría la operación de las centrales, se podría completar la metodología para la evaluación de éste tipo de estudios al analizar la posibilidad de que si las CT's de CFE, pudieran satisfacer estas necesidades, por lo que se recomendó continuar con el proyecto y ejecutar la segunda etapa planteada.

ALTERNATIVAS PARA OPERAR LAS CT's COMO UNIDADES DE COGENERACION.

Para esta segunda etapa se llevo a cabo una recopilación de los parámetros operativos y de diseño de ambas centrales con el cual se realizó el balance de energía de la situación actual de las centrales analizadas y se procedió a realizar las modificaciones del ciclo para operar a las centrales como unidades de cogeneración al ofrecer calor a las industrias, determinando los costos de generación eléctrica y térmica y las inversiones que CFE debería de hacer.

ALTERNATIVA DE MINIMA INVERSION (Suministro de calor, en forma directa o mediante un intercambiador de calor al utilizar vapor de una de las extracciones de las turbinas de vapor de las CT's analizadas).

Con base a la información de diseño, tal como los balances térmicos y los prontuarios de datos técnicos de cada unidad, así como las características del sitio, se procedió a modelar los balances térmicos de las centrales de San Jerónimo y Monterrey. Con el apoyo de los programas STEAM PRO y STEAM MASTER se evaluaron las modificaciones a los balances térmicos (analizar las variaciones del ciclo al utilizar parte del vapor de una de las extracciones de la turbina de vapor como calor para un usuario externo a CFE). En las figuras 4, 5 y 6 se muestran los balances térmicos de las condiciones actuales (condiciones base para este estudio), de las centrales de San Jerónimo (unidad 3) y Monterrey (unidades 3 y 4). En la figura 7 se muestra un ejemplo de las modificaciones al ciclo para que las centrales operen como unidades de cogeneración.

En la tabla III se muestran los resultados de la evaluación de las modificaciones al ciclo para la central de San Jerónimo y en la tabla IV para la central de Monterrey:

TABLA III CENTRAL SAN JERONIMO

Alternativas	CTU _{ciclo} kJ/kWh	Régimen térmico kJ/kWh	Consumo combustible kJ/s	Eficiencia ciclo %	Eficiencia cogeneración %
Sit. Actual	9837	11967	89759	28.52	28.52
SJ-B	9796	11917	91180	28.09	29.69
SJ-C	9769	11884	92744	27.57	30.89
SJ-D	9733	11840	91364	27.88	30.57
SJ-E	9721	11826	92114	27.63	31.14
SJ-F	9704	11805	94426	26.95	32.54
SJ-G	9722	11827	89831	28.3	29.84
SJ-H	9819	11945	91497	28.02	29.59
SJ-I	9823	11950	93797	27.31	30.87

ALTERNATIVAS			
SJ-B	Cubre las condiciones de la industria C, sin retorno de condensado.	SJ-F	Toda la extracción de alta presión y una segunda extracción para agua caliente.
SJ-C	Similar a la anterior, con demanda futura de vapor.	SJ-G	Agua caliente para calderas.
SJ-D	Cubre las condiciones de la industria C y agua caliente para la E., con dos extracciones.	SJ-H	Proporciona vapor a la industria C a través de un evaporador.
SJ-E	Similar a la anterior con una extracción.	SJ-I	Proporciona vapor a la industria C con demanda futura.

TABLA IV CENTRAL MONTERREY

Alternativa	CTU _{ciclo} kJ/kWh	Régimen térmico kJ/kWh	Consumo combustible kJ/s	Eficiencia ciclo %	Eficiencia cogeneración %
Sit. actual unidad 3	9451	11400	184868	30.40	30.40
M3-A	9431	11376	186841	30.05	31.19
M3-B	9443	11377	194072	30.43	30.43
M3-C	9402	11341	199160	29.55	32.33
M3-D	9399	11338	200998	29.24	32.82
M3-E	9361	11292	204102	28.56	34.38
M3-F	9423	11367	185259	30.21	30.96
Sit. actual unidad 4	9424	11087	182429	31.42	31.42
M4-A	9408	11068	184343	31.06	32.19
M4-B	9361	11048	214446	31.56	31.56
M4-C	9357	11008	219539	30.74	33.26
M4-D	9355	11006	221329	30.45	33.70
M4-E	9316	10960	226524	29.65	35.47
M4-F	9397	11055	182766	31.22	31.99

ALTERNATIVAS			
M3-B	Vapor a la industria A con un retorno del 50% de condensado.	M3-E	Se utiliza todo el vapor de la extracción de alta presión con un retorno del 50% de condensado.
M3-C	Vapor a las industrias A y B con un retorno del 50% de condensado y un incremento de carga a la unidad para operar a un 83%.	M3-F	Utiliza el vapor de la segunda extracción y a través de un intercambiador producir agua caliente para las dos industrias.
M3-D	Similar a la anterior con un evaporador para garantizar el retorno del condensado.		

Para la unidad 4 de Monterrey se utilizan las mismas alternativas descritas en la tabla anterior.

De las tablas III y IV se puede concluir que ha medida que se utiliza mayor vapor del ciclo para satisfacer las necesidades de un usuario externo a CFE, es mayor la eficiencia del ciclo (eficiencia de cogeneración). Para el caso concreto de éste estudio, se tiene que para la central de Monterrey, el utilizar todo el flujo de vapor de la extracción de alta presión de la turbina nos da una eficiencia de 34.38% para la unidad 3 y de 35.47% para la unidad 4 (alternativas M3-E y M4-E), siendo ésta última más eficiente que la unidad 3. La misma situación se presenta para San Jerónimo, al utilizar toda la extracción de alta presión, lográndose obtener eficiencias hasta del 32.54% (alternativa SJ-F). En ambos casos se tiene una mejora hasta de 4 puntos porcentuales con respecto a la eficiencia actual del ciclo. El hecho de utilizar evaporadores o intercambiadores de calor, no se ve reflejado directamente en alguna mejora en la eficiencia del ciclo, sin embargo, se tiene la ventaja de recuperar el vapor en forma de condensado para el mismo ciclo, por lo que se puede concluir que su aplicación influye desde el punto de vista económico.

ALTERNATIVA DE MEDIANA INVERSION (Instalación de una turbina de gas, aprovechando la caldera y la turbina de vapor actual)

En este caso se selecciona la turbina de gas de tal manera que la mezcla de los gases de escape con aire fresco permita el aprovechamiento de la alta temperatura de los gases y además, se disponga de mayor contenido de oxígeno en la mezcla comburente para poder quemar una mayor cantidad de combustible y lograr una mayor producción de vapor y generación eléctrica, permitiendo que la turbina de vapor entregue el vapor a venta a las condiciones requeridas. En las figuras 8 y 9 se muestra el arreglo de estas alternativas para las centrales de San Jerónimo y Monterrey, para esta última central sólo se consideró para éste análisis a la unidad 4 por se la más eficiente.

En las tablas V y VI se muestran un resumen del comportamiento del arreglo para cada central:

TABLA V CENTRAL DE SAN JERONIMO

		TURBINA DE VAPOR	TURBINA DE GAS	TOTAL
GENERACION ELECTRICA,	kW	27,398	7,114	34,512
CONSUMO COMBUSTIBLE,	kWt	78,559	25,510	104,069
		Flujo 1	Flujo 2	
VAPOR A VENTA,	kWt	4,148.85	1,002.1	5,149
PRESION,	BAR	8	1.5	
FLUJO,	t/h	5.58	1.45	7.01
EFICIENCIA COGENERACION,	%			38.10
RÉGIMEN TÉRMICO,	kJ/kWh			10,202

Como se puede apreciar, se tiene una mejor eficiencia en este esquema que en el analizado con el ciclo convencional bajo operación actual (eficiencia mayor a 10 puntos porcentuales), además de una generación eléctrica mayor, sin embargo, un análisis económico mostrará la rentabilidad de esta alternativa.

TABLA VI CENTRAL DE MONTERREY

		TURBINA DE VAPOR	TURBINA DE GAS	TOTAL
GENERACION ELECTRICA,	kW	74,437	10,950	85,387
CONSUMO COMBUSTIBLE,	kWt	215,515	37,321	252,836
VAPOR A VENTA,	kWt			12,626
PRESION,	BAR			25
FLUJO,	t/h			15.81
EFICIENCIA COGENERACION,	%			38.77
RÉGIMEN TÉRMICO,	kJ/kWh			10,033

Como se puede apreciar, se tiene una mejor eficiencia en este esquema que en el analizado con el ciclo convencional (eficiencia mayor a 7 puntos porcentuales), además de una generación eléctrica mayor, sin embargo, un análisis económico mostrará la rentabilidad de esta alternativa.

ALTERNATIVA DE MAXIMA INVERSION (instalación de una turbina de gas con recuperador de calor y aprovechando la turbina de vapor actual).

Se seleccionó una turbina de gas cuyo flujo y temperatura de gases de escape se pudieran utilizar a través de un recuperador de calor y generar vapor para satisfacer las condiciones de entrada de la turbina de vapor que actualmente tienen en operación las centrales analizadas, sin necesidad de utilizar post-combustión en el recuperador. La turbina de vapor actual se utilizará como condensante, eliminando los calentadores de baja y alta presión y dejando únicamente al deareador. Para el suministro de vapor a los usuarios externos de CFE, se obtuvo del mismo recuperador de calor. Para fines de éste análisis se consideró la alternativa M4-E para el caso de Monterrey y la alternativa SJ-F para San Jerónimo, por ser las alternativas que presentan la máxima eficiencia en el estudio anterior, además de que son las condiciones en donde se utiliza el máximo flujo de vapor para el exterior. En las figuras 10 y 11 se muestran los arreglos de esta opción. y en la tabla VII se presenta un resumen de resultados del análisis de las centrales evaluadas:

TABLA VII RESUMEN MAXIMA INVERSION

	Generación Total MW	Flujo de Combustible Nm ³ /s	Régime térmico kJ/kWh	Eficiencia (cogenera.) %
U4 MONTERREY	278	11.89	7213	50.40
SAN JERONIMO	104.7	4.81	7737	47.16

Si tomamos en cuenta los valores de la operación actual de ambas centrales, bajo esta alternativa se obtuvo un incremento en la eficiencia global de 19 puntos porcentuales, sin embargo, las inversiones son mayores por lo que su evaluación económica determinará si esta alternativa es rentable.

EVALUACION ECONOMICA DE LAS ALTERNATIVAS SELECCIONADAS

Con base a los resultados de la evaluación técnica se presentan las siguientes base económicas para determinar las ventajas económicas que se obtienen de operar las centrales como sistemas de cogeneración de las alternativas antes mencionadas:

- | | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| * Vida económica del proyecto | * Valor del capital |
| * Tiempo de operación de la industria | * Costos de inversión |
| * Costos de insumos | * Costos de combustibles |
| * Precio de venta del vapor. | |

El análisis económico se realizó estableciendo el flujo de efectivo considerando: Inversión inicial, costos de operación y mantenimiento, ingresos por venta de vapor, ahorro por mejoramiento del CTU de ciclo, utilizando los principales parámetros económicos como son: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de recuperación de la inversión (PRI) y la relación beneficio/costo (B/C). En las tablas VIII y IX muestran un resumen de los resultados de esta evaluación.

CONCLUSIONES

- 1.- De acuerdo al estudio realizado, las centrales termoeléctricas convencionales de CFE, pueden ser operadas técnica y económicamente como unidades de cogeneración, al ofrecer calor a las industrias cercanas a las centrales.
- 2.- A medida que se disponga de un mayor mercado para que las CT's vendan calor a las industrias, la eficiencia térmica global del ciclo se incrementa, con sus respectivas ventajas tanto para la CFE como para el sector industrial.
- 3.- Para el caso específico de las CT's de San Jerónimo y Monterrey, y considerando una mínima inversión, la alternativa de utilizar todo el vapor de la extracción de alta presión de la turbina de vapor es la opción recomendable, ya que facilita la operación de la central bajo esta condición, con la posibilidad de abastecer de calor a un mayor número de usuarios.
- 4.- Para el caso de una máxima inversión, se evaluó la factibilidad técnica y económica de integrar esquemas de repotenciación a las CT's de San Jerónimo y Monterrey, mediante esquemas de ciclos combinados, acoplando turbinas de gas y considerando la operación de las mismas para ofrecer calor a las industrias. Esta opción deriva los siguientes beneficios:
 - * Incrementa la eficiencia de generación eléctrica.
 - * Prolonga la vida de las unidades actuales.
 - * Aumenta la capacidad de las unidades actuales.
 - * Mejora el rendimiento económico de las unidades termoeléctricas actuales.

El mejor comportamiento energético y económico de los esquemas de repotenciación, adicionalmente a los beneficios antes mencionados, hacen que éste tipo de proyectos resulten atractivos para contemplarse dentro de un programa de expansión de la capacidad instalada de la zona evaluada.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Buendía E., "Asesoría a CONAE en la supervisión del proyecto de evaluación de excedentes eléctricos en centrales eléctricas de autosabastecimiento, IIE, Proyecto 3216, 1992.
- 2.- Reason J., "Utilities look at turbine retrofit for cogeneration, district heating", Power, June, 1987.
- 3.- Lehr V. A., "Hot water requirements for hotels", Heating/piping/air conditioning, oct. 1989.
- 4.- Buendía E., Ruiz Esparza R., Colín C., Peralta, G., "Estudio para determinar la factibilidad de operar las centrales termoeléctricas de CFE, eventualmente retirables como unidades de cogeneración", IIE., Proyecto 051, 1995.

CENTRAL TERMoeLECTRICA SAN JERONIMO (2 X 15 MW + 2 X 37.5 MW)

	ACTUAL	MINIMA	MEDIA	MAXIMA
a) EFICIENCIA GEN. ELECTRICA META %	28.5			
b) EFICIENCIA GEN. VAPOR/AGUA CAL. %	85/70			
c) EFICIENCIA COMBINADA % (META)	32	32.5	36.9	47.2
d) GENERACION ELECTRICA BRUTA kW _e	27,000	27,000	34,512	112,700
GENERACION ADICIONAL kW _e		0	7,512	85,700
e) GENERACION ELECTRICA NETA kW _e	23,587	23,587	33,283	110,707
f) REGIMEN TERMICO kJ/kWh (BRUTO)	11,987	11,805	10,202	7,737
g) CONS. COMB. PARA GEN. VAPOR INDUSTRIA Nm ³ /h	526			
h) CONS. COMB. PARA GEN. ACTUAL ELECTRICA BRUTA (27,000 kW) Nm ³ /h	7,476	7,375	6,373	4,633
i) CONS. COMB. PARA GEN. TERMICA Y GEN. ACTUAL ELECTRICA (27,000 kW) Nm ³ /h	8,002	7,901	6,899	5,359
j) AHORRO DE COMBUSTIBLE (i-I-ACTUAL) Nm ³ /h	-	101	1,103	2,643
k) CONS. COMB. PARA GEN. ELECTRICA ADICIONAL (POR ENCIMA DE 27,000 kW) Nm ³ /h		0	1,773	15,342
l) CONS. COMB. PARA GEN. TERMICA Y GEN. TOTAL ELECTRICA Nm ³ /h	8,002*	7,901**	6,872**	20,701**
m) PRECIO PROPUESTO PARA VENTA VAP. /AGUA CAL. NSR		28.5/8	28.5/8	39.5/8
n) COSTO VAPOR VIVO P/CFE NSR	38.4	38.4	38.4	38.4
o) COSTO VAPOR INDUSTRIA NSR	46.7/55.3	46.7/55.3	46.7/55.3	46.7/55.3
p) INVERSION miles M\$		2,053.5	21,067.4	176,945.9
q) VPN miles M\$		1,134.9	66,439	321,928
r) PRI años		2.7	4.9	4.2
s) TIR %		33.3	34.1	30.0
t) B/C		1.16	1.39	1.53

* CFE + INDUSTRIA

** CFE

PRECIOS A DICIEMBRE DE 1994.

CENTRAL TERMoeLECTRICA MONTERREY (3 X 75 MW + 3 X 84 MW)

	ACTUAL	MINIMA	MEDIA	MAXIMA
a) EFICIENCIA GEN. ELECTRICA META %	31.8			
b) EFICIENCIA GEN. VAPOR %	82			
c) EFICIENCIA COMBINADA % META	35	35.5	37.7	50.4
d) GENERACION ELECTRICA BRUTA kW _e	70,433	70,433	85,387	276,000
GENERACION ADICIONAL kW _e		0	14,954	207,587
e) GENERACION ELECTRICA NETA kW _e	67,163	67,163	82,680	274,818
f) REGIMEN TERMICO kJ/kWh (BRUTO)	11,048	10,980	10,633	7,213
g) CONS. COMB. PARA GEN. VAPOR INDUSTRIA Nm ³ /h	1,283			
h) CONS. COMB. PARA GEN. ELECTRICA BRUTA (70,433 kW) Nm ³ /h	18,005	17,861	18,350	11,755
i) CONS. COMB. PARA GEN. TERMICA Y GEN. ACTUAL ELECTRICA (70,433 kW) Nm ³ /h	19,288	19,144	17,533	13,038
j) AHORRO DE COMBUSTIBLE (i-I-ACTUAL) Nm ³ /h		144	1,885	6,250
k) CONS. COMB. PARA GEN. ELECTRICA ADICIONAL (POR ENCIMA DE 70,433 kW) Nm ³ /h	0	0	3,471	34,640
l) CONS. COMB. PARA GEN. TERMICA Y GEN. TOTAL ELECTRICA Nm ³ /h	19,288*	19,144**	21,104**	47,670**
m) PRECIO PROPUESTO PARA VENTA VAPOR NSR		28.5	28.5	28.5
n) COSTO VAPOR VIVO P/CFE NSR	27.9	27.9	27.9	27.9
o) COSTO VAPOR INDUSTRIA NSR	45.1	45.1	45.1	45.1
p) INVERSION miles M\$		1,841	35,683	394,252
q) VPN miles M\$		1,636	208,102	983,948
r) PRI años		1.7	2.7	3.3
s) TIR %		39.8	50.7	36.8
t) B/C		1.12	1.55	1.66

* CFE + INDUSTRIA

** CFE

PRECIOS A DICIEMBRE DE 1994.

Cogeneración en CFE **Análisis de la distancia entre CFE e industria** Vapor de 29.5 kg/cm²

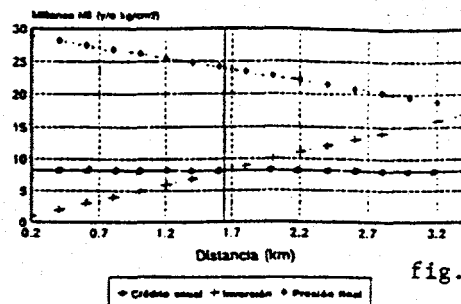


fig. 1

* Flujo de vapor: 56 M³/h, Diámetro de tubería: 18 pulg., Velocidad: 67.6 M/h

Cogeneración en CFE **Análisis de la distancia entre CFE e industria** Vapor de 15.6 kg/cm²

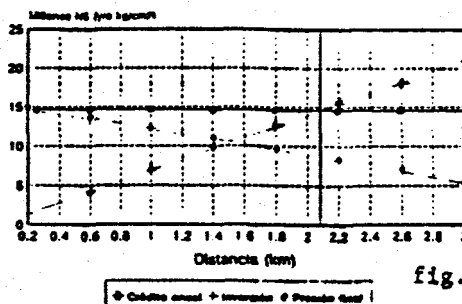


fig. 2

* Flujo de vapor: 59 M³/h, Diámetro tubería: 14 pulg., Velocidad: 113.2 M/h

Cogeneración en CFE **Análisis de la distancia entre CFE y población** Agua caliente urbana*

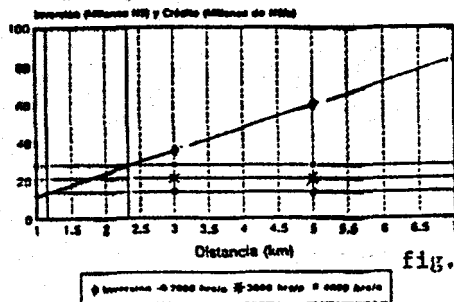


fig. 3

* 1000 M³/h

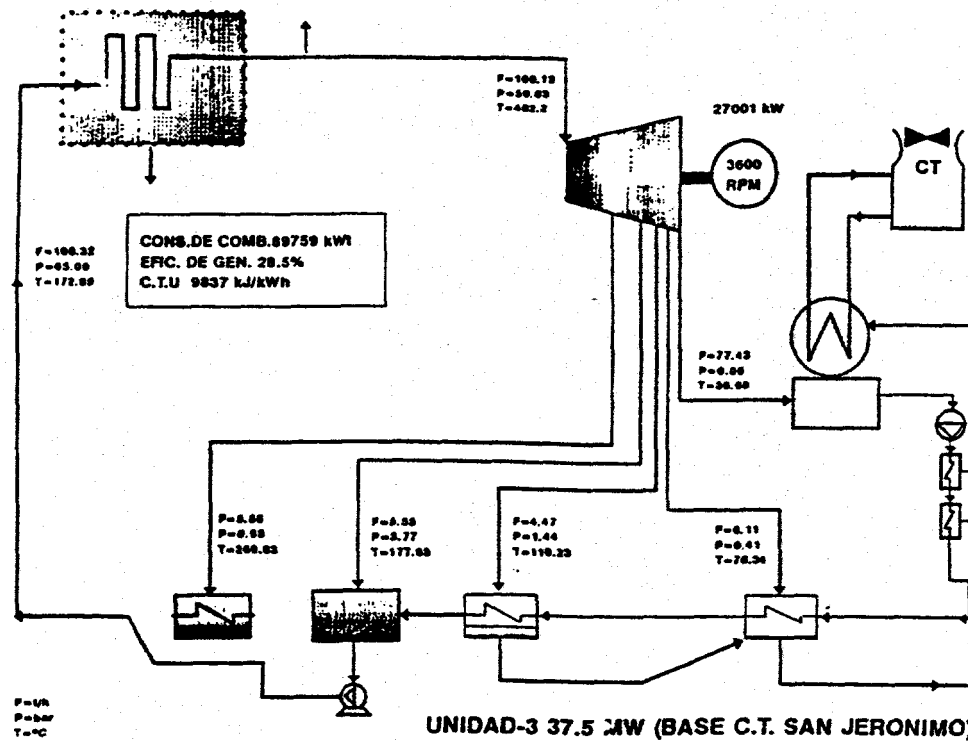


FIGURA.- 4

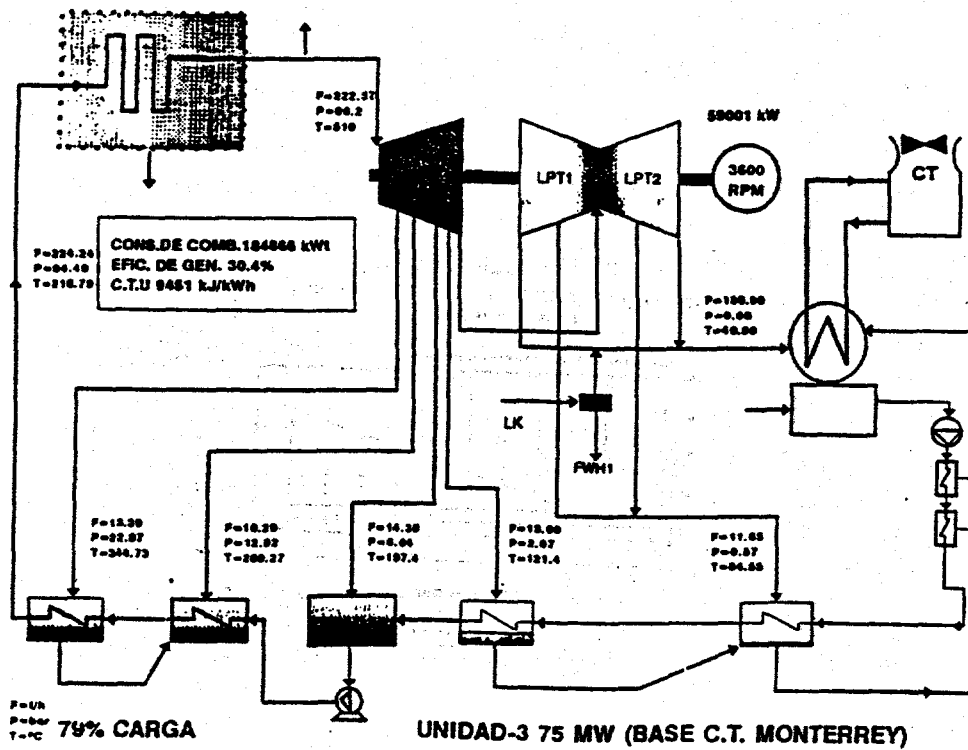


FIGURA.- 5

ALTERNATIVA M4-E CICLO COMBINADO

(CALDERA Y TURBINA DE VAPOR ACTUAL)

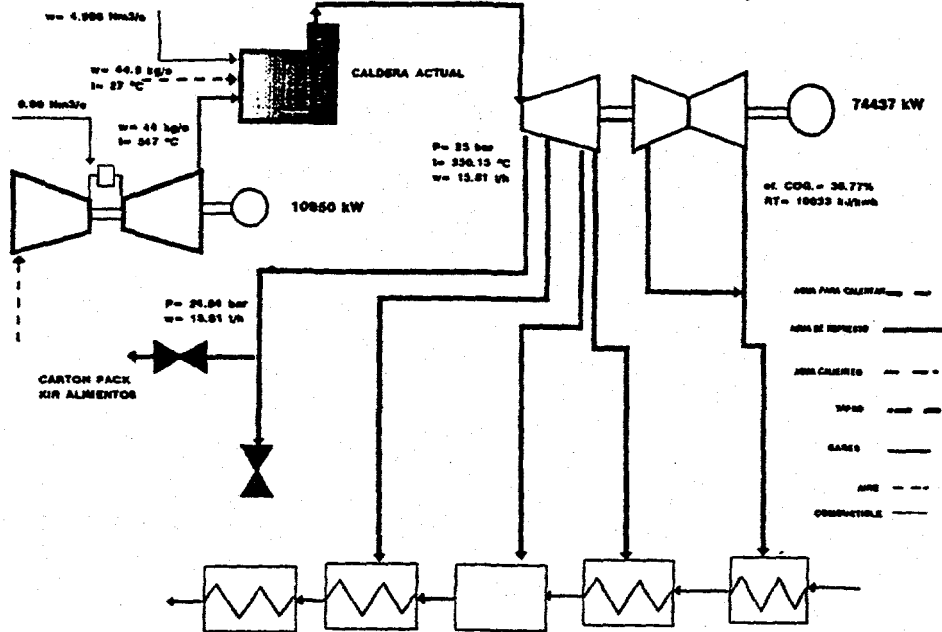


FIGURA.- 8

ALTERNATIVA SJ-F CICLO COMBINADO

(TURBINA DE VAPOR ACTUAL)

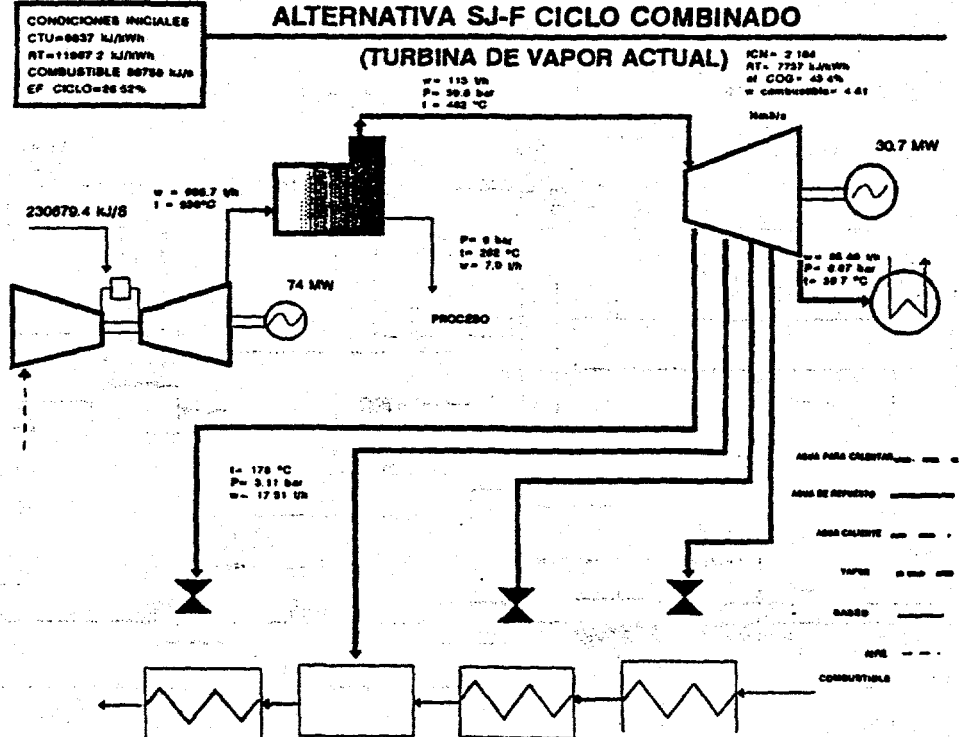
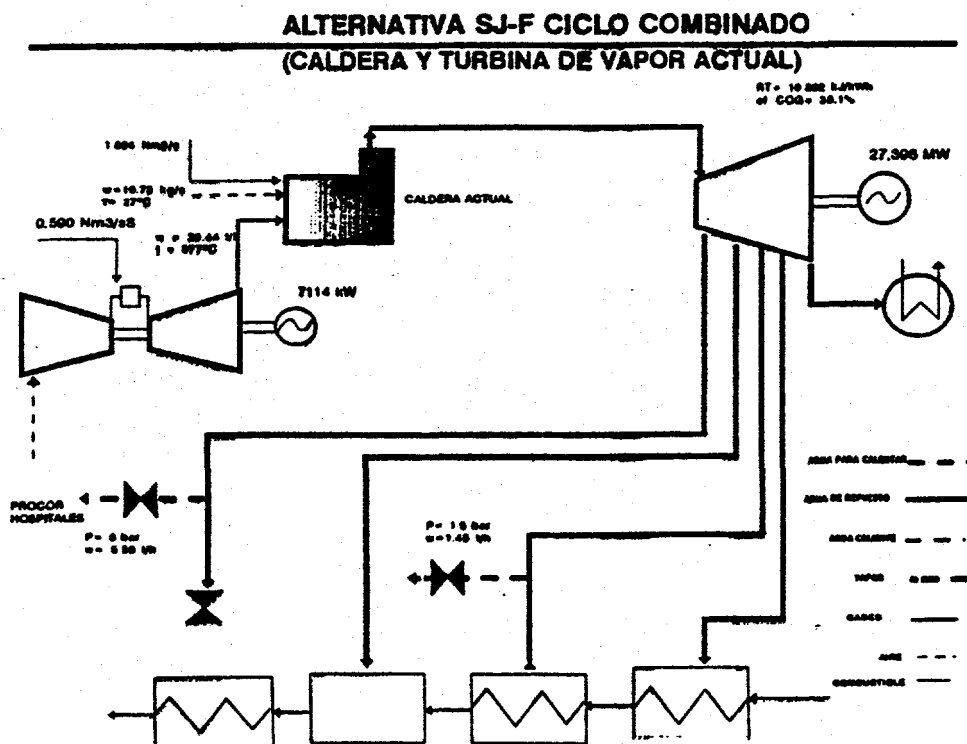
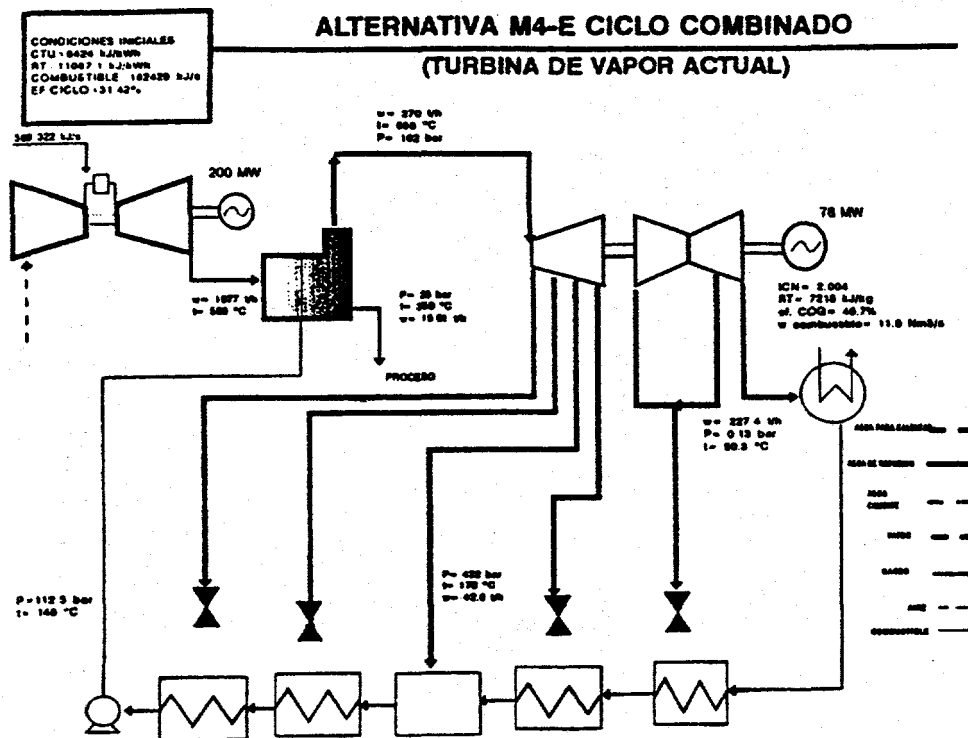


FIGURA.- 9



MICROCENTRALES HIDROELÉCTRICAS PARA PEQUEÑOS CENTROS DE CONSUMO

POR

VÍCTOR H. ÁNGELES A. Y FERMIN P. ESPINO C.
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO

HORACIO C. BUITRÓN SÁNCHEZ
PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGÍA DEL SECTOR ELÉCTRICO
COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

RESUMEN

La utilización de fuentes alternas de energía (eólica, solar e hidráulica a pequeña escala) representan una alternativa para la electrificación rural. Este trabajo trata del caso de la microgeneración hidráulica, para la cual se discuten principalmente, alternativas para el equipamiento mecánico y eléctrico. Para el equipamiento mecánico se presentan fundamentalmente los tipos de turbinas que pueden ser utilizadas y como se pueden seleccionar. En cuanto al equipo eléctrico se manejan los diferentes tipos de generadores, la forma de seleccionarlos, la operación, el control y la protección en las microcentrales hidroeléctricas.

1. ANTECEDENTES

Desde un punto de vista puramente económico se ha dicho que la electrificación de las comunidades rurales más apartadas a través de extensiones de la red, no es costeable para el sector eléctrico debido a las fuertes inversiones que representan estas obras, ya que en muchas ocasiones los costos de operación no son recuperables; y por lo tanto, tampoco lo serán la amortizaciones de estas inversiones.

Muchas comunidades rurales en el país que no tienen acceso a la energía eléctrica ya que por lo regular presentan cierta lejanía de las líneas de transmisión y de distribución debido en gran parte a las condiciones topográficas que presenta la región. La ausencia de caminos de acceso adecuados determina en gran medida las posibilidades de llevar energía eléctrica a las comunidades que la requieran; por lo regular presentan un alto grado de disgregación de la población, por lo que las redes secundarias para los servicios domiciliarios se vuelven extremadamente caras debido a las grandes distancias entre las casas y las actividades de comercialización de la electricidad resultan más caras de lo que puede recuperarse por concepto de facturación. Además existen otros factores que tienen que ver más con el aspectos sociales como son el bajo consumo eléctrico y la falta de actividades productivas ya que la gente no cuenta con electrodomésticos por su precaria situación económica¹ (ver fig. 1).

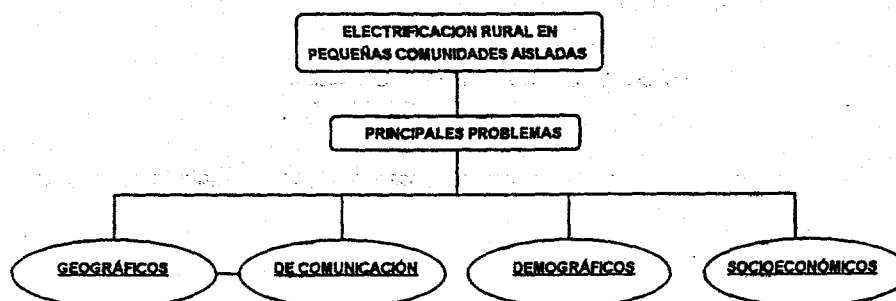


Fig. 1 Principales problemas en la electrificación de pequeñas comunidades rurales.

No hay que perder de vista el aspecto social que puede representar el impulsar la electrificación rural en las regiones más marginadas del país y no necesariamente con extensiones de la red eléctrica. Es aquí donde las *Microcentrales Hidroeléctricas (mch)* pueden ser una alternativa para el desarrollo energético del medio rural; en especial comunidades más pequeñas que cuenten con un arroyo o río y un desnivel adecuado para la generación de electricidad a pequeña escala. Existen regiones de nuestro país que disponen de abundantes recursos hidráulicos pero por diversos motivos no cuentan con electricidad. En este punto existe una oportunidad de aplicación de estos micro sistemas. Las mch son consideradas hoy en día como pertenecientes al grupo de fuentes alternas de energía², el criterio latinoamericano las clasifica de acuerdo a su potencia de la siguiente manera:

POTENCIA INSTALADA (KW)	TIPO DE CENTRAL
5 - 50	Microcentral Hidroeléctrica (mch).
50 - 500	Minicentral Hidroeléctrica (MCH).
500 - 5000	Pequeña Central Hidroeléctrica (PCH).

Tabla 1 Clasificación de las microcentrales hidroeléctricas (mch) respecto a su potencia instalada.

2. DETERMINACIÓN DE LA INSTALACIÓN

Antes de construir la mch para captar la energía del agua, se debe de tomar en consideración muchos factores. Primeramente, se tiene que verificar si las leyes locales permiten la construcción de presas o bordos en los cuerpos de agua. A continuación, se tiene que asegurar que las alteraciones que se lleven a cabo no dañen la vida acuática o terrestre, ni que causen problemas en el uso del agua río a abajo. Como regla general, el costo de una mch decrece a medida que la unidad de potencia es incrementa, ya que si la altura de un cuerpo de agua es relativamente alta, sus costos serán relativamente bajos, por lo tanto se puede utilizar una turbina más económica.

Antes de comenzar a hacer planes para la planta de energía, se debe determinar la cantidad de potencia eléctrica necesaria. La potencia obtenida generalmente se expresa en Kilowatts y se puede calcular con la ecuación:

$$P = 9.81 \eta Q H_n \quad [\text{KW}] \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

P = Potencia útil aprovechable en KW (1 KW=1000 watts = 1.34 H.P.).

η = Eficiencia total por conversión de energía. (Experimentalmente su valor puede variar entre 0.5 y 0.8)³.

Q = Caudal o gasto aprovechable en m³/s.

H_n = Altura, salto, caída o carga hidráulica neta en m. (Desnivel entre el punto de toma y el punto en la entrada de la turbina hidráulica menos las pérdidas debidas a la fricción en la tubería).

9.81 = Constante, unidades implícitas $\left(\frac{\text{KW}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}\right)$, que involucran ρ del agua y la conversión de $\left(\frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2}\right)$ a KW.

Para determinar Q se requiere hacer mediciones hidrológicas para poder asegurar un buen suministro de energía eléctrica en toda época del año. Las estaciones hidrológicas son de gran ayuda para este fin, pero por desgracia las estaciones hidrológicas no están instaladas en los pequeños arroyos. Una alternativa muy recomendable es hacer aforos en el sitio donde se planea construir la mch, para realizar esto existen otros métodos más prácticos que pueden ser aplicados con muy buenos resultados; el método que se emplee depende de la precisión que se quiera y de las facilidades que preste sitio. Por razones de espacio solo se presenta el método de la cubeta, si se desea analizar el método más conveniente se sugiere consultar la referencia número 1 al final de este trabajo.

El método de la cubeta es el más sencillo y exacto de todos. Se emplea un balde de capacidad conocida por ejemplo 40 litros, puede construirse una pequeña presa que tenga a la salida un tubo de 4 o 6 pulgadas. El método consiste en medir el tiempo en tarda en llenarse el balde. Si tarda 5 segundos en llenarse, entonces el caudal será de 8 litros por segundo. Es importante recalcar que este método es adecuado solo para caudales pequeños y cuando se tiene la disponibilidad de colocar un recipiente abajo del tubo para recibir el agua.

Existen tres métodos para determinar la carga hidráulica H_n , El método del carpintero es fácil de realizar y no es costoso. Este método utiliza un nivel de carpintero que se posa sobre una tabla horizontal la cual debe tener sus caras y cantos planas y paralelas esta es insertada en otra tabla vertical la cual tiene una ranura por medio de tornillos de mariposa a manera que la tabla horizontal se pueda subir o bajar para que la burbuja del nivel quede exactamente entre sus dos marcas de referencia, en esta posición se aprietan los tornillos (ver fig. 2).

Se recomienda que las dos tablas estén graduadas en centímetros principalmente la vertical, se deben de registrar las lecturas; las distancias medidas hacia arriba tienen signo negativo las distancias hacia abajo serán positivas por lo tanto el desnivel o carga hidráulica total será la suma de los valores h_1 , h_2 , h_3 , etc.

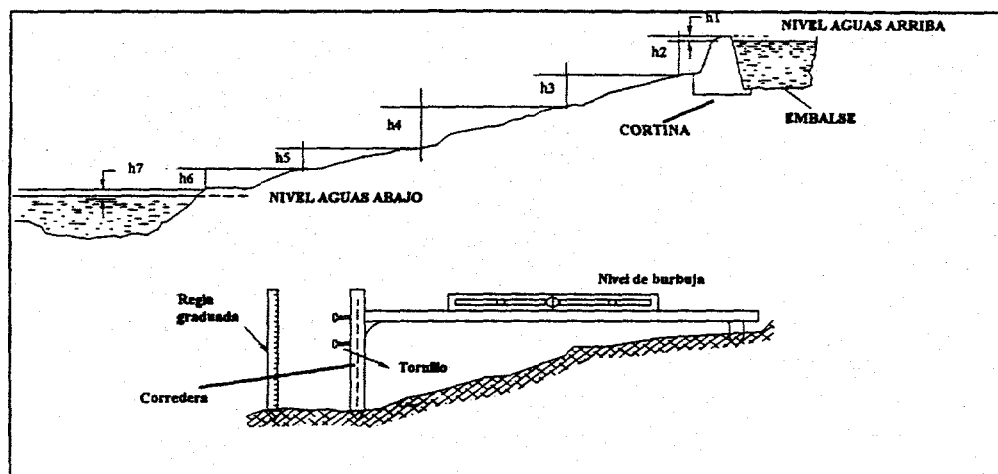


Fig. 2 Método del carpintero.

3. PLANEACIÓN Y CONSTRUCCIÓN DE LA mch

Las mch requieren características encaminadas a disminuir los costos y a utilizar los recursos humanos y materiales locales, por lo cual los métodos de construcción así como también los equipos instalados tienen forma diferente al de obras mayores. Así pues para la construcción de las presas o bordos en estos microsistemas, los materiales más adecuados son: rocas, grava, arena, arcilla, troncos, tablas y mamposterías. El concreto, aunque es deseable, no es indispensable para este propósito. Pero solo en los casos obligados donde los materiales se requieren traer de fuera, hay que pensar en seleccionar los más económicos.

En la mayoría de los casos para realizar un buen aprovechamiento de las corrientes de pequeños ríos o arroyos con el fin de crear una mch, es necesario construir una cortina. No se necesita una presa cuando hay suficiente agua para cubrir la admisión de una tubería o un canal a la cabeza del arroyo donde se situaría normalmente la presa. Las cortinas se pueden construir de concreto, grava, gaviones, tierra, madera, o ladrillos hechos con materiales locales. Las presas de tierra son las más fáciles de construir requieren materiales que por lo general se encuentran en la misma zona. Las presas de tierra pueden resultar convenientes donde el concreto sea costoso y la madera sea muy difícil de conseguir. Las presas de madera resultan muy económicas en regiones donde la madera es abundante, puesto que solo requieren troncos de árbol sin desbastar, tablas cortadas y piedras. Se pueden construir en dos tipos: de madera combinada con arena y grava, de madera a base de rollizos o piezas escuadradas (ver fig. 3).

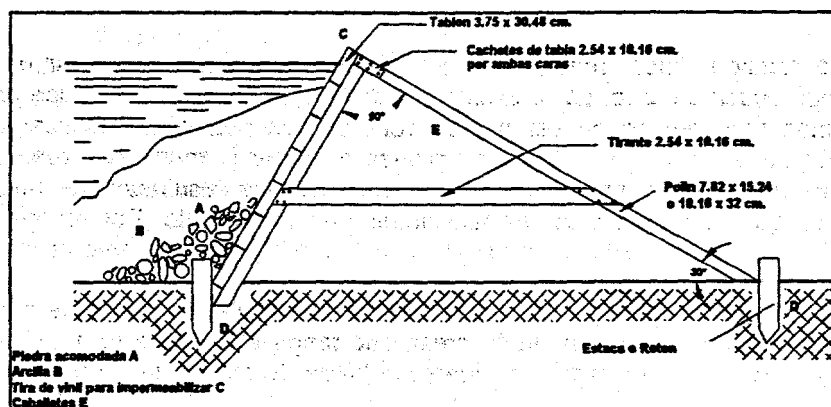


Fig. 3 Cortina de madera a base de material escuadrado.

Cuando la distancia entre la presa y la turbina es considerable; una alternativa es la conducción en dos tramos, el primer tramo es de baja presión, con una pendiente muy pequeña, esta conducción se lleva a cabo realizando canales de conducción abiertos, el segundo tramo se realiza precisamente por medio de la tubería de presión; con esto se puede tener un ahorro considerable por adquisición de tubos y mano de obra. El uso de

tubos de PVC se recomienda ampliamente para las mch (donde $P < 100 \text{ Kw}$ y $H_b < 80 \text{ m}$). Las tuberías de PVC tienen las siguientes ventajas: soportan adecuadamente presiones manométricas de diseño de 10 a 15 Kg/cm^2 son ligeras, fáciles de transportar, presentan poca rugosidad, su ensamble es simple, resisten bien el envejecimiento y su costo es bajo.

4. EQUIPAMIENTO MECÁNICO

Las turbinas hidráulicas son parte esencial del equipo electromecánico, tienen sus antecedentes en las llamadas "Ruedas Hidráulicas". Sin embargo ruedas hidráulicas quedan descartadas las para la generación de electricidad debido a su baja eficiencia y problemas de operación.

Las Turbinas de impulso Michell-Banki y Pelton son las que más se utilizan a nivel mundial en el campo de las mch. El costo de fabricación de las turbinas Michell-Banki es reducido, esta turbina es la única que se puede construir con medios manuales ya que lo solo se necesita un simple taller de herrería. Su eficiencia es más baja que la alcanzada por una turbina Pelton, aunque su diseño, construcción y mantenimiento es sencillo. La turbina Pelton tiene una excelente curva característica de eficiencia, la construcción casera o semiartesanal de este tipo de turbina es muy difícil, ya que para su fabricación se requiere de un taller de fundición y maquinado. El control de estas turbinas puede ser realizado tanto manualmente como automáticamente, actuando sobre una válvula de aguja, deflector de flujo o el álabe según sea el caso. El empleo de bombas centrífugas o de hélice utilizadas como turbinas para la generación de energía eléctrica se debe de explorar antes que todas las alternativas. Las bombas centrífugas y de hélice se rigen sobre los mismos principios de las turbinas hidráulicas de reacción, solo que el sentido de operación de las mismas se realiza en dirección opuesta a la que fueron diseñadas⁴. Las turbinas Francis, Kaplan y de Hélice tienen un alto grado de nivel tecnológico, lo que las hace más aptas para países desarrollados que para el nuestro, por lo tanto su costo es elevado.

Los principales factores que influyen en el diseño y selección de una turbina son la caída, el caudal y la velocidad específica. La velocidad específica requerida n_s es el parámetro representativo definido como una velocidad giratoria de un modelo reducido con una caída de 1 metro y una potencia de un HP.

Como se puede ver las turbinas hidráulicas se pueden clasificar por familias, y se caracterizan por la velocidad específica n_s . Las curvas de eficiencia óptimas para una familia de turbinas varían con n_s . La velocidad específica n_s para diferentes tipos de turbinas así como su eficiencia se muestra a continuación en la tabla 2.

Tipo de turbina	Velocidad específica n_s	Eficiencia η %
Pelton de un inyector	20 - 30	80 - 94
Pelton de dos inyectores	25 - 50	
Michell-Banki	30 - 120	60 - 82
Francis lenta	55 - 125	80 - 93
Francis normal	125 - 175	
	175 - 225	
Francis rápida	225 - 175 175 - 225	
Hélice y Kaplan	350 - 600	80 - 92
	600 - 800	
	800 - 1000	

Tabla 2. Velocidades específicas y eficiencias para diferentes tipos de turbinas.

Los límites de tabla 2 no son exactos y deben interpretarse solo como una guía preliminar para la selección de turbinas ya que los datos que la forman son resultado de un análisis estadístico. Se recomienda utilizar información de los fabricantes del equipo que se desea instalar.

Es conveniente hacer una revisión previa de los términos comúnmente usados para entender el término n_s .

Q = Descarga absorbida por la turbina bajo una caída H .

$$Q = Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} = \text{Descarga bajo una caída de 1m.}$$

n = Número de revoluciones bajo una caída H .

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} = \text{Número de revoluciones una caída de 1m.}$$

P = Potencia de la turbina en KW para una caída H en m.

$$P_1 = P\sqrt{H^3} = \text{Potencia bajo una caída de 1m.}$$

Las turbinas con rotores geoméricamente semejantes pertenecen a una serie. En cada serie para todos los tamaños de las turbinas de valores n_1 , P_1 se fijan constantes de manera que n_s sirva de características de esa serie y se use la característica:

$$n_s = n_1 \sqrt{P_1} = \frac{n \sqrt{P}}{H \sqrt[4]{H}} \quad (\text{Ec. 2})$$

La expresión anterior representa el número de revoluciones de un rotor de la serie bajo 1m. de caída a plena apertura y a una potencia de 1 KW. Por otra parte n_s relacionada con el gasto y con la carga neta obtenemos la expresión:

$$n_q = \frac{n \sqrt{Q_n}}{H_n^{3/4}} \quad (\text{Ec. 3}) \quad (\text{ver ejemplo Fig. 4})$$

Una división exacta para cálculos preliminares se obtiene de la ecuación 2 expresando: P en HP, n en rpm, y H es salto o caída disponible en metros.

$$n_{s(HP)} = \frac{n \sqrt{P}}{H \sqrt[4]{H}} \quad (\text{Ec. 4})$$

4.1 DIAGRAMAS DE SELECCIÓN DE TURBINAS

Los diagramas H-Q relacionan los límites de operación de la carga H y el gasto Q y muestran las potencia de operación para los diferentes tipos de turbinas. Existen otro tipo de diagramas⁵ como el de la fig. 4, estos se utilizan de la siguiente manera: Se da como dato la carga neta H_n y el gasto Q_n se traza una línea recta entre estos dos puntos una vez realizado esto proponemos una velocidad de rotación n en r.p.m. adecuada a nuestras necesidades de este modo se traza una línea recta la cual tiene que ser perpendicular a la recta Q_n - H_n y se proyecta hasta el eje de la velocidad específica n_q en donde también se muestran los diferentes tipos de turbinas para esas velocidades específicas. Por lo tanto podemos encontrar la magnitud de la velocidad específica y también el tipo de turbina.

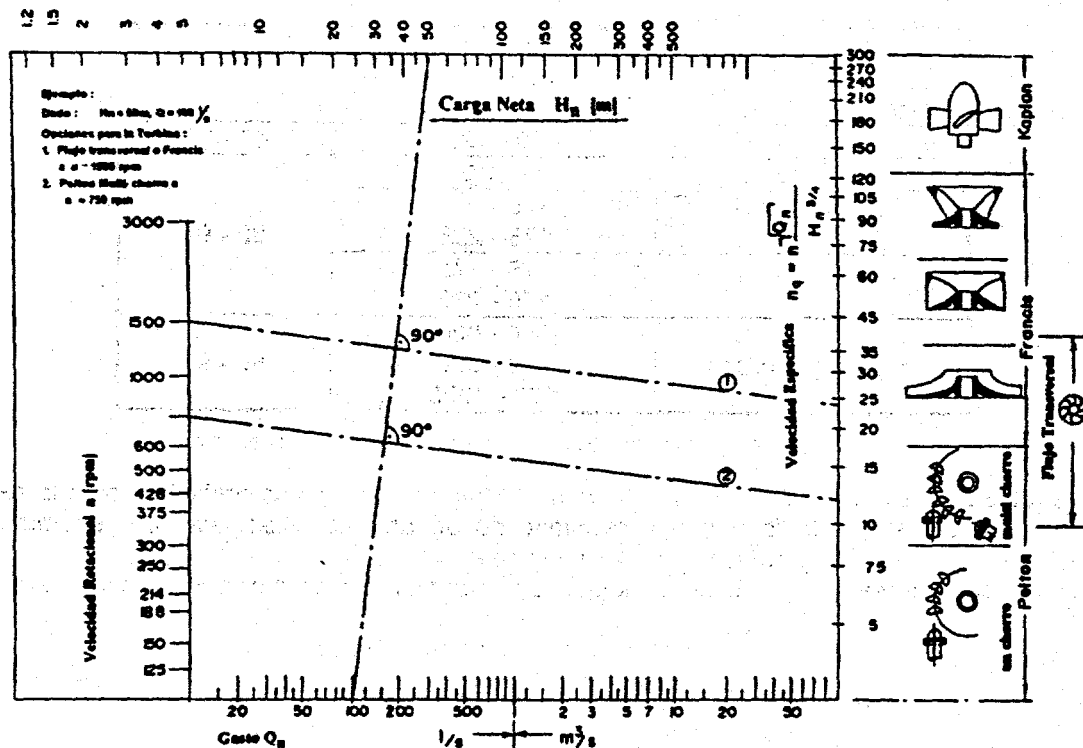


Fig. 4 Selección de turbinas y velocidades específicas (en función de la carga y el gasto).

5. EQUIPAMIENTO ELÉCTRICO

Los generadores son parte fundamental de la mch, se pueden utilizar generadores de corriente continua, síncronos (sin escobillas) o de inducción (asíncronos). A continuación se dan algunas características que ayudan a determinar que tipo de generador es el más conveniente para ser utilizado en una mch.

Los Generadores de C.D. se pueden aplicar en las mch de muy baja potencia, son ampliamente utilizados en los automóviles por lo tanto su costo es relativamente bajo comparado con otro tipo de generadores, además su control y protección es relativamente simple. Las desventajas que se tienen con este tipo de generadores son varias, los voltajes de generación suelen ser de 6 o 12 V que es un nivel de tensión muy bajo, el cual solo puede ser usado en un no muy variado grupo de equipos eléctricos cuyo costo puede llegar a ser mayor que el de los disponibles para corriente alterna, también con estos niveles de tensión la transmisión de la energía generada no es posible, reduciendo su utilización a una pequeña área circundante a la planta, aunque se puede transportar por medio de baterías a los lugares donde se requiera. Otra desventaja es la necesidad de mayor mantenimiento (por el uso de escobillas) en comparación con los generadores síncronos y los de inducción.

El Generador Síncrono es más utilizado en el campo de las mch. El generador síncrono autoexcitado sin escobillas es el más recomendable, ya que requiere de muy poco mantenimiento. La energía eléctrica generada por este tipo de generadores es de muy buena calidad (regulación de voltaje y frecuencia), en comparación con el generador de inducción. Su costo es relativamente alto, y las capacidades disponibles en el mercado son menos variadas que para los motores de inducción que pueden ser utilizados como generadores (ver tablas 4.1 y 4.2).

El Motor de Inducción Utilizado como generador (MIUG) en una mch es una buena alternativa, ya que su costo comparado con el de un generador síncrono puede llegar a ser hasta de la mitad (incluyendo los capacitores en el generador de inducción). Esta ventaja puede ser determinante para su uso en mch, además tienen una gran disponibilidad por su utilización generalizada en la industria. Su principal desventaja es la necesidad de capacitores para su magnetización cuando trabaja en forma aislada (ver tablas 4.1 y 4.2).

CRITERIO	MIUG	GENERADOR SÍNCRONO
Costo de inversión.	Para rangos menores de potencia (arriba de 30 KVA) se tienen considerables ventajas.	Para rangos de potencia medios (superiores a 100 KVA) son competitivos ya que en motores de este rango no hay buena disponibilidad.
Disponibilidad de máquinas y partes de repuesto.	Disponible con facilidad debido a el uso generalizado del motor de inducción en la agricultura y la industria.	No existe mucha disponibilidad en países en vías de desarrollo donde el mercado es pequeño (tienen que ser importados).
Construcción.	Robusta y simple, asegurándose confiabilidad y bajos costos de mantenimiento.	Excitador de C.D., sin escobillas y anillos rosantes, aislamientos en los devanados del rotor además del Regulador Automático de Voltaje (RAV) hacen a el generador síncrono más susceptible de fallas y altos costos de mantenimiento y reparación.
Sincronización para operación en paralelo.	No requiere sincronización, el interruptor principal simplemente es cerrado cuando la velocidad es cercana a la síncrona.	Requiere equipo de sincronización (sincronoscopio o lamparas).
Control de velocidad (gobernador) para operación aislada.	Un equipo relativamente simple es suficiente en muchos casos.	El generador síncrono requiere usualmente tanto un regulador de voltaje (RAV) como uno de frecuencia (CEC), en generación aislada de electricidad donde no existe operador.
Capacidad de sobrevelocidad.	Motores de 4 y más polos usualmente resisten el doble de la velocidad nominal. máquinas de dos polos pueden tener más limitaciones en cuanto a su capacidad de sobrevelocidad.	La capacidad de sobrevelocidad requerida en conjunción con la turbina solo es disponible sobre pedido.

Tabla 4.1 Ventajas de el Motor de Inducción Utilizado como Generador (MIUG).

CRITERIO	MIUG	GENERADOR SÍNCRONO
Potencia de magnetización.	Requiere potencia de magnetización que puede ser suministrada desde la red o por capacitores (los cuales son costosos y pueden fallar).	Puede suministrar potencia reactiva si se requiere a través del ajuste de la corriente de excitación.
Eficiencia.	Generalmente menor que otros generadores; decrece para máquinas pequeñas, relativamente baja eficiencia con poca carga.	Mantienen alta eficiencia con poca carga.
Factor de potencia.	Decrece progresivamente con la reducción del índice de velocidad y el rango de potencia de la máquina; generalmente tiene bajo factor de potencia.	Puede ser ajustado de acuerdo a las necesidades, con la corriente de excitación.
Inercia de la masa rotatoria en rechazo de carga.	El rotor de la máquina de inducción tiene baja inercia y los MIUG a veces requieren un volante de inercia donde una máquina síncrona pueda quedar inmóvil sin este.	La inercia del rotor es más alta que para los MIUG.
Calidad de la electricidad generada en operación aislada.	Mayores variaciones de voltaje y frecuencia que para arreglos de generadores síncronos estandar con equipos de control comparables.	El (RAV) en conjunción con el Controlador Electrónico de carga (CEC) ó gobernador mantienen el voltaje y frecuencia en un muy buen nivel.
Arranque de grandes motores.	El MIUG puede perder la excitación (interrupción del sistema).	Capacidad para cortos tiempos de sobrecarga permitiendo arranques en línea directa de grandes motores.

Tabla 4.2 Desventajas de el Motor de Inducción Utilizado Como Generador.

Cuando se ha determinado que la mejor opción es el utilizar un motor de inducción como generador, el motor debe de ser elegido adecuadamente ya que no todos los diseños de motores tienen un buen desempeño como generadores. Se ha encontrado que la construcción de las barras del rotor es probablemente el parámetro más importante para la correcta selección del generador. Lamentablemente los fabricantes indican muy rara vez el diseño de las barras del rotor de sus máquinas por lo que se tiene que identificar la máquina a través de criterios que Están en una u otra manera relacionados con el diseño de las barras.

La alta eficiencia, el menor deslizamiento a plena carga, la baja razón entre par de arranque y par máximo, la corriente de arranque, el bajo nivel de saturación, la alta velocidad síncrona nominal (menor número de polos). Son algunos criterios que pueden ayudar a hacer la mejor elección:

6. EL CONTROL Y PROTECCIÓN DE LA mch

La mch con Generador Síncrono La generación de corriente directa presenta ventajas evidentes en cuanto a su operación, control y protección. Los generadores de c.d. no están obligados a girar a una velocidad fija y se adaptan mejor que los generadores de c.a. a operar en caídas bajas y desnivel variable, bajo el mando de reguladores de velocidad mucho más simples y menos costosos y, a veces, con mayor eficiencia. El control del voltaje en un generador de c.d. puede realizarse de dos maneras:

- 1) Variando la velocidad del eje del generador.
- 2) Variando la corriente de excitación del generador mediante la variación de la resistencia del campo.

Por lo que un regulador relativamente simple es suficiente para controlar el voltaje de salida (en función de la velocidad y la corriente de excitación).

La mch con generador síncrono El generador síncrono es capaz de generar además de potencia activa, la potencia reactiva demandada para su magnetización y por la carga. El generador síncrono se puede ajustar a los cambios de la demanda de potencia activa o reactiva de la carga mediante el ajuste del flujo en la turbina y la corriente de excitación respectivamente. Cuando la demanda de potencia reactiva aumenta el voltaje en las

la corriente de excitación respectivamente. Cuando la demanda de potencia reactiva aumenta el voltaje en las terminales de generador se reduce, esta reducción es sensada por el (RAV), el cual incrementa la corriente de campo para compensar esta demanda y ajustar la tensión al valor nominal. En operación aislada el generador síncrono trabaja comúnmente sobreexcitado ya que debe de suministrar los reactivos demandados por la carga además de los que necesita para su propia magnetización.

La mch con generador de inducción Un generador de inducción requiere siempre de una fuente externa de potencia reactiva para establecer su campo magnético. En operación aislada esta fuente de potencia reactiva puede ser un banco de capacitores conectados en paralelo a la máquina de inducción. Generalmente la demanda de potencia reactiva varía con la carga conectada a el generador. Esto implica que el valor de los capacitores tenga que cambiar de acuerdo a las variaciones de la carga para mantener constante el nivel de voltaje. Por lo anterior el control de un sistema aislado en el que se utiliza una máquina de inducción como generador se vuelve más complicado que el control con un generador síncrono, el cual comúnmente tiene incorporado un regulador automático de voltaje (RAV). Los siguientes parámetros determinan la frecuencia y el voltaje de un generador de inducción operando en forma aislada; el control de estos parámetros de acuerdo a valores establecidos garantiza una buena calidad de la electricidad generada:

- a) Velocidad de la unidad generadora (generador y turbina).
- b) Demanda de potencia de los consumidores.
- c) Valor de la capacitancia conectada en paralelo a el generador de inducción.

La ventaja de menor inversión puede ser perdida si en la operación y control de la máquina de inducción no se adopta la misma filosofía de un bajo costo. La utilización de controles de velocidad y voltaje muy sofisticados y completos no tiene sentido en la mch con un generador de inducción ya que estos controles pueden representar hasta 10 veces el valor de la máquina de inducción (para máquinas de 10 Kw o menos), algunos enfoques simplificados pueden ser tomados para el control de el generador de inducción, aunque esto represente permitir una reducción (no muy considerable) en la calidad de la electricidad generada. Las siguientes opciones generalmente son aplicadas para máquinas de inducción utilizadas como generadores de energía eléctrica en forma aislada:

- a) Planta sin gobernador conectada a una carga constante.
- b) Gobernar manualmente la velocidad (flujo en la turbina) y el control de voltaje con la conexión a pasos (escalonada) de bancos de capacitores.
- c) Control de carga (censando el voltaje mediante un "Control de generador de inducción" (CGI) y dejando libre a pequeñas fluctuaciones la frecuencia).

Fallas eléctricas e irregularidades pueden ser causa del mismo generador o de su equipo auxiliar. En este caso los dispositivos de protección pueden desconectar la planta y alertar al operador. Las protecciones contra, sobrecarga y cortocircuito, sobre y bajo voltaje, sobrevelocidad, desbalance de fases, sobrecalentamiento en los devanados del generador y pérdida o reducción de excitación pueden ser considerados en mch, aunque siempre se debe considerar si la instalación de cada una de estas protecciones se justifica económicamente. La fallas producidas en las líneas de distribución de la mch pueden ocasionar daños al generador por lo que es importante considerar la protección contra descargas atmosféricas en las líneas. Para proteger contra estas sobretensiones se recomienda utilizar apartarrayos junto con supresores de pico de voltaje.

7. PEQUEÑOS CENTROS DE CONSUMO

La distribución de la energía a distancias considerables, representa una parte del sistema en la cual se presentan pérdidas significativas para la potencia generada. Por otro lado la adquisición de transformadores para mantener los niveles de voltaje de las líneas en niveles adecuados puede resultar una alternativa muy costosa. Una solución para afrontar el problema que puede causar la alta dispersión de la población y las grandes distancias que pueden existir entre la mch y el poblado en los proyectos de electrificación rural por medio de mch se pueden crear lo que hemos denominado como "*Pequeños Centros de Consumo*".⁶ Este concepto consiste en descartar la transmisión de la energía hasta el lugar donde se encuentran los consumidores, y en un área lo más cercana posible a la planta generadora, concentrar todas aquellos servicios eléctricos que sean útiles para la comunidad.

Con la implementación de estos centros de consumo se pueden tener las siguientes ventajas:

- a) Se evitan pérdidas por la transmisión de la energía eléctrica, aumentando así la eficiencia de todo el sistema.
- b) No es necesaria la construcción de una línea para llevar la energía hasta el lugar en que se encuentran los consumidores, reduciendo así la inversión.
- c) Se puede realizar una instalación eléctrica que no este expuesta a descargas atmosféricas o fenómenos naturales que puedan provocar fallas que afecten la continuidad del servicio.
- d) Las protecciones necesarias pueden ser menores que en otros casos.
- e) En el caso de que se contemple la necesidad de la distribución de la energía hacia consumidores distribuidos en una gran área, se puede recurrir a la carga de acumuladores mediante los cuales se transporte la energía hasta donde será empleada.

En el centro de consumo se pueden concentrar un gran número de servicios como son: Iluminación para las aulas escolares o lugares donde se encuentren las autoridades de la comunidad, operación de equipo para: molinos de granos, secado de productos perecederos, refrigeración de alimentos y medicinas, bombeo de agua, talleres de carpintería, herrería, entre otras muchas aplicaciones.

8. REPARACIÓN DE LA MICROCENTRAL DE YERBA SANTA

La mch de Yerba Santa esta situada en una zona rural denominada como la Montaña en el Estado de Guerrero, la topografía de la región es muy accidentada. La mch da servicio a una población de aproximadamente 500 habitantes. Tiene una capacidad instalada de 15 kW mientras que la demanda máxima de la población es de 9 KW.

Instalación: La presa se construyo aprovechando la formación de una poza en el arroyo para crear un pequeño embalse, parte de su cortina esta hecha de mampostería y de ella sale la tubería de presión que esta formada por tubos de PVC para llegar aguas abajo hasta la casa de máquinas, es una construcción sencilla de tabique y mampostería con techo de láminas. En el interior se encuentra alojada una turbina Pelton de dos toberas la cual aprovecha una carga neta $H_n = 22$ m. y un caudal aproximado de $Q = 120$ litros/s, esta turbina tiene un gobernador electrónico. La turbina esta acoplada por medio de una polea en V a un generador síncrono sin escobillas con las siguientes características: 15 KW, 220V, 3Ø, 1800 rpm., 60 Hz. y aislamiento clase F. La línea de transmisión tiene una longitud de 800 m. desde la casa de máquinas hasta el poblado.

Descripción del Problema: La mch entro en funcionamiento 1991 y opero adecuadamente por un periodo de 2 años hasta que una descarga atmosférica sobre la línea de transmisión afecto el regulador automático de voltaje (RAV); se remplazo el regulador y la planta volvió a operar hasta que otra descarga nuevamente afecto a la línea averiando esta vez además de el regulador a el gobernador, generador e interruptor general de la microcentral.

Análisis de las Fallas: Ante todos estos problemas se nos encargo la tarea de hacer el proyecto de reparación de esta mch. De este modo ejecuto una revisión de toda la instalación (línea de transmisión, obra civil y equipo electromecánico) y se procedió a hacer las mediciones pertinentes en los equipos. De esta manera se encontró que el generador, (RAV), e interruptor general presentaban serios daños. La reparación del generador en el mismo sitio resultaba prácticamente imposible, ante esta situación se recomendó sacar el generador del lugar para una revisión más especializada y analizar la opción de repararlo, comprar uno nuevo o utilizar otro sistema diferente (por ejemplo un generador de inducción). Por otra parte se detecto que en interior de la casa de máquinas existía una humedad excesiva que se introducía por unos huecos en el techo y una ventana debido a que por estar muy cerca de una cascada el rocío de esta se depositaba en el interior afectando a los equipos.

Causas del Problema: El origen de las fallas fue causado por una mala instalación de los apartarrayos que supuestamente deberían de proteger al equipo contra descargas atmosféricas. Estas descargas afectaron principalmente a el equipo electrónico (gobernador y regulador). Otros factores que influyeron en la incidencia de las fallas fue la falta de pericia en la operación de la mch y la exposición a la humedad de el equipo.

Solución del Problema:

1. Reforzamiento de el sistema de tierras y reinstalación correcta de apartarrayos.
2. Reparación de el generador e instalación de un nuevo regulador de voltaje de excelente calidad.
3. Instalación de supresores de picos e interruptores termomagnéticos a el equipo electrónico.

4. Clausura de huecos y construcción de un techo de concreto para evitar el paso de la humedad.
5. Se diseñó un volante de inercia para suavizar los disturbios que se producen ante variaciones en la carga eléctrica, suministro de agua y pérdida total de la carga alimentada.
6. Se capacitó a los operadores de la planta en la operación, control, mantenimiento.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del desarrollo de todo este trabajo podemos concluir lo siguiente:

- ♦ Las microcentrales hidroeléctricas representan una opción viable para la electrificación de pequeñas comunidades rurales apartadas que dispongan de los recursos hidráulicos mínimos para la generación de electricidad. De esta manera se hace posible el suministro de electricidad sin el empleo de grupos electrógenos diesel de gran costo.
- ♦ Actualmente existen oportunidades de aplicación de estos pequeños sistemas en nuestro país, ya que el nuevo marco jurídico en materia de autoabastecimiento eléctrico favorece a la implantación de estos sistemas.
- ♦ Las mch no contaminan la atmósfera o los cuerpos de agua y el impacto visual en el paisaje es mínimo.
- ♦ Es importante que los organismos gubernamentales desarrollen mejores políticas energéticas que contemplen el uso de las mch, ya que la instalación de la electricidad en los asentamientos humanos lleva consigo importantes beneficios sociales como la mejora de los servicios médicos, educativos y de comunicación entre otros.
- ♦ Las mch tienen la ventaja de poder utilizar elementos no convencionales que las hacen confiable y económicamente viables; por ejemplo: la utilización de materiales locales para la construcción de las obras, el uso de tuberías de PVC en lugar de acero, bombas utilizadas como turbinas ó los motores de inducción usados como generadores.
- ♦ Se debe contar información adecuada para la selección de turbinas que se pretende instalar en una mch.
- ♦ Se debe considerar la alternativa de concentrar las cargas eléctricas en un lugar cercano a la mch ya que de otro modo, el transporte de la electricidad generada podría resultar muy caro y poco práctico.
- ♦ Pueden establecerse redes autónomas regionales de microcentrales y cuando la red nacional de electricidad se extienda a la zona servida por la red regional, puede ser posible su conexión a la red nacional.
- ♦ Para que estos proyectos triunfen y puedan llegar a una verdadera autodeterminación y control local es indispensable la participación de la gente en las diferentes partes del proyecto, además de brindar a los pobladores una adecuada asistencia y capacitación tal como personalmente pudimos comprobar en las comunidades que visitamos.

REFERENCIAS

- ¹ Angeles Aguilar Víctor H. y Espino Cortes Fermín P.
"Microcentrales Hidroeléctricas Para Pequeños Centros De Consumo"
Proyecto Terminal de Ingeniería Eléctrica. UAM-A, 1995, p. 1-2.
- ² Ferrán Riquelme Flavio, "Micro-Minicentrales Hidroeléctricas:
Una Opción para el Uso Racional de La Energía", Instituto de
Investigaciones Eléctricas, División de Estudios de Ingeniería, s/f, p. 160.
- ³ "Manual de Microgeneración Hidráulica", Instituto de Investigaciones
Eléctricas, División de Fuentes de Energía, p. 5.
- ⁴ Carol Hupping Stoner "Cómo Usar Las Fuentes de Energía Natural"
Ed. Diana. p. 110-113.
- ⁵ Adaptada de Bundesamt für Wasserwirtschaft:
Kleinwasserkraftwerke in der Schweiz, Part I, 1983.
- ⁶ Ibidem 1, p. 187-189.

NUEVAS TECNOLOGIAS PARA LA REDUCCION DEL USO DE COMBUSTIBLES FOSILES EN AUTOMOVILES

ALDO MAYA VIOLANTE Y RUBEN DORANTES RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA, UNIDAD AZCAPOTZALCO

Departamento de Energía

Av. San Pablo No. 180, Col Reynosa Tamaulipas, 02200 México, D.F.

Tel. 723 5939 y 724 4258, Fax. 394 7378 y 382 3081

RESUMEN

Las nuevas tecnologías desarrolladas para la reducción del uso de combustibles fósiles en automóviles se pueden caracterizar por la manera en que estas tratan de reducir el consumo de los energéticos. En la búsqueda de estas tecnologías para el ahorro de éstos, se suma el problema ambiental que, aunque no sea el tema de esta exposición, resulta determinante para evaluar la eficacia de algún tipo de tecnología. El desarrollo de tecnologías en este campo ha seguido tres tendencias básicas. Primero, el aumento en la eficiencia de los motores de combustión interna, el cual consiste en el control y monitoreo constante del funcionamiento de estos motores con el fin de poder determinar el consumo, estrictamente necesario del motor, de acuerdo a sus condiciones de carga. Segundo, el desarrollo de sistemas que usen combustibles alternos, como es el caso de los vehículos híbridos, que emplean turbinas que puedan funcionar con estos combustibles. Tercero, el desarrollo de sistemas eléctricos de propulsión y regeneración de energía evitando usar combustibles fósiles. Se podría hablar de una cuarta tendencia, la cual consiste en determinar la mejor manera de controlar y usar el transporte de modo altamente eficiente, tratando de disminuir el consumo de energéticos y aumentar el ahorro de tiempo en transporte, con todos sus beneficios implícitos. El presente trabajo tiene como propósito responder a estas cuestionantes a partir de una revisión detallada de las principales innovaciones tecnológicas desarrolladas por las principales armadoras a nivel mundial, como BMW, Mercedes Benz, Ford, etc., preocupadas por sacar al mercado mejores vehículos que consuman menos o nada de combustibles fósiles y que, al mismo tiempo, cumplan mejor con las cada día más estrictas normas en materia de contaminación ambiental. A partir de estas innovaciones se plantean las ventajas y desventajas de cada una de ellas, haciendo un especial énfasis en las tecnologías que, a nuestro juicio, serán las más convenientes por impulsar en los próximos años, de acuerdo con nuestra realidad nacional.

INTRODUCCION.

En los últimos 10 años el sector transporte se ha convertido en el principal consumidor de energía primaria y en el principal importador de energía en nuestro país [1]. En 1993, este sector superó en consumo al sector industrial con un 18%, al sector terciario con un 68% y al sector agropecuario con un 1435%. Si tomamos en cuenta que en estos últimos años el PIB no ha crecido en la misma proporción, por lo tanto el creciente consumo de energía del sector transporte solo es atribuible a la ineficiencia con la que opera este sector. Por ejemplo, en 1993 el consumo de energía de este sector fue: autotransporte 91.6%, aéreo 6.4%, ferroviario 1.6%, eléctrico y marítimo con 2% cada uno. A partir de esta información es claro que son las gasolinas y el diesel los combustibles secundarios de mayor demanda en nuestro país, siendo además la gasolina el energético de mayor importación (aproximadamente 18% de la oferta total de gasolinas).

Las cifras anteriores muestran que hay mucho por hacer en vías de diversificar el transporte masivo en nuestro país, de incrementar las eficiencias terminales de cada subsector, de hacer propuestas claras en materia de disminuir los fuertes impactos sociales y ecológicos derivados de la contaminación ambiental y disminuir los cada vez más elevadas importaciones de energéticos (gasolinas y combustóleo, principalmente).

Estando entendido que es el autotransporte el sector que presenta el mayor reto en cuanto a su efficientización resulta importante analizar las tecnologías que actualmente están en desarrollo en el mundo y cuyo objetivo es la reducción del consumo de combustibles fósiles. Esta información nos permitirá reflexionar sobre cual o cuales de estas tecnologías pueden ser las más adecuadas para el desarrollo futuro de nuestro transporte.

EFICIENCIA DE UN AUTOMOVIL CONVENCIONAL PROMEDIO

En un automóvil convencional, las pérdidas de la energía disponible están dadas por los siguientes factores (figura 1): pérdidas en accesorios 2.2 %; pérdidas aerodinámicas 2.6 %; pérdidas en estado de espera 3.6 %; pérdidas por rodamiento 4.2 %; pérdidas por transmisión 5.6 %; pérdidas por frenado 5.8 %; pérdidas en

WHERE THE ENERGY GOES

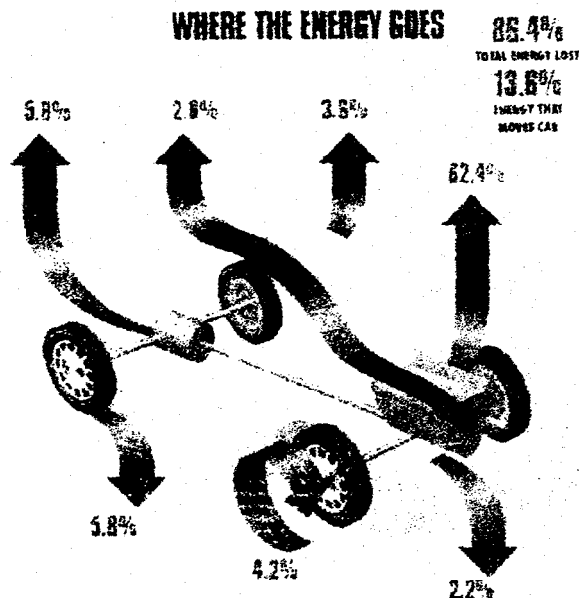


Figura 1. Pérdidas de Energía en un automóvil convencional

el motor 62.4 %, lo que significa que la energía total que pierde un auto es del orden del 86.4 %. Lo que resta de la energía disponible, 13.6 %, es utilizado para impulsar el vehículo. Esta realidad ha sido el punto de partida para el desarrollo de nuevas tecnologías para la reducción del consumo de combustibles.

CONTROL ELECTRONICO DE MOTORES

De las primeras opciones que se tienen para la reducción de combustibles es aumentar el rendimiento de los motores de combustión interna, esto se ve reflejado en el mejoramiento de sus componentes, entre ellos los sistemas de inyección de combustible. Este sistema es importantísimo ya que al poderse controlar, considerando las condiciones de funcionamiento del motor bajo las condiciones a las cuales se encuentra el automóvil, es posible determinar las características de funcionamiento de este sistema. El control de este sistema en base a las características de funcionamiento del motor es importantísimo porque se puede obtener un menor consumo de combustible y aceite, así como una mayor duración del motor y variación de la potencia, en el caso

de motores diesel. El control del sistema de inyección involucra el uso de microprocesadores que reciben información de sensores, los cuales se monitorean: velocidad del vehículo, relación de transmisión, presión atmosférica, presión de aceite, presión de líquido refrigerante, temperatura en el motor, consumo de combustible, etc.

Al mismo tiempo que se consideran las características del automóvil, como lo son el tipo de llantas, el tipo de transmisión y de los demás elementos que conforman al vehículo, se analizan las condiciones del camino, que intervienen para determinar las condiciones de funcionamiento de los sistemas de inyección.

El empleo de estos motores controlados electrónicamente implican la existencia de herramientas de monitoreo, que forman ya parte del vehículo, y otras de carácter externo que son las de diagnóstico, que permite verificar el estado de los componentes del automóvil, y así mejorar su mantenimiento.

En México se han hecho pruebas de motores diesel controlados electrónicamente, y se ha visto que se pueden tener ahorros considerables.

Por ejemplo, para una ruta específica, un tractocamión en un año recorre 180,000 km y con tres motores diferentes se obtuvieron los siguientes rendimientos: 1) 1.56 km./lt., 2) 1.45 km./lt., 3) 1.33 km./lt. En base a esto, el ahorro del primero respecto del segundo fue de 8,753 lt. y el ahorro del segundo respecto del tercero fue de 19,954 lt. Esto en términos monetarios representó un ahorro de N\$ 16,193.00 y N\$ 36,914.00 respectivamente; y si hablamos de una flota de 50 tractocamiones estamos hablando de un ahorro anual de N\$ 809,650 y N\$ 1,845,700 nuevos pesos, respectivamente, es decir que el dueño podría comprar con estos ahorros hasta 4 tractocamiones nuevos [8].

ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS. EL CASO DE BMW.

Esta empresa cree que es posible cubrir las necesidades planteadas por estos tiempos. Ellos están en la búsqueda de diferentes alternativas en todos los campos que sean factibles, por lo que hacen labor de investigación y desarrollo para establecer proyectos que les permitan aprovechar lo más posible un sistema de propulsión más eficiente.

Empezando por la reducción de combustible convencional, la empresa se ha preocupado por que sus motores sean lo más eficientes posibles, buscando que el consumo de sus motores llegue a los 3.9 L/100 km. y que toda su línea de motores llegue a estar por debajo de los 10 L/100 km. Para tal efecto, también se han diseñado nuevos motores de 3 cilindros, a gasolina y diesel; el de gasolina presenta una salida de 60 kW, un torque máximo de 116 N.m a 3500 r.p.m., y tiene 4 válvulas por cilindro, lo mismo que el diesel, que además tiene inyección directa, y basándose en un vehículo de 800 kg. este motor tiene un rendimiento de 3.5 a 4.1 L/100 km., con un funcionamiento intermitente. Este pequeño diesel acelera a un auto pequeño de 0-100 km/h en 13.8 segundos y a una velocidad tope de 167 km/h.

Pero en la reducción de consumo de combustible influyen otros factores como lo son el coeficiente de arrastre, del cual 40 % se debe a la carrocería, una parte semejante en la parte inferior y el resto en el flujo de aire que pasa a través de la parte inferior de las ruedas y los guardafangos, los que aportan un 75 % del arrastre en esta parte, de modo que la serie 7 se ha diseñado de forma tal que ha permitido la reducción del consumo de combustible en un 3.5 %. La reducción de la resistencia al rodamiento en un 30 %, aporta una mejora del 4 % en el consumo.

BMW se ha preocupado por el mejoramiento de combustibles y ha hecho experimentos con 26 tipos diferentes de combustibles en 34 vehículos demostrando que en cada uno de estos, las emisiones de salida del motor difieren significativamente y en 1994 manufactureras de autos y combustibles, iniciaron un programa de investigación técnica denominado **PROGRAMA EUROPEO EN TECNOLOGÍA PARA EMISIONES, COMBUSTIBLES Y MOTORES**. En este programa, Suecia se ha dedicado al reformulamiento del diesel de tipo Clase I del cual BMW cree que puede ofrecer un gran potencial en la reducción de emisiones. También BMW trabaja con Shell en la reformulación de combustibles, y a lo que han llegado es que al reducir la emisión de un contaminante, se incrementa otro, pero han llegado al MTBE metil-terciario-butil-éter que conteniendo oxígeno presenta un reducción del CO₂, manteniendo los demás contaminantes a un nivel semejante al del combustible convencional, esto es importante, pero debido a su gravedad específica menor, resulta que su consumo volumétrico es mayor, lo que resulta indeseable. Pero aun así, siguen en esta línea y esperan tener algún resultado favorable al cambio de siglo.

También BMW ha incursionado en combustibles alternativos, así como en desarrollos con gas natural, pero ha encontrado que es necesaria una infraestructura en los "lugares de abastecimiento" y la amortización de costos es esencial para el éxito de estos vehículos, así como el diseño adecuado de los tanques para estos vehículos, lo hace mas complejo el problema.

Durante años BMW ha trabajado en motores de hidrógeno líquido, pero el problema para estos ha sido el diseño del tanque. Para ello, se ha auxiliado del Instituto Alemán de Investigación Aeroespacial, para el desarrollo de un tanque, cuya capacidad es de 140 L, que resulta equivalente a 40 L de gasolina. Usando oxígeno e hidrógeno puede generar la suficiente energía para generar electricidad y mover un vehículo eléctrico, con menos combustible que un motor de combustión. Esto es claro, si se tiene que una batería de celdas de combustible, con una salida de 0.2 kW, desarrolla una eficiencia del 50 %, contra una máxima

teórica de un motor diesel que resulta del 44%. Entre las desventajas del uso de las celdas esta el control de la compresión y humidificación del aire, lo mismo que su enfriamiento, los que consumen mucha energía, además de que estos sistemas pesan mucho. A pesar de esto, BMW es optimista y conjuntamente con una empresa en la cual tiene parte, Solar-Wasserstoff-Bayern (SWB), se buscan nuevas alternativas para estos sistemas.

Por otro lado BMW ha trabajado en propuestas de vehículos eléctricos, ya que esta empresa considera que para un vehículo de ciudad, un rango de 200 km. resulta bastante adecuado, con una velocidad tope de 120 km/h y una capacidad de 300 L, además de cumplir con todas las especificaciones de seguridad. Lo que preocupa a BMW para el desarrollo de estos vehículos no es tanto el motor o el vehículo en sí, sino las baterías que darán energía a estos vehículos, pues dependiendo de sus características se pueden usar bases estructurales de vehículos existentes o si no, se tendrá que diseñar una estructura adecuada para estos vehículos.

Debido a esto, la empresa se ha preocupado también por los sistemas híbridos de propulsión, que considera que tienen un gran potencial. BMW tiene dos propuestas para estos sistemas: **PARALELO**: En este sistema el motor eléctrico y el

motor de combustión trabajan en paralelo en el tren de transmisión. **SERIE**: En este el motor de combustión esta acoplado al generador y este al motor eléctrico que esta en el tren de transmisión. Ambas propuestas están en desarrollo. A la fecha BMW tiene un sistema en paralelo para un modelo 518i, en el que ambos motores proporcionan un torque de 295 Nm, a solo 1700 r.p.m.

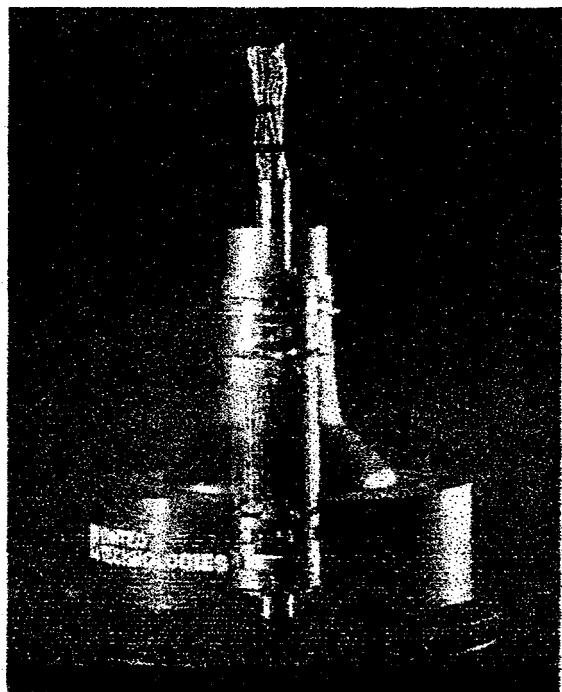


Figura 2. Volante de Inercia experimental

BMW a la fecha también se preocupa también por sistemas de generación de energía con un acumulador de volantes de inercia (figura 2), manufacturados como termoplásticos, con fibra de carbono y vidrio y con rodamientos híbridos, los cuales combinan rodamientos con imanes permanentes y electroimanes, que pueden correr sin contacto o desgaste.

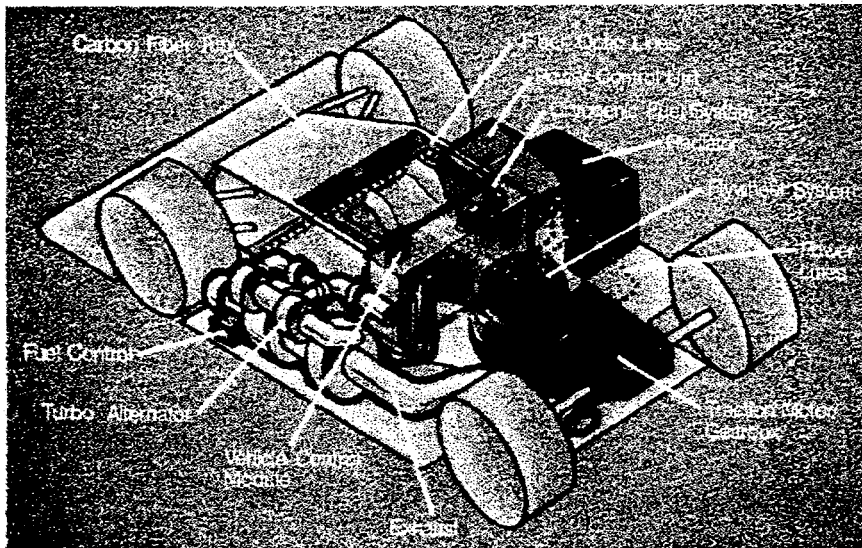


Figura 3. Esquema general del Patriot

el sistema de suspensión y dirección. La tracción se la da un motor eléctrico de inducción de corriente alterna, con una velocidad de 24,000 r.p.m. como velocidad tope, y se espera que pueda superar los 320 kph. Lo interesante es el controlador del vehículo que coordina la acción de la turbina/alternador, volante de inercia y motor de tracción. Este controlador administra y selecciona las fuentes de potencia para el motor y volante de inercia. Un fuerte impacto en los frenos, activa el volante de inercia como una unidad temporal de almacenamiento de energía, la que es usada para acelerar, por ejemplo al salir de una curva. Este sistema resulta ineficiente cuando el vehículo se mueve a velocidades constantes, pero éste es más adecuado para casos en los que se tiene que frenar y acelerar, como es el caso de las grandes ciudades.

PATRIOT

Por otro lado, CHRYSLER ha diseñado un vehículo híbrido, no para ahorrar combustible, sino para aceleración y velocidad. El sistema propuesto (figura 3) comienza con una turbina a gas licuado que mueve dos alternadores; este sistema turbina/alternador pesa 86.2 kg. y genera corriente alterna, la cual se conmuta entre el motor y el volante de inercia, este último pesa 66.7 kg. aproximadamente, puede girar alrededor de 58,000 r.p.m. y esta montado sobre una especie de giróscopo que le permite girar independientemente del chasis del auto, lo que previene de cargas sobre

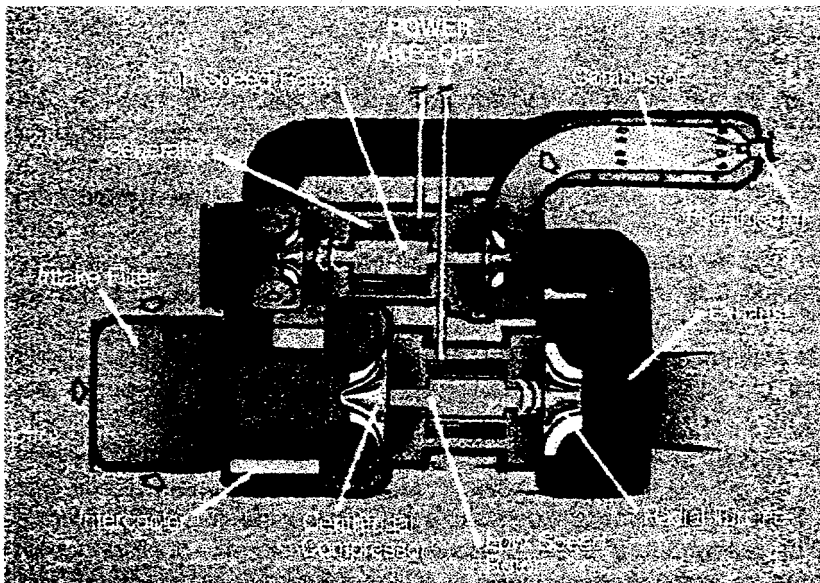


Figura 4. Esquema del Turbo Alternador

por el compresor de baja velocidad, incrementando la presión y temperatura del aire, lo suficiente para dar ignición al combustible y así poder mover la turbina de alta velocidad, luego la de baja velocidad y finalmente salen los gases de combustión. Este sistema tiene la ventaja de que con una selección adecuada de

EL TREN MOTRIZ HIBRIDO-ELECTRICO.

El sistema de potencia consiste en 4 elementos. 1) una turbina de gas, 2) alternador de corriente alterna a alta frecuencia, 3) un volante de inercia de fibra de carbono y 4) un motor eléctrico que funciona como generador. Este sistema fue diseñado para liberar 370 kW. En la tracción de las ruedas traseras va el motor eléctrico. La turbina/alternador genera 185 kW y una densidad de energía de 4.3 kW/kg, con un consumo de combustible de 3.1 kg/kWh.

EL TURBO ALTERNADOR

En la figura 4 se presenta un turboalternador donde se puede observar su funcionamiento, que inicia tomando aire

combustibles puede producir bajas emisiones contaminantes. Con altas velocidades, implica que se necesitan componentes pequeños para producir la potencia necesaria, además de que así puede ser mas versátil. Por su sencillez se necesitan pocos elementos, además que al tener rodamientos sin contacto se evita el desgaste, aumentando la vida útil. Al ajustar las espreas (o toberas) de la turbina se pueden usar diferentes tipos de combustible dependiendo de cual sea el de uso más económico.

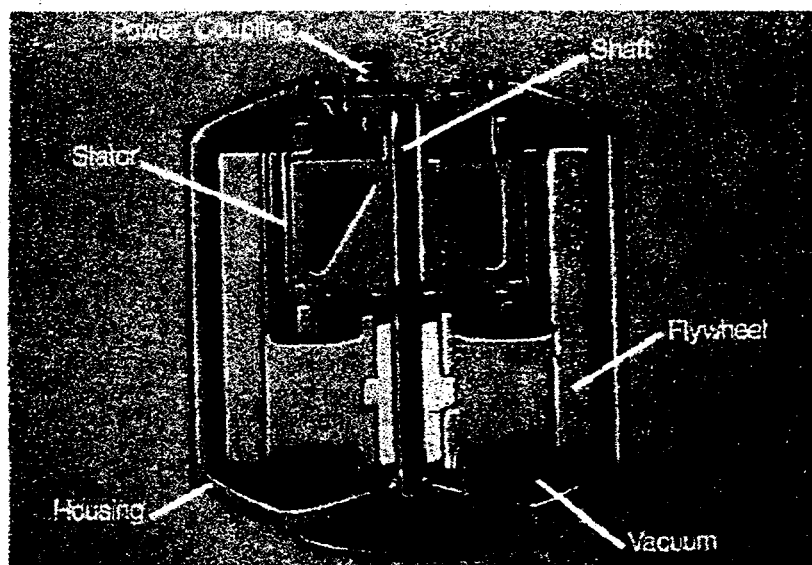


Figura 5. Esquema del Volante de Inercia en el Patriot.

EL VOLANTE DE INERCIA

Este es un volante de alta velocidad con un motor/generador (figura 5), un sistema de soporte con rodamientos y un contenedor al vacío. Este funciona como una batería pudiendo dar hasta 4.3 kWh de energía; gira a 6000 r.p.m. y pesa 57 kg. y este es administrado por el controlador que le dice cuando actuar y cuando no.

EL MOTOR ELECTRICO

Este tiene una potencia de 370 kW (496 hp), esta acoplado a las ruedas traseras y le da energía al volante de inercia, en el modo de generador, cuando el vehículo enfrena. El motor presenta una densidad de 10 kW/ kg, con una eficiencia

del 97 %, con un uso de materiales de alto desempeño, debido al cuidadoso diseño de circuitos magnéticos. Las máquinas eléctricas están diseñadas para operar a 800 volts, con el fin de poder usar los controladores de alto voltaje. La topología de alta densidad, junto con un innovativo esquema de enfriamiento, puede crear una potencia de entrada en exceso de 1 MW en un paquete de 29.5 kg. Se espera que este sistema de propulsión pueda proveer 110 kW (147.5 hp) y tener una masa de 90 kg. y cumplir con las normas de emisiones contaminantes ultrabajas del estado de California. Con lo anterior, se puede decir que lo más adecuado a corto plazo, en base a las necesidades de las ciudades, es un auto híbrido.

GENERAL ELECTRIC ORION VI



Figura 6. Ciclo Modificado para Autobuses en Nueva York.

Este es un autobús híbrido producido en serie que se ha desarrollado para las condiciones de operación de un autobús normal para la ciudad de Nueva York. Lo interesante de este autobús es que considera varios aspectos, entre ellos, el que sea un autobús exclusivo para esta ciudad, para lo cual considera el ciclo típico de los autobuses en esta ciudad, que sea de piso bajo, es decir, a 30 cm. del suelo; esto es posible lograrlo, debido a la interesante configuración de su sistema, al tener un motor en cada rueda, lo que le permite entonces reducir peso, pues ya no necesita de transmisión ni diferencial. El ciclo de autobuses es en realidad una gráfica que muestra las variaciones de la velocidad respecto del tiempo (figura 6.).

El ciclo de potencia del mismo es muy sencillo (figura 7), cada rueda esta conectada a una transmisión única, que se encuentra a la vez acoplada a un motor eléctrico compacto de 75 kW de corriente alterna, esto hace un sistema de 200 kW. Cada motor se encuentra acoplado a un inversor, que se encarga de invertir el giro del motor y generar energía eléctrica que va a las baterías de Níquel-Cadmio. En la parte de atrás se tiene la planta de energía que alimenta a las baterías y este es un motor diesel que tiene acoplado un generador y éste a su vez a un rectificador.

Luego se encuentra el controlador del sistema que maneja el funcionamiento de cada uno de los componentes del sistema de potencia, el cual se concibe de forma modular. Actualmente para todos los vehículos eléctricos

se plantea la necesidad de desarrollar elementos modulares que puedan permitir una intercambiabilidad de los componentes de los sistemas de potencia, como es el caso del inversor.

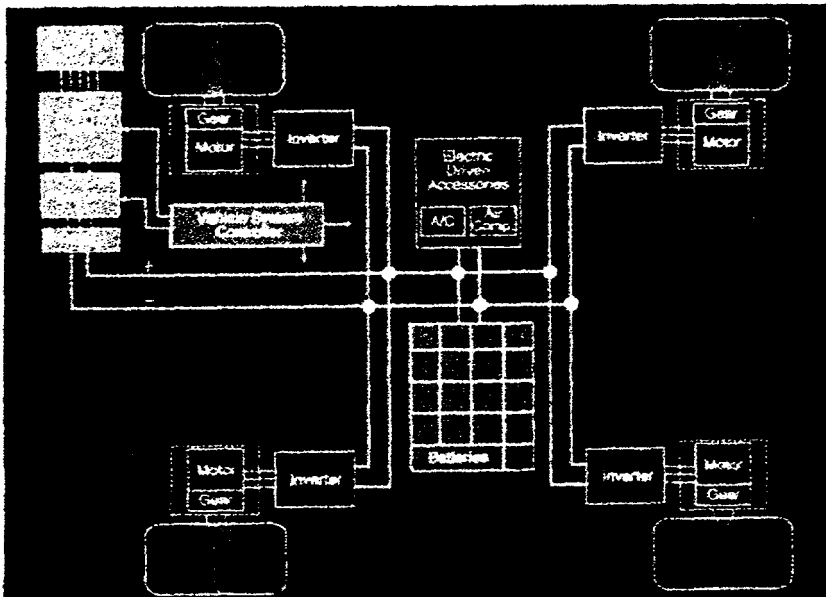


Figura 7. Esquema del Ciclo de Potencia del autobús ORION VI de General Electric.

proceso de electrólisis, usando energía de una unidad de almacenamiento para reconvertirla en hidrógeno e introducirlo otra vez.

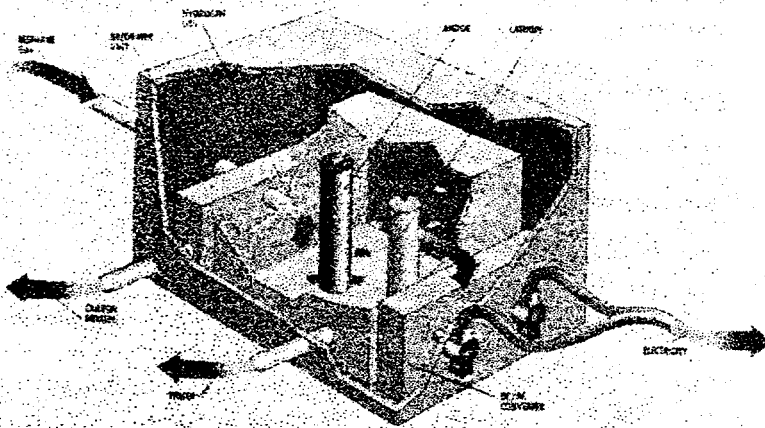


Figura 8. Esquema de una Celda de Combustible de Intercambio de Protones por Membrana

eléctrico una autonomía de 300 millas (482.7 km.). Este arreglo costará 5000 dólares, en comparación con el rack de baterías del impact que costará \$ 2000 dólares, y que se necesita cambiar cada 2 años. Estos volantes se pueden usar como unidad de almacenamiento intermedio en vehículos híbridos, ya que este almacena la energía del giro de las ruedas mientras el vehículo frena, para usarla después al acelerar.

CONTROL DE TRAFICO

Este control se plantea por los problemas del exceso de automóviles que existe en las grandes ciudades del mundo, como lo pueden ser las ciudades de Londres, Munich, Amsterdam, Nueva York o México. Los principales problemas que acarrea esta situación son: el decremento en la eficiencia del transporte y el incremento del consumo de energéticos, entre los más importantes, por lo que se han hecho esfuerzos por tratar de dar solución a este problema, principalmente a de la eficiencia del transporte, lo que lleva

LA SOLUCION DE LA CELDA DE COMBUSTIBLE.

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten oxígeno e hidrógeno en electricidad (figura 8); existen cinco tipos de éstos, pero de los que más prometen son los de membrana para intercambio de protones. Esta celda consiste de electrodos hechos de una delgada membrana polimérica, que en forma de sandwich, se encuentra entre electrodos de platino poroso tratadas. El hidrógeno para las reacciones eléctricas tienen lugar en las membranas de intercambio para protones. La reacción con O₂ libera agua. Las celdas también pueden alimentarse con metano o metanol, produciendo CO₂, en su mayoría, y algo de NO_x.

Existe una celda que es regenerativa, al reciclar agua por un

VOLANTES DE INERCIA

Comparados con baterías convencionales de Pb-ácido, pueden recargar más y no usan compuestos químicos peligrosos y toleran cualquier temperatura extrema. Un pulso eléctrico, activa los imanes que hacen girar al volante de inercia. Los volantes o el volante continua girando en una carcasa al vacío y es cuando este comienza a almacenar energía, girando sobre rodamientos, casi sin fricción. Estos pretenden sustituir las baterías. Se pretende usarlos en un vehículo sin baterías, y que estos giren a 200,000 r.p.m. y se pretende que almacenen 43.5 kWh de energía, dando a un vehículo

inherentemente a la reducción del uso del combustible. Existe varios programas, entre los varios existentes en Europa, como el programa PROMETHEUS, o el proyecto "Munich COMFORT" (Cooperative Management For Urban and Regional Transport), que significa (Administración Cooperativa para el Transporte Urbano y Regional), el cual se encuentra en prueba en la parte norte de Munich. Este proyecto implica la cooperación de los diferentes medios de transporte y de sus respectivas ventajas, como lo puede ser la capacidad del transporte público para mover grandes cantidades de personas en ciudades altamente pobladas, y así de cada uno de ellos, por lo que el objetivo primordial del Munich COMFORT es optimizar el uso de los diferentes medios de transporte. La filosofía del proyecto parte de la tesis de que todo viajero debe estar bien informado, y conocer los pormenores del viaje, antes de éste y durante el trayecto.

TRANSPORTE PÚBLICO (INFORMACIÓN Y ADMINISTRACIÓN)

Este consiste en tener un control del transporte público mediante un monitoreo constante, lo que permite realizar tablas de tiempo que permiten a los habitantes obtener las rutas más adecuadas para llegar a su destino, simplemente con la introducción de la ubicación en la que se encuentran y al lugar donde quieren llegar, con el nombre de la calle y número. A la fecha, estos módulos de información se encuentran en funcionamiento y están conectados al Centro de Información para el Transporte Público, el cual, en caso de algún accidente, por ejemplo, hace que las tablas de tiempo se modifican automáticamente y pueden indicar una ruta alternativa, en caso de la necesaria interrupción del servicio en algún lugar. Además de que éste servicio puede usarse a través de módem y una PC.

P+R

Esto es la abreviación de "Park-and-Ride", el cual es un sistema que permite "cambiar" el auto, por un lugar en el sistema de transporte público. Esta es una opción que se les ofrece a los automovilistas, ofreciéndoles la oportunidad de no perder tiempo buscando un lugar para estacionarse y contribuir al mejoramiento del ambiente. El propósito de este sistema es hacer el cambio lo más rápido y práctico posible, y para lograrlo se ha colocado una estación del tren subterráneo a las afueras de Munich, con capacidad para alojar a 1270 autos y 80 autobuses. En este lugar se da la información de los lugares que quedan, además de información relativa a la saturación de los accesos a la ciudad y el tiempo estimado a determinados lugares que se usan como referencia. Es claro que también esto se encuentra conectado a la red de información para Transporte, y entre otras cosas, también el sistema P+R puede indicar a los automovilistas donde dejar sus autos en los lugares más cercanos a donde van. Hasta ahora los resultados obtenidos han sido muy satisfactorios.

CONTROL DE TRÁFICO URBANO Y REGIONAL.

Este se hace monitoreando el flujo de automóviles en las carreteras, avenidas y calles del norte de Munich y usando sistemas que permitan optimizar el funcionamiento de las señales de tránsito con un sistema denominado BALANCE (BALancing Adaptive Network Control mEthod), el cual dependiendo de la intensidad del flujo de autos, maneja la prioridad de paso en las señales reduciendo el tiempo de espera para cruzar una avenida. Otro sistema permite el monitoreo de incidentes (AIDA, Aitpmatic Incident Detection Algorithm), que permite analizar las condiciones del flujo de autos para desviarlos por rutas alternativas en caso de alguna obstrucción.

El monitoreo se hace con sensores que miden la velocidad y el total de tráfico generado a lo largo de Ingolstädter Strasse y las carreteras en los alrededores de Munich, y si el sistema detecta que se puede diversificar el flujo a través de Ingolstädter Strasse, las señales variables en la carretera la señalan como ruta alternativa. Para hacer esta señalización se analizan los flujos de las dos vías.

En cuanto al tráfico regional se utiliza el sistema VARIA, acrónimo en alemán para " Relaciones para Control de Rutas Alternativas en la Red de Carreteras "y se basa en el detallado análisis para poder realizar el control del tráfico de autos. Además de poder simular situaciones para determinar una estimación de los efectos.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN A BORDO (EURO-SCOUT)

Este es un dispositivo que permite el intercambio de información entre las señales de tránsito y el vehículo para ser incorporados, de forma anónima, al centro de control de tráfico y así es como las computadoras pueden medir las condiciones de tráfico para ser analizadas y poder determinar las acciones

para su control. Este sistema le permite al conductor recibir información del centro de información y en caso de que al arribo a su destino sea más rápido usando el transporte público, se le recomienda al usuario usar el sistema Park-and-Ride.

El RDS/TMC (Radio Data Sistem /Trafic Message) o Sistema de Información por Radio para Mensajes de Tráfico es un sistema donde el conductor recibe información del tráfico que afectan su ruta, a través de su radio mediante frecuencias inaudibles, incluso para las estaciones de radio, de modo que el usuario puede desplegar los mensajes en el display del aparato, o incluso después de ser descifradas, convertirlas en voz. Este sistema puede ser actualizado por la policía, de modo que así aumenta su velocidad de respuesta ante determinadas situaciones.

TRABAJO EN RED

Este consiste en la recopilación de información por los diferentes medios antes mencionados, y cada uno de ellos aporta información la cual es procesada en el Centro de Control (SSC Strategy and Service Center) el cual esta constituido por: a) Transporte de Larga Distancia y Regional, b) Tráfico de la Ciudad, c) Transporte Público (figura 9). Estos procesan la información que vienen de las diferentes partes del sistema de transporte, como los son las señales de tránsito, de las terminales P+R, aeropuertos, carreteras etc. y una vez procesada envía la información de regreso, para que los usuarios pueden tomar las precauciones y medidas pertinentes.

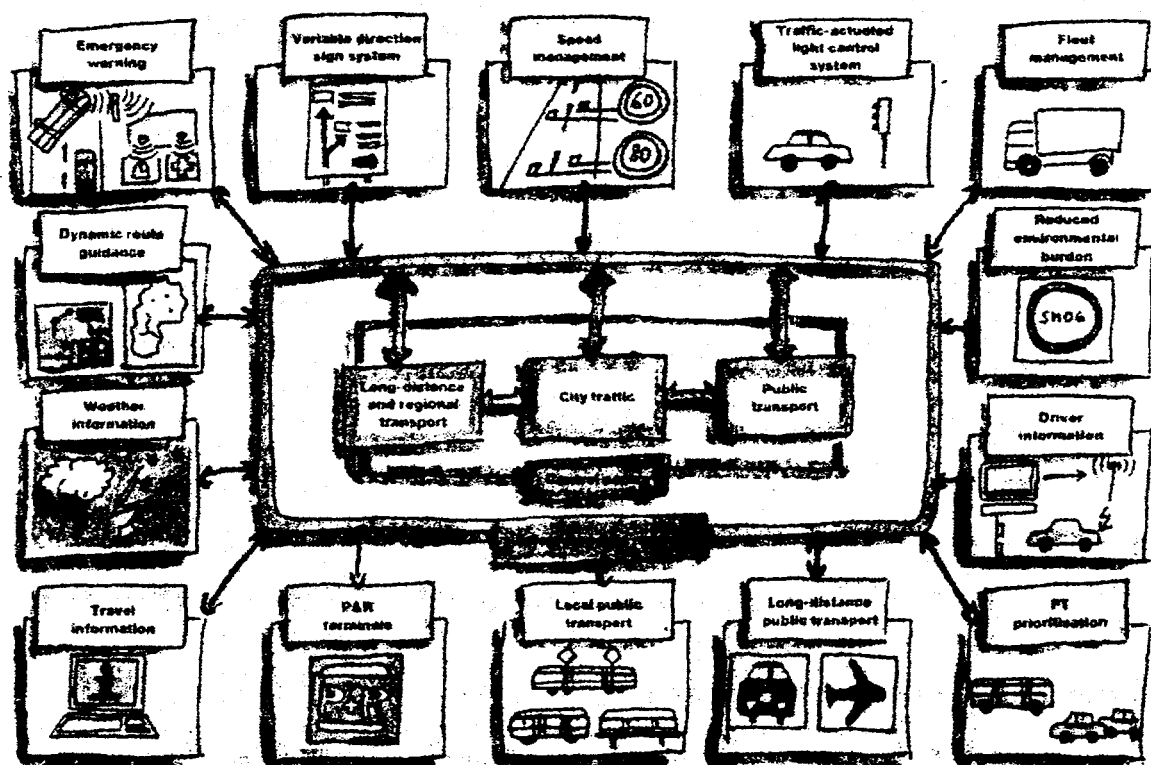


Figura 9. Esquema del sistema general para el control del transporte al Norte de Munich.

OTRAS ÁREAS DE TRANSPORTE

Estos sistemas han beneficiado a las empresas de transportes, ya que les permite sortear situaciones complicadas, así como el lograr el intercambio de carga entre trenes, camiones y aviones de modo más eficiente, reduciendo así el tiempo de espera para que ésta llega a su lugar de destino.

COMPANION

Este es un sistema experimental de postes a lo largo de la Ruta A92, que permite el monitoreo de los vehículos; estos postes están conectados entre sí por cable y a su vez conectados al Centro de Control de Tráfico, además están provistos de luces anaranjadas y amarillas, que permiten avisar al conductor sobre situaciones de peligro, kilómetros más adelante de donde el conductor se encuentra.

RESULTADOS

Este nuevo programa de información y control para el transporte a logrado disminuir en un 35.9 % el número de accidentes de tráfico, en un 34.4 % el número de accidentes que involucran personas heridas. También el número de personas heridas disminuyó en un 31.0 %

CONCLUSIONES

Conforme se ha visto a lo largo de la exposición existe una gran variedad de posibles soluciones, por lo que se puede ver, se tiene que hacer una revisión cuidadosa de que es lo mejor para México en cuanto a la aplicación de estas tecnologías. Como se vió en el caso del ORION VI, la tecnología se aplica de acuerdo a las características del lugar donde se va aplicar. Con esto se quiere decir que la tecnología que podamos emplear debe ajustarse lo más posible a la realidad dentro de la que nos encontramos. Pero también, como lo proponen los alemanes, adaptar el medio para el uso de nuevas tecnologías, lo que no es una tarea de corto plazo, pues ellos llevan años planeando e incorporando poco a poco las tecnologías que se necesitan. Es decir, que si nosotros necesitamos una tecnología con determinadas características, esa es la que debe implantarse, o si la tecnología existente no cumple con nuestras características y resulta que no hay de otra, entonces nosotros tenemos que ajustamos a ellas y este es un punto que nosotros debemos tomar muy en cuenta.

Aunado a lo anterior, debemos darnos cuenta como mexicanos que el petróleo se va acabar y que no nos queda de otra que buscar, por nuestra propia cuenta, la manera de no depender del petróleo como recurso energético básico, y es clara esa tendencia de los países desarrollados como lo son E.U. y Alemania, porque de cierta manera buscan una independencia que les permita superar el momento en que el petróleo como recurso no renovable se termine, y si nosotros como nación no deseamos enfrentarnos a un colapso de consecuencias inmensurables, debemos considerar esa situación, porque no nada más habrá escases de combustible, sino que también de materias primas.

REFERENCIAS

- 1) SEMIP, "Balance Nacional de Energía de 1993 ", 72 p.
- 2) Birch, Stuart., "Advanced Research at BMW" SAE, Automotive Engineering, Vol.102, No.10, pp. 12-15.
- 3) Just, Kevin., "The Patriot's hybrid-electric drivetrain" SAE, Automotive Engineering, Vol.102, No.12, pp.30-33
- 4) McCosh, Dan., "Emerging Technologies for the Supercar" Popular Science, June 1994, pp.95-101
- 5) Brown, Stuart F., "The Eternal Airplane " Popular Science, April 1994, pp. 70-75 y p. 100.
- 6) BMW, "MUNICH COMFORT (Cooperative Management for Munich and its Surrounding Area)" Munich, 1995.
- 7) King, Robert D. et al "Hybrid Electric Transit Bus" IEEE, Spectrum, Julio 1995, pp. 26-31
- 8) Murillo M., Juan C. " Desarrollo de la Electrónica de Motores Diesel y su Efecto en la Emisiones Contaminantes", Cummins S.A. de C.V. Septiembre 1995.
- 9) Brown, Stuart F. " The Fuel Cell Solution " Popular Science, June 1994, p. 97
- 10) DiChristina, Mariette "The Promise and Perils of Flywheels" Popular Science, June 1994, p. 99

CONTROL DE PRESIÓN Y TEMPERATURA DE DESCARGA EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN ENFRIADOS POR CONDENSADORES DE CASCO Y TUBO

ING. RAÚL FERNÁNDEZ MARTÍNEZ

ASOCIACIÓN DE INGENIEROS EN ENERGÍA EGRESADOS DE LA UAM-I A.C.

RESUMEN.

En la selección de un equipo de refrigeración, se deben conocer perfectamente las condiciones de carga del evaporador y del condensador, es decir la cantidad de calor que debemos de eliminar de nuestro medio a refrigerar, en base a la temperatura y masa a refrigerar. Esta situación conlleva a la elección del compresor adecuado. Más sin embargo, las condiciones de temperatura ambiente, juegan un papel importante en el comportamiento de todo el sistema de refrigeración, alterando en muchos casos las condiciones de trabajo de cada uno de los componentes y por ende el funcionamiento del sistema de refrigeración.

El presente trabajo, presenta un método para controlar el comportamiento de cada uno de los componentes dentro del sistema de refrigeración para que trabajen de acuerdo a su diseño.

CICLO SATURADO SIMPLE

La Fig. 1 muestra el ciclo típico vapor compresión, empieza en el cilindro receptor, el líquido refrigerante a alta temperatura y alta presión fluye del cilindro a través de un tubo hacia el control de flujo del refrigerante.

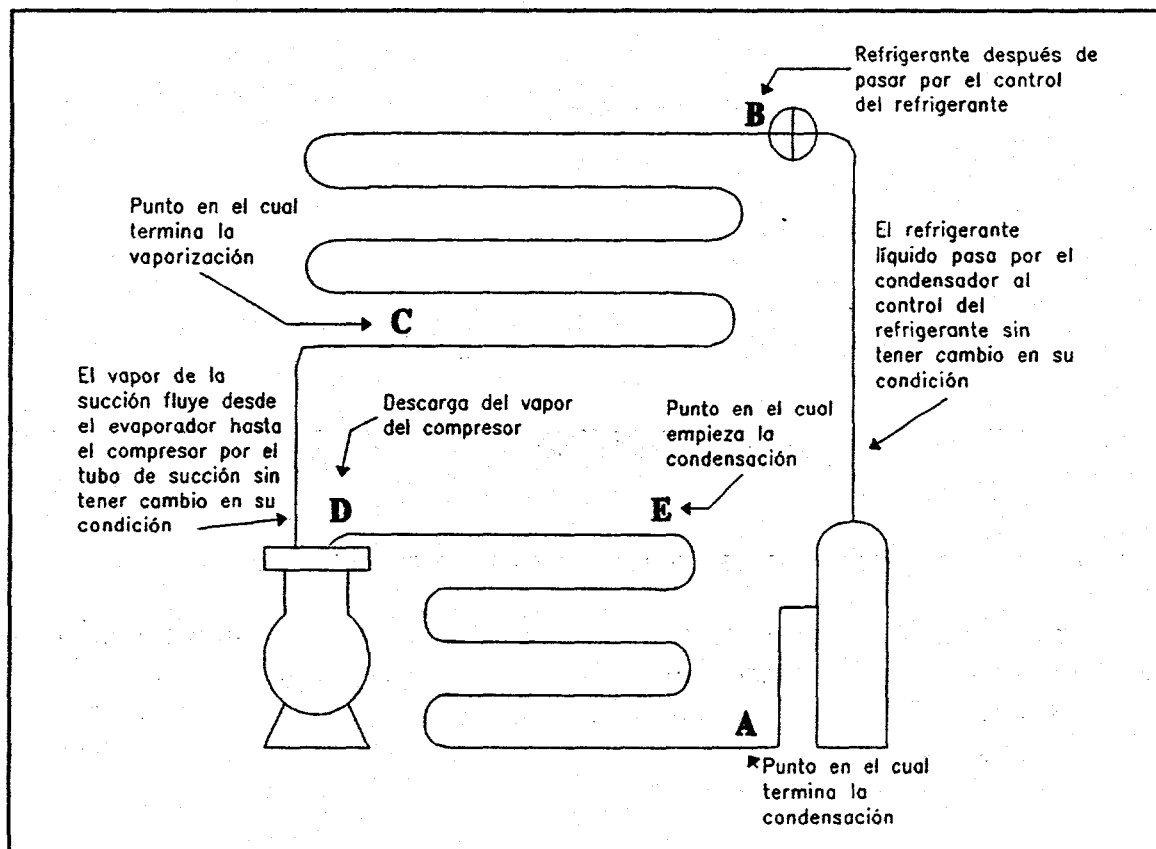


Fig. 1 Diagrama de flujo de un Ciclo Saturado Simple.

A medida que el líquido pasa a través del control de flujo del refrigerante su presión se va reduciendo hasta la presión del evaporador, de tal modo que la temperatura de saturación del refrigerante que llega al evaporador hará disminuir la temperatura del espacio refrigerado.

En el evaporador, el líquido se evapora a presión y temperatura constante a medida que el calor latente de evaporación pasa desde el espacio refrigerado a través de las paredes del evaporador hasta el líquido vaporizado.

Por la acción del compresor, el vapor resultante de la evaporación es sacado del evaporador por el tubo de succión hasta la succión de entrada del compresor. El vapor que sale del evaporador, es saturado y tiene la misma presión y temperatura que el líquido vaporizante. Mientras está fluyendo el vapor desde el evaporador, por el tubo de succión hasta el compresor, absorbe calor del aire de los alrededores y se vuelve vapor sobrecalentado.

Aun cuando se aumenta algo la temperatura del vapor como resultado del

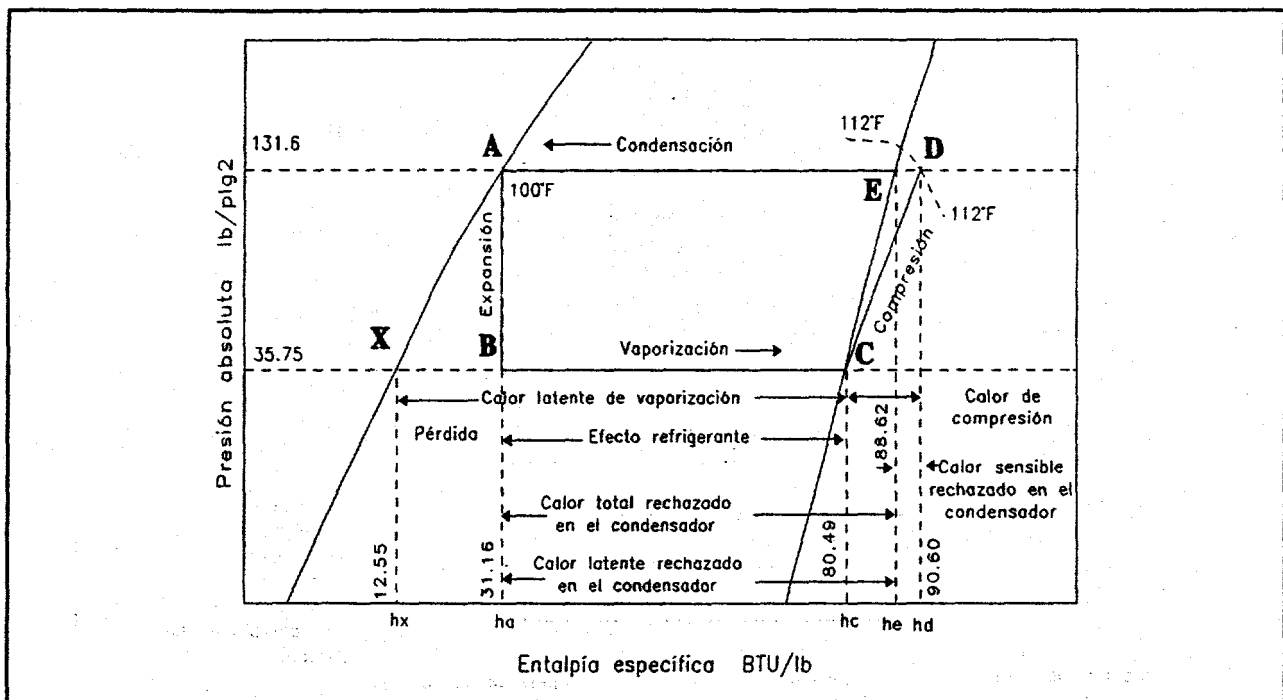


Diagrama Presión-Entalpía del Ciclo Saturado Simple (Refrigerante 12)

sobrecalentamiento, no cambia la presión del vapor, de modo que la presión del vapor que llega al compresor es la misma que se tiene en la evaporación.

En el compresor, la temperatura y la presión del vapor son incrementados debido a la compresión y el vapor de alta presión y alta temperatura es descargado en el tubo de gas caliente. Fluye el vapor por el tubo de gas caliente hasta el condensador, donde cede calor al aire relativamente frío que está impulsado por el ventilador del condensador, o por el agua de enfriamiento.

A medida que el vapor cede calor al medio refrigerante, su temperatura es reducida hasta la temperatura de saturación correspondiente a la nueva presión alta del vapor y el

vapor condensado pasa a estado líquido una vez que se ha efectuado la eliminación del calor. Al tiempo que el refrigerante llega hasta la parte inferior del condensador, todo el vapor se ha condensado y el líquido pasa al cilindro receptor para ser recirculado. La Fig. 2 muestra el ciclo en el diagrama presión entalpía.

PROCESO DE COMPRESIÓN

En los compresores modernos de alta velocidad, la compresión se efectúa muy rápidamente y el vapor está en contacto con el cilindro del compresor durante un corto tiempo. Debido a que el tiempo de compresión y a que el diferencial promedio de temperatura entre el vapor refrigerante y la pared del cilindro es relativamente pequeño, se desprecia el flujo de calor que se tiene hacia o desde el refrigerante durante el proceso de compresión. Por lo tanto se supone adiabática la compresión del refrigerante. Recuérdese que durante un proceso de compresión adiabático, se aumenta la energía interna del gas en una cantidad igual a la cantidad de trabajo efectuada sobre el gas al comprimirlo. En consecuencia, cuando el vapor refrigerante es comprimido adiabáticamente en el compresor, la temperatura y la entalpía del vapor se incrementa en proporción a la cantidad de trabajo efectuado sobre el vapor. A mayor trabajo de compresión, se tendrá un mayor incremento en la temperatura y en la entalpía.

Se llama calor de compresión a la energía equivalente al trabajo efectuado sobre el vapor para comprimirlo y, la energía para efectuar dicho trabajo es suministrada por un motor al compresor.

TEMPERATURA EN LA DESCARGA

Debe de tenerse cuidado de no confundir temperatura en la descarga con temperatura de condensación. La temperatura en la descarga es la temperatura a la cual es descargado el vapor del compresor, mientras que la temperatura de condensación, es la temperatura a la cual el vapor se condensa en el condensador y es la temperatura del vapor correspondiente a la presión que tiene el condensador.

La naturaleza del proceso de compresión en el compresor, es tal, que la temperatura del vapor descargado por el compresor siempre es mayor que la temperatura de saturación correspondiente a la presión del vapor; o sea, que el vapor descargado por el compresor siempre está en estado de sobrecalentado.

El vapor descargado es enfriado hasta la temperatura de saturación (para condensarlo) a medida que este fluye a través del tubo de gas caliente y a través de la parte superior del condensador, después de lo cual la eliminación posterior del calor del vapor produce la condensación a la temperatura de saturación correspondiente a la presión en el condensador.

Para tener un efecto refrigerante continuo, el vapor refrigerante debe ser condensado a la misma velocidad que el líquido refrigerante es vaporizado en el evaporador.

Esto quiere decir que debe eliminarse calor del sistema a través del condensador en la misma proporción que el sistema toma calor en el evaporador y tubo de succión y, en el compresor como resultado del trabajo de compresión. Evidentemente, que cualquier

aumento que se tenga en la velocidad de vaporización producirá un aumento en el calor transferido a través del condensador.

La velocidad a la cual fluye el calor del vapor refrigerante a través de las paredes del condensador hacia el medio condensante es función de tres factores:

- i. El área de la superficie condensante
- ii. El coeficiente de conductividad de las paredes del condensador
- iii. La diferencia de temperatura entre el vapor refrigerante y el medio condensante.

Para cualquier condición dada, el área de la superficie condensante y el coeficiente de conductividad son fijos de tal manera que la velocidad de transferencia de calor a través de las paredes del condensador depende sólo de la diferencia de temperatura entre el vapor refrigerante y el medio condensante.

PRESIÓN DEL CONDENSADO

La presión del condensado siempre es la presión de saturación correspondiente a la temperatura de la mezcla vapor-líquido en el condensador.

CAPACIDAD DEL SISTEMA

La capacidad de cualquier sistema de refrigeración es la velocidad a la cual se puede efectuar la eliminación del calor del espacio refrigerado. Esta, expresada en términos de energía (Btu/hr, Kcal/hr). Antes de la era de la refrigeración mecánica, el hielo era empleado ampliamente como un medio de enfriamiento. Con el desarrollo de la refrigeración mecánica, resultó muy natural que la capacidad de enfriamiento de los refrigeradores mecánicos se comparen con el equivalente fusión-hielo. Por lo tanto, un sistema de refrigeración que tenga capacidad de 1 tonelada tiene una capacidad equivalente a la fusión de 1 tonelada de hielo en un período de 24 horas. Debido a que 1 tonelada de hielo absorbería 288,000 Btu (2 000 lb x 144 Btu/lb) para derretirse, esto representa una capacidad de enfriamiento de 12 000 Btu/hr o 200 Btu/min. En el sistema métrico, 1 tonelada de capacidad de enfriamiento son 3.517 KJ/s o KW.

Obsérvese que la capacidad de refrigeración en verdad es una razón de transferencia de energía y como tal, es una expresión de potencia.

La capacidad de un sistema de refrigeración mecánica, o sea, la razón a la cual el sistema eliminará calor del espacio refrigerado, depende de dos factores:

- iv. La masa del refrigerante que fluye por unidad de tiempo
- v. El efecto refrigerante por unidad de masa que circula.

Expresado como ecuación se tiene:

$$Q_c = (m) (q_c) \quad (1)$$

donde:

Q_r : capacidad de refrigeración en Btu/min

m : masa en circulación en lb/min

q_r : efecto refrigerante en Btu/lb

CAPACIDAD DEL COMPRESOR

En cualquier sistema mecánico de refrigeración, la capacidad del compresor debe ser tal que el vapor producido en el evaporador sea sacado a la misma velocidad que el mismo es generado por la acción de ebullición del líquido refrigerante. Si el refrigerante se vaporiza con mayor rapidez de la que el compresor sea capaz de extraerlo, se acumulará un exceso de vapor en el evaporador y provocará un aumento de presión, lo que a su vez causará que se incremente la temperatura de ebullición del líquido. Por otra parte, si la capacidad del compresor es tal que el compresor elimine muy rápidamente al vapor del evaporador, la presión en el evaporador disminuirá y como resultado de ello, disminuirá también la temperatura de ebullición del líquido. En cualquiera de los casos, las condiciones de diseño no mantienen en condiciones satisfactorias al sistema de refrigeración.

En consecuencia, el tener las condiciones de diseño adecuadas, para tener una buena práctica de refrigeración, requiere que la selección de un compresor cuya capacidad (desplazamiento) sea tal que el compresor pueda desplazar en cualquier intervalo dado de tiempo el mismo volumen de vapor que sea generado en el evaporador en el mismo intervalo de tiempo.

CONDENSADORES

El condensador es una superficie de transferencia de calor. El calor del vapor refrigerante caliente pasa a través de las paredes del condensador para su condensación. Como resultado de su pérdida de calor hacia el medio condensante, el vapor refrigerante es primero enfriado hasta saturación y después condensado hasta su fase de estado líquido. En general, para la gran mayoría de los casos, el medio condensante empleado es aire o agua o una combinación de ambos. Los condensadores son de tres tipos generales:

- i). Enfriados con Aire
- ii). Enfriados con Agua
- iii). Evaporativos.
- vi). Condensadores Enfriados con Aire.
Emplean al aire como medio condensante.
- vii). Condensadores enfriados por Agua.
Emplean agua para condensar el refrigerante.
Para ambos condensadores enfriados con aire y enfriados con agua, el calor cedido por el refrigerante condensado aumenta la temperatura del aire o agua usados como medio condensante.
- viii). Condensadores Evaporativos.
Emplean tanto aire como agua. Aun cuando se tiene algún aumento en la temperatura del aire que esta pasando a través del condensador, la

condensación del refrigerante en el condensador se efectúa principalmente por la evaporación del agua rociada o atomizada sobre el condensador. La función del aire, es aumentar la razón de evaporación sacando el vapor de agua que resulte del proceso de evaporación.

CARGA DEL CONDENSADOR

El calor total rechazado en el condensador incluye tanto el calor absorbido en el evaporador como la energía equivalente del trabajo de compresión. Cualquier sobrecalentamiento absorbido por el vapor de succión del aire de los alrededores, también forman parte de la carga del condensador.

Debido a que el trabajo de compresión por unidad de capacidad refrigerante depende de la relación de compresión, la cantidad de calor rechazado en el condensador por unidad de capacidad refrigerante varía con las condiciones de operación del sistema.

CAPACIDAD DEL CONDENSADOR

Debido a que la transferencia de calor a través de las paredes del condensador es por conducción, la capacidad del condensador es función de la ecuación fundamental de transferencia de calor:

$$Q_c = A U D \quad (2)$$

donde:

- Qc: capacidad del condensador en Btu/hr
- A: área superficial del condensador en ft²
- U: coeficiente de transferencia total de calor en BTU/hr-ft²-°F
- D: diferencia de temperatura media logarítmica entre el refrigerante condensado y el medio condensante en °F

Analizando los factores de la ecuación, se mostrará que para cualquier valor fijo de U, la capacidad del condensador es directamente proporcional al área superficial del condensador y a la diferencia de temperatura entre el refrigerante a condensar y el medio de condensación. Es evidente también que para cualquier condensador de tamaño y diseño específico para lo cual tanto el área superficial como el factor U son fijados durante su fabricación, la capacidad del condensador es directamente proporcional a la diferencia de temperatura entre el refrigerante y el medio condensante. Además, cuando la temperatura promedio del medio condensante permanece constante, la capacidad del compresor aumenta o disminuye solamente si baja o sube la temperatura condensante.

CANTIDAD Y AUMENTO DE TEMPERATURA DEL MEDIO CONDENSANTE

Tanto para los condensadores enfriados por aire como los enfriados por agua, todo el calor cedido por el refrigerante, aumenta la temperatura del medio condensante. Por lo tanto el aumento de la temperatura experimentado por el medio condensante al estar

pasando a través del condensador es directamente proporcional a la carga del condensador e inversamente proporcional a la cantidad y calor específico del medio condensante o sea:

$$\Delta T = \frac{Q_c}{m c} \quad (3)$$

donde:

- ΔT : aumento de la temperatura del medio condensante en el condensador
- Q_c : calor rechazado en el condensador
- m : razón de flujo de masa de aire o agua en el condensador
- c : calor específico del medio condensante

Suponiendo que el valor de c es constante para cualquier carga de condensador (Q_c) dada, las únicas variables en la ecuación son la razón de flujo y el aumento de temperatura del medio condensante, siendo el valor de cada una inversamente proporcional al valor de la otra. Si se conoce cualquiera de estos valores, la otra se calcula con facilidad.

Es claro que para la selección específica de un equipo de refrigeración, debemos de conocer perfectamente las condiciones de carga del evaporador y del condensador, es decir la cantidad de calor que debemos de eliminar de nuestro medio a refrigerar, en base a la temperatura y masa a refrigerar. Con esta serie de datos el fabricante seleccionara tomando en cuenta las condiciones climatológicas el mejor equipo que se adapte a las condiciones críticas de operación, por lo que en general el equipo queda sobredimensionado.

DISCUSION.

Supongamos que podemos mantener constante la carga de enfriamiento de nuestro sistema de tal manera que el compresor demande la carga de diseño y por lo tanto el motor eléctrico funcione al 100% de carga donde tiene el máximo de eficiencia de conversión de energía eléctrica a energía mecánica, el condensador operará a las condiciones de carga máxima de diseño mientras la temperatura y flujo del medio condensante se mantengan constantes.

En general el gasto se mantiene constante, ya que este es proporcionado por una bomba o ventilador, el problema radica en la temperatura, ya que esta depende de las condiciones climatológicas del lugar, por lo cual, las condiciones a las que se diseño el condensador solo serán reales para algunas horas del día y para algunas meses del año, fuera de esto el equipo quedara sobredimensionado y el motor estará trabajando en condiciones de eficiencia bajas.

La solución a este problema es un control de temperatura para la torre de enfriamiento, el ventilador o el condensador evaporativo, de tal manera que se tenga, independientemente de la hora y el mes una temperatura constante en el condensador, este tipo de controles redujera en ahorros considerables de energía eléctrica.

Una vez resuelto el problema anterior, nos damos cuenta que nuestras condiciones de carga a enfriar tampoco son constantes, es decir que nuestro compresor esta variando la carga constantemente por lo que la carga al condensador varia haciendo nuevamente que quede sobredimensionado, haciendo nuevamente que nuestro motor trabaje con bajos factores de eficiencia.

Como habíamos visto la carga del condensador fija automáticamente la superficie de condensación, la temperatura del medio condensante y el flujo, por lo que si ya tenemos fija la temperatura podemos controlar el gasto a través de una válvula de control gobernada por la presión de condensación de tal manera que a cualquier variación de carga del compresor tenemos las condiciones de operación de máxima eficiencia.

Lo anterior nos lleva a darnos cuenta que el sistema de bombeo que habíamos seleccionado quedara también sobredimensionado y además trabajando con control de estrangulamiento de flujo, lo que implica operación en bajas condiciones de eficiencia, lo que se resuelve con un sistema de bombeo controlado con velocidad variable.

El ejemplo propuesto es con la idea de hacer notar lo complicado que se puede volver el control de un sistema, pero la práctica ha demostrado que el control y balance de estos sistemas es rentable a través de un balance energético, mismo que deberá de hacerse por personal especializado que tenga los elementos para recomendar la mejor aplicación de control.

REFERENCIAS.

Roy J. Dossat, Principios de Refrigeración, Ed. CECSA 1980.

REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL POR ABSORCIÓN DE ALTA EFICIENCIA

R. Ayala Delgado, C. L. Heard, J. Pardubicki⁺

Instituto de Investigaciones Eléctricas, Apartado Postal 1-475, Cuernavaca Morelos 62001

TEL. 91 73 183811 ext. 7013, FAX 91 73 182526

+LAJ Internacional, Dr. Erazo 69 P.B. L-2, Col. Doctores, México DF, 06720

TEL. 91 5 588 9052 FAX 91 5 578 7437

RESUMEN. La refrigeración por absorción amoníaco/nitrato de litio ofrece grandes ventajas comparada tanto con la refrigeración por compresión mecánica con amoníaco como con la refrigeración por absorción amoníaco/agua. Este sistema es más eficiente y sencillo que el sistema de amoníaco/agua. Con calor de temperaturas (100 a 140°C), por ejemplo vapor de baja presión, se permite la generación de frío a temperaturas bajas (-10 a -20°C). El sistema tiene menos componentes y es mucho más barato que equipo de amoníaco/agua con un precio muy similar a sistemas por compresión mecánica de amoníaco. El sistema consiste en cinco intercambiadores de calor principales y una bomba para solución, por lo tanto es de alta confiabilidad en su operación, requiriendo un mínimo de mantenimiento. El costo de operación depende directamente del costo de la fuente de calor. En el caso de usar calor residual el costo de operación solamente es el del mantenimiento. Actualmente el precio de la energía eléctrica se encuentra por debajo del costo de producción lo cual solamente puede ser una situación de corto plazo. En plazos de tiempo comparable con la vida útil de un sistema de refrigeración por absorción (en exceso de 20 años) es razonable suponer que los costos de operación serán menor de los costos de operación de un equipo por compresión mecánica. Actualmente se cuenta con una unidad de demostración para mostrar el sistema en plantas industriales con varias fuentes de calor.

ANTECEDENTES

El Instituto de Investigaciones Eléctricas ha estudiado por mas de 10 años los sistemas de enfriamiento por absorción a través del Departamento de Geotermia con la finalidad de usar la energía de baja temperatura en aplicaciones directas para la producción de frío(1,2,3).

La mezcla de trabajo amoníaco/nitrato de litio ($\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$), había sido estudiada teóricamente por varios autores, Infante Ferreira(4) presenta un compendio de correlaciones de las propiedades termodinámica de la solución y describe a esta solución como una fuerte opción como mezcla de trabajo para refrigeradores por absorción usando calor de mediana y baja temperatura. Best(5) presentó los resultados de un análisis teórico para los datos termodinamicos de esta solución en un refrigerador por absorción los cuales reflejan valores de coeficiente de comportamiento (COP) mayores que los de amoníaco/agua ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$).

Los primeros dos prototipos que se evaluarón experimentalmente utilizando esta mezcla ha sido reportados por Ayala(6,7) en los cuales se ha visto COP's mayores que los reportados $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$.

Existen dos desventajas por las cuales los refrigeradores por absorción con $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ no se usan muy comúnmente, la primera es el bajo valor de $\text{COP}=0.45$, y el alto valor de la inversión inicial en estos sistemas. Con $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ es posible tener $\text{COP}=0.7$ y los costos de estos sistemas ya es competitivo, al utilizar intercambiadores de calor compactos que reducen enormemente el costo de inversión a niveles de los costos de sistemas de compresión para amoníaco.

REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN USANDO $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$

Para entender como funciona un refrigerador por absorción usando $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$, es importante compararlo con un sistema de compresión de vapor normal. En la Fig. 1, se muestra un esquema comparativo entre los refrigeradores de compresión y de absorción. La principal diferencia es que el refrigerador de compresión utiliza energía eléctrica que previamente fue generada de una fuente primaria y transmitida al lugar de utilización, con sus respectivas perdidas. El refrigerador por absorción utiliza energía primaria básicamente y energía eléctrica para la bomba de soluciones. La cantidad de energía eléctrica es del orden del 5% en un refrigerador por absorción comparado con el de compresión, ya que el incremento de presión se hace por medio de comprimir un líquido y en el refrigerador por

compresión se hace al comprimir un gas. Los componentes básicos de este refrigerador por compresión son dos intercambiadores de calor, condensador y evaporador, el compresor y la válvula de expansión. En el refrigerador por absorción el compresor es sustituido por un circuito de tres intercambiadores de calor, la bomba de solución y la solución de trabajo, que en este caso es $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$.

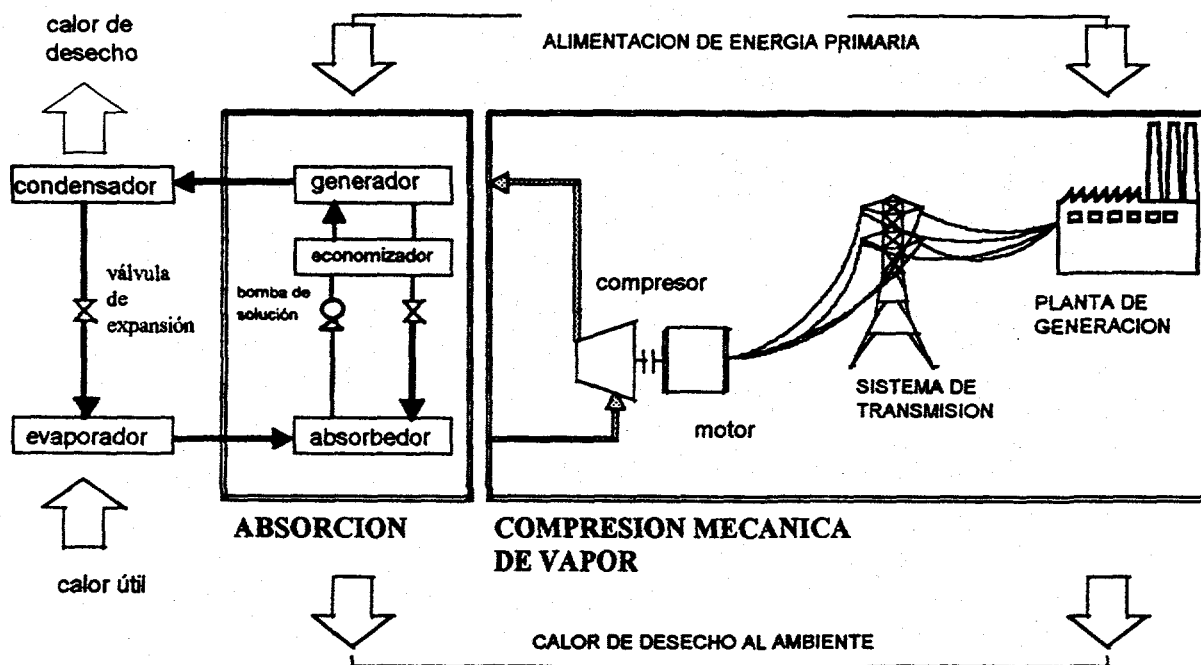


Fig 1. Similitudes entre los sistemas de refrigeración por absorción y compresión.

En un refrigerador por absorción, los principales parámetros que definen su eficiencia son el coeficiente de comportamiento actual (COP_A) y la relación de flujo actual (FR_A), el COP_A se calcula al dividir la cantidad de calor extraída en el evaporador entre la cantidad de calor suministrada en el generador, es decir salidas entre entradas

$$\text{COP}_A = \frac{Q_{EV}}{Q_{GE}} \quad 1$$

La relación de flujo se define como el flujo masico circulado por la bomba de soluciones dividido entre el flujo masico refrigerante.

$$\text{FR}_A = \frac{M_{AB}}{M_R} \quad 2$$

Este parámetro es muy importante para evaluar la capacidad de la bomba de soluciones dado que a mayores valores de FR_A se requiere de una bomba de soluciones de mayor capacidad.

En la Fig. 2, se presenta un esquema de un refrigerador por absorción usando amoníaco/nitrato de litio ($\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$), donde se ven los principales componentes. Este refrigerador trabaja de la siguiente manera; la bomba de solución bombea la solución rica en refrigerante del absorbedor a la sección de alta presión para precalentarla en el economizador donde intercambia calor con la solución pobre en

refrigerante. Luego la solución rica en refrigerante entra al generador donde se calienta a la temperatura de generación utilizando la fuente de calor, en el generador parte del refrigerante se evapora y se separa de la fase líquida. La solución pobre en refrigerante regresa al absorbedor pasando por el economizador. El refrigerante en fase vapor se condensa en el condensador donde se remueve calor. El refrigerante líquido luego es expandido a la presión del evaporador donde se evapora a una menor temperatura, a esta temperatura se extrae el calor al fluido a enfriar. El refrigerante finalmente es absorbido por la solución pobre en refrigerante a la entrada del absorbedor. En esta sección del proceso también es necesario remover calor debido a las características exotérmicas del proceso de absorción. Así finalmente se completa el ciclo al finalizar con la solución rica en refrigerante en el depósito del absorbedor.

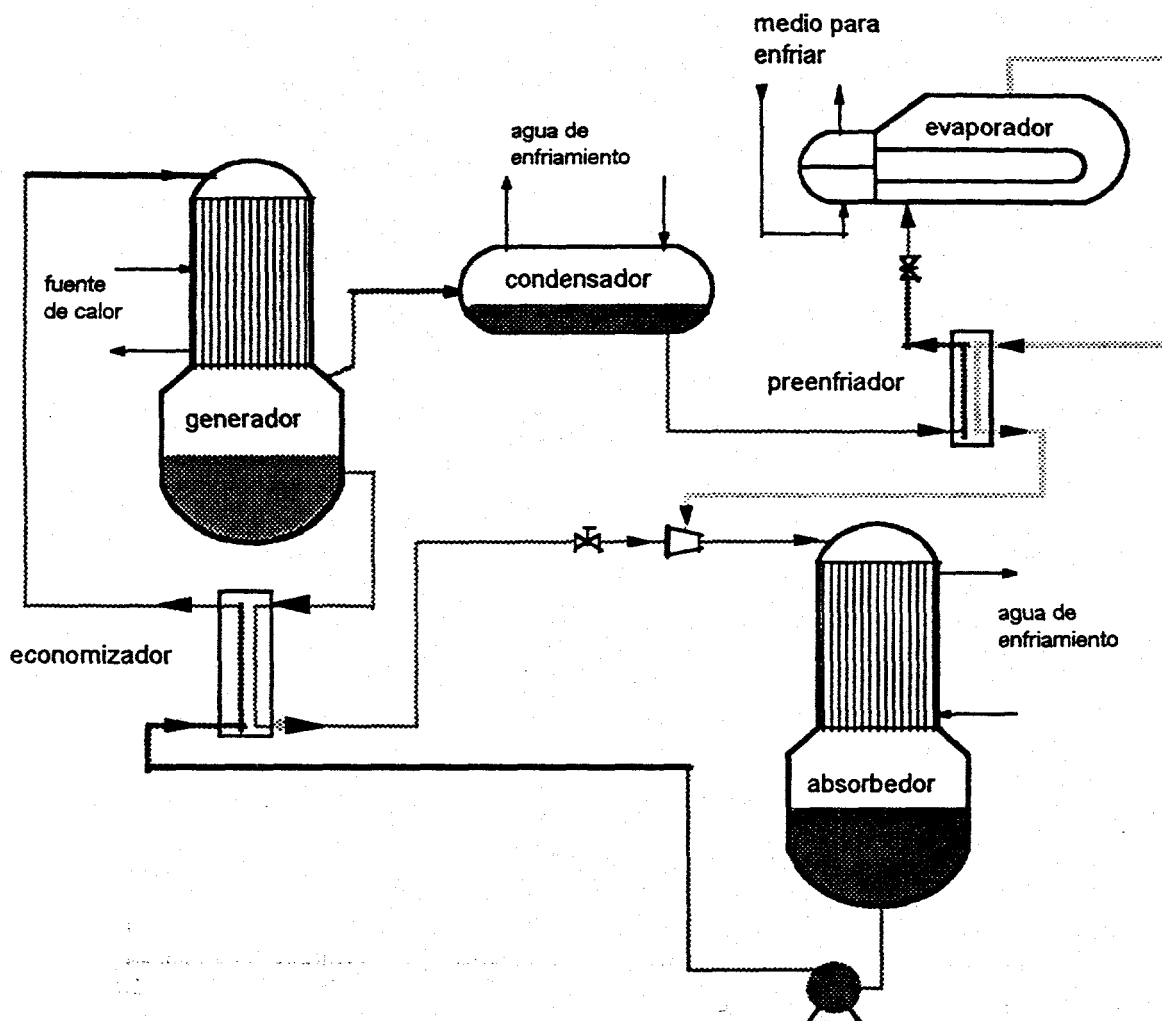


Fig. 2 Esquema de un refrigerador por absorción con amoníaco/nitrato de litio.

RESULTADOS

Hasta el momento se han evaluado dos prototipos de refrigeradores por absorción utilizando $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$, uno fue utilizando energía geotérmica de baja temperatura para enfriar un cuarto frío en Cerro Prieto Baja California, el segundo fue evaluado utilizando vapor de caldera en Cuernavaca Morelos para producción de hielo a nivel demostrativo. Los principales resultados se pueden resumir en la Tabla 1. Los rangos de trabajo entre las temperaturas de generación repercuten sobre el COP, así como las temperaturas del agua de enfriamiento.

Tabla 1. Resumen de resultados de los prototipos.

Parámetro	Valor
Temperaturas de generación	95 a 135°C
Temperaturas del evaporador	-7°C
Capacidad de enfriamiento	3 y 5.2 kWt
COP _A	0.35 a 0.84
Producción de hielo	6 kg h ⁻¹

Adicionalmente en la Fig. 3, se puede ver una gráfica del COP_A contra FR_A en la cual el valor del COP se incrementa a menores valores de FR_A, esto se puede explicar dado que los valores de FR_A están basados en la diferencia de concentración de amoníaco entre las soluciones rica y pobre a medida que esta diferencia sea mayor es menor la cantidad de solución a recircular para una determinada capacidad de enfriamiento. Esto lleva a optimizar las condiciones de operación para maximizar esta diferencia de concentración y maximizar el COP_A.

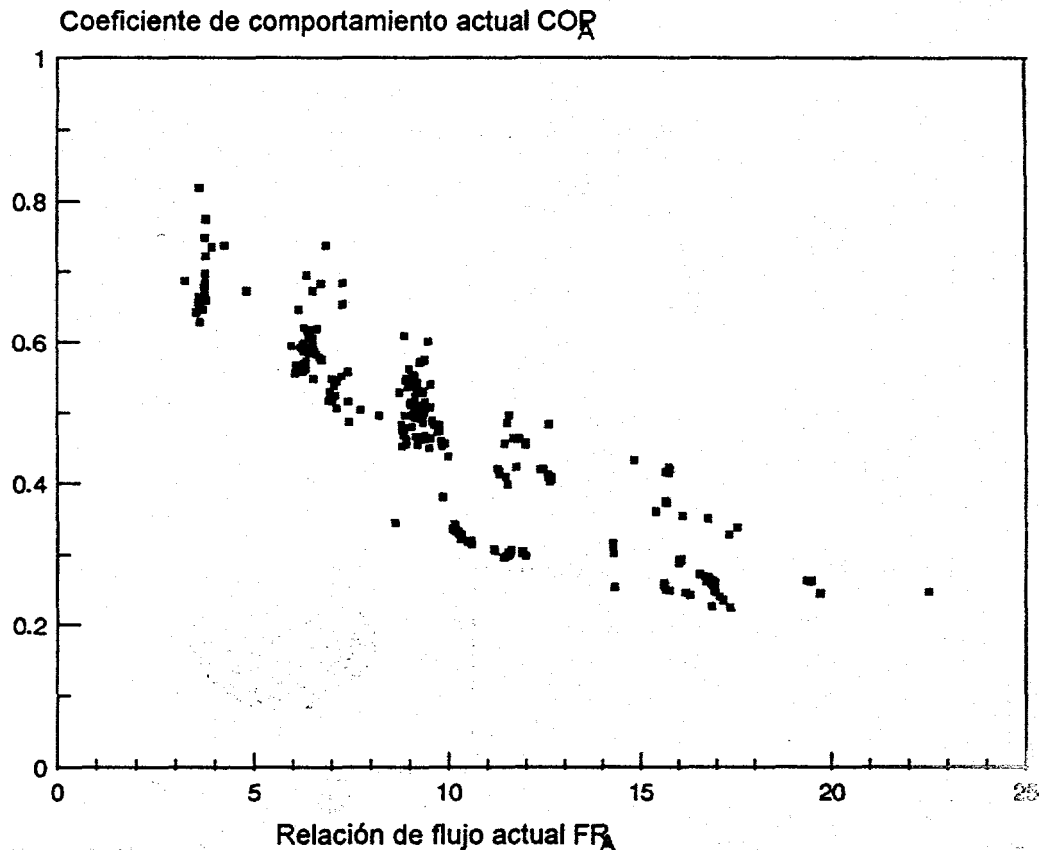


Fig.3 Resultados experimentales de los prototipos de refrigerador de absorción

De los resultados mas sobresalientes al diseñar estos dos prototipos y la unidad de demostración de 3 TR que se encuentra disponible para demostraciones en instalaciones industriales se puede resumir lo siguiente:

1. **SISTEMA MAS ECONÓMICO Y MAS EFICIENTE QUE EL DE AMONÍACO/AGUA.** El refrigerador con $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ por las características de solubilidad del amoníaco en solución con nitrato de litio tiene eficiencias mayores que amoníaco con agua. Por otro lado dado que el sistema es menos complejo ya que no requiere de una torre de rectificación para separar los vapores de agua del refrigerante a la salida del generador, este refrigerador es mas económico en cuanto a su costo de inversión inicial.

2. **SISTEMA SIN RECTIFICACIÓN SIMILAR AL DE BROMURO DE LITIO/AGUA.** A nivel mundial el refrigerador por absorción mas usado es el de bromuro de litio/agua ya que puede ser mas compacto y el refrigerante es agua. Estos sistemas se diseñan en una sola coraza y se utilizan solo para aire acondicionado. El refrigerador con $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ puede ser diseñado de una manera compacta similar al de bromuro de litio/agua, pero ademas puede trabajar a temperaturas de enfriamiento menores, ya que el refrigerante es amoniaco y su aplicación sería para aplicaciones de 0°C hasta los -20°C dependiendo de la temperatura de la fuente de calor y del agua de enfriamiento.
3. **AMONIACO 100% PURO EN EL CONDENSADOR.** Actualmente existen un gran numero de aplicaciones de refrigeración con compresión de amoniaco para usos industriales. El refrigerador por absorción $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ dado que produce amoniaco 100% puro a la salida del condensador, puede combinarse con estos sistemas para eficientar su operación usando solo el calor del amoniaco sobre calentado a la salida del compresor o incrementar su capacidad al utilizar otra fuente de calor e instalar un refrigerador por absorción en paralelo.

COMPARACIÓN DE COSTOS

Como resultado de un análisis detallado de los costos implicados para la fabricación de una unidad de absorción con $\text{NH}_3/\text{LiNO}_3$ de 300 toneladas de refrigeración (TR) de capacidad y el costo de una de compresión de amoniaco, resulto que los costos de inversión son básicamente los mismos(8), y a que los costos de operación son la única posible diferencia, es posible tener una diferencia a favor del sistema de absorción que pueda representar un atractivo para la instalación de estos sistemas..

Con lo anterior se supone que la única diferencia sería los costos de operación. La Tabla 2, presenta un análisis de los costos de operación para 300 TR de capacidad de compresión y absorción. Los costos de operación están basados en la utilización del sistema durante las 24 horas de 310 días al año, (7440 hr), calculando los costos de consumo y demanda energía eléctrica, para absorción se presenta para el caso de que la tonelada de vapor es de 0, 50 y 46 Nuevos Pesos y para combustoleo con valor de 0.367N\$ por litro. Considerando ademas que para el sistema de absorción se agrega un costo de energía eléctrica equivalente al 5% del costo total para el de compresión.

Tabla 2. Comparación de costos de operación para costo de electricidad (0.25 N\$/kW-hr)

Datos generales			
Capacidad de los equipos (TR)	300	300	300
Horas totales anuales	7440	7440	7440
Datos para Compresión			
Caballos de fuerza por TR	2	2	2
Costo de energía (N\$/kW hr)	0.25	0.25	0.25
Costo demanda (N\$/kW mensual)	23.778	23.778	23.778
Costo de operación por hora (N\$/TR-hr)	0.4309	0.4309	0.4309
Costo de operación anual (N\$)	961768	961768	961768
Datos para Absorción			
C/tonelada de vapor (N\$/TON)	0	46	50
Consumo de vapor (TON/TR-hr)	0.0083	.0083	0.0083
Costo de operación por hora (N\$/TR-hr)	0	0.37858	0.4115
Costo de operación anual (N\$)	48088	893079	966556
Combustoleo			
Capacidad térmica (kW/l)	11.44	11.44	11.44
Eficiencia del quemador	0.7	0.7	0.7
Costo del combustoleo (N\$/l)	.367	.367	.367
Costo de operación por hora (N\$/TR-hr)	.23025	.23025	.23025
Costo de operación anual (N\$)	562026	562026	562026
Relación de costos (REL)	0	0.878	0.954978
Ahorro anual (N\$)	913679	68689	-4788

La Figura 4, presenta líneas de estimación de ahorro anual relacionando el costo energético de la tonelada de refrigeración usando vapor dividido contra el mismo costo usando electricidad. El ahorro máximo posible es al utilizar vapor residual con un costo mínimo, este ahorro es del orden de los N\$ 913,679 para cuando la electricidad tiene un costo de N\$0.25 kW-hr. Se presentan tres líneas para tres diferentes costos de energía eléctrica. Si la relación de costos incrementa, los ahorros disminuyen y puede ser mas costoso el utilizar los sistemas de absorción a partir de costos energéticos de absorción mayores que de compresión ($REL > 1$).

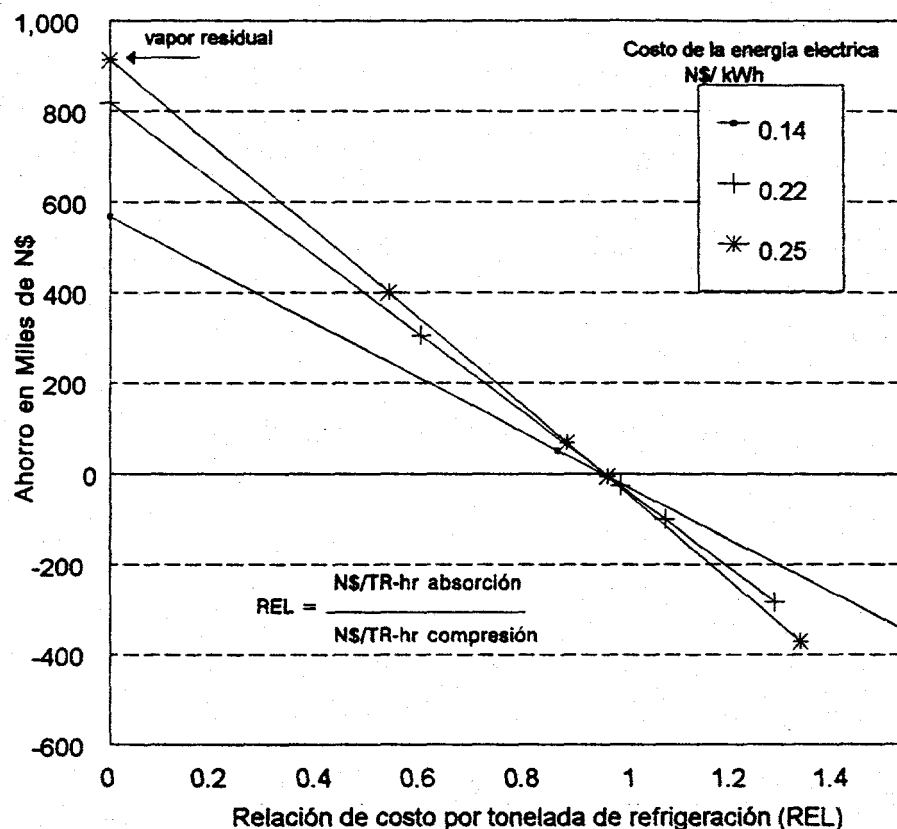


Fig. 4. Ahorro en energía eléctrica al usar vapor de determinado costo en refrigeración por a

CONCLUSIONES

La refrigeración por absorción con amoníaco/nitrato de litio puede ser una gran opción para el ahorro de energía y una buena opción para eficientar procesos en los cuales se cuenta con vapor de desecho o posibilidad de obtener costos de vapor tales que el costo de operación utilizando estos sistemas represente un ahorro significativo.

Es importante que los análisis para la selección de sistemas de este tipo sean hechos considerando plazos largos en los cuales los costos de la energía eléctrica sea realista y no subsidiada ya que puede resultar que al corto plazo los sistemas de compresión sean mas económicos.

REFERENCIAS

1. Best, R., Heard, C.L., Fernández, H., y Siqueiros, J., (1986). Developments in geothermal energy in Mexico-Part five: The commissioning of an ammonia/water absorption cooler operating on low enthalpy geothermal energy, J. Heat Recovery Systems, 6, 3, 209-216.
2. Best, R., Heard, C.L., Peña, P., Fernández, H. and Holland, F.A., (1990), Developments in

- geothermal energy in Mexico-Part twenty six: Experimental assessment of an ammonia/water absorption cooler operating on low enthalpy geothermal energy, *J. Heat Recovery Systems & CHP*, **10**, 1, 61-70.
3. Ayala, R., (1994), An experimental study of heat driven absorption cooling systems, Ms. Sc. Thesis, University of Salford, Inglaterra, GB.
 4. Infante-Ferreira, C.A., (1984), Thermodynamic and physical property data equations for ammonia/lithium nitrate and ammonia/sodium thiocyanate solutions, *Solar Energy*, **32**, 2, 231-236.
 5. Best, R., Rivera, W., Pilatowsky, I. and Holland, F.A., (1991), Thermodynamic design data for absorption heat pump systems operating on ammonia/lithium nitrate-part three. Simultaneous cooling and heating. *J. Heat Recovery Systems & CHP*, **11**, 4, 199-212.
 6. Ayala, R., Frias, J.L., Lam, L., Heard, C.L. and Holland, F.A., (1994), Experimental assessment of an ammonia/lithium nitrate absorption cooler operated on low temperature geothermal energy, *J. Heat Recovery Systems & CHP*, **14**, 4, 437-446.
 7. Ayala, R., (1995), An experimental study of heat driven absorption cooling systems, Ph. D. Thesis, University of Salford, Inglaterra, GB.
 8. Pardubiki, J., Heard, C.L., y Ayala, R. (1995), Comparación de costos de un sistema de compresión contra uno de absorción. Informe interno, en prensa.

EMPLEO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN EN PLANTAS DE CICLO COMBINADO.

H. Romero Paredes, J. J. Ambriz, M. Vargas,
M. Godínez, F. Gómez, L. Valdez y G. Pantoja.
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.
Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
A.P. 53-540, Iztapalapa, C.P. 09340, México D.F.
Tel.: 724-46-44 y 45; Fax: 724-49-00.

RESUMEN.

La generación eléctrica día con día pretende realizarse de la manera más eficiente posible con el objeto de disminuir los costos de generación y la tasa de contaminación ambiental por Kwh generado.

En el presente trabajo se introduce la aplicación de sistemas de refrigeración por absorción para el enfriamiento del aire de entrada al compresor de la turbina de gas de un ciclo combinado, con el objeto de aumentar el flujo másico del aire y con ello la potencia de salida de la turbina.

Las corrientes con contenido remanente de energía térmica que no se usan en una planta de ciclo combinado pueden servir para operar el sistema de refrigeración por absorción. De esta manera, la energía térmica requerida para el sistema de enfriamiento es gratuita.

Con este sistema es posible incrementar la potencia de generación de la turbina de gas de 5 a 25%.

INTRODUCCIÓN.

Los ciclos combinados de producción de energía eléctrica constan de un ciclo Brayton y un Rankine. En el primero el fluido de trabajo es aire atmosférico; en el Rankine el fluido de trabajo es vapor de agua. La eficiencia de una turbina de gas, de ciclo Brayton, está afectado por diversos factores ambientales y de operación. En la turbina de vapor es frecuente encontrar fuentes de energía térmica que no se han utilizando para generar electricidad, es decir, se desaprovechan y la eficiencia del ciclo Rankine disminuye.

Dentro de los factores ambientales, que afectan a la turbina de gas destaca la temperatura ambiente y la altura sobre el nivel del mar, que son las condiciones bajo las cuales el compresor succiona el aire atmosférico. A mayor temperatura y mayor altura la densidad del aire disminuye y por lo tanto la generación eléctrica. Este es el caso de las centrales construidas en zonas desérticas o semidesérticas y en niveles elevados sobre el nivel del mar. Para hacer frente a estos fenómenos es necesario buscar métodos y tecnologías que permitan obtener en la succión del compresor un aire con mayor densidad.

Para tal efecto en este trabajo se propone enfriar el aire mediante un sistema de refrigeración por absorción que a su vez utiliza la energía térmica residual de la turbina de vapor. El evaporador se ubica en la succión del compresor de la turbina de gas (figura 1).

Mediante esta acción se puede elevar la eficiencia global del ciclo combinado, pues el efecto del aumento del flujo másico del aire repercute en el incremento de generación eléctrica de ambas turbinas.

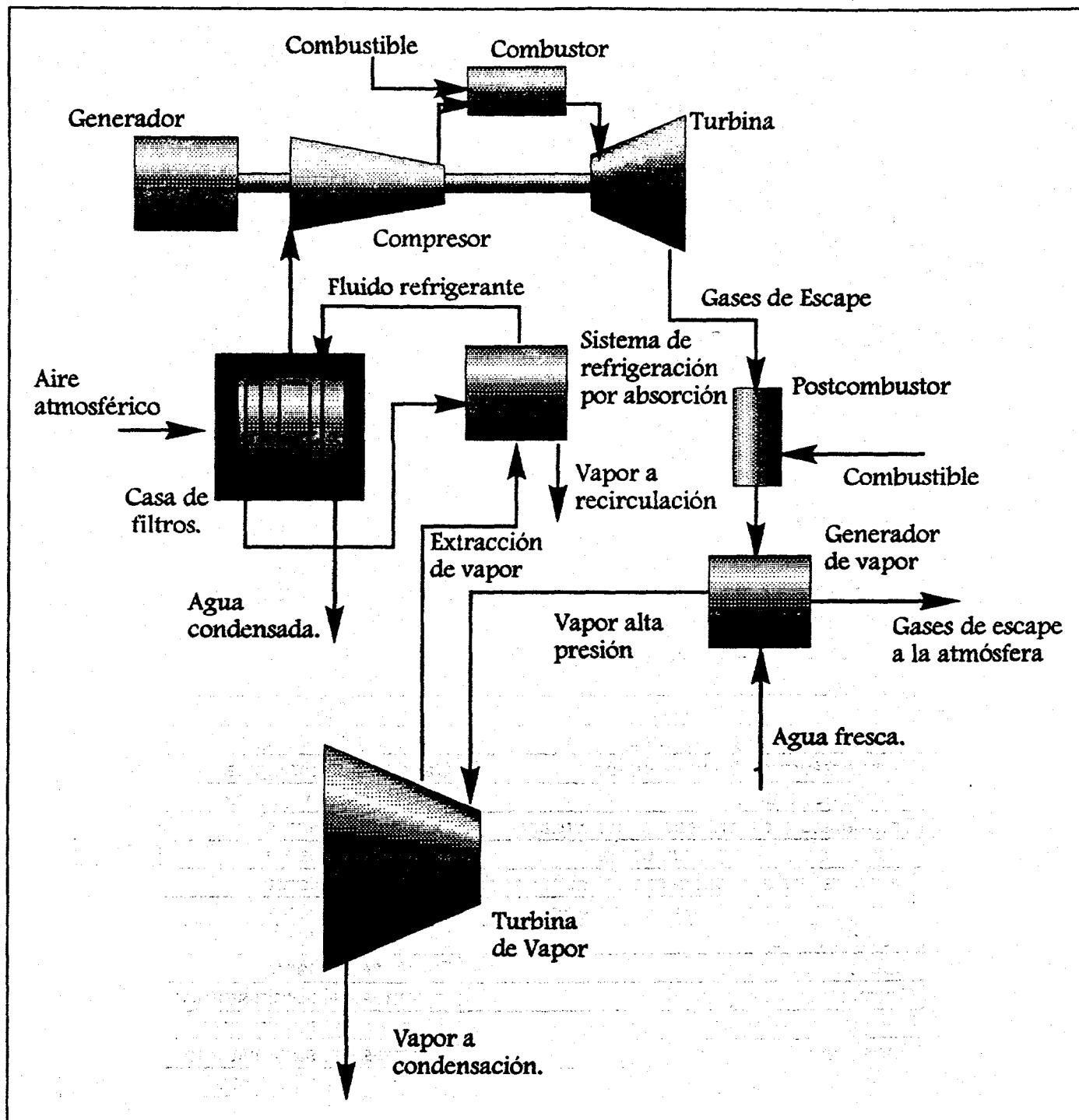


Figura 1. Diagrama de un ciclo combinado con un sistema de refrigeración por absorción.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA.

La evaluación del ciclo combinado se realizó mediante un análisis general de ambos ciclos de acuerdo con la teoría clásica de la termodinámica para tales sistemas. En el presente trabajo se hace énfasis en la ganancia obtenida en la turbina de gas. Para ello se emplea el modelo matemático desarrollado en un trabajo previo [1].

La capacidad de enfriamiento disponible en una instalación determinada se calcula con base en la cantidad de energía térmica de desecho y su calidad. Por tanto se prefieren las fuentes de vapor de alta entalpía. Se considera también la eficiencia estándar de los sistemas de refrigeración por absorción comerciales.

Posteriormente se evalúa la capacidad de enfriamiento máxima requerida en función de la altitud y temperatura ambiente máxima promedio del lugar donde se ubica la planta. Con esta información es posible dimensionar el equipo o conjunto de equipos de refrigeración para obtener un sistema óptimo para el incremento de la generación eléctrica.

Es importante señalar que cuando la humedad relativa del aire es elevada, al disminuir su temperatura es posible que se alcance el punto de rocío. Para ello hay que considerar una forma segura de eliminar las partículas de agua suspendidas en el aire y así evitar daños materiales al compresor. Esto se puede lograr mediante una malla de acero que rompa la niebla.

En la tabla 1 se presentan las variables requeridas para evaluar el comportamiento energético de la planta. Con esta información se determina la potencia que es posible incrementar con la instalación del sistema de absorción. En la evaluación se estimó la temperatura que se puede alcanzar con una potencia de refrigeración y una temperatura ambiente determinadas, así como la potencia requerida para tener una temperatura del aire de entrada constante de 5°C.

Tabla 1. Variables requeridas para el modelo de cálculo.

Variable	Fuente
Temperatura de bulbo seco	Central meteorológica
Temperatura de bulbo húmedo	Central meteorológica
Humedad relativa	Central meteorológica
Temperatura de entrada al compresor	Datos de la planta
Presión de descarga del compresor	Datos de la planta
Temperatura a la descarga del compresor	Datos de la planta
Temperatura a la salida de la turbina	Datos de la planta
Presión a la salida de la turbina	Datos de la planta
Flujo de gas natural	Datos de la planta
Composición del gas	Informes del suministrador
Temperatura del gas (horaria)	Informes del suministrador
Poder calorífico del gas	Informes del suministrador
Densidad del gas	Informes del suministrador
Flujo de vapor no utilizado	Datos de la planta
Temperatura del vapor	Datos de la planta
Presión del vapor	Datos de la planta

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con base en el desarrollo descrito en el inciso anterior, se realizó la simulación con un caso práctico de una planta de ciclo combinado de 280 Mw, con dos turbinas de gas de 72 Mw y una de vapor de 107 Mw nominales, ubicada en un clima templado a 2000 metros sobre el nivel del mar.

En la figura 2 se representa la potencia de generación de una turbina de gas respecto a la temperatura ambiente para tres casos específicos: bajo condiciones actuales, de acuerdo con las pruebas de aceptación y cuando se instala un sistema de refrigeración por absorción de una capacidad de 1000 toneladas de refrigeración.

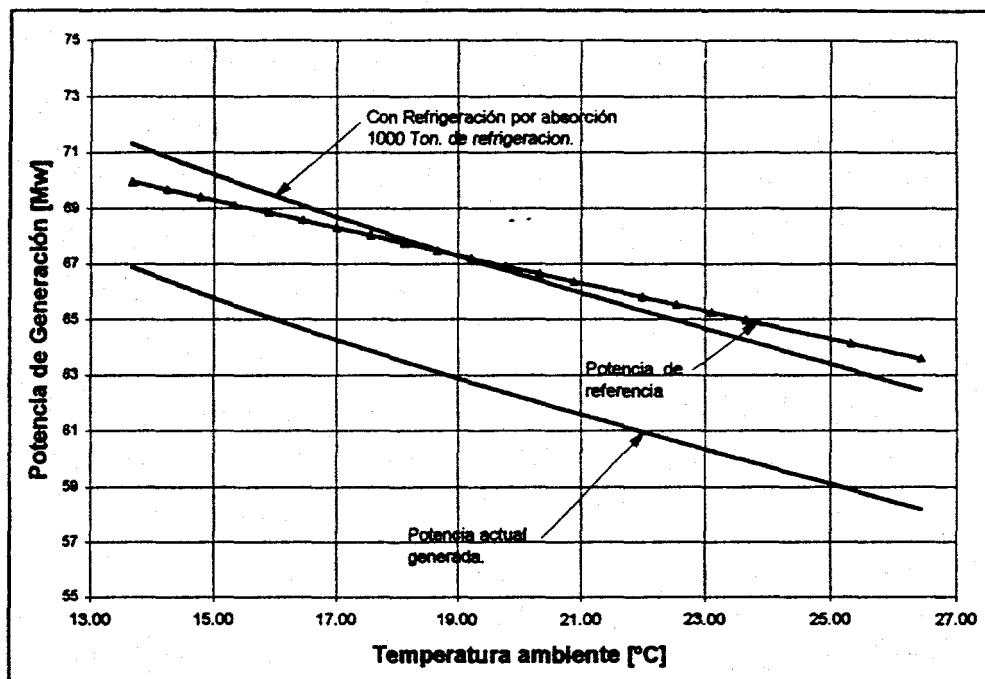


Figura 2. Potencia de generación vs. temperatura ambiente con y sin sistema de refrigeración y bajo condiciones de referencia.

Se observa que la ganancia de potencia de generación luego de la instalación del sistema de refrigeración es, en promedio, del 7.0 %. Se puede, entonces, concluir que el incremento en potencia es proporcional al incremento en la capacidad de enfriamiento.

Si bien en la gráfica se muestra hasta una temperatura de 27°C, la temperatura ambiente puede llegar hasta los 35°C, lo cual representa un decremento más importante que el que se señala.

No obstante, al tener una masa de aire mayor, el consumo de gas natural también se incrementa un 3.6% en promedio (figura 3). Debe notarse que la forma de la curva generada es debida a las limitaciones del propio diseño de la turbina de gas.

El régimen térmico (CTU) disminuye hasta en un 3.3% (figura 4). Así se aprecia, que el incremento en el consumo de gas es mínimo con respecto a la energía eléctrica generada.

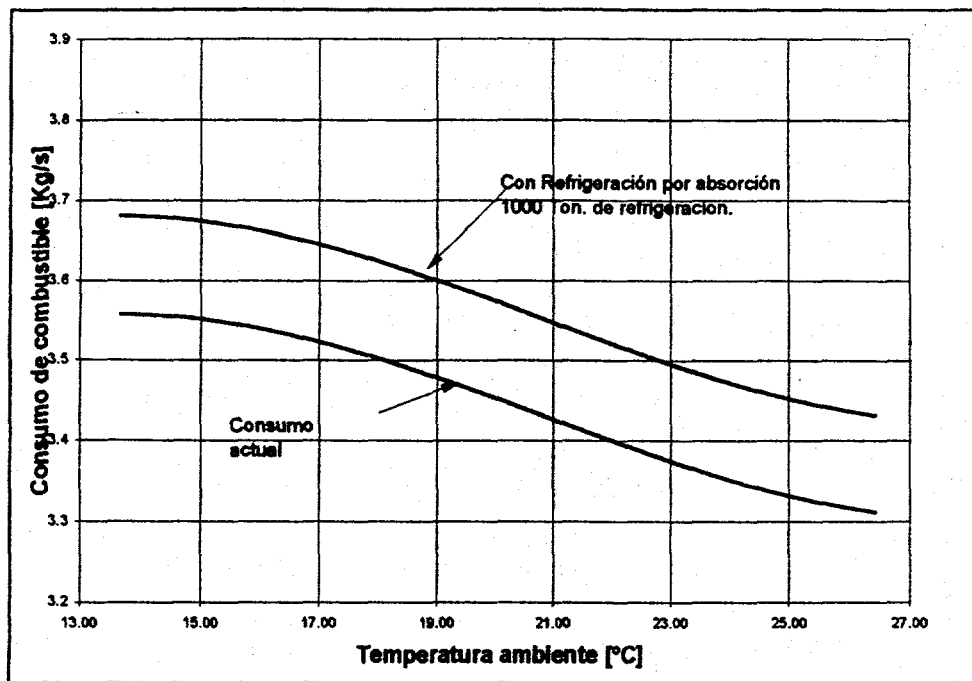


Figura 3. Consumo del gas natural en función de la temperatura ambiente y sistema de refrigeración.

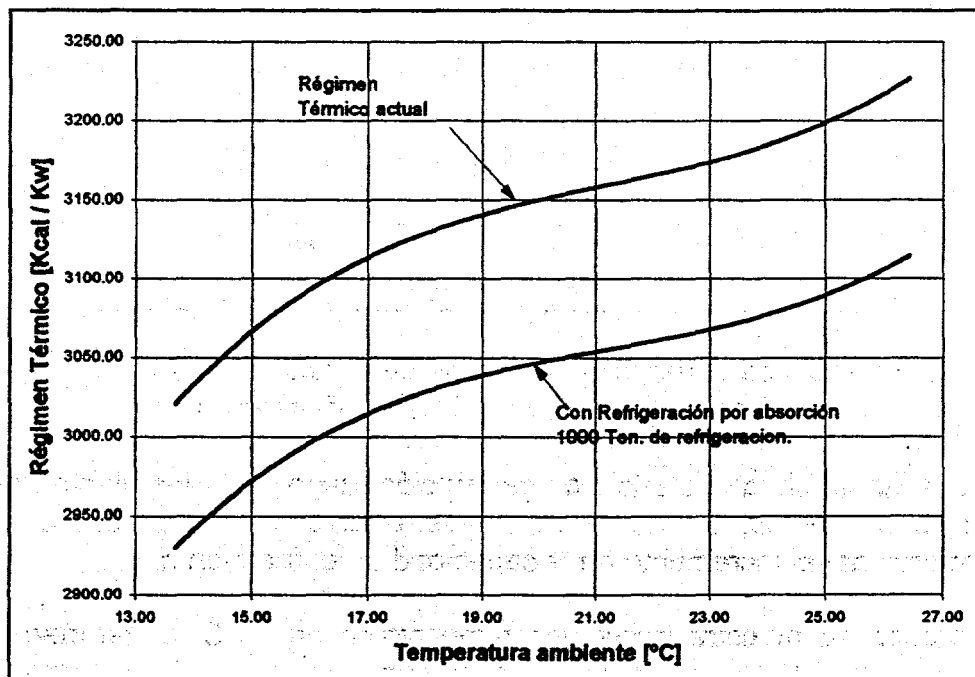


Figura 4. Régimen térmico de la turbina de gas en función de la temperatura ambiente y sistema de refrigeración.

Ahora bien, si se establece una temperatura constante para el aire de entrada al compresor de 5°C , la potencia de refrigeración varía como una función de la temperatura ambiente. Esto permite tener los elementos necesarios para el control del sistema de refrigeración. El incremento en la potencia con respecto al incremento en la capacidad de refrigeración es prácticamente lineal (figura 5) y su efecto es importante. Para el caso de estudio, el aumento

puede llegar hasta 18 Mw cuando la temperatura ambiente es de 27°C, esto representa un incremento del 25% respecto a la potencia nominal.

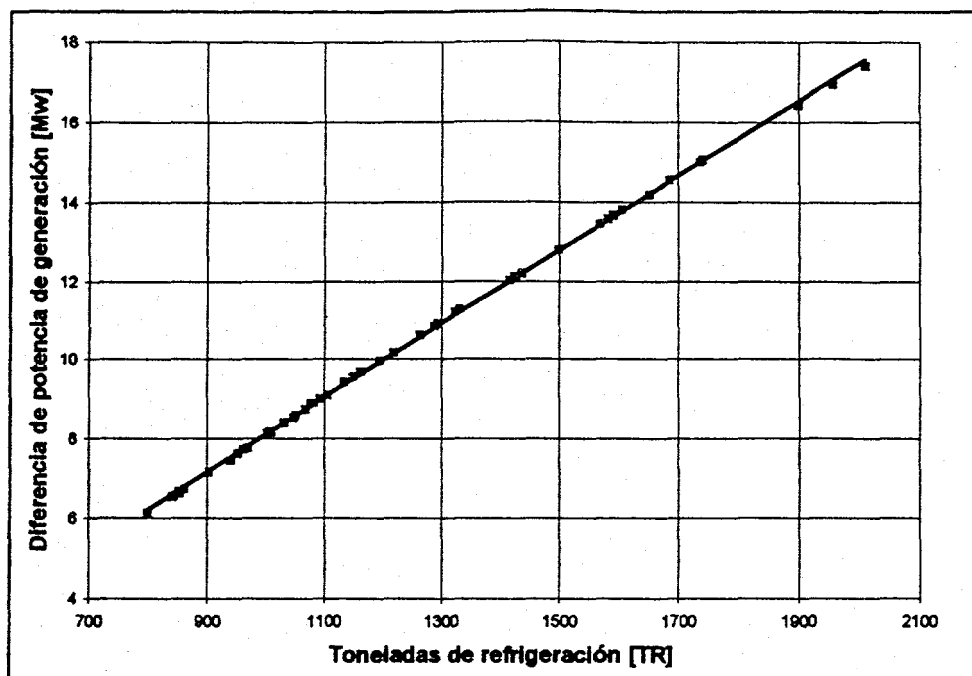


Figura 5. Aumento en la potencia de generación en función de la capacidad de refrigeración del sistema por absorción.

La figura 6 muestra el efecto de la diferencia de temperaturas sobre la potencia de generación de la turbina de gas. Es claro que entre mayor sea la diferencia de temperaturas la ganancia en la potencia de generación aumenta linealmente.

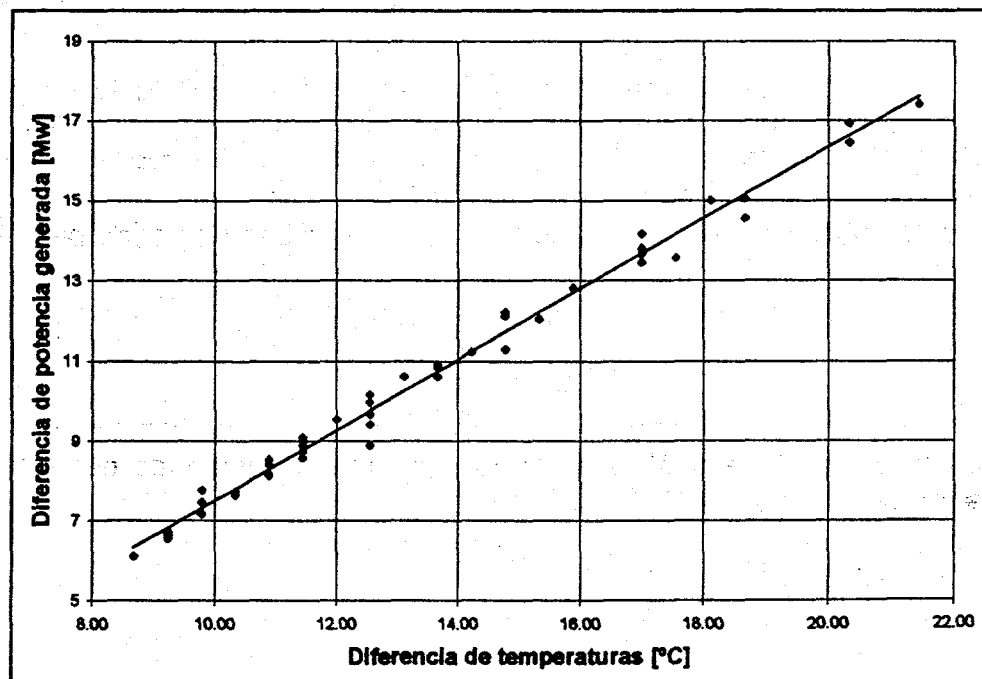


Figura 6. Aumento en la generación eléctrica en función de la diferencia de temperaturas.

CONCLUSIONES.

La ingeniería ha desarrollado sistemas que permiten aumentar la productividad de las industrias. Compete al ingeniero, también, tener la capacidad de innovación y creatividad para aplicar adecuadamente esas tecnologías en beneficio de los sistemas productivos. Aquí se ha demostrado cómo con la instalación de un sistema de refrigeración por absorción y simultáneamente usar corrientes con contenido remanente de energía térmica, es posible incrementar notablemente la energía eléctrica generada en una planta de ciclo combinado y la eficiencia de las instalaciones.

El incremento de la energía generada por la turbina de gas al enfriar el aire de succión al compresor es proporcional a la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura considerada de entrada al compresor. Para el caso estudiado, cuando se considera una temperatura de entrada del aire al compresor es de 5°C, el incremento va de 5 a 25% de la potencia entregada en las condiciones actuales.

Se concluye también que para llevar a cabo el incremento mencionado, se requiere de una potencia refrigerante de 106 toneladas por cada Mw de aumento. Sin embargo el crecimiento en la generación eléctrica no es infinito y está limitado a las características de diseño de la turbina.

Así mismo, mediante este proyecto se puede contribuir a la disminución de las emisiones contaminantes, pues por cada tonelada de gas natural que deja de quemarse se evita la generación de 1.22 toneladas de bióxido de carbono bajo condiciones estándar. Al disminuir el régimen térmico se elimina 3.3% de las emisiones a la atmósfera por cada kwh generado por la turbina de gas.

La tendencia mundial en cuanto a plantas térmicas de generación de electricidad es el uso de ciclos combinados de alta eficiencia. En México se han instalado pocas plantas de este tipo, sin embargo actualmente es mucho más rentable eficientar las que se encuentran en operación. Las técnicas que se pueden aplicar van desde una buena operación y mantenimiento hasta la instalación de accesorios y equipos que incrementan la eficiencia. Los resultados presentados son una muestra de lo mucho que se puede hacer y de lo que aún falta por hacer en la mayoría de las instalaciones de generación en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Romero Paredes, H. et al. "Disminución de la eficiencia energética por ensuciamiento de filtros de aire en turbinas de gas". A ser publicado en las memorias del XVI Seminario de Uso Racional de la Energía, 1995.

LA LUZ NATURAL ALTERNATIVA PARA EL AHORRO DE ENERGIA EN SISTEMAS DE ILUMINACION

ING. ARTURO ESCUTIA PEREZ

ING. ERNESTO PEDRO CRUZ MENDEZ

ING. HORACIO BUITRON SANCHEZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
UNIDAD AZCAPOTZALCO

PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO

RESUMEN

Los avances tecnológicos generan cambios trascendentes en todo tipo de instalación. Los nuevos espacios y los ya existentes justifican la introducción de nuevas tecnologías teniendo consideraciones económicas importantes, sobre todo cuando se aprovecha la *luz natural* en sistemas de alumbrado industrial y comercial.

En el diseño de iluminación natural, es necesario tener el conocimiento del tránsito solar, las condiciones atmosféricas, el diseño arquitectónico de la edificación, materiales y elementos de control, etc., para aplicar con precisión el método de cálculo.

Las técnicas fundamentales de alumbrado han variado poco. En la mayor parte de comercios e industrias se utiliza aún el alumbrado general, que produce una iluminancia más o menos uniforme sobre el plano de trabajo, lo que garantiza una total libertad para la colocación de maquinaria, bancos de trabajo, estantería, expositores, percheros, etc. Este tipo de alumbrado se consigue mediante el empleo de una serie más o menos regular de lucernarios.

Se emplea iluminación localizada adecuada en aquellas zonas que, a causa de la presencia de obstrucciones o de la inclinación desfavorable del plano de trabajo, no estén suficientemente bien iluminadas por el alumbrado general.

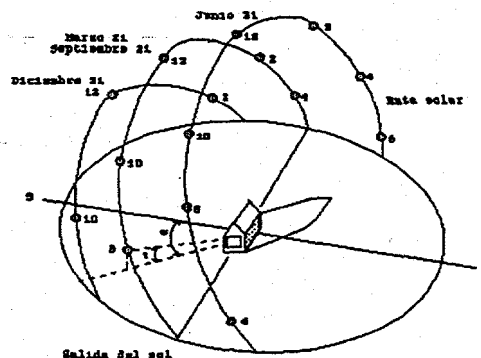
El empleo de la luz natural de acuerdo con la disponibilidad en cada momento permitirá en muchos centros de trabajo una sensible disminución del tiempo de utilización del alumbrado artificial, siempre que la situación del accionamiento de la instalación lo permita, en conjunto con controles modernos y la gran variedad de lámparas ahorradoras eficientes.

LUZ NATURAL

La rotación de la tierra sobre su propio eje, también como el sol producen un movimiento aparente continuo de el sol con respecto a cualquier punto de referencia sobre la superficie terrestre. La posición de el sol con respecto a cualquier punto de referencia en cualquier instante es usualmente expresada en términos de dos ángulos-la altitud solar y el acimut solar.

La altitud solar.- es el ángulo vertical arriba del horizonte.

El acimut solar.- es tomado usualmente como el ángulo horizontal del sol debido a la línea sur.



Altitud y acimut solar. (γ) Altitud solar,
(α) Acimut solar

La iluminancia.- producida en una superficie exterior por el sol es influenciada por el ángulo de altitud de el sol, la cantidad de niebla y polvo en la atmósfera y el ángulo incidente entre la luz solar y la superficie en que la luz cae.

DISEÑO ARQUITECTURAL

Principales diseños arquitectónicos

Cubiertas con lucernarios en la cumbrera

Techo monitor. Es frecuentemente más usado en diseños industriales donde un área de la bahía central alta puesta entre dos áreas de bahía bajas.

Tragaluz lateral. Se colocan ventanales adicionales en el frente del techo en la misma dirección de las ventanas principales.

Cubierta con dientes de sierra

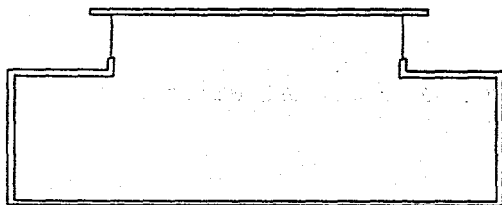
Diente de sierra. Estos ventanales son usados principalmente en techos bajos, áreas largas, en edificios industriales.

Cubiertas con lucernarios

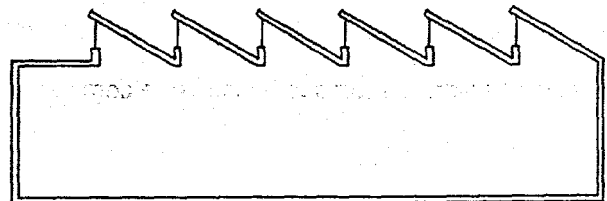
Techo de dos aguas. Este tipo de techo luminoso necesita una pequeña área vidriada; por lo tanto la pérdida de calor en invierno a través del vidriado es minimizada. Por otra parte es difícil de mantener limpio, y esto también dificulta la proyección de luz solar, como consecuencia la instalación de techos de dos aguas son sujetos a sobre calentamiento en tiempo asoleado.

Domos

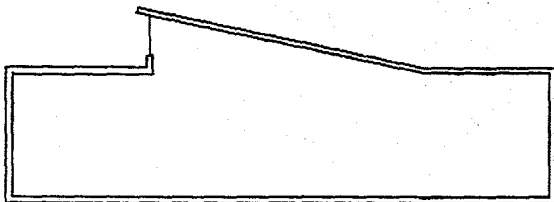
Luz de cielo. Modernas luces de techo toman formas y son extensamente usadas en arquitectura contemporánea. Estos son domos, paneles de sol integral y control de brillo, paneles de fibra de vidrio reforzados con plástico, y paredes con persianas-ventilas para calor y control de brillo. En suma para una distribución efectiva de luz los diseños deberán ser cuidadosamente detallados para proporcionar una protección efectiva contra penetración de humedad y posibles goteras de condensación. También pueden ser usados para proporcionar control de calor y ventilación.



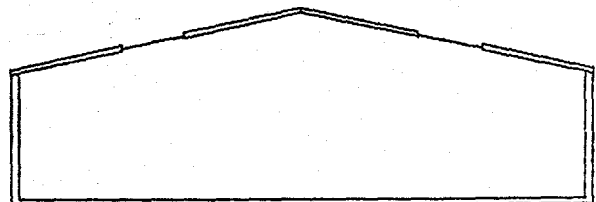
Diseño de iluminación techo monitor



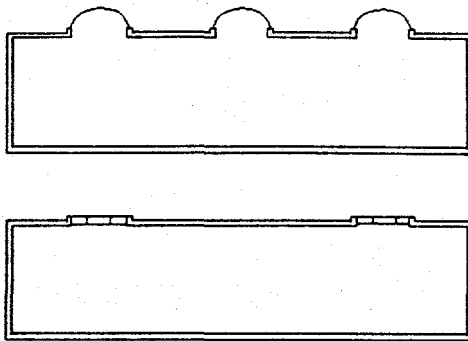
Diseño de iluminación diente de sierra



Diseño de iluminación de tragaluz lateral



Diseño dos aguas



Diseño luz de cielo

Orientación de la ventana.

En latitudes hacia el norte de la República Mexicana, ventanas orientadas a el sur son usualmente preferidas. esta orientación no solo ofrece altos niveles de luz natural, particularmente en los meses de invierno, sino que permiten el uso del calor solar como una ayuda al calentamiento de la habitación. Como regla general, orientaciones este-oeste presentan los problemas más difíciles de control de luz natural y complican el diseño de calefacción y ventilación.

Tipos de construcción

Los ventanales y entradas de edificios proporcionan buena admisión, control y distribución de luz natural; eliminan la desatisfacción que mucha gente experimenta en áreas completamente cerradas; pueden proporcionar entradas y salidas de emergencia; y pueden ser usadas para ventilación y conservación de energía.

La distribución de luz natural es mejorada cuando es introducida por más de una superficie de cuarto. Ventanales unilaterales limitan el ancho de un espacio en que la iluminación de día puede ser efectiva alrededor de $2\frac{1}{2}$ veces la altura de el piso a la cabeza de la ventana. Para los ventanales de la pared es recomendado que la luz transmitida a las áreas sea continua y preferiblemente extendida a todo lo largo de el cuarto y al techo. Donde se requieran pilares deberán ser de un mínimo ancho. Cuando los derrames de la profundidad de la ventana sean necesarios, deberán ser biselados.

DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACION

En el diseño del sistema de iluminación natural, es necesario tener el conocimiento del tránsito solar, para ello va a ser necesario la representación del tránsito solar en el hemisferio tridimensional (bóveda celeste), en cartas o gráficas bidimensionales. Algunos tienen limitaciones en su aplicación.

A continuación se exponen los métodos de proyección del tránsito solar, más comunes:

* *Gnomónico*. Método de proyección derivado de los relojes solares.

* *Ortográfico*. En este método de proyección, los puntos del hemisferio celeste se proyectan en un plano horizontal, con proyecciones verticales paralelas.

* *Equidistante*. Con éste método se elimina la desventaja del anterior. Los puntos de la bóveda celeste se proyectan de regreso en círculo del horizonte, con líneas proyectadas radialmente, desplazándose el centro de proyección de 1.6 a 1.75 veces el radio debajo de la posición del observador. Este método se usa casi exclusivamente en EE.UU.

* *Estereográfico*. Este método es similar al anterior, pero el centro de proyección permanece constante en el nadir (opuesto al cenit), a una distancia "r" debajo del punto del observador. Los círculos de altitud están más ampliamente separados cerca del horizonte que cerca del cenit, lo cual es una ventaja, ya que da mejor resolución al leer ángulos solares de baja altitud. El manejo gráfico y matemático es más sencillo. Este método es más ampliamente usado en Australia, Europa, etc.

* *Cartesiano*. Este método proyecta el hemisferio en una superficie vertical, como en el caso de los diagramas de Waldram (se dibuja un cilindro alrededor del círculo del horizonte).

Cálculo de luz natural

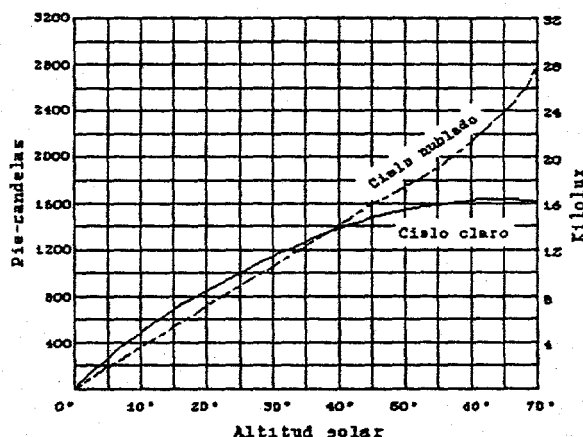
Cálculo de iluminancia

El procedimiento involucra:

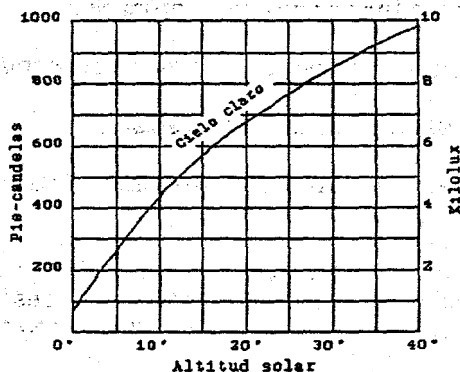
- Determinación de la luz natural (sol, cielo y luz terrestre) incidente en las ventanas.
- El flujo de luz que actualmente entra al espacio iluminado.
- La distribución de flujo de luz dentro de el cuarto.
- La iluminancia producida sobre las superficies de interés.

Luz de cielo

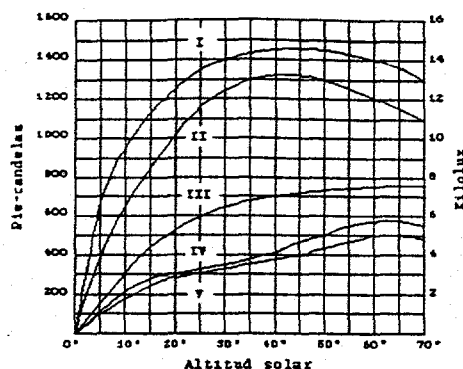
La luz natural recibida del cielo en el plano de los ventanales verticales u horizontales en varios días al año y tiempos del día para un número de orientaciones es obtenida como sigue (1) de acuerdo a los diagramas del tránsito solar, por el método de proyección estereográfico, determinar la altitud solar para el día y tiempo, (2) de las curvas apropiadas leer la iluminancia de el cielo incidente en el ventanal.



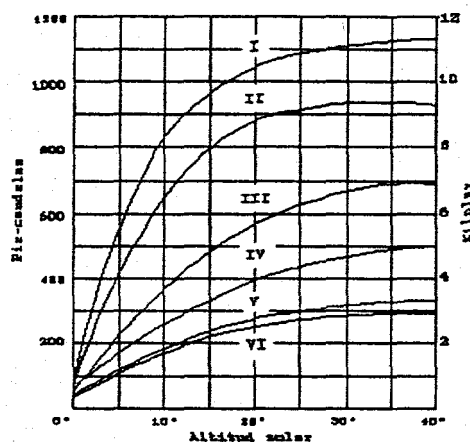
Curvas de iluminancia de luz de cielo claro y nublado en verano sobre una superficie horizontal



Curvas de iluminancia de cielo claro en invierno sobre una superficie horizontal



Curvas de iluminancia de cielo claro en verano sobre una superficie vertical



Curvas de iluminancia de cielo claro en invierno sobre una superficie vertical

- | | |
|------------|--|
| Curva I. | Superficie vertical a 0° de acimut solar |
| Curva II. | Superficie vertical a 45° de acimut solar |
| Curva III. | Superficie vertical a 70° de acimut solar |
| Curva IV. | Superficie vertical a 90° de acimut solar |
| Curva V. | Superficie vertical a 135° de acimut solar |
| Curva VI. | Superficie vertical a 180° de acimut solar |

Luz terrestre. La iluminancia en una ventana vertical producida por reflexión de luz de la tierra depende de la saliente que ésta pudiera tener. Una ventana recibiendo iluminación de un brillo terrestre uniforme de extensión infinita tiene una iluminancia igual; en lux o fotocandelas a $\frac{1}{2}$ de la iluminancia terrestre en lúmenes por metro cuadrado o pie cuadrado, sin considerar el alto de la ventana arriba de la tierra.

Determinación de el flujo de entrada de luz al cuarto. Solo una parte de el flujo de luz incidente en el área de el ventanal actualmente entra al espacio iluminado. El grueso de el área del ventanal es reducido por los soportes mecánicos de los materiales del vidriado, tal como maineles, miembros de ventana, etc. La reducción en el área de transmisión puede ser determinada.

Luz natural generalmente abundante y eficiente de transmisión interior de el cuarto puede y podría muchas veces ser un compromiso con otros factores, tales como el control de luz solar, ganancia de calor o reflejo, en el diseño global de iluminación natural.

Cielo nublado no uniforme

La distribución de luminancia de cielos nublados puede ser aproximada por simple ecuación.

$$L_{\theta} = \frac{3E_h}{7\pi} (1 + 2 \sin \theta)$$

Donde:

L_{θ} = luminancia de cielo a ángulo θ sobre el horizonte.

E_h = Iluminancia sobre el plano horizontal de cielo no obstruido

π se omite si la iluminancia es obtenida en fotocandelas

Esta ecuación puede entonces ser aplicada al método general para el cálculo de iluminancia de una fuente regular de cualquier distribución de luminancia y nuevas ecuaciones derivadas.

Cielo claro

La distribución de luminancia de cielos claros puede ser aproximada por la siguiente ecuación:

$$L_{\theta} = L_z \frac{(1 - e^{-0.32 \sec \epsilon})(0.91 + 10e^{-3\delta} + 0.45 \cos^2 \delta)}{0.274(0.91 + 10e^{-3z\theta} + 0.45 \cos^2 z\theta)}$$

Donde:

L_{θ} = Luminancia de cielo considerando la posición

L_z = Luminancia de el cenit

ϵ = Distancia angular del cenit de L_{θ}

δ = Distancia angular de el sol de L_{θ}

$z\theta$ = Distancia angular del cenit de el sol.

Método de Lumen para iluminación de cielo

Para sistemas de iluminación natural empleando elementos horizontales a poca distancia del nivel de techo, un procedimiento muy similar a el método de cavidad zonal para diseños de iluminación eléctrica interior puede ser usado para calcular la iluminancia horizontal promedio sobre el plano de trabajo. La formula básica es:

$$E_t = E_h \times A_t/A_w \times K_u \times K_m$$

Donde:

E_t = Iluminancia promedio sobre el plano de trabajo de luces de cielo

E_h = Iluminancia horizontal sobre el exterior de los elementos de iluminación de cielo

A_t = Area gruesa de los elementos de iluminación de cielo

A_w = Area de el plano de trabajo

K_u = Coeficiente de utilización

K_m = Factor de pérdidas de luz

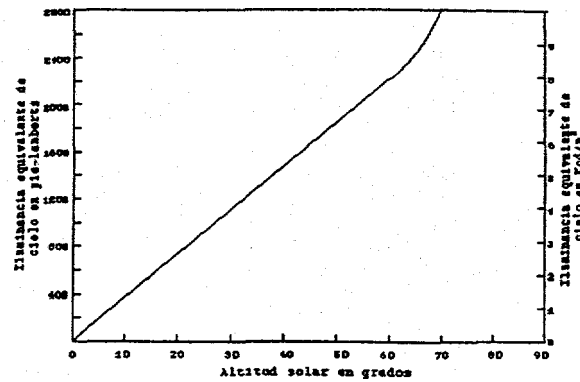
El procedimiento de calculo puede ser dividido en 4 pasos:

- 1) Determinación de la iluminancia horizontal en el exterior de los elementos de iluminación de cielo.
- 2) Determinación de la transmitancia neta, directa y difusa, de los elementos de iluminación de cielo
- 3) Determinación de los coeficientes de utilización y factor de pérdida de luz
- 4) Determinación de:
 - a.) La iluminancia promedio horizontal sobre el plano de trabajo (si el número y tamaño de los elementos de iluminación de cielo son especificados), o
 - b.) El número y tamaño de los elementos de iluminación de cielo (si la iluminación promedio horizontal es especificada).

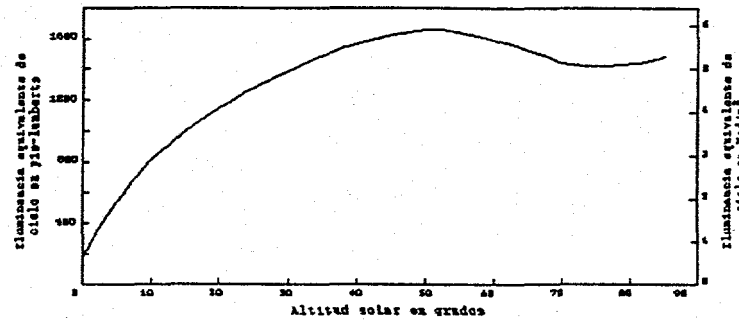
Paso 1.- Iluminancia incidente horizontal.

En cálculos de iluminación natural, se debe acostumbrarse a usar un solo valor de luminancia para representar un cielo nublado para una cierta fecha, tiempo y latitud. La suposición de un cielo con esta sola luminancia uniforme

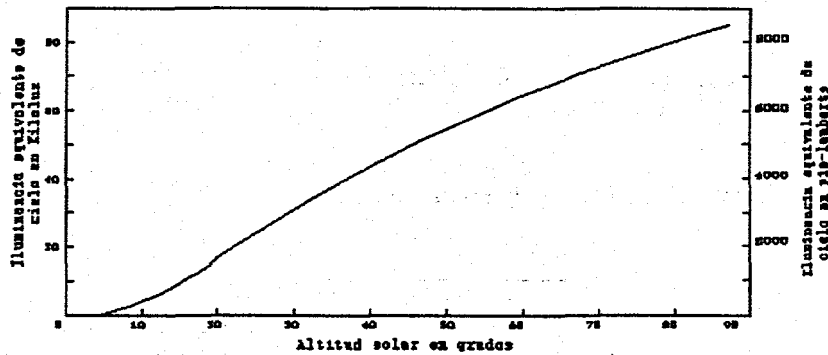
es que producirá la misma iluminancia horizontal como el cielo no uniforme actual. La misma situación debe ser supuesta cuando sea un cielo claro. El uso de figuras y los diagramas del tránsito solar permiten una determinación de E_h para cualquiera de las dos condiciones de cielo (cielo nublado y cielo claro más sol directo) para una fecha dada, tiempo y latitud.



Cielo nublado



Cielo claro



Iluminancia promedio solar

Paso 2. Transmitancias netas.

Son dos transmitancias a considerar cuando tratamos con luz de cielo. Una es la transmitancia directa (T_D), que es usada siempre que la luz solar directa choca contra la luz de cielo y que varía con el ángulo de incidencia de la entrada de radiación solar, decreciendo rápidamente para laminas horizontales a altos valores de este ángulo. La segunda es la transmisión difusa (T_d), que es usada con la luminancia de cielo claro y nublado uniforme y que no varía con el ángulo de incidencia. Generalmente los fabricantes proporcionan datos de transmitancia para laminas horizontales de su vidrio o plástico en la forma de un solo valor de T_d y una curva mostrando la variación de T_D con el ángulo.

Más luces de cielo son abovedadas, y esto afecta las transmitancias de tres formas. Primero el proceso de abovedado disminuye significativamente el espesor de la lámina a el centro de el domo. Segundo, el ángulo de incidencia de la luz solar varía sobre la superficie de los domos. Tercero, el domo, a causa de extenderse sobre la línea del techo, tiene mayor área de superficie colectora de luz que una lámina horizontal. El primero de estos factores puede ser incluido modificando la transmitancia de la lámina horizontal a:

$$T_{DM} = 1.25 T_{FS}(1.18 - 0.416 T_{FS})$$

donde T_{DM} es transmitancia del domo y T_{FS} es transmitancia de la lámina horizontal.

Esta ecuación no cambia la transmitancia de una lámina transparente ($T_{FS} = 92\%$) pero incrementa la transmitancia de una lámina traslúcida ($T_{FS} = 42\%$) por sobre el 25%, en conformidad con lo que actualmente sucede en práctica. El segundo y el tercer factor pueden ser considerados juntos notando que el efecto de abovedando es a causa de T_D llegando a ser constante dentro de el 10% para todos los ángulos de menos incidencia que 70 grados (ángulos solares mayores de 20 grados). Así para más aplicaciones de domos, un simple número para T_D igual a valores de 0 grados de ángulo de incidencia pueden ser usados.

A causa de consideraciones de energía, más luces de cielo contemporáneas son abovedadas dobles, muchas veces un domo transparente sobre un domo traslucido. La transmitancia global de tal unidad puede ser obtenida de:

$$T = \frac{T_1 T_2}{1 - R_1 R_2}$$

donde T_1 y T_2 son las transmitancias de los domos individuales, R_1 es la reflectancia desde el lado más bajo de el domo superior y R_2 es la reflectancia de el lado de la parte de arriba de el domo más bajo. Esta formula toma en cuenta las interreflexiones entre los domos.

Nos resta incluir los efectos de alguna fuente de luz presente entre los domos y el techo plano de la habitación. Las interreflexiones dentro de tal fuente reducirá la transmitancia global de sistema de iluminación de cielo. Primero un índice de fuente es calculado desde:

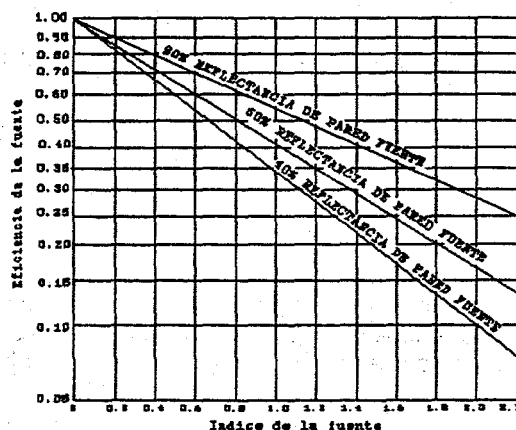
$$W_I = \frac{h(W+l)}{2WI}$$

donde h , W y l son altura, ancho y largo de la fuente, respectivamente.

Segundo, la eficiencia de la fuente (N_w) debe ser obtenida de la figura siguiente, suponiendo que la reflectancia de la pared fuente es conocida. Tercero, una luz de cielo que no tiene un marco de transmitancia de luz para sostener el domo en el lugar, en necesario incluir la razón del grueso neto del área de luz de cielo (R_a). Por último si algunos difusores, lentes, persianas u otros controles están presentes, sus transmitancias (T_c) deberán ser incluidas. Ahora la transmitancia neta del sistema fuente de luz de cielo puede ser encontrado por:

$$T_n = T \times M_w \times R_a \times T_c$$

donde T es transmitancia directa o difusa de la unidad del domo.



Factores de eficiencia para varias profundidades de fuentes de luz, basado en valores de interreflectancia

Paso 3. Coeficiente de utilización y factor de pérdida de luz.

Coeficiente de utilización de cuarto (RCU), indica la fracción de flujo luminoso entrante al cuarto que alcanza el plano de trabajo, esta dado en la tabla siguiente. Estos están basados en 20% de reflectancia de piso. La razón de cuarto (RR) aparecen en la misma tabla, y son factores dependientes de las proporciones de cuarto, son obtenidos de:

$$RR = \frac{w \times l}{h_c(w+l)}$$

Donde h_c = altura del cuarto - altura del plano de trabajo.

Coeficientes de utilización de cuarto para luz de cielo				
Razón de cuarto	Reflectancia de techo			
	75%		50%	
	Reflectancia de pared			
	50%	30%	50%	30%
0.60	0.52	0.49	0.52	0.49
0.80	0.63	0.60	0.62	0.59
1.00	0.70	0.67	0.69	0.63
1.25	0.73	0.71	0.72	0.70
1.50	0.79	0.77	0.77	0.72
2.00	0.82	0.80	0.81	0.79
2.50	0.88	0.83	0.87	0.82
3.00	0.90	0.88	0.89	0.87
4.00	0.92	0.89	0.90	0.88

El coeficiente de utilización (K_u) es la fracción de flujo luminoso incidente en las luces de cielo que alcanzan el plano de trabajo. este es obtenido por:

$$K_u = RCU \times T_n$$

El factor de pérdidas de luz K_m es el producto de la depreciación de la superficie sucia de cuarto (RSDD) y depreciación de luz de cielo sucia (SDD), en la ausencia de información acerca de suciedad a ser considerada, un valor de 0.7 puede ser asumido.

Paso 4. Iluminancia o número y tamaño de luz de cielo.

Dejar que el número de luces de cielo sea N y el grueso del área de cada luz de cielo sea A . Entonces el grueso del área de luz de cielo es $A_c = N \times A$.

En un día de cielo nublado la iluminancia horizontal promedio para un día particular, tiempo y latitud es:

$$E_{t_o} = E_{h_o} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ad} \times K_m$$

donde la "o" denota nublado y la "d" denota que la transmitancia difusa es usada en cálculos de coeficiente de utilización.

Para un día de cielo claro y sol directo, la ecuación de iluminancia es:

$$E_{t_{cs}} = E_{h_c} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ud} \times K_m + E_{h_s} \times \frac{N \times A}{A_w} \times K_{ud} \times K_m$$

donde "cs" denota cielo claro más sol directo, "c" denota cielo claro, "s" denota sol directo y "d" y "D" denotan que transmitancia difusa fue usada en cálculo de coeficiente de utilización para contribución de cielo claro a iluminancia y la transmitancia directa fue usada en cálculo de coeficiente de utilización para la contribución de luz solar directa.

Condiciones de los locales o naves

* *Situación de los acristalamientos.* La iluminancia proporcionada por los huecos acristalados depende del emplazamiento de éstos. En el caso de suficientes bandas de claraboyas en las cubiertas inclinadas, planas o con lucernario en la cumbre, se logra una iluminación uniforme, aunque existe el riesgo de sol directo, si no se toman precauciones especiales (persianas, toldos, vidrios o plásticos atérmicos, reflectantes o pintados, etc.). El empleo de cubiertas en dientes de sierra con cristalerías al norte, verticales o formando ángulo de al menos 75° con la horizontal, evita el peligro del soleamiento directo, aunque por sus dimensiones puede resultar, en ocasiones, una luz poco uniforme.

Vamos a enumerar las características que deben cumplir los elementos constructivos transparentes o traslúcidos, en los locales o naves usuales, para realizar las actividades industriales o comerciales.

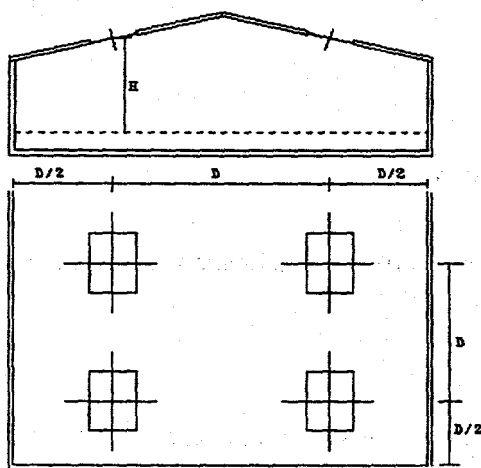
* *Lucernarios.* Tienen la ventaja, sobre otros tipos de acristalamiento, de poder conseguir una uniformidad elevada. Para conseguir un factor de uniformidad de 2:1 bastará, que la distancia entre el centro de las filas y de los lucernarios, D , no supere el doble de la altura de éstas, sobre el plano horizontal de trabajo, H .

* *Cubiertas con dientes de sierra.* Para conseguir una buena uniformidad en la iluminación natural, la separación entre cristalerías deberá mantener una determinada relación, con la altura de éstas, sobre el plano de trabajo.

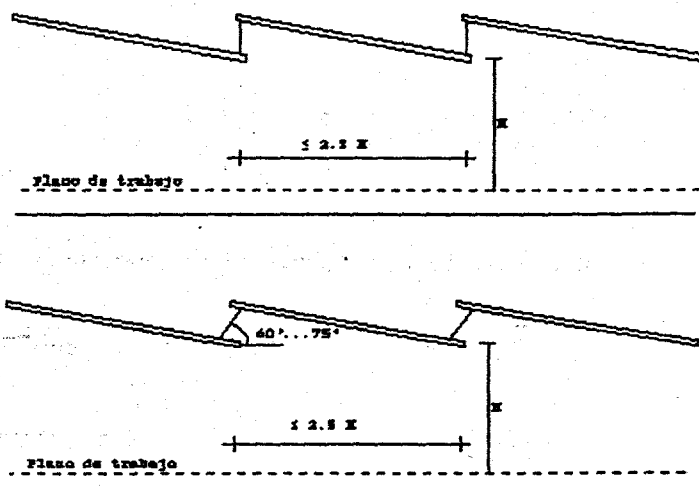
* *Cubiertas con lucernarios en la cumbre.* Para conseguir una adecuada uniformidad de la iluminación natural, coeficiente de uniformidad de 3:1, la separación entre las cristalerías, en número siempre al menos de 2, no deberá superar una determinada relación, generalmente 2.2 veces la altura del borde inferior de los acristalamientos sobre el plano horizontal de trabajo.

* *Domos.* Si los domos son esparcidos muy separadamente el resultado general serán puntos sombreados por la puesta de luz natural. La distancia entre cualquier pared y filas de domos no deberá exceder de $\frac{1}{2} D$; si el trabajo es realizado fuera de la mesa de trabajo y llevado a la pared esta distancia debe ser reducida a $\frac{1}{3} D$. Para conseguir una uniformidad elevada es necesario seguir las características que tienen los lucernarios.

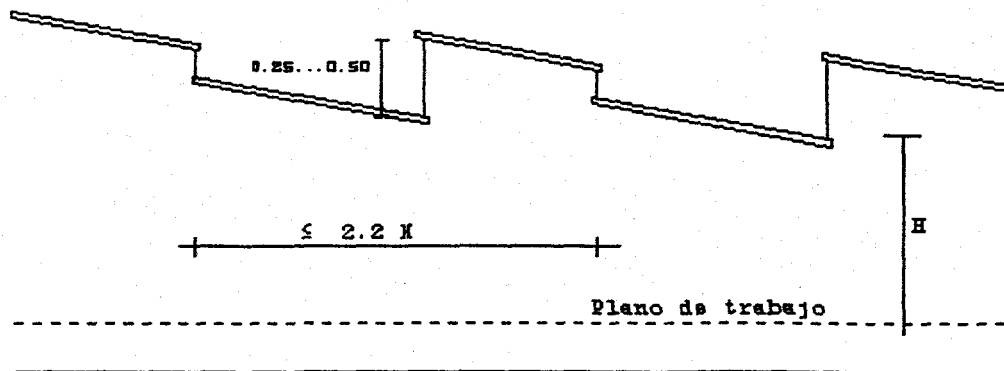
La razón espaciamento/altura necesariamente no debe ser interpretada tan rígidamente. Donde la uniformidad de luz natural no es importante, la razón recomendada puede ser excedida. Pero en una edificación donde, por estructuras u otras razones, un espaciamento muy ancho es inestable, algunas pérdidas en la flexibilidad deberán ser aceptadas.



Cubierta con lucernarios



Cubiertas con diente de sierra vertical e inclinada



Cubiertas con lucernarios en cumbre

Costo debido a la iluminación natural

Aunque a primera vista resulte extraño, en realidad se ha demostrado que el contar con huecos acristalados para obtener una iluminación natural suele conllevar un costo extra en la utilización de los locales o naves, respecto a aquellos en que sólo se emplea la iluminación artificial. Dejando aparte algunos costos de conservación, como la necesaria limpieza de las superficies transparente.

Costo del aislamiento-climatización

Los huecos transparentes son los elementos más débiles del edificio, en cuanto a resistencia térmica se refiere (en general del orden de una cuarta o quinta parte de los elementos macizos ciegos).

Existen dos caminos para reducir las cargas excesivas que se producen: duplicar los acristalamientos o aumentar la potencia de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Tanto en el cambio por dobles superficies transparentes como el de prever un mayor número de Kcal/h, será necesario realizar la correspondiente evaluación monetaria.

Además de aumentar el intercambio térmico con el exterior, las superficies rasgadas por carpinterías resultan más propensas a la producción de condensaciones, el paso de ruidos y vibraciones. En los casos en que estos efectos sean, legal o prácticamente, redundantes deberán tomarse las medidas técnicas, y realizar la correspondiente evaluación monetaria.

Integración con el alumbrado artificial

Se debe recurrir a la combinación luz natural-luz artificial siempre que el resultado global energético-económico resulte positivo.

Las pérdidas y ganancias térmicas pueden ser el mayor inconveniente de grandes superficies acristaladas. También la entrada de ruidos exteriores supone una incidencia negativa; por su parte, la salida del ruido puede entrar en conflicto con las exigencias urbanas.

Problemática planteada

Analicemos los principales efectos conflictivos que aparecen al querer hacer un uso extensivo de la luz natural.

* *Superficies acristalas.* Por una parte la cantidad de los huecos transparentes o traslúcidos esta limitada por el incremento de pérdidas y ganancias térmicas, la transmisión de ruidos, etc. Otro efecto de tipo luminosos es la:

- Luminosidad elevada. La presencia de superficies de área y luminosidad importante dentro del campo visual obliga, por un lado, a una adaptación de la visión para niveles elevados, disminuyendo la visibilidad de las zonas oscuras y posibilitando el deslumbramiento.

* *Nivel, color y distribución de la luz.* La integración entre la luz natural y la artificial puede dificultarse por cuestiones como:

- Niveles elevados de luz natural. Dado que las iluminaciones interiores pueden suponerse en la práctica como un porcentaje de la iluminación exterior y que esta puede alcanzar valores elevadísimos, en los puntos en que existe un suplemento de luz artificial sería necesario proporcionar niveles altos.

- Cromaticidad de las lámparas. El color aparente de muchas lámparas es mucho más cálido que el de la luz natural, debiendo evitarse este contraste excesivo.

- Direccionalidad de las luces. Los ángulos de incidencia de la luz natural y artificial deberán ser aceptablemente concordantes, pues de lo contrario crearían un juego confuso de claros y oscuros.

Métodos para combinarlas

Para los adecuados equilibrios y coordinación de las iluminaciones natural y artificial deberán tenerse en cuenta sistemas como los siguientes:

* *Elección de equipos adecuados.* El empleo de lámparas, luminarias y distribuciones idóneas permite compatibilizar la luz artificial con la iluminación natural, en aspectos como el equilibrio de iluminancias, la similitud en el color y la direccionalidad de la luz, etc.

* *Empleo de medios pasivos.* La adaptación de ciertos accesorios como persianas, cortinas, acabados coloreados, etc., puede ayudar a la integración con el alumbrado artificial, al reducir la cantidad de luz natural, modificar su direccionalidad o color, etc.

* *Control del alumbrado artificial.* Para el uso racional y económico de las instalaciones mixtas de luz natural y luz artificial, es necesario recurrir a sistemas de control más o menos automatizados. Si la instalación se divide en zonas con mando individual y con diferentes aportaciones de luz natural, pueden apagarse, o atenuarse en su caso, aquellas partes de los locales con suficiente luz natural. Los sistemas de control pueden ir desde el mando de las bandas de luminarias por los mismos usuarios a una atenuación progresiva del alumbrado artificial, mediante celdas fotoeléctricas y dispositivos electrónicos adecuados.

CONCLUSIONES

El empleo de luz natural reclama conocimientos diferentes a los que se necesitan para aprovechar la iluminación artificial. Para utilizar la iluminación natural hay que tener en cuenta la posición del sol durante el día y las estaciones del año, ya que de ello depende la cantidad de luz con que se cuenta, también debe tenerse en cuenta que ésta debe ser continua y uniforme. Si bien es un hecho que con el aprovechamiento de la luz natural se obtienen ahorros de energía, se deben establecer mecanismos de control para contrarrestar los cambios climáticos que esta ocasiona.

Existen diferentes técnicas para distribuir la luz en el interior de la construcción, siendo importante considerar en este caso la fuerte radiación del sol sobre los objetos que se encuentren en el área de trabajo; de ahí que se empleen diversos elementos que ayudan a controlar la luz natural.

REFERENCIAS

1. Westinghouse Electric Corporation 'Manual de alumbrado' Editorial Dossat, S.A. tercera edición. España 1987
2. Illuminating Engineering Society of North América 'I.E.S. Lighting Handbook', 1981
3. J.A. Lynes 'Principles of Natural Lighting Applied Science Publishers LTD', first edition. London 1960

IMPORTANCIA DE LAS ARMONICAS EN EL SISTEMA DE ILUMINACION PARA EL AHORRO DE ENERGIA ELECTRICA.

Ing. Victor Garibay Mendoza, LUMISISTEMAS, Dpto. Aseguramiento de Calidad. Miembro de IESNA

Ing. J. Martin Hernández Bernal, UNICORP, Ing. Proyectos. Miembro de IESNA

Dentro de un sistema de iluminación, las lámparas de descarga (fluorescentes y alta intensidad de descarga "HID"), balastos y los controles son elementos generadores de armónicas. A consecuencia de la tendencia al ahorro de energía se ha incrementado el uso de balastos electrónicos y controles que integran atenuadores de luz (dimmers), sensores de luz natural y de presencia con el fin de optimizar el uso de la energía. Este trabajo presenta los resultados de generación de armónicas para lámparas fluorescentes, operando diferentes balastos electrónicos así como con controles electrónicos. Así mismo son presentados los efectos causados por la generación de componentes armónicas por el sistema de iluminación dentro del sistema eléctrico que van desde la distorsión en voltaje y corriente, la presencia de corrientes dentro del conductor neutro en sistemas balanceados, así como la repercusión en los equipos de medición tales como los watthorímetros y los efectos que sufre los equipos de iluminación debido a la presencia de armónicas tales como la disminución del factor de potencia en balastos que son de alto factor de potencia y el incremento de la temperatura de operación de balastos del tipo magnético.

ARMONICAS PRODUCIDAS POR LAMPARAS DE DESCARGA EN GAS.

En los circuitos donde se utilizan lámparas de descarga en gas existen muchas componentes armónicas presentes, las cuales tienden en frecuencia a ser mayores que la frecuencia fundamental. Las formas de onda de voltaje y corriente se desvían significativamente de una forma de onda senoidal, esta desviación se debe a la distorsión de la onda.

La tabla 1 es un resumen de los porcentajes de distorsión ocasionados por frecuencias mayores a los límites especificados. Los componentes mayores de 5 KHz no fueron cuantificados debido a sus pequeñas contribuciones. Note que el cálculo del porcentaje es por ciento de armónicas, relativa a todos los componentes, no exactamente a la fundamental.

ARMONICAS PRODUCIDAS POR BALASTROS

Todo sistema de iluminación a base de lámpara de descarga en gas, necesariamente debe utilizar un balastro, debido a que una de las funciones principales de un balastro es la de limitar la corriente de la lámpara, en el caso de balastos electromagnéticos (EM) esto lo logra mediante la saturación de su núcleo de hierro, con lo que es considerado como una carga no lineal, debido a ésta saturación en el núcleo, se produce una distorsión en la corriente.

El principio de funcionamiento de un balastro electrónico (EL) se basa en convertir la señal de corriente alterna de 60Hz en una señal de corriente alterna de alta frecuencia (20-60 KHz), ya que para altas frecuencias una lámpara fluorescente resulta más eficaz, en la

etapa inversora además de la alta frecuencia obtenida, deberá observarse en la forma de onda, una onda cuadrada inherente de los circuitos de conmutación que posee una gran cantidad de armónicas.

Algunos balastos EL tienen un contenido armónico arriba del 35 %, un valor peligrosamente alto si se estuvieran utilizando en grandes cantidades en una sola instalación eléctrica. Sin embargo, muchos otros son diseñados con una fuente de alimentación que mantienen el contenido de la tercera armónica por debajo del 25 %; mientras que un balastro EL de circuito integrado esta por debajo del 10 % de distorsión armónica que es una clasificación ANSI/CBM para balastos EM.

Las figuras 1 y 2 muestran los resultados de balastos electrónicos para dos lámparas fluorescentes de 40 watts Blanco frio ó 34 watts, las figuras incluyen un balastro electromagnético probado por CBM que opera las mismas lámparas. Los datos fueron obtenidos de tres unidades de cada balastro y el promedio de estos son los valores listados. Ambas figuras permiten una comparación de los diferentes balastos electrónicos operados con lámparas normales y ahorradoras, y los cambios asociados con balastos operando lámparas a 60 hertz, en alta frecuencia y en combinación con dimmers.

INFLUENCIA DE LAS ARMONICAS EN EL FACTOR DE POTENCIA.

El factor de potencia es definido como la relación de la potencia real entre la potencia aparente. Con corrientes y voltajes estrictamente senoidales, esta relación puede ser expresada como el desplazamiento de fase entre las señales de voltaje y corriente, si otras componentes de frecuencia están presentes en las señales de voltaje y/o corriente, la definición normal de factor de potencia deberá ser modificada para incluir esta distorsión. El factor de potencia de forma general está definido como:

$$\text{Factor de Potencia} = \frac{I_1}{I_{\text{rms}}} \cos(\theta)$$

Esta cantidad es algunas veces llamada Factor de Potencia Verdadero, para distinguirla de la definición normal, la que es realmente parte de la definición del factor de potencia verdadero y es conocida como Factor de Potencia Desplazado.

Para cargas con puentes rectificadores, el factor de potencia verdadero puede ser expresado como una función de la distorsión total de armónicas en forma de onda de corriente, asumiendo que la distorsión armónica de voltaje en las terminales es bajo (menor del 5%). la expresión que relaciona al factor de potencia verdadero y el THD es:

$$FP = \sqrt{\frac{1}{1 + \text{THD}^2}}$$

De manera gráfica se puede observar en la figura 3, para cargas electrónicas, donde el THD de corriente pueda ser del orden del 70-90%, su factor de potencia es 0.6-0.75. Los balastos electrónicos con THD en corriente abajo del 35% tienen un factor de potencia verdadero mayor que 0.94.

PERDIDAS EN LOS ARROLLAMIENTOS DE LOS EQUIPOS.

Se calculan mediante la siguiente ecuación :

$$P_c = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} R_n I_n^2$$

Donde:

I_n : es el valor pico de la enésima armónica.

R_n : es la resistencia de los equipos a la enésima armónica.

En caso caso de que la resistencia del equipo sea constante (independiente de la frecuencia), las pérdidas en el cobre se calcularán de la siguiente manera.

$$P_c = \frac{1}{2} R \sum_{n=1}^{\infty} I_n^2 = \frac{1}{2} R I_1^2 (1 + CDF^2)$$

En este caso el factor de distorsión de corriente de termina el incremento de las pérdidas en el cobre debido a la presencia de armónicas.

El factor de distorsión de corriente (CDF) se calcula de la siguiente manera.

$$CDF = \frac{1}{I_1} \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}$$

PERDIDAS EN EL ACERO DE LOS EQUIPOS

La industria ha reconocido que cuando la forma de onda del voltaje y de la corriente tienen una frecuencia diferente a 60 hertz, originan un calentamiento adicional en aquellos equipos con núcleo de hierro.

La norma ANSI/IEEE C57.12.00-1987. IEEE Standard General Requirements for Liquid Immersed Distribution, Power, and Regulating Transformers. Reconoce este hecho y delimita que los transformadores de potencia no deben estar expuestos ha manejar corrientes de carga con un factor armónico mayor del 5%.

La norma ANSI/IEEE C57.110-1986. Recommended Practice for Establishing Transformer Capability When Supplying Nonsinusoidal Load Currents. Define que las corrientes de carga con contenido armónico son una posibilidad para desarrollar un método para mejorar un transformador debido a las altas frecuencias de la corriente de carga. Algunos fabricantes han utilizado esta norma para vender transformadores que son diseñados específicamente para manejar corrientes armónicas adicionales.

Aunque el método que describiremos a continuación fue desarrollado exclusivamente para transformadores tipo seco, lo podemos utilizar para nuestro caso, ya que contemplamos también balastros electromagnéticos no encapsulados para lámparas compacto fluorescentes y de HID.

FACTOR K

El Factor K es una aproximación del efecto del calentamiento actual producido por las componentes armónicas de corriente. Para la evaluación del calentamiento adicional producido por las corrientes armónicas, debe considerarse cada componente de la frecuencia en la corriente de carga. Si se usan los valores de corriente en por unidad, entonces el Factor K (llamado así por los fabricantes de transformadores tipo seco) será la suma de $h^2 I^2$ para cada componente de frecuencia en la corriente de carga. h es el orden de la armónica e I es la corriente armónica en por unidad. Las componentes más altas en frecuencia pueden tener un gran efecto en las pérdidas, igual que con bajas magnitudes de corriente, debido al cuadrado de la frecuencia.

Una suma de corrientes que como resultado de un Factor K total de 4 indica que el transformador será expuesto a pérdidas parásitas que son 4 veces el nivel que existiría únicamente con la corriente fundamental de carga. Para poder transportar estas cargas con buen éxito el transformador debe o ser diseñado para minimizar las pérdidas generadas por las corrientes armónicas ó debe ser capaz de disipar el calentamiento de los arrollamientos antes de que los aislamientos se dañen.

A continuación se muestra la tabla 2 en donde se pueden observar un factor K obtenido.

Armónica	Corriente I_h	I_h (pu)	I_h^2 (pu) h^2
1	91 %	0.91	0.83
3	34 %	0.34	1.04
5	22 %	0.22	1.21
7	10 %	0.10	0.49
9	4 %	0.04	0.13
11	3 %	0.03	0.11
13	2 %	0.02	0.07
15	2 %	0.02	0.09
17	1 %	0.01	0.03

FACTOR K TOTAL = 4.00

Tabla 2 Valores típicos de una oficina donde las cargas están compuestas de 50% de equipo electrónico y 50 % de iluminación fluorescente usando balastro electromagnético estándar.

INFLUENCIA EN LOS PARAMETROS DEL SISTEMA ELECTRICO.

Las balastros electrónicos contienen un puente rectificador el cual suministra un voltaje de corriente directa a un inversor, el que alimenta a la lámpara. Los filtros de DC son más pequeños que los que se encuentran en las fuentes de poder esto en combinación con

inductancias en series del lado del rectificador para limitar la Interferencia Electromagnética (EMI) reduce la distorsión de corriente de entrada. Los balastros electrónicos disponibles comercialmente muestran un amplio rango de generación de armónicas, desde un nivel bajo cercano al 10% de Distorsión Total de Armónicas (THD) hasta niveles altos del 50% de THD. Las armónicas generadas por un solo tipo de balastro se suman casi aritméticamente en las derivaciones del circuito de distribución.

Si un solo tipo de balastro es usado casi exclusivamente dentro de una instalación, el cálculo de la generación de corrientes armónicas del sistema de iluminación resulta relativamente fácil. Si diferentes tipos de balastros son utilizados, debemos asumir la aportación de cada tipo de balastro en la generación de armónicas.

DISTORSION ARMONICA EN VOLTAJE.

Usando una fuente de corriente como aproximación, el voltaje armónico en cualquier punto del sistema de distribución va ser función del flujo de la corriente y de la impedancia de corto circuito del sistema para cada frecuencia. La distorsión total de armónicas de el voltaje pude ser determinada por superposición de los cálculos para cada frecuencia:

$$V_h = I_h Z_h$$

La impedancia de corto circuito a la entrada de un edificio comercial va ser dominada por la impedancia interna del transformador que suministra la energía. Si no se dispone de información de la compañía suministradora de energía, una aproximación de la impedancia del sistema eléctrico puede ser hecha de los datos de placa del transformador. A menos de que capacitores para corrección del factor de potencia estén presentes, la impedancia del sistema eléctrico para las armónicas presentes puede ser calculado como:

$$X_h = h \frac{KV^2}{KVA} Z_T(\text{pu}) \quad W$$

$$X_h = h \frac{KV^2}{KVA} Z_T(\text{pu}) \quad \Omega$$

$$X_h = h Z_T(\%)$$

EL voltaje con distorsión armónica en la entrada del sistema es el producto de las componentes armónicas de corriente en la impedancia fundamental y la impedancia correspondiente a dicha armónica.

Mientras las armónicas múltiples de tres son atrapadas en el bobinado delta del transformador, la armónicas de secuencia positiva van a experimentar un corrimiento de -30 grados del secundario respecto al primario. En el caso del armónicas de secuencia negativa, el corrimiento será de 30 grados.

La figura 4 nos muestra el impacto que tienen tres tipos de balastros electrónicos en la distorsión armónica de voltaje como una función del incremento de la carga. Es bueno recordar que el límite máximo de distorsión de voltaje armónico es 5 %.

CORRIENTES ARMONICAS EN CONDUCTORES NEUTROS.

Otra bien conocida consecuencia de las características de las cargas no lineales es la corriente armónica que circula a través del conductor neutro en circuitos trifásicos de 4 conductores. En circuitos con cargas no lineales, las corrientes armónicas de secuencia cero, se sumarán aritméticamente en el conductor neutro de circuitos trifásicos. La tercera armónica es normalmente la componente mayor en una fuente de poder electrónica de una fase, o bien en los balastos electrónicos.

El valor rms de la corriente que fluye en los conductores de los sistemas de potencia es la responsable del las pérdidas y calentamiento, y la ampacidad del conductor está basada en el valor rms. Para corrientes distorsionadas, el valor RMS puede ser calculado de sus componentes armónicas como:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}$$

Para las dos clases de cargas no lineales de una fase aquí consideradas, el valor típico de la corriente en el neutro como un porcentaje de la corriente para una carga balanceada de una fase puede ser estimada del espectro de armónicas de dichos cargas:

$$I_{rms} = \sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots} \approx \sqrt{I_1^2 + I_3^2}$$

$$I_{n-rms} = \sqrt{(3I_3)^2 + (3I_9)^2 + (3I_{15})^2 + \dots} \approx 3I_3$$

Para fuentes de poder electrónicas, donde $I_3 = 0.71 I_1$

$$\frac{I_{n-rms}}{I_{1-rms}} \approx \frac{3(0.7)}{\sqrt{1^2 + 0.7^2}} = 1.7$$

Para balastos electrónicos con $I_3 = 0.3 I_1$

$$\frac{I_{n-rms}}{I_{1-rms}} \approx \frac{3(0.3)}{\sqrt{1^2 + 0.3^2}} = 0.8$$

PRECISION DE LA MEDICIONES ELECTRICAS EN CIRCUITOS CON LAMPARAS DE DESCARGA.

En todo instrumento de medición al registrar las lecturas ya sean de voltaje de corriente o la medición de la potencia de algún circuito, existe una desviación en las mediciones para cuando se miden a una frecuencia fundamental de 60 Hertz y a otra frecuencia diferente.

Las tablas 3 y 4 muestran la respuesta en frecuencia de 6 instrumentos de medición que fueron designados con las letras de la A a la F. Estas tablas demuestran que todos los instrumentos de prueba podrian manejar armónicas de frecuencia mayores a la frecuencia fundamental de 60 Hertz.

Cinco diferentes circuitos de lámparas fueron operados, para cada circuito utilizado se le adicionaron armónicas de tercer y quinto orden en 1.5%, 3% y 6%, variando la fase en incrementos de 30 grados (tabla 5).

Para todas las situaciones probadas, se observa una pequeña influencia sobre el voltaje y corriente de lámpara. La potencia de lámpara se vio afectada significativamente.

ERROR DE REGISTRO EN LOS WATTHORIMETROS DE INDUCCION CON LA PRESENCIA DE ARMONICAS.

A un wathhorímetro de inducción se le aplicó una onda de voltaje y corriente armónica en adición a las formas de onda de voltaje y corriente fundamental. Para cada caso la magnitud del voltaje armónico fue del 10 % del voltaje de la forma de onda fundamental y la magnitud de la corriente armónica fue del 20% de la corriente fundamental.

Se suministraron armónicas impares puesto que son las más comunes en la forma de onda de voltaje y corriente. Además en aplicaciones industriales donde se utilizan equipos rectificadores este tipo de armónicas son las dominantes.

Para el factor de potencia fundamental el ángulo entre el voltaje y corriente armónica el ángulo fue variado desde 180 grados hasta -180 grados en pasos de 60 grados.

La contribución de la inductancia del disco a la impedancia del disco es relativamente pequeña igual a mayores frecuencias armónicas. Por tal razón la inductancia del disco puede ser omitida en el modelo. Aunque la variación de la resistencia del disco con la frecuencia es relativamente pequeña, esta variación puede ser considerada en el modelo.

El error más grande se debe al eliminar la resistencia de la bobina de voltaje; sin embargo a la frecuencia fundamental la resistencia puede ser ignorada con un pequeño error. Cuando las frecuencias armónicas se incrementan, la resistencia de la bobina de voltaje se incrementa enormemente, mientras que la inductancia de la bobina de voltaje disminuye. La resistencia por lo tanto comprende un mucho mayor porcentaje de la impedancia a frecuencias armónicas más altas e introduce un mayor error si no se toma en cuenta.

A este wathhorímetro también se le aplicaron otros tipos de forma de onda armónica (tablas 6 y 7). La variación del porcentaje de error generado por estas formas de onda es relativamente pequeño. Sin embargo para formas de onda más distorsionadas, el error puede ser mayor.

Como se puede apreciar en este trabajo, la presencia de componentes armónicas producidas por el equipo de iluminación en el sistema eléctrico pueden tener un impacto importante para el ahorro de energía, ya que pueden resumirse como pérdidas dentro del sistema eléctrico, ya sea por sobrecalentamiento en los equipos y conductores por corrientes parásitas, funcionamiento de equipo de alto factor de potencia en bajo factor o bien errores en la medición del consumo de la energía que influyen en su facturación.

% De armónicas en voltaje

Frecuencia	PL 13	F40	SL18	100W VM	70WVSAP
60 Hz	55%	38.94%	0.40%	37.80%	83.60%
400 Hz	33.50%	14.90%	0.20%	11.60%	65.20%
1000 Hz	17.20%	6.30%	0.10%	3.80%	18.80%
2000 Hz	7.50%	2.30%	0.10%	1.70%	5.90%
3000 Hz	4.30%	1%	0.00%	1.00%	3.60%
4000 Hz	2.80%	0.50%	0.00%	0.60%	2.40%

% De armónicas en corriente

Frecuencia	PL 13	F40	SL18	100W VM	70WVSAP
60 Hz	8.90%	6.10%	76.10%	9.00%	7.70%
400 Hz	2.30%	1.00%	37.10%	1.20%	2.10%
1000 Hz	0.50%	0.20%	17.20%	0.10%	0.30%
2000 Hz	0.10%	0.00%	6.00%	0.00%	0.00%
3000 Hz	0.00%	0.00%	2.30%	0.00%	0.00%
4000 Hz	0.00%	0.00%	1.00%	0.00%	0.00%

TABLA 1 % ARMONICAS (THD)

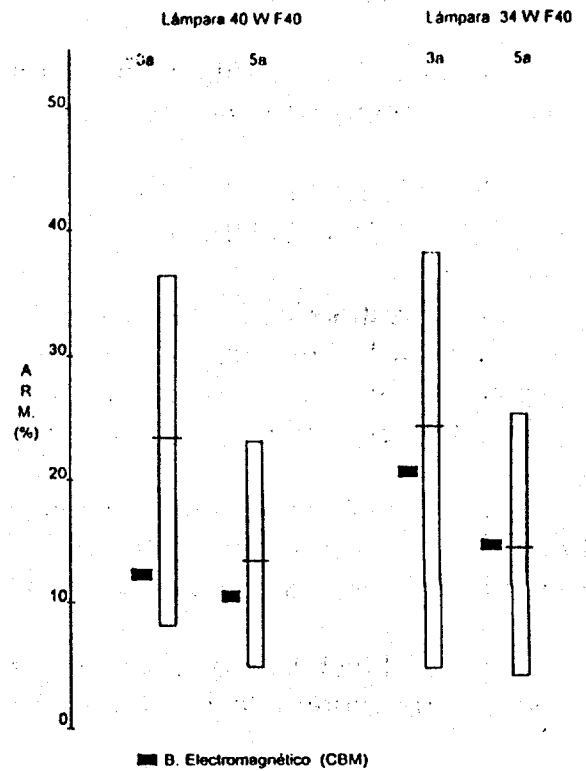


Fig. 1 Tercera y quinta armónica en balastos electrónicos operando lámparas T12

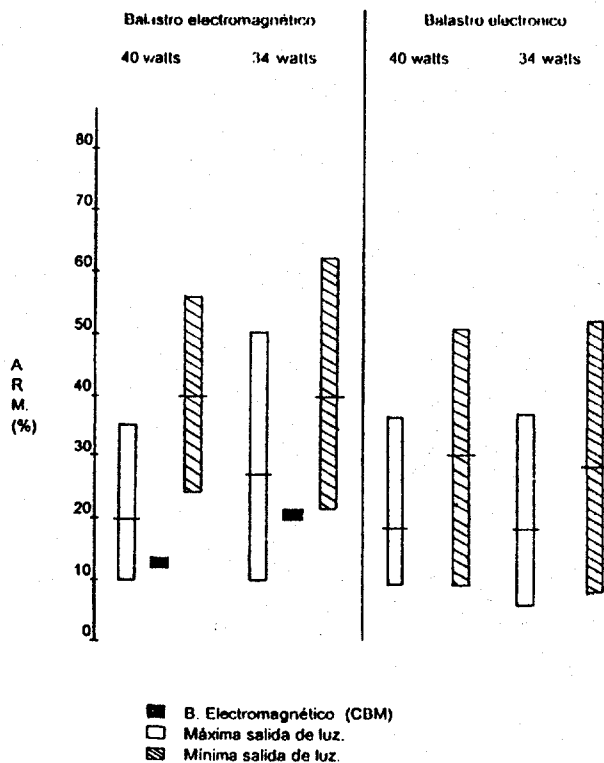


Fig. 2 Tercera y quinta armónica en balastos electrónicos operando con dimmers

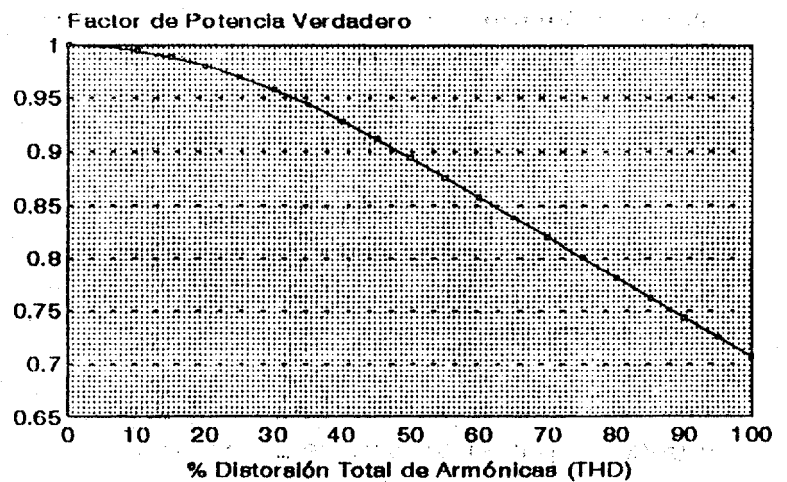


Fig. 3 Relación entre factor de potencia verdadero y el THD

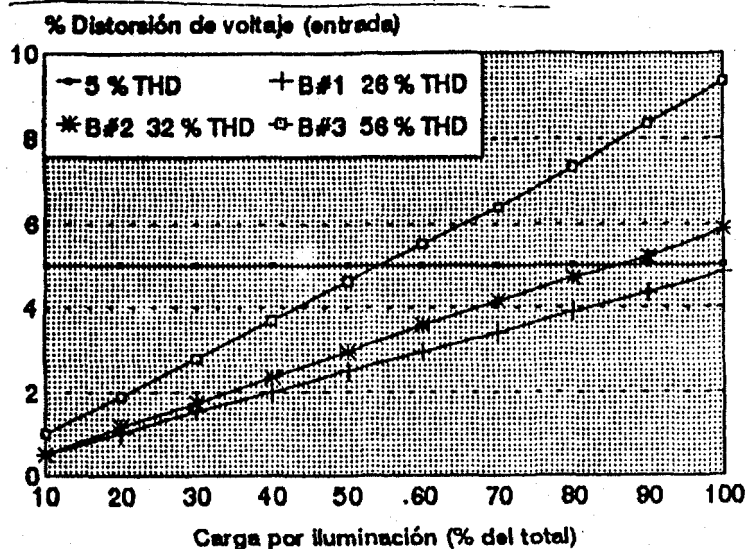


Fig. 4 Distorsión del voltaje como función de una carga del tipo fluorescente para tres tipos de balastos electrónicos.

Instrumentos bajo prueba

	A	B	C	D	E	F
60 Hz	-0.1	1.1	0.03	0	0	-0.3
400 Hz	-0.1	1.1	0.03	0	0	-0.3
1 KHz	-0.1	1.1	0.03	0	0	-0.2
2 KHz	0.1	0.2	0.06	0	0	-0.1
5 KHz	1	-1	0.14	0	0	0
10 KHz	1		0.38	0.1	0.1	-0.1
20 KHz			0.35	0.1	0.1	-0.2

Tabla 3 Error en la medición de voltaje % de variación para 100V

Instrumentos bajo prueba

	A	B	C	D	E	F
60 Hz	0	2.2	-0.1	0.6	0.6	0.6
400 Hz	-0.1	2.1	-0.1	0.5	0.5	0.6
1 KHz	-0.1	2	-0.1	0.5	0.5	0.6
2 KHz	0.1	0.5	-0.1	0.5	0.5	0.7
5 KHz	0.8	0.6	-0.1	0.5	0.5	0.7
10 KHz			-0.2	0.6	0.6	0.7
20 KHz			0.8	1.4	1.4	1.1

Tabla 4 Error en la medición de corriente % de variación para 1A

	3 a. Armónica (180 Hz).			5 a. Armónica (300 Hz).		
	1.50%	3.00%	6.00%	1.50%	3.00%	6.00%
SL 18	2.00% -0.80%	3.50% -2.20%	7.00% -5.60%	1.40% -1.00%	3.40% -2.10%	6.30% -2.20%
PL 13	0.50% -1.00%	1.00% -2.00%	1.30% -3.20%	0.80% -0.10%	0.90% -0.70%	1.50% -1.70%
F40T12	0.30% -0.50%	0.50% -1.00%	1.30% -2.10%	0.30% -0.10%	0.30% -0.40%	0.60% -0.60%
VSAP	1.00% -0.50%	2.40% -1.00%	5.70% -3.70%	-0.20% -2.50%	1.40% -1.80%	2.90% -3.50%
VM	0.30% -0.80%	1.00% -1.80%	2.00% -3.00%	0.20% -0.80%	0.40% -0.80%	0.70% -1.80%

Tabla 5 Máximo porcentaje de variación en la potencia de lámpara por efecto de la componentes armónicas.

Armónica	Forma de onda del voltaje.	
	Magnitud	Angulo de fase (grados)
1	100%	0
7	2%	155
	Forma de onda de la corriente.	
	Magnitud	Angulo de fase (grados)
1	100%	347
5	12%	95
7	9%	249

% DE ERROR = - 6.767

Tabla 6

Armónica	Forma de onda del voltaje.	
	Magnitud	Angulo de fase (grados)
1	100%	0
3	2%	330
5	7%	180
	Forma de onda de la corriente.	
	Magnitud	Angulo de fase (grados)
1	100%	350
3	13%	135
5	22%	135

% DE ERROR = - 6.714

Tabla 7

REFERENCIAS:

Tesis: Estudio de armónicas en sistemas eléctricos de baja tensión

Para el título de Ingeniero Mec. Elect. U.N.A.M.

Presentan: Victor Garibay Mendoza y José Martín Hernández Bernal.

UNCERTAINTIES IN COMPLIANCE WITH HARMONIC CURRENT DISTORTION LIMITS IN ELECTRIC POWER SYSTEMS.

Thomas M. Gruz.

IESNA LIGHTING EDUCATION

IESNA ED 150

ACCURACY OF ELECTRICAL MEASUREMENTS ON DISCHARGE LAMP CIRCUITS

Richard G. Collins and David C. Gross

Philips Lighting Company

February 14, 1990

A HARMONIC ANALYSIS OF THE INDUCTION WATTHOUR METER'S REGISTRATION ERROR.

Elham B. Makram

Clarence L. Wright

Adly A. Girgis

EVOLUCION TECNOLOGICA DE LAMPARAS FLUORESCENTES PARA EL SECTOR DOMESTICO

ING. ADRIAN VALERA NEGRETE

PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA DEL SECTOR ELECTRICO (PAESE) COMISION FEDERAL DE ELECTRICIDAD

RESUMEN

En este trabajo, se muestran las eficacias, distorsión de armónica y factor de potencia de lámparas fluorescentes compactas y circulares, que sustituyen a focos incandescentes de 60, 75 y 100 W en el sector doméstico, ofrecidas por los fabricantes para aumentar el uso eficiente de la energía eléctrica en las redes del sistema eléctrico nacional.

Además, se presentan los parámetros de calidad, como temperatura de color, índice de rendimiento de color, vida y mantenimiento de la fuente luminosa; de estética como longitud y peso; y adicionalmente la medida de seguridad (protector térmico); que hacen competitivo y funcional el uso de lámparas fluorescentes respecto a la instalación de focos incandescentes.

1. INTRODUCCION

Es indudable que con la introducción de lámparas fluorescentes compactas y circulares en el mercado, se ha podido dar un gran salto en el uso racional de la energía eléctrica en el campo de la iluminación doméstica con respecto al uso tradicional de los focos incandescentes, cuya eficiencia es baja debido a que gran parte de la energía de suministro se transforma en calor al comportarse como una resistencia eléctrica. Sin embargo, a diferencia de los focos, actualmente algunos balastos para las lámparas fluorescentes existentes presentan bajo factor de potencia y alta distorsión de armónica, lo que contribuye a afectar las redes eléctricas de las compañías suministradoras del servicio eléctrico, por lo cual se han considerado esos parámetros en compras específicas a través de especificaciones técnicas.

A los fabricantes de lámparas fluorescentes que tienen una alta infraestructura tecnológica, les ha permitido diseñar sus modelos satisfaciendo los requerimientos necesarios para el óptimo funcionamiento del servicio eléctrico.

Por otro lado, para los usuarios les ha sido benéfico obtener un aumento importante en la eficacia, a través de contar con flujos luminosos similares a los de los focos incandescentes, a una temperatura de color también similar, pero no considera otros parámetros porque no les afecta. A final de cuentas, se ha podido constatar la buena aceptación del usuario, de lámparas fluorescentes circulares y de fluorescentes compactas con preferencia a las de reducido tamaño y bajo peso por su parecido a los focos incandescentes, en los diferentes programas de promoción de esta tecnología que se han llevado a cabo en las ciudades de

Valladolid, Chetumal, Cozumel, Hermosillo, Aguascalientes, Guadalajara y Monterrey.

Cabe hacer notar, que los programas que se han inducido para otorgar una bonificación en la sustitución del alumbrado en el sector doméstico, contra las inversiones necesarias en la generación de electricidad, son de los de más alta rentabilidad comparados con otras tecnologías existentes para el ahorro de energía eléctrica, ya que implica directamente una reducción de potencia en las horas de máxima demanda y un ahorro en el consumo de energía eléctrica, sin demérito del confort y costumbres de uso del usuario.

En el aspecto técnico, de la fecha que aparecieron en el mercado dichas lámparas fluorescentes a la actualidad, se ha tenido una evolución tecnológica, capaz de motivar una aceleración en la promoción de su aplicación al satisfacer tanto al usuario como al sector eléctrico, logrando un ahorro de energía eléctrica real sin sacrificar los flujos luminosos actualmente ofrecidos respecto a los focos incandescentes.

A continuación se analizará cada uno de los parámetros que se han medido en laboratorio a últimas fechas, como fundamento de la operación y funcionamiento de las lámparas fluorescentes para el sector doméstico que sustituyen a focos incandescentes de 60, 75 y 100 W, a vanguardia tecnológica.

2. VOLTAJE DE OPERACION

En México existen dos voltajes de suministro del servicio eléctrico al sector doméstico, dependiendo del tipo de transformador de distribución ya sea trifásico o monofásico; en la actualidad la tendencia de la Comisión Federal de Electricidad es de utilizar trifásicos que suministran una tensión nominal de 127V entre línea y neutro, sin embargo, existen regiones donde en su mayoría se cuentan con transformadores monofásicos que proporcionan una tensión nominal de 120V.

Asimismo, se tiene una regulación de la tensión de hasta $\pm 10\%$, la cual se irá mejorando en un futuro.

A lo anterior, los fabricantes de lámparas fluorescentes han estado vendiendo en su mayoría lámparas para trabajar a una tensión de $120V \pm 10\%$, pues representan diseños importados principalmente de Estados Unidos de Norteamérica, cuya tensión de suministro doméstico es diferente a la de México, por lo que para una operación a $127V \pm 10\%$ se han realizado diseños específicos para su venta en México, no satisfaciendo las diseñadas a $120V \pm 10\%$. Situación que implica analizar la región donde se comercialicen las lámparas para evitar una reducción de la vida útil por sobretensiones o simplemente que no funcionen las lámparas al no alcanzar las tensiones mínimas de operación.

Desde el punto de vista técnico, resulta más sencillo modificar a la tensión de 127V nominal, los balastos electromagnéticos que los electrónicos, ya que en éstos se deberá calcular el circuito en forma integrada para su diseño, razón que en la actualidad ya se ven en el mercado una gran cantidad de balastos electromagnéticos para 127V y no así de balastos electrónicos.

El rango de operación de las lámparas fluorescentes deberán satisfacer la regulación actual en México que es de $\pm 10\%$ indicado, como mínimo.

3. FUENTE LUMINOSA

Una de las características más importantes es el flujo luminoso que suministran las lámparas fluorescentes, ya que son similares o mayores a los ofrecidos por los focos incandescentes; a continuación en la tabla 1 se presentan los flujos correspondientes a los focos equivalentes:

TABLA 1

POTENCIA FOCO INCANDESCENTE (W)	FLUJO LUMINOSO FOCO INCANDESCENTE (LM)	POTENCIA LAMPARA FLUORESCENTE (W)	FLUJO LUMINOSO LAMPARA FLUORESCENTE (LM)
60	820	13.5 - 15	750 - 950
75	1075	17.5 - 19	1230 - 1390
75	1075	20 - 21 *	1190 - 1250 *
100	1560	21 - 23	1420 - 1640

* Corresponden a lámparas fluorescentes circulares.

En términos generales la lámpara fluorescente circular puede sustituir a un foco incandescente de 75W. Cabe mencionar que los valores de flujo luminoso para focos incandescentes, son resultado de un promedio de los mostrados por los fabricantes en sus catálogos, a diferencia de los de lámparas fluorescentes que fueron medidos en el laboratorio.

4. EFICACIA

La eficacia es una medida relativa de la eficiencia de la lámpara y se define como el flujo luminoso emitido entre la potencia de línea demandada. En la tabla 2 se muestran los rangos de eficacia hasta ahora alcanzados por las diferentes lámparas y su equivalencia con los focos incandescentes.

TABLA 2

POTENCIA FOCO INCANDESCENTE (W)	EFICACIA (LM/W)	POTENCIA LAMPARA FLUORESCENTE (W)	EFICACIA (LM/W)
60	13.66	13.5 - 15	54 - 68.5
75	14.33	17.5 - 19	66.6 - 73.5
75	14.33	20 - 21 *	56.7 - 61 *
100	15.6	21 - 23	64 - 74

* Corresponden a lámparas fluorescentes circulares.

Como se puede apreciar el aumento en eficacia respecto a los focos incandescentes es de 3.9 a 5.1 veces, y representa una reducción de la potencia demandada real del 74.3 al 80.3%, con su consecuente ahorro de energía eléctrica.

La alta eficacia representa el mayor beneficio tanto para el usuario como para el sector eléctrico, por una menor facturación y una reducción de la capacidad instalada y generación necesaria respectivamente.

5. FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia ha sido uno de los parámetros que más se han discutido con los fabricantes, sin embargo, un bajo factor de potencia implica reducir capacidad de los transformadores, pérdidas en redes proporcionales al cuadrado de la corriente reactiva y la compensación con capacitores, que para un efecto multiplicativo tendría que ser a cargo de las compañías suministradoras, por lo que cada uno de estos conceptos representan costos y pérdidas de energía para dichas compañías.

El factor de potencia de las lámparas fluorescentes probadas en el laboratorio oscila del 42 al 99%, a lo cual se recomienda que estén por arriba del 90% considerando lo antes expuesto.

Si bien, de manera individual una lámpara fluorescentes con bajo factor de potencia pudiera suponerse que sus efectos son despreciables, debido al aumento exponencial de su utilización a últimas fechas y lo que se prevé a futuro, podrían estos efectos tomar una importancia considerable.

A manera de ejemplo, por cada millón de lámparas fluorescentes, se tendrían los siguientes datos al aumentar el factor de potencia de 55 a 90%.

POTENCIA LAMPARA FLUORESCENTE (W)	KVA con FP = 55%	KVA con FP = 90%	KVA REDUCIDOS	KVARc NECESARIOS
15	27,273	16,667	10,606	15,512
19	34,545	21,111	13,434	19,649
21 *	38,182	23,333	14,849	21,718
23	41,818	25,556	16,262	23,784

* Lámpara fluorescente circular.

De esta manera, los costos que representan para el sector eléctrico son ya importantes como se puede apreciar, sin considerar las pérdidas de energía en las redes por efecto Joule, que haría que el costo total aumentara aun más por la disminución del factor de potencia en las lámparas fluorescentes.

Desde el punto de vista técnico, compensar en lámparas electrónicas involucraría considerar el capacitor en el circuito integrado, y en electromagnéticas es adicionar un capacitor que debe de calcularse correctamente para evitar un aumento considerable de la distorsión armónica. De lo anterior se concluye que no presenta problema técnico alguno y el costo del capacitor es económico.

6. DISTORSION ARMONICA

Los diseños electrónicos de balastos presentan una gama muy variada de distorsión armónica en la onda de corriente, llegándose a encontrar en el mercado lámparas con una distorsión armónica total de más de 120%, lo cual es inaceptable para cada vez más usuarios con equipos sensibles a las distorsiones y para el mismo sector eléctrico.

Además, se puede producir un alto grado de interferencia electromagnética, tanto más importante cuanto más alta es su frecuencia de operación (los balastos operan entre 20 y 40 kHz). Esto puede producir ruidos en equipos electrónicos.

Las lámparas con balastos electromagnéticos, en principio su distorsión armónica total no es problema, a menos que cuente con un capacitor y éste no sea correctamente calculado. Los efectos provocados por las corrientes armónicas son:

- Mal funcionamiento en dispositivos electrónicos de control, protección y medición.
- Sobrecalentamiento de los equipos eléctricos (motores, transformadores, generadores, etc.) y el cableado de potencia, con la disminución consecuente de su vida útil e incremento de pérdidas de energía en forma de calor.
- Efectos de resonancia que amplifican los problemas antes citados y pueden provocar incidentes eléctricos, mal funcionamiento y fallos destructivos de equipos de potencia, particularmente capacitores.

La distorsión armónica de las lámparas, puede contribuir de manera importante a la distorsión armónica general resultante en un edificio, una vivienda, etc. si el cálculo siguiente ha sido exitoso en base a la experiencia práctica:

$$DAT_{\text{gral}} = \frac{\sum (KVA)_i (DAT)_i}{\sum (KVA)_i}$$

KVA: efectivos de demanda

Por lo anterior, internacionalmente ya existe preocupación por limitar la distorsión armónica total de corriente, y existe normas como la IEC y ANSI donde se recomiendan valores máximos de 33 y 32% respectivamente, existiendo también límites para las componentes parciales.

En Estados Unidos de Norteamérica ya se fabrican balastos electrónicos con una distorsión total del 5 al 30%.

En México, no existe norma alguna que limite la fabricación de balastos a rangos mínimos de distorsión de armónica, sin embargo se especifica como valores máximos aceptables los mismos que existen internacionalmente para evitar los efectos nocivos a las redes eléctricas descritos anteriormente, y los fabricantes han satisfecho dicho requerimiento a través de la inclusión de filtros en sus diseños.

7. TEMPERATURA DE COLOR

Respecto a la temperatura de color, como característica de calidad, se han preocupado los fabricantes de lámparas a que sea lo más parecido a los focos incandescentes llamado color cálido (2700 a 3000 K), sin embargo, las lámparas fluorescentes circulares han tenido una gran aceptación por los usuarios en blanco frío (4000 a 4200K) principalmente en zonas de clima cálido por su apariencia de frescura, pero debe hacerse notar que las lámparas con luz de día (superiores a 6000K) son más ineficientes que las anteriores en un 18% aproximadamente, razón por la cual, ya no se promueven a esta temperatura de color.

A continuación se presentan las temperaturas de color existentes en lámparas fluorescentes compactas y su referencia en focos incandescentes:

POTENCIA FOCO INCANDESCENTE (W)	TEMPERATURA DE COLOR (K)	POTENCIA LAMPARA FLUORESCENTE (W)	TEMPERATURA DE COLOR (K)
100	2905	13.5 - 15	2730 - 2940
75	2840	17.5 - 19	2790 - 2895
60	2790	21 - 23	2720 - 2845

Por lo que se puede apreciar la variación respecto a los focos incandescentes, no es importante, ya que será seguramente imperceptible para los usuarios.

8. INDICE DE RENDIMIENTO DE COLOR

Este índice al reflejar la reproducción de los colores, toma una vital importancia para la aceptación de las lámparas fluorescentes por parte del usuario.

En un principio el índice ofrecido por los fabricantes oscilaba en 60, pero se ha mejorado la tecnología de los fósforos que ha permitido aumentarlo hasta valores de 78 a 84, con lo cual el amarillo no se verá verde como una experiencia particular, y de esta manera dichos valores ya se encuentran más cerca del valor de los focos incandescentes que es de 100.

9. VIDA DE LA LAMPARA

La vida media de las lámparas fluorescentes compactas y circulares 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 hasta alcanzar dichas 10,000 horas a tensión controlada, siendo dicha vida otra de las ventajas importantes al comparar económicamente ambas fuentes de iluminación.

En la práctica, las sobretensiones y apagados múltiples repercuten en la vida tanto de la lámpara fluorescente como del foco incandescente, por lo que no existen diferencias notables entre ellas al respecto.

Se tienen experiencias que iluminación suministrada por lámparas fluorescentes en períodos prolongados diarios de tiempo o en uso continuo (sin apagar), 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 es atractivo el cambio solo de la lámpara para aprovechar la vida útil total del balastro.

10. MANTENIMIENTO DE LA FUENTE LUMINOSA

La vida útil de las lámparas podría dejar de ser importante si existiera una gran depreciación lumínica, que a través del tiempo los niveles de iluminación fueran insuficientes, razón que ha sido preocupación de los fabricantes, y actualmente como característica de calidad se pueden ofrecer lámparas que a las 1,000 horas su flujo luminoso es 90% o más de su flujo inicial. Se menciona este período en particular, por ser donde ocurre el mayor decaimiento luminoso.

11. CONSTRUCCION DE LA LAMPARA

En México, las entradas de los focos incandescentes (socket) tradicionalmente se han fabricado de 26 mm de diámetro, por lo que las lámparas fluorescentes deben ser con casquillo E26, ya que al aparecer en el mercado estas lámparas algunas traían casquillo E27 que imposibilitaba la entrada de dicho casquillo, dificultando así la aceptación por parte del usuario para la sustitución del alumbrado.

Por otro lado, encuestas hechas a amas de casa, reflejan su preferencia a lámparas compactas lo más similar a focos incandescentes en cuanto a peso y tamaño, razón por lo que se ha limitado a lámparas con un peso y una longitud máxima de 350 gr. y 20.32 cm (8") respectivamente, que para el caso de lámparas con alto flujo luminoso, el peso de los balastos electromagnéticos rebasa dicho límite, teniendo que ser necesariamente electrónicos. En lámparas fluorescentes circulares no se aplican estas restricciones, ya que por su forma gozan de por sí de una aceptación por el usuario. Asimismo, se han reducido tamaños de las lámparas con el diseño de dobles, triples o cuádruples, dándoles una estética muy aceptable.

12. SEGURIDAD

En México no se tienen noticias de accidentes provocados por sobrecalentamiento en los balastos, sin embargo, en Estados Unidos de Norteamérica han existido explosiones de balastos en lámparas de marcas con poco prestigio, provocando el rechazo del usuario doméstico a la sustitución de alumbrado. Por lo cual, como una medida de seguridad, los balastos electrónicos cuentan con protector térmico de restablecimiento automático al enfriamiento que permite continuar la utilización de la misma lámpara, además de que el costo del protector es sumamente económico y se puede incluir en un espacio reducido.

13. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Como se puede apreciar, se ha mejorado a últimas fechas la tecnología para la fabricación de lámparas fluorescentes sustituíbles en el sector doméstico, que si bien, de inicio representaban una buena oportunidad para el ahorro de energía eléctrica, adolecían de algunas cualidades de los focos incandescentes que las pudieran hacer más atractivas para el usuario.

Actualmente, han aumentado su eficacia, ya se ofrecen con alto factor de potencia y baja distorsión de armónica, parámetros que inciden en una mayor eficiencia y con beneficios para el sector eléctrico, además de proporcionar una calidad competitiva respecto al foco incandescente como es su similar temperatura de color, el aumento del índice de rendimiento de color, vida útil mayor y reducida depreciación del flujo luminoso.

Además, existe una preocupación generalizada por los fabricantes para ofrecer diseños estéticos que permitan incrementar su aceptación en el sector doméstico.

En países desarrollados, la tendencia es hacia la fabricación de balastos electrónicos que son más eficientes que los electromagnéticos, sin embargo, representan costos mayores que repercuten en el precio final al usuario. Por lo que debido a las condiciones económicas existentes en México, que no son comparables con los países desarrollados, se recomienda como alternativa incrementar la eficacia en lámparas con balastos electromagnéticos de alta eficiencia, cuya aplicación posiblemente sea mayoritaria en los próximos años inmediatos.

14. REFERENCIAS

- a) Reporte del Laboratorio de Alumbrado Público del DDF de lámparas fluorescentes, propiedad de Comisión Federal de Electricidad.
- b) Apuntes sobre Corrientes Armónicas por el Dr. Ing. Alfredo Navarro Crespo. Septiembre 1995.

LAS LAMPARAS INCANDESCENTES EN MEXICO: ¿SON REALMENTE UNA TECNOLOGIA BENEFICA?

ING. ALEX G. RAMIREZ RIVERO
VICEPRESIDENTE SECCION MEXICO IESNA
GENERTEK, S.A. DE C.V.
91(5)759-3511, 91(5)537-1877

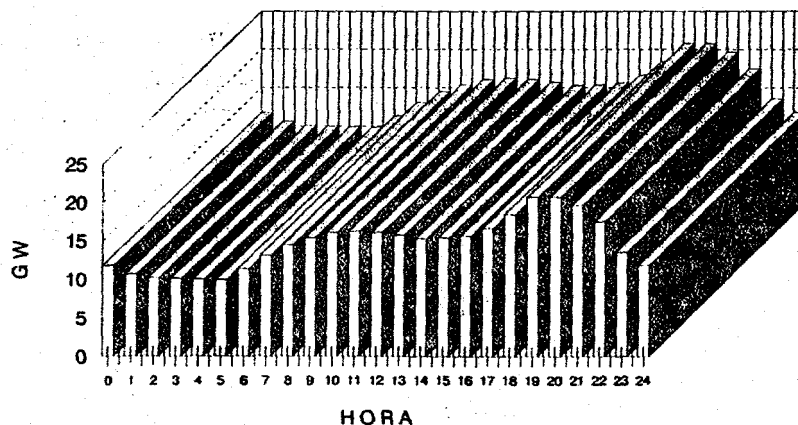
RESUMEN.

La versatilidad de las lámparas incandescentes ha causado un incremento sostenido de su población en todo el mundo. Dadas sus características continúa siendo insustituible en un sinnúmero de aplicaciones, que van desde el cine hasta la medicina. Sin embargo, la mayor población la representan las ineficientes A19 con los consabidos efectos negativos en el medio ambiente y la economía, causados por la generación de energía eléctrica por medios convencionales. Sin duda, la mejor opción para sustituirlas son las CFL's, pero las barreras económicas, de mercado y de desempeño no permiten su aplicación masiva en México. En este trabajo se hace una propuesta que puede permitir grandes beneficios con mínima inversión y rápida implementación.

INTRODUCCION.

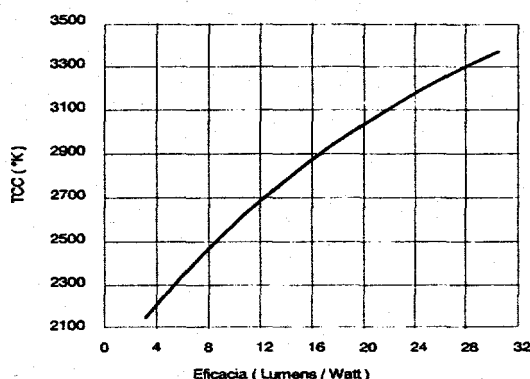
La luz artificial juega un papel de capital importancia en nuestros días debido a que sin ella no podríamos llevar a cabo actividades nocturnas ni tampoco muchas de las que realizamos durante el día. Sus efectos y beneficios van desde los fundamentales como la sobrevivencia hasta los de importancia secundaria como el confort, pasando por los psicológicos, económicos, sociales, culturales y prácticamente todos los relacionados con las actividades humanas modernas. No es extraño entonces que el 30% de la energía eléctrica total generada en nuestro país sea consumida por los sistemas de iluminación.

**GENERACION HORARIA DURANTE UN DIA LABORABLE
EN EL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL**
HASTA EL 16-JUN-1994



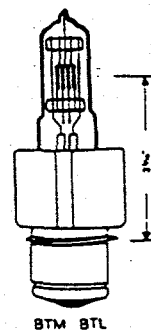
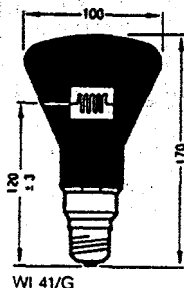
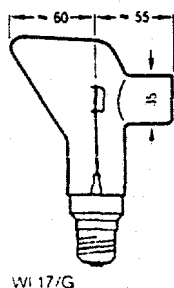
DEMANDA MEDIA: 13.9 MW
DEMANDA PICO: 20.5 MW
FACTOR DE CARGA: 67.8%

Aunque son muchos los métodos para producir luz artificialmente, hay uno que domina ampliamente en todo el mundo desde hace más de 100 años: la incandescencia. La lámpara incandescente se compone de un filamento de alambre encerrado en un bombillo ó bulbo relleno de determinado gas ó simplemente al vacío. Al aplicársele voltaje a la lámpara la corriente que circula por el filamento eleva la temperatura de éste hasta el punto de incandescencia, emitiéndose energía radiante en forma de luz y calor. Desafortunadamente, entre el 90 y el 95% de esta energía se disipa al medio en forma de calor por conducción, convección y radiación y un mínimo porcentaje se convierte en luz. Desde este punto de vista, la lámpara incandescente es más eficiente como calefactor ó radiador de calor que como lámpara. A pesar de este inconveniente, las incandescentes presentan grandes cualidades como: altísimo rendimiento de color (CRI), agradable aspecto cromático (TCC), no requieren balastro, son muy puntuales, operan con factor de potencia unitario, no producen efecto estroboscópico, son muy baratas y se tiene amplia disponibilidad.



Estas y otras cualidades han hecho que su población se haya incrementado cada año desde 1890 a la fecha al usarse en un sinnúmero de aplicaciones. De hecho, algunos modelos avanzados pueden superar las 20,000 horas de vida nominal, aunque la eficacia es menor que en los modelos normales. En cuestión de eficiencia también hay avances. Las lámparas halógenas a tensión de red y a tensión reducida no sólo producen una luz de máxima calidad sino que existen modelos que permiten ahorros hasta del 40% comparadas con lámparas convencionales. En EE.UU. el National Energy Policy Act estableció las eficacias mínimas para lámparas tipo PAR y R así como la fecha límite para su sustitución.

Hay aplicaciones donde las incandescentes son prácticamente insustituibles, como en la iluminación de pistas de aeropuertos, aplicaciones de fotografía, cine, aplicaciones científicas, joyerías, etc. Las lámparas que se ilustran son de aplicaciones especiales y hasta el momento, no hay posibilidad de sustituirlas por una lámpara de otra familia.



De acuerdo con el análisis de mercado que llevamos a cabo en 1992, se estima que en 1995 la población de lámparas incandescentes A19 en México es de unos 320 millones de unidades en potencias desde 25 hasta 100 watts con precios que varían generalmente entre N\$2.1 y N\$2.8, dominando las potencias de 60 y 100 watts con 30% y 40% respectivamente. El mercado anual nacional es de 190 millones, destinándose 150 millones para el sector residencial.

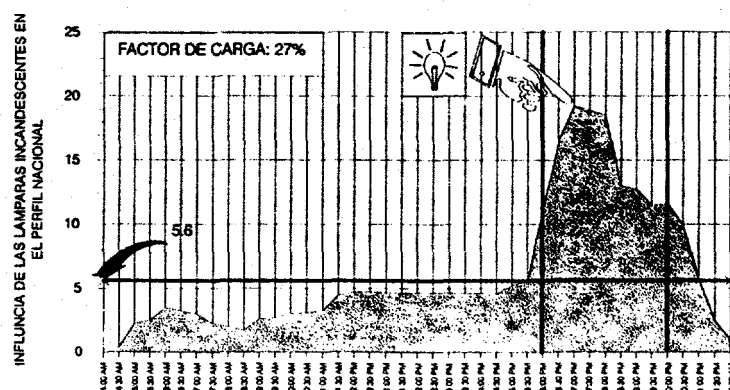
VENTAS ANUALES EN MEXICO (1994)*

POTENCIA (WATTS)	VENTAS TOT. ANUALES		VENTAS ANUALES RESIDENCIALES
	LAMPARAS	%	
25	8.1	4.3	6.5
40	19.4	10.3	15.6
60	57.3	30.3	45.8
75	28.1	14.8	22.5
100	76.2	40.3	61.0
TOTALES	190	100	151.4

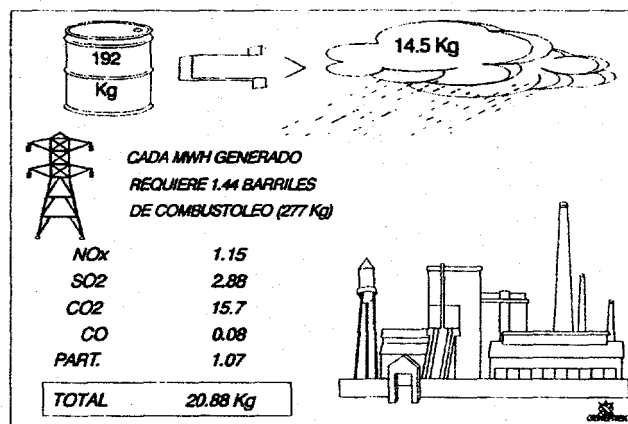
* Estimado sobre la base de 1992.

En las casas habitación las cargas dominantes son refrigeradores, lámparas, equipo misceláneo y en su caso, ventiladores ó equipos de aire acondicionado. Las lámparas incandescentes consumen entre el 45% y el 55% de la energía por hogar, dependiendo de las características del usuario y de las condiciones ambientales. Aún no existe en México un estudio formal que permita establecer el perfil de carga de los sistemas de iluminación en el sector residencial en todo el país, pero en registros aislados se ha comprobado que el perfil es muy parecido al presentado en la gráfica anexa, el cual corresponde a la India. Su uso se presenta típicamente entre las 17:00 y las 23:00 horas, incrementándose notablemente entre las 19:00 y las 21:00, dependiendo de la estación del año. Como se observa, mientras el factor de carga es bajo (27%), el factor de coincidencia con el perfil nacional es alto.

PERFIL DE ILUMINACION RESIDENCIAL



El sector residencial en conjunto consume el 21% de la energía total en México, pero dada la marcada influencia de las lámparas incandescentes, impacta en casi 40% el pico nacional, es decir, cerca de 8 GW. Las lámparas incandescentes aportan entonces entre 3 y 4 GW al pico (entre 15 y 20% del total). Dado que dos terceras partes de la generación de energía eléctrica en México se realiza con plantas termoeléctricas que consumen recursos energéticos no renovables, que se cotizan a precios internacionales y que son altamente contaminantes, los efectos en la economía y la salud son evidentes (cada barril quemado de combustóleo emite 14 Kg de contaminantes).

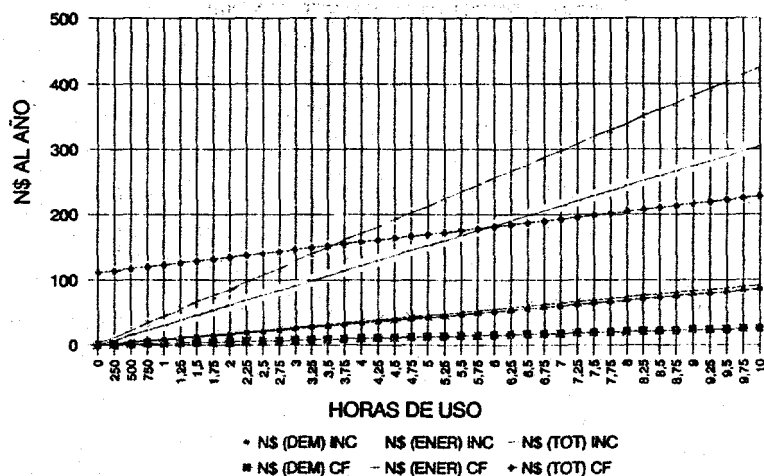


Fuente: CFE, 1993

¿Cómo se pueden atenuar los efectos negativos de la aplicación masiva de lámparas incandescentes? Una de las soluciones es sustituirlas por lámparas compacto fluorescente (CFL's). El costo de estas últimas se volvió prohibitivo después de la devaluación de 1994, pero el ajuste de las tarifas y la estabilización del mercado están permitiendo que a través de los estudios técnico-económicos se demuestre que es una inversión rentable invertir en CFL's (dentro de ciertas tarifas y para un determinado número de horas de uso al año). Los tiempos de recuperación de la inversión llegan a ser actualmente hasta de 9 meses, lo cual resulta muy atractivo.

ANALISIS COMPARATIVO A19 100W vs CF 26W

TARIFA 3 A NOVIEMBRE DE 1995

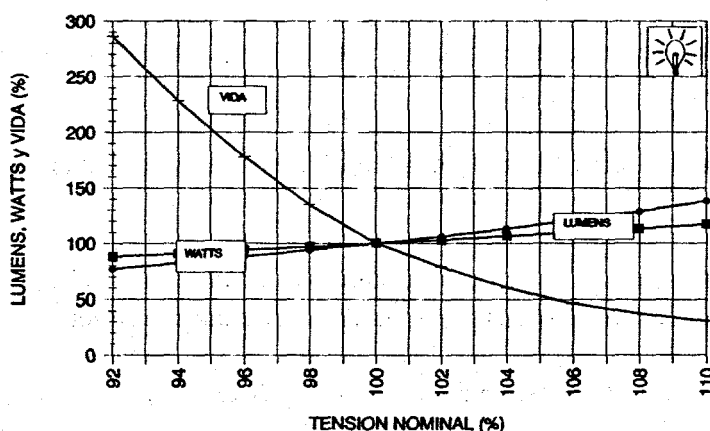


Aunque las CFL's viven de 10 a 13 veces más que las incandescentes y consumen entre 60% y 75% menos energía, la falta de liquidez de los usuarios y la limitada disponibilidad son un serio impedimento para su aplicación en grandes volúmenes.

El exitoso y agresivo programa ILUMEX, llevado a cabo por el Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico de CFE (PAESE) y el Fideicomiso de Apoyo a dicho Programa (FIDE) con recursos de la propia CFE, del Banco Mundial y el Gobierno de Noruega está permitiendo la incorporación masiva de CFL's en las zonas metropolitanas de Guadalajara y Monterrey (más de 1'500,000 lámparas). Sin embargo, aún con este esfuerzo, el impacto en el mercado potencial no llega al 1%. Presentar una alternativa que puede permitir en corto plazo y con inversión mínima, impactar fuertemente al sector eléctrico nacional es el objeto de este artículo. Dado que las lámparas incandescentes se ven seriamente afectadas en su funcionamiento por la tensión, una variación en ésta puede ofrecer grandes beneficios tanto para el usuario, como para los fabricantes, la CFE y la sociedad en su conjunto.

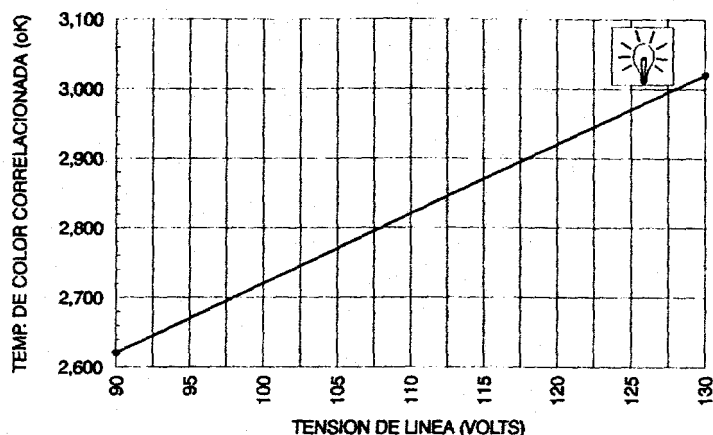
Pruebas de laboratorio indican que la operación de incandescentes a 90% de la tensión nominal reduce el flujo luminoso en 28% y la potencia de la lámpara en 16% promedio. En estas condiciones de tensión la TCC se correría de 2800°K a 2625°K y la vida se incrementaría casi 4 veces. Dado que los niveles de iluminancia en residencias están frecuentemente excedidos (hasta 5 veces superiores a los recomendados), una reducción de 30% en el nivel y un corrimiento de 175°K es casi imperceptible.

FUNCIONAMIENTO DE LAS LAMPARAS INCANDESCENTES EN FUNCION DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE



Pruebas en campo han comprobado una y otra vez el efecto de la tensión en la vida de las lámparas incandescentes. En un importante centro comercial en el norte del país, la instalación de un transformador nos permitió no sólo reducir en un 40% los costos de energía al cambiar de tarifa 3 a OM, sino también impactar el mantenimiento de lámparas R30 y R20. Ajustar la tensión de operación permitió reducir de 36 lámparas muertas en promedio al mes (de enero a junio) a 12.5 lámparas (de julio a octubre), es decir casi triplicar la vida útil.

**VARIACION DE LA TCC EN LAMPARAS INCANDESCENTES
EN FUNCION DE LAS VARIACIONES DE VOLTAJE**



Dado lo anterior se propone:

**"LA FABRICACIÓN EXCLUSIVA Y EL USO OBLIGATORIO EN MÉXICO DE
LÁMPARAS INCANDESCENTES A19 DE POTENCIAS ENTRE 25 Y 100 WATTS A
140 VOLTS Ó 110% DE LA TENSIÓN DE RED".**

Los efectos resultantes serían los siguientes:

- a) Adecuación de niveles de iluminancia a valores aceptables, sin afectar notablemente la TCC, el CRI ó el confort.
- b) Incremento en la vida de lámpara, con las consiguientes reducciones en costos de mano de obra y reemplazo.
- c) Reducción en la potencia y el consumo de energía del orden de 16% promedio por cada unidad reemplazada, más los beneficios por reducción de carga térmica.
- d) Reducción de más de 500 MW en el pico nacional (2.5% del total).
- e) Disminución entre 4.5% y 7% en el consumo de energía en el sector residencial, ó sea más del 2% del gran total nacional.
- f) Ahorro de 48 KWH en promedio a lo largo de su vida con cada lámpara sustituida, lo que equivale a ahorrar 19.2 Kg de carbón ó 0.069 barriles de combustóleo.
- g) Si se sustituyera cada lámpara muerta por una de la tensión propuesta, el cambio de la población total requeriría menos de 2 años y el impacto ecológico sería impresionante (52,200 toneladas de contaminantes evitados como SO₂, NO_x, CO, CO₂ y partículas).

h) Se aligeraría la necesidad de incrementar la capacidad instalada requerida para cubrir las necesidades de energía y demanda con las consiguientes disminuciones en las inversiones en el sector eléctrico (cada MW de incremento en la capacidad instalada de generación requiere entre 1,200 y 1,500 USD), recursos que podrían ser aplicados para mejorar la calidad del servicio ó aplicados en cualquier otro rubro dentro de los programas de beneficio social ó del presupuesto federal.

¿Bajo qué condiciones puede ser implementada esta medida? Evidentemente se requiere de la participación de todos lo sectores, incluyendo usuarios, fabricantes, CFE y LyF, Cámaras, Gobierno, etc. La iniciativa puede ser llevada por FIDE dada su experiencia y éxito en iniciativas similares (como el programa ILUMEX, el cambio de horario de verano y el programa de incentivos, entre otros) y llevada a norma nacional obligatoria (NOM) por la CONAE.

Evidentemente, la propuesta no se opone a la aplicación de CFL's, ya que éstas siguen siendo la mejor alternativa para sustituir incandescentes. Aunque las cifras aquí presentadas son preliminares y muy conservadoras, sirven como punto de partida para presentar y justificar esta propuesta. Aún desde un punto de vista poco optimista los requerimientos para su implementación son moderados y los beneficios sobresalientes. México los necesita!

UNA FORMULA SENCILLA Y EFICAZ PARA AHORRAR ENERGIA ELECTRICA EN SISTEMAS DE ILUMINACION

ING. LUIS R. FIGUEROA NORIEGA
GERENCIA DE COMERCIOS Y SERVICIOS
F I D E

RESUMEN

En el área Metropolitana de la Ciudad de México, así como en otras regiones con clima similar, existe un número importante de usuarios del servicio de energía eléctrica cuya carga principal consiste en iluminación, ya que sistemas como acondicionamiento ambiental, refrigeración, bombeo y otros, o bien no son necesarios o carecen de la importancia en cuanto a consumo de energía eléctrica. Estos se catalogan dentro del rango de pequeños usuarios que en conjunto representan un potencial de ahorro significativo pero que, debido a la precaria difusión de los adelantos tecnológicos, no han contemplado la posibilidad de llevar a cabo acciones correctivas.

Entre estos usuarios se encuentran oficinas, lugares de esparcimiento, planteles educativos y una gama de comercios y servicios como tiendas de ropa, farmacias, zapaterías, imprentas, tintorerías, restaurantes, peluquerías, etc. El presente trabajo pretende proporcionarles una metodología sencilla de llevar, derivada de un proyecto demostrativo que el FIDE realizó con éxito en el Club Deportivo Berimbau.

Primer paso: Adquiera conciencia de lo que le cuesta la energía eléctrica.

El inicio de cualquier acción tendiente a ahorrar energía eléctrica, lo constituye el saber que tan importante es el costo de la energía eléctrica en relación con la operación del negocio, ya que existe la idea errónea de que por ser un insumo indispensable debe pagarse sin importar su costo. En el caso del Club Deportivo Berimbau, la administración sabía que estar cubriendo una factura mensual promedio de N\$ 18,000.00 no correspondía a sus expectativas; un examen de sus últimas facturaciones indicaba que la demanda oscilaba en 206 KW y 75,000 Kwh mensuales, pero llamaba la atención que en algunos meses el consumo casi alcanzó la cifra de 90,000 Kwh, 210 KW y N\$ 22,000.00. La consecuente inquietud fue conocer si estos parámetros eran normales para el nivel de iluminación obtenido o si éstos eran excesivos y podrían obtenerse reducciones importantes.

Segundo paso: Realice un censo del equipo instalado.

Para contestar a tal interrogante, es fundamental tener conocimiento del número y características de los diversos sistemas de iluminación instalados, ya que ello permitirá obtener su grado de obsolescencia en relación con lo que el mercado nacional ofrece como de tecnología de punta. Para facilitar esta tarea, es recomendable utilizar formatos a manera de matriz, en cuyas columnas aparezca el tipo de sistema y en los renglones las respectivas áreas del establecimiento, para asentar en los espacios el número de cada uno de ellos. Un recorrido preliminar indicó que en el Club Deportivo Berimbau, la carga en iluminación estaba constituida por focos incandescentes, gabinetes con lámparas fluorescentes y lámparas de alta intensidad de descarga para iluminación externa.

En lo que hace al sistema incandescente, existían 773 focos de 60W, 373 spots de 75W, 8 de 150, 28 de 205, 5 reflectores de 125W, 8 de 250, 11 de 500 y 5 de 600 que representa una carga instalada de 94 KW; en tanto, la iluminación fluorescente estaba compuesta por 105 gabinetes de 2 x 20 W, 147 de 2 x 39, 193 de 2 x 40 y 422 de 2 x 75W, que representan una carga instalada de 120 KW; finalmente, la iluminación exterior consistía en 22 lámparas de vapor de mercurio de 250 W, 29 de 400 W y 45 de 1000W, representando una carga instalada de 74.5 KW.

La iluminación fluorescente representaba el 32.7% del total de la carga instalada del sistema de iluminación, (289 KW), mientras que la iluminación incandescente y externa era el 41.5% y 25.8 respectivamente.

Tercer paso: Sustituya los focos incandescentes por lámparas fluorescentes compactas.

Desde un punto de vista rigorista, los focos incandescentes no deberían de utilizarse ya, excepto para tareas visuales muy específicas que nada tienen que ver con los establecimientos de referencia, debido a su baja eficiencia y a la generación de calor que disminuye el nivel de confort. Sin embargo, es normal encontrar todavía este tipo de focos principalmente por su bajo precio, ya que la utilización de lámparas fluorescentes que produzcan el mismo efecto decorativo (comúnmente denominadas "compactas") requieren de un luminario adecuado que encarece el presupuesto cuando se construye el inmueble. No obstante lo anterior, se han observado instalaciones en donde el luminario ya existe, por lo que se facilita, a bajo costo, hacer una simple sustitución de foco incandescente por lámpara fluorescente compacta, siempre y cuando se tenga especial cuidado de lograr el mismo nivel de iluminación. Para este efecto, se recomienda consultar los catálogos de los fabricantes en donde aparece el flujo luminoso de cada tipo de lámpara, dato que debe compararse con su equivalente del foco incandescente de acuerdo a su potencia.

Así, en algunas áreas internas del Deportivo Berimbau como son cafetería, sala de estar, bar y restaurante, se retiraron 750 focos incandescentes de 60 watts que proporcionan un flujo luminoso de 800 lúmenes y se colocaron igual número de lámparas fluorescentes compactas de 13 watts, las cuales tienen un flujo luminoso de 900 lúmenes, por lo que el nivel se mantuvo. Se estimó una reducción mensual en el consumo y la demanda de 9,165 KWH y 35KW respectivamente, lo que se reflejaría en ahorros económicos de N\$ 2,115.00 mensuales. La inversión requerida fue de N\$ 68,490.00, misma que se recuperaría en 32 meses. Los ahorros anteriores representan el 12.2%, 17% y 12.4% del consumo, demanda e importe respectivamente.

En el área circundante a la alberca, el almacén, los talleres, canchas de squash y andadores, se sustituyeron 167 focos incandescentes de 75W, cuyo flujo luminoso es de 1,100 lúmenes, por lámparas fluorescentes compactas tipo neoball (decorativas) de 17 watts con un flujo de 1050 lúmenes. El ahorro que se estimó por este reemplazo fue de 2,080 KWH en el consumo de energía y 10 KW en la demanda con un importe de N\$ 529.00 al mes, para lo cual se tuvo que invertir N\$ 10,775.00 que se recuperaría en 20 meses.

Para la total sustitución de la iluminación incandescente por fluorescente compacta, se tuvieron que invertir N\$ 79,300.00, con un ahorro estimado de 11,245 KWH (15%) en el consumo, de 45 KW (21.8%) en la demanda y de N\$ 2,644.00 (15.3%) en el importe. Inversión que se estimó recuperar en 29 meses.

Cuarto paso: Incremente la eficiencia en el gabinete que contiene lámparas fluorescentes.

En el número 15 de la revista FIDE ENERGIA RACIONAL, páginas 27 y 28 se informó sobre los resultados obtenidos con la utilización de reflectores de aluminio colocados en la parte superior de los gabinetes. Cabe agregar, ahora, que este aditamento se justifica por la deficiente calidad de los gabinetes instalados desde su origen, los cuales, en la mayoría de los casos, son preferidos por el contratista en función de su bajo precio, aun cuando el proceso de pintura y la calidad de ésta originen un índice de reflexión muy bajo. Así, la única fórmula para incrementar la eficiencia del gabinete, íntimamente relacionada con la reflexión de la parte superior, consiste en instalar una cubierta que no sólo incremente dicha reflexión, sino que, al retiro de lámparas, proporcione la misma curva de distribución fotométrica, ya que resultaría sumamente costoso substituir los gabinetes o bien repararlos con pintura y proceso de alta tecnología, sobre todo por la mano de obra y los inconvenientes derivados de la suspensión del alumbrado mientras se realizan los cambios. Esta es la razón por la cual en instalaciones nuevas, es más conveniente instalar desde un principio gabinetes con pintura de alta reflectancia, que utilizar reflectores de aluminio dentro de gabinetes de baja calidad. Sobre este particular, conviene mencionar que para tomar la decisión en un proyecto, se realizaron pruebas de laboratorio a dos tipos de gabinetes, uno pintado de blanco con alta reflectancia, y el otro con pintura de baja calidad pero con reflector de aluminio, cuyo resultado demostró que ambos tenían igual eficiencia y curva de distribución fotométrica similar, por lo que en este caso, la decisión se tomó en función del aspecto económico.

Como lo más probable es que los gabinetes del alumbrado fluorescente tengan un bajo índice de reflexión, conviene hacer una prueba para conocer, en primera instancia, si con el reflector de aluminio es posible aumentar dicho índice hasta el límite en que sea factible retirar lámparas. Si el gabinete es de cuatro lámparas, pueden retirarse dos o una y si es de dos lámparas, puede retirarse una y quedar con la restante.

Para hacer la prueba, se recomienda solicitar los servicios de alguna empresa proveedora, quien hará un diseño del reflector no sólo siguiendo las dimensiones del gabinete, sino lo que es más importante, basándose en el espaciamiento entre los mismos y altura de montaje sobre el plano de trabajo. Se recomienda seleccionar una área pequeña que puede ser una oficina, en donde las muestras pueden ser de 4 a 6; si la empresa proveedora es seria, no tendrá inconveniente en presentar las muestras para su prueba, procurando que ésta se realice en horas nocturnas a fin de evitar alguna contribución de luz solar.

Se sugiere asimismo, seguir una metodología que a la vez de sencilla sea reconocida por alguna institución, como es el caso de la Illuminating Engineering Society of North America (IESNA) quien hace referencia a los puntos en donde deben tomarse las lecturas. Es de llamar la atención el hecho de que estos puntos se localizan entre los gabinetes, de manera que si un reflector está mal diseñado, provocará zonas menos iluminadas precisamente en estos puntos, aun cuando debajo del gabinete hubiera resultados satisfactorios. De aquí que el diseño ofrecido por el proveedor sea fundamental para lograr una prueba exitosa. Si los valores en luxes tanto máximos como mínimos y promedio, son cuando menos iguales a los existentes antes de haber colocado los reflectores y retirado las lámparas, es un indicio de que éstos sí funcionarán y procede continuar con el proyecto. Sin embargo, existen casos en que el nivel de iluminación está excedido, por lo que puede reducirse éste hasta el técnicamente recomendado.

En el caso del Club Deportivo Berimbau se instalaron 22 reflectores ópticos de aluminio en el interior de los gabinetes que contenían 4 lámparas de 20W, con lo que se pudo retirar la mitad de la carga, es decir, el nuevo arreglo fue de 2 x 20 W. Estos trabajos se realizaron en el área de la cocina, cuyo nivel de iluminación era de 100 luxes; posteriormente con la limpieza de los componentes del gabinete y la instalación del reflector, el nivel se mantuvo en 90 luxes que aun cuando fue inferior al nivel existente antes del cambio, se encontró dentro de lo aceptable, razón por la cual no hubo necesidad de incrementar más la eficiencia, fuera reemplazando las lámparas o bien los balastros.

En la zona de cuarto de máquinas, bodega y diversas áreas, en donde el nivel de iluminación era de 150 luxes promedio, se retiró una de cada dos lámparas de 39 y de 40W en 172 gabinetes, reduciendo con ésto la mitad de la carga. Actualmente, cada gabinete tiene una sola lámpara y un reflector óptico de aluminio, con lo que el nivel es de 130 luxes, suficiente para la tarea visual que ahí se desarrolla.

Por otra parte, se instalaron 25 reflectores de aluminio en similar número de gabinetes de 4 x 74W, lo que permitió retirar la mitad de las lámparas, quedando instaladas 2 x 74W con reflector especular. Las áreas donde se llevaron a cabo estas obras, tenían un nivel promedio de iluminación de 150 luxes y posteriormente alcanzaron los 120 luxes. La modificación se realizó en áreas de regaderas, baño sauna, sala de juegos y gimnasio. Cabe observar que 120 luxes es el nivel recomendado para este tipo de locales.

Finalmente, con el objeto de incrementar el nivel de iluminación de los vestidores, cuyo nivel inicial era de 100 luxes, se colocó un reflector óptico de aluminio en 44 gabinetes de 1 x 74 W, no se retiraron lámparas y el nivel final fue de 140 luxes, con lo que se logró un aumento de 40% en la iluminación.

Se pronosticó un ahorro de 27 KW (13%) en la demanda y 10,614 KWH (14.2%) en el consumo, cifras que representan una disminución en el importe de N\$ 2,130.00 (12.%), mensuales. Para alcanzar este ahorro fue necesario invertir \$ 78,362.00, que se recuperará en 37 meses.

Quinto paso: Mejore su iluminación exterior

La iluminación exterior, comúnmente llamada de seguridad, no requiere de un alto rendimiento de color y, por lo tanto, se pueden utilizar lámparas de vapor de sodio tanto de alta como de baja presión, aun cuando éstas últimas han venido desapareciendo por algunos inconvenientes observados en los sistemas de alumbrado público municipal. Si consideramos que las lámparas de vapor de sodio de alta presión ofrecen una eficiencia cercana a 100 lúmenes/Watt en contra de 50 lúmenes/Watt de las de vapor de mercurio, se comprenderá porque éstas últimas están siendo substituidas por las primeras.

En el caso del Club Deportivo Berimbau se substituyeron 22 lámparas de vapor de mercurio de 250 Watts por el mismo número de lámparas de vapor de sodio de alta presión de 150 Watts, con lo cual se mejoró el nivel de iluminación ya que de 11,000 lúmenes que proporcionaban las anteriores, se llegó a 14,400 que proporciona cada una de las actuales. Asimismo, se substituyeron 29 lámparas de 400 Watts vapor de mercurio por igual número de vapor de sodio de alta presión pero de 250 Watts, con lo cual también se incrementó el nivel de iluminación, pues cada una de aquellas proporciona 20,100 lúmenes en contra de 24,750 de éstas. Finalmente, se eliminaron otras 45 lámparas de 1000 Watts de vapor de

mercurio y en su lugar se instalaron las mismas 45 pero de 400 Watts.

Sexto paso: Compare sus facturaciones de energía eléctrica.

Para cerciorarse de que el esfuerzo realizado no ha sido en vano, haga una comparación de las nuevas facturaciones con respecto a lo que venía pagando anteriormente, procurando que la comparación sea de un mes con respecto al mismo mes del año anterior, a fin de considerar las costumbres de operación y las variaciones estacionales.

Por vía de muestra, el Club Deportivo Berimbau pagó en el mes de diciembre de 1993 N\$ 13,419.00 correspondientes a 156 KW y 59,100 Kwh, cuando en el mismo mes de 1992 había pagado N\$ 21,764.00 con una demanda de 210 KW y un consumo de 89,100 Kwh.

Ventajas

Con la implementación de este proyecto, se obtienen las siguientes ventajas:

- Deportivo Berimbau, pagará en promedio 30% menos por concepto de consumo de energía eléctrica.
- Deportivo Berimbau reducirá también sus costos de operación y mantenimiento, debido a que las lámparas fluorescentes compactas tienen un promedio de vida de hasta 10 veces más que los sistemas incandescentes.
- Algunos áreas quedaron con un mayor nivel de iluminación, lo que significa mejores condiciones de seguridad y confort para los usuarios.
- Eliminación del calor generado por las lámparas incandescentes lo que aunado al cambio de tonalidad en la luz de las lámparas fluorescentes compactas, permitieron mejorar la apariencia de los espacios.
- Menores pérdidas en la instalación eléctrica al disminuir el calor disipado en los conductores por virtud de la menor carga instalada.

Conclusiones:

- El proyecto representó un magnifico negocio para el usuario, ya que la inversión se recuperará en casi 3 años.
- En un clima como el de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, el consumo de energía eléctrica más importante en locales comerciales y de servicios, lo constituye el alumbrado. Quedó de manifiesto la tendencia a utilizar iluminación incandescente sin ninguna justificación y, asimismo, se demostró que el cambio a iluminación fluorescente no afecta en lo más mínimo el ambiente confortable y sí, por el contrario ofrece mejores condiciones visuales, además de que permite ahorrar energía eléctrica hasta en 70%.
- No solamente Clubes Deportivos, sino otro tipo de establecimientos con actividades de comercio y de servicio, pueden realizar acciones correctivas como las descritas, con la seguridad de que lograrán ahorros de energía eléctrica similares.

DISMINUCIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA POR ENSUCIAMIENTO DE FILTROS DE AIRE EN TURBINAS DE GAS.

H. Romero Paredes, J.J. Ambriz, M. Vargas,
M. Godínez, F. Gómez, L. Valdéz y G. Pantoja.
Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.
Depto. de Ingeniería de Procesos e Hidráulica.
Iztapalapa, C.P. 09340, México D.F.
Tel.: 724-46-44 y 45; Fax: 724-49-00.

RESUMEN.

El presente trabajo tiene por objetivo estudiar el efecto en la potencia generada en una turbina de gas de las condiciones de entrada del aire al compresor de una turbina de gas al pasar por un conjunto de filtros. Se presenta el algoritmo para la determinación de las pérdidas energéticas debidas a la variación de la caída de presión generada por los filtros de acuerdo con su estado de limpieza.

En la primera parte se ejemplifica el conjunto de variables que influyen en la eficiencia de las turbinas de gas, posteriormente se mencionan las características de flujo de aire hacia una turbina y se muestran los efectos sobre el sistema.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación del sistema y se comparan con un caso real. De los resultados se puede apreciar que, dependiendo del sistema y de las condiciones ambientales el decremento en la eficiencia puede, ser hasta del 3% en función del nivel de limpieza de los filtros. Los períodos de mantenimiento dependen fuertemente de las variaciones de la calidad del aire a la entrada en la casa de filtros de la zona donde se ubica la planta.

INTRODUCCIÓN.

Las turbinas de gas de un ciclo Brayton se utilizan comúnmente en la generación eléctrica. Sin importar la capacidad de las turbinas, todas ellas se ven afectadas por los mismos factores que hacen que su eficiencia disminuya considerablemente, tales como: atmosféricos, geográficos y propios de la operación.

Las condiciones climáticas varían de acuerdo con la región y la época del año; las turbinas de gas, al operar con aire atmosférico, están sometidas a tales condiciones, por lo que su comportamiento está sujeto a las condiciones del clima. La eficiencia de la turbina de gas se ve afectada por la altitud a la que se encuentre operando. Esto es causado por la variación de la densidad del aire con respecto a la altitud; a este respecto, poco se puede hacer.

La eficiencia de las turbinas naturalmente que es afectada en mayor grado por la falta de un mantenimiento oportuno y eficaz, que de realizarse adecuadamente, puede evitar un descenso en la eficiencia causado por los elementos mecánicos, eléctricos y agentes externos.

Uno de los agentes externos más importantes es el polvo acumulado en los filtros de entrada al compresor y en el compresor mismo. En este trabajo se realiza un análisis del comportamiento de la eficiencia de la turbina de gas relacionado con la acumulación de polvos en los filtros de aire y su consecuencia en la potencia.

Para la evaluación del sistema se generó un algoritmo para determinar la funcionalidad de la potencia generada con las variables climáticas y la caída de presión en la casa de filtros. Se describe también la metodología seguida y los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DEL SISTEMA.

Para determinar adecuadamente el comportamiento de las turbinas de gas se realiza un análisis del funcionamiento del ciclo Brayton (figura 1), para el cuál se identifican las variables que pueden ser recopiladas en campo (tabla 1), y que influyen en la eficiencia.

Tabla 1. Variables requeridas para el modelo de cálculo.

Variable	Fuente
Temperatura de bulbo seco	Central meteorológica
Temperatura de bulbo húmedo	Central meteorológica
Humedad relativa	Central meteorológica
Temperatura de entrada al compresor	Datos de la planta
Presión de descarga del compresor	Datos de la planta
Temperatura a la descarga del compresor	Datos de la planta
Temperatura a la salida de la turbina	Datos de la planta
Presión a la salida de la turbina	Datos de la planta
Flujo de gas natural	Datos de la planta
Composición del gas	Informes del suministrador
Temperatura del gas (horaria)	Informes del suministrador
Poder calorífico del gas	Informes del suministrador
Densidad del gas	Informes del suministrador

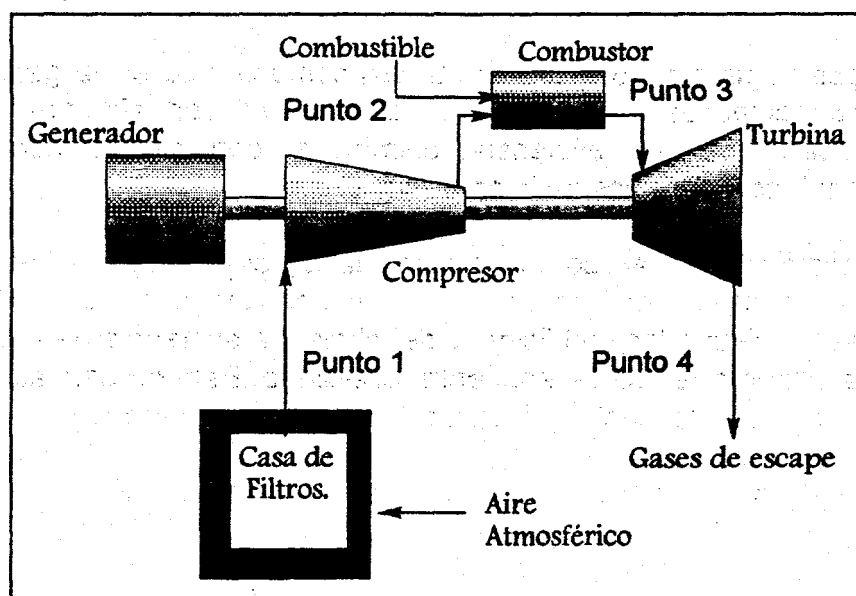


Figura 1. Representación esquemática del ciclo Brayton.

Análisis general.

El análisis consiste de una descripción del proceso mediante un modelo matemático, que permite examinar la variación de la eficiencia del ciclo en función de las condiciones ambientales. Es necesario conocer las propiedades termodinámicas del fluido de trabajo en cada etapa del proceso.

El cálculo de la entalpía de la mezcla de los gases se determina mediante la siguiente expresión:

$$h_{mezcla} = \sum_1^n X_i \times h_i \dots\dots\dots (1)$$

Donde

$$h_i = \int_{T_0}^T C_p(T) dT \dots\dots\dots (2)$$

El calor específico (C_p) es función de la temperatura y se describe mediante un polinomio de forma:

$$C_{p_{mez}}^{s.t.}(T) = A + BT + CT^2 + DT^{-2} \dots\dots\dots (3)$$

Donde A, B, C, D son constantes que dependen del fluido en estudio.

Al sustituir la ecuación (3) en la ecuación (2), se tiene:

$$\begin{aligned} h_{mez} &= [h_{mez}(T) - h_{mez}(T_0)] \\ h_{mez} &= A(T - T_0) + (B/2)(T^2 - T_0^2) + (C/3)(T^3 - T_0^3) - D(T^{-1} - T_0^{-1}) \dots\dots\dots (2') \end{aligned}$$

Durante la compresión del fluido de trabajo se lleva a cabo un proceso real que es politrópico. La relación de presión y temperatura durante este proceso se define como:

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \dots\dots\dots (4)$$

$$r_T = \frac{T_2}{T_1} \dots\dots\dots (5)$$

Las ecuaciones (4) y (5) se utilizan para la descripción del proceso de compresión que se presenta entre los estados 1 y 2 del ciclo de generación. Estas dos expresiones se interrelacionan de la siguiente manera:

$$r_T = r_p^{\frac{(n-1)}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

De la ecuación (6) se despeja el coeficiente politrópico de compresión (n):

$$n = \frac{\ln(r_p)}{\ln(r_p) - \ln(r_T)} \dots\dots\dots (7)$$

Evaluación de los parámetros termodinámicos en cada proceso del sistema.

A la entrada del compresor (punto 1, figura 1) el fluido está compuesto de aire y agua, por lo tanto la entalpía está dada por:

$$h_{aire} = X_{aire\ seco} h_{aire\ seco} + X_{agua} h_{agua} \dots \dots \dots (8)$$

De los datos meteorológicos (Tbs y Hr) se conoce la humedad relativa:

$$Hr = \frac{P_v}{P_g} \dots \dots \dots (9)$$

donde P_g es una función de la temperatura y se describe mediante la ecuación:

$$P_g(T) = 61116 \times 10^{-3} + 4.4494 \times 10^{-4} T + 1.4153 \times 10^{-5} T^2 \\ + 2.759 \times 10^{-7} T^3 + 2.6142 \times 10^{-9} T^4 + 2.8394 \times 10^{-11} T^6 \dots \dots \dots (10)$$

La presión parcial del aire está dada por:

$$P_a = P_{atm} - P_v \dots \dots \dots (11)$$

y la relación de humedad, definida como la relación de masa de agua por unidad de masa de aire es [1]:

$$w = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \dots \dots \dots (12)$$

En donde la constante 0.622 es el cociente entre el peso molecular del agua y del aire seco.

La fracción molar es:

$$X_{aire} = \frac{Y_{aire} / PM_{aire}}{\left((Y_{aire} / PM_{aire}) + (Y_{agua} / PM_{agua}) \right)} \dots \dots \dots (13)$$

$$X_{agua} = \frac{Y_{agua} / PM_{agua}}{\left((Y_{aire} / PM_{aire}) + (Y_{agua} / PM_{agua}) \right)} \dots \dots \dots (14)$$

Al sustituir los valores obtenidos en las ecuaciones (13), (14) y (2') para agua y aire en la ecuación (8) se obtiene la entalpía específica de mezcla a la entrada del compresor.

A la salida del compresor o entrada a la cámara de combustión (Punto 2), se puede conocer la temperatura y presión. Las fracciones molares de la mezcla son las mismas por lo que se utiliza la ecuación (2') para obtener la entalpía específica en este punto.

A la salida de la turbina de gas (Punto 4) es posible conocer la temperatura y presión. Del análisis de gases de combustión se conocen las fracciones molares de la mezcla por lo que se utiliza la misma ecuación (2') para calcular su entalpía de cada fracción:

$$h_{\text{gases de salida}} = X_{N_2} h_{N_2} + X_{O_2} h_{O_2} + X_{CO_2} h_{CO_2} + X_{CO} h_{CO} + X_{\text{agua}} h_{\text{agua}} \dots (2'')$$

Normalmente la concentración de CO es despreciable y puede eliminarse de la ecuación anterior.

Para calcular las propiedades de fluido a la entrada de la turbina (punto 3), es necesario realizar un análisis de energía y masa en la cámara de combustión:

$$Q_{\text{sum}} + m_{\text{comb}} h_g + m_a h_2 = h_3 (m_{\text{comb}} + m_a) \dots (15)$$

Se conoce que el calor suministrado es igual a:

$$Q_{\text{sum}} = (\dot{v}_{\text{comb}}) (PCI) \dots (16)$$

La ecuación de trabajo neto:

$$W_n = W_{\text{Turbina}} - W_{\text{compresor}}$$

$$W_n = (m_a + m_{\text{comb}})(h_3 - h_4) - m_{\text{aire}}(h_2 - h_1) \dots (17)$$

De la ecuación (17) se despeja m_a que es la variable que se desconoce:

$$m_a = \frac{W_n - Q_{\text{sum}} - m_{\text{Comb}}(h_g - h_4)}{(h_1 - h_4)} \dots (18)$$

y

$$h_3 = \frac{W_n + m_a(h_2 - h_1)}{(m_a + m_{\text{comb}})} + h_4 \dots (19)$$

Una vez conocido m_a y h_3 , el ciclo a quedado totalmente descrito.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Con base en el desarrollo descrito previamente y los datos obtenidos en la practica se observa que la variación de la potencia con respecto a la temperatura ambiente es muy importante (figura 2) y el efecto en la eficiencia del sistema se refleja en los costos de operación. Dado este fenómeno generado por la naturaleza, es importante definir los parámetros que sí están bajo el control humano y pueden ser modificados. Es obvio que los relativos a la operación y mantenimiento son los mas atractivos.

Caída de presión dentro de los filtros.

La evaluación corresponde al ciclo teniendo como variable independiente la presión a la entrada del compresor. Esta varía como una función del estado de limpieza de filtros y se tiene como referencia la presión atmosférica del lugar donde se ubica la planta.

La presión de entrada al compresor se hace variar en intervalos de 2 centímetros de columna de agua. Se consideran constantes las condiciones de entrada a la turbina (punto 3), en cada intervalo de temperatura del aire a la entrada del compresor (punto 1), esto es la función:

$$W_n = f(T_1, \Delta P) \dots\dots\dots(20)$$

De esta forma se pueden obtener el conjunto de representaciones gráficas de la potencia contra temperatura y presión a la entrada del compresor (figura 2).

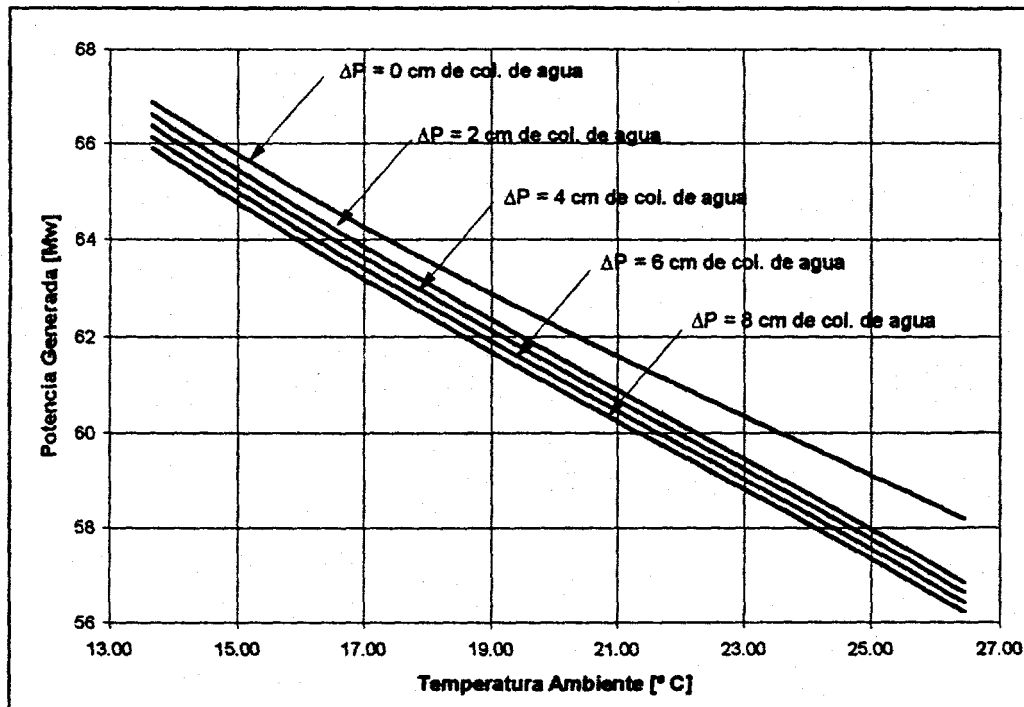


Figura 2. Gráfica de la potencia generada vs temperatura ambiente y la diferencia de presión.

La figura muestra claramente como la caída de presión hace disminuir la potencia generada. Se puede apreciar que es posible determinar la pérdida económica derivada de la ineficiencia.

Grado de ensuciamiento de los filtros en función de la caída de presión.

El grado de ensuciamiento de los filtros depende de la estación del año y las condiciones de la zona donde se localiza la planta, en la época seca y con fuertes vientos, el ensuciamiento es más rápido que en la época de lluvias. El polvo proveniente de la tierra suelta que es arrastrado se incrusta en los filtros obstruyendo el flujo del aire atmosférico al compresor. Este fenómeno refleja una caída de presión entre la entrada y salida de la casa de filtros. En zonas como la Cd. de México la contaminación ambiental y las partículas en suspensión tienden a ensuciar más rápidamente los filtros.

En la figura 3 se aprecia la disminución de la potencia generada con respecto a la caída de presión a una temperatura ambiente constante de 22° C.

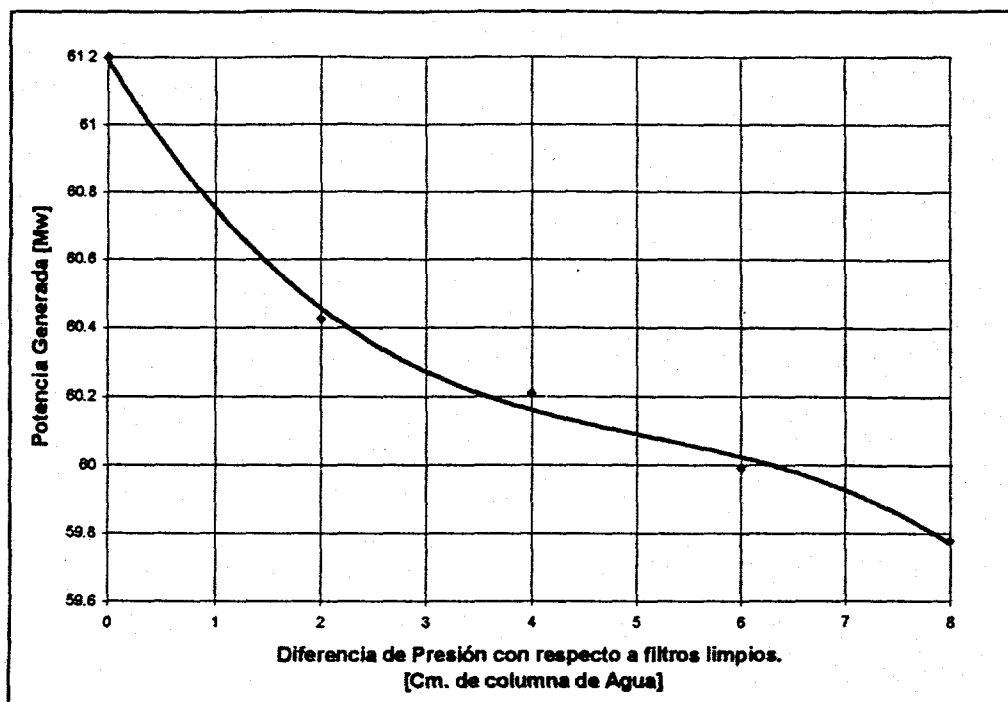


Figura 3. Gráfica de la potencia generada vs la diferencia de presión.

Con base en esta figura se propone la clasificación del grado de ensuciamiento respecto a la caída de presión (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación del grado de ensuciamiento.

Diferencia de presión.	Grado de ensuciamiento.
0 a 2 cm. de col. de agua.	Limpios.
2 a 4 cm. de col. de agua.	Ligeramente Sucios
4 a 6 cm. de col. de agua.	Sucios.
6 a 8 cm. de col. de agua.	Muy Sucios.
> 8 cm. de col. de agua.	Extremadamente sucios.

En la figura 4 se aprecia la pérdida económica a diferentes temperaturas ambiente y grados de ensuciamiento de los filtros. Es posible concluir que en cuanto la caída de presión alcance un valor de 6 centímetros de columna de agua equivalente al grado muy sucio es rentable realizar el mantenimiento de la unidad de filtros.

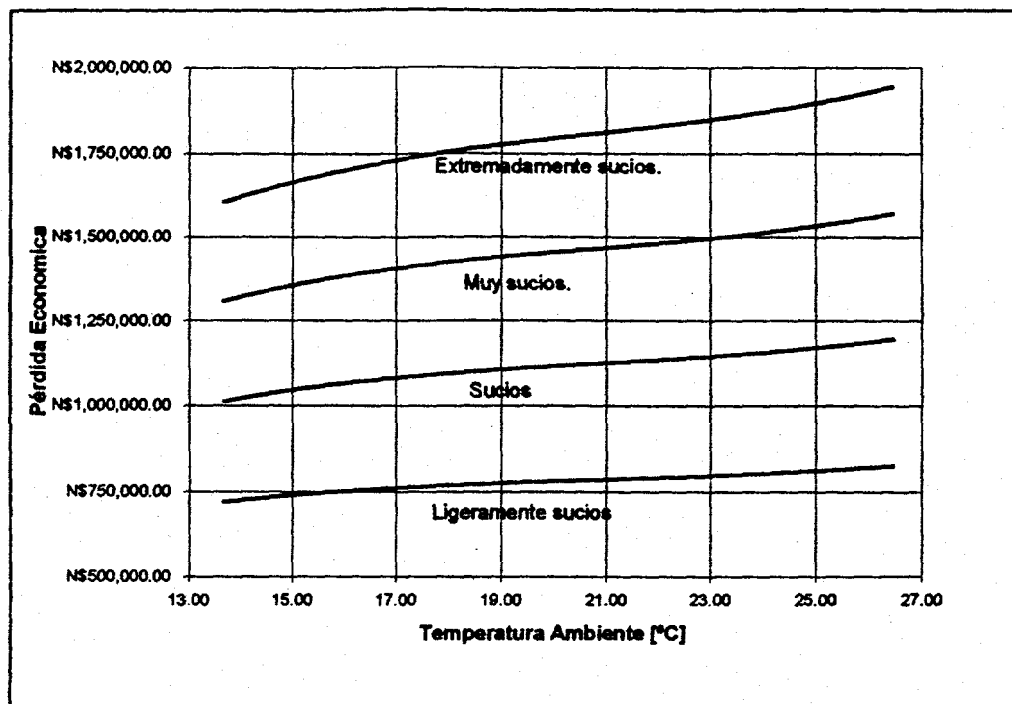


Figura 4. Gráfica de la pérdida económica vs temperatura ambiente y el grado de ensuciamiento.

Mantenimiento de los filtros para conservar la eficiencia.

Para evitar las pérdidas en eficiencia causadas por la obstrucción de los filtros es necesario tener un programa preventivo y predictivo de mantenimiento de acuerdo con las condiciones propias de la planta. Este estará basado en la experiencia del personal de la planta. Para realizar el mantenimiento se tiene un indicador: la caída de presión en la casa de filtros y la estadística histórica de la evolución con respecto a las estaciones del año.

El mantenimiento requerido por los filtros depende del tiempo que se hayan usado. Si el tiempo de uso es poco y no hay daño material en el filtro entonces lo más recomendable es la limpieza por sopleado en dirección contraria a la del flujo normal de aire; en otros casos no quedará otro camino que la sustitución total.

CONCLUSIONES.

Se ha demostrado que el modelo empleado para la evaluación de los efectos del ensuciamiento de filtros de una central de generación eléctrica con turbina de gas es ventajoso y permite, de una forma sencilla, determinar los períodos de mantenimiento en el punto económicamente rentable.

Los resultados muestran que el decremento en la potencia generada causada por la obstrucción de filtros puede llegar a ser del 3%. Así, para una planta que genere 250 Mw la pérdida representa 8 Mw; equivalente a la máxima demanda de ocho empresas contratadas en tarifa OM o el equivalente al consumo de una población de 10,000 habitantes.

La programación del mantenimiento en los períodos oportunos es necesaria para mantener la planta operando óptimamente.

NOMENCLATURA

$C_p(T)$	Calor específico del compuesto en función de la temperatura
h_{mezcla}, h_{sust}	Entalpía específica de una mezcla de gases.
h_i	Entalpía específica del compuesto i.
H_r	Humedad relativa.
m_a	Masa de la mezcla aire- agua.
m_{comb}	Masa del combustible $m_{comb} = v_{comb} \cdot \rho_{comb}$
m_i	Flujo másico del compuesto i.
n	Coefficiente politrópico del proceso de compresión.
P_a	Presión parcial del aire.
P_{atm}	Presión atmosférica.
P_g	Presión de saturación de vapor de agua a la temperatura.
P_i	Presión en el punto i.
P_v	Presión parcial del vapor de agua
PCI	Poder calorífico inferior.
PM_i	Peso molecular del compuesto i.
Q_{sum}	Calor suministrado a la cámara de combustión.
r_p	Relación de presión.
r_T	Relación de temperaturas.
T, T_i	Temperatura a las condiciones buscadas.
T_{BH}	Temperatura de bulbo húmedo.
T_{BS}	Temperatura de bulbo seco.
T_o	Temperatura de referencia (273.15 K).
v_{comb}	Flujo volumétrico del combustible.
w	Humedad específica
W_n	Trabajo neto realizado por el ciclo $W_n = 1.02W_g$
$W_{Turbina}$	Trabajo realizado por la turbina.
$W_{compresor}$	Trabajo consumido en el compresor.
X_i	Fracción molar del compuesto i.
Y_i	Fracción másica del compuesto i.
ρ_{Comb}	Densidad del combustible.

BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Moran M.J, Shaphiro H.N., **Fundamentos de Termodinámica Técnica**, Ed. Reverté. 1993,
- [2]. Virgil Moring Faires. **Termodinámica**. UTEHA (NORIEGA EDITORES). 1974.
- [3]. Kenneth Wark . **Termodinámica**, 4ª Edición, Mcgraw - Hill. 1984.
- [4]. Smith - Van Ness. **Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química**, 4ª Edición, Mcgraw - Hill. 1980.
- [5]. Richard E. Sonntag, Gordon J. Van Wylen. **Introducción a la Termodinámica Clásica Y Estadística**, Ed. LIMUSA. 1985.
- [6]. Alan S. Foust, **Principios De Operaciones Unitarias**, 2ª edición. Ed. Continental, 1988.

ESTRATEGIAS PARA EFICIENTIZAR EL USO DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS NO RESIDENCIALES

Jorge Castro Flores y David Morillón Gálvez

Comisión Nacional para el Ahorro de Energía.
Dirección de Inmuebles y Alumbrado Público.
Francisco Márquez No. 160, Col. Condesa, C.P. 06140, México, D.F.
Tel: 553 90 00 ext: 50 fax: 553 90 20

RESUMEN

Se presenta la problemática identificada en edificios no residenciales; donde el uso inadecuado de la energía eléctrica se manifiesta principalmente en tres puntos: tecnología y mantenimiento inadecuados, y mal uso y costumbres de la energía. Se analizó las consecuencias de esta situación en el ámbito ecológico, económico, político y social. Con base a la problemática se proponen las siguientes estrategias : un adecuado proyecto y diseño, retrofit, mantenimiento y concientización del usuario para el uso racional de la energía. La evaluación económica realizada para implantar estas estrategias muestra un significativo potencial de ahorro de energía eléctrica, con medidas de nula y baja inversión.

1. INTRODUCCIÓN

Hablar de la energía eléctrica en México es conocer una mezcla de conocimientos, tecnología y entusiasmo, pero también, de la fuerza de cientos de hombres que luchan por lograr el control de la electricidad, puesto que a finales del siglo pasado los derechos de electrificación se encontraban en manos de extranjeros (principalmente de Estados Unidos), que la generaban a diferentes frecuencias, con sistemas desintegrados, tarifas diferenciadas y sin una programación de las fuentes energéticas.

Aunque la electricidad para fines industriales y comerciales apareció a finales del siglo XIX, puede considerarse como un fenómeno del siglo XX.

Uno de los objetivos de la CFE ² por cumplir es el de establecer las bases para la creación de un Sistema Interconectado Nacional ³, que permita el aprovechamiento total racional de los recursos naturales en el país; distribuir adecuadamente la generación de las plantas hidroeléctricas y termoeléctricas, reduciendo en lo posible el uso de los hidrocarburos y por lo tanto, los costos de operación, así como minimizar el número de plantas de emergencia y hacer uso común de ellas.

Actualmente nuestro Sistema Interconectado Nacional cuenta con una red transmisión razonablemente estandarizada.

Como la década de los sesenta se caracterizó por la abundancia del petróleo, la CFE dio preferencia a las plantas termoeléctricas, sobre todo a las que se basaban en el uso del Combustóleo o gas natural como combustible. Sin embargo, años después comenzó la preocupación por preservar las reservas de petróleo, lo que llevó a buscar nuevas fuentes de energía para generar electricidad y disminuir la dependencia de los hidrocarburos. Así se tomó la decisión de desarrollar otras fuentes de energía y de realizar un proyecto nucleoelectrico en Laguna Verde (Alto Lucero, Veracruz).

Hasta 1993 el Sector Eléctrico Nacional tenía en funcionamiento 158 centrales generadoras.

La generación de energía eléctrica alcanzó el valor de 126,530 GWh; las plantas termoeléctricas aportaron el 62.6% de esa cantidad, el 37.4% restante fue por generación de otras fuentes.

En agosto de 1994 la situación de los sistemas de generación y transmisión de energía eléctrica en México era la siguiente:

- La capacidad instalada de generación era de 31, 307 MW, de la cual el 29.166% correspondía a las plantas hidroeléctricas y el 70.834% a termoeléctricas.

Dentro del proceso operativo de los sistemas eléctricos, la distribución es la fuente mediante la cual se hace llegar al usuario, la energía eléctrica producida en las centrales generadoras.

Los sistemas de distribución son la parte del sistema eléctrico que están más ligados con el usuario, se extienden desde las barras de carga de las grandes subestaciones de potencia, hasta la entrada de los servicios, en donde se miden los consumos de energía, para satisfacer necesidades de alumbrado, fuerza motriz, calor, refrigeración, etc.

² CFE fue creada para planear, organizar, desarrollar, dirigir y operar el Sistema Nacional de generación, transmisión y distribución de electricidad, basado en principios técnicos y económicos sin propósitos de lucro y con el objetivo de obtener con un mínimo costo el mayor posible rendimiento en beneficios de interés general, así como firmar los contratos necesarios para el desempeño de sus funciones: promover la investigación científica y tecnológica; y regular las importaciones y exportaciones de la energía eléctrica (Department of Energy (Estados Unidos) y SEMIP (México) 1991).

³ Después de la nacionalización vino un proceso de integración de siete regiones que se habían desarrollado independientemente para formar el Sistema Interconectado Nacional.

Debido a que el ahorro y uso eficiente de la energía recibe la más alta prioridad, porque apoya el esfuerzo de productividad de toda la economía, amplía el horizonte energético y libera recursos para decidir su uso más eficiente en función de las necesidades del país, el 28 de septiembre de 1989 se creó por Acuerdo Presidencial la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, la cual es un organismo intersecretarial del Gobierno Federal, cuyo objetivo es promover, apoyar, impulsar y difundir acciones de ahorro y uso eficiente de la energía que involucren a todos los sectores de la sociedad Mexicana.

2. NECESIDADES Y VENTAJAS DEL AHORRO DE ENERGÍA

Razones para ahorrar energía

- La mayor parte de los energéticos empleados en la generación de electricidad son no renovables y se agotan
- Generar energía eléctrica produce contaminación (por la utilización de combustibles fósiles carbón, gas natural, etc.) en las plantas termoeléctricas.

Cada kWh que se genera en una planta termoeléctrica en nuestro país emite a la atmósfera:

- 0.68 - 0.80 kg de CO₂
- 0.0017 - 0.0025 kg de NO_x
- 0.0058 - 0.011 kg de SO₂
- 3.6 litros de agua

Entre los efectos de la contaminación tenemos:

- Aumento del efecto invernadero (incremento de la temperatura de la superficie terrestre y cambio global del clima).
- Lluvia ácida
- Partículas en suspensión, ruido, desforestación, desertificación, etc.

- Nuestra capacidad de generación es limitada.
- El país necesita el dinero que se invertiría en ampliar la capacidad de generación, para dedicarlo a cubrir necesidades sociales más urgentes. Un kW en una termoeléctrica significa una inversión de 1500 USD.
- Para ser competitivos en los mercados internacionales, necesitamos tener costos de producción razonables, y los energéticos pesan mucho en ellos.
- Tenemos que tomar conciencia, que la energía es un "bien nacional" y que nadie tiene derecho a derrocharla.
- El incremento a las tarifas energéticas.
- Creación de normas obligatorias y voluntarias, leyes ecológicas más estrictas.
- Legislación flexible que permite cogenerar energía eléctrica.

3. ANÁLISIS DE OPORTUNIDADES DE AHORRO Y USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA

El proceso de administración de los recursos energéticos, consiste en la aplicación de diversas técnicas que permitan alcanzar la máxima eficiencia en el uso de los energéticos utilizados, como los Diagnósticos Energéticos (DEN)

También se le identifica como Auditoría Energética. Actualmente no cuenta con una terminología común y uniforme para esta actividad.

Los Diagnósticos Energéticos realizados fueron para determinar el grado de eficiencia con el que se utiliza la energía.

Consistió en el estudio de todas las formas y fuentes de energía, por medio de un análisis crítico, para establecer el punto de partida para la implementación y control de un Programa de Ahorro de Energía, ya que se determinó dónde y cómo es utilizada la misma, además de especificar cuánta es desperdiciada.

Los DEN realizados son los tres considerados por la Comunidad Económica Europea considera solo tres niveles de Diagnóstico para ahorro de energía, pero en el caso de México y de los países en desarrollo, y fue conveniente considerar el "Nivel cero", ya que éste encierra la mayor relación beneficio-costos y es por ende, inicialmente el nivel más atractivo, así como también en la CONAE se emplea. Existe quinto nivel, al que para su mejor entendimiento se le ha dado el nombre de "prediagnóstico" o bien por extrapolación "nivel doble cero" (Ver tabla 1).

NIVEL	TIEMPO
00 PREDIAGNÓSTICO	2 horas
0 CERO	2 días
1 UNO	2 semanas
2 DOS	2 meses
3 TRES	2 semestres

Tabla 1.- Niveles de los DEN y tiempo de realización.

Mediante estos DEN se detectaron áreas de oportunidad y problemática en:

- Ítemes (equipos, áreas, sistemas, flujos, etc.)
- Operativo
 - Inventario de equipo consumidor de energía.
 - Inventario de equipo generador de energía.
 - Detección y evaluación de fugas y desperdicios.
 - Análisis del tipo y frecuencia del mantenimiento.
 - Inventario de instrumentación.
 - Posibilidades de sustitución de equipos.
- Económicos
 - Precios actuales y posibles cambios de los precios de los energéticos.

Costos energéticos y su impacto en costos totales.
Estimación económica de desperdicios.
Consumos específicos de energía.
Elasticidad producto del consumo de energía.
Evaluación económica de medidas de ahorro.
Relación beneficio-costo de medidas para eliminar desperdicios.
Precio de energía eléctrica comparada (N\$/kWh).

- Energéticos
 - Formas y fuentes de energía utilizadas.
 - Posibilidades de sustitución de energéticos.
 - Volúmenes consumidos.
 - Estructura del consumo.
 - Balance en materia y energía.
 - Diagramas unifilares.
 - Posibilidades de autogeneración y cogeneración.
- Político
 - Tarifas eléctricas.
 - Política de precios de los energéticos.
 - Política de comercialización de energéticos.
 - Programa nacional de energéticos.
 - Legislación en materia de autogeneración y cogeneración.
- Análisis de experiencias.
 - Ámbito nacional.
 - Ámbito internacional.

4. PROBLEMÁTICA EN EL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La problemática se resume en cuatro puntos:

CONTROL DE ALUMBRADO

- Control de varios locales por medio de un sólo interruptor
- Falta de apagadores en los locales.
- Diseño de instalaciones sin criterio luminotécnico avanzado.
- Falta de normalización sobre eficiencia energética.
- Crecimiento continuo de carga en instalaciones existentes.
- Falta de mantenimiento.

MODERNIZACIÓN DEL EQUIPO

- Luminarios ineficientes y mal instalados. Por falta de observancia de las normas vigentes, existe una gran diversidad de luminarios para lámparas fluorescentes que no cumplen con los requisitos de calidad. De hecho, se han detectado problemas de fabricación, que van desde los materiales de baja calidad, hasta los malos diseños. Asimismo, cuando se descuida su instalación se provocan por un lado, altos niveles de ruido, y por el otro se eleva la temperatura de operación.
- Balastros de baja eficiencia. La mayoría de los balastros instalados tienen altas pérdidas. Debido a la falta de mantenimiento, las lámparas quemadas no son substituidas a tiempo;

sin embargo, los balastos continúan conectados a la red consumiendo energía de manera inútil.

- Incompatibilidad de equipos. Frecuentemente se encuentra en combinación de lámparas ahorradoras con balastos normales y de baja energía. Esto provoca sobrecalentamiento del balastro y la reducción de la vida útil de la lámpara.
- Uso y abuso de lámparas incandescentes.
- Acabado de lámparas fluorescentes y mezcla de lámparas de diferentes temperaturas de color. No siempre la iluminación que requiere una tarea visual determinada se realiza con las lámparas de mayor eficacia, además de que en algunos casos se mezclan lámparas de diferentes temperaturas de color.
- Sistema fluorescente de encendido instantáneo. Además de ser más caros, pesados y voluminosos, los primeros son 23% menos eficientes y sus lámparas tienen menos vida útil.
- Por otro lado, a pesar de que en muchas instalaciones como edificios y comercios la aportación de luz natural es excelente, la falta de controles manuales o automáticos evita su óptimo aprovechamiento.

MANTENIMIENTO

- Luminarios y sus componentes sucios.
- Difusores rotos y degradados.
- Lámparas rectificando o fundidas.
- Balastos quemados.
- La falta de mantenimiento correcto puede llegar a disminuir la eficiencia del sistema hasta un 40% y reducir la vida de los equipos.

FUERZAS SOCIALES

- Crecimiento de la población (2% anual mínimo en tercer mundo).
Se requieren más servicios, más productos, más edificios, más obras de infraestructura.
- Desarrollo social.
Mejorar el nivel de vida requiere de más energía.
- Especialización de servicios.
A medida de que un servicio se supera, se divide por especialidades, mismas que requieren más espacio, locales o edificios.
- Aumento de confort.
Por status, publicidad, imitación o difusión de disponibilidad; la población demanda mejor alumbrado, aire acondicionado, etc.
- "Efecto Rebote".
Al conocer la población los ahorros de energía que está haciendo, tiende a usar más.

5. ESTRATEGIAS PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EDIFICIOS

Se proponen cuatro estrategias:

Costumbres y operación

- Campañas nacionales de concientización en todos los niveles y cuadros, para evitar el desperdicio de electricidad y agua.

- Administración del alumbrado, eliminando innecesario o excesivo y apagando en horario inhábil.
- Sistemas de atenuación de luz diurna (cortinas, persianas, pintura, etc.) sólo indispensable. lo
- Administración de la Energía

Cada edificio debe tener un responsable en cuanto al uso de energía eléctrica se refiere, de tal manera que sobre el presupuesto del edificio recaiga el consumo excesivo o bien los ahorros obtenidos; obviamente, debe llevarse un control de las mediciones tanto en kWh, como en kW y de kVARh, en caso de existir medición de este último elemento.

En servicios suministrados en alta tensión (tarifas OM) debe comprobarse que haya un buen contacto en todas las partes de la subestación, ya que alguna conexión floja ocasionará pérdidas de energía eléctrica; una gran ayuda puede ser el empleo de un termovisor que registra puntos calientes. También en servicios en esta tarifa suele presentarse bajo factor de potencia, con la consecuente penalización, debido a la utilización de motores para bombeo y al consumo de energía reactiva por el transformador durante sábados y domingos en que no se labora; en estos casos deben instalarse bancos de capacitores y/o verificar que la capacidad del transformador no este excedida.

Mantenimiento

- Seccionamiento de circuitos y uso de más apagadores.

En estos casos debe rediseñarse la instalación eléctrica con circuitos independientes o bien instalar en cada luminario un apagador sea de palanca o bien de perilla colgante.

- Limpieza de elementos y accesorios del alumbrado.

Si el difusor se encuentra sucio por el polvo acumulado o bien ha adquirido un color amarillo, entonces disminuirá el nivel de iluminación; si es que no mejora aún con una buena limpieza, conviene substituirlos por unos de mayor eficiencia.

- Reemplazo oportuno de partes deterioradas.

Evitar lámparas quemadas o desconectadas intencionalmente, pero conectadas aún al balastro pues éste consume energía eléctrica del orden del 20% de la potencia de la lámpara, además, si el balastro está conectado a 2 lámparas y una de ellas se desconectó, ocasionará que la lámpara en funcionamiento reduzca su vida útil.

- Pintura de colores claros en techos, paredes, pisos y muebles con el objeto de alcanzar superficies reflejantes mayores.
- Reparación de fugas en muebles y accesorios de baño. Así como el uso de muebles ahorradores de agua, entre otras medidas.

Readecuación

- Cambio a dispositivos ahorradores en el alumbrado.

Eliminación de focos incandescentes porque estos son los de más bajo rendimiento debido a que su operación está basada en el calentamiento de un filamento hasta el rojo blanco, con lo cual convierte el 95% de la energía eléctrica en calor y sólo el 5% se aprovecha en luz.

En el caso de que los niveles de iluminación sean los adecuados, entonces es posible utilizar lámparas que proporcionan el mismo nivel pero con una menor potencia. Es conveniente esperar a la terminación de la vida útil y hacer la substitución conforme a este

tipo de lámpara, para estos fines es fundamental llevar un control por área de las horas de utilización de las lámparas, lo que servirá para hacer el reemplazo en grupo.

Existen sistemas que sacrificando un mínimo de iluminación ahorran entre el 15 y 30 % de la energía eléctrica; por medio de los balastos electrónicos dimmeables al reducir el consumo de todas las lámparas del edificio o las lámparas periféricas (aprovechando la luz solar).

Normalmente los balastos son contruidos con circuitos magnéticos y su consumo es de aproximadamente el 20 % de la potencia de la lámpara; actualmente existen en el mercado balastos con circuitos electrónicos (balastos de alta frecuencia) que consumen sólo el 14 % de la potencia de la lámpara con o cual se reduce éste en 30 %.

El luminario es la caja de lámina donde se alojan las lámparas y el balastro; la parte superior está cubierta con una pintura reflejante que es necesario revisar para cerciorarse que no esté deteriorada; actualmente se están fabricando luminarios de aluminio (reflector óptico especular) que reflejan aún más la luz hacia abajo, con lo que se reducen las pérdidas.

Proyecto y Diseño

- **Instalación eléctrica.**

Los conductores de energía eléctrica deben ser del calibre adecuado a la carga a suministrar, de tal manera que si son más delgados, ya sea por ahorro de cobre o bien por haber aumentado la carga, habrá un calentamiento excesivo con el consiguiente desperdicio de energía.

Un buen sistema de tierras es fundamental para el buen funcionamiento del equipo de protección, lo que permite detectar fugas de energía eléctrica causadas por cierto tipo de fallas.

Debe revisarse el dimensionamiento de las bombas de agua en función de la altura y del gasto (litros por segundo) y del tiempo; el bombeo de agua debe hacerse de preferencia en las mañanas por ser la hora de menor carga y de manera que su operación sea alternada..

Se han observado casos en los que las lámparas se encuentran tan elevadas que si se apagan no se afectaría el nivel de iluminación, lo que significa que sólo son elementos decorativos; en estos casos se puede reducir la altura de montaje y rediseñar para colocar menor número de luminarios.

Existen áreas que no necesitan nitidez de color como por ejemplo estacionamientos, jardines, plazas, etc., pueden ser iluminados con lámparas de vapor de sodio de baja presión que reducen el consumo de energía hasta en 65 %; dependiendo de las horas de uso se debe hacer un estudio de costos actuales tanto de la lámpara como de la energía para determinar el período de recuperación de la inversión.

Frecuentemente los niveles de iluminación son elevados tanto en áreas comunes como para las tareas específicas, conviene comprobar tales niveles mediante el uso de un luxómetro y compararlo con las tablas de la Sociedad Mexicana de Ingeniería de Iluminación (SMII); en caso de existir sobreiluminación, retirar algunas lámparas o sustituirlas por otras de menor capacidad.

Establecer los índices comparativos con respecto al ideal para conocer de los avances; un índice puede ser kWh consumidos entre el área construida en m² o bien kWh consumidos entre el número de empleados.

- Aplicación de tecnología moderna no convencional (fotoceldas, sensores de presencia, PLC, etc.).
- Tecnología ahorradora en muebles y accesorios de baño.
- Arquitectura bioclimática
 - Orientación
 - Ventanería

En edificios mal diseñados, son las ventanas el elemento más sensible al paso del calor; por ejemplo, un vidrio ordinario de 3mm transmite el 80% del total de energía solar; es necesario, por lo tanto, cubrir los cristales con películas que controlan este fenómeno.

- Ventilación

Aprovechar la ventilación natural, cuando el clima del lugar lo permite, de acuerdo al estudio (Bioclima).

En algunos casos es necesario hacer una readecuación bioclimática del edificio, como por ejemplo, modificar ubicación de ventanas así como sus dimensiones, construir aleros tanto horizontales como verticales, dependiendo de la zona de que se trate, cambiar colores exteriores, acabados, etc.

6. EVALUACIÓN DE LAS ESTRATEGIAS

La evaluación de las estrategias propuestas se realizó de acuerdo al monto de inversión requerida y el tiempo de recuperación, así como el porcentaje de ahorro estimado que se lograría con cada estrategia (Ver tabla 2).

DENOMINACIÓN PROPUESTA	EQUIVALENTE EN MESES O AÑOS DE FACTURACIÓN EN EL ENERGÉTICO
MÍNIMA	2 MESES
BAJA	6 MESES
MEDIA	1.5 AÑOS
MEDIA ALTA	4 - 5 AÑOS
ALTA	12 - 15 AÑOS

Tabla 2 Nivel, Grado o monto de inversiones en proyectos de ahorro de energía.

LAS MEDIDAS DE NULA O MÍNIMA INVERSIÓN SON:

- Mantenimiento a luminarios y difusores.
- Revisión de alumbrado por niveles de iluminación y uso en horario inhábil.
- Impartición de pláticas al personal, especialmente al de intendencia y mantenimiento, para que se cuide no tener prendido alumbrado innecesario.
- Educar al personal para cuidar el horario de operación de aire acondicionado y alumbrado exterior, computadoras y periféricos.

Ahorro probable de 20%.

MEDIDAS DE BAJA INVERSIÓN

- Implantación progresiva de las medidas genéricas no. 1 de sustitución de lámparas, por ahorradoras (incluye cambio de balastras de alta eficiencia, a precios semejantes a los estándar), y no. 2 de seccionamiento de circuitos de alumbrado.
- Instalar apagadores "cola de rata" en cada luminario.
- Operación no simultánea de equipos de paquete de aire acondicionado (bloqueo eléctrico).
- Control del horario de bombeo de agua.
- Instalación de fotoceldas en luminarios cercanos a las ventanas.
- Adquisición de un multimetro eléctrico registrador.

Ahorro probable de 15%

MEDIDAS DE MEDIA INVERSIÓN

- Reducción de fugas de aire acondicionado.
- Instalación de reflectores ópticos especulares.
- Sustitución de difusores cerrados por parabólicos.
- Plantación y cultivo de árboles sombreadores.
- Instalación de detectores de presencia en algunos locales.
- Cambio de cables y accesorios sobrecalentados.
- Repintado progresivo de muros con colores más claros.
- Sustitución de alumbrado exterior por VSAP.
- Balanceo de cargas.

Ahorro probable de 15%

MEDIDAS DE MEDIA Y ALTA INVERSIÓN

- Modernización del sistema de aire acondicionado*
- Remodelación del edificio, instalando pantallas para reducir insolación directa.
- Aislamiento térmico del edificio.
- Uso de electrodomésticos de alta eficiencia*
- Uso de motores de alta eficiencia*
- Corrección del bajo Factor de Potencia.
- Autogeneración eléctrica (planta de emergencia), horario punta.
- Uso de balastos electrónicos (HF).
- Uso general de sensores de presencia
- Instalación de temporizadores en alumbrado exterior.
- Alumbrado con atenuadores automáticos.
- Canalización de luz diurna por reflexión en elementos arquitectónicos.
- Control de sistemas de energía por PLC (Controlador Lógico Programable) locales.
- Modernización del control de elevadores.

* nuevas NOM (enero 1994)

Ahorro probable de 15%

MEDIDAS DE ALTA INVERSIÓN

- Canalización para conducción de luz por fibra óptica y/o seguidores solares.

- Autogeneración (eólica, fotosolar)
- Cogeneración.
- Control computarizado del edificio.
- Uso de transformadores de alta eficiencia.
- Compra de energía a mayor tensión y/o contrato especial de demanda.
- Almacenamiento de frío/calor.
- Aislamiento de cimentaciones.

Ahorro probable de 15%

7. CONCLUSIONES

La problemática identificada en los DEN realizados permitió plantear estrategias con alto potencial de ahorro con medidas de nula y baja inversión y los beneficios se reflejaran en :

El ambiente

Cuando se plantea y se lleva a cabo el ahorro y uso racional de la energía eléctrica, es el principio del elemento clave para el desarrollo económico, para mejorar la calidad de la vida y para acrecentar los satisfactores sociales.

Al reducir el consumo de energía y mejorar las tecnologías de conversión y utilización, se van a reducir considerablemente los problemas ambientales en términos generales (lluvia ácida, reducción del incremento de la temperatura, contaminación atmosférica, deforestación, desertificación, ruido, etc.)

La nación

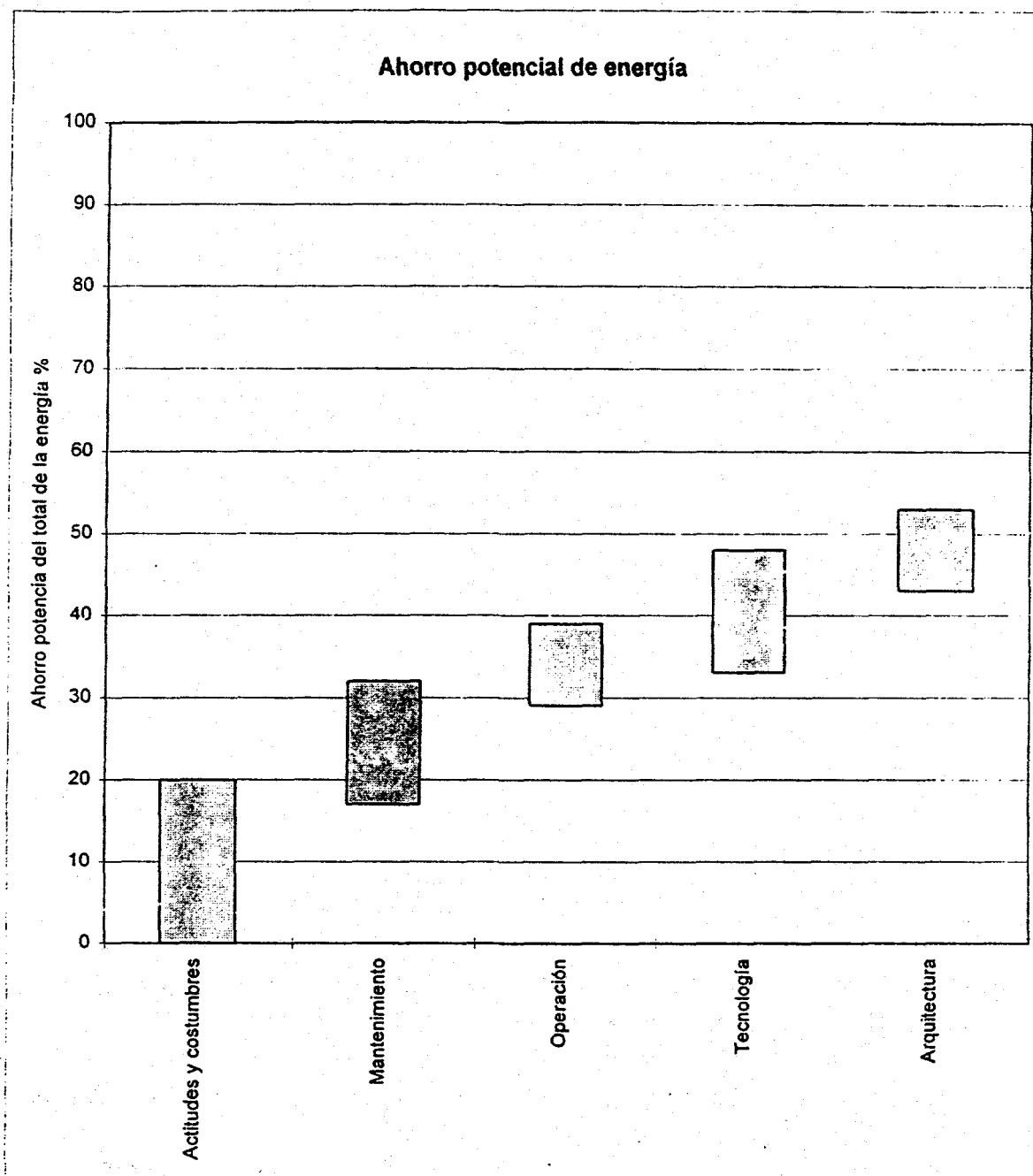
Al ahorrar energía eléctrica en los distintos sistemas, desde la generación hasta la utilización se tendrían los siguientes beneficios:

- Incremento de la productividad de la economía.
- Prolongación del tiempo en el uso de los recursos no renovables como son petróleo, carbón, gas natural y uranio.
- Se mejora la utilización del parque nacional de generación, transmisión, distribución y el equipo de utilización.
- Además de reducir los riesgos en la continuidad del servicio.

Sector eléctrico

En el sector eléctrico se obtendría:

- Flexibilidad para atender la demanda.
- Una disminución en las inversiones y/o liberaría recursos hacia otras áreas prioritarias dentro o fuera del sector.
- Reducción en los costos de producción y suministro.
- Evita insuficiencia en el suministro de energía eléctrica.



Ahorro potencial de Energía

<i>Campo de ahorro</i>	<i>% de ahorro individual</i>	<i>% de ahorro neto acumulable</i>
Actitudes y costumbres	20	20
Mantenimiento	15	32
Operación	10	39
Tecnología	15	48
Arquitectura	10	53
Total	70	53

Figura 1. Ahorro logrados por estrategias y acumulados.

Usuarios

Con el ahorro de energía eléctrica en los equipos de los usuarios se tendrían los beneficios que se indican:

- Reducción en el costo de operación de su equipo eléctrico.
- Mayor durabilidad
- Operación silenciosa de algunos de sus equipos.
- Mayor versatilidad de sus motores eléctricos.

Los beneficios anteriores ofrecen al usuario productos más confiables y muestran una mayor retribución de la inversión.

Otros

- Concientización nacional a nivel de dependencias, empresas, microindustrias productivas, asociaciones, instituciones, escuelas, etc.
- Mejoras en mantenimiento, seguridad, confort y mejores áreas de trabajo, tecnología.

8. REFERENCIA

1. SEMIP, Balance Nacional de Energía 1993, México, D.F., 1994.
2. Castro, F., Jorge, Evaluación de la Problemática y Estrategias para el Ahorro de Energía Eléctrica en Edificios, Tesis, ESIME-IPN (En proceso), 1995.
3. Morillón, David y Castro, Jorge, Apuntes de la materia Sistemas Urbanos III Sistemas de energía, Fac. de Arq. UNAM, 1995
4. Piette M.A., Harris J., Diamond R., Nordman B., de Buen O., Evaluating Savings from Design Predictions Through Measured Performance in New Energy-Efficient Commercial Buildings, Memorias, 1991 Energy Program Evaluation Conference, Chicago, Illinois, Septiembre de 1991.
5. Piette M.A., Nordman B., de Buen O., Energy Performance of Heat Pumps in New Commercial Buildings in the Pacific Northwest, Borrador para el simposio: Measured Energy Performance of HVAC Components in New Commercial Buildings de ASHRAE a llevarse a cabo en enero de 1992.

ASPECTOS PRACTICOS DE LA APLICACION DE LA TECNOLOGIA PINCH PARA LA REDUCCION DEL CONSUMO DE ENERGIA Y AGUA DE ENFRIAMIENTO DE UNA PLANTA DE FERTILIZANTES

Martín Picón Núñez
Instituto de Investigaciones Científicas
Universidad de Guanajuato
Guanajuato, Gto, Mex.

RESUMEN

Los consumos de energía y de agua de reposición del sistema de enfriamiento de una planta de fertilizantes se redujeron en 18% y en 16.4 Ton/hr respectivamente, representando un ahorro substancial en los costos de operación. La aplicación del análisis Pinch al proceso reveló el potencial de ahorro de energía existente. Se identificó la necesidad de reducir la temperatura de alimentación de la materia prima y la presión de operación de dos evaporadores, para lo cual fue necesario implementar tres intercambiadores de calor adicionales.

INTRODUCCION

Existe un gran potencial para reducir el consumo de energía en la mayoría de los procesos industriales existentes. Este potencial no se limita a aquellos ahorros energéticos que pueden resultar de la toma de medidas tales como la instalación de aislante en tuberías para reducir pérdidas de calor, o la substitución de bombas ineficientes o sobre diseñadas. El problema fundamental del uso eficiente de la energía radica principalmente en el diseño mismo de los procesos.

Es posible determinar el nivel de eficiencia con el que la energía esta siendo usada en una planta de proceso, para ello, es necesario conocer cuál es la cantidad mínima de energía requerida si toda la capacidad instalada para la recuperación de calor se usara eficientemente.

La Figura No. 1 muestra lo que se conoce como las Curvas Compuestas que representan gráficamente el balance global de calor de un proceso [1]. La curva superior representa todo el calor que se debe eliminar, mientras que la curva inferior representa la demanda total de calor. El área de traslape entre las dos curvas indica la cantidad de calor que se recupera dentro del mismo proceso. Los excedentes de la derecha (curva inferior) y la izquierda (curva superior) representan los requerimientos mínimos de servicio externo de calentamiento (generalmente vapor) y de servicio externo de enfriamiento.

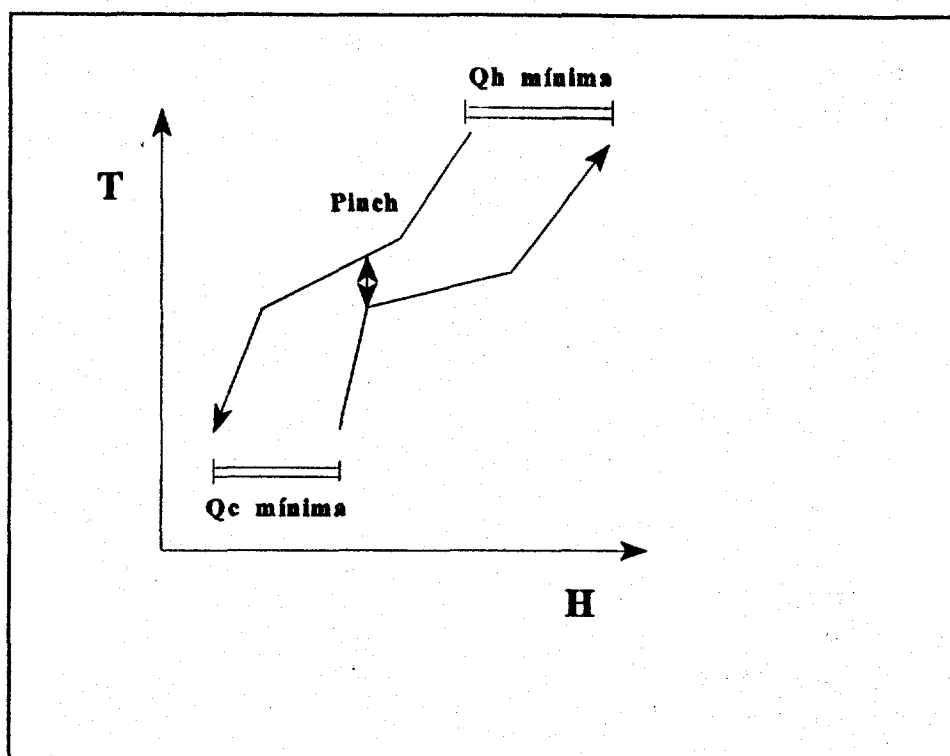


Figura No. 1 Curvas Compuestas. Muestran el balance térmico global de un proceso.

Volviendo nuevamente a la Figura No. 1, se puede observar que existe un punto en el que las dos curvas más se aproximan una a la otra. Este punto se conoce como el Pinch y representa la diferencia mínima de temperatura disponible para la recuperación de calor en el proceso. Su valor está definido por la diferencia entre la temperatura de las corrientes calientes y la temperatura de las corrientes frías en este punto. El Pinch divide al proceso en dos zonas que se encuentran en equilibrio térmico, una vez incorporados los servicios externos de calentamiento y enfriamiento, y como se puede apreciar en la Figura No. 2, el consumo mínimo de energía del proceso depende de qué tan cerca o alejadas se encuentren las Curvas Compuestas una de la otra [2].

Los principios básicos para el diseño de redes de recuperación de calor eficientes son: 1.- no transferir calor a través del Pinch, 2.- no usar servicio externo de calentamiento por debajo del Pinch y 3.- no usar servicio externo de enfriamiento por arriba del Pinch. Si alguno de estos principios no se respeta, el consumo de energía será mayor del mínimo requerido [3,4], situación que es muy común encontrar en procesos existentes que no hayan sido diseñados con conocimiento de la existencia del Pinch.

El consumo presente de energía de cualquier proceso puede reducirse independientemente del nivel de eficiencia con que se encuentre operando. Las Curvas Compuestas muestran que reduciendo la diferencia mínima de temperaturas para la recuperación de calor, la cantidad mínima de energía requerida por el proceso disminuye. El ahorro generado se obtiene a costa de inversión de capital para la recuperación de calor.

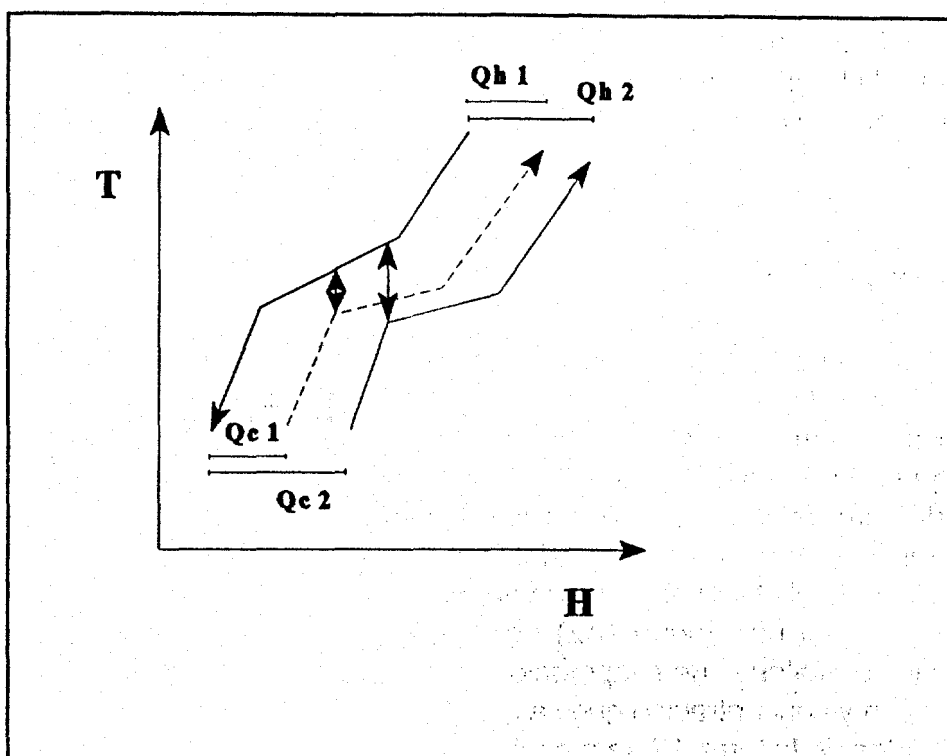


Figura No. 2 El consumo mínimo de energía del proceso depende de qué tan cerca o alejadas se encuentren las Curvas Compuestas una de otra.

Existen varios incentivos para buscar reducir el consumo de energía en un proceso existente. El primero es el beneficio económico que para una empresa representa la reducción de los costos de operación, y el segundo es el impacto positivo que se produce sobre el medio ambiente. La reducción del consumo de energía se traduce en la reducción de emisiones gaseosas a la atmósfera y en la reducción del consumo de agua de enfriamiento para la eliminación de calor. Este aspecto está teniendo cada vez más importancia debido a la gradual concientización del individuo para preservar y conservar el medio ambiente y por otro lado a las legislaciones ambientales que cada vez se hacen más estrictas.

La planta de fertilizantes estudiada en este trabajo, resultó ser un caso en que el diseño original, aunque no realizado con conocimiento de la existencia del Pinch, hacía uso muy eficiente de la energía. Sin embargo, el estudio mostró que un ahorro de energía equivalente al 6% del consumo original se podía obtener aumentando la recuperación de calor dentro del mismo proceso. Con esto, el consumo de agua de reposición para el sistema de enfriamiento se redujo en 6.3 Ton/hr. Además se identificó la oportunidad de reducir el consumo de energía en un 11% adicional con el correspondiente decrecimiento del consumo de agua de reposición de aproximadamente 10.1 Ton/hr en el sistema integrado de cogeneración para la generación de potencia para la operación de compresores dentro de la planta. Los ahorros globales en costos de operación identificados fueron del orden de 500 mil dólares anuales y la inversión necesaria se redujo al costo de capital por la instalación estratégica de tres intercambiadores de calor adicionales [5].

Con el caso de estudio que se presenta en este trabajo se pretende mostrar que el problema del uso ineficiente de la energía en la industria de proceso se debe enfrentar desde la raíz, es decir, desde el diseño mismo de los procesos, para lo cual el análisis Pinch es una herramienta muy efectiva.

DESCRIPCION DEL PROCESO

El diagrama de flujo simplificado de la planta de fertilizantes para la producción de Urea se muestra en la Figura No. 3. La materia prima, CO_2 y NH_3 entran al reactor R1 de donde productos y reactivos son enviados a una etapa de purificación en la columna T1. Los fondos de esta columna son enviados a una torre de flasheo F1, de donde el líquido del fondo pasa a un tanque de almacenamiento (A1) para posteriormente ser enviado a una etapa de concentración formada por dos evaporadores en serie D2 y D3, de los cuales se extrae la corriente de producto final. Los vapores provenientes de la etapa de flasheo (F1) se condensan y son almacenados en un tanque (A2) donde se mezclan con los vapores condensados provenientes de las dos etapas de evaporación. El contenido de este tanque es sometido a otra etapa de purificación y concentración que se realiza en la columna T2 y el evaporador D1. Los vapores provenientes de la torre T2 se mezclan con los provenientes de la T1 y se envían a la columna T3 antes de ser recirculados al reactor R1.

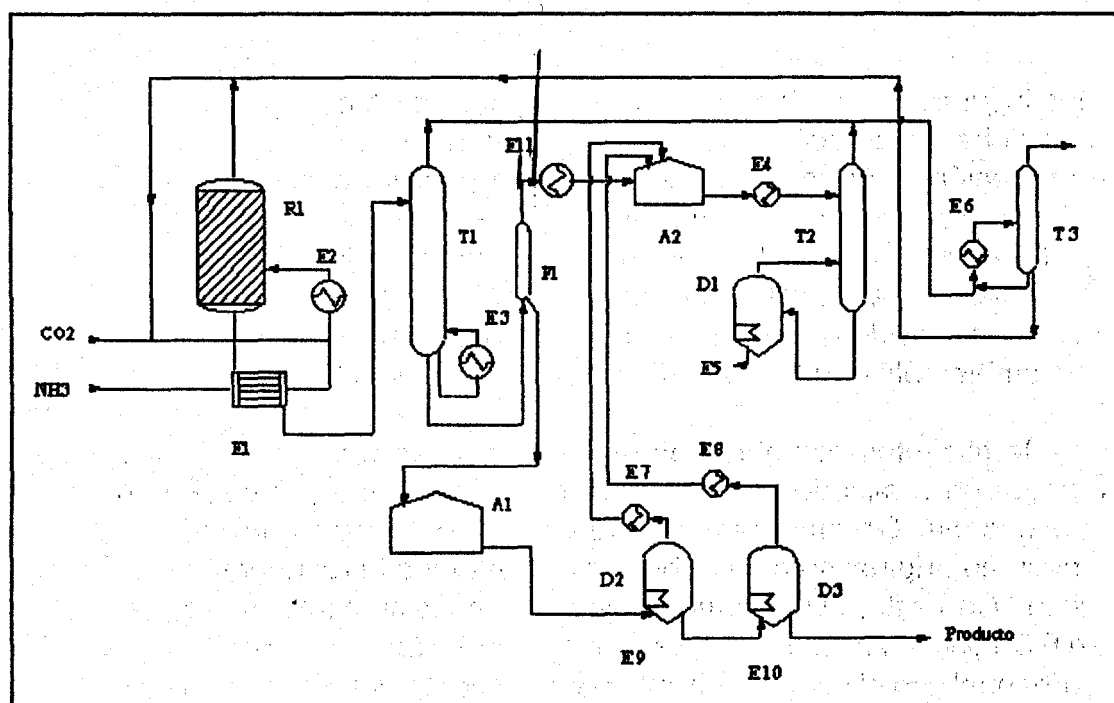


Figura No. 3 Diagrama de flujo simplificado del proceso.

El proceso consume grandes cantidades de energía debido principalmente a la compresión del CO₂ cuya presión debe incrementarse para alcanzar las condiciones de la reacción. El suministro de la potencia requerida se realiza a través de un ciclo de cogeneración, el cual se alimenta con vapor sobre calentado de alta presión. De la turbina se obtiene vapor de extracción, considerado como vapor de media, que se utiliza para satisfacer las demandas térmicas de algunos equipos como evaporadores y columnas de separación. La etapa de reacción, que es muy exotérmica, genera una gran cantidad de calor que es recuperada y reutilizada mediante la producción de vapor de bajo nivel. El calor de desecho del proceso se elimina al ambiente a través de agua de enfriamiento.

Con el fin de determinar el nivel de eficiencia en el uso de la energía y establecer el potencial existente para reducir el consumo en este rubro, la planta se sometió a un estudio energético donde se aplicaron las técnicas del análisis Pinch. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

RESULTADOS

Dadas las condiciones de operación de la planta, se encontró que la diferencia mínima de temperaturas en la red de recuperación de calor era de 12°C. Las Curvas Compuestas del proceso para este ΔT_{min} se muestran en la Figura No. 4.

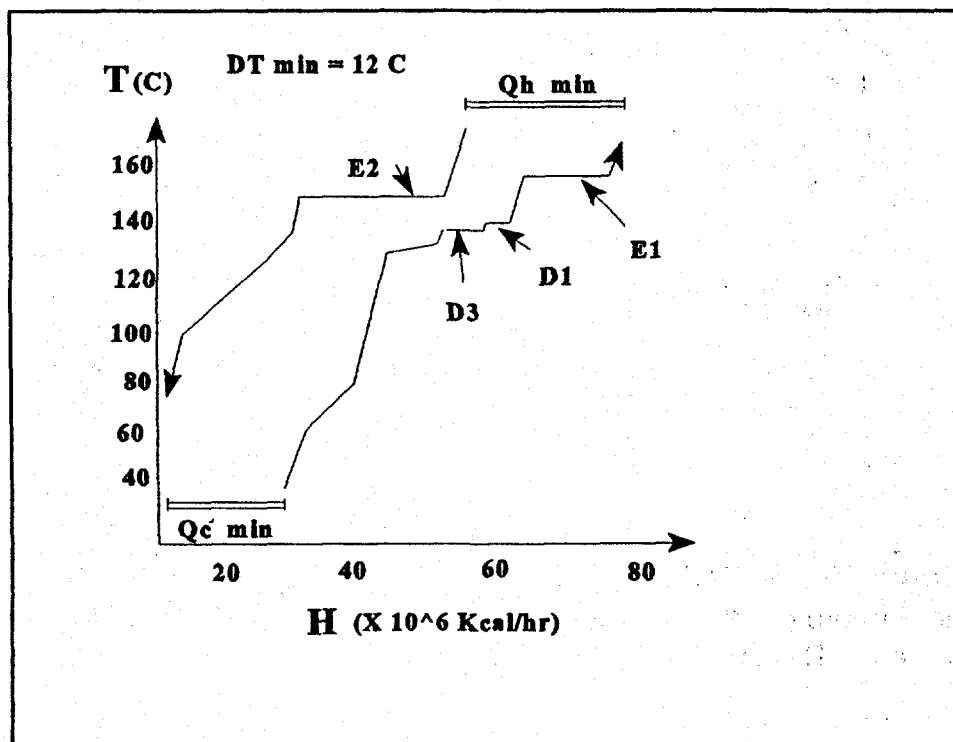


Figura No. 4 Curvas Compuestas de la planta de fertilizantes para un ΔT_{min} de 12 °C.

El análisis de la red de recuperación de calor del proceso mostró que a las condiciones de operación existentes, la energía se utilizaba en forma muy eficiente. Sin embargo, se identificó la oportunidad de reducir el consumo de energía mediante el aumento de la cantidad de calor recuperada dentro del mismo proceso. Volviendo a la Figura No. 4, se observa que aumentado el área de traslape entre las dos curvas, es posible substituir la fuente de calor de los equipos D1 y D3, que es vapor de extracción de la turbina, por vapor generado en la etapa de reacción (E2). Es importante notar que la implementación de esta modificación significó reducir la diferencia mínima de temperaturas disponible para la recuperación de calor dentro del proceso.

Se encontró que las temperaturas caliente y fría del punto Pinch eran respectivamente 147°C y 135°C ($\Delta T_{\min}=12^{\circ}\text{C}$). La temperatura de operación de la segunda etapa de evaporación D3, era de 140°C y el hervidor del evaporador D1 operaba a 141°C . Con el fin de operar estos equipos con vapor de más bajo nivel recuperado en E2, es necesario reducir la $\Delta T_{\min}$ del proceso a 6°C , como se muestra en la Figura No. 5.

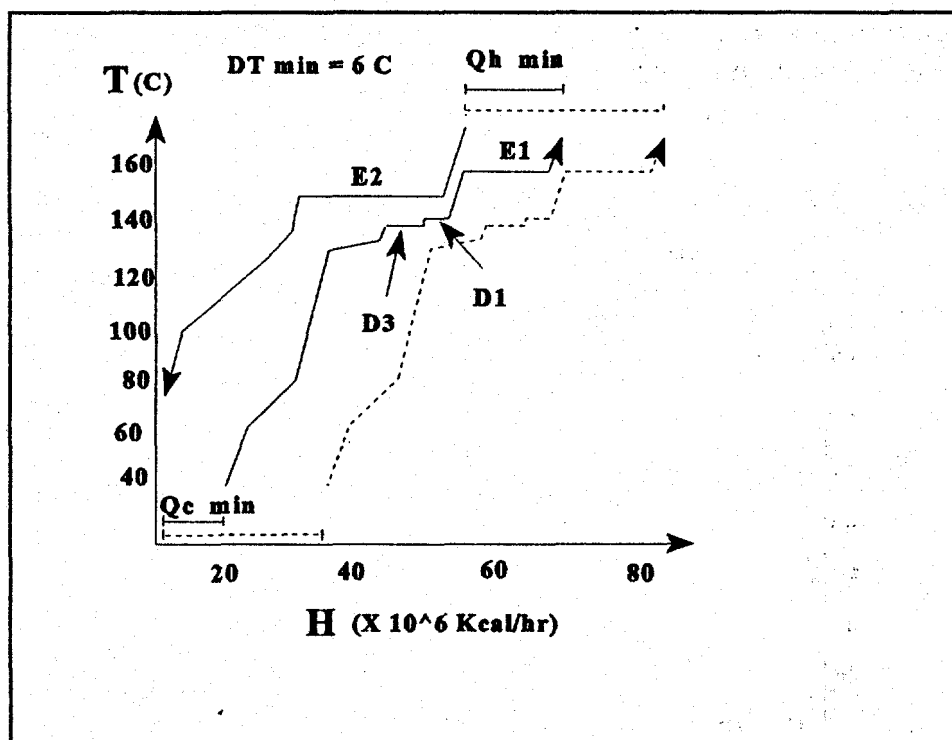


Figura No. 5 Reducción del consumo de energía mediante el incremento de la cantidad de calor recuperado dentro del mismo proceso. $DT_{\min}=6^{\circ}\text{C}$.

El siguiente paso a considerar fue la adaptación de los evaporadores a la operación con vapor de más bajo nivel. Con el fin de mantener la producción constante en estos equipos (D1 y D3)

se propuso reducir la presión de operación. Tal solución no resultaba la más adecuada para el evaporador E3, porque la condensación de los vapores debería realizarse a temperaturas inferiores a la ambiente. Por otro lado, la reducción de la presión de operación del evaporador E1 no presentaba mayor problema. La solución final fue la siguiente: El área de transferencia del hervidor E10 no se modificó, en su lugar, se instaló un nuevo precalentador a la salida de la corriente de fondos de la torre T1. Con esto se eliminaría mayor cantidad de agua de esta corriente, con la consecuente reducción de la concentración de la solución entrante a la etapa de evaporación (D2 y D3). Se propuso también instalar un condensador a la salida de F1 para eliminar el exceso de vapor generado en este equipo. Con respecto al evaporador D1, la presión de operación se redujo mediante la instalación de un condensador a la salida de la columna T2. Además, con estas modificaciones los vapores de la T1 y el condensado de la T2 se enviarían directo al E6 para evitar problemas de bombeo.

Con la implementación de las modificaciones arriba mencionadas, el ahorro de energía esperado era del 7% con respecto al consumo total del proceso. Además, la reducción del consumo de agua de reposición para el sistema de enfriamiento era de aproximadamente 6.3 Ton/hr. La Figura No. 6 muestra la implementación de las modificaciones propuestas.

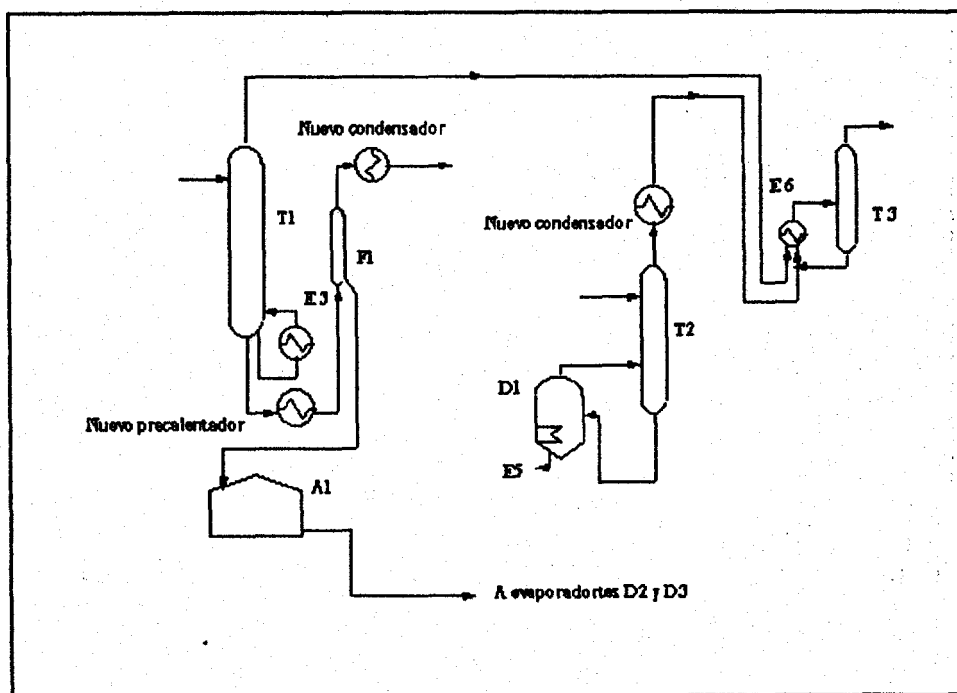


Figura No. 6 Posición de los nuevos equipos de precalentamiento y condensación.

Una vez que el estudio del sistema de recuperación de calor del proceso fue concluido, se procedió a analizar el ciclo de cogeneración. La Figura No. 7 muestra un diagrama temperatura vs entalpía que representa los requerimientos térmicos del proceso y los correspondientes niveles de temperatura a los que pueden suministrarse [3]. De acuerdo con los consumos de vapor promedio para un día típico, se encontró que la potencia generada por la turbina era de 5.9 MW. En condiciones óptimas de operación, el consumo promedio esperado era de 5 MW. Es decir, a las condiciones presentes de operación, el proceso consumía un exceso de 0.9 MW de potencia. Este descubrimiento sólo se pudo realizar mediante la aplicación de los conceptos del análisis Pinch para la integración correcta de ciclos de calor y potencia. La causa del problema radicaba en que durante operación normal, se perdió de vista la importancia del control de la temperatura de entrada del CO₂ al compresor, la cual se encontraba de 15 a 20°C por encima del valor óptimo. La corrección de este error de operación representó un ahorro de energía equivalente al 11% y un ahorro de agua de reposición de aproximadamente 10.1 Ton/hr.

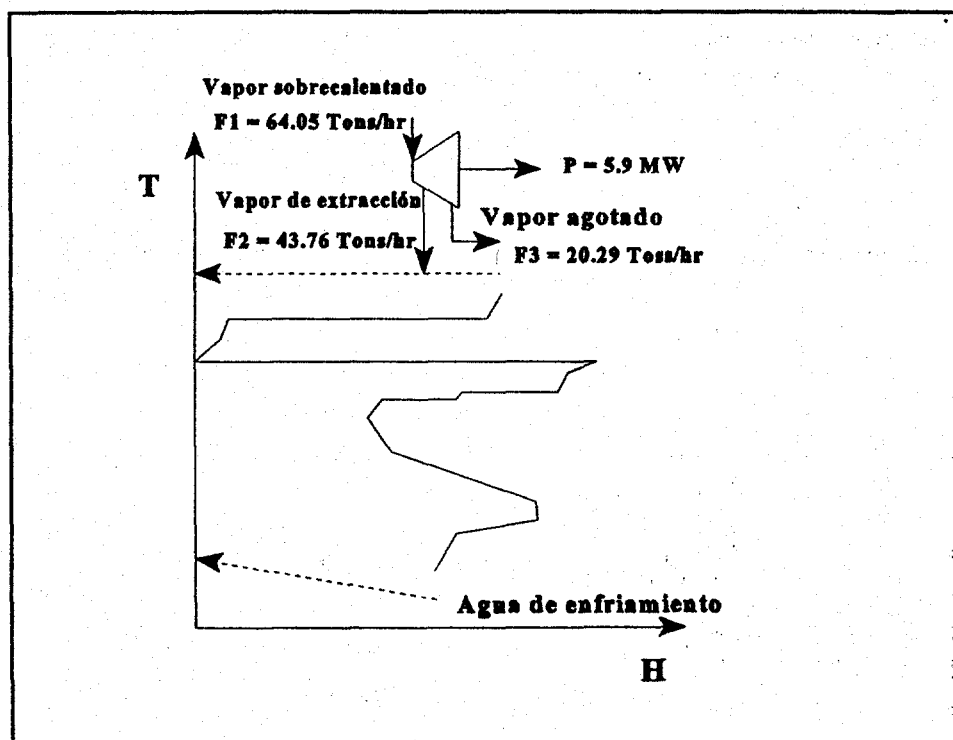


Figura No. 7 Integración del ciclo de calor y potencia (cogeneración). $DT_{min} = 6^{\circ}\text{C}$.

En forma global, el proyecto resultó en un ahorro de energía del 18% y en la reducción del consumo de agua de reposición en 16.4 Ton/hr. El ahorro en costos de operación generado fue de aproximadamente 500 mil dólares anuales.

CONCLUSIONES

El análisis Pinch de la planta de fertilizantes estudiada mostró que el proceso operaba con gran eficiencia con respecto al uso de la energía. Sin embargo, fue posible reducir el consumo de energía aumentando la recuperación de calor generado dentro del mismo proceso. Se determinó implementar ciertas modificaciones tanto en las condiciones de operación (temperatura y presión de operación) como en la red de intercambio de calor existente. La implementación de estas modificaciones resultó en ahorros substanciales de energía y agua de reposición para el sistema de enfriamiento.

REFERENCIAS

1. Linnhoff, B. and Vredevelt, D.R., "Pinch Technology has come of age", Chemical Engineering Progress, pp. 33-40, July 1984.
2. Linnhoff, B. and Polley, G.T., "Stepping Beyond the Pinch", The Chemical Engineer, February, pp.25-32, 1988.
3. Linnhoff, B. et al., User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, IChemE, Rugby, U.K., 1982.
4. Linnhoff, B. and Hindmarsh, E., "The Pinch Design Method for Heat Exchanger Networks", Chem Eng Sc, Vol. 38, No. 5, pp. 745-763, 1983.
5. Picón Núñez, M., Reporte final del estudio para el ahorro de energía en la planta de Urea Unidad Bajío, Julio de 1991.

AHORRO DE ENERGIA Y CONTRIBUCION AL DESARROLLO SUSTENTABLE A PARTIR DE ACCIONES DE DISEÑO BIOCLIMATICO

Dr. José Roberto García-Chávez •
Dr. Rubén Dorantes Rodríguez ••

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO

- Profesor-Investigador de la División de Ciencias y Artes para el Diseño.
Departamento de Medio Ambiente para el Diseño.
Laboratorio de Diseño Bioclimático, Edificio P-1, Planta Alta.

- Profesor-Investigador de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería.
Departamento de Energía. Área de Termofluidos.

Av. San Pablo 180, Col. Reynosa, Azcapotzalco

México, D.F. C.P. 02200, MEXICO

Tels. 724-4387/724-4389/723-5939

Fax. 394-8396

e-mail: jgc@hp9000a1.uam.mx

e-mail: rdr@hp9000a1.uam.mx

RESUMEN

La crisis mundial de energía de 1973, además de los problemas de abastecimiento y elevación de precios, propició también en diversos países, una reacción orientada al uso eficiente y conservación de la energía, y a la aplicación de una arquitectura con sentido común: la ARQUITECTURA BIOCLIMATICA, misma que se basa en la utilización en las edificaciones de las energías alternativas, tales como la solar, eólica, etc. Obtención de condiciones de confort natural ambiental y ahorro y uso eficiente de la energía en los edificios, son los objetivos fundamentales de la ARQUITECTURA BIOCLIMATICA. Bajo estas consideraciones, se han planteado diversos sistemas pasivos para control térmico de edificios, los cuales se han aplicado en diferentes regiones climáticas del planeta. En el presente trabajo, se presenta y analiza el potencial de medidas para ahorro de energía, tales como sistemas de iluminación artificial de alta eficiencia y sistemas pasivos de enfriamiento para el control térmico de un edificio educativo, la biblioteca central de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco, ubicada en la Ciudad de México. El objetivo de éste estudio se orienta a la reducción del consumo de energía en la biblioteca, y a la obtención de condiciones de confort ambiental higrotérmico para sus ocupantes. Estudios realizados durante la primera etapa de investigación, han permitido identificar un excesivo consumo de energía y condiciones de falta de confort higrotérmico y de la necesaria calidad del aire interior en la biblioteca. Estas acciones se han enfocado en dos aspectos. El primero se refiere al mejoramiento de la operación de la instalación eléctrica y el alumbrado de la biblioteca. Estas acciones se basaron en la sustitución de lámparas, balanceo de cargas en los circuitos secundarios, verificación y mejoramiento del nivel de aislamiento eléctrico, incremento de la selectividad de encendido de instalación de apagadores en las zonas cercanas a las ventanas y áreas con mayor iluminación natural. El segundo aspecto se refiere al cálculo, diseño, construcción y monitoreo del funcionamiento de sistemas pasivos de enfriamiento. Los resultados obtenidos hasta ahora indican que se ha reducido el consumo de energía y mejorado las condiciones de confort ambiental de los usuarios del edificio de la biblioteca.

INTRODUCCION Y OBJETIVOS

Desde el punto de vista **bioclimático**, la "respuesta" de un edificio a las condiciones climáticas de un lugar está determinado por las características de la tipología y criterios de diseño del proyecto arquitectónico, y de los materiales constructivos utilizados. Las condiciones ambientales internas son el resultado de la interacción de varios factores climáticos con el edificio mismo, tales como la intensidad de la radiación solar absorbida por la *envolvente* de la construcción (aberturas, cubiertas y muros) que penetra al interior del espacio edificatorio; a las temperaturas de las superficies y del aire externo; al movimiento de aire y al contenido de humedad del aire. Las ganancias internas, debidas a los usuarios y a los equipos y sistemas generadores de calor, complementan las variables que establecen las condiciones ambientales globales del interior de un edificio y, así mismo, determinan la percepción psico-fisiológica de los usuarios del edificio.

SITUACION ACTUAL. USO DE LA ENERGIA EN LAS EDIFICACIONES EN MEXICO

La mayoría de los edificios modernos incorporan materiales y estilos arquitectónicos que *ignoran* las condiciones climáticas locales. Este es el caso predominante de muchos edificios contemporáneos, sobre todo de tipo comercial (todos aquellos que no son de tipo doméstico o habitacional), localizados en regiones templadas o extremas de México. Como resultado de esta situación, estos edificios son altamente dependientes de sistemas mecánicos y eléctricos para controlar las condiciones ambientales internas. A su vez, esto provoca el consumo de enormes cantidades de energía, en forma de combustibles fósiles, y en consecuencia, altos costos por la operación y mantenimiento de los equipos de aire acondicionado e iluminación eléctrica, muchas veces asociados con problemas de falta de un óptimo grado de confort térmico-visual y con síntomas del llamado "síndrome del edificio enfermo", cuya problemática ha sido reportada en diversos estudios (Whorton, 1987).

DISEÑO BIOCLIMATICO. PRINCIPIOS DE APLICACION Y OBJETIVOS BASICOS

El efecto combinado de temperaturas (las del aire y las radiantes); del movimiento de aire; del contenido de humedad y de la calidad del aire dentro de un espacio, deben enfocarse a lograr condiciones ambientales adecuadas y favorables para los usuarios. Las funciones psico-fisiológicas, al igual que la eficiencia y productividad de los ocupantes, está directamente relacionada a las condiciones de confort disponibles en un edificio. Las condiciones de confort deseables dentro de los espacios arquitectónicos pueden conseguirse mediante la aplicación del **diseño bioclimático**, es decir de un diseño con *sentido común*, que *responda* favorablemente a las demandas de los factores del entorno exterior circundante. El **diseño bioclimático** implica la utilización del edificio mismo para *seleccionar dinámica y versátilmente* aquellos componentes del medio ambiente exterior que contribuyan a proporcionar confort ambiental integral a los ocupantes en el interior de los edificios.

El **diseño bioclimático**, mediante la aplicación de técnicas de **sistemas de enfriamiento pasivos**, ofrece una alternativa promisoría para mejorar las condiciones de confort ambiental, sobre todo en edificios comerciales con una considerable carga térmica, debida predominantemente a ganancias internas. Así mismo, con la aplicación de este tipo de *sistemas pasivos*, puede reducirse significativamente el consumo de energía debido al uso de sistemas electromecánicos para climatización artificial de los espacios arquitectónicos de un edificio. Con la aplicación correcta de los *sistemas pasivos de enfriamiento*, los mayores beneficios se pueden apreciar en edificios comerciales caracterizados por grandes ganancias de calor, tanto externas como internas; altos costos de operación de equipos de climatización e iluminación artificial (aire acondicionado y alumbrado), y problemas de confort térmico y lumínico. Por lo tanto, el objetivo fundamental del **diseño bioclimático** es lograr las condiciones máximas de confort ambiental y calidad del aire interior posibles, con el mínimo consumo y costo energéticos, al mismo tiempo que se contribuye a la preservación y mejoramiento del medio ambiente exterior. Adicionalmente, la implementación en México de estas tecnologías, coadyuvaría a incrementar la competitividad y la productividad, que a su vez estarían orientadas hacia un verdadero **DESARROLLO SUSTENTABLE**.

ESTRATEGIAS DE ENFRIAMIENTO PASIVO

Las estrategias de **diseño bioclimático** para climatización natural se han identificado como pasivas, de calefacción y enfriamiento. Las estrategias pasivas de calefacción se aplican en condiciones de bajas temperaturas, es decir, cuando se presentan los periodos denominados de *bajocalentamiento*. Estas estrategias se basan en la *promoción de ganancias de calor, tanto exteriores como interiores y la previsión de pérdidas del calor ganado en el interior del edificio*. Las estrategias pasivas de enfriamiento se basan en la *prevención del sobrecalentamiento y la provisión de enfriamiento* y se aplican en los periodos de *sobrecalentamiento*. Esto implica la *prevención de las ganancias de calor, principalmente provenientes del exterior, aunque también se consideran las internas; así como la promoción de pérdidas del calor indeseable del interior de los edificios*.

ESTUDIO DE CASO: EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA DE LA UAM-A. ANTECEDENTES Y DIAGNOSTICO

La Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Acapozalco fue creada en 1974, localizada al norte de la ciudad de México, cuenta con una población estudiantil de 16,000 alumnos y una población docente y administrativa de 2,500 empleados. Su planta física ha llegado casi al límite de su crecimiento y se incrementará muy poco en los próximos años. Uno de los edificios de mayor importancia, por lo que respecta al servicio que presta, es el de la biblioteca, cuyo acervo es de tipo abierto, con una ocupación máxima de 1500 usuarios sentados, una capacidad total de 300,00 volúmenes y un área total de 7560 m². El concepto arquitectónico de éste edificio se estableció en base a un juego de cinco elementos volumétricos desfasado y al uso de medios niveles, contando con un espacio libre de comunicación vertical entre los tres niveles principales del edificio (Fig. 1).

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo de éste trabajo en su primera etapa fue realizar un análisis y diagnóstico del consumo de energía eléctrica y del comportamiento termolumínico del edificio, en relación con el confort ambiental de los usuarios y establecer propuestas de solución a la problemática existente. A partir de la información obtenida en la etapa inicial, el objetivo de la siguiente etapa consistió en la construcción de las propuestas de diseño presentadas. Durante la tercera etapa, el objetivo se ha enfocado a evaluar las medidas correctivas implementadas en el edificio. El objetivo final se orientará a un proceso de retroalimentación de la investigación realizada, y, finalmente, a la difusión de los conocimientos y experiencias obtenidos, para su potencial aplicación en otros proyectos similares.

DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ANTERIORES DE LA INSTALACION ELECTRICA DE LA BIBLIOTECA

El consumo anual promedio de electricidad en la biblioteca, antes de implementar las medidas correctivas, era de 3.3 GWhora, lo cual dió un consumo promedio mensual de 275,000 kWh. Los rubros más consumidores de energía fueron: iluminación (76.2%), aire acondicionado y refrigeración (6.8%), y calentadores y enfriadores para agua (6.4%). De todos los edificios de la unidad, la biblioteca consume 12% del total de iluminación. Por lo que respecta a la subestación de la biblioteca, ésta es alimentada a partir de un anillo trifásico de distribución primaria de 6 kV. Tiene un transformador de 300 kVA, que transforma el voltaje a 220 Volts entre fases, y 127, entre fase y neutro. Para determinar el estado de la instalación eléctrica, se hizo una inspección del tablero general y de dos tableros secundarios más importantes, para verificar el nivel de aislamiento entre fases y tierra, y entre neutro y tierra. Las mediciones hechas mostraron continuidad entre neutro y tierra, ya que los neutros de los tableros derivados están conectados a tierra. El resultado es que la sumatoria de la corriente instantánea que circula por los tubos metálicos, no solo no es cero, sino que tiene valores elevados, del orden de 20 a 25 amperes, y esto causa

pérdidas de energía en los tubos metálicos. Utilizando un analizador de redes, con capacidad para registrar y almacenar datos en una memoria digital, se examinó el comportamiento de la curva de carga en los diferentes tableros de la biblioteca. Analizando ésta información, se pudo apreciar que la curva de carga permanecía casi constante a lo largo del día, y que existía un desbalance importante entre las fases 2 y 3. Este desbalance se volvió a encontrar en las curvas de carga de los tableros secundarios. La eficiencia eléctrica del alumbrado fue de 65%, incluyendo lámparas, conductores y balastos. En consideración a lo antes expuesto, el diagnóstico de la instalación eléctrica de la biblioteca indicó un importante potencial de ahorro de energía al balancear las cargas, evitando pérdidas por las tuberías metálicas e incrementando la eficiencia del alumbrado.

DIAGNOSTICO DEL CONFORT LUMINICO DE LA BIBLIOTECA

El diagnóstico del confort lumínico se basó en el registro de niveles de iluminancia, provenientes de las fuentes natural y artificial. Se tomaron 334 lecturas en los tres niveles de la biblioteca. Los resultados de las lecturas de la aportación de la luz natural, indicaron que los niveles de iluminancia en el primer y segundo piso están por debajo de lo que marcan los requerimientos mínimos (300 lux). En el tercer nivel, el promedio de iluminancia fue de 600 lux. Los niveles de iluminancia del sistema de alumbrado fueron inferiores a 300 lux, lo cual fue considerado como insuficiente e inadecuado para la realización de las diversas tareas visuales en el interior de la biblioteca. El mantenimiento deficiente de los luminarios, la inadecuada ubicación de éstos (p. ej. alturas inapropiadas), la escasa iluminancia a nivel "estación de trabajo", y la inadecuada distribución del mobiliario, fueron las principales causas de los bajos niveles de iluminancia registrados.

DIAGNOSTICO DEL CONFORT TERMICO DE LA BIBLIOTECA

El diagnóstico del comportamiento térmico de la biblioteca esta directamente relacionado con su tipología, la cual indica lo siguiente: las cubiertas se solucionaron en base a un escalonamiento y variación de alturas, cuyo objetivo fué la provisión de ventilación e iluminación, aún cuando ésto no se logró por diversas razones, como se explicará más adelante en este estudio. Las fachadas Sur y Norte tienen las siguientes superficies acristaladas: Sur: 284 m², Norte: 446m². La fachada principal al Sur (Area= 155 m²), que está acristalada en la mayoría de su superficie, al igual que la principal al Norte (Area= 339m²), cuenta con un solo volado para dos niveles: la zona de copiado y audiovisuales (N + 0.25), y la sección de acervo audiovisual y zona de exposiciones (N + 4.15). Las fachadas Este y Oeste, con excepción de una pequeña zona de ventana en la Este, de 16.8 m², son cerradas u opacas, es decir, no tienen ventanales.

Las aberturas de ventilación se tienen prácticamente solo en la entrada principal, con un área de 4.5 m², pero con carácter *intermitente*, ya que al ser al mismo tiempo, por ser ésta el acceso principal de los usuarios, se bloquea constantemente. Existen otras "aberturas", localizadas en la parte inferior de los ventanales bajo las cubiertas, entre las variantes de alturas de los elementos volumétricos, con dimensiones de 15 cms de altura y una longitud aproximada de 36 mts. Estas "aberturas" en las azoteas, tienen una placa de aluminio integrada a la cancelería, en forma de volado y su mecanismo de operación casi siempre se encuentra bloqueado, impidiendo que cumpla con su función de propiciar ventilación. Existe además un volado de 90 cm en los mismos elementos volumétricos, quedando remetidos, tanto los ventanales, como las aberturas inferiores, antes mencionadas. La ventilación mecánica planteada para el edificio, es un sistema de aire lavado, el cual, durante la mayor parte del tiempo, no funciona.

METODOLOGIA PARA ESTABLECER UN DIAGNOSTICO DEL FUNCIONAMIENTO TERMICO AMBIENTAL DEL EDIFICIO DE LA BIBLIOTECA

Para establecer un diagnóstico del comportamiento del edificio de la biblioteca, antes de la implementación de las medidas correctivas, se desarrolló una metodología, que consistió de las siguientes etapas:

- Monitoreo de temperaturas exteriores e interiores, y registro fotográfico.
- Entrevistas con usuarios y realización de encuestas.
- Simulación tridimensional diurna/estacional de asoleamiento y proyección de sombras en modelo físico de la biblioteca.
- Análisis e Interpretación de resultados del monitoreo de temperaturas.
- Análisis y Correlación de resultados de entrevistas con resultados del monitoreo de temperaturas.
- Diagnóstico Global y Propuestas.

MONITOREO DE TEMPERATURAS

En ésta etapa, se realizaron mediciones de temperaturas de bulbo seco (TBS) en el ambiente, en áreas estratégicas del edificio. Estas áreas fueron seleccionadas por cada nivel, de acuerdo a dos variables: *ocupación espacial* y *ubicación* dentro del edificio. Se buscó lograr un registro colineal vertical, para observar el comportamiento de estratificación térmica a diferentes alturas del edificio. Se escogieron puntos de medición en los extremos Sur y Norte, así como en la zona central. Los primeros registros se realizaron durante un período de dos semanas, a partir de los cuales se seleccionaron días representativos, con condiciones de temperatura promedio, es decir con un aire no muy caliente ni muy frío; en horarios de trabajo normales, con ocupación también promedio. Para obtener información complementaria de las condiciones térmicas del edificio sin usuarios, se realizó durante el mismo período de monitoreo de dos semanas, otra serie de mediciones durante los fines de semana. Cabe señalar que las condiciones climáticas exteriores durante el período de monitoreo no presentaron una variación significativa entre sí.

RESULTADOS, ANALISIS E INTERPRETACION

Los resultados de las mediciones de temperaturas revelan que, con excepción de la zona Norte en el primer nivel (N-1.70; con una TBS promedio= 23°C), todos los valores de temperaturas registrados, exceden el límite superior de confort (Fig. 3), mismo que se estableció en 23°C, de acuerdo a investigaciones realizadas por Auliciems (1982), Humphreys (1978), y adecuadas por Szokolay (1984) para estudios bioclimáticos. La zona Sur, presentó las temperaturas más elevadas (30°C). Lo anterior se debe a la alta insolación directa que penetra a través de la ventana de la fachada principal (Fig. 1). Al calor de ésta zona, se le agrega el disipado por las lámparas, computadoras, impresoras, máquinas copiadoras y proyectores, que ahí se encuentran. De ésta manera, el calor generado, a temperaturas inaceptables para tener condiciones de confort, fluye por la configuración y distribución mismas de los espacios del edificio, hacia la parte central, Norte y niveles superiores. Esta situación de tránsito térmico natural provoca un incremento de temperatura en las otras zonas de la biblioteca, hasta alcanzar valores que afectan las actividades y eficiencia en el estudio de los usuarios. Esta calor se dirige a las únicas salidas posibles en el edificio, las pequeñas aberturas en la parte superior de las cubiertas de los volúmenes, no sin antes pasar prácticamente a través de casi todos los espacios interiores que lo componen, antes de encontrar dichas salidas. Además, debido a las características de diseño del sistema constructivo de la estructura en el ventanal y la abertura, para poder salir, el flujo de aire sufre varias desviaciones, es decir tiene que cambiar de dirección en varias ocasiones y en ángulos opuestos (p.ej. de 60° a 150°, a 60°, y finalmente a 120°), disminuyendo su velocidad y reduciendo significativamente su flujo, e impidiendo la posible labor de las aberturas para coadyuvar a la

evacuación del aire caliente viciado, y ventilación de la biblioteca. Esta situación provoca que se presenten temperaturas arriba del límite superior del rango de confort establecido.

Por lo que respecta al calor generado por los usuarios (100 Watts o 100 Joules/segundo), es interesante notar, que la temperatura registrada en el centro del nivel inferior (N-1.70; 24°C), durante la mañana y tarde en la zona de la hemeroteca, fué superior a la de los pisos inmediatos superiores, lo cual pareciera no corresponder con el principio natural de estratificación térmica en sentido vertical. La razón de ésta aparente irregularidad fue ocasionada por la presencia durante dicho período de una cantidad de usuarios mayor a las otras dos zonas superiores, y por tener un volumen constructivo menor (54 personas, en un volumen aproximado de 300 m³), disipando, por lo tanto, más calor. Con el resultado del registro de temperaturas sin usuarios realizado durante dos fines de semana consecutivos, se comprobó lo anterior al presentarse el gradiente térmico normal fluctuando, durante el mismo período, de 21°C en la zona inferior a 23 °C en la parte superior. Por lo tanto, los registros de temperaturas sin ocupantes, revelan que, si la carga térmica producida por los usuarios, el alumbrado y el equipo electromecánico es disipada al exterior es posible lograr temperaturas en el interior inferiores a 23°C, y por lo tanto obtener condiciones confortables. Sin embargo, en la zona Sur, las máximas temperaturas registradas: 27.5°C en el nivel + 0.25 (fotocopiado y audiovisuales), y 25°C en el nivel + 4.15 (acervo audiovisual), denotan la necesidad de lograr una mayor protección solar y de disminuir al máximo posible la disipación del calor generado por el equipo de copiado hacia el interior del edificio. Así mismo, claramente se observa que, a pesar de estar en un nivel inferior la temperatura del nivel + 0.25, es mayor a la del nivel + 4.15, esto se debe a que en éste último nivel, la protección que ofrece el volado es más efectiva que la que puede ofrecer al nivel inferior reflejándose así, en una mayor penetración solar en la zona de fotocopiado, que además, por tener un piso cerámico, que se caracteriza por su alta absorción y conducción de calor (un típico "sistema pasivo de ganancia solar directa"), induce mayor calor al interior, como ya ha sido establecido, lo cual en la mayoría de las ocasiones resulta inadecuado y en detrimento del confort de los ocupantes.

SINTESIS DE ACCIONES REALIZADAS EN LA BIBLIOTECA Y EVALUACION

Como parte de un programa integral para el mejoramiento de las instalaciones de la UAM Azcapotzalco, se implementó un programa denominado Proyecto Demostrativo de Ahorro de Energía Eléctrica. A través de éste Proyecto, como ya se ha establecido, se realizaron diversas acciones orientadas a corregir los problemas de falta de confort térmico y lumínico, y de consumo excesivo de energía en la biblioteca, identificados en las primeras etapas de este estudio. A partir de Agosto de 1994, se iniciaron diversos trabajos para lograr un mejoramiento de las condiciones de confort ambiental y reducir el consumo de energía. Las acciones que se llevaron a cabo para alcanzar éste objetivo son las siguientes:

- a) Sustitución del sistema de alumbrado por uno más eficiente, en base a la utilización de lámparas de alta intensidad de descarga, de aditivos metálicos.
- b) Optimización de la operación de la instalación eléctrica y de alumbrado, con balanceo de cargas en los circuitos secundarios, verificación y en su caso mejoramiento de los niveles de aislamiento eléctrico, incremento de la selectividad de encendido de instalaciones de apagadores en las zonas cercanas a las ventanas, y áreas con mayor captación de iluminación natural.
- c) Construcción de un sistema termoconvectivo en uno de los ductos existentes del edificio. A éste sistema pasivo de enfriamiento se le integró un colector solar de aire en la parte superior del ducto y una turbina eólica o ventilador por gravedad. Como parte de la estrategia integral para mejoramiento de las condiciones ambientales, se sustituyeron los cristales de la fachada Sur, por otros con propiedades termolumínicas más adecuadas a las condiciones ambientales existentes en la biblioteca, y de acuerdo a las propiedades y factores propuestos en éste trabajo.

RESULTADOS DEL PROGRAMA DE AHORRO DE ENERGIA EN LA BIBLIOTECA

Con motivo de la realización del Proyecto Demostrativo de Ahorro de Energía Eléctrica en la biblioteca de la UAM-Azcapotzalco, se ha implementado un programa de medición de diversos parámetros para evaluar las acciones correctivas aplicadas en la biblioteca. Este programa ha consistido básicamente en :

- Medición mensual del consumo de energía eléctrica de la biblioteca (tomada en la subestación eléctrica de la misma).
- Determinación de la curva de carga de la biblioteca por periodos de 24 horas.
- Medición de los niveles de iluminación obtenidos, luego de la implementación de las medidas correctivas
- Monitoreo continuo de los valores de temperaturas de bulbo seco y humedad relativa en los diferentes niveles de la biblioteca
- Encuestas entre el público usuario para conocer el impacto de las medidas correctivas en el confort ambiental de la biblioteca.

Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

1. La energía consumida en la biblioteca de la UAM-A, registrada durante el período de septiembre a octubre de 1994, ha disminuido entre un 43 y un 57%, con respecto a los consumos registrados antes de implementar las acciones correctivas (se tomaron datos para análisis comparativo, del mes de febrero de 1993), lo que se demuestra en la curva de carga obtenida con un analizador de redes instalado en la subestación eléctrica de la biblioteca (Fig. 2). Este comportamiento se ha mantenido constante hasta julio de 1995, fecha en la cual se tomaron las últimas lecturas. El ahorro de potencia y energía eléctrica obtenidas ha sido en promedio de 38 KW y 690 KWh al día, respectivamente, lo que representa un ahorro mensual de alrededor de 17, 250 KWh mensuales. Económicamente hablando, esto ha significado un ahorro mensual, solo por concepto de luz eléctrica, de alrededor de N\$ 3,400.

2. Los niveles de iluminación medidos en los niveles intermedios de la biblioteca disminuyeron entre un 15 y un 25%, a consecuencia de la eliminación de dos tubos fluorescentes de 32W y de la instalación de reflectores con acabado especular. Sin embargo, los niveles de iluminación se sitúan, entre 260 y 380 lux, lo que se considera adecuado para las tareas visuales propias de los usuarios de la biblioteca. En el piso superior los niveles de iluminación se incrementaron notablemente, pasando de niveles comprendidos entre 75 y 350 lux en la noche, a niveles entre 250 y 450 lux, al reemplazar las luminarias fluorescentes por luminarios de aditivos metálicos, tipo HQL. Durante el día esta zona funciona casi en su totalidad con luz natural diurna. Se considera que la disminución de los niveles de iluminancia en los pisos intermedios no afecta la realización de las tareas visuales de los usuarios, ya que en promedio, éstos niveles se han manteniendo por arriba de los recomendados. Por otra parte, con ésta medida se ha logrado importantes beneficios de tipo energético, económico, e incluso ambiental.

3. Los registros continuos de temperaturas de bulbo seco, realizados en los tres niveles de la biblioteca indican una media comprendida entre 22 y 24°C, durante los meses de febrero a junio de 1995. Los registros indican también que la humedad relativa se mantuvo entre 50 y 70%. En la siguiente etapa de este proyecto, se llevaran a cabo acciones para reducir la humedad relativa del aire ambiente, a un máximo del 60%, tal y como lo establecen las normas internacionales para el tipo de edificio en estudio. Con esta medida, también se incrementará la renovación de aire, que aún resulta insuficiente en la biblioteca. En conclusión, los resultados obtenidos en esta etapa indican que las temperaturas se han reducido significativamente, hasta alcanzar prácticamente niveles de confort. En las etapas siguientes, se continuará con el monitoreo de las condiciones ambientales, tanto en el interior como en el exterior de la biblioteca. Se tiene planeado realizar también un monitoreo de otros parámetros ambientales por un período de un año. Así mismo, se realizará una serie de encuestas con los usuarios para establecer la correlación entre la información que arrojen éstas y los resultados obtenidos en el monitoreo, y para hacer, además, un análisis comparativo de las condiciones presentes, con las existentes antes de implementar las acciones de mejoramiento.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta ahora en esta investigación son altamente promisorios, ya que en poco tiempo ha sido factible comprobar los beneficios de la implementación de los sistemas de uso eficiente de la energía, tanto a nivel de iluminación, como de control higrotérmico, como es el caso del **diseño bioclimático** en lo general, y de los sistemas pasivos de enfriamiento en lo particular. Ciertamente, las medidas correctivas implementadas en éste proyecto se han orientado, no solo al ahorro y uso eficiente de la energía, sino también al mejoramiento de las condiciones de confort de los usuarios, mismos que se relacionan directamente con la eficiencia y productividad. En conclusión a lo expuesto en este estudio, se considera que el Proyecto Demostrativo de Ahorro de Energía de la UAM, constituye el punto de partida para otros proyectos similares, tanto de la misma institución, como del exterior, los cuales pueden servir de ejemplo o paradigma, orientados a promover un efecto multiplicador favorable a nivel nacional. La oportunidad de realizar éstas acciones en nuestra comunidad debe ser aprovechada para extender nuestro horizonte energético, y para mejorar el medio ambiente, y la calidad de vida del hombre actual y del que surgirá de las nuevas generaciones.

REFERENCIAS

1. Auliciems, A. 1982. *Psycho-physiological Criteria for Global Thermal Zones of Building Design*. Int. J. of Biometeorology, supplement to vol. 26. Proc. Int. Biomet. Congress. p. 69.
2. Bratu, N., Campero, E., Figueroa, A., Fuentes, V., García, J.R., Zekkour, A. *Diagnóstico de Ahorro de Energía de la Biblioteca de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco*. Reporte para FIDE, Marzo, 1993. México, D.F.
2. Humphreys, M. 1978. *Outdoor Temperatures and Comfort Indoors*. Bldg. Research and Practice Journal. 6 (2):92-105. UK.
3. Szokolay, S. 1984. *Passive and Low Energy Design for Thermal and Visual Comfort*. PLEA 84. Conference Proceedings. México, D.F. pp. 11-28.
4. Whorton, M. et al. 1987. *Investigation and Work up of Tight Building Syndrome*. Journal Occ. Medicines 29 142-147.
5. World Health Organization (WHO). 1982. *Indoor Air Pollutants: Exposure and Health Effects*. Report on World Health Organization Meeting. ISBN 92 890 12447. Nördlingen, Germany.

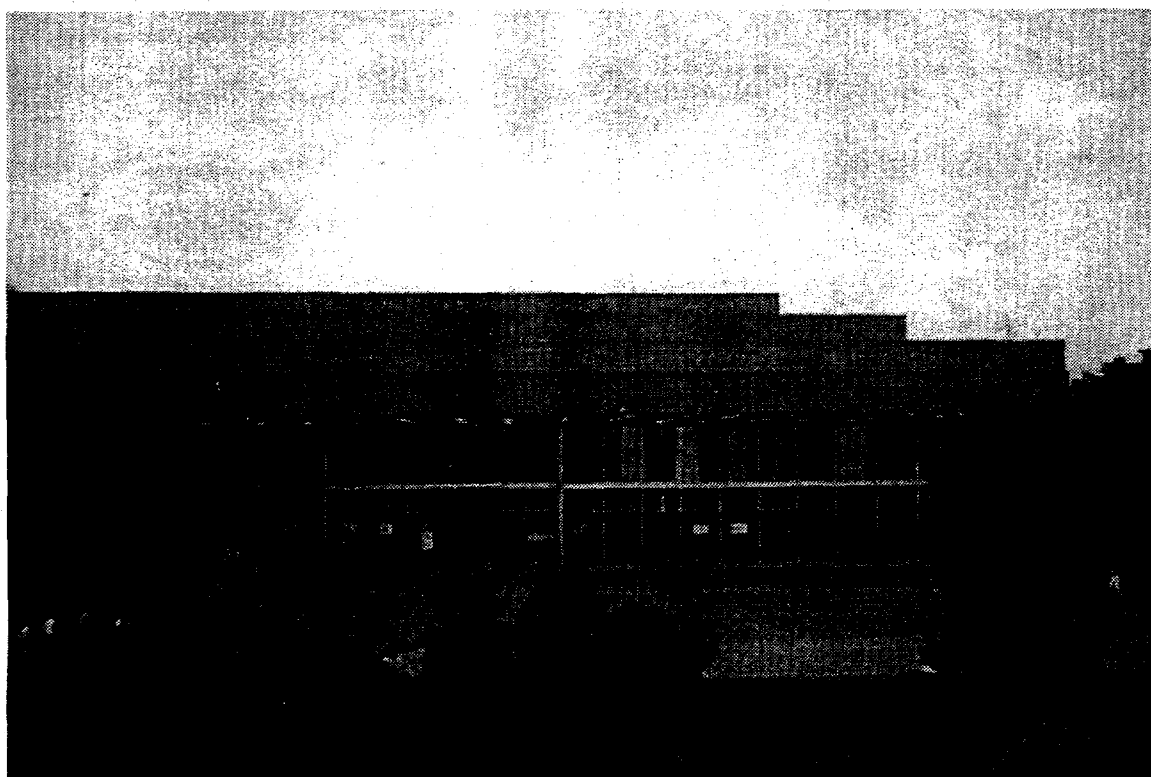


Fig. 1. Fachada Sur del edificio de la Biblioteca UAM-Azco

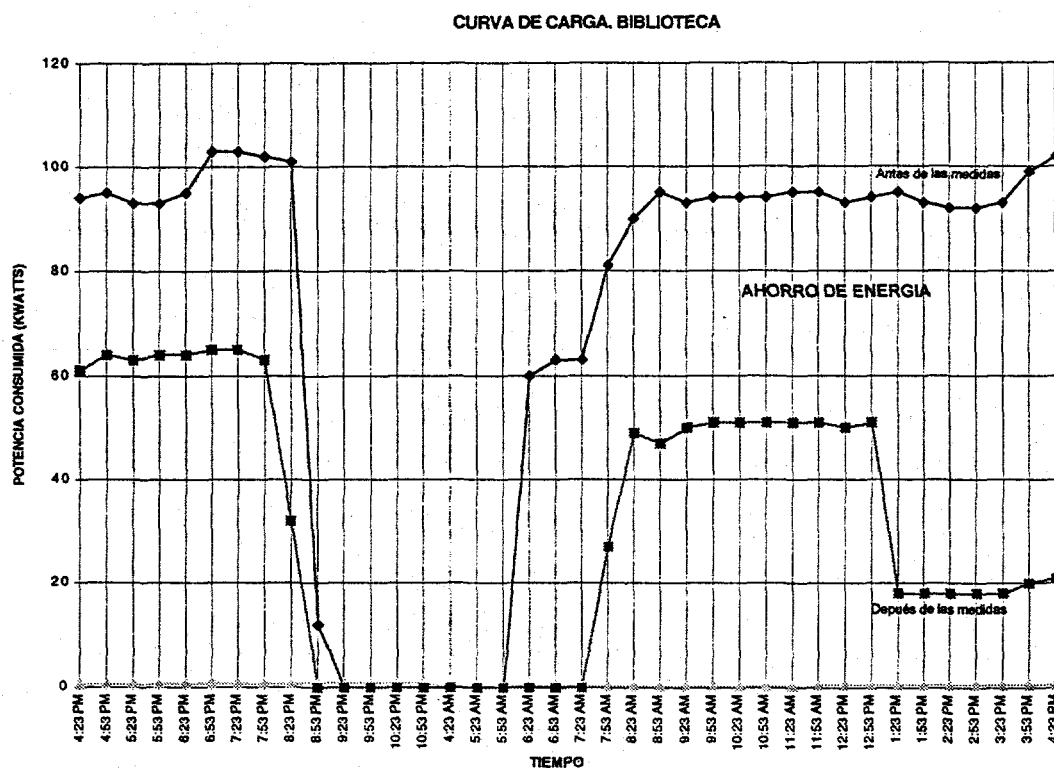


Fig. 2. Curva de Carga de la Biblioteca, en días representativos, antes y después de implementar las medidas correctivas.

ACERCA DE LA NECESIDAD DE CONTROLAR LAS EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO PARA REDUCIR LA FORMACION DE OZONO EN LA ZONA METROPOLITANA DE LA CIUDAD DE MEXICO

E. F. TORIJANO y A. VAZQUEZ

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA- IZTAPALAPA
DEPTO. DE INGENIERIA DE PROCESOS E HIDRAULICA
Av. Michoacán y La Purísima, Col. Vicentina
Iztapalapa, D.F., C.P. 09340
Tels.: 724-4644, 724-4645
Fax (5) 724-4900

RESUMEN

Se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de un modelo de calidad del aire: AQUAMI, para las condiciones de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El modelo requiere de un mecanismo fotoquímico y de información concerniente a la cantidad total emitida de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, para un período especificado, así como de la forma en que estos compuestos son emitidos a la atmósfera durante ese lapso.

Se obtienen así las concentraciones máximas que puede alcanzar el ozono para las posibles razones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno.

Los resultados se presentan en forma gráfica, en ellas se observa que si puede disminuirse la emisión de óxidos de nitrógeno esto impactará directamente en la generación de ozono. Además, se muestra la evolución de otro producto derivado de la presencia de los óxidos de nitrógeno, el nitrato de peroxiacil, el cual es irritante de las mucosas respiratorias y los ojos.

Con el auxilio de este modelo de simulación se puede explorar el impacto derivado de acciones encaminadas a reducir la formación de óxidos de nitrógeno y la liberación de hidrocarburos en el nivel de ozono formado por efecto de la radiación solar. Con base en lo anterior se puede analizar el impacto ecológico de acciones tales como:

- mejorar el proceso de combustión en todos los dispositivos térmicos
- mejorar la calidad de los combustibles fósiles empleados
- modificar ligeramente los hábitos de operación del sector industrial procurando que el uso intensivo de combustibles se desplace hacia las horas de la tarde y noche, cuando la incidencia solar es menor o nula.

INTRODUCCION

Se acepta que la contaminación del aire es un proceso de adición a la atmósfera de cualquier material que tenga efecto perjudicial sobre los seres vivos. Dicho material puede provocar efectos pasajeros o permanentes.

La zona metropolitana de la Ciudad de México presenta condiciones particulares que favorecen la formación del smog fotoquímico, en particular, la generación de ozono y otros contaminantes que afectan directamente la salud de sus habitantes.

Las condiciones que más influyen son :

- a) altitud sobre el nivel del mar, lo que se traduce en una mayor incidencia de radiación ultravioleta, la cual es el motor que desencadena los procesos que originan la formación de contaminantes
- b) la orografía de la zona con las mayores elevaciones en la parte sur que funcionan como barrera a los vientos dominantes en la región y que, a lo largo del año, soplan con componente norte-sur
- c) la distribución de las instalaciones fabriles ubicadas en el norte de la zona
- d) el creciente número de vehículos con motores de combustión interna
- e) el incensante crecimiento de la población con las consecuentes demandas de servicios, transporte, energía, educación, etc.

Las dos primeras no son susceptibles de modificar por la mano del hombre, por lo que la posibilidad de reducir el problema es actuar sobre las tres restantes.

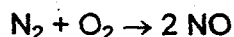
Se analizan aquí las consecuencias de reducir la emisión de óxidos de nitrógeno, planteando solamente las medidas que podrían adoptarse sin analizar las limitaciones que pueda tener su aplicación.

ORIGEN DE LOS NOx

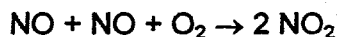
Los óxidos de nitrógeno se encuentran en forma natural en la atmósfera y se mantienen en equilibrio a través de un ciclo de formación-destrucción. Cuando se altera este equilibrio por emisión excesiva de origen antropogénico se presenta el problema de contaminación.

Se sabe que la oxidación de combustibles fósiles a altas temperaturas es una de las fuentes más importantes de emisión de contaminantes atmosféricos, entre otros: óxidos de azufre, SOx; óxidos de nitrógeno, NOx y monóxido de carbono, CO.

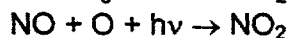
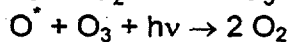
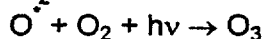
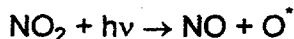
Entre los óxidos de nitrógeno se producen principalmente: óxido nítrico NO; dióxido de nitrógeno, NO₂ y óxido nitroso N₂O. Durante la combustión de combustibles fósiles parte del oxígeno y el nitrógeno del aire, sometidos a la temperatura de flama, reaccionan entre si para formar NO de acuerdo a la reacción siguiente



el NO₂ puede formarse por dos mecanismos:



donde M es un tercer cuerpo que actúa como catalizador. Estos compuestos reaccionan con la radiación ultravioleta en el ciclo que se muestra a continuación.



El nitrato de peroxiacil, PAN, se genera principalmente de acuerdo con la reacción:

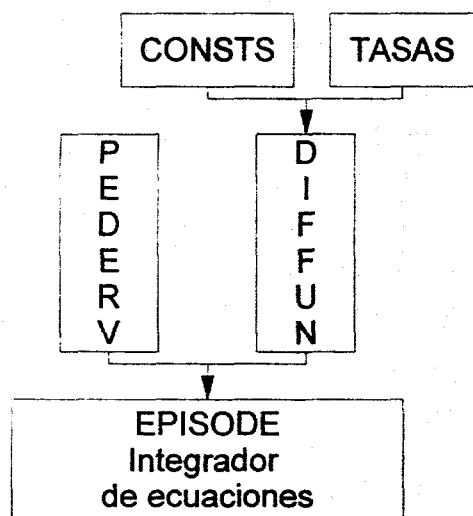


Estos compuestos en presencia de hidrocarburos, reaccionan de manera compleja y forman el llamado smog fotoquímico. El NO_2 es un compuesto poco soluble en agua y se deposita lentamente, por lo que su presencia en la atmósfera durante el periodo solar es determinante en la formación de ozono; es removido de la atmósfera principalmente por su oxidación a ácido nítrico y posterior deposición como lluvia ácida.

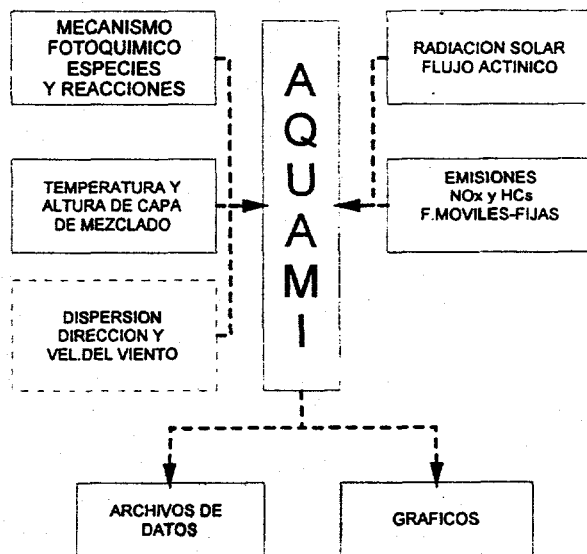
MODELO EMPLEADO

Para estimar la concentración de ozono y nitrato de peroxiacil, se usó un modelo de simulación numérica AQUAMI, el cual se describe brevemente a continuación:

MODELO MATEMATICO



MODELO DE CALIDAD DEL AIRE



Cada uno de los módulos es independiente y puede ser modificado al actualizarse la información correspondiente.

Un módulo de emisión de contaminantes (hidrocarburos y óxidos de nitrógeno) que refleja el quehacer humano a lo largo del día..

El módulo fotoquímico empleado es una versión del "Carbon Bond Mechanism", CBMX, que incluye 71 especies químicas y 164 reacciones químicas.

El módulo de radiación permite evaluar el flujo actínico o fracción de radiación ultravioleta de la energía solar recibida para el día seleccionado, con lo que se generan las tasas fotolíticas de especies como fotolizables, tales como el NO_2 .

Con el módulo climático se generan las tasas de reacción térmicas, como función de la temperatura, y el volumen en el cual se diluyen los contaminantes en función de la altura de la capa de mezclado.

El modelo entrega minuto a minuto las concentraciones en partes por millón (ppm) de las especies consideradas. Estas concentraciones son la solución del sistema de ecuaciones diferenciales que describen el sistema fotoquímico y que son integradas por EPISODE.

Las restricciones impuestas son las siguientes:

- 1) se consideran sólo condiciones de cielo despejado
- 2) no existe dispersión de contaminantes por viento
- 3) se considera un día promedio del año, es decir, actividad humana normal
- 4) se trabaja con las emisiones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno reportadas por la SEDUE (ahora SEDESOL) en 1991.
- 5) el primer día se inicia con concentraciones nulas en O_3 y PAN.

Las restricciones 1 y 2 anteriores caracterizan un día con las condiciones más adversas, por lo que las concentraciones alcanzadas serán las más altas posibles.

Se hicieron simulaciones por períodos de 48 hrs: de la salida del sol el 1° de febrero a un instante anterior a la salida del sol el 3 de febrero.

Dado que este modelo de formación de O_3 y PAN es poco sensible al aumento en la emisión de hidrocarburos, una vez fijada la emisión de NO_x , se probó como variable la emisión de óxidos de nitrógeno NO_x . Se analiza sólo el efecto de modificar la emisión de NO_x debida a las fuentes fijas al que corresponderá, en promedio, el 40% de la emisión total de estos compuestos.

Se tomó como dato base la emisión total anual de NO_x dada por la desaparecida SEDUE para 1991, a este valor se le sumaron incrementos de 10% hasta llegar a un 100% más, y, en otro sentido, se le restaron estos incrementos hasta reducirlo a un 50%.

Cada caso se simuló manteniendo inicialmente un patrón constante de emisión de NO_x a lo largo del día. En las gráficas 1 a 4 se muestran los resultados con -50%, 0%, +50% y +100%, respectivamente.

Formación de O_3 y PAN con patrón actual de emisiones.
(Condiciones iniciales = SEDUE - 50%)

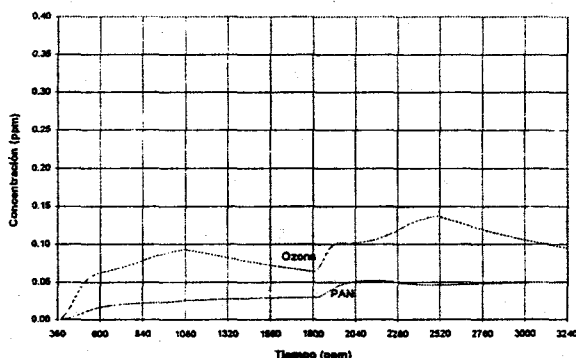


fig. 1

Formación de O_3 y PAN con patrón actual de emisiones.
(Condiciones iniciales = SEDUE)

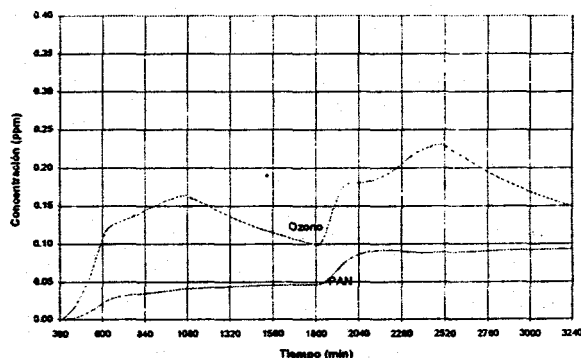


fig. 2

Formación de O_3 y PAN con patrón actual de emisiones.
(Condiciones iniciales = SEDUE + 50%)

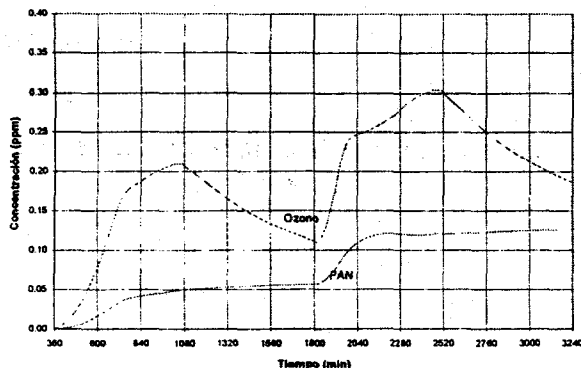


fig. 3

Formación de O_3 y PAN con patrón actual de emisiones.
(Condiciones iniciales = SEDUE + 100%)

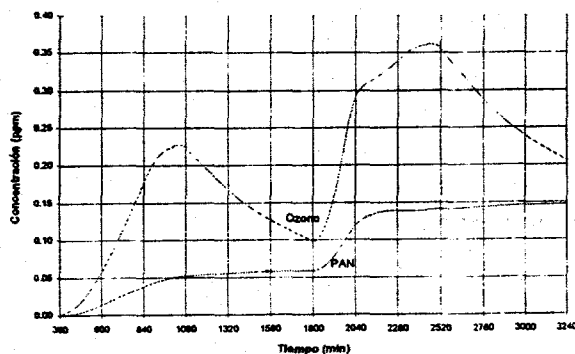


fig. 4

Posteriormente se ensayó un cambio en el patrón de emisiones de NO_x por fuentes fijas; en vez de ser constante a lo largo del día, se propuso reducir a la mitad la emisión desde la salida del sol al mediodía e incrementarla al doble del mediodía a la puesta del sol.

Este cambio en la práctica significa trasladar los máximos de actividad hacia las horas de la tarde. Los resultados se muestran en las gráficas 5 a 8.

Formación de Ozono y PAN con patrón de emisiones modificado.
(Condiciones iniciales = SEDUE - 50%)

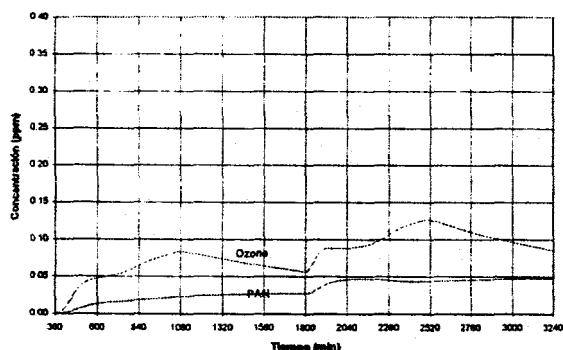


fig. 5

Formación de O₃ y PAN con patrón de emisiones modificado.
(Condiciones iniciales = SEDUE)

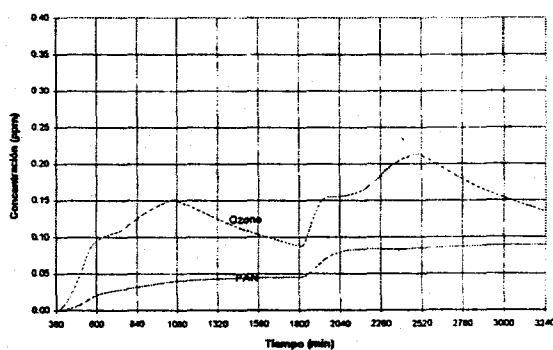


fig. 6

Formación de O₃ y PAN con patrón de emisiones modificado.
(Condiciones iniciales = SEDUE + 50%)

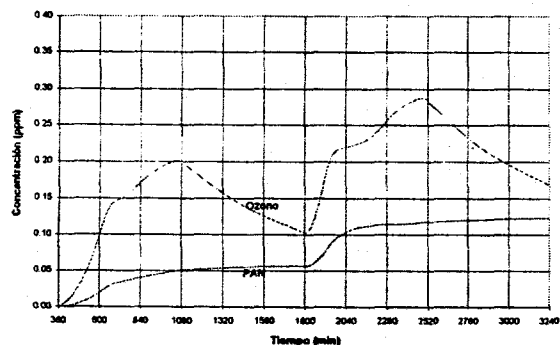


fig. 7

Formación de O₃ y PAN con patrón de emisiones modificado.
(Condiciones iniciales = SEDUE + 100%)

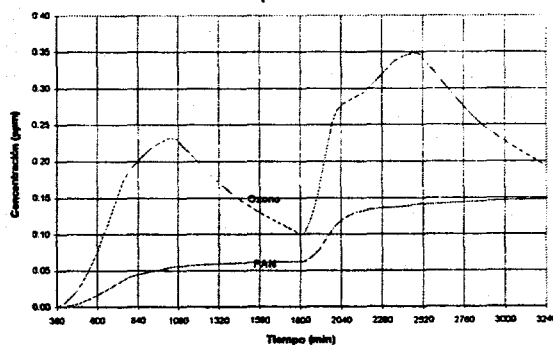


fig. 8

RESULTADOS

Con la reducción en los NO_x emitidos a la atmósfera se observa claramente como disminuye el valor máximo de los picos de O₃ y PAN; por el contrario, un aumento en emisión de NO_x se refleja en un aumento en O₃ y PAN generados.

Si se combinan los efectos de reducir la emisión y modificar el patrón de emisión, los efectos son aún más marcados.

Al cambiar la forma de emitir los NO_x durante el día, manteniendo constante el total emitido se nota que hay un descenso menor en los máximos de O₃ y PAN alcanzados en ambos días, si se comparan con el primer caso.

CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados que se presentan puede concluirse:

- la reducción en la emisión de óxidos de nitrógeno proveniente de las fuentes fijas conlleva a una disminución en las concentraciones máximas alcanzadas para el ozono

-al modificar el patrón de emisiones de las fuentes fijas trasladando la mayor actividad hacia las horas de la tarde, acarrea asimismo una reducción en los valores máximos de ozono

- al combinar ambas estrategias la formación de ozono se reduce notablemente, se alcanzan concentraciones que se aproximan a las recomendadas como límite por la Organización Mundial de la Salud: 100 ppm una hora una vez al año

-en lo que respecta al nitrato de peroxiacil, se observa que sólo si se reduce la emisión de NOx que se tomó como base, 177 000 Ton/año, habrá una disminución apreciable en la concentración de este contaminante, en cualquier otra situación tiende a aumentar

En general, la emisión de NOx puede controlarse al aplicar medidas tales como:

-Mejorar los procesos de combustión. En este caso se trata de modificar el perfil de temperaturas en quemadores, calderas y hornos, cambiar los tiempos de residencia y/o la concentración de oxígeno, a fin de reducir la formación de NOx en la flama.

-Tratamiento de los productos de combustión. En este caso pueden lograrse impresionantes reducciones en la emisión, 80% o más, solo que algunas de las técnicas aplicables tienen un costo muy elevado, lo que las hace inaplicables en las condiciones económicas actuales.

- Emplear combustibles de mejor calidad.

BIBLIOGRAFIA

(1) Finlayson-Pitts, B.J. & Pitts, J.N. Jr. *Atmospheric Chemistry: Fundamentals and Experimental Techniques*, John Wiley and Sons, 1986.

(2) Gery M.W., Whitten, G.Z. & Killus, J.P. Development and testing of the CBM-IV for urban and regional modelling; Rep. EPA/600/3-88/012 U.S. Environmental Protection Agency. Research Triangle Park, N.C. 27711, 1988.

(3) Varela, J.R., Torijano, E., Vázquez, A. & García-Colín, L.S., AQUAMI: Air quality model in México City in air pollution, *Computational mechanics publications*, Eds. Zannetti P. Brebbia, C.A., García-Gardea, J.E. & Ayala Milian, G. Elsevier, 1993, pp 305-311.