CONF-9611244 --

17<sup>th</sup> 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.

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

**«« 25 AL 29 DE NOVIEMBRE »» 1996** 

## **MEMORIA TÉCNICA**

MUSEO TECNOLÓGICO DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD MÉXICO, D.F.



CONNE

### **DISCLAIMER**

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

## CATALISIS COMO HERRAMIENTA DE AHORRO DE ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE LA REFINACION

S. CASTILLO\*, M. MORAN-PINEDA\*, G. BAZAN, L. GONZALEZ, H. BARRIOS
\*INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO, EJE CENTRAL LAZARO CARDENAS 152
PEMEX-REFINACION, TORRE EJECUTIVA 60. PISO MARINA NACIONAL 329

#### RESUMEN

La catálisis desde su aparición definida por los alquimistas como ese "algo" o "piedra filosofal", con una fuerza especial para la transformación de la materia mediante la energía, siempre ha representado un reto para el hombre, más aún en la actualidad donde la mayoría de los bienes necesarios para su supervivencia están relacionados con un proceso químico y que hoy en día no se conciben èstos sin la presencia de un catalizador. En la reciprocidad entre el cambio químico y el catalizador, la energía utilizada representa el punto crítico. Dado lo anterior, resulta interesante el estudio del impacto y trascendencia del binomio catálisis-energía en relación con los procesos para la obtención de los combustibles y de los procesos para el control de emisiones producto de la combustión de los mismos, donde el objetivo primordial está en establecer un criterio de análisis de ahorro de energía con diferentes directrices; la primera, el impacto de la aplicación de sistemas catalíticos óptimos en procesos de obtención de combustibles, y respecto a la segunda, se encuentra el correspondiente al de los sistemas catalíticos óptimos para el control de emisiones.

#### **ANTECEDENTES**

El fenómeno catalítico fue descrito por Berzelius hace 160 años, donde la palabra catálisis tenía la misma raíz que "catástrofe", del mismo modo como en su tiempo la palabra entropia se relacionaba con la palabra "caos", dada la incertidumbre que existía respecto a la relación entre el calor y el trabajo. Sin embargo, con el paso de tiempo y la consecuente evolución del hombre, ambas palabras han evolucionado también en su concepto fundamental, principalmente la palabra catálisis, ya que hoy en día, esta representa para la humanidad la principal vía mediante la cual podrá cubrir la mayor parte de sus necesidades de alimento y energía.

En un principio, el hombre satisfizo sus necesidades básicas de la naturaleza, sin embargo, dado su poder destructivo innato y su acelerada reproducción, la naturaleza por si misma no pudo cubrir más sus necesidades, causa por la cual el hombre tuvo que evolucionar y se inició en la transformación de la materia mediante la energía, en todas sus expresiones para obtener la mayoría de sus bienes.

Durante largo tiempo, observó que en los procesos de transformación de la materia, los factores tales como calor (energía), cantidad (rendimiento) y rapidez (tiempo), con la que obtenía sus bienes no siempre eran los mismos, por lo que debía de existir "algo" que originaba esas modificaciones. Precisamente alrededor de ese "algo", los alquimistas iniciaron la búsqueda de la materia o "piedra filosofal" con la cual estuviera relacionado con todos esos cambios en la materia. Los intereses que los movían fueron diferentes, algunos movidos por la ambición trataban de transformar metales vulgares en oro, mientras que otros más prácticos y objetivos, encontraban su aplicación en la fermentación de bebidas, elaboración de jabones y en el campo de la medicina (1).

Durante la Edad Media, a todos estos cambios en la materia originados por ese "algo", se les denominaba llanamente solo como "transmutaciones", con el inconveniente que la mayoría de las veces los cambios originados por estas "transmutaciones" no eran reproducibles, esto fundamentado en que en ese tiempo el mayor número de los elementos químicos no estaban identificados y mucho menos clasificados y no estaban en la posibilidad de plantear el evento como un cambio químico o reacción química, pero que de hecho, no obstante estas deficiencias, su extenso trabajo sobre el tema sería la base del nacimiento de un nuevo campo científico.

No fue hasta el Siglo XIX que a ese "algo", se le definió como "catalizador" y que de esta forma nace la catálisis como una disciplina científica. Siendo el platino el primer metal relacionado con ese "algo" o "piedra filosofal". Dentro de los sucesos científicos más relevantes relacionados con la catálisis en ese siglo, está primeramente el proceso de producción de ácido sulfúrico (2), así como los descubrimientos más importantes dentro de este incipiente campo, los estudios de Davy y Doebereiner en tomo al platino y su reacción catalítica en la oxidación selectiva y controlada de diversos gases, lo cual condujo al desarrollo de los "encendedores de Doebereiner", que fue la primera aplicación tecnológica y comercial de la llamada catálisis Heterogénea.

Los desarrollos en tomo a la catálisis continuaron, ya definidos como procesos formales, como los procesos Philips y Deacon, para la oxidación catalítica del dióxido de azufre a trióxido de azufre y del ácido clorhídrico a cloro respectivamente, uno sobre platino y el segundo sobre cloruro de cobre, con lo cual se definía que no sólo el platino se podía emplear como catalizador, ya que en este caso, se empleó el cobre, metales con diferente clasificación. De igual manera también se habían utilizado enzimas, denominadas como catalizadores biológicos en fermentaciones, lo que planteaba que el material de los catalizadores podía ser bastante amplio. Sin embargo, no obstante que se tenían identificados los materiales que originaban estos efectos especiales, el concepto de la catálisis aún no contaba con una base científica fundamentada, ya que al poder transformar de estos materiales en todos los procesos anteriores, sólo se les definía como "fuerza catalítica".

A principios del Siglo XX se inicia el esclarecimiento de algunos conceptos básicos de la catálisis, auspiciados por los grandes científicos de ese tiempo como: Ostwald, Gibbs, Einstein, Plank, Rutherford, Bohr y Bodsch, entre otros. Asimismo, en esta época se inicia la aplicación de catalizadores multicomponentes, esto es, el empleo de diferentes metales soportados en óxidos metálicos, principalmente alumina (3). Fue así como hicieron su aparición los sistemas catalíticos para la producción de amoniaco (BASF), desarrollado por Bosch (Premio Nobel 1931) y de hidrocarburos sintéticos (Fischer-Trops) (4). Conforme más se difundía el uso de catalizadores, su interacción con otras disciplinas fue en aumento, destacando entre ella: la Química tanto Inórganica, Orgánica y Analítica, la Física (textura y morfología), así como en la Ingeniería Química.

Con el apoyo de estas disciplinas, fue posible definir que la adsorción de gases sobre sólidos representaba un punto fundamental en la comprensión de la catálisis, por lo cual se desarrollaron modelos y mecanismos, como los de Langmuir (Premio Nobel 1932), Hinshelwood, Rideal y Eley. Y así, sucesivamente los avances de la catálisis se fueron presentando, destacando entre ellos la determinación de Centros Activos (Taylor), medición de áreas superficiales y geometría de poros (Braunauer y Emmet), el uso de películas metálicas evaporadas en estudios catalíticos fundamentales (Beeck), así como el empleo de isótopos para el radiotrazado de especies químicas activas. Es así como en los inicios del Siglo XX, concretamente en la década de los 30's, se toma como el inicio formal de la catálisis.

Sin embargo, el impacto más trascendente de la catálisis fue cuando se aplicó en el tratamiento y transformación de los hidrocarburos, esto gracias a la eminente aparición de la guerra y con esto a la necesidad de combustibles para los transportes de guerra (vehículos, aviones, barcos, etc.). Entre los procesos catalíticos industriales más sobresalientes, destacan los siguientes (3-5):

- Desintegración

- Deshidrogenación

- Isomerización

- Polimerización

- Alguilación

- Reformación

Dentro de los últimos desarrollos dentro del campo de la catálisis, está la aplicación de materiales silicoaluminatos denominados zeolítas, utilizados en diversos procesos de refinación y que de hecho desplazaron a los primeros catalizadores dado que estas zeolitas resultaron más selectivas y estables. Finalmente, debido al deterioro ambiental ocasionado por las emisiones de gases contaminantes, provenientes de la mayoría de los procesos de combustión, se originó el desarrollo de los convertidores catalíticos para la reducción de estas emisiones (6).

#### IMPORTANCIA DE LA CATALISIS

La trascendencia que representa la catálisis como disciplina científica y como verdadera herramienta de trabajo, es el aportar soluciones concretas a necesidades reales de la industria actual, como lo son el incremento de capacidad de producción, minimizando la inversión, el mejoramiento en el posicionamiento estratégico competitivo para la correcta administración del cambio tecnológico, la búsqueda cada vez más urgente de alternativas para el ahorro de energía y el aprovechamiento integral de los materias primas, así como la protección y preservación del medio ambiental.

La adecuada selección de un catalizador repercute en la industria moderna a nivel mundial, al colocarla en niveles de competitividad, incrementando su rentabilidad mediante la combinación de diversos factores, entre los que destacan:

- ♦ Importantes ahorros de energía.
- ♦ Conservación del medio ambiente.
- Mayor vida de las instalaciones al operar a menor temperatura y sin la producción de productos indeseables.
- Incrementar en la capacidad de producción con mínima inversión.

Estas ventajas confieren a esta disciplina un primer plano en cuanto a las decisiones trascendentales en la planeación operativa de las empresas.

El valor económico de los procesos industriales reside principalmente en los rendimientos y calidad de los productos obtenidos, por lo que las nuevas exigencias del mercado, tales como la demanda de gasolina de mayor octanaje y los decretos regulatorios para la protección del medio ambiente, implican una recomposición de los productos de refinerías para lograr las concentraciones permitidas de emisiones. Estas crecientes demandas requieren del desarrollo de nuevas generaciones de catalizadores altamente selectivos y multifuncionales a precios competitivos.

#### FACTORES DETERMINANTES EN LA FUNCIONALIDAD DE UN CATALIZADOR

Los tres factores principales que determinan la funcionalidad y aplicación de un catalizador en un proceso determinado son: su estabilidad, actividad y selectividad, que a su vez, dependerá del tipo de fase activa (metales, óxidos metálicos conductores y no conductores o enzimas), de la forma como se encuentra integrada dicha fase activa (catalizadores másicos y soportados) y finalmente al tipo de proceso catalítico a aplicar (homogéneo, heterogéneo o enzimático) (Fig. 1).

En base al objetivo de este estudio, donde se analizarán los procesos catalíticos relacionados con el tratamiento y transformación del petróleo (hidrocarburos), el proceso catalítico a analizar es el heterogéneo, dado que la mayoría de las reacciones se llevan a cabo, son del tipo gas-sólido.

Se seleccionó la Industria Petrolera por ser altamente intensiva en el consumo de energía y se ilustrará en caso exitoso de **ahorro de energía** al cambiar el catalizador que estaba funcionado en la planta hidrodesulfuradora de naftas por uno más eficiente que permita el **ahorro sustantivo de energía**.

#### INDUSTRIA DE REFINACION

La industria de refinación es altamente intensiva en el consumo de energía, en promedio 600,000 BTU son usados para procesar un barril de crudo en las refinerías americanas.

El uso de la tecnología comercial, puede disminuir esta cantidad en un 33% y si se usan tecnologías avanzadas aún no comercializadas, se estima que se puede reducir en un 10% adicional al consumo de energía. El límite termodinámico al cual podemos llegar por ahorro de energía, es de 57,000 BTU/barril; en base a los análisis termodinámicos de trabajo útil disponible, la tasa a la cual el potencial de ahorro de energía puede ser obtenida, está sujeta a consideraciones económicas que deben incluir aspectos de mercado de divisas, relaciones internacionales y actitudes sociales.

El uso final de la energía en una refinería típica es:

Calentamiento directo	70%
Vapor para proceso	16%
Vapor para equipo mecánico	8%
Electiricidad	6%

En una refinería tenemos cuatro principales tipos de procesos que son:

- Separación
- Conversión
- Reorganización
- Terminación

En la Tabla No. 1, se proporciona el uso de la energía en la industria de refinación del petróleo en donde observamos el consumo actual por tipo de proceso, el consumo de energía con el estado del arte normal y tecnología avanzada para el año 2010.

Es conveniente destacar que la tabla producida por la oficina de valoración tecnológica de los Estados Unidos, nos permite observar en donde se concentraron los mayores avances tecnológicos para disminuir el consumo de energía, y por lo tanto, en donde se encuentran las grandes oportunidades para disminuir el consumo de energía en el sector de refinación de México.

El caso de éxito a comentar es la utilización de un nuevo catalizador para la unidad hidrodesulfuradora de naftas de la refinería de Salamanca.

#### CATALIZADORES EN PROCESOS DE REFINACION

- Desintegración Catalítica.

Dentro de los procesos catalíticos es el de mayor importancia, ya que su aplicación en el tratamiento de millones de toneladas de gasóleos pesados, lo hace el de mayor consumo en el mundo, el catalizador utilizado es una zeolita de las denominadas intercambiadas o ultraestables.

- Reformación Catalítica.

Este proceso también tiene un papel importante en el tratamiento de ciertas fracciones del petróleo, sobre todo para mejorar el índice de octano y obtener combustibles de mejor calidad. En este proceso tienen lugar diversas reacciones como: Deshidrogenación, Deshidroisomerización e Isomerización. El catalizador que se utiliza es un bimetálico a base de platino-renio o platino-estaño, de los denominados bifuncionales.

#### - Hidrodesulfuradoras

Con el objeto de eliminar compuestos de azufre de los diferentes productos de la refinación, se cuenta con los procesos catalíticos de hidrodesulfuración.

La disminución de energía por cambio de catalizador como se observa en la Tabla 2, pasa de un consumo de 161,067 millones de BTU/día a 83 095 millones de BTU, con una ganancia por ahorro de energía de 2 339 dólares/día, aspecto que se puede trasladar a las otras refinerías del sistema.

#### **DISMINUCION DE EMISIONES VEHICULARES**

Los logros obtenidos por la catálisis para disminuir las emisiones vehiculares, se han reportado en numerosas publicaciones, como son las relativas al programa Auto Oil de los Estados Unidos que fue un gran programa de investigación entre las compañías petroleras y los grandes productores de automóviles.

Las emisiones de los nuevos vehículos han logrado reducciones de arriba del 95% en los principales gases de salida del escape de un vehículo como son hidrocarburos, monóxido de carbono y ácidos de nitrógeno; en la obtención de estos resultados, la ingeniería automotriz ha jugado el papel más importante, en donde se incluye la tecnología de los convertidores catalíticos.

Estos logros de la catálisis se destacaron en la última reunión de la Sociedad de Ingenieros Automotrices (SAE), en octubre de 1996.

En el artículo del Sr. Baster respecto a la utilización de catálisis avanzada para disminuir emisiones, concluyen que la química de la catálisis puede jugar un papel relevante en ayudar a los sistemas de vehículos que utilizan gasolina como combustible para disminuir hasta en un 30% las emisiones de escape.

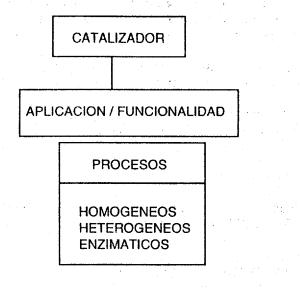
Sus resultados mostraron que la adecuada combinación de la impregnación de un catalizador, con la razón adecuada de metales preciosos tiene mayor beneficio-costo que la reformulación de gasolinas.

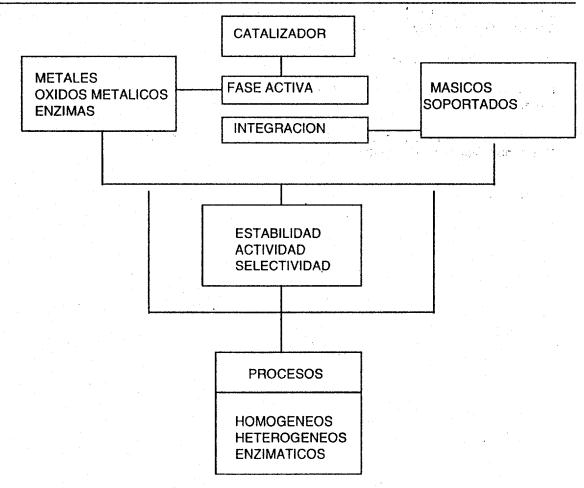
La solución para disminuir las emisiones vehiculares concluye que está en la optimización de la administración de los sistemas de la máquina junto con los sistemas de control de emisiones que incluye el convertidor catalítico.

#### **REFERENCIAS**

- B. Davis, H. Hettinger, "Heteogeneous Catalysis", Selected American Histories. ACS Symposium Series 222., American Chemical Society. Washington, USA. (1983).
- D. Roberts Kinetics. Cambridge Chemistry Text. Camb. Univ. (1977).
- 3. J.M. Thomas, W.J. Thomas, Introduction to the Principles of Heterogeneous Catalysis Academic Press. (1967).
- 4. B.F. Leach, Applied Industrial Catalysis. Academic Press (1983).
- 5. H.W. Lohse, Catalytic Chemistry., Chemical Publishing Co. Inc. New York. (1945).
- K.C. Taylor, "Catalysis: Science and Technology", De J.R. Anderson. M. Boudart, Vol. 5, p. 119, (1984).

#### FIGURA 1





## TABLA 1

#### USO DE LA ENERGIA EN LA INDUSTRIA DE REFINACION DEL PETROLEO

	10	USO DE ENER E3BTU/BBL DE P		
PROCESO	ACTUAL (1993)	ESTADO DEL ARTE (2010)	AVANZADO (2010)	OBSERVACIONES
SEPARACION				
Dest. Atmosférica Dest. Vacío	90 88	38 58	34 35	Esta operación consume aproximadamente el 23% de la energía usada en refinería
CONVERSION				20% do la oriorgia dodda cir remiena
Vis breaking	130	78	71	Esta operación consume aproximadamente el
Cracking Catalítico	125	123	90	13% de la energía usada en Refinación
Hidrocracking Catalítico	220	202	201	
REORGANIZACION				
Reformación	349	349	349	Esta operación consume aproximadamente el
Alquilación	619	561	313	29% de la energía usada en Refinación
Isomerización ,	154	154	154	
Producción Hidrógeno	320	320	320	
TERMINADO Hidrotratamiento Catalítico	180	180	180	Esta operación consume aproximadamente el 17% de la energía usada en Refinación

Fuente: Office of Technology Assessment.

## TABLA 2

## BENEFICIO DE LA UTILIZACION DEL CATALIZADOR NUEVO UNIDAD HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS, SALAMANCA, GTO.

CONCEPTO	COSTO UNITARIO		CATA	CATALIZADOR ANTERIOR		LIZADOR NUEVO	GANANCIA, USD/D	
NAFTA S/HIDROTRATAR	12.58	USD/B	8,000	BPD	8,000	BPD	0.0	
H2 CONSUMIDO	2.36	USD/STD.CF	320	STD. CF/D	320	STD.CF/D	0.0	
MANO DE OBRA	22.45	USD/H	6.75	JORNADA DE 8 H.	6.75	JORNADA DE 8 H	0.0	
POTENCIA	0.06	USD/kWtt	6,416	kWtt/D	6,416	kWtt/D	0.0	
AGUA DE ENFRIAMIENTO	0.97	USD/M3	665	M3/D	270	M3/D	383.1	
AGUA DE LAVADO	0.07	USD/lb.	11,488	lb/D	11,488	lb./d	0.0	
COMBUSTIBLE	0.03	USD/MMBTU	161,067	MMBTU/D	83,095	MMBTU/D	2,339.2	

#### SISTEMA DE ENFRIAMIENTO EN LA SUCCIÓN DEL COMPRESOR DE LAS TURBINAS DE GAS DE LA CCC DE TULA.

Oscar González F.<sup>1</sup>, Hernando Romero-Paredes<sup>2</sup>, Martín Vargas<sup>2</sup>, José Fco. Gómez<sup>2</sup>.

Comisión Federal de Electricidad. Gerencia Regional de Producción Central. Central Ciclo Combinado Tula. Departamento de Análisis. Tula, Hidalgo, Tel: (773) 21678.

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. E-Mail: hrp@xanum.uam.mx

#### RESUMEN

Se ha evaluado anteriormente (Romero-Paredes 1996) que es posible mejorar notablemente la capacidad de generación eléctrica en plantas que utilizan turbinas gas, mediante el enfriamiento del aire de succión del compresor. Se ha señalado que en la medida en que se encuentre disponible una fuente témica de desecho puede ser muy atractivo el uso de sistemas de refrigeración por absorción. En el presente trabajo se evalúa los beneficios técnicos y económicos que puede tener el llevar el aire de succión hasta una temperatura de 8°C, de las cuatro unidades de gas de la Central de Ciclo Combinado de Tula, Hidalgo (CCC-Tula). Los resultados muestran que es posible alcanzar un aumento en la eficiencia de al menos 1% y que se pueden generar, en días muy calurosos, hasta 48 MW extras, equivalente al 10% de la capacidad instalada. El resultado económico final es muy alentador y puede llegar a tenerse un beneficio económico del orden de los 50 millones de pesos anuales y las unidades de refrigeración podrán pagarse en aproximadamente un año.

#### INTRODUCCIÓN.

La gran diversidad de plantas de generación eléctrica en México, de orígenes y edades diversas, como prácticamente toda la industria nacional, hace de ellas, en si mismas, una área de oportunidad para el ahorro y uso racional de la energía en nuestro país. Las termoeléctricas con base en combustibles fósiles y carbón representan el 66% del total instalado, en tanto la capacidad instalada en ciclo combinado representa el 6 % del total, con una generación anual que representa el 8.45% de la suma de todas las tecnologías de generación nacionales (fig. 1). La diferencia porcentual entre capacidad instalada y generación marca la importancia de este tipo de instalaciones que normal mente operan con un factor de planta del 80 al 90%.

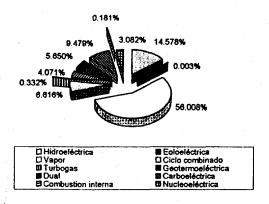


Figura 1. Energía eléctrica generada (1994).

De las cinco plantas de ciclo combinado que hay en la República Mexicana, la planta de Tula se caracteriza por encontrarse en una zona árida y de mucho viento, clima principalmente seco, aunque con su estación de lluvias normal, a 2200 metros sobre el nivel del mar y con una eficiencia global que no supera el 45%. Son pocos los programas de mejoras realizados para conocer y establecer las alternativas tecnológicas para mejorar la operación y productividad de estas plantas, salvo honrosas excepciones.

A las características anteriores hay que añadir una particularidad de la CCC-Tula, que parte del diseño mismo de la instalación, consistente en que a la salida del primer paso de la turbina de vapor existe una extracción de vapor de baja presión cuyo gasto es del orden del 10% del total generado. Una parte de este vapor se retorna al domo de baja presión del recuperador de calor y la diferencia se envía directamente al condensador. Esto implica que se tiene una fuente térmica no utilizada y que se encuentra disponible para su aprovechamiento.

Bajo estas premisas se ideó y evaluó el proyecto de instalación de sistemas de refrigeración por absorción, que mediante un fluido de trabajo, por ejemplo etilen glicol - agua, por intercambio de calor indirecto, enfríe la corriente de aire en la succión de los cuatro compresores respectivos de las turbinas de gas. El sistema de refrigeración puede ser de bromuro de litio - agua o amoníaco - agua. Este último tiene la ventaja de poder alcanzar mas bajas temperaturas, aunque con la desventaja de ser mas costoso. La selección del sistema de refrigeración dependerá fuertemente del capital disponible para su inversión. En este caso y como se mostrará mas adelante, la capacidad refrigerante, los beneficios técnicos y económicos y la inversión son casi directamente proporcionales. De ahí que la magnitud de los beneficios globales esperados, incluyendo la disminución de gases contaminantes (CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub>), dependan fuertemente de la magnitud de la inversión. Naturalmente que hay un límite superior, que es la temperatura mínima posible que alcance el aire en la succión de los compresores.

#### SISTEMA BAJO ESTUDIO.

A continuación se describe las partes más importantes que integran una planta de generación eléctrica de ciclo combinado. Estas están compuestas por un ciclo Brayton y un ciclo Rankine termodinámico, de ahí su nombre de ciclo combinado. La figura 2 muestra las partes más importantes que lo conforman.

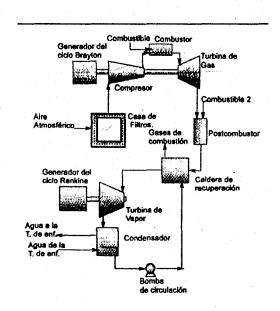


Figura 2. Partes importantes de la Central Ciclo Combinado de Tula.

#### ANÁLISIS TEÓRICO.

La descripción del proceso se puede efectuar mediante un modelo termodinámico que examina, mediante un análisis de sensibilidad ,los efectos de la variación del conjunto de variables que dominan el sistema sobre a eficiencia del ciclo. El modelo ha sido ampliamente descrito en un trabajo anterior (Romero-Paredes 1996), sin embargo y para no dejar este trabajo sin esa descripción, se resume las partes fundamentales del modelo empleado. El análisis de beneficios técnicos que se derivan de la aplicación de este modelo al enfriamiento del aire de succión en el compresor y el método de cálculo para determinar los beneficios económicos, también es descrito a continuación.

#### Análisis Termodinámico.

Para el cálculo de la entalpía de las mezclas de gases involucradas en el proceso, se hace mediante la siguiente expresión:

$$h_{mezcla} = \sum_{i=1}^{n} X_{i} \times h_{i} \tag{1}$$

Donde

$$h_i = \int_{T_0}^{T} Cp(T) dT$$
 (2)

El calor específico (Cp) es función de la temperatura y se describe mediante un polinomio de forma:

$$Cp_{sust}^{g.i.}(T) = A + BT + CT^2 + DT^{-2}$$
 (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:

$$h_{sust} = \left[ h_{sust}(T) - h_{sust}(T_0) \right]$$

$$h_{sust} = A(T - T_0) + (B/2)(T^2 - T_0^2) +$$

$$(C/3)(T^2 - T_0^3) - D(T^{-1} - T_0^{-1})$$
(2')

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:

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \tag{4}$$

$$r_T = \frac{T_2}{T_1} \tag{5}$$

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 (figura 2). Estas dos expresiones se interrelacionan de la siguiente manera:

$$r_T = r_P^{\frac{(n-1)}{n}} \tag{6}$$

De (6) el coeficiente politrópico de compresión (n) es:

$$n = \frac{\ln(r_P)}{\ln(r_P) - \ln(r_T)} \tag{7}$$

#### Evaluación de los parámetros termodinámicos en cada proceso del sistema.

A la entrada del compresor (punto 1, figura 2) el fluido está compuesto de aire y agua, por lo tanto la entalpía está dada por:

$$h_{aire} = X_{aire seco} h_{aire seco} + X_{agua} h_{agua}$$
 (8)

De los datos meteorológicos (Tbs y Hr) se conoce la humedad relativa (de la estación de la planta):

$$Hr = \frac{P_{\nu}}{P_{g}} \tag{9}$$

donde Pg es una función de la temperatura. La presión parcial del aire está dada por:

$$P_a = P_{atm} - P_{v} \tag{10}$$

y la relación de humedad, definida como la relación de masa de agua por unidad de masa de aire es [Wark K., 1984]:

$$w = 0.622 \frac{P_{\nu}}{P_{c}} \tag{11}$$

En donde la constante 0.622 es el cociente entre el peso molecular del agua y del aire seco. Al sustituir los valores de las fracciones molares del aire y del agua 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:

$$h_{gases de salida} = X_{N_1} h_{N_1} + X_{O_1} h_{O_1} + X_{CO_1} h_{CO_2} + X_{CO} h_{CO} + X_{agua} h_{agua}$$
(2")

Para calcular las propiedades de fluido a la entrada de la turbina de gas (punto 3), es necesario realizar un análisis de masa y energía en la cámara de combustión:

$$Q_{sum} + m_{comb}h_{g} + m_{a}h_{2} = h_{3}(m_{comb} + m_{a})$$
(12)

Se conoce que el calor suministrado es igual a:

$$Q_{sum} = \begin{pmatrix} \bullet \\ v_{comb} \end{pmatrix} PCI$$
 (13)

La ecuación de trabajo neto en la turbina de gas:

offia de gas:  

$$W_n = W_{Turbina} - W_{compresor}$$

$$(m_a + m_{comb})(h_3 - h_4) - m_{aire}(h_2 - h_1)$$
(14)

 $W_n = (m_a + m_{comb})(h_3 - h_4) - m_{aire}(h_2 - h_1)$  De la ecuación (14) se despeja ma que es la variable que frecuentemente se desconoce:

$$m_{a} = \frac{W_{n} - Q_{sum} - m_{Comb}(h_{g} - h_{A})}{(h - h_{A})}$$
(15)

У

$$h_3 = \frac{W_n + m_a (h_2 - h_1)}{(m_a + m_{comb})} + h_4 \tag{16}$$

Una vez conocido m<sub>a</sub> y h<sub>3</sub>, el ciclo Bryton queda descrito. El ciclo Rankine (turbina de vapor) es mas fácil de evaluar. Las ecuaciones (12 y 13) permiten calcular la energía de entrada a la caldera de recuperación por efecto de los gases de combustión provenientes de la turbina de gas y de los posquemadores. En cuanto al agua de alimentación, se determinan sus propiedades a la presión en el domo superior. A la salida se conocen las propiedades del vapor sobrecalentado (P,T, Flujo) y la composición y temperatura de los gases en la chimenea. La ecuación (2') permite calcular su entalpía. El trabajo neto en la turbina de vapor se conoce mediante la diferencia de entalpias de entrada y salida del vapor.

#### Análisis Termo - Económico.

La evaluación de los beneficios esperados al reducir la temperatura de admisión viene dada directamente por la relación que tiene la ecuación 8 con la 14. Una vez conocido el trabajo excedente de la turbina de gas por ese concepto es posible realizar un conjunto de evaluaciones que conllevan a obtener los beneficios económicos totales derivados del proyecto. Para ello se reconocerán algunas definiciones que permiten calcular esos beneficios.

Así la generación bruta será la generación total anual de todas las unidades ( $E_B$  [=] Kwh/año); la generación neta será la diferencia entre la generación bruta menos el consumo anual de auxiliares por cada unidad ( $E_N$  [=] Kwh/año); el consumo de gas es el total de energía calorífica consumida anualmente por unidad ( $Q_u$  [=] Kcal/año). Se define el CUP como el costo unitario de producción. Son los gastos totales de la central ( $G_t$  [=] \$/año) dividido entre la generación neta:

$$CUP = \frac{G_t}{E_N} [=] \frac{\$}{KWh} \tag{17}$$

Este índice nos permite evaluar la eficiencia de una forma adecuada, pues está íntimamente relacionada con los gastos totales de la central. Con este índice se puede tener una apreciación de eficiencia respecto a otras centrales y reconocer cual de las centrales es más eficiente y económica en la producción de energía eléctrica. Es de mucha utilidad si se comparan plantas con la misma tecnología. El CUP esperado (CUP<sub>E</sub>) es el costo unitario de producción de la energía generada una vez que se instala el sistema de enfriamiento en la succión del compresor de la turbina de gas. Así:

$$E_{R} = FP * E_{R} \tag{18}$$

El factor de planta (FP [=] %) es conocido como la fracción de generación anual respecto a la capacidad instalada de generación de la unidad o de la planta.

E<sub>R</sub> = Generación eléctrica recuperable, que será la energía extra generada.

El consumo de combustible bajo estas condiciones será:

$$CC_E = \frac{(E_B + E_R) * RT_R}{PCS} \tag{19}$$

RT es el régimen térmico, definido como el consumo calorífico dividido entre la generación bruta:

$$R.T. = \frac{CC * PCS}{E_{p}} [=] \frac{Kcal}{KWh}$$
 (20)

Dónde:

CC = Consumo de combustible [=] M³/año PCI = Poder calorífico inferior [=] Kcal/M³

Este indicador permite reconocer la eficiencia térmica de operación de la central.

Se le llama régimen térmico real (RT<sub>R</sub> [=] Kcal/KWh) al promedio anual de la central (de enero a diciembre).

El régimen térmico esperado (RT<sub>E</sub> [=] Kcal/KWh) es el resultado que se obtendría al instalar el sistema de enfriamiento en la succión del compresor de la turbina de gas. La diferencia entre el RT<sub>R</sub> y el RT<sub>E</sub> representa el ahorro de régimen térmico.

El costo del combustible esperado es el CC<sub>E</sub> multiplicado por su costo.

De lo anterior se desprende que el CUP esperado se calcule de la siguiente manera:

$$CUP_{E} = \frac{G_{t} + CC_{E}}{E_{B} + E_{E}} \tag{21}$$

El CUP diferencial será la diferencia entre los costos antes y después del enfriamiento del aire de succión; esto es:

$$CUP_{Dif} = CUP_R - CUP_E \tag{22}$$

Los beneficios se calculan como una función de los parámetros anteriores. De esta forma se tienen:

Los beneficios por energía (BE):

$$BE = (E_B + E_E) * CUP_{Dif}$$
 (23)

Los beneficios por combustible (BC) son:

$$BC = CC_{r} \tag{24}$$

Beneficio total (BT) será entonces:

$$BT = BE + BC \tag{25}$$

Existe otro beneficio que esta relacionado con la cantidad extra de energía generada por la central debido al proyecto en cuestión y el desplazamiento de operación de centrales cuyo costo de generación es mayor. Así este beneficio se calcula como:

$$BE_R = E_E * CE_R \tag{26}$$

Por lo que el beneficio total efectivo será la suma del beneficio total mas el beneficio por energía de remplazo (BE<sub>R</sub>). Donde en la ecuación anterior CE<sub>R</sub> es el costo de la energía que se está remplazando.

#### RESULTADOS.

La figura 3 muestra la estadística de la variación de la potencia generada con respecto a la temperatura de entrada del aire al compresor de la turbina de gas comparada con el modelo termodinámico (línea continua).

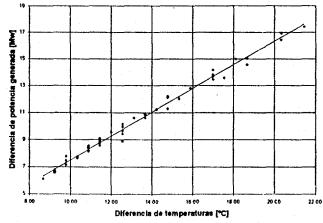


Figura 3. Variación en la generación eléctrica en función de la diferencia de temperaturas con una temperatura mínima de 8°C..

La figura 4 muestra los beneficios expresados para una unidad de gas en cuanto a la generación eléctrica esperada si se instalara una unidad de refrigeración de 1000 TR para el enfriamiento del aire en la succión del compresor. La consideración fue hecha en función de las posibilidades del enfriamiento de la masa de aire que entra a la casa de filtros del compresor a la temperatura ambiente. De aquí que a mayor temperatura entre el aire mayor será la potencia requerida para su enfriamiento a la temperatura deseada. Si se tuviera un sistema de gran capacidad (v.g. de alrededor de 1700 TR) se podría tener una generación constante de 72 MW durante todo el año.

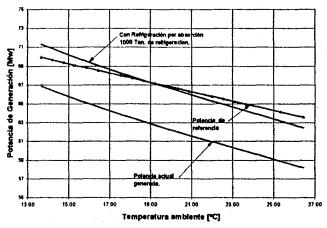


Figura 4. Potencia de generación vs. temperatura ambiente con y sin sistema de refrigeración y bajo condiciones de referencia.

La figura 5 muestra el comportamiento de ambas variables descritas en las figuras 4 y 5, a través del régimen térmico. Se observa claramente que este parámetro aumenta con la temperatura. Sin embargo el sistema de enfriamiento permite tener un valor más bajo. De aquí se puede deducir la variación del régimen térmico (Ahorro de régimen térmico, esto es Kcal/KWh) para una capacidad de enfriamiento de 1000 TR. Sin embargo se podrán generar todo el juego de curvas para diferentes potencias refrigerantes.

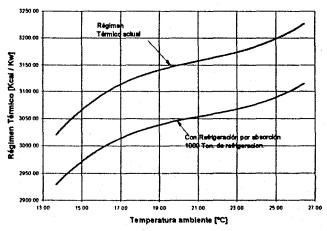


Figura 5. Régimen térmico de la turbina de gas en función de la temperatura ambiente con y sin sistema de refrigeración.

Una curva que permite apreciar más fácilmente el efecto de la capacidad del sistema de refrigeración sobre la generación eléctrica se muestra en la figura 6. En ella se aprecia la linealidad que existe entre la capacidad extra de generación y la del sistema de enfriamiento. Esto por supuesto ha sido posible corroborarlo mediante las hojas de diario de la planta en las que se reporta la temperatura ambiente y la generación cada dos horas (puntos sobre la gráfica). Es interesante señalar que así como es lineal el aumento en la generación eléctrica también lo es en los beneficios económicos pero al mismo tiempo se incrementa también casi linealmente la inversión en el sistema de refrigeración.

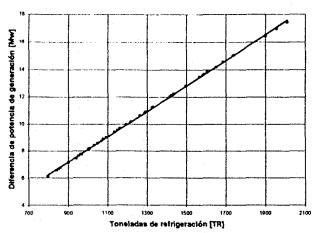


Figura 6. Aumento en la potencia de generación en función de la capacidad de refrigeración del sistema.

En función de los resultados anteriores es posible determinar las variables económicas y los beneficios esperados mediante la instalación del sistema de enfriamiento. La tabla 1 presenta el resumen de la información calculado para el año de 1995. Se aprecia en primer lugar que para cada unidad se tienen regímenes de operación ligeramente diferentes pero sin embargo su contribución es homogénea a lo largo del año. Cabe señalar que las Unidades 1,2,4, y 5 son las turbinas de gas (ciclo Brayton)y las unidades 3 y 6 las de vapor (ciclo Rankine). Al analizar los diferentes regímenes térmicos que se obtienen es posible determinar que existe un ahorro del orden de las 180 Kcal por unidad anualmente. Por otro lado se tienen beneficios primarios que por el conjunto de las unidades es superior a los 21 millones de pesos anuales. Si se considera la energía de remplazo entonces los beneficios totales son superiores a los 58 millones de pesos al año.

#### CONCLUSIONES.

La idea de enfriamiento del aire de succión de compresores no es nueva, pues se ha establecido desde hace ya algunos buenos años como una medida o área de oportunidad para el ahorro de energía. El hecho que a la entrada del aire al compresor deba ser tan frío como sea posible permite tener un aire más denso y por consiguiente se logrará comprimir mayor cantidad de aire con el mismo consumo energético. Partiendo de este principio, se planteó el proyecto que se evalúa en este trabajo.

La instalación de un sistema de refrigeración por absorción, aprovechando las corrientes de vapor de "deshecho" que se generan a la salida de la primera etapa de la turbina de vapor, es rentable de acuerdo con los beneficios esperados y mostrados en la tabla 1. De acuerdo con los costos directos de inversión, la capacidad de refrigeración que se seleccione es proporcional a la inversión y ésta lo es con los beneficios alcanzables y estos últimos dependen directamente de una toma de decisiones.

Puesto que los resultados mostrados en la tabla 1 se calcularon con una capacidad instalada de refrigeración de 1700 TR por unidad de gas, de ahí que la temperatura mínima fue fija a 8°C. El promedio de generación extra calculado también se hizo con base en el promedio de electricidad generada actualmente como función de la temperatura ambiente (figura 3) y promediadas en ciferentes intervalos de temperatura que se tienen durante el año. El beneficio sin contabilizar la energía de remplazo es muy atractivo, pues el mismo hace rentable la inversión del sistema de refrigeración por absorción. El valor calculado de \$21'668,714.00 de beneficio anual es en definitiva un valor poco común en los proyectos de ahorro de energía. Por supuesto que al considerar la energía de remplazo, el valor es superior y la rentabilidad del proyecto crece exponencialmente. La conclusión final es que la ejecución del proyecto debe considerarse prioritario.

Tabla 1. Resumen de los resultados de la evaluación de beneficios.

	i abia 1. Resultieti de 105 fesultados de la evaluación de penenciós.									
		U-1	U-2	U-3	U-4	U-5	U-6	Central		
Α	Generación Bruta (KWh)	484,652.00	460,499.00	746,360.00	568,809.00	584,665.00	766,170.00	3,611,155.00		
В	Generación neta (KWh)	474,802.00	450,229.00	732,670.00	558,499.00	573,735.00	753,040.0 <b>0</b>	3,542,975.00		
C	Consumo de gas real (M <sup>3</sup> )	190,605,820.00	181,829,278.00	55,036,772.00	206,177,793.00	209,411,199.00	70,644,644.00	913,705,506.00		
D	CUPr	80.71	80.71	80.71	80.71	80.71	80.71	80.71		
E	Régimen térmico real (Kcal/KWh)	3,327.18	3,340.45	623.84	3,066.52	3,030.14	780.05	2140.58		
F	Régimen Térmico esperado (Kcal/KWh)	3,154.27	3,167.75	622.82	2,912.74	2,878.14	778.78	2075.80		
G	Factor de planta (%)	78.55	74.49	83.64	88.55	90.97	85.96	83.91		
Н	Generación de electricidad recuperada (KWh)	76.45	76.45	80.58	76.61	76.61	80.58	78.16		
1	Beneficio por energía (\$)	2,145,633.69	2,034,588.12	98,555.66	2,418,700.16	2,484,682.94	101,295.75	9,283,456.33		
J	Beneficio por consumo de gas (\$)	3,044,811.20	2,894,469.67	28,384.01	3,175,847.42	3,211,479.04	30,266.69	12,385,258.03		
к	Sub total (\$)	5,190,444.89	4,929,057.80	126,939.67	5,594,547.58	5,696,161.99	131,562.44	21,668,714.36		
L	Beneficio por energía de remplazo. (\$)	8,515,470.65	8,074,759.24	366,335.00	9,599,201.56	9,861,070.31	376,520.00	37,120,381.22		
М	Total (\$)	13,705,915.54	13,003,817.04	493,274.67	15,193,749.15	15,557,232.30	508,082.44	58,462,071 13		

#### **NOMENCLATURA**

Calor específico del compuesto en función de la temperatura Cp(T) Entalpía específica de una mezcla de gases. h<sub>mezcla</sub> ,h<sub>sust</sub>: Entalpía específica del compuesto i. Humedad relativa. Hr Masa de la mezcla aire- agua. m Masa del combustible  $m_{comb} = v_{comb}^{\dagger} \rho_{comb}$ .

 $\boldsymbol{m}_{\text{comb}}$ Flujo másico del compuesto i.

 $m_i$ 

Coeficiente politrópico del proceso de compresión. n

P. Presión parcial del aire.  $P_{atm}$ Presión atmosférica.

Pg Presión de saturación de vapor de agua a la temperatura.

Pi Presión en el punto i.

Presión parcial del vapor de agua P,

Poder calorifico inferior. **PCI** 

PM, Peso molecular del compuesto i.

 $\mathbf{Q}_{\mathrm{sum}}$ Calor suministrado a la cámara de combustión.

Relación de presión. ۲p Relación de temperaturas. r<sub>T</sub>:

Temperatura a las condiciones buscadas. T, T,

TBH Temperatura de bulbo húmedo.

Temperara de bulbo seco. T<sub>BS</sub>

Temperatura de referencia (273.15 K). T,

Flujo volumétrico del combustible.  $V_{comb}$ 

Humedad específica

 $W_n$ Trabajo neto realizado por el ciclo W<sub>a</sub>= 1.02W<sub>a</sub>

 $W_{\text{Turbina}}$ Trabajo realizado por la turbina. Trabajo consumido en el compresor. W<sub>compresor</sub> Fracción molar del compuesto i. Y, Fracción másica del compuesto i.

Densidad del combustible.  $\rho_{\text{Comb}}$ 

#### **BIBLIOGRAFÍA.**

Romero Paredes H., J.J. Ambriz, A. Torres, M. Vargas, J.F. Gómez. 1996. "Incremento en la generación eléctrica en centrales de ciclo combinado. Proceedings of the International Congress "Engineering In Sustainable Development" FIUAEM'96. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca, México. 22-25 Mayo.

Wark Kenneth. Termodinámica. Ed. Mc Graw Hill. Cuarta edición 1984.

#### AGRADECIMIENTOS.

Los autores extienden un amplio agradecimiento a la CFE y especialmente al Ing. Víctor Martínez, Superintendente de la Central Ciclo Combinado de Tula, Hidalgo, por la oportunidad que brindó al equipo de la Universidad Autónoma Metropolitana para el desarrollo del conjunto de trabajos que se han llevado a cabo en la Central y uno de ellos a culminado con los resultados reportados en éste manuscrito. Gracias al cual, y como miembro del personal de la Central, el Ing. Oscar González Frayre se hizo acreedor al segundo lugar del Premio Nacional de Ahorro de energía Eléctrica, del Sector Eléctrico, Otorgado por la CFE, y quien lo hizo extensivo a los coautores. Al Ing. Oscar también Gracias.

M X9800047

经货票的复数 医髓管 医皮肤

## HERRAMIENTA COMPUTACIONAL PARA LA ELABORACIÓN Y SIMULACIÓN DE CURVAS DE CONSUMO EN USUARIOS DOMÉSTICOS

Dr. Gaudencio Ramos Niembro e Ing. Jorge E. Valdéz Ramos Instituto de Investigaciones Eléctricas

Apartado Postal # 1-475

Cuernavaca, Morelos 62090

Teléfono (73) 183811; email gframos@axp13.iie.org.mx

#### **RESUMEN**

El conocimiento y la simulación de los usos finales de la energía eléctrica, es un factor importante para las empresas eléctricas, ya que les permite la planeación de sus inversiones a largo plazo.

Anteriormente, las empresas eléctricas planeaban su crecimiento en función de la demanda. Sin embargo, en la actualidad se han desarrollado herramientas que permiten hacer la Administración de la energía por el Lado de la Demanda (Demand Side Management, DSM por sus siglas en inglés), la cual consiste en analizar el consumo del usuario y "modelarlo", de tal forma que se ahorre energía y se utilice en forma eficiente.

Para desagregar la curva de consumo de los usuarios domésticos, en función de los usos finales, es necesario considerar diversos factores: condiciones climáticas, localización geográfica, tipo de vivienda, número y edades de personas que la habitan, tipo y cantidad de aparatos que se tienen, potencia que demandan y su eficiencia, hábitos, etcétera.

De lo anterior se desprende que, los usuarios consumen la energía en forma diferente. En consecuencia, el conocimiento de su comportamiento permitirá construir su curva de consumo. Esto es posible a través de mediciones de campo (monitoreo al usuario) y/o de encuestas (preguntar al usuario cómo y cuando utiliza sus equipos y aparatos).

Los resultados de tales estudios deben de ser simulados, para así generalizar y caracterizar comportamientos, de tal forma que se cuente con alternativas de escenarios de operación de equipos y aparatos, para seleccionar potenciales de ahorro en energía y demanda.

#### 1. INTRODUCCIÓN [1,2,3]

Cada vez que encendemos un equipo o aparato eléctrico, estamos también tomando la decisión de cambiar confort por provocar un daño al medio ambiente. Posiblemente no estamos conscientes de que los grandes problemas ambientales, están asociados directamente con el uso y la producción de energía. Cotidianamente escuchamos: smog, lluvia ácida, calentamiento global, etcétera; pero ¿ cuantas veces nos hemos cuestionado que nosotros somos los culpables ?

Si estamos conscientes, valdría preguntarnos si tomamos en cuenta la eficiencia y el ahorro de los equipos que compramos, la forma en que los utilizamos y el mantenimiento que le damos ¿ sabe usted que por cada kWh de electricidad que no se consume, se deja de arrojar del orden de 1 kg de dióxido de carbono a la atmósfera ?

El dióxido de carbono, CO<sub>2</sub>, es el número uno de los contribuyentes en el calentamiento del planeta. Existen otros como el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y el ozono, cuya presencia es cada vez mayor en las áreas urbanas. Según los científicos, la temperatura del planeta podría incrementarse entre 3°C y 5°C en los próximos cien años. Nos hemos de casualidad preguntado ¿ cómo afectará esta situación al planeta ?

Si tomamos como ejemplo un refrigerador de 18 pies cúbicos de "vieja tecnología" y lo comparamos contra otro de "nueva tecnología", se tendrá un ahorro en consumo de 1,160 kWh, lo cual equivale a dejar de arrojar al año, una tónelada de CO<sub>2</sub> y 9 kg de dióxido de azufre. Otro ejemplo sería el reemplazo de una lámpara incandescente por una fluorescente compacta, con diferente Wattaje y la misma luminosidad. Desde el punto de vista consumo, la lámpara incandescente consume 75 Watts, mientras que la fluorescente compacta solo 18 Watts.

Los países del primer mundo <han tomado cartas en el asunto> desde la crisis petrolera al principio de los años setentas y los resultados obtenidos a la fecha son alentadores. Por ejemplo, en los Estados Unidos de Norteamérica, de 1973 a 1986, el producto interno bruto creció 36%, sin ninguno aumento en el consumo de la energía eléctrica. Según expertos del Lawrence Berkeley National Laboratory, se tuvo un ahorro de \$ 150 billones de dólares en los recibos de la luz y se dejó de arrojar a la atmósfera 1.5 veces la misma cantidad de CO<sub>2</sub>. También se ahorraron 13 millones de barriles de petróleo diarios y se dejaron de construir del orden de 250 plantas grandes de generación de energía eléctrica. Cabe también mencionar de que los Estados Unidos de Norteamérica consumen el 27 % de la energía eléctrica que se consume en el mundo.

Una de las herramientas utilizadas para la obtención de tales resultados, se le conoce como Administración por el Lado de la Demanda (Demand Side Management, DSM por sus siglas en inglés), la cual tiene por objeto evaluar el impacto tecno-económico de medidas de ahorro y uso eficiente de la energía en el consumo y la demanda de energía eléctrica.

Por lo anterior, se desarrolló en computadora un modelo de simulación de la curva de consumo de usuarios domésticos, el cual tiene como principal característica, el poder estudiar una gran diversidad de equipos, con diferentes forma de uso y considerando las características del país. El sistema consta de seis partes: equipos ON/OFF, equipos intermitentes, base de datos de archivos de equipos, base de datos de archivos de usuarios, simulación de escenarios y generación de salidas.

#### 2. COSTO DE LA ENERGÍA DOMÉSTICA 14,51

Desde el punto de vista cobro de la energía eléctrica, la CFE considera dos aspectos: la tarifa y el rango de consumo. La tarifa varía según la zona climática: los que viven en climas extremosos y requieren de aire acondicionado, pagan más barato los kWh que consumen. En lo que respecta a los rangos de consumo, cada tarifa tiene diferentes rangos, donde los primeros kWh son más baratos, y a partir de cierto nivel, se cobra el precio real de la energía. Existen a nivel nacional 6 tarifas, y 3 rangos en las primeras 5 tarifas, y 4 en la última.

Los precios de la energía eléctrica han permanecido bajos por muchos años. Entre 1970-1980 se registraron incrementos en el precio nominal, y a partir de 1978 se implementaron incrementos mensuales. Sin embargo, los precios reales descendieron, a pesar de los incrementos que se tuvieron en las tarifas, los cuales fueron insuficientes para compensar el fenómeno inflacionario. La figura 1 muestra la evolución de los precios, tomando como base 1991. Actualmente, debido a la crisis de 1994, el costo que se paga por la energía eléctrica, es del orden del 60 % de su valor real.

and the statement of a state frequency application by the province

the control of the state of the

So the control of the control of the configuration of the control of the control

of their productions of the configuration of the co

The court of the content is a second to a might be demonstrated the left of the first term of the firs

The contract of the state of th

The State of All and Breakfulling of a supple of the Allah

الفرارين المرارات فالمعاومات

than an invested markety in page 40.

ានដីម៉ែងស្គា ទស នៅម្ចស់ បានស្ថិត កេច

Es conveniente hacer notar de que de toda la energía vendida en el mundo la mitad esta subsidiada, con lo cual se alienta a los consumidores a derrochar la energía debido al bajo costo, propiciando un uso ineficiente. Sin embargo, la justificación a subsidios de la electricidad son sociales, ya que proporcionan acceso a ella a familias de bajos recursos, teniendo así información por medio de la radio y la televisión, almacenamiento de comida perecedera y confort.

#### 3. EL SECTOR DOMÉSTICO EN MÉXICO<sup>[6,7,8,9]</sup>

El tamaño y tipo de la vivienda, así como el número de miembros que forman una familia, son fundamentales para definir su consumo de energía eléctrica. Además, los usos finales más importantes variarán según el nivel de ingresos económicos y la localización geográfica.

En México, de las ventas totales en kWh de energía a nivel nacional, el 25.1 % lo consumen los usuarios domésticos. Se estima que los principales usos finales son la iluminación con el 43%, seguida de la refrigeración con el 22%, el aire acondicionado con el 20%, la televisión con el 12%, y otros usos diversos el 3%.

En el caso particular de los equipos de aire acondicionado, es una de las principales «cargas financieras» para los hogares mexicanos situados en zonas climas extremosos cálidos. Estimaciones indican que el consumo unitario por aparato es cercano a los 1,800 kWh/año, lo cual es debido entre otras cosas, a la baja eficiencia de los aparatos.

La tabla 1 muestra el resumen del consumo final y la saturación de equipos por sectores.

#### 4. MODELADO DE CURVAS DE CONSUMO<sup>[10,11]</sup>

La simulación de los usos finales en la demanda de electricidad, es un factor importante para la compañía suministradora en la planeación de la demanda, ya que el uso adecuado de ellos le permite determinar posibles ahorros en infraestructura, en el llenado de valles de la curva de consumo diaria y evitar altos picos en las horas de mayor demanda. En el caso del sector doméstico, el conocimiento del equipamiento y su forma de utilización, permiten determinar la forma en que el usuario consume la energía eléctrica, para después hacer estimaciones precisas, que permitan la implementación de medidas de ALD.

El modelo desarrollado por el IIE para tal efecto, se basa en tales conceptos: (a) simulación del funcionamiento de los diferentes equipos; y (b) encuestas de equipamiento y su utilización. La ventaja de este modelo es que no requiere de mediciones en campo las cuales son muy costosas, debido al tiempo y trabajo que se requiere para determinar patrones de comportamiento de usuarios bajo diversos escenarios.

Así, el modelo desarrollado consta de tres partes:

i) Una base de datos donde se encuentran simulados los diversos equipos que pueden existir en una casa; la

persona que explote el sistema tiene también la posibilidad de definir nuevos equipos y/o funcionamientos) diferentes.

The control of the commission of the commission

The transfer of the second of the

The appropriate contacting to and ACDS to

the second of the second of the second

In the control of the c

and the second of the second o

There are a divine a mount region the property

ne ter a mariner este a gri a marci continue i

- ii) Un sistema para definir las casas típicas y el número de usuarios en cada una de ellas, seleccionando los equipos:

  de la base de datos; y
- iii) Un sistema de análisis de la información, a través de figuras y tablas.

El modelo conceptual utilizado para el desarrollo del sistema SICUR (Simulación de Curvas de Consumo de Usuarios Residenciales), a diferencia de algunos desarrollados en países del primer mundo, permite simular una gran diversidad de equipos de alto y bajo consumo, donde estos últimos no son comúnmente simulados.

Dado el tipo de modelo y sus alcances, se utilizó como plataforma de desarrollo el sistema Visual Basic, el cual es un paquete orientado a objetos que trabaja bajo ambiente de Windows. Dicho paquete permite generar programas de explotación del sistema en forma muy interactiva con el usuario, aprovechando las ventajas que se obtienen al trabajar en ambiente Windows. Un ejemplo es el uso de ventanas y del mouse para la selección de menús, y el poder desplegar, los resultados en muy diversas formas.

A continuación se presentan las principales características del sistema.

#### 4.1 Estructura del programa.

El diseño conceptual del sistema consta de seis partes, tal y como se muestra en la figura 2: i) equipos ON/OFF; ii) equipos intermitentes; iii) base de datos de archivos de equipos; iii) base de datos de archivos de usuarios; iv) simulación de escenarios; y v) generación de salidas.

#### 4.1.1 Equipos ON/OFF.

Los equipos ON/OFF son aquellos que simulan aparatos que se encienden y se apagan cuando el usuario los desea y consumen una potencia constante. Ejemplos típicos en este tipo de equipos son un foco o una plancha. En lo que respecta a un foco, es clara su operación: cuando el usuario prende el interruptor se enciende, y cuando desactiva el interruptor lo apaga. En lo que respecta a la operación de la plancha, la pregunta que puede surgir es de que tiene un regulador para diferentes niveles (nylon, algodón, etc.); en este caso, el usuario seleccionará el consumo de potencia.

Para introducir la información de cada uno de los equipos ON/OFF en la base de datos, es necesario que se proporcione la siguiente información: (a) nombre: es el identificador del equipo; (b) potencia: consumo del equipo en Watts; (c) características: texto que permite diferenciar el equipo de los demás; (d) tipo de uso final: permite agrupar los equipos por tipo de uso en iluminación, televisión u otros; esta clasificación es importante, en la etapa de análisis de resultados (salidas), poder generar curvas desagregadas por usos "finales genéricos"; (e) tiempo y forma de uso del equipo: es el identificador del tiempo de encendido característico por tipo de día y época del año; los días se clasifican en: normal, feriado, sábado/domingo, y las épocas del año en: primavera, verano, otoño, e invierno; el usuario podrá definir un funcionamiento diferente para un mismo equipo ON/OFF, para cada tipo de día y para cada época del año; otra alternativa es que el sistema tiene la capacidad para que el usuario defina encender y apagar el equipo 12 veces a lo largo del día; (f) eficiente: es un identificador que permite conocer si el equipo es o no eficiente; (g) localidad: permite identificar si el equipo es utilizado preferentemente en zona urbana, rural o ambas; (h) ingresos del usuario: identifica el nivel de ingresos del usuario en alto, medio o Bajo. La figura 3 muestra, a titulo de ejemplo, la programación de una lámpara incandescente.

#### 4.1.2 Equipos intermitentes.

Los equipos intermitentes son aquellos que tienen una frecuencia de encendido y demanda de consumo variable, es decir, permiten simular aparatos que no tienen un consumo constante de potencia mientras están encendidos, y siempre están conectados, y/o se encienden cuando el usuario lo desea y se apagan cuando la programación seleccionada se termina; ejemplos típicos serían el refrigerador, la lavadora y el aire acondicionado, respectivamente.

Para introducir la información de estos equipos en la base de datos, es necesario proporcionar la siguiente información: (a) nombre: es el identificador del equipo; (b) potencia: consumo promedio del equipo en Watts; (c) características: permite al usuario dar un texto para diferenciar el equipo de los demás; (d) tipo de uso final: se utiliza para agrupar los equipos por tipo de uso en: refrigeración, aire acondicionado y otros; esta clasificación permite, en la etapa de análisis de resultados (salidas), poder generar curvas desagregadas por usos "finales genéricos"; (e) tiempo de uso del equipo: este identificador funciona diferente para cada tipo de uso final, ya que cada equipo tiene un modo de operación diferente; más adelante se resumen los equipos que el sistema simula; (f) eficiente: es un identificador de si el equipo es eficiente o no

(solo afecta al uso final refrigeradores); cuando se realiza la simulación el programa verifica si es eficiente y en caso afirmativo selecciona automáticamente el promedio de demanda durante el día en las diferentes temporadas del año para refrigeradores eficientes; estos datos se tomaron de mediciones en campo realizadas por Lawrence Berkeley National Laboratory; (g) localidad: identifica si el equipo es utilizado preferentemente en una zona urbana, rural o ambas; (h) ingresos del usuario: clasifica al usuario por ingresos altos, medios y bajos.

A continuación se da el detalle de la programación tanto definida internamente por el paquete, como la que deberá de hacer el usuario del sistema, para los diferentes equipos intermitentes.

refrigerador.- No se pide el tiempo de uso del equipo durante el día ya que el programa asume un uso de las 24 horas, con un tiempo de encendido máximo al día de 8 horas, y con un encendido de 2 a 4 veces por hora, que el usuario selecciona. La potencia que demanda el equipo durante las diferentes temporadas del año y horas del día, son afectadas con base en experimentos que reporta la literatura como promedios típicos, tomando como base la potencia del equipo que defina el usuario y afectadas por un promedio de demanda preestablecido según la hora del día. La figura 4 muestra un ejemplo.

Aire acondicionado.- El sistema tiene dos alternativas: primera, se puede encender y apagar el equipo hasta cuatro veces al día, lo cual permite simular que la persona puede salir y regresar a la casa cuatro veces, y en cada una de ellas apagar y prender el aparato; y segunda, durante cada hora de operación, es necesario definir: cuantas veces se prende y apaga el equipo en una hora, y cuanto tiempo dura encendido, entre 1 a 15 minutos o 1 a 30; respectivamente. El equipo está programado "internamente" para que la potencia máxima de operación varíe en cada época del año. En lo que respecta al día típico existen dos: lunes a viernes o sábado/domingo/día feriado.

Lavadora de ropa. Este equipo funciona bajo un programa de operación preestablecido y pude ser utilizado varias veces al día, por lo que solo se debe de introducir la hora(s) de encendido. Así mismo, no tiene ningún efecto en la operación de la lavadora el día típico y la época del año. Los tiempos de encendido que se den de alta para los equipos deben ser mayores en ½ hora del encendido anterior, debido a que el tiempo de operación del equipo es de ½ hora. El sistema simula cada intervalo de uso del equipo de la siguiente manera: (a) 100% de demanda de potencia para los primeros 10 minutos; (b) 25% los siguientes 5 minutos; (c) demanda del 100% los próximos 10 minutos; y (d) demanda del 75% para los últimos 5 minutos. La figura 5 muestra el consumo y la demanda, de la lavadora típica.

Secadora de ropa y lavadora de platos. Para estos equipos solo se pide la hora de encendido, con un máximo de 4 veces de operación al día; el uso del equipo se toma automáticamente para día normal o sábado/domingo/día feriado, en las diferentes temporadas del año. Los tiempos de encendido que se den de alta para los equipos deben ser mayor en ½ hora del encendido anterior, debido a que se considera un tiempo de uso del equipo de ½ hora como máximo. La demanda del equipo será del 100%, durante el tiempo que esté encendido.

#### 4.2 Base de datos de archivos de equipos.

Esta es propiamente la primera etapa de la simulación; en efecto, durante esta fase, el usuario del sistema crea toda una serie de archivos para los diferentes usos finales, con las características que se indicaron en los incisos anteriores. La figura 6 muestra en forma esquemática cómo quedan conformados los archivos para los diferentes equipos: lámparas, planchas, refrigeradores, aires acondicionados, televisores, radios, etc. El sistema tiene la capacidad para generar un número ilimitado de archivos, y el número de equipos en cada uno de ellos está limitado a un máximo de cincuenta.

#### 4.3 Base de datos de archivos de usuarios.

Esta es la segunda etapa de la simulación, es decir, una vez que tenemos almacenada la forma de operación de todos los equipos, se procede a definir cual es el equipamiento de cada casa, léase usuario.

La figura 7 muestra el alcance del sistema para crear los archivos de usuarios: i) el número de usuarios que se pueden generar es ilimitado; ii) el número de equipos que se pueden considerar para cada usuario es limitado; iii) solo se pueden seleccionar equipos de 10 archivos intermitentes; y v) un mismo equipo se puede seleccionar cuantas veces se quiera; por ejemplo: 3 focos de recámara, 2 focos de cocina, 3 televisores, etc.; recuerde que el modo de operación es el mismo y en caso de que se quiera, por ejemplo, que las televisiones idénticas funcionen a diferentes horarios, será necesario definirlos en la etapa anterior.

#### 5. SIMULACIÓN DE ESCENARIOS

Esta etapa es la tercera del proceso y es en la que se selecciona a los usuarios que se quieren simular; el alcance en esta etapa es el siguiente: i) el número de tipos o grupos de usuarios que se pueden simular es ilimitado; ii) se pueden seleccionar todos los tipos de usuarios; y iii) un mismo usuario se puede simular cuantas veces se quiera.

En lo que respecta a los datos de salida que se obtienen de la simulación, pueden solicitarse para las diferentes temporadas (primavera, verano, otoño e invierno), y para los diferentes días de la semana (normal, feriado, sábado y domingo).

Los datos de salida que se pueden obtener en cada caso son: i) desagregación de la curva de consumo por usos finales (equipos); ii) desagregación de la curva de consumo por tipos de usuarios; iii) gráfica de demanda coincidente en el día minuto a minuto; iv) promedio de participación de los usos finales en total y horaria; v) promedio de participación de los diferentes tipos de usuarios y su consumo demandado en el día, número de usuarios simulados en total y por bloques de tipo de usuario; vi) archivos de datos con la simulación hecha para las diferentes temporadas y días del año, con objeto de ser exportables a otras bases de datos; y vii) archivo con las gráficas desagregadas por uso final, tipo de usuario y demanda coincidente.

A continuación se presentan los resultados de un ejemplo que permite mostrar como es posible, modificando la forma de operación de los equipos, cambiar la curva de demanda; el caso específico consiste en alterar la operación simultanea de equipos en la hora pico, logrando reducir esta.

#### 5.1 Datos de entrada del modelo.

El ejemplo que se simula tiene las siguientes características:

- i) <u>usuario típico</u>: se entiende por usuario típico, al conjunto de usuarios que tienen un comportamiento similar a lo largo del día.
- forma de consumo: para cada usuario típico, que es en realidad un grupo de usuarios, se debe proporcionar una tabla que tiene agregados los consumos según el tipo de equipamiento que se le asignó, tanto en cuanto a su forma de uso, como de consumo particular de cada uno de los equipos. En otras palabras, creamos una base de datos con "formas de consumo" de "usuarios típicos".
- iii) <u>definición de la muestra</u>: cuando queremos simular un escenario de consumo, debemos definir, que tipos de "usuarios típicos" queremos y cuantos usuarios vamos a considerar en cada caso.

Con base en lo anterior, supongamos un ejemplo con las siguientes características: a) un total de 127 usuarios; b) existen 11 grupos diferentes de equipamiento o "usuarios típicos"; y c) el número de usuarios en cada "usuario típico", y sus consumos por mes son: 8 de 28.20 kWh; 10 de 58.20 kWh; 15 de 110.90 kWh, 25 de 163.20 kWh, 23 de 219.60 kWh, 21 de 282.60 kWh; 10 de 381.35 kWh, 4 de 421.10 kWh, 6 de 573.20 kWh. 2 de 648.20 kWh y 3 de 908.90 kWh.

#### 5.2 Datos de salida del modelo.

El sistema nos proporciona como salidas gráficas y tablas, que permiten conocer tanto la forma como la cantidad del consumo en intervalos de media hora.

Los datos de salida del ejemplo antes mencionado se pueden apreciar en las figuras 8 a 10, donde se muestra: la demanda coincidente minuto a minuto, la demanda de energía en forma horaria por tipo de usos finales y la demanda de energía en forma horaria pero por tipos de usuarios, respectivamente.

Dichas gráficas nos permiten analizar la demanda de energía desde los tres puntos de vista, posiblemente más importantes: demanda instantánea, impacto del tipo de equipamiento en la demanda, e influencia del tipo de usuario en la curva de demanda, respectivamente.

Como ya se sabe, lo importante de la Administración por el Lado de la Demanda es modificar la curva de demanda, modificando o el consumo de los equipos o la hora en que se utilizan.

Si observamos con detenimiento las curvas agregadas de las figuras 9 y 10, que es finalmente la misma, se tienen dos picos en la tarde, uno a las 18:00 horas y otro a las 20:30 horas. Lo anterior se debe a que en la simulación se consideró que todas las amas de casa planchan a las 17:00 horas.

Si corremos una simulación, donde distribuimos las horas de planchado entre las 17:00 y las 20:00, obtenemos la curva que se muestra en la figura 11, la cual presenta un solo pico en la noche. Si se comparan ahora las curvas 8 y 11, vemos que el concepto "otros", que es donde están incluidas las planchas, muestran un comportamiento diferente.

En resumen, la acción de cambiar la forma de utilización de las planchas permitió: i) que se modificara la forma de la demanda; ii) que la hora pico se cambie; y iii) que la carga se distribuya más, llenando el valle de las 19:00 horas.

#### 6. CONCLUSIONES

Se presentó una herramienta computacional y los principios que en ella subyacen, necesaria para la simulación de curvas de consumo de energía por usos finales en los usuarios domésticos en México.

El modelo se desarrollo con objeto de poder simular escenarios de consumo en usuarios domésticos, para determinar posibles aplicaciones de programas de ahorro y uso eficiente de energía, dentro de programas de Administración por el Lado de la Demanda.

Como se indicó, existen muy variados modelos reportados en la literatura, que permiten simular curvas de consumo por usos finales; sin embargo, estos modelos por lo general simulan usuarios con características diferentes a las existentes en nuestro país (económicas, sociales, hábitos, etc.); por ejemplo, en Estados Unidos se desarrollan para simular equipos de acondicionamiento de espacio que tiene un gran consumo de energía, especialmente aire acondicionado y calefacción (36% del total). Por el contrario, en el caso de México los equipos que demandan más energía son las lámparas incandescentes y el refrigerador (65% del total).

En el trabajo se explica la metodología, los criterios tomados y los alcances del sistema; para el análisis de los datos, las salidas del modelo presentan una gran variedad alternativas de análisis: (a) desagregación de la curva de consumo por usos finales, es decir iluminación, refrigeración, aire acondicionado, televisión y otros; (b) por usuarios; (c) porcentaje de participación de los usos finales; (d) demanda máxima y mínima durante el día; (e) demanda minuto a minuto y consumo de los usos finales durante las horas del día; y (f) archivos genéricos de datos exportables a otras plataformas de programación, para poder hacer análisis económicos y así evaluar, desde otro punto de vista, las medidas más convenientes de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica.

#### 7. REFERENCIAS

- [1] A. Wilson and J. Morrill; "Consumer Guide to home Energy Savings"; ACEEE Home Energy Magazine; 1991.
- [2] C.J. Hocevar; "USAID responds to global climate Change mandats"; A Quartelery Newsletter for Energy Environment Development; pp 4-7; October, 1994.
- [3] World Energy Council; "International energy data: WEC Member Countries National Energy Data Profiles"; Report 1992; December, 1992.
- [4] "Tarifas"; Gerencia Comercial; CFE; diciembre, 1995.
- [5] J.A. Rojas Nieto; "El Contexto Energético de la Integración Económica de América del Norte"; Simposio México: los Relevos Energéticos-Ambientales, Desarrollo económico con Energía Limpia; pp. 39-54; UNAM; 20 y 21 de agosto de 1992.
- N. K. Andrea y Omar R. M.; "Demanda de Electricidad Residencial en América Latina: Análisis Comparativo de Nueve Países"; International Energy Studies; Lawrence Berkeley Laboratory; Primera Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano; pp. 59-72; México DF; 1 y 2 de Diciembre de 1991.
- [7] G.L. Fernández; "Usos Finales de la Energía en la Ciudad de México". División de Estudios de Posgrado. Facultad de Ingeniería UNAM; Primera Reunión Internacional Sobre Energía y Medio Ambiente en el Sector Residencial Mexicano; pp. 141-44; México DF; 2-3 de Diciembre 1991.
- [8] R. Friedmann; "El Sector Eléctrico Residencial Mexicano: Principales Usos Finales y Potencial de Ahorro". Energy & Resources Group Building T-4, Room 100; University Of California; Berkeley California 94720, Estados Unidos de América, Fax: 510/642-1085.
- [9] Odón de Buen; "Análisis del Consumo de Energía Eléctrica a Nivel Doméstico en México y Procedimiento de Estimación de Ahorros de Energía Eléctrica en Casas Habitación Ubicadas en Regiones de Clima Cálido Seco"; Programa Nacional del Uso Racional de la Energía; CFE; Noviembre de 1987.
- [10] G. Ramos Niembro γ J.E. Valdez Ramos; "Alternativas para la Descomposición de Curvas de Consumo de Energía Eléctrica en el Sector Doméstico"; VIII Seminario IMP-IIE-ININ Sobre Especialidades Tecnológicas; junio, 1996.
- Jorge E. Valdéz Ramos; "Análisis de la Curva de Consumo de Usuarios Domésticos"; Tesis de Licenciatura; Universidad Autónoma de Baja California-Instituto de Investigaciones Eléctricas; diciembre 13, 1995.

SECTOR	URBANO		RU	RAL	TOTAL NACIONAL	
Uso final	Consumo	Saturación	Consumo	Saturación	Consumo	Saturación
Cocción	47.3	-	80.3	•	31.1	-
Calentamiento de agua	38.0	•	12.5	-	27.3	•
Calefacción	0.4	14	n.d.	0	0.3	10
Huminación	5.8	. 98	4.0	57	5.0	86
Refrigeración	4.0	70	0.7	24	2.6	58
Televisión	1.8	88	0.2	38	1.1	76
Aire acondicionado	1.4	8	0.0	1	0.6	8
Lavado de rope	0.4	58	0.0	- 3	0.2	42
Planchado de ropa	0.7	80	0.3	38	0.5	68
Otros	0.2	100	2.1	100	1.0	100

Tabla 1. Consumo residencial de energía por uso final, en porciento; (1987).

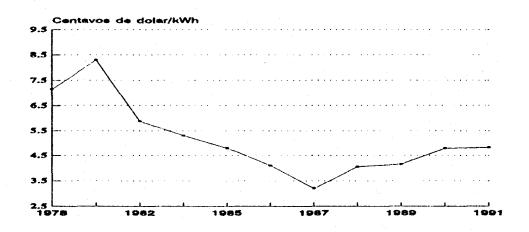


Figura 1 Evolución de los precios de la electricidad en el sector residencial mexicano.

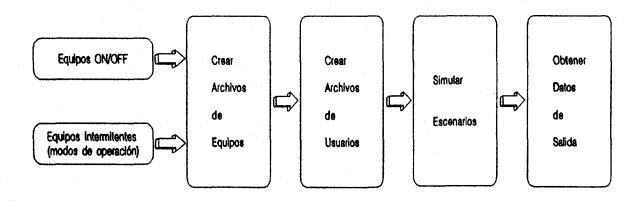


Figura 2. Diagrama a bloques del sistema SICUR.

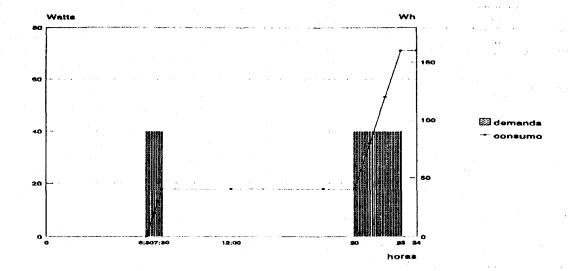


Figura 3. Operación típica de una lámpara incandescente (consumo y demanda).

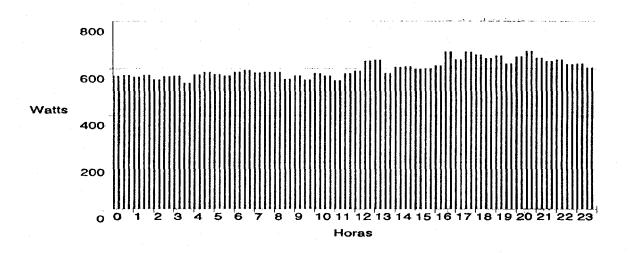


Figura 4. Demanda y consumo de energía de un refrigerador durante el día: frecuencia de encendido de cuatro veces por hora y una duración de encendido de 5 minutos.

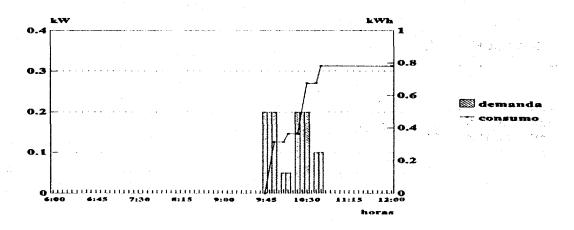


Figura 5. Demanda y consumo de energía de una lavadora.

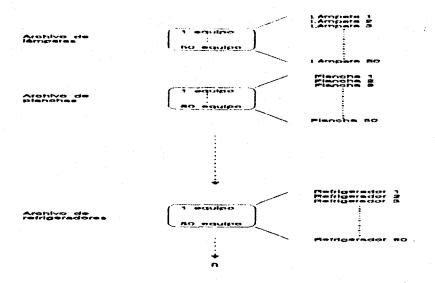


Figura 6. Estructura de los archivos de equipos intermitentes y on/off.

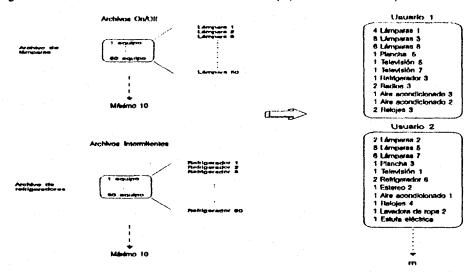


Figura 7. Forma de creación de los archivos de tipos de usuarios.

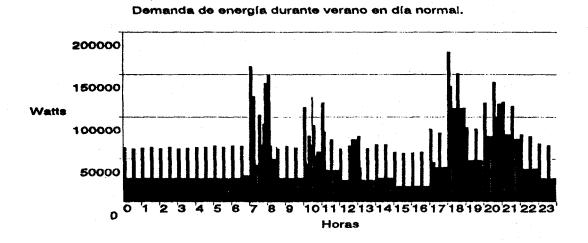


Figura 8. Demanda coincidente minuto a minuto: ejemplo 1.

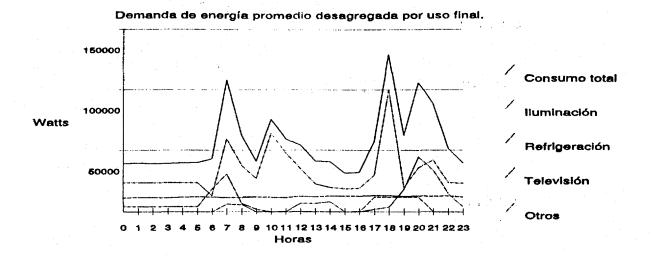


Figura 9. Demanda de energía: ejemplo 1.

Demanda de energía promedio desagregada por tipo de usuario.

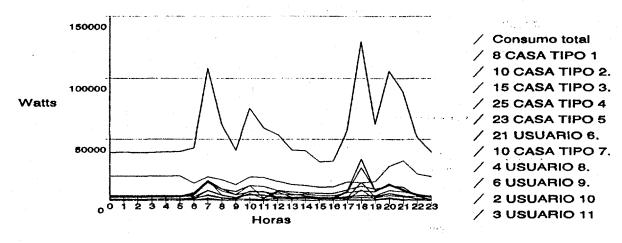


Figura 10. Demanda de energía: ejemplo 1.

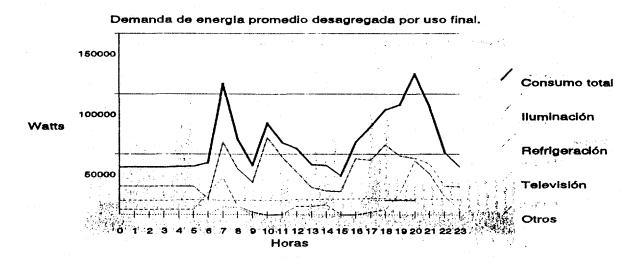


Figura 11. Demanda de energía: ejemplo 2.

## OBTENCION DE AHORROS ADICIONALES DEL PROYECTO "FILUMEX" MEDIANTE LA COMPENSACION DE LA POTENCIA REACTIVA

Enrique L. Cervantes Jaramillo Miguel Angel Loredo Gutíerrez Eduardo Hernández Hernandez Comisión Federal de Electricidad - Gerencia de Distribución Rio Ródano 14 Col. Cuauhtémoc 06598 México, D.F. 553-6530 553-6680 Fax

#### RESUMEN.

Se presenta la propuesta para establecer en una forma paralela al proyecto FILUMEX, la compensación en la red de media tensión del incremento de la potencia reactiva suministrada al usuario doméstico. Este es debido a los siguientes tres fenómenos que ocurren al sustituir los focos incandescentes por lámparas fluorescentes:

- a) Una lámpara fluorescente tiene un factor de potencia de 0,9, por lo que requiere el suministro de una potencia reactiva de aproximadamente el 50% de su capacidad
- b) Al sustituirse un foco incandescente por una lámpara fluorescente, se deja de suministrar aproximadamente el 80% de su capacidad, lo que conlleva la desaparición de buena parte de la carga puramente resistiva del usuario; lo cual ocasionará que su factor de potencia natural sea disminuído de 0,91 a 0,86 atrasado.
- c) Al disminuirse la demanda máxima anual del circuito de distribución en una proporción mayor que la disminución de su consumo anual, sus factores de carga y de pérdidas anuales se verán incrementados y por consiguiente; en proporción, sus pérdidas anuales de energía se verán incrementadas en un 18,9%.

Lo anterior, da origen a que la compensación de la potencia reactiva mediante la instalación de bancos de capacitores en la troncal del circuito de distribución, sea una solución técnico-económica altamente atractiva, con una relación Beneficio/Costo de 4, un Tiempo de Retorno de la Inversión de 2 años y un Beneficio Neto de 4,78 \$/Usuario.

#### 1. ANTECEDENTES.

Mediante el proyecto "FILUMEX", la CFE sustituirá en las ciudades de Guadalajara, Jal. y Monterrey, N.L., alrededor de 1 800 000 focos incandescentes de uso doméstico, por lámparas fluorescentes de alta eficiencia y de alto factor de potencia

Este proyecto, constituye el más ambicioso y rentable de l os emprendidos en el país con el propósito de obtener ahorros significativos en el consumo de energía; así como también para liberar capacidad en las instalaciones eléctricas.

Sin embargo, este proyecto puede ser optimizado mediante la compensación del incremento de la potencia reactiva suministrada al usuario, el cual es originado por la sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes.

#### 2. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

La factibilidad del presente proyecto está fundamentada en los siguientes tres fenómenos que ocurren en el sistema de distribución, al sustituirse focos incandescentes por lámparas fluorescentes.

#### 2.1 Incremento del Suministro de la Potencia Reactiva.

Al sustituirse un foco incandescente por una lámpara fluorescente de alta eficiencia, se deja de suministrar aproximadamente el 80% de la capacidad del foco incandescente; pero como contraparte, debido a que la lámpara tiene un factor de potencia de 0,9 atrasado, ahora se tiene que suministrar adicionalmente una potencia reactiva, equivalente aproximadamente al 50% de la capacidad de la lámpara fluorescente.

Figura No. 1. Efecto de la sustitución de un foco incandescente por una lámpara fluorescente.

El proyecto FILUMEX contempla que en promedio en cada casa se sustituirán un foco de 100 W y dos focos de 75 W, por una lámpara de 22 W y dos lámparas de 15 W. Esto significa que a cada usuario doméstico se le tendrán que suministrar 25 VAR de potencia reactiva adicionales, los cuales deberán ser transmitidos desde la central generadora hasta la carga, produciendo pérdidas de energía y disminuyendo además la capacidad útil de las instalaciones por las que fluyen.

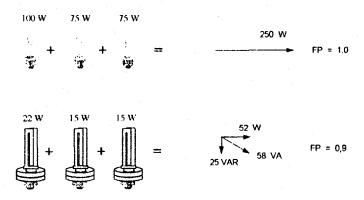


Figura No. 2. Efecto de la sustitución en cada casa de un foco de 100W y 2 focos de 75W por una lámpara de 22 W y 2 lámparas de 15 W.

## 2.2 Disminución del Factor de Potencia Natural de la Carga del Usuario al Disminuirse su Demanda de Potencia Activa.

Un usuario doméstico promedio tiene una demanda máxima anu al de 1,064 kVA con un factor de potencia natural de 0,91. La sustitución de 3 focos incandescentes (250 W), por 3 lámparas flourescentes (52 W), conlleva la desaparición de buena parte de la carga puramente resistiva del usuario (198 W); lo cual ocasionará que su vez su factor de potencia natural disminuya de 0,91 a 0,86 atrasado.

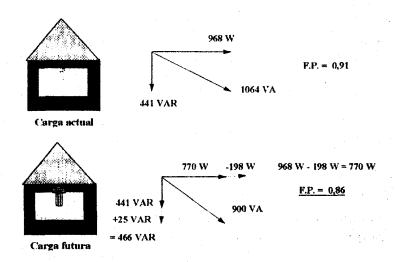


Figura No. 3. Efecto de la disminución del factor de potencia Natural del usuario al disminuirse su demanda de potencia activa.

#### 2.3 Incremento del Factor de Carga Anual y del Factor de Pérdidas.

Otro resultado obtenido debido a la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes, es que la demanda máxima anual del circuito de distribución residencial típico que se tomó para efectuar el trabajo se verá disminuída de 5 500 a

4 650 kVA (un 15,5%); en tanto que su consumo anual se verá disminuído de 25 164 a 22 179 mWH (un 11,8%).

Esto origina que el factor de carga anual del circuito de distribución se verá incrementado de 0,57 a 0,64; y por consiguiente su factor de pérdidas se verá incrementado también de 0,37 a 0,44 (Fp = 0,15 Fc + 0,85 Fc2); lo cual tiene como consecuencia que en proporción, las pérdidas anuales del circuito se verán incrementadas en un 18,9%.

#### 3. CUANTIFICACION DEL PROYECTO.

#### 3. 1 Bases para el Análisis.

Los circuitos de media tensión presentan una gran diversidad tanto en su topología como en las características de los usuarios a los cuales alimentan. Por cuyo motivo, para el presente trabajo se consideró un circuito de distribución residencial típico, el cual puede considerarse como representativo del comportamiento general que se tendrá en la red de distribución.

#### 3.1.1 Características de la Carga Actual.

En la Cd. de Monterrey, N.L., se tiene bajo estudio un ramal con carga residencial popular (Fomerrey-San Bernabé), el cual comprende una superficie de 25,5 hA., con una muestra de 996 usuarios residenciales.

Su demanda máxima anual diversificada a nivel ramal durante 1994 fue de 0,532 kVA/Usuario, con un factor de potencia natural de 0,91 atrasado; en tanto que su consumo de energía anual fue de 2 436 kWH/Usuario. El factor de coincidencia a nivel ramal fue de 0,5, lo cual da una demanda máxima no coincidente de 1,064 kVA/Usuario a nivel acometida.

Estas características de la carga son las que se tomaron como base para la realización del presente trabajo.

#### 3.1.2 Características de la Carga Futura.

Al efectuar la sustitución para cada usuario de un foco de 100 W y de 2 focos 75 W, por una lámpara de 22 W y dos lámparas de 15 W; su demanda máxima anual se disminuirá a 0,9 kVA/Usuario, con un factor de potencia de 0,86 atrasado; en tanto que el consumo de energía anual será de 2 147 kWH (considerando 4 horas diarias de uso por lámpara).

#### 3.1.3 Características del Circuito de Distribución.

En la realidad es muy dificil que un circuito de distribuc ión alimente una carga que en su totalidad corresponda con la del tipo residencial seleccionado. Por cuyo motivo, para efectuar el presente estudio se decidió considerar para el análisis un circuito residencial típico de forma triangular, con 3 kM de longitud en la base y 3 kM de altura.

Asimismo, la política actual de la División Golfo Norte es la de que sus circuitos de distribución tengan una demanda máxima anual de alrededor de 5 500 kVA; lo cual

representa para el área servida por este circuito de distribución, una densidad de carga actual de 12,22 kVA/hA y futura de 10,34 kVA/hA; así como la alimentación de un total de 10 330 usuarios del tipo residencial popular.

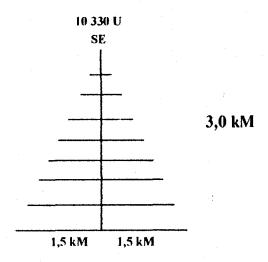


Figura. No. 4. Configuración del Circuito de Distribución Residencial Típico.

#### 3.1.4 Características de los Ramales.

Los transformadores de distribución están alimentados mediante ramales monofásicos (1F-2H), a una tensión de 13,8 kV y con conductores de AAC 1/0 AWG.

El circuito de distribución estará constituído por 50 rama les (25 a cada lado de la troncal), espaciados cada 120 M., en tanto que la carga alimentada por cada ramal estará en función de la densidad de la carga (kVA/hA), la longitud del ramal y su área servida (60 M. a cada lado).

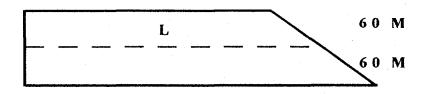


Figura No. 5. Area Servida por cada Ramal.

#### 3.1.5 Características de la Troncal.

Los ramales del circuito de distribución están alimentados mediante una troncal trifásica (3F-3H), a una tensión de 13,8 kV y con conductores de AAC 397.5 kCM.

#### 3.2 Ahorros en Pérdidas de Energía y de Demanda.

Las pérdidas de energía y de potencia para las condiciones actual y futura (después de la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes), fueron calculadas tal como se detalla en el Anexo No. 2.

Los ahorros de energía y de potencia obtenidos mediante la compensación de la potencia reactiva fueron calculados usando el método de Maxwell (tomado del libro Compensación de Potencia Reactiva en Sistemas Eléctricos, de Juan Antonio Yebra Morón); tal como se detalla en el Anexo No. 3.

La compensación de la potencia reactiva que produce los mayores beneficios económicos es lograda instalando un banco de capacitores fijo, de 900 kVAR, a 2 460 M de la fuente, con lo cual se mejora el factor de potencia del circuito de distribución de 0,86 a 0,95 atrasado.

#### 3.2.1 Pérdidas Actuales del Circuito de Distribución.

Las pérdidas del circuito de distribución anteriores a la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes son las siguientes:

Pérdidas de energía: 276 727 kWH (1,09%) Pérdidas de potencia: 86,3 kW (1,70%)

## 3.2.2 Pérdidas y Ahorros de Pérdidas Futuros del Circuito de Distribución.

Las pérdidas del circuito de distribución posteriores a la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes son las siguientes:

Pérdidas de energía: 237 672 kWH (1,06%) Pérdidas de potencia: 61,8 kW (1,53%)

Los ahorros de pérdidas obtenidos debido a la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes son los siguientes:

Ahorro de pérdidas de energía: 39 055 kWH (14,1%) Ahorro de pérdidas de potencia: 24,5 kW (28,4%)

# 3.2.3 Pérdidas y Ahorros de Pérdidas del Circuito de Distribuci ón Posteriores a la Compensación de la Potencia Reactiva

Las pérdidas del circuito de distribución posteriores a la compensación de la potencia reactiva serán las siguientes:

Pérdidas de energía: 216 527 kWH (0,97%) Pérdidas de potencia: 56,8 kW (1,41%)

Los ahorros de pérdidas obtenidos debido a la compensación de la potencia reactiva serán los siguientes:

Ahorro de pérdidas de energía:	21 145	kWH	(8,9%)
Ahorro de pérdidas de potencia:	5	kW	(8,1%)

Como se observarámediante la compensación de la potencia reactiva se obtendrán ahorros adicionales de pérdidas de energía y de potencia de un 54% y un 20% respectivamente, de los ahorros obtenidos en el circuito de distribución mediante el Proyecto FILUMEX para la sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes de uso doméstico; lo cual constituye una clara indicación de los beneficios que proporcionará este proyecto de compensación de la potencia reactiva.

# 3.2.4 Pérdidas y Ahorros de Pérdidas del Circuito de Distribuci ón Resultantes del Efecto Conjunto de la Sustitución de los Focos Incandescentes y de la Compensación de la Potencia Reactiva.

Las pérdidas del circuito de distribución posteriores a la sustitución de los focos incandescentes y a la compensación de la potencia reactiva, serán las siguientes:

Pérdidas de energía:	216 527	kWH	(0,97%)
Pérdidas de potencia:	56,8	kW	(1,41%)

Los ahorros de pérdidas obtenidos debido a la sustitución de los focos incandescentes y a la compensación de la potencia reactiva, serán los siguientes:

Ahorro de pérdidas de energía:	60 200	kWH	(21,8%)
Ahorro de pérdidas de potencia:	29,5	.kW⊸	(34,2%)

Como se observará, el efecto conjunto de la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes, así como la compensación de la potencia reactiva, produce en el circuito de distribución ahorros de pérdidas de energía y de potencia de un 21,8% y un 34,2% respectivamente, de las pérdidas actuales del circuito de distribución; lo cual constituye una clara indicación de los beneficios que en cuanto a reducción de pérdidas proporciona la sustitución de los focos incandescentes por lámparas fluorescentes, aunada con la compensación de la potencia reactiva.

# 4. DESCRIPCION DE LAS ACCIONES PROYECTADAS PARA LOGRAR EL AHO RRO DE ENERGIA.

El Proyecto FILUMEX debe de ir acompañado por un proyecto paralelo de instalación de bancos de capacitores, para compensar la potencia reactiva demandada por las lámparas fluorescentes; así como también por la disminución del factor de potencia natural de la carga de los usuarios domésticos, al desaparecer buena parte de su carga activa.

Para el éxito del proyecto es necesario realizar las sigui entes acciones:

a) Efectuar la medición de la **demanda máxima anual** y de su **factor de potencia** correspondiente, para cada uno de los circuitos que alimenten carga del tipo residencial, **antes** y **después** de la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes

- b) Obtener el factor de carga anual para cada uno de estos circuitos, antes y después de la sustitución de los focos incandescentes por las lámparas fluorescentes
- c) Efectuar el **análisis** correspondiente para cada circuito, a fin de determinar la **capacidad** y la **localización** óptima de los bancos de capacitores; todo esto, realizado desde un punto de vista técnico-económico
- d) Proceder a la instalación de los bancos de capaci tores resultantes del estudio
- e) Efectuar un **seguimiento de la operación** de los bancos de capacitores a fin de **mantenerios en buen estado y operando**
- f) Efectuar la evaluación económica, de los beneficios obtenidos debido a la implantación conjunta del proyecto FILUMEX y al de la compensación reactiva.

#### 5. ANALISIS ECONOMICO.

El análisis económico del presente trabajo está efectuado en base a las siguientes consideraciones:

Factor de Con versión de la Moneda:

7.5 \$/DOLLUSA

Tasa de Descuento:

10 %

Costos Marginales de las Pérdidas para el nivel de Subtransmisión: (Tomados del Estudio Tarifario realizado por la CFE en 199 1)

Potencia:

40.00 DOLLUSA/kW

300,00 \$/kW

Energía:

0,047 DOLLUSA/kWH

0,35 \$/kWH

Costo de los Bancos de Capacitores:

(tomados del pedido No. 95-2-94819-DP8, fincado recienteme nte a Cooper Power Systems)

BANCO DE CAP. 900-7.96-FP:

1 338,71 DOLLUSA

10 040,00 \$

#### 5.1 Inversión Total.

La inversión total del proyecto corresponde a los costos d e adquisición e instalación de un banco de capacitores fijo de 900 kVAR, calculados conforme se detalla en el Anexo No. 4.

Inversión Total:

\$ 16 108,00

#### 5.2 Ahorro Anual.

El ahorro anual del proyecto corresponde a los beneficios originados por la disminución de las pérdidas debido a la instalación de un banco de capacitores fijo de 900 kVAR, calculados conforme al método de Maxwell (tomado del libro Compensación de Potencia Reactiva en Sistemas Eléctricos, de Juan Antonio Yebra Morón); tal como se detalla en el Anexo No. 3.

Ahorro Anual:

\$ 9 180,00

#### 5.3 Vida Util.

La vida útil del proyecto fue asumida tomando como base la experiencia que se tiene con respecto a la duración de los banco de capacitores instalados en los sistemas de distribución.

Vida Util:

15 Años

#### 5.4 Gasto Anual.

El gasto anual del proyecto corresponde a los costos de operación y mantenimiento necesarios para mantener en operación el banco de capacitores, calculados conforme se detalla en el Anexo No. 4.

## Costo Fijo:

El costo fijo del proyecto corresponde al gasto necesario para efectuar anualmente una revisión del estado de operación del banco de capacitores, o para reponer fusibles quemados; calculado conforme se detalla en el Anexo No. 4.

Costo Fijo:

75,00 \$/Año

#### Costo Variable:

El costo variable del proyecto corresponde al gasto necesario de erogar cada 5 años para efectuar la reposición de una unidad dañada del banco de capacitores; o en su defecto, para darle mantenimiento en sitio; calculados conforme se detalla en el Anexo No. 4

Costo Variable:

489,00 \$/Año

## 5.5 Análisis Beneficio Costo (B/C).

Utilizando los beneficios y costos anteriores se obtiene:

B/C = (A-G) x FVPT / (Inversión) B/C = (9 180 - (489 + 75)) x 7,6 / (16 108)

B/C = 4,06

## 5.6 Tiempo de Retorno de la Inversión (TR).

Utilizando los beneficios, costos y vida útil anteriores s e obtiene:

## 5.7 Valor Presente Neto (VPN).

Utilizando los beneficios y costos calculados anteriormente se obtiene:

El valor presente neto del proyecto de la compensación de la potencia reactiva es de \$49374 para un circuito de distribución residencial típico que comprende 10330 usuarios. Por lo que para cada uno de los usuarios residenciales corresponderá un beneficio neto de:

Esto significa que aplicado al proyecto FILUMEX que compre nde un total de 600 000 usuarios residenciales, los beneficios netos del proyecto de la compensación reactiva serán de \$ 2 868 000,00

oran oranga kalangan di kalangan di Kabupatèn Sarangan di Kabupatèn Sarangan Sarangan Sarangan Sarangan Sarang Kabupatèn Sarangan S

#### 6. POSIBILIDAD DE GENERALIZACION.

El alcance de este proyecto de compensación de la potencia reactiva, está unido a la generalización del proyecto FILUMEX al resto de las ciudades del país. Pero dados los beneficios que proporciona la sustitución de los focos incandescentes por lámparas fluorescentes en cuanto ahorro de energía y potencia, así como también en cuanto a la disminución de las pérdidas; es indudable el que a corto plazo se prosiga con su generalización.

#### 7. CONCLUSIONES.

Como resultado del presente trabajo de la compensación de la potencia reactiva se obtienen las siguientes conclusiones:

- a) La compensación de la potencia reactiva <u>siempre</u> constituirá uno de los proyectos más rentables para mejorar la economía de la operación; por lo que <u>siempre</u> deben estarse vigilando las nuevas oportunidades que se presenten para aplicarla o mejorarla.
- b) Mediante la compensación de la potencia reactiva se obtenidrán ahorros adicionales de pérdidas de energía y de potencia de un 54% y un 20%

respectivamente, de los ahorros de pérdidas obtenidos en el circuito de distribución mediante el Proyecto FILUMEX para la sustitución de focos incandescentes por lámparas fluorescentes de uso doméstico; lo cual constituye una clara indicación de los beneficios que proporcionará este proyecto.

- c) La compensación en media tensión de la poten cia reactiva ocasionada por la sustitución en los usuarios residenciales de focos incandescentes por lámparas fluorescentes, representa un proyecto altamente atractivo, con una relación Beneficio/Costo de 4, un Tiempo de Retorno de la Inversión de 2 años y un Beneficio Neto de 4.78 \$/Usuario.
- d) Adicionalmente, la aplicación de este proyec to representa la oportunidad para medir la penetración del proyecto FILUMEX; ya que la disminución de la demanda y el consumo de los circuitos residenciales, aunado también a la disminución de su factor de potencia, será un indicador de la cantidad de los usuarios residenciales que están sustituyendo sus focos incandescentes por lámparas fluorescentes.
- e) En el futuro (alrededor de 2 ó 3 años), esta s mediciones servirán para detectar la posibilidad de un efecto de rebote del proyecto FILUMEX; ya que al llegar las lámparas fluorescentes al término de su vida útil, se corre el riesgo de por motivos económicos el usuario se vea tentado a reemplazarlas por focos incandescentes; eliminando todas las bondades del proyecto.

ANEXO No. 1. CARGA Y CONSUMO ACTUALES Y FUTUROS PARA UN USUARIO RESIDENCIAL TIPO R
Y FACTORES DE COINCIDENCIA, RESPONSABILIDAD, CARGA Y PERDIDAS; PARA
DIFERENTES NUMEROS DE USUARIOS.

		CARGA	CONSUMO	ACTUALES Y	FUTURO	S
		PARA I	JN USUARIO	RESIDENCIA	L TIPO R	
LAMP / USR	2	W/LAMP ACT	75	W/LAMP 8US	15	
LAMP / USR	1	W/LAMP ACT	100	W/LAMP SUS	22	HR USO/DIA 4
USUARIO RESIDENCIAL TIPO R		KW/USR	KVAR/USR	KVA/USR	FP	KWH / USR-AÑO
CARGA ACTUAL	_	0.968	0.441	1.064	0.91	2436
FOCO DE 75 W		0.075	0	0.75	1	110
FOCO DE 100 W		0.1	0	0.1	1	146
LAMPARA DE 15 W	-	0.015	0.007	0.017	0.90	22
LAMPARA DE 22 W	,	0.022	0.011	0.024	0.90	32
CARGA FUTURA		0.770	0.466	0.900	0.866	2147

# FACTORES DE COINCIDENCIA, RESPONSABILIDAD, CARGA Y PERDIDAS

				NUME	ERODEUS	UARIOS	(N)	
FACTOR DE	FORMULA	1	5	10	20	35	140	10330
COINCIDENCIA	0.5 * {1+[ 5 / (2 * N + 3) ] }	1.00	0.69	0.61	0.56	0.53	0,61	0.50
RESPONSABILIDAD	Fco (N=10330) / Fco (N)	0,50	0.72	0.82	0.90	0.94	0.98	1.00
CARGA (ACTUAL)	KWH / (8760 * KW * Fco)	0.29	0.41	0.47	0.51	0.54	0.56	0.67
CARGA (FUTURO)	KWH / (8760 * KW * Fco)	0.32	0.46	0.52	0.57	0.60	0.63	0.64
PERDIDAS (ACTUAL)	0.15 Fca + 0.85 Fca**2	0.11	0.21	0.26	0.30	0.33	0.36	0.37
PERDIDAS (FUTURO)	0.15 Fca + 0.85 Fca**2	0.13	0.25	0.31	0.36	0.39	0.43	0.44

# ANEXO No. 2. CALCULO DE LAS PERDIDAS ACTUALES Y FUTURAS DEL CIRCUITO RESIDENCIAL TIPICO.

****	TRONC	AL Y RAMALES	DEL CIRCUITO	DE DISTRIBUCION	<u> </u>	13.8	KV	
			RDIDAS EN ME					
300.00	N\$ / KW		7.6	N\$/DOLLUSA				
TRONCAL	3F-3H	AAC 397.5			RAMALES	1F-2H	AAC 1/0	
L / SEGME	NTO M	120	R OHMS/KM	0.1610	R OHMS/KM	0.6047	1	
	DENSIDAD CAR	GA ACTUAL K	/A/HA	12.22	DENSIDAD C	ARGA FUTURA K	VA/HA	10.34
CONDICION		ACTU/	\L			FUTURO	<b>)</b>	
SEGMENTO	IRAMAL	ITRONCAL	KW RAMALES	KW TRONCAL	IRAMAL	ITRONCAL	KW RAMAL	KW TRONCAL
1	0	230	0.000	3.065	0	195	0.000	2.195
2	1	230	0.000	3.055	0	194	0.000	2.188
3	1	229	0.001	3.026	1	193	0.000	2.167
4	1	227	0.001	2.977	1	192	0.001	2,132
5	2	224	0.002	2.910	1	190	0.001	2.084
6	2	221	0.003	2.825	2	187	0.002	2.023
7	2	217	0.004	2.722	2	183	0.003	1.949
8	3	212	0.006	2.603	2	179	0.004	1.864
9	3	206	0.008	2.469	3	175	0.006	1.768
10	3	200	0.010	2.322	3	169	0.007	1.663
11	4	193	0.013	2.163	3	163	0.009	1,549
12	4	185	0.016	1,993	4	157	0.011	1,427
13	5	177	0.019	1.815	4	150	0.014	1.300
14	6	168	0.023	1.632	4	142	0.016	1,168
15	5	158	0.027	1,444	5	134	0.019	1.034
16	6	147	0.021	1,255	5	125	0.023	0.899
17	6	136	0.037	1.068	5	115	0.026	0.765
18	6	124	0.042	0.886	5	105	0.030	0.634
19	7	111	0.048	0.711	6	94	0.035	0.509
20	7	97	0.055	0.547	6	82	0.039	0.392
21	8	83	0.062	0.397	6	70	0.044	0.284
22	8	68	0.070	0,266	7	. 57	0.050	0.190
23	8	52	0.078	0.156	7	44	0.056	0.112
24	9	35	0.087	0.072	7	30	0.062	0.062
25	9	18	0.096	0.019	В	15	0.069	0.013
	OTALES DE PO	<u> </u>	1.475	84.798			1.056	60.726
PORCIENTO	O INCLUDE FO		0.03	1.67		····	0.03	1.50
COSTOS N\$	- <del>-</del>		442	25439	<u> </u>		317	18218
	OTALES DE ENI	EPGIA	4513	272214	<b> </b>	ing the state of t	3875	233797
PORCIENTO	OTALES DE ENI	INGIA	0.02	1.07	<b> </b>		0.02	1.04
			<del> </del>	96955	<del> </del>			<del>                                     </del>
COSTOS N\$	At NA		1591	121395		***************************************	1366 1683	82413 100631
COSTO TOTA	AL NA	~	2033	121390		kanahat 364s	1683	10063

ANEXO No. 3. CALCULO DE LOS AHORROS DE LAS PERDIDAS DE ENERGIA Y DE POTENCIA OBTENIDOS PARA EL CIRCUITO RESIDENCIAL TIPICO MEDIANTE LA COMPENSACION DE LA POTENCIA REACTIVA.

COSTOS DE PERDIDAS   EN MEDIA TENSION	ALIOPPOS DOD COMPTIONOS PROGRAMA EN ME								
EN MEDIA TENSION   120   RESIS. SEGM. OHMS   0.0193	AHORROS POR COMPENSACION REACTIVA EN MT								
LONG/SEGMENTO M   120   RESIS. SEGM. OHMS   0.0193	COST	OS DE PERDIC	DAS	POTENCIA	300.00	N\$ / KW			
DENSIDAD DE CARGA	EN M	EDIA TENSIOI		ENERGIA	0.35	N\$ / KWH			
SEGMENTO   IX ACTUAL   IX FUTURA   IC   AH KW   AH KWH     1   96   101   38   5   21146     2   95   101   38   5   19767     3   95   100   38   5   18393     4   94   99   38   4   17026     5   93   98   38   4   17026     6   92   97   38   4   14340     7   90   95   38   3   3   11751     9   86   90   38   3   11751     9   86   90   38   3   2   19302     11   80   85   38   2   9302     11   80   85   38   2   7039     12   77   81   38   2   7039     13   73   78   38   2   5989     14   70   74   38   1   5002     15   65   69   38   1   4083     16   61   65   38   1   2469     18   51   54   38   0   1192     20   40   43   38   3   0   1192     20   40   43   38   0   0   0     21   34   36   38   0   0   0     22   22   23   0   0   0     5.P.   0.91   0.86   0.95     AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH   5   21145     AHORRO EN PERDIDAS NE KW/KWH   1648   7453     AHORRO TOTAL (NIS)   564     GASTO ANUAL (NISIAÑO)   564     FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)   564     RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)   5.00     CRELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)   5.00     CREMANDO TOTAL (NIS)   5.00     CREMANDO TOTAL (NIS	LONG./ SEC	SMENTO M	120	RESIS. SEC	SM. OHMS	0.0193			
SEGMENTO   IX ACTUAL   IX FUTURA   IC   AH KW   AH KWH	DENSID	AD DE CARG	iA:	ACTUAL	5.06	KVAR/HA			
1 95 101 38 5 21145 2 95 101 38 5 19767 3 96 100 38 5 18393 4 94 99 38 4 17026 6 93 98 38 4 16674 6 92 97 38 4 14340 7 90 95 38 3 3 13030 8 88 93 38 3 3 11761 9 86 90 38 3 3 10506 10 83 88 38 3 2 9302 11 80 85 38 3 2 8145 12 77 81 38 2 7039 13 73 78 38 2 7039 14 70 74 38 1 5002 15 65 69 38 1 932 16 61 65 38 1 932 17 56 60 38 1 932 17 56 60 38 1 932 17 56 60 38 1 932 18 51 546 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 0 0 0 178 19 46 49 38 0 0 0 0 18 19 46 49 38 0 0 0 0 19 40 43 38 0 0 0 0 0 10 44 46 49 38 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 44 46 49 38 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 38 0 0 0 0 0 0 10 40 43 58 58 58 58 58 58 58 58 58 58 58 58 58				FUTURA	5.35	KVAR/HA			
2 95 101 38 5 19767 3 95 100 38 5 18393 4 94 99 38 4 17026 5 93 98 38 4 16674 6 92 97 38 4 14340 7 90 95 38 3 3 13030 8 88 93 38 3 11751 9 86 90 38 3 10506 10 83 88 38 2 2 9302 111 80 85 38 2 2 9302 111 80 85 38 2 2 9302 111 80 85 38 2 2 9302 111 80 85 38 2 2 9302 111 80 85 38 3 2 2 8145 12 77 81 38 2 2 7039 13 73 78 38 2 2 5989 14 70 74 38 1 38 2 2 5989 14 70 74 38 1 38 2 2 5989 14 70 74 38 1 38 2 2 5989 15 65 69 38 1 4083 16 61 65 38 1 2237 17 56 60 38 1 2237 17 56 60 38 1 2237 17 56 60 38 1 1237 17 56 60 38 1 1237 18 51 54 38 0 1786 19 46 49 38 0 1192 20 40 43 38 0 192 21 34 36 38 0 9 93 22 28 30 0 0 0 0 0 24 16 16 16 16 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 26 7 8 0 0 0 0 27 3 22 28 30 0 0 0 0 0 28 16 16 16 16 16 0 0 0 0 0 29 3 22 28 30 0 0 0 0 0 0 0 40 41 30 38 0 0 0 0 0 0 40 41 5 16 0 0 0 0 0 40 42 16 16 16 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 40 42 16 16 16 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 40 41 16 16 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	SEGMENTO	IX ACTUAL	Ix FUTURA	lc	AH KW	AH KWH			
3   95   100   38   5   18393   4   17026   5   93   98   38   4   17026   6   93   98   38   4   15674   6   92   97   38   4   14340   7   90   95   38   3   13030   8   88   93   38   3   17751   9   86   90   38   3   10606   10   83   88   38   2   3302   11   80   85   38   2   3145   12   77   81   38   2   7039   13   73   78   38   2   5989   14   70   74   38   1   5002   15   65   69   38   1   2237   17   56   60   38   1   2237   17   56   60   38   1   2237   17   56   60   38   1   2469   18   51   54   38   0   1786   19   46   49   38   0   192   20   40   43   38   0   293   22   28   30   0   0   0   0   223   22   228   30   0   0   0   0   0   225   7   8   0   0   0   0   0   0   25   7   8   0   0   0   0   0   0   0   0   0	1	95	101	38	5	21145			
A	2	95	101	38	5	19767			
5       93       98       38       4       15674         6       92       97       38       4       14340         7       90       95       38       3       13030         8       88       93       38       3       11751         9       86       90       38       3       10606         10       83       88       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       70       74       38       2       5989         14       70       74       38       1       4083         15       65       69       38       1       4083         16       61       65       38       1       2469         17       56       60       38       0       1786<	3	95	100	38	5	18393			
6       92       97       38       4       14340         7       90       95       38       3       13030         8       88       93       38       3       11751         9       86       90       38       3       10606         10       83       88       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       9302         11       80       85       38       2       7039         13       73       78       38       2       5989         14       70       74       38       1       5002         15       65       69       38       1       4083         16       61       65       38       1       2469         17       56       60       38       1       2469         18       51       54       38       0       1786<	4	94	99	38	4	17026			
7 90 95 38 3 13030  8 88 98 93 38 3 11751  9 86 90 38 3 10666  10 83 88 38 2 9302  11 80 85 38 2 19302  11 80 85 38 2 19302  11 80 85 38 2 19302  11 77 81 38 2 19302  13 73 78 38 38 2 1988  14 70 74 38 1 5002  15 65 69 38 1 4083  16 61 65 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 1192  20 40 43 38 0 1992  21 34 36 38 0 293  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 28 30 0 0 0 0 0  24 15 15 15 0 0 0 0  54 16 15 15 0 0 0 0  7F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$) 16108  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60	5	93	98	38	4	15674			
8 88 93 38 3 11751 9 86 90 38 3 10566 10 83 88 38 2 9302 111 80 85 38 2 145 112 77 81 38 2 7039 133 73 78 38 2 5989 14 70 74 38 1 5002 15 65 69 38 1 4083 16 61 65 38 1 3237 17 56 60 38 1 2469 18 51 54 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1192 20 40 43 38 0 1192 20 40 43 38 0 692 21 34 36 38 0 293 22 28 30 0 0 0 0 0 23 22 28 30 0 0 0 0 0 24 15 15 15 15 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 5 P.P. 0.91 0.86 0.95 AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	6	92	97	38	4	14340			
9 86 90 38 3 10506 10 83 88 38 2 9302 111 80 85 38 2 8145 12 77 81 38 2 7039 13 73 78 38 2 5989 14 70 74 38 1 5002 15 65 69 38 1 4083 16 61 65 38 1 3237 17 56 60 38 1 2469 18 51 54 38 0 1786 19 46 49 38 0 1786 19 46 49 38 0 1192 20 40 43 38 0 1192 20 40 43 38 0 692 21 34 36 38 0 993 22 28 30 0 0 0 0 23 22 28 30 0 0 0 0 24 15 15 15 15 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 40 F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 1000 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	. 7	90	95	38	3	13030			
10 83 88 38 2 9302  11 80 85 38 2 8145  12 77 81 38 2 7039  13 73 78 38 2 5989  14 70 74 38 1 5002  15 65 65 69 38 1 4083  16 61 65 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 993  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 23 0 0 0 0 0  24 15 15 15 15 0 0 0 0  25 7 8 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 1000  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	. 8	88	93	38	3	11751			
11 80 85 38 2 8145  12 77 81 38 2 7039  13 73 78 38 2 5989  14 70 74 38 1 5002  15 65 69 38 1 4083  16 61 65 69 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 0 0 0 0 0  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 28 30 0 0 0 0 0  24 15 15 15 0 0 0 0  25 7 8 0 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$) 16108  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	9	86	90	38	3	10506			
12 77 81 38 2 7039  13 73 78 38 2 5989  14 70 74 38 1 5002  15 65 65 69 38 1 4083  16 61 65 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 0 0 0 0  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 28 30 0 0 0 0 0  24 15 15 56 50 0 0 0  25 7 8 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$) 16108  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	10	83	88	38	2	9302			
13 73 78 38 2 5989  14 70 74 38 1 5002  15 65 65 69 38 1 4083  16 61 65 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 0 692  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 23 0 0 0 0 0  24 15 15 15 0 0 0 0  5F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$)  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	11	80	85	38	2	8145			
14	12	77	81	38	2	7039			
15 65 69 38 1 4083 16 61 65 65 38 1 3237 17 56 66 60 38 1 2469 18 51 54 38 0 1786 19 46 49 38 0 1192 20 40 43 38 0 692 21 34 36 38 0 692 21 34 36 38 0 0 0 0 0 0 0 22 28 30 0 0 0 0 0 0 23 22 28 30 0 0 0 0 0 0 24 15 15 15 0 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03	13	73	78	38	2	5989			
16 61 66 38 1 3237  17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 692  21 34 36 38 0 0 293  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 23 0 0 0 0 0  24 15 15 0 0 0 0  25 7 8 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$) 16108  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)	14	70	74	38	1	5002			
17 56 60 38 1 2469  18 51 54 38 0 1786  19 46 49 38 0 1192  20 40 43 38 0 692  21 34 36 38 0 293  22 28 30 0 0 0 0 0  23 22 23 0 0 0 0 0  24 15 15 15 0 0 0 0  25 7 8 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 1648 7453  AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101  INVERSION TOTAL (N\$) 16108  GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564  FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60  RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03	15	65	69	38	1	4083			
18       51       54       38       0       1786         19       46       49       38       0       1192         20       40       43       38       0       692         21       34       36       38       0       293         22       28       30       0       0       0       0         23       22       23       0       0       0       0         24       15       16       0       0       0       0         5       7       8       0       0       0       0         F.P.       0.91       0.86       0.95       0       0       0         AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH       5       21145       21145       2445 </td <td>16</td> <td>61</td> <td>65</td> <td>38</td> <td>1</td> <td>3237</td>	16	61	65	38	1	3237			
18       51       54       38       0       1786         19       46       49       38       0       1192         20       40       43       38       0       692         21       34       36       38       0       293         22       28       30       0       0       0       0         23       22       23       0       0       0       0         24       15       15       16       0       0       0       0         5       7       8       0       1	17	56	60	38	1	2469			
19 46 49 38 0 1192 20 40 43 38 0 692 21 34 36 38 0 293 22 28 30 0 0 0 0 0 23 22 23 0 0 0 0 0 24 15 15 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 26 7 8 0 0 0 0  F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N≯ KW/KWH 5 21145 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 16108 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03	18	51	54	38	0				
21       34       36       38       0       293         22       28       30       0       0       0         23       22       23       0       0       0         24       15       15       0       0       0         25       7       8       0       0       0         F.P.       0.91       0.86       0.95	19	46	49	38	0	<del> </del>			
21       34       36       38       0       293         22       28       30       0       0       0         23       22       23       0       0       0         24       15       15       0       0       0         25       7       8       0       0       0         F.P.       0.91       0.86       0.95	20	40	43	38	0	692			
22       28       30       0       0       0         23       22       23       0       0       0         24       15       15       0       0       0         25       7       8       0       0       0         F.P.       0.91       0.86       0.95         AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH       5       21145         AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH       1648       7453         AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO)       9101         INVERSION TOTAL (N\$)       16108         GASTO ANUAL (N\$/AÑO)       564         FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)       7.60         RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)       4.03	21	34	36	38	0				
23 22 23 0 0 0 0 24 15 15 15 0 0 0 0 25 7 8 0 0 0 0 F.P. 0.91 0.86 0.95  AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 16108 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03	22	28	30	0	0	<del> </del>			
24       15       15       0       0       0         26       7       8       0       0       0         F.P.       0.91       0.86       0.95         AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH       5       21145         AHORRO EN PERDIDAS N\$       KW/KWH       1648       7453         AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO)       9101         INVERSION TOTAL (N\$)       16108         GASTO ANUAL (N\$/AÑO)       564         FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)       7.60         RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)       4.03	23	22	23	0	0	<del> </del>			
25         7         8         0         0         0           F.P.         0.91         0.86         0.95              AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH         5             21145             AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH             1648             7453             AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO)             9101             INVERSION TOTAL (N\$)             645             FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)             7.60             RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)             4.03       4.03	24	<del> </del>	15	0	0	<del> </del>			
AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 16108 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03	25	<del>                                     </del>	8	0	0	†*************************************			
AHORRO EN PERDIDAS TOTALES KW/KWH 5 21145 AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH 1648 7453 AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 16108 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03			0.86	0.95					
AHORRO EN PERDIDAS N\$ KW/KWH       1648       7453         AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO)       9101         INVERSION TOTAL (N\$)       16108         GASTO ANUAL (N\$/AÑO)       564         FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)       7.60         RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)       4.03	}	<del></del>	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	<u> </u>	5	21145			
AHORRO TOTAL ANUAL EN PERDIDAS (N\$/AÑO) 9101 INVERSION TOTAL (N\$) 16108 GASTO ANUAL (N\$/AÑO) 564 FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03									
INVERSION TOTAL (N\$)         16108           GASTO ANUAL (N\$/AÑO)         564           FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)         7.60           RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)         4.03			<del> </del>	N\$/AÑO)		<del></del>			
GASTO ANUAL (N\$/AÑO)         564           FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS)         7.60           RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C)         4.03									
FVTP (VIDA UTIL 15 AÑOS) 7.60 RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03									
RELACION BENEFICIO/COSTO (B/C) 4.03									
1.00				(AÑOS)		·····			
				· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·					

# ANEXO No. 4. COSTOS DE LOS BANCOS DE CAPACITORES PARA 13.8 KV (L-L)

EQUIPO	CANT.	UNIDAD	COSTO/U
BANCO DE CAPACITORES 300-7.	1	PZ	6038
BANCO DE CAPACITORES 600-7.	1	PZ	7994
BANCO DE CAPACITORES 900-7.	1	PZ	10040
BANCO DE CAPACITORES 600-7.	1	PZ	42564
BANCO DE CAPACITORES 900-7.	1	PZ	44387
CORTACIRCUITO CCF-C-14.4-10	3	PZ	252
LISTON FUSIBLE	1	PZ	15
APARTARRAYO ADOZ-12	3	PZ	196
UNIDAD DE REPOSICION 100-7.9	1	PZ	1409
UNIDAD DE REPOSICION 200-7.9	1	PZ	1865
UNIDAD DE REPOSICION 300-7.9	1	PZ	2343

FACTOR DE CONVERSION N\$/D	7.5
REPOSICION DE FUSIBLES/AÑO	2
REPOSICION DE UNIDADES:	
PRIMERA - AÑO	5
SEGUNDA - AÑO	10
VIDA TOTAL DEL BANCO - AN	15
PRESTACIONES SOCIALES	2.26
GASTOS DIRECTOS	0.05
INDIRECTOS DIVISIONALES	0.04
INDIRECTOS OFICINAS NACION	0.18
FACTOR DE ACTUALIZACION	0.01

CONCEPTO		E	QUIPO			MAN	O DE OBRA	1	PREST.	GASTOS	IND.	IND.	FACTOR	TOTAL
	CANT.	UNIDAD	COSTO/U	COSTO	CANT.	UNIDAD	COSTO/U	COSTO	SOCIALES	DIR.	DIV.	O.N.	DE ACT.	OBRA
IST. BCO. DE CAP. 300-7.96-FP	1	JG	7427	7427	8	HR/CUAD	40.00	320	723	424	356	1601	89	10940
IST. BCO. DE CAP. 600-7.96-FP	1	JG	9383	9383	8	HR/CUAD	40.00	320	723	521	438	1970	109	13465
ST. BCO. DE CAP. 900-7.96-FP	1	JG	11429	11429	8	HR/CUAD	40.00	320	723	624	524	2357	131	16108
ST. BCO. DE CAP. 600-7.96-CP	1	JG	43953	43953	12	HR/CUAD	40.00	480	1085	2276	1912	8603	478	58787
INST. BCO. DE CAP. 900-7.96-CP	1	JG	45776	45776	12	HR/CUAD	40.00	480	1085	2367	1988	8947	497	61141
REPOSICION DE FUSIBLE BCO.	1	PZ	15	15	0.33	HR/CUAD	40.00	13	30	3	2	11	1	75
REP. DE UNIDAD DAÑADA 100-7.	1	PZ	1409	1409	4	HR/CUAD	40.00	160	362	- 97	81	365	20	2493
REP. DE UNIDAD DAÑADA 200-7.	1	PZ	1865	1865	4	HR/CUAD	40.00	160	362	119	100	451	25	3083
REP. DE UNIDAD DAÑADA 300-7.	1	PZ	2343	2343	4	HR/CUAD	40.00	160	362	143	120	541	30	3699

TASA DE DESCUENT 0.1	1.12		· V	ALOR AN	JAL (N\$/AN	10)
TIPO DE BANCO DE CAPACITO	VIDA	ASTOS D	G. MANT	TO. (REP.	UNID. DAN	GASTOS
	UTIL	PERACIO	5 ANO	10 ANO	TOTAL	OYM
BANCO DE CAP. 300-7.96-FP	15	75	204	126	330	405
BANCO DE CAP. 600-7.96-FP	15	75	252	156	408	483
BANCO DE CAP. 900-7.96-FP	15	75	302	188	490	564
BANCO DE CAP. 600-7.96-CP	15	75	252	156	408	483
BANCO DE CAP. 900-7.96-CP	. 15	75	302	188	490	564

MX9800049

# EXPERIENCIAS DE LA TRANSFERENCIA DE LAS TÉCNICAS DE CONDUCCIÓN ECONÓMICA EN EL AUTOTRANSPORTE EN MÉXICO

Fco. Javier García Osorio
Subdirector de Ahorro de Energía en el Transporte
Comisión Nacional para el Ahorro de Energía
Francisco Márquez 160, 1er piso,
Col. Condesa, 06140 México, D.F.
tel. 553 90 00, fax 553 90 20

#### Resumen

CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) desarrolló el programa de capacitación que a través de la impartición de cursos piloto de conducción técnico-económica de vehículos automotores, se dirige a las empresas privadas, dependencias e instituciones gubernamentales. En este trabajo se presentan los antecedentes y resultados obtenidos del mismo.

Se detalla esta metodología y se presenta una descripción de los cursos y sus características. Se anexan resultados comparativos de las pruebas entre la conducción que se realiza normalmente y la conducción técnico-económica. Los ahorros de combustible obtenidos van desde 9% hasta 22.5%. Luego, se explican las razones por las que la capacitación en conducción técnico-económica resulta ser una de las acciones más rentables del ahorro de combustibles, pero también se discuten las dificultades para implantarla. Se ofrece una conclusión.

#### Introducción

Es bien conocido que el mayor consumo de energía final se atribuye al sector transporte -casi un 40% según el Balance Nacional de 1994 (1) - por lo cual resulta ser de insoslayable análisis las medidas potenciales de ahorro en su consumo de combustibles.

Al igual que en otros sectores, se deben primero conocer las características de funcionamiento del mismo para situar algunas cifras aproximadas de ese potencial. La forma tradicional de hacerlo es a través de los diagnósticos energéticos (auditorías energéticas).

La Dirección de Ahorro de Energía en el Transporte de CONAE, a partir de 1991 ha realizado diagnósticos energéticos en empresas de autotransporte -de carga y pasaje, foráneo y urbano- con el fin de detectar dichos potenciales de ahorro del consumo de combustible. A través de estos estudios, se analiza la estructura y funciones de las diferentes áreas que forman a la empresa, para conocer como se conjugan y efectúan la gestión del combustible. En las empresas que CONAE diagnosticó, se encontró que la mayor parte de los problemas que afectaban al consumo adecuado de combustible, se podían centrar en más de cinco áreas: el mantenimiento de los vehículos, la propia gestión de los combustibles, las operaciones de logística o de tráfico (según el caso, transporte de pasajeros o de carga), la capacitación del personal que operaba las unidades y del que realizaba el mantenimiento, la selección de vehículos, las politícas de renovación y de compra de vehículos, etc. (2)

Dentro de los aspectos analizados en la capacitación de los operadores, se identificó un grave problema, en México el operador ya fuera o no capacitado, desconocía por completo las técnicas de la conducción económica; aún más, las desconocían los técnicos de las empresas. Se averiguó que el uso que normalmente la mayoría de los operadores hacía de los motores y en general del vehículo al conducirlo, era francamente desventajoso respecto de la eficiencia energética. Habiéndose detectado este problema a través de las pruebas en carreteras y autopistas realizadas por técnicos de CONAE y consultores extranjeros, se inició la propuesta de un curso piloto de capacitación en la conducción económica, dirigido en especial a los instructores de operadores. Esto significó el inicio de un *Programa* que sería ampliamente aceptado por la mayoría de los transportistas.

El ofrecimiento por parte de CONAE de impartir cursos piloto, esto es capacitar a instructores en la técnica de la conducción económica para que a su vez capaciten, tuvo cabida en un principio en las flotas vehiculares del gobierno federal. Los representantes de dependencias y entidades del gobierno confirmaron que lo que se aplicaba en otros países (Alemania y Francia), ofrecía ventajas. Después se dirijió al transporte foráneo de pasajeros a través de la Cámara Nacional del Autotransporte de Pasaje y Turismo, y más tarde a empresas líderes o de especial giro. Las empresas participantes aparecen en lista en página anexa.

Actualmente CONAE ha ofrecido casi 30 cursos piloto a más de 350 instructores y operadores, que representan a unas 80 empresas privadas y dependencias del gobierno, obteniéndose ahorros entre el 9% y el 22.5%.

#### Objetivo

Se pretendió, que a través del desarrollo de cursos piloto teórico-prácticos, presentados por los técnicos de CONAE en las ciudades más importantes del país, los instructores de operadores de las diferentes empresas, conocieran y aplicaran la metodología de la conducción económica. Al capacitar en esta metodología a los instructores de las principales empresas de autotransporte, se asegura que la técnica se extienda, en primer lugar a los operadores de las empresas cuyos instructores fueron capacitados por el personal de CONAE y en segundo lugar y en un plazo mayor, a los operadores que de manera indirecta reciban la técnica.

A continuación se describe los aspectos relevantes de la conducción económica.

#### La Conducción Técnico-Económica.

Antecedentes. Esta técnica tiene uno de sus principales antecedentes formales, en los años 70's, cuando en un Seminario Internacional del Transporte la empresa Daimler-Benz publica las recomendaciones para el ahorro de combustible en los motores de aplicación vehicular. En México, todavía en los inicios de los 90's se desconocía en una buena parte esta técnica, incluso no se contaba en la mayoría de los casos con la información técnica requerida para una buena conducción del vehículo. El proveedor

nacional no ofrecía las curvas características de sus propios motores y era entonces necesario recurrir a las casas matriz en otros países.

A partir de 1992, las empresas francesas BCEOM y ROSSEAU, transfieren a CONAE las bases de la metodología, pudiéndose continuar en México por los técnicos nacionales.

<u>Descripción</u>. La conducción económica es el manejo de vehículos automotores, que permite al conductor utilizar el motor en sus rangos de mayor rendimiento energético, lo que conlleva a obtener lo siguiente:

- · un consumo específico mínimo de combustible,
- · un desempeño más adecuado del motor,
- · una seguridad mayor al transitar,
- · una disminución en el gasto de llantas y refacciones,
- y una disminución de las emisiones contaminantes, entre otros.

La conducción económica se fundamenta en los principios básicos de la ingeniería, que definen a la *potencia*, al *par motor* y a la *fuerza*. El conductor técnico puede interpretar estas definiciones, para aplicar los principios de una manera efectiva en el momento de manejar un vehículo. También, la técnica de la conducción económica, explica cómo es transmitida la energía cinética y dinámica (*velocidad y fuerza*), desde el motor hasta las llantas, a través de la transmisión de velocidades y eje diferencial, facilitando al operador la compresión de las ventajas sobresalientes que el cambio progresivo de velocidad (progressive shifting) ofrece al ahorro de combustible.

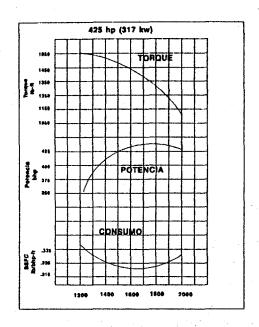
Algunas de los principios de la conducción económica son (3):

- 1.- Espectro de máxima eficiencia energética, es el rango en que el motor debe ser revolucionado, para en diferentes circunstancias, tener un par-motor alto y un consumo específico de combustible mínimo, manteniendo una velocidad de recorrido adecuada. Las curvas características definirán este espectro y de las cuales se hablará más adelante.
- 2.- Óptima relación aceleración/par-motor, se refiere a la determinación por parte del conductor, que con cantidades suficientes de inyección de combustible, se obtiene un arrastre y una potencia que permiten al vehículo realizar casi cualquier desplazamiento en condiciones normales de operación, a diferencia de intentar con un exceso de combustible, obtener mayores torques o par-motor y por lo tanto mayor arrastre del vehículo.
- 3.- La Conservación de la Cantidad de Movimiento, indica al conductor técnico que hacer permanecer constante la velocidad del vehículo, ofrece importantes ahorros de combustible, entre otras razones, porque se utiliza el peso del vehículo a favor del avance del mismo, haciendo de la inercia una resistencia menor durante un recorrido.

El conductor capacitado en la conducción económica, es realmente un conductor profesional, capaz de interpretar el uso eficiente de un motor y un sistema de transmisión de velocidades-eje diferencial, y sobre todo, de mostrar un comportamiento en su manejo más intencionado a las características del camino y al comportamiento de los operadores de otros vehículos, con quienes comparte las vías de tránsito.

Curvas características de los motores de combustión interna (diesel) (4).

La mayoría de los fabricantes de motores ofrecen en sus fichas técnicas tres tipos de curvas referidas a las revoluciones por minuto del motor y realizadas bajo condiciones determinadas a plena carga. Las condiciones son establecidas por ejemplo en los EEUU por SAE (Sociedad de Ingenieros Automotrices) y en Europa por DIN (Normalización de la Industria Alemana). La obtención de las curvas se realiza bajo pruebas las dinamómetro: potencia al freno, par motor, y consumo de combustible por unidad de caballaje.



La curva de consumo específico nos indicará precisamente el rango de mayor eficiencia. Si invertimos el valor de la curva, obtenemos :

Potencia al freno/Consumo de Combustible (plena carga),

si no modificamos el tipo de combustible  $C_0 = PCA$  combustible:

Potencia al freno/(Consumo de CombustiblexCo) (plena carga),

obtenemos una relación que es la eficiencia térmica del motor.

Estas curvas características han cambiado de manera importante en los últimos años en todo tipo de motores. En el caso de los motores a diesel, se obtienen potencias altas a menores velocidades de rotación del cigüeñal generalmente, y los valores de mínimo consumo específico de combustible se ofrecen en rangos bajos de revoluciones respecto del rango de operación del motor. Los torques o par motor son más altos, puesto que las presiones medias efectivas indicadas han aumentado considerablemente.

Aunado a lo anterior el control electrónico ha permitido hacer inyecciones más precisas, produciendo una notable mejoría en la eficiencia de combustión. Tenemos también que las pendientes del gráfico de potencia son más acentuadas.

Si hacemos una síntesis de lo sucedido a los motores entre los años 80's y los actuales, podemos decir que tomando como base el sistema JWAC (Jacket Water After Cooler) y

el turbocargador convencional, el siguiente gran avance fue el diseño de inyectores más eficientes que aparecieron debido a las fuertes regulaciones ecológicas del gobierno americano que comenzaban a establecerse; de hecho aquí en México se les denominaba a estos inyectores como "ecológicos". Después aparecería el sistema novedoso propuesto por Caterpillar denominado en un principio sistema AAAC y más tarde ATAAC (Air to Air After Cooler) y los turbocargadores de alta eficiencia.

Estas modificaciones se vieron complementadas con los sistemas electrónicos, que actualmente se han perfeccionado consistentemente, y que lamentablemente se incorporaron al país con casi dos años de atraso. Con los motores electrónicos no tan solo se mejora la eficiencia en la combustión, sino también la forma de conducir el vehículo (por ejemplo con el control de "progressive shifting" o cambio progresivo de velocidades) (5).

Estas innovaciones tecnológicas que se pueden apreciar al hacer el análisis de las curvas características de los motores, nos permiten ver la gran necesidad de efectuar la capacitación de los operadores actuales. Definitivamente, para aprovechar al máximo las eficiencias que actualmente ofrecen los motores de aplicación vehicular es indispensable la capacitación del operador, incluso el mantenimiento puede elevar su costo al dañarse el vehículo repetidamente por una falta de actualización del operador.

La práctica que a menudo encontramos los técnicos de CONAE en México, es que se conducen los vehículos modernos como si portaran motores antiguos.

## Características de los cursos piloto de conducción tecnico-económica

Después de revisar brevemente algunos de los aspectos técnicos, presentamos a continuación una serie de conceptos básicos que han contenido los programas de los cursos piloto de conducción económica ofrecidos por los técnicos de CONAE, y que son el resultado de la experiencia en esta capacitación (6).

#### Esquema teórico

- Conceptos básicos de fuerza, trabajo, torque, y potencia.
- Conceptos sobre el funcionamiento del motor Diesel de dos y cuatro tiempos (émbolo, pistón, vástago y ciclo Diesel), y dispositivos utilizados para elevar la potencia del motor y mejorar su rendimiento.
- Curvas características de los motores de combustión a diesel: par-motor, potencia y consumo específico de combustible.
- Descripción dentro de la gráfica característica, de la región del mínimo consumo específico de combustible para diferentes motores a Diesel.
- Explicación del sistema dinámico: flecha del motor, caja de transmisión de velocidades, tren del diferencial y neumáticos.

- Construcción por los propios instructores en capacitación de las gráficas de velocidad (vehículo) v.s. régimen (motor), del vehículo empleado en las pruebas de conducción libre y técnica.
- Modificaciones a las gráficas anteriores, reemplazando valores de tamaño de neumático, de relación de diferencial y del tipo de caja de transmisión de velocidades.
- Definición de la zona verde -o de la gama de operación en régimen económico- sobre las gráficas construidas, por los propios participantes.
- Explicación práctica de las "fuerzas" que se oponen al movimiento del vehículo: aerodinámica, fricción (o rodamiento), inercia y pendiente por gravedad.
- Demostración del cálculo en porcentaje del ahorro de combustible obtenido entre las pruebas de conducción libre y técnica, así como del cálculo también en porcentaje del alza en rendimiento entre las mismas pruebas.

#### Esquema en campo

- Utilización óptima de la potencia y torque del motor.
- Utilización del régimen del motor en la zona de máximo rendimiento energético.
- Arranque progresivo y cambios de velocidad
- Utilización racional de: el acelerador, el clutch, el freno de servicio, la caja de cambios de velocidad, la potencia y el par de la flecha del motor.
- Técnica de la conducción en autopista, en plano y con pendientes acentuadas.
- Técnica de la conducción en ciclo urbano y suburbano, con énfasis a los métodos de anticipación (a semáforos, a la circulación del propio tráfico, etc.).
- Ventajas que ofrece al conductor técnico la capacitación en el manejo a la defensiva.

#### Recursos

Los recursos primordiales con que se ha contado para la realización de los cursos, se pueden dividir entre los requeridos para la exposición teórica (aula) y las pruebas prácticas (actividad en campo).

Bright Commence of the second second second

TEORÍA. La presentación del conocimiento teórico se apoyó en el uso de videos, diapositivas, retroproyector, rotafolios y pizarrón tradicional. La generalidad de los conceptos de la teoría del curso, se ofreció en el *Manual de Conducción Económica de Vehículos*, elaborado por CONAE (3). También se utilizaron las fichas técnicas correspondientes a los vehículos que fueron representativos de la empresas.

PRÁCTICA. Para efectuar los recorridos de las rutas, tanto en conducción libre como en conducción económica, y teniendo en cuenta la situación del parque a nivel nacional, se utilizaron vehículos de modelos antiguo y actual. En varios casos se instalaron a los vehículos, medidores de flujo electrónicos o computadoras abordo, que ofrecían los registros de consumo de combustible, kilómetros recorridos, velocidad promedio, y régimen de motor; en los casos contrarios, las mediciones se realizaron con instrumentos y equipo tradicionales.

#### Programa del curso

1er día	2do día	3er día	4to día	5do día
Conceptos elementales de potencia, torque, presión, temperatura; Sistemas del motor; Curvas características de potencia y torque.	Práctica de la conducción libre; medición de parámetros	Metodología de la conducción técnico-económica. Consumo específico de combustible. Transmisión de energía y velocidad. Diagramas de velocidad. Zona de méxima eficiencia.	Práctica de la conducción técnica; medición de parámetros	Análisis de datos, resultados. Cálculo de los ahorros logrados; discusión de los temas. Conclusiones
		Fuerzas de resistencia: aerodinámica, rodamiento e inercia.		

#### Resultados del programa de cursos piloto de CONAE

La transferencia de la técnica de la conducción económica ha abarcado casi todo tipo de autotransporte. En la siguiente página se presenta en la tabla 1, un resumen que indica algunos de los resultados obtenidos en los cursos de capacitación.

Como se puede observar, los mayores ahorros de combustible se obtienen en el transporte foráneo de pasajeros y la cifra correspondiente agrupa una importante serie de cursos realizados bajo el Programa CONAE-CANAPAT (7) . También, se ha encontrado que los ahorros disminuyen para transporte pesado y en ciclos urbanos.

# CONDUCCIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA (Resultados de los cursos)

Empresa o tipo de transporte	tipo de vehículo	fecha de realización	% ahorro de consumo combustible	% mejoramiento del rendimiento combustible	% disminución accionamien- tos clutch	disminución accionamien- tos freno de
Programa CONAE-	Dina y	11.92/10.93	21.6	27.9	127 <b>46.3</b> 1111	46.8
CANAPAT *	Mercedes Benz					
Sistema Estrella Blanca	Dina Paradiso	10.93	18.5	23.1 <sub>(7)k</sub> .	38.9 <sub>NA</sub>	30.0
Herradura de Plata	Dina Avante	11/12.95	10.3	11.4	21.1	35.1
Transporte urbano (autobús), RUTA 100	Capre	08.93	13.5	15.9	*****	**** {{}}}}
Transporte urbano (microbús), varias rutas	Ford	11.93	16.4	16.0	29.9	48.8
Transporte escolar y de de personal	Mercedes-Benz (Supra)	08.96	11.2	⇔ <b>12.3</b> te4 tr	26	1.01 <b>37.4</b> 11.4
Gobierno Federal , varias Secretarías	Ichi-van	10.92	22.1	25.4	16.8	37.3
Armada de México, Secretaría de Marina	Dina et al		9.0		\ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \	20 <u>12</u> (1981) 2001 (1981)
SCT	Ford/pick-up		13.0			
CFE	Ichi-van	11.93	30.5	44.5	44.6	53.0
PEMEX I (ZMCM)	Kenworth	08.94	13.8	15.9	21.8	35.7
PEMEX II (TULA)	Kenworth	08/09.94	13.6	12.8	46.6	48.6
Lotería Nacional.  Distribución .	VW-Combi	05.95	11.6	<b>13.1</b>	1.0 សូមវប្ប (១៦ :	<b>39.2</b>
Envios ADO. Servicio de paquetería	VW-Panel	08.93	9.4	;; > <b>10.8</b> ;} −; ; + <del>3.9</del> ;;, ≥ −;	ენ <b>35.8</b> ეცე ∤∰ _ ეცენე	4 <b>41.6</b> kg 1988()#1.64
Rama Farmaceútica . Servicio de reparto .	GM-350	11.95	7.6	2.3	-3.0	<b>39</b>
Transporte de carga, varias empresas (Jeomara, Ver.)	(tractocamión) Kenworth	04/05.93	1 <b>0.9</b> 4	12.3	dipallnes ;	919( <b>18.3</b> - ) 1. (1961)(19.5 - 19.)
Organización Bimbo	N14/ BCIII	04-07/05.93	16.4	19.4	20.9	32.8
CANACAR	GM/pick-up	05.96	12.8	14.7	20.2	51.3

tabla 1

#### Resultados de la capacitación efectuada por las propias empresas

Esta capacitación se refiere a la que la empresa realizó con sus propios recursos, con instructores previamente capacitados por los técnicos de CONAE.

La primera empresa que implantó un programa de capacitación técnico-económica en México por cuenta propia, después de reconocer las recomendaciones realizadas por CONAE, fue ADO-Autobuses de Oriente, S.A. de C.V.; sus resultados han sido ampliamente publicados en diferentes foros (8 & 9). Por otra parte, CONAE solicitó un estudio a un consultor privado, para conocer el seguimiento que las empresas habían hecho de sus instructores capacitados. El resultado fue que las empresas que implantaron programas de capacitación y lograron realizar un seguimiento, obtuvieron ahorros que varían desde el 4% al 16% (10).

Factores de análisis para las empresas, cuando se desean implantar programas de capacitación en conducción técnico-económica.

La implantación de cualquier programa de capacitación dependerá de varias circunstancias: el tamaño de la empresa, su giro, el número de operadores y su nivel de preparación, motivación del operador, el tiempo en que se desea hacer la capacitación, la profundidad a que se desea llegar respecto de los temas, la relación real entre operador y jefe de la empresa, el dinero disponible para realizarlo, etc. Los factores perfectamente medibles o que se deben considerar ante todo, son los siguientes:

a) Tiempo en que se desea capacitar a la base de operadores de la empresa.

and the state of t

- b) Capital con el que se cuenta para realizar el programa.
- c) <u>infraestructura</u> actual de la empresa.

文化中的 网络新花属 ""就是一点一点

- d) Recurso Humano actual y el requerido por la empresa.
- f) Contratación de servicios externos de capacitación y asesoría esta de la finitiva de la contratación y asesoría esta de la contratación de la contratación y asesoría esta de la contratación de la contra

En el documento implantación de un programa de capacitación en conducción técnico-económica-Guía Preliminar (11), se ofrecen la explicación de estos criterios y las acciones que se deben evitar para tener un buen éxito respecto del objetivo de la implantación.

Uno de las aspectos más importantes por atender, es la importancia en que el dueño de la empresa o accionista, tenga la plena seguridad de que lo que requiere la empresa es capacitar a su personal que opera los vehículos. Sin ello cualquier programa de capacitación correrá el riesgo de perder valor y continuidad. También por otra parte, no se debe descuidar la motivación que requiere el personal en capacitación para que efectúe en la práctica lo que aprendió en cursos.

#### Conclusiones

Siempre que se reportan los consumos finales de energía en México, se distingue la cifra correspondiente al sector transporte, y dentro de éste el consumo del autotransporte. El potencial aprovechable detectado de ahorro de combustible en este subsector es muy amplio, sin embargo la mayor actividad de la gestión de energía, no es precisamente en él donde se realiza; no existe en general la cultura técnica de eficiencia, creada en otros sectores a través de estas últimas dos décadas.

magna basis si saya si si s

Construence of the first being probable of the first of the first participal section is a section of the first of the firs

[18] 人名英格兰人姓氏西伯斯特 电数据分离 [th

Por diferentes circunstancias -entre ellas el desarrollo singular que el transporte en México ha tenido- la eficiencia energética es un concepto relativamente nuevo y sólo ha tenido cierto auge en estos últimos años. El contexto actual del desarrollo del transporte ha cambiado, se cuenta con una desregulación, con innovaciones tecnológicas importantes, se comienzan a comprender mejor los conceptos de productividad y su mejoramiento, etc., pero en una buena parte de los casos se olvida que el verdadero motor de la empresa transportista es el operador. Capacitar al operador de la empresa de transporte, significa darle la herramienta principal para detener el derroche de combustible que existe en nuestro país.

Los requerimientos del sector transporte han cambiado, el transportista de antaño que contaba con ese importante instinto de crecer ha quedado atrás; no sólo se requiere instinto, sin equipos humanos con mayor preparación y mejor análisis de las alternativas no se podrá avanzar.

Capacitar a los operadores, significa preparar a la mayor parte del personal productivo de la empresa de transporte, el empresario que no lo considere así, no podrá enfrentar el reto de transformar la imagen de eficiencia del Transporte en México.

#### Referencias

- (1) Balance Nacional de Energía 1994, Secretaría de Energía, 1995 (1996) (1996)
- (2) Diagnósticos Energéticos-Informes internos CONAE; (varios autores)/1991-1995
- (3) Manual de Conducción Técnica, CONAE; A. Maldonado S., 1993
- (4) Tecnología para la Eficiencia Energética, CONAE-UPIICSA; J. García O., 1995:
- (5) Detroit Diesel Allison, DDEC III-Serie 60 . Ficha técnica, 1995
- (6) Programa de Capacitación en Conducción Técnico-Económica (transporte foráneo de pasajeros), CONAE-UPIICSA; J. García O., 1995
- (7) Casos Exitosos de Ahorro de Energía. La conducción técnico económica de autobuses, CONAE-SEMIP; J. García O., 1994: Antidade de Antida
- (8) XII Seminario ATPAE. El Ahorro de energía en el autotransporte foráneo de pasajeros, Grupo ADO; A. Irurita P., 1991
- (9) Eficiencia Energética en América Latina. Experiencias en una empresa de transporte foráneo de pasajeros, CONAE-SEMIP-AIE (Agencia Internacional de Energía), A. Irurita, Cancún, Q. Roo, 1994
- (10) Resultados del Cuestionario de seguimiento a la Capacitación, Informe interno CONAE, 1995
- (11) Implantación de un programa de capacitación en conducción técnico-económica-Guía Preliminar, CONAE-Universidad de Guadalajara; J. García O., 1995

## Ahorro de Energia- Evitando venteo de aire a la atmosfera en Motocompresores Centrifugos.

Ing. Alex Serrano
Gerente de Ventas- Latinoamerica
Compressor Controls Corporation
Houston, Texas
Tel.(713)583-7799, Fax (713)583-8788
e-mail: 0005930717@MCIMAIL.COM

#### RESUMEN

Los motocompresores son una parte clave de los procesos industriales. La confiable y eficiente operacion de un compresor es critica. El fenomeno de "Surge" es una amenaza a la confiabilidad de un compresor y por lo tanto del proceso.

El "surge" en un compresor centrifugo es definido como una dramatica caida de flujo y presion, incluyendo flujo inverso. Esto es siempre un significante disturbio del proceso. El "surge" continuo resulta en costosos paros de proceso y danos mecanicos.

Para prevenir el "surge" y controlar la presion de descarga con controles simples u obsoletos, es necesario ventear aire a la atmosfera. Esta forma de control es muy ineficiente y costosa.

Un control avanzado con tecnologia de punta ademas de proveer valor economico previniendo danos por "surge", provee substanciales ahorros de energia reduciendo o eliminando el venteo de aire a la atmosfera.

#### INTRODUCCION

Los turbocompresores son el corazon de muchos procesos industriales.

Debido a que las consequencias de "surge"son muy costosas para ignorarlas, la proteccion antisurge es necesaria para todos los turbocompresores.

Los sistemas de control antisurge de han desenvuelto a travez de los anos desde un simple control neumatico de flujo minimo, a controladores analogos electronicos con algoritmos especiales, a controladores avanzados de alta velocidad con base a microprocesadores.

#### **OBJETIVOS**

Los objetivos principales al instalar un control avanzado son:

- 1) Ahorro de energia eliminando el venteo de aire a la atmosfera.
- 2) Aumento de la confiabilidad de operacion de los compresores.
- 3) Proteccion mecanica de los compresores y de los motores.

#### ASPECTOS ECONOMICOS

Energia- El mayor costo del aire comprimido

El costo anual de operacion puede exceder el costo del compresor.

0.05 / KWH = 326 Dolar / anual / HP

Costo de operacion- compresor de 1,000 HP- \$ 325,000 dolar / anual

10 % ahorro de energia = \$ 32,500 dolares.

Costo de un sistema de control avanzado- Menos de 30,000 dolares.

En un estudio del Departamento de Energia de Estados Unidos (U.S. Department of Energy) se encontro un potencial de ahorro de energia en aire comprimido en todas las plantas visitadas:

Speak of the first of the contract of the property of the first of the state of the contract o

in the country of the confirmation of the conf

Las plantas mejor operadas- 10 a 15% Ahorro de Energia

Las plantas promedio- 20 a 40% Ahorro de Energia

Las plantas peor operadas- 50 a 60% Ahorro de Energia

#### ASPECTOS TECNICOS

#### ENTENDIENDO "SURGE"

El surge es definido como auto-oscilaciones de presion y flujo, incluyendo flujo inverso, causado por operar un compresor a un flujo menor y presion mayor de su capacidad.

La siguiente figura muestra la curva caracteristica de un compresor centrifugo. La curva muestra el lado A la cual es la region normal de operacion, y el lado B la cual es la region de peligro o "surge".

Consideremos que tenemos un compresor descargando a un tanque cerrado. Cuando ponemos en marcha el compresor, el tanque se empieza a llenar, y el punto de operacion se encuentra en el lado A de la curva(alto flujo y baja presion). A medida que el tanque se va llenando, la presion aumenta y el flujo a travez del compresor disminuye, hasta llegar a un punto (llamado punto de surge)en el cual la presion de descarga del compresor (energia cinetica) es vencida por la presion del tanque (energia potencial) y sucede un flujo inverso momentaneo en la region B de la curva. La region B no es estable. Como el rotor de compresor sigue girando, el compresor sigue tratando de generar presion completandose un ciclo de "surge". Estos ciclos de surge son repetidos hasta que algun estimulo externo rompe el ciclo. Estos flujos inversos ocurren tipicamente en aproximadamente 40 milisegundos.

#### CONSECUENCIAS DE SURGE

Las consequencias de surge son severas. El "surge"es un potente disturbio del proceso que puede alterar o parar el proceso y puede danar al compresor tambien. Danos a los sellos y cojinetes del compresor son comunes. Los claros de los sellos aumentan como resultado de "surge", disminuyendo el rendimiento y la eficiencia del compresor.

Incidentes de surge catastrofico pueden resultar en la completa destruccion del rotor y partes estaticas del compresor.

## CONTROL DE CAPACIDAD (PROCESO)

Mientras la protección del compresor contra surge es el mas urgente problema de control, este no es el único problema. Usualmente la capacidad del compresor tiene que ser ajustada para emparejarse con la carga de la planta. Este control de capacidad interactua con la protección anti-surge. Estas interacciones reducen la efectividad del sistema de control anti-surge y tiene que ser desacoplado.

Control de capacidad es mas complejo en red de compresores donde dos o mas compresores operan en serie o paralelo. Aquí, la distribución de carga automática entre los compresores es usualmente deseable. En estas aplicaciones, el sistema de protección anti-surge debe ser coordinado con el sistema de control de compartimiento de carga para asegurar buena protección de surge mientras la distribución de carga esta siendo optimizada.

La solución de control tiene que ser una solución integrada.

#### CONTROL DE MOTOCOMPRESORES CENTRIFUGOS

La forma mas eficiente de controlar un motocompresor centrifugo es cerrando o abriendo la valvula de succion a variaciones de consumo de aire o variaciones de las condiciones de succion de aire (temperatura, presion, etc.) en lugar de ventear aire a la atmosfera.

Cuando se reduce el flujo de aire en la succion, la curva de operacion del compresor y la curva de consumo de energia del motor bajan con su correspondiente ahorro de energia.

El problema es que este sistema requiere controles muy precisos ya que cuando se cierra parcialmente la valvula de succion y no se detectan sus limites de seguridad, el compresor entra en "surge" que podria causar danos mecanicos.

#### RESULTADOS

Los metodos descritos en este documento han sido aplicados a una gran cantidad de compresores. Muchas de estas aplicaciones fueron retrofits donde sistemas antisurge existentes proveian una pobre proteccion y requerian excesivo venteo a la atmosfera.

El sistema de control avanzado redujo el venteo substancialmente y resolvio el problema de "surge".

Los resultados economicos actuales de varios de estos sistemas son:

Compresores de aire de 1,500 HP

Ahorro de energia anual \$ 78,000 dolares.

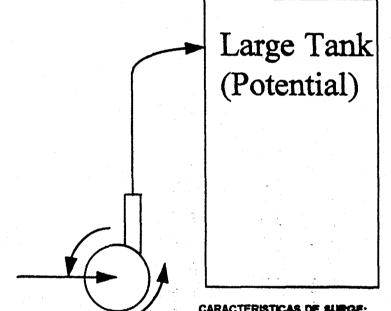
#### CONCLUSIONES

Los ahorros de energia de un motocompresor centrifugo pueden ser predecibles conociendo el comportamiento y el control de los mismos.

El estudio de los sistemas avanzados de control de "surge" agregara valor a una planta industrial, a traves de un sistema de control efectivo, y una confiable y eficiente operacion de un compresor.

#### REFERENCIAS

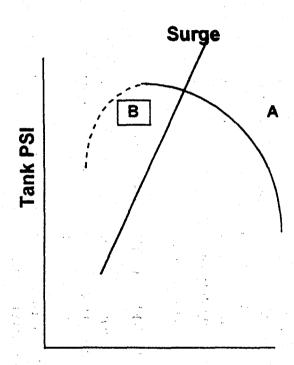
- 1. McMillan, G.K., "Centrifugal and Axial Compressor Control" ISA, 1983.
- 2. Hampel, J.,"Basic Turbocompressor Control and Protection," Compressor Controls Corporation 1994.



COMPRESSOR (KINETIC)

CARACTERISTICAS DE SURGE: DRAMATICA BAJA DE FLUJO EN MENOS DE SO MILISEGUNDOS. NINGUN OTRO FENOMENO FISICO CAUSA TAL BAJA DE FLUJO.

ALTA VIBRACION **GOLPEO AXIAL AL ROTOR** ALTA TEMPERATURA DANO MECANICO DEL COMPRESOR PERDIDA DE EFICIENCIA DEL COMPRESOR



Flow

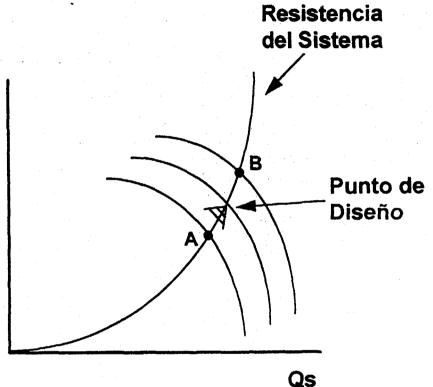
- A) KINETIC ENERGY > POTENTIAL B) POTENTIAL ENERGY > KINETIC

Presión de Descarga

 Cuando las condiciones de entrada cambian, el punto operativo se desplaza a lo largo de la curva de resistencia

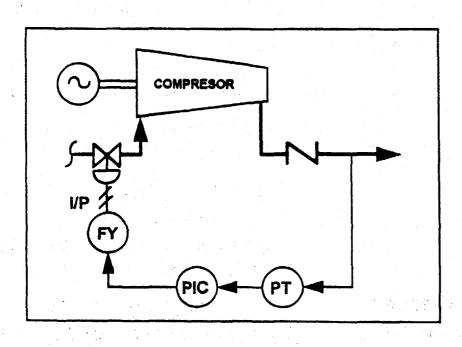
el Punto Operativo se Desplaza:					
	Hacia: A	Hacia: B			
Si la Presion de Succión	BAJA	SUBE			
Si la Temperatura de Succión	SUBE	BAJA			
Si el Peso Molecular	BAJA	SUBE			

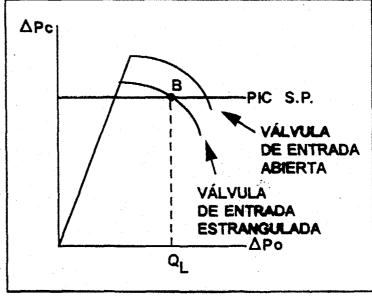
Para una Resistencia de Sistema Constante.



391

# Control de Desempeño por Estrangulación en la Succión





- La válvula de entrada manipula la presión de succión
- La curva de desempeño cae, con una menor densidad del gas en la succión
- Es común en máquinas de motor eléctrico
- Es mucho más eficiente que la estrangulación en la descarga

# Los Costos Operativos son Grandes

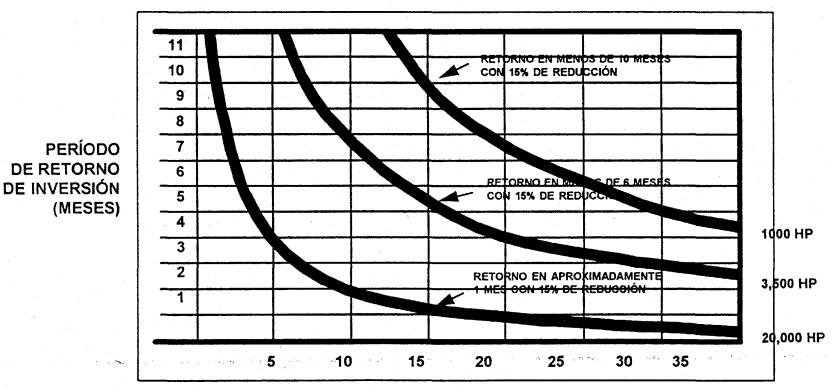
# Costos para Operar Una Turbomaquina por Año:

```
1,000 HP (746 KW)......$457,000
4,000 HP(2,984 KW).....$1,830,000
40,000 HP(29,480 KW).....$18,300,000
```

Assumiendo la potencia a \$.07 por kilowatt hora ó \$457 por Caballo de Fuerza por año. Los costos de energia son mucho mas altos.

# Los Ahorros de Energía Disponibles Pueden Ser Pronosticados

El Retorno de Inversión en Menos de un Año\* Es Típico por Reducción de Recirculación o Expulsión



Reducción de Recirculación (Porcentaje de Flujo Máximo del Compresor)

<sup>\*</sup>Asume la Potencia del Electomotor A \$0.05 U.S. Por Kilowatt Hora O Potencia de Turbina A \$327 Por Caballo de Fuerza Por Año. Las Consecuencias de Impuestos No Están Consideradas en el Período de Retorno Debido a la Variación de las Normas de Impuestos al Rededor del Mundo.

MX9800052

# PÉRDIDAS MAGNÉTICAS Y CAMBIO DE REACTANCIA POR LA TUBERIA METÁLICA EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Eduardo Campero L, Miguel Castañeda D., Roberto Cástulo A. y Neagu Bratu S. Departamento de Energía, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, Av. San Pablo 180, 02230 México, DF. TEL 724 4580, FAX 394 7378

#### Resumen

En este artículo se presentan los resultados obtenidos en la medición de pérdidas magnéticas en tuberías "conduit" (metálicas) en instalaciones eléctricas. Las pérdidas por corrientes parásitas y por histéresis se obtuvieron para diferentes condiciones de densidad magnética, provocada por la corriente neta resultante de la suma de las corrientes de todos los conductores que viajan por la tubería. A estas corrientes se les designa corrientes diferenciales y se describen las condiciones en las que éstas aparecen en las instalaciones eléctricas.

Se explica brevemente el fenómeno de inducción magnética que se presenta en las tuberías metálicas y los conceptos básicos que la describen. Se plantea una metodología teórico-experimental para cuantificar las pérdidas de energía, por corrientes parásitas y por la magnetización del metal en estas tuberías "conduit". Al mismo tiempo se cuantifica el impacto de estas corrientes diferenciales en la reactancia de la instalación eléctrica. Se muestran los resultados obtenidos para doce tubos de diferente diámetro y espesor de pared. Se hace un análisis comparativo con los resultados reportados en un artículo anterior, donde las pérdidas se estimaron mediante la medición del incremento de temperatura de la pared metálica.

#### Introducción

Las normas de instalaciones eléctricas exigen que las canalizaciones y tuberías no metálicas solamente se utilicen cuando queden empotradas. Por esta razón es muy común encontrar que toda la tubería de una instalación es metálica, conocida como "conduit". La ventaja principal de esta tubería es su rigidez mecánica, ya que protege a las personas y a los conductores que van en el interior. Por otra parte la continuidad eléctrica permite que funcione como tierra alternativa para protección de los usuarios.

El metal es también material propicio para las trayectorias de campos magnéticos que se generan por la presencia de corrientes alternas en el interior del tubo o en su exterior. Esto representa una ventaja ya que funciona como pantalla e impide la interferencia con otras líneas cercanas. Sin embargo, estos campos magnéticos producen a su vez cambios en la reactancia del conjunto tubo conductor e inducen corrientes parásitas y provocan pérdidas por histéresis. La cantidad de pérdidas por histéresis y por corrientes parásitas dependen del material y de la intensidad del campo magnético que fluye por el metal del tubo. De la misma manera la intensidad de flujo depende del valor de la corriente que lo induce.

Los conductores de corriente y neutro de un sistema monofásico deben colocarse en el mismo tubo, de forma que la corriente neta total vista por el tubo sea cero. En el caso del sistema trifásico el tubo debe contener a las tres fases y al neutro para garantizar que en cualquier instante la suma total de corrientes dentro del tubo sea cero. Si este detalle no se vigila resulta que la suma de corrientes en el tubo es diferente de cero. Una situación más común, que produce el mismo efecto, es la costumbre de algunos instaladores de aterrizar el neutro en los tableros derivados o en algún otro punto de la instalación. Esto propicia que el circuito se cierre a través de trayectorias fuera del tubo, de tal forma que la corriente neta dentro del tubo tiene un valor distinto de cero. Son estas corrientes las que los autores llaman diferenciales y son las que inducen campos magnéticos en las paredes de los tubos.

Las pérdidas de energía por histéresis y corrientes parásitas, así como el incremento de reactancia se pueden explicar mediante las leyes de inducción electromagnética (Faraday-Ampere).

#### Pérdida por histéresis

Cuando un material ferromagnético es excitado por una bobina alimentada por una fuente de variación periódica de corriente, absorbe energia (que se disipa en forma de calor) en forma proporcional al área del anillo de histéresis característico de ese material (curva de la densidad magnética B versus intensidad magnética H). Entonces si se logra establecer esta característica y determinar el área del anillo puede determinarse la pérdida. El término  $W_h$  representa la pérdida de histéresis por ciclo por unidad de volumen del material magnético.

Como el lazo de histéresis depende de las dimensiones del núcleo, se construyó un núcleo toroidal para cada tubo sobre el cual se arrollan dos devanados (primario y secundario). Los toroides se construyeron de porciones de tubo con una longitud de 15mm y 10 vueltas por devanado. Por el devanado primario se hizo circular una corriente alterna de magnitud tal que en el devanado secundario aparecía un voltaje inducido que es proporcional la densidad de flujo B. Los valores de densidad de flujo se determinaron para cada valor de corriente diferencial. Como la corriente a través del primario varia con el tiempo, el voltaje inducido en el secundario también varia con el tiempo; es decir, para cada instante de tiempo se tiene un valor de corriente y un valor de voltaje inducido. Si para cada instante de tiempo se grafica corriente contra voltaje inducido, se obtendrá el ciclo de histéresis correspondiente a esa densidad de flujo.

En la práctica, es conveniente hablar de pérdida de energía por segundo en un núcleo. Si el número de ciclos de magnetización por segundo es f (frecuencia de la señal de excitación periódica), entonces la pérdida debida a la histéresis para cada segundo está dada por:  $P_h = f W_h$ 

Esta ecuación es independiente de la forma de onda de la fuente de excitación, o de la forma de onda del flujo; depende solamente de la amplitud de la densidad de flujo, la frecuencia de la fuente y la naturaleza del material magnético.

Para visualizar el anillo de histéresis se dispuso de un osciloscopio que se conectó de manera que aparecían en el eje horizontal y vertical los voltajes de inducción y excitación respectivamente. El lazo de histéresis es capturado en hojas de papel milimétrico y se determinó el área de dicho ciclo. Como la curva de histéresis está representada por voltaje de excitación contra voltaje inducido, es necesario hacer conversiones de voltaje de excitación a intensidad de campo y de voltaje inducido a densidad de campo. La intensidad de campo  $H_{\rm rms}$  se obtiene directamente multiplicando la corriente de excitación  $I_{\rm rms}$  por el número de vueltas del devanado primario y dividiéndola por la longitud de la trayectoria del campo, que en este caso es el perímetro medio del núcleo del toroide. Suponiendo que la densidad de flujo  $B_{\rm max}$  es senoidal se utilza la siguiente expresión:

$$B_{max} = \frac{e_{ind.rms}}{\sqrt{2} \pi f N A}$$

Donde:

f = es la frecuencia en Hz.

N =es el número de vueltas del devanado secundario.

A = es la sección transversal por donde pasa el flujo en metros cuadrados.

Para la pérdida de potencia promedio por unidad de longitud es necesario primero determinar el volumen:

$$Volumen = \pi \left( r_{ext}^2 - r_{int}^2 \right) l$$

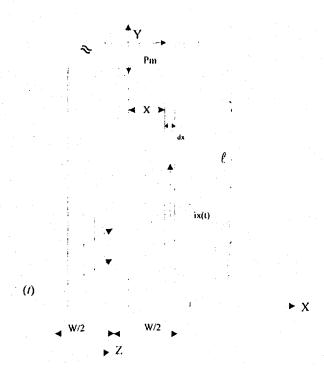
Entonces, la pérdida de potencia promedio debida a la histéresis por unidad de longitud de material del tubo, está dada por:

$$P_{h(promedio)} = \pi \left(r_{ext}^2 - r_{int}^2\right) S_1 S_2$$
 (área del ciclo de histéresis)  $f$ 

#### Pérdidas de energía por corrientes parásitas.

Las tuberías metálicas además de ser un material propicio para las trayectorias de campos magnéticos son también conductores, aunque su conductividad es bastante menor comparada con la del cobre. Si el campo magnético establecido en la tubería varía con el tiempo, se induce un voltaje en al tubería, ocasionando en ésta una circulación de corriente. La tubería tiene una resistencia finita, por lo tanto se disipa energía debido a pérdidas óhmicas, estas corrientes inducidas son llamadas corrientes parásitas.

En la figura se muestra una sección transversal aumentada de la tubería con las trayectorias de flujo que aparecen con la presencia de la corriente i(t). En la figura se supone que la sección transversal está en el plano X-Y y el flujo está a lo largo de la dirección Z.



Sección transversal por donde circula el flujo inducido por la corriente del conductor. Las trayectorias de corrientes parásitas se muestran en el instante en que se oponen al incremento de este flujo.

Si en un cierto instante el flujo  $\phi(t)$  está en la dirección -Z y se está incrementando, las corrientes inducidas serán en una dirección tal, que los flujos establecidos por éstas corrientes se opondrán al cambio del flujo. Como las corrientes inducidas forman anillos semejando un remolino son también llamadas corrientes de "eddy". Realmente hay un número infinito de anillo de corriente cubriendo completamente la sección transversal por donde circula el flujo. El espesor (w) de la tubería es muy pequeño comparado con las otras dimensiones, es decir: w <<  $P_m$  (perimetro medio) y w<<<< I, por lo que puede suponerse que la amplitud de la densidad de flujo  $B_{\rm max}$  es la misma a través de la sección transversal, por lo tanto el efecto superficial puede ser despreciado (se considera un material y una distribución homogéneos).

Si se considera la trayectoria de corriente inducida como una tira delgada, de espesor dx, en forma de un anillo rectangular dentro de la sección transversal y el anillo colocado simétricamente con

respecto al eje y y que los lados mayores estén a una distancia x del eje y, el anillo lleva una corriente  $i_x(t)$  y encierra un flujo  $\phi_x(t)$ , entonces este flujo se distribuye sobre un área 2x l:

$$\phi_{x}(t) = b(t) 2xI$$

De acuerdo con la ley de Faraday de inducción electromagnética, el voltaje inducido en el anillo (considerado como una bobina de una espira: N = 1) está dado por:

$$e_x(t) = \frac{d\phi_x(t)}{dt} = 2x l \frac{d}{dt} b(t)$$

Si la resistividad del tubo es  $\rho$  (medida con un puente de Kelvin), la resistencia del anillo es:

$$R_x = \rho \frac{l_x}{a_x}$$

donde  $l_x$  es la circunferencia del anillo de corriente y  $a_x$  es el área de la sección transversal, medida perpendicularmente a la dirección del flujo de corriente, pero:

$$l_x = 2l + 4x$$
 como  $l >>> x$   $\Rightarrow l_x = 2l$  y  $a_x = P_m dx$ 

Sustituyendo:

$$R_{x} = \frac{2l\rho}{P_{m}dx}$$

La pérdida de potencia instantánea en el anillo (pérdida óhmica) es:

$$dp_x(t) = \frac{\left[e_x(t)\right]^2}{R_x}$$

Sustituyendo en la ecuación el valor de  $e_x$  (t) y el de  $R_x$ .

$$dp_x(t) = (2l)^2 \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^2 x^2 \left(\frac{p_m}{2l\rho}\right) dx = \frac{2lp_m}{\rho} \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^2 x^2 dx$$

Integrando de 0 a w/2, la pérdida de potencia en el tubo es:

$$\int_{0}^{w/2} dp_{x}(t) = P_{e1}(t) = \int_{0}^{w/2} \frac{2lP_{m}}{\rho} \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^{2} x^{2} dx = \frac{2lP_{m}}{\rho} \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^{2} \frac{x^{3}}{3} \Big|_{0}^{w/2}$$

$$P_{e1}(t) = \frac{2lP_{m}}{\rho} \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^{2} \left(\frac{w^{3}}{24}\right) = \frac{lP_{m}w}{12\rho} \left(\frac{d}{dt}b(t)\right)^{2} w^{2}$$

I P<sub>m</sub>w es el volumen de la pared del tubo. La pérdida de potencia instantánea, debido a las corrientes parásitas por unidad de volumen del material del tubo es:

$$P_e(t) = \frac{w^2}{12 \rho} \left( \frac{d}{dt} b(t) \right)^2$$

Suponiendo una variación senoidal del flujo tenemos:

$$P_{e}(t) = \frac{w^{2}}{12\rho} \left( \frac{d}{dt} B_{max} Sen\omega t \right)^{2} = \frac{w^{2} B_{max}^{2} \omega^{2}}{12\rho} \cos^{2} \omega t$$

La pérdida de potencia promedio debida a las corrientes parásitas puede ser calculada al integrar por ambos lados la ecuación sobre un ciclo completo y dividiendo por el período del ciclo. Si T es el período en segundos de  $P_{\rm e}$  (t), la pérdida de potencia promedio está dada por:

$$P_{\text{el promedio}} = \frac{w^2 B_{\text{max}}^2 \omega^2}{12\rho} \frac{1}{T} \int_0^T \cos^2 \omega t \, d\omega t = \frac{w^2 B_{\text{max}}^2 \omega^2}{24\rho} = \frac{\pi^2 f^2 w^2}{6\rho} B_{\text{max}}^2$$

Que es la potencia promedio debido a las corrientes parásitas por unidad de volumen.

#### Cambio de reactancia

The second secon

Los conductores eléctricos, estén o no alojados en tuberías metálicas, representan un elemento inductivo conectado en serie con la carga. Esta situación se complica cuando además existen corrientes diferenciales ya que surge una inductancia adicional a la que normalmente tiene el cable dentro de una tubería metálica. Para determinar la reactancia total del sistema se debe sumar la reactancia inductiva provocada por la circulación de flujo en el tubo:

La inductancia de un circuito puede definirse como la primera derivada del flujo que se eslabona con el circuito con respecto a la corriente que circula por el circuito:

$$L = N \frac{d\phi}{di}$$

Si N=1 y si en lugar de los valores instantáneos del flujo y de la corriente se utilizan los valores eficaces, y recordando que la reactancia inductiva del tubo es:  $X_L = 2 \pi f L$ 

$$X_L = 2\pi f \frac{\mathring{\phi}}{I_L}$$

Esta expresión puede aplicarse para obtener el incremento de reactancia producido por la corriente diferencial.

#### Resultados

Para cada diámetro de tubo (pared delgada y pared gruesa) se muestra una curva de pérdidas totales en watts; y el incremento de reactancia en miliohms por metro como función de la corriente diferencial (las gráficas aparecen al final del artículo).

En el articulo de E. Campero et al publicado en la memoria del XV Seminario Nacional Sobre Uso Racional de Energía, se reportan pérdidas de energía para tres tamaños de tubo a una corriente diferencial de17A, estimadas mediante la medición del incremento de temperatura en la pared del tubo. Los tamaños de tubo reportados son: 13mm pared delgada, 19mm pared delgada y 19 mm pared gruesa. A continuación se comparan los resultados de ambas pruebas:

Tamaño nominal	*Pt (W/m)	** <i>Pt</i> (W/m)	Desviación %
13mm pared delgada	0.275	0.33	16.66
19mm pared delgada	0.224	0.18	19.64
19mm pared gruesa	0.41	0.48	14.58

<sup>\*</sup>pérdidas estimadas mediante la medición del incremento de temperatura en la pared del tubo.

<sup>\*\*</sup>pérdidas estimadas mediante la medición de parámetros eléctricos.

#### Conclusiones

La presencia de corrientes netas distintas de cero circulando por el interior de tubos metálicos tiene grandes desventajas: produce pérdidas por histéresis, pérdidas por corrientes parásitas, aumenta la demanda de potencia reactiva de una instalación eléctrica y puede provocar distorsión de la onda de corriente (generación de armónicas).

Las pérdidas se traducen en costo de operación por energía y probablemente también impactan la demanda máxima ya que se presentan cuando las líneas están cargadas.

La cuantificación de pérdidas producidas por el efecto de las corrientes diferenciales muestra que pueden evitarse gastos de operación inútiles, que aunque pueden ser proporcionalmente pequeños no hay razón para que no se eviten.

Las pérdidas en las tuberías producen calor y el incremento en la temperatura de operación de la instalación eléctrica puede tener consecuencias sobre la vida de la intalación y de los aparatos conectados a ella.

Las condiciones en que se realizaron las pruebas y la repetición de los resultados permiten afirmar que las mediciones son confiables aunque se estima un error de  $\pm$  20% (aunque no se hizo una estimación estadística).

Resulta conveniente incluir dentro de los diagnósticos de instalaciones eléctricas la medición de la corriente total instantánea que circula por el interior de los tubos metálicos y en caso de que sea diferente de cero investigar su origen y corregir el defecto.

#### Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento al profesor: Peter Allen y al Dr. Rafael Escarela, por sus comentarios al método utilizado en este trabajo.

#### Bibliografía

Campero L., E. et al. "Pérdidas de Energía Producidas por Corrientes Diferenciales en la Tubería Metálica de Instalaciones Eléctricas". Memoria del XV Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía. Noviembre de 1994. pp 137 a 143.

Condumex. <u>Catálogo Técnico de Cables de Energia</u>. Primera parte. Selección de Cables y Accesorios. 1992.

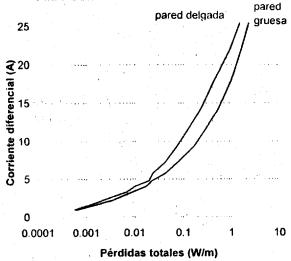
E.E. STAFF, MIT. <u>Principles of Electrical Engineering Series. Magnetic Circuits and Transformers</u>. 1943.

Hayt, William H. Jr. Teoría Electromagnética, Macgraw Hill, quinta edición, 1992.

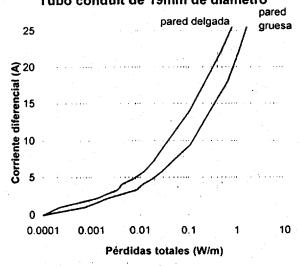
SECOFI. <u>Normas Técnicas para Instalaciones Eléctricas</u>. Parte I Instalaciones para el Uso de Energía Eléctrica. Publicaciones del IPN. 1993.

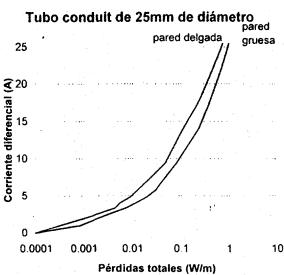
Strate Strategic

#### Tubo conduit de 13mm de diámetro

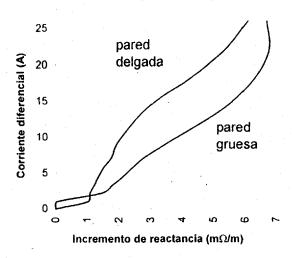


# Tubo conduit de 19mm de diámetro

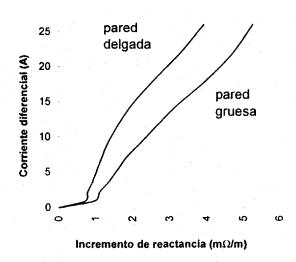




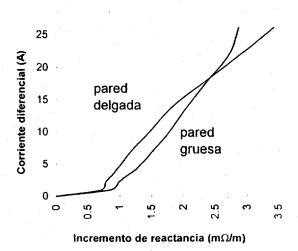
Tubo conduit de 13mm de diámetro



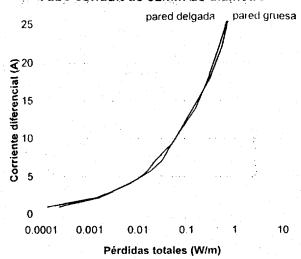
Tubo conduit de 19mm de diámetro



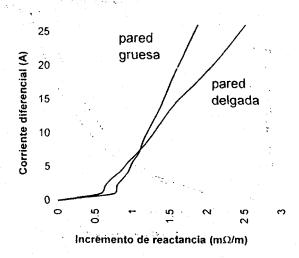
Tubo conduit de 25mm de diámetro



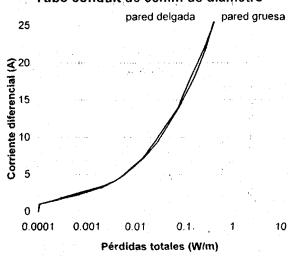
#### Tubo conduit de 32mm de diámetro



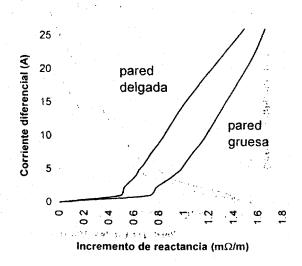
#### Tubo conduit de 32mm de diámetro



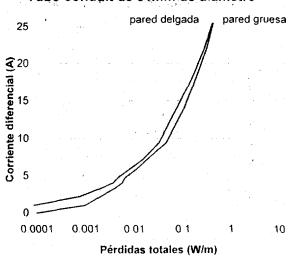
## Tubo conduit de 38mm de diámetro



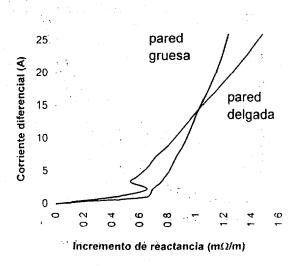
## Tubo conduit de 38mm de diámetro



#### Tubo conduit de 51mm de diámetro



#### Tubo conduit de 51mm de diámetro



M X9900052

# LA PRESENCIA DE CORRIENTES ARMÓNICAS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y ALGUNAS DE SUS CONSECUENCIAS

Neagu Bratu Serbán y Eduardo Campero Littlewood.

Departamento de Energía, División de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco,
Av. San Pablo 180, 02230 México, DF.
Tel 724 4254 FAX 394 7378

#### Resumen

En este artículo se hace una breve introducción de la forma en que se generan las ondas senoidales de voltaje. Se revisa la manera de representar una onda distorsionada y la manera de cuantificar su contenido de armónicas (distorsión armónica). Se repasan los elementos consumidores no lineales que producen la deformación de las ondas de corriente.

Se revisa el concepto de factor de potencia en condiciones de ondas con distorsión armónica. Se analizan las consecuencias de alimentar con ondas distorsionadas a diferentes equipos como motores (particularmente por la distorsión originada por los rectificadores y los controladores de velocidad electrónicos), transformadores y capacitores. Se mentionan algunos métodos para no producir, o reducir el efecto armónico en las redes eléctricas.

El propósito de este artículo es revisar las consecuencias sobre el consumo de energía por la presencia de armónicas.

#### Introducción

De acuerdo con la ley de Faraday, el fenómeno de inducción de una fuerza electromotriz (voltaje) en un conductor se presenta cuando el flujo que lo enlaza cambia en el tiempo. Esto significa que en todos los procesos de conversión electromagnética está involucrada la diferenciación (o derivación) de cantidades variables en el tiempo. La única forma de onda que al integrarse o derivarse conserva su forma es la senoide. Por esta razón es importante alimentar ondas senoidales a todos los elementos de la red eléctrica. De no ser así las ondas irían cambiando de forma en cada proceso de conversión electromagnética.

Para que las ondas de voltaje trifásico generadas en las centrales eléctricas sean senoidales se requiere que los enlazamientos de flujo tengan una distribución senoidal. Esto puede lograrse de la siguiente manera: 1) Con un diseño del devanado de campo en el que sus amper-vueltas tengan una distribución senoidal (aproximada); y 2) diseñando las caras polares de las máquinas de polos salientes de forma que el flujo sea más intenso en el centro del polo y disminuya senoidalmente hacia los extremos. Debido a la dificultad para lograr un devanado que tenga una distribución espacial perfectamente senoidal y a la existencia de saturación magnética, es imposible lograr una onda senoidal perfecta. Sin embargo, se puede afirmar que con los generadores actuales la onda de voltaje que entregan las centrales generadoras tiene una distorsión despreciable (menor al 1%).

Por otra parte existen elementos en la red eléctrica cuya característica de respuesta a la excitación del voltaje es **no lineal** por lo que provocan distorsión de la onda original. Esto ocasiona que las caídas de voltaje de los elementos del sistema tengan una forma no senoidal. En ciertas condiciones resulta que la onda de voltaje que abastece a otros consumidores de la red eléctrica puede tener un perfil considerablemente distorsionado.

Los elementos cuya onda de corriente es no senoidal son principalmente: Hornos de arco y otros dispositivos de descargas por arco, tal como las lámparas fluorescentes; Aparatos con núcleos

magnéticos, tales como transformadores y máquinas rotatorias, que requieren corrientes de excitación no senoidales; Sistemas de rectificación (monofásicos o trifásicos), ya sea para control de velocidad en motores asíncronos, o para modular calor o intensidad de luz, o para fuentes de poder de computadoras, o para cualquier otra aplicación.

Efectivamente los controles de tiempo de encendido de estado sólido (electrónica de potencia), que regulan el voltaje aplicado a distintos elementos consumidores, son causantes de la mayor parte de la distorsión. Por ejemplo, en un sistema "chopper" el tiristor regula el voltaje de la carga dejando pasar la corriente solamente cierta parte del ciclo de la onda de voltaje, de tal forma que la onda de corriente puede estar muy alejada de una senoide.

Resulta paradójico que precisamente los equipos que producen la distorsión son los más perjudicados por su presencia. Esto se debe a que el control electrónico de regulación supone en su diseño que la onda de alimentación es una senoidal perfecta.

#### Componentes armónicas y cuantificación de la distorsión

Jean Baptiste Fourier demostró que una onda senoidal distorsionada (onda periódica que cumple con ciertas condiciones matemáticas) puede representarse por la suma de una onda fundamental senoidal de la misma frecuencia que la original más otras ondas senoidales armónicas, llamadas así porque sus frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. En un sistema de 60Hz la componente armónica "h" es una onda senoidal cuya frecuencia es "n60Hz", donde "n" es un entero. De acuerdo con las series de Fourier una onda puede representarse por:

$$F(\theta) = \frac{A_0}{2} + \sum_{h=1}^{\infty} (A_h \cos h\theta + B_h \sin h\theta)$$

Donde:

$$A_{\theta} = \frac{1}{\pi} \int_{a}^{a+2\pi} F(\theta) d\theta \qquad A_{h} = \frac{1}{p} \int_{a}^{a+2p} F(\theta) \cos h\theta d\theta \qquad B_{h} = \frac{1}{\pi} \int_{a}^{a+2\pi} F(\theta) \sinh \theta d\theta$$

De esta manera se puede representar cualquier onda por la suma de ondas senoidales armónicas.

La manera más común de medir la distorsión de una onda es obteniendo el porcentaje del valor *rms* de todas las armónicas con respecto al valor *rms* de la fundamental. A esta cantidad se le conoce como distorsión armónica total (Total Harmonic Distortion *THD*). A continuación aparecen las definiciones de *THD* de voltaje y corriente:

$$THDV = \frac{\sqrt{\sum_{2}^{\infty} V_{h}^{2}}}{V_{I}} \times 100(\%) ; \qquad THDI = \frac{\sqrt{\sum_{2}^{\infty} I_{h}^{2}}}{I_{I}} \times 100(\%)$$

donde el subíndice 1 corresponde al valor de la onda fundamental.

Otro parámetro de medición de la deformación de la onda senoidal es el Factor de Distorsión (distortion factor: df), definido por el IEEE estándar 100-1992, con el que se obtiene el porcentaje del valor rms de todas las armónicas con respecto al valor rms de la onda distorsionada completa (la fundamental más todas las armónicas).

Existen normas que establecen límites de contenido de armónicas, tales como: IEEE std 519-1992 (EUA); IEC 36.05 (Europa); DIN 57160 (Alemania); G 5/3 (Inglaterra); AS 2279 (Australia).

Para cuantificar la influencia de cierta armónica de orden "h" en la distorsión de una onda de voltaje V (o corriente I) se usa la siguiente expresión:

$$DV_h = \frac{V_h}{V_l} \times 100(\%)$$
  $DI_h = \frac{I_h}{I_l} \times 100(\%)$ 

Las compañías suministradoras que vigilan los niveles de contenido de armónicas en sus redes y que estos exceden un límite prescrito, instalan filtros o piden a los usuarios causantes de esta distorsión que los instalen.

#### Consecuencias de la distorsión armónica

Definitivamente la consecuencia más clara es que las componentes armónicas de las corrientes producen pérdidas por efecto Jule en las resistencias que se presentan a su circulación:

$$P_h = I^2_{armónica} R_{armónica}$$

Por otra parte las pérdidas en los núcleos magnéticos también se ven incrementadas ya que las pérdidas por histéresis son proporcionales a la frecuencia y las pérdidas por corrientes parásitas son proporcionales con el cuadrado de la frecuencia.

Además del impacto importante en las pérdidas del sistema eléctrico, de todos sus equipos y los de los usuarios, la presencia de armónicas tiene consecuencias en el manejo de magnitudes eléctricas y en el valor que adquieren los parámetros de la red. Las magnitudes como potencia activa, potencia reactiva, energía, factor de potencia, impedancias y caídas de voltaje en redes con ondas distorsionadas no pueden manejarse igual que en las que tienen voltajes y corrientes senoidales.

#### Potencia activa y energía en redes con ondas distorsionadas

Para el caso de la potencia activa se deberán considerar las armónicas de voltaje con sus respectivas ondas de corriente y asociar los conceptos de potencia reactiva y factor de potencia.

$$P_{armónica} = V_{armónica} \bullet I_{armónica} \cos \theta_{armónica}$$

La medición de la energía con distorsión armónica se dificulta ya que los instrumentos pueden tener errores grandes para frecuencias diferentes a la fundamental, además de la dificultad para distinguir el sentido del flujo de las armónicas. Es probable que un usuario sea el causante de la distorsión armónica y que la energía medida sea menor que la consumida, mientras que otro usuario que sufre las consecuencias de recibir una onda de voltaje distorsionada pague más que la energía efectivamente consumida.

#### Potencia reactiva en redes con ondas distorsionadas

Por lo que respecta al concepto de potencia reactiva y factor de potencia surge un problema más complicado. El factor de potencia esta definido, para una variación senoidal de voltaje y corriente, como la razón de la potencia activa entre la potencia aparente. Esto equivale al coseno del ángulo de defasamiento entre el voltaje y la corriente. Este concepto no tiene sentido cuando se trata de ondas con componentes de diferentes frecuencias. Por esta razón resulta necesario redefinir el concepto de potencia reactiva y factor de potencia.

A continuación se expone la propuesta que Robinson y Allen (1992) califican como razonable en el artículo en que explican cinco posibles definiciones:

$$P = \sum_{n=1}^{\infty} V_h I_h$$

$$P_{al} = V_1 I_1 \cos \theta_1$$

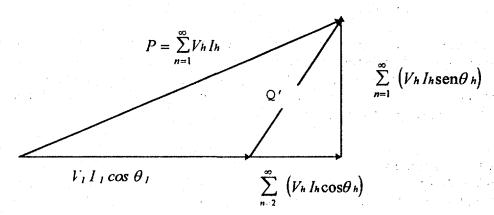
$$P_{2a} = \sum_{n=2}^{\infty} V_h I_h \cos\theta_n$$

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_h I_h sen\theta_h$$

Se propone para determinar la potencia reactiva como:

$$Q' = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} (V_h I_h \cos \theta_h)^2} + \sum_{n=1}^{\infty} (V_h I_h \sin \theta_h)^2$$

Estas definiciones se expresan gráficamente de la siguiente forma:



Gráfica de valores rms de los componentes para la obtención de la potencia reactiva en una red con alto contenido de armónicas

Resulta claro que para consumidores con motores esta definición es apropiada y tiene mucho sentido, mientras que para consumidores de tipo resistivo la forma de onda de voltaje o corriente no les afecta.

#### Reactancia en redes con ondas distorsionadas

La presencia de armónicas en un circuito provoca cambios en la impedancia del sistema. Las resistencias cambian por la influencia que la frecuencia tiene sobre el efecto piel. Sin embargo, en esta parte nos interesa más analizar los cambios en la reactancia y los efectos que esto puede tener en el comportamiento del sistema.

La reactancia inductiva es proporcional a la frecuencia:  $X_L = 2 \pi f L$ 

$$X_L = 2 \pi f L$$

por lo que una inductancia significará una mayor reactancia para las armónicas que para la onda fundamental de una corriente. Esto tenderá a atenuar las componentes armónicas de la corriente, disminuyendo la distorsión.

La reactancia capacitiva es inversamente proporcional a la frecuencia:

$$X_C = 1/2 \pi f C$$

de forma que una capacitancia ofrecerá menor reactancia a las corrientes armónicas que a la componente fundamental. Entonces una capacitancia alimentada por corrientes armónicas tenderá a aumentar la distorsión de la onda de corriente, consecuentemente aumentarán las pérdidas, pero también muy importante es que la disminución de la reactancia capacitiva conlleva la posibilidad de que se presente el fenómeno de resonancia a una de las frecuencias armónicas, provocando que la corriente de esa frecuencia crezca peligrosamente. La resonancia también se puede hacer que se presenten voltajes armónicos muy altos. En circuitos con alto contenido de armónicas es riesgoso incrementar la presencia de bancos de capacitores, ye que cada aumento de capacitancia significa una disminución de la frecuencia de resonancia del sistema.

#### Consecuencias de la distorsión en los equipos eléctricos

Una onda de voltaje trifásica simétrica que no tiene una forma senoidal produce efectos negativos en los motores asíncronos: incrementa las pérdidas por efecto Joule (en la jaula y en devanado del estator), incrementa la saturación magnética y por lo tanto las pérdidas en el núcleo, aparecen pulsaciones en el par mecánico de salida, disminuye el par de arrangue y ruido adicional.

Estos efectos se pueden explicar a partir del análisis del campo rotacional producido por ondas trifásicas. En el sistema de voltaje trifásico las ondas fundamentales forman un campo rotacional considerado básico. El sistema de voltaje correspondiente a cada frecuencia armónica formará su propio campo rotacional.

Las armónicas de tercer orden y todas las múltiplo de tres, no producen campo rotacional debido a que el desplazamiento entre ellas es submúltiplo de 120°. Sin embargo, circulan las corrientes correspondientes, produciendo pérdidas por efecto Joule y su flujo magnético se suma al de las demás componentes (fundamental y otras armónicas), contribuyendo así al fenómeno de saturación en el hierro. Las armónicas de frecuencias 3h+1 (pares) crean campos magnéticos rotacionales en el mismo sentido que la fundamental. Se puede decir que se suman al par creado por la fundamental.

Las armónicas de frecuencias 3h-1 crean campos magnéticos rotacionales en sentido contrario al de la onda fundamental. Se puede decir que se restan del par producido por la fundamental. Se estima que tanto los pares de sentido directo como los de sentido inverso son del mismo orden de magnitud y que se cancelan entre si, pero todos estos pares parásitos crean ruido. De igual forma que las de tercer orden, las armónicas 3h±1 contribuyen a la saturación y a las pérdidas por efecto Joule.

Respecto a los pares producidos por ondas de alta frecuencia, tanto en sentido directo como en sentido inverso, se considera que los flujos magnéticos correspondientes no tienen tiempo de penetrar al fondo de la ranura del rotor y por lo tanto tienen valores insignificantes. Aunque sí producen ruidos, saturación magnética y pérdidas por efecto Joule.

#### Conclusiones

El problema de la distorsión de ondas no es nuevo, pero debido a la utilización de los elementos electrónicos de potencia, como sus causantes principales, y a la posibilidad de discriminar y cuantificar el fenómeno, se abren nuevas perspectivas de estudio.

En el caso general de la onda distorsionada se deben considerar el voltaje de cada armónica con su respectiva onda de corriente y asociarle los conceptos de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y caída de voltaje. Al querer totalizar los resultados se debe considerar que los efectos están calculados en instantes diferentes y que por lo tanto se puede estar afectando el significado físico de estas magnitudes. Esta situación es muy clara al intentar encontrar un significado del factor de potencia de cada armónica o al tratar de totalizarlo.

Los efectos de las armónicas en los transformadores, en las máquinas sincronas y en las asíncronas son básicamente reducción de eficiencia y deterioro del desempeño. Las armónicas en las máquinas síncronas (por el devanado de amortiguamiento), al igual que en las asíncronas, producen campos rotacionales que giran en sentido directo y en sentido inverso.

Los transformadores de potencia sufren efectos similares debido a la contaminación armónica del sistema. Las armónicas del tercer orden y sus múltiplos crean excitaciones simultáneas en las tres fases, pero la ausencia de neutro en la conexión (delta o estrella) impide que esta armónica transmita al sistema. Sin embargo, estas corrientes (terceras armónicas) circulan por el transformador y crean las fuerzas magnetomotrices, que implican pérdidas en los conductores eléctricos y en el núcleo. Las armónicas de orden 3h+1 y 3h-1 circulan por el transformador y también producen pérdidas.

Para el caso de los capacitores el problema es más grave, ya que se puede presentar resonancia. Los capacitores de potencia, colocados en el sistema con el fin de compensar el factor de potencia atrasado, disminuyen la frecuencia de resonancia del circuito y pueden amplificar de manera importante la corriente armónica.

El manejo de magnitudes en redes con ondas distorsionadas se debe hacer considerando el voltaje de cada armónica con su correspondiente onda de corriente y asociarle los conceptos de potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y caída de voltaje. Al querer totalizar los resultados se debe considerar que los efectos están calculados en instantes diferentes y que por lo tanto se puede estar afectando el significado físico de estas magnitudes. Esta situación es muy clara al intentar encontrar un significado del factor de potencia de cada armónica o al tratar de totalizarlo.

Resulta paradójico que precisamente los dispositivos electrónicos que producen la distorsión son los más perjudicados por su presencia. Esto se debe a que el control electrónico de regulación supone en su diseño que la onda de alimentación es una senoidal perfecta.

Otros efectos negativos de la distorsión armónica en sistemas de potencia son: Los problemas de ruido que generan interferencia en sistemas de telecomunicación, telemando y radiocomunicación.

#### Referencias

- H.J. Robinson y P.H.G. Allen. "Power Factor and Quadergy Definitions for Harmonic Rich Power Systems". Proceedings 7th International Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Glasgow, noviembre 1992.
- A.J. Berrisford. "Should a Utility Meter Harmonics?". Proceedings 7th Internacional Conference on Metering Apparatus and Tariffs for Electricity Supply, Glasgow, noviembre 1992.
- Alfredo Navarro Crespo. "Corrientes Armónicas en Sistemas Eléctricos de Potencia". XIV Seminario Nacional Sobre el Uso Racional de la Energía. México, D.F., noviembre 1993.
- McGraw-Hill. Dictionary of Scientific and Technical Terms. Second Edition, 1978.

IEEE std 141 1993. IEEE Recomended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants.

M X9 8 00053

## "ESTUDIO EXPERIMENTAL SOBRE LA COMBUSTIÓN DE COMBUSTÓLEO EN LECHO FLUIDIZADO CIRCULANTE"

Ricardo Díaz Rangel

Sitio donde se desarrolló el tema: Instituto de Investigaciones Eléctricas Departamento de Ingeniería Mecánica Av. Reforma No. 113, Col. Palmira Temixco, Morelos C.P. 62490 Tels. (9173)18-38-11 Fax (9173)14-41-72

#### RESUMEN

El Instituto de Investigaciones Eléctricas desarrolló un combustor de lecho fluidizado circulante de 0.5 MW térmicos de potencia, único en su tipo en Latinoamérica. La tesis de licenciatura titulada "Estudio Experimental sobre la Combustión de Combustóleo en Lecho Fluidizado Circulante" se realizó operando dicho combustor, con el propósito de determinar la factibilidad de quemar combustóleo pesado en forma estable y autosotenida, así como la influencia que tiene la adición de carbonato de calcio al lecho.

Los resultados de los ensayos experimentales mostraron que se puede quemar combustóleo pesado en un lecho fluidizado circulante, con bajas emisiones de bióxido de azufre. Durante la experimentación se logró una retención de azufre del 43 %, con una relación Ca/S de 4.5.

#### Introducción.

Una gran parte de la energía eléctrica que se genera en el país proviene de la combustión de combustóleo; combustible que en los últimos años ha incrementado su concentración de azufre y metales pesados, ocasionando que los generadores de vapor tengan problemas de corrosión, mantenimiento y altas emisiones de contaminantes (óxidos de azufre y nitrógeno principalmente).

En la actualidad los requerimientos de energía eléctrica tienden a incrementarse, así como la necesidad de proteger y preservar el ambiente, ambos factores han contribuido al estudio de nuevas tecnologías capaces de conciliar el binomio desarrollo-ambiente.

Las calderas de lecho fluidizado se han constituido como una opción factible que satisface las necesidades de generación de vapor, así como la protección al ambiente. Son varios los países que emplean esta tecnología para la generación de electricidad, siendo el combustible más empleado el carbón; dentro de los países con mayor experiencia en la tecnología de lechos fluidizados se encuentra China, que cuenta con aproximadamente 2,000 combustores de lecho fluidizado burbujeante.

Para el caso particular de México, con combustibles en su mayoría derivados del petróleo, resulta necesaria la realización de ensayos experimentales que permitan determinar la factibilidad de aplicar esta tecnología a los combustibles nacionales, es por ello que desde 1990 el Instituto de Investigaciones Eléctricas (I.I.E.) ha realizado pruebas de combustión empleando esta tecnología, en un combustor de lecho fluidizado burbujeante.

Continuando con la línea de investigación, se desarrolló un combustor de lecho fluidizado circulante, primero en su tipo en Latinoamérica y con una capacidad de hasta 0.5 MW térmicos.

Una de las características más importantes de los combustores de lecho fluidizado, además de las bajas emisiones de contaminantes, es la flexibilidad en el uso de combustibles, de tal manera que puede quemar incluso basura; esto representa una gran oportunidad para aprovechar los tiraderos de basura como combustible y generar energía eléctrica sin dañar el ambiente, además de acuerdo con la literatura la ceniza producida por el combustor se puede emplear en la agricultura y la construcción.

El presente trabajo tuvo como objetivo la determinación de los siguientes aspectos:

- ➤ La operación adecuada de los equipos que componen al combustor, pues éste era de reciente construcción y nunca se había operado.
- ➤ La factibilidad de quemar combustóleo pesado, con 3.64% en peso de azufre, en forma estable y autosostenida.
- ► La influencia de la adición de carbonato de calcio al lecho, sobre las emisiones de bióxido de azufre (SO,).

#### Fenómeno de Fluidización.

El fenómeno de fluidización consiste en hacer pasar a través de un lecho de partículas, un fluido en forma ascendente; en un principio pasará prácticamente sin perturbar el lecho pero conforme se incremente su flujo, se llegará a un punto tal que la velocidad del fluido originará una fuerza de arrastre igual a la fuerza de gravedad ejercida sobre las partículas del lecho; a esta velocidad se le denomina velocidad mínima de fluidización ( $\nu_{\rm nul}$ ). Es en este punto donde la caída de presión del fluido a través del lecho ( $\Delta P_{\rm nul}$ ) iguala al peso de las partículas por unidad de área.

Incrementos posteriores en la velocidad del fluido ocasionan que el lecho se expanda, dando lugar a distintos tipos de fluidización, como se muestra en la figura 1.

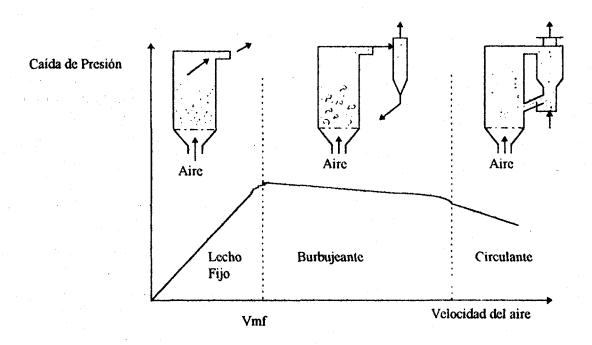


Figura 1. Tipos de Fluidización

De lo anterior es posible definir a la fluidización como la operación a través de la cual partículas sólidas pueden comportarse como un fluido por medio del contacto con un gas o un líquido. El caso más común, que será objeto del presente trabajo, es el gassólido.

## Ventajas sobre los Sistemas de Combustión Convencionales.

Las principales ventajas que presenta un combustor de lecho fluidizado sobre un sistema convencional de combustión son las siguientes:

- 1) Disminución de las emisiones de  $SO_x$  y  $NO_x$ : este hecho se debe principalmente a dos factores:
- La temperatura relativamente baja con que opera el combustor (700-900 °C) no favorece la formación de NO<sub>x</sub> térmico; su presencia es significativa a temperaturas superiores a los 1000 °C.
- La adición de óxido o carbonato de calcio al lecho retiene una gran parte del azufre del combustible dando lugar a la formación de sulfato de calcio (1).

La reacción química, empleando óxido de calcio (cal), es la siguiente:

$$CaO + 1/2 O_2 + SO_2 \longrightarrow CaSO_4 + 486 kJ/g mol$$

Cuando se emplea piedra caliza, el carbonato de calcio  $(CaCO_3)$  tiene que ser transformado en óxido de calcio (CaO) por medio de la siguiente reacción endotérmica de descomposición :

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_7 - 183 \text{ kJ/g mol}$$

De las reacciones anteriores es posible observar que la cantidad de calor liberado por la reacción de sulfatación es 2.5 veces mayor que el calor suministrado para la descomposición del CaCO<sub>3</sub> en CaO, por lo que la retención del azufre no es un proceso que le reste energía al lecho sino por el contrario, contribuye en la generación de la misma.

- 2) Flexibilidad en el combustible empleado: la gran actividad de mezclado existente en los combustores de lecho fluidizado, les permite dispersar y calentar rápidamente el combustible, hasta su temperatura de ignición, sin un decremento significativo en la temperatura del lecho, por ello es posible quemar distintos tipos de combustibles prescindiendo del uso de un combustible auxiliar, salvo para calentar el lecho al inicio de la operación.
- 3) Alta eficiencia de combustión: en el lecho, la cantidad de partículas inquemadas disminuye sensiblemente, en comparación con los sistemas de combustión convencionales, gracias a su alta actividad de mezclado.
- 4) Altos coeficientes de transferencia de calor: son debidos al gran movimiento de las partículas en el lecho. Dado que los combustores de lecho fluidizado presentan altos coeficientes de transferencia de calor, su tamaño es menor, para una generación de vapor dada, al de los equipos de combustión convencionales.
- 5) Disminución de los problemas de mantenimiento: al operar el combustor de lecho fluidizado con temperaturas inferiores a las de los sistemas convencionales, los problemas de escoriación causados por la ceniza fundida disminuyen.

## Equipo Experimental.

Secciones del combustor de lecho fluidizado circulante.

- Alimentación de combustóleo.
- Alimentación de aire.
- Lecho fluidizado.
- Separador gas-sólido.
- Enfriamiento de los gases de combustión.
- Análisis y tratamiento de los gases de combustión.

• Sección de alimentación de combustóleo.

La alimentación de combustóleo al combustor de lecho fluidizado se realiza bombeando combustóleo del tanque de almacenamiento al tanque diario de alimentación, por medio de una bomba de engranes. El combustóleo se calienta previamente a través de resistencias eléctricas ubicadas en el tanque y a la descarga de la bomba. Del tanque diario se alimenta combustóleo al inyector.

Sección de alimentación de aire.

Consta de un ventilador centrífugo de tiro forzado que suministra aire al combustor de lecho fluidizado y al quemador de arranque.

El aire proveniente del ventilador llega a la caja de aire que se encarga de alimentarlo a una presión constante al plato distribuidor, donde se encuentran las toberas que distribuyen el aire de manera uniforme para lograr la fluidización del lecho y la combustión.

Una parte del aire suministrado por el ventilador de tiro forzado es empleado para la combustión de gas L. P. en el quemador de arranque, su función es calentar el lecho desde 25 °C a una temperatura de aproximadamente 500 °C, una vez alcanzada dicha temperatura se alimenta combustóleo al combustor y se cierra el suministro de gas.

- Sección del lecho fluidizado.
- 1) Módulo distribuidor: sección cilíndrica con refractario y aislante donde se realiza la alimentación de combustóleo; se encuentra ubicado entre el plato distribuidor y el quemador de arranque.
- 2) Módulo de recirculación: sección cilíndrica con refractario donde se reciben los sólidos recirculados; se encuentra ubicado entre el quemador de arranque y el módulo de enfriamiento.
- 3) Módulo de enfriamiento: sección cilíndrica con camisa de agua, permite mantener la temperatura en el combustor dentro del rango deseado; se encuentra ubicado entre el módulo de recirculación y el de salida de gases.
- 4) Módulo de salida de gases: sección cilíndrica con refractario, posee una salida lateral de sección rectangular que se une a la entrada del ciclón; se encuentra ubicado en la parte superior del combustor, encima del módulo de enfriamiento.
- Sección del separador gas-sólido.

La corriente ascendente que proviene del lecho, trae consigo gases de combustión y sólidos; para separarlos se emplea un separador de tipo ciclónico ubicado en la parte superior del combustor. Por la parte inferior del ciclón salen los sólidos y son alimentados a una válvula no mecánica de tipo "L" que los recircula al lecho; por la parte superior salen los gases de combustión, que son dirigidos hacia un colector de polvos.

Sección de enfriamiento de los gases de combustión.

El sistema de enfriamiento del combustor de lecho fluidizado opera en circuito cerrado; el agua de enfriamiento es suministrada por una bomba centrifuga que succiona agua de la torre de enfriamiento de tiro inducido y alimenta al cabezal de agua de enfriamiento, de donde se distribuye a los cambiadores de calor.

Sección de análisis y tratamiento de los gases de combustión.

Una vez enfriados los gases de combustión se pasan a través de un filtro de bolsas con el fin de eliminar partículas sólidas, posteriormente son mandados a la chimenea por medio de un ventilador de tiro inducido. De la corriente de los gases de combustión se extrae continuamente una muestra para analizar el porcentaje de oxígeno y la concentración (en partes por millón) de CO y SO<sub>2</sub> que contienen los gases de combustión.

## Experimentación.

La experimentación se efectuó en dos series, la serie 1 abarcó los dos primeros puntos de los objetivos, durante la realización de dicha serie se presentaron problemas en la recirculación de sólidos al lecho, por lo que se agregó al dispositivo de recirculación otro ducto que le suministró aire, de esta forma se consiguió fluidizar parte de los sólidos estancados.

En la misma serie se disminuyó la concentración de compuestos del concreto refractario del lecho que pudieran reaccionar con los óxidos de azufre derivados de la combustión. También se fijaron las condiciones de operación que permitieron una combustión estable y autosostenida del combustóleo, dichas condiciones sirvieron como valores base para la realización de la serie 2; los valores encontrados se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.
Condiciones de Operación.

Variablè	Unidad	Valor
Flujo de combustóleo.	(kg/h)	28.10
Flujo de aire.	(kg/h)	712.64
Temperatura del módulo de recirculación.	(°C)	867.60

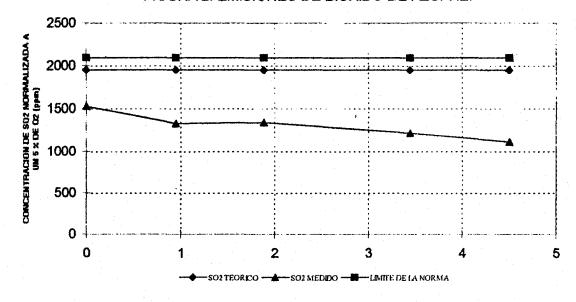
La serie 2 comprendió diversos ensayos con distintas relaciones aditivo/azufre (desde 1 hasta 4.5), los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Emisión de SO<sub>2</sub> y relación Ca/S.

Relación	% O <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> (medido)	SO <sub>2</sub> (a 5 % de O <sub>2</sub> )	% SO₂
Ca/S		ppm	ppm	retenido
0	10.11	1046	1536.81	21.33
0.94	14	582	1330.27	31.90
1.89	14.6	535	1337.49	31.53
3.45	14	534	1220.56	37.52
4.5	13.7	506	1109.03	43.22

Con el propósito de tener un marco de referencia para los resultados que se generaron durante la experimentación se muestra en la figura 2 la concentración de SO<sub>2</sub> máxima permisible para zonas críticas, la concentración teórica de SO<sub>2</sub> y las concentraciones obtenidas de SO<sub>2</sub> sin aditivo y con aditivo.

FIGURA 2. EMISIONES DE BIOXIDO DE AZUFRE.



#### (**Discusión de Resultados.**, ele manda en habita en mal abanteab difunciarios a objeta el

Durante el desarrollo de la experimentación se observaron dificultades en la válvula "L" para mantener una recirculación de sólidos al lecho adecuada. La función de la válvula "L" es recircular los sólidos al lecho continuamente de forma tal que en el lecho exista la cantidad de sólidos necesaria para garantizar la combustión del combustible.

Control of the complete space of the control of the

or out, as it is a condition out of the objects from the condition that are

En pruebas donde la recirculación no era la adecuada; el control de la temperatura del lecho era más difícil y la caída de presión disminuía.

Experiencias previas de combustión de combustóleo en lecho fluidizado burbujeante (2) revelan porcentajes de retención de SO<sub>2</sub> mayores a los encontrados en las pruebas en lecho fluidizado circulante, para relaciones Ca/S similares, la literatura indica también que en ambos tipos de combustores el porcentaje de retención de SO, es prácticamente el mismo (3).

Esta diferencia en los porcentajes de retención de SO2 se puede atribuir a una deficiente recirculación de sólidos al lecho, ocasionando que el carbonato de calcio se acumule en el codo de la válvula "L" y que las emisiones de SO, no disminuyan como , se esperaba. no encre de on religios religios el otromó parecióner

## The Christian Children and All March and the State of the Children and the Christian Children and the Childr Conclusiones.

Las conclusiones y recomendaciones derivadas del trabajo realizado son:

- > La combustión de combustóleo en lecho fluidizado circulante es factible.
- > Se logró una retención de bióxido de azufre del 43 %, con una relación Ca/S de 4.5.
- > Las emisiones de bióxido de azufre de las pruebas experimentales cumplen con la norma vigente para zonas críticas.
- > Las emisiones de CO resultaron ser elevadas.
- > Durante la operación del combustor se observaron problemas en el sistema de recirculación de sólidos.
- > Se recomienda analizar y diseñar otros sistemas de recirculación de sólidos, tales como las válvulas no mecánicas "loop seal" y "seal pot".
- Se recomienda optimizar la combustión del combustóleo:
- Operar con menores excesos de aire.
- Disminuir las emisiones de CO.

- ➢ Se recomienda encontrar las condiciones de operación que permitan una mayor retención de SO₂ y una menor relación Ca/S.
- > Se recomienda realizar ensayos de combustión con más combustibles nacionales.

#### Referencias.

- 1. Boynton, Robert S., 1966, *Chemistry and Technology of Lime and Limestone*, Interscience Publishers, U.S.A.
- 2. Milán Foressi, Julio J., 1992, *Ensayos de Combustión en Lechos Fluidizados*, Informe IEE 44161, Temixco, Morelos.
- 3. Basu, P. and Fraser, Scott A.,1991, Circulating Fluidized Bed Boilers, Design and Operations, Butterworth-Heinemann, U.S.A.

## **COMPARACION DE LA GANANCIA TERMICA DE LOS SISTEMAS** DE TECHUMBRE MAS COMUNMENTE UTILIZADOS EN LA and the same and t

## Alfredo Fernández y David Morillón<sup>1</sup>

o esaggi eficiationgenin obarra, Posgrado en Energía Solar - UACPyP - CCH - UNAM División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Arquitectura. UNAM Cd. Universitaria, México, Distrito Federal, 04510. E-mail: afer@servidor.unam.mx

> <sup>1</sup>Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). Francisco Márquez No. 160, Col. Condesa México, Distrito Federal, 06140. E-mail: conae001@red.rtn.net.mx

#### RESUMEN.

of entires again at with the

Dentro del marco de discusión de la Norma Oficial Mexicana 008 (Eficiencia energética integral en edificios no residenciales), y con el fin de evaluar su factibilidad y posible extensión hacia las edificaciones residenciales, se presenta este trabajo que tiene como objetivo la evaluación de los sistemas de techumbre (opacos) más comúnmente utilizados dentro de la vivienda social en México.

Para realizar esta evaluación se obtuvieron las ganancias por conducción a través del techo para distintas ciudades. Posteriormente, se compararon dichas ganancias contra el consumo de energía que produciría la remoción de las mismas en cada uno de los casos.

Finalmente, se proponen valores de Resistencia Térmica (R) que permitan disminuir de manera importante dichas ganancias teniendo, en consecuencia, una edificación energéticamente eficiente.

### INTRODUCCIÓN.

Ante la creciente necesidad de ahorrar energia en las edificaciones, sin que esto represente un deterioro de las condiciones de habitabilidad y confort para los ocupantes, surge la preocupación e interés por el género de vivienda en su carácter social

Dentro de este género, el ahorro de energía deberá producirse de manera efectiva e importante a corto plazo y por diversas razones. Este género presentará, de acuerdo a las estimaciones hechas por el INFONAVIT dentro del Programa de Vivienda 1995-2000, un crecimiento de aproximadamente 132,038 viviendas por año (1).

A esta cantidad habría que sumar los desarrollos que realizarán los Gobiernos Estatales y otros organismos de promoción para la vivienda. Es pues evidente que el ahorro de energía en este tipo de vivienda puede, en su conjunto, ser significativo a nivel Nacional.

Además, dada la situación económica del país y particularmente la del grupo social que habitará este tipo de vivienda, el ahorro de energía eléctrica que produzcamos a través de diseños adecuados repercutirá en un ahorro efectivo de dinero en la economia familiar, añadiendo así, un gran valor social adicional al que el ahorro de energía tiene ya por sí mismo.

Es pues, por estas razones, que el escenario de la vivienda social se debe convertir en uno de los principales focos de atención de la comunidad de técnicos y profésionistas que intervienen en el diseño y la construcción.

## EVALUACIÓN DE LA GANANCIA TÉRMICA DE LOS SISTEMAS DE CUBIERTA.

Dentro de la vivienda social, la de baja y media densidad se encuentran en auge debido a que, tanto los usuarios como los promotores, reconocen que este tipo de vivienda ofrece una mejor calidad de vida (2).

Es por esto que decidimos analizar esta fracción del grupo de desarrollos sociales, y es por esto mismo, que hemos limitado nuestro estudio a los sistemas de techumbre.

... Como se sabe, en la vivienda de baja y media densidad el techo representa aproximadamente el 50% de la envolvente expuesta a la radiación solar. Asimismo sabemos que en la mayor parte de nuestro país el Sol permanece en la parte alta de la bóveda celeste durante los meses más cálidos, produciendo asícilas mayores ganancias de calor a través de la techumbre. Agravando esta situación tenemos el hecho de que se repitan las mismas soluciones constructivas en todo el país, sin considerar de forma alguna el entorno climático en que se va a construir.

Considerando entonces, y de manera general, que todas las ganancias de calor a través de la techumbre representan un excedente que afecta las condiciones de habitabilidad y confort, este trabajo encuentra su justificación, ya que todo ese calor que entral deberá ser removido fundamentalmente por medios mecánicos que consumen una gran cantidad de energia electrica.

Para realizar esta evaluación se escogieron dos sistemas de cubierta (losa de concreto y viqueta y bovedilla) de uso generalizado en la mayor parte de la República Mexicana.

Asimismo, se escogieron ocho ciudades divididas en grupos de dos, representando cada grupo a una de las cuatro zonas en que la NOM-008 ha dividido el Territorio Nacional.

Las ciudades seleccionadas para el grupo uno son:

- 1. Mexicali, B.C.
- 2. Hermosillo, Son.

Las ciudades seleccionadas para el grupo dos son:

- 3. Chihuahua, Chih.
- 4. Zacatecas, Zac.

Las ciudades seleccionadas para el grupo tres son:

- 5. Mérida, Yuc.
- 6. Coatzacoalcos, Ver.

Las ciudades seleccionadas para el grupo cuatro son:

- 7 México, D.F.
- 8. Guanajuato, Gto.

A continuación se presentan los resultados obtenidos tras utilizar el método simplificado para el cálculo comparativo de la ganancia de calor promedio a través de la techumbre, presentado en el anteproyecto de trabajo que CONAE tiene de la NOM-008 (3). 

the control of the second of t

and the second of appropriate the second

MOIDDIMONE

TABLA 1. MATERIALES QUE COMPONEN EL SISTEMA 1. (LOSA DE CONCRETO): PER LA CARLA DES COMO CARCALLA DE MARA and the real of elections and health definition of a general back and

MATERIAL	ESPESOR (M)	K(W/M°C)	विकासिक एवं सर्वास्त्र होता है।
1. Impermeabilización asfáltica.	0.005	0.170	ty f th the mean while the
Losa de concreto armado.	0.080	1.7 10	भारति । यह अनु र ठऽलीव
3. Yeso.	0.010	0.372	grangered play reports

FIGURA 1. MATERIALES QUE COMPONEN EL SISTEMA 1.

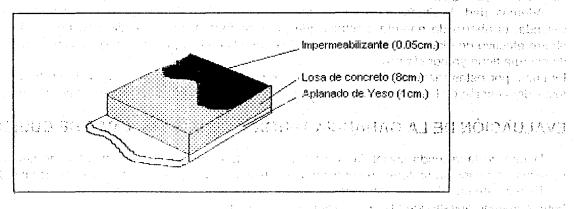


TABLA 2.

MATERIALES QUE COMPONEN EL SISTEMA 2.

(VIGUETA Y BOVEDILLA).

MATERIAL	ESPESOR (M)	K(W/M°C)
1. Impermeabilización asfáltica.	0.005	0.170
Mortero de cemento.	0.050	0.721
3. Vigueta y Bovedilla. *	0.180	0.998
4. Yeso.	0.010	0.372

Dado que este sistema de cubierta está constituído por capas homogéneas y no homogéneas en un sólo sentido se utilizó el modelo A.2 para el cálculo de la Resistencia Termica que aparece en el Apéndice A del proyecto de trabajo de la NOM-008, y los coeficientes del concreto ligero y el aire que aparecen en el Apéndice B de la misma Norma.

FIGURA 2.
MATERIALES QUE COMPONEN EL SISTEMA 2.

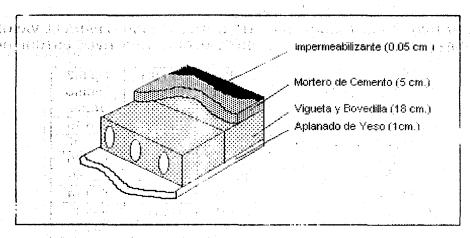


TABLA 3.
VALORES (R) Y (Ut) PARA LOS DOS SISTEMAS.

	R (M <sup>2</sup> °C / W)	Ut (W / M <sup>2</sup> °C)
Sistema 1.	0.327	3.062
Sistema 2. (vigueta y bovedilla)	1.019	0.981

a addisa

TABLA 4.

CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR PROMEDIO (W)

PARA CADA UNA DE LAS CIUDADES. \*

CIUDAD.	Qp S.1 verano Watts	Qp S.1 invier. Watts	Qp S.2 verano Watts	Qp S.2 invier. Watts
1. Mexicali, B.C.	2452.84	-2576.86	786.15	-825.90
2. Hermosillo, Son.	2053.22	-1956.76	658.07	-627.15
3. Chihuahua, Chih.	1570.92	-3183.18	503.49	-1020.22
4. Zacatecas, Zac.	-248.04	-2990.26	-79.50	-958.39
5. Mérida, Yuc.	1777.62	-1267.76	569.74	-406.32
6. Coatzacoalcos, Ver.	1460.68	-1515.80	468.15	-485.82
7. México, D.F.	440.96	-2673.32	141.33	-856.81
8. Guanajuato, Gto.	647.66	-2370.16	207.58	-759.65

<sup>\*</sup> Para realizar el cálculo de las ganancias promedio que pasan a través de la techumbre se utilizó el método simplificado que se presenta en el Apéndice D del proyecto de trabalo de la NOM-008.

TABLA 5.

CÁLCULO DE LA GANANCIA DE CALOR PROMEDIO (W)

PARA CADA UNA DE LAS CIUDADES CON EL VALOR (R)

PROPUESTO EN LA NOM-008.

CIUDAD.	R inv. (M² °C/W)	Qp inv. Watts	R ver. (M² °C/W)	Qp ver. Watts
1. Mexicali B.C.	1.470	-572.45	3.100	258.39
2. Hermosillo Son.	1.240	-515.32	2.940	228.06
3. Chihuahua Chih.	1.690	-615.09	2.670	192.13
Zacatecas Zac.	1.620	-602.78	0.500	-162.00
5. Mérida Yuc.	0.900	-460.00	2.900	200.17
6. Coatzacoalcos Ver.	1.030	-480.58	2.810	169.75
7. México D.F.	1.570	-556.05	1.450	99.31
8. Guanajuato Gto.	1.400	552.86	1.800	117.50

TABLA 6.

COMPARATIVO DE LAS GANANCIAS OBTENIDAS EN VERANO PARA EL VALOR (R)

PROPUESTO EN LA NOM-008 Y LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS ESTUDIADOS.

CIUDAD.	(R) NOM-008 Watts	'Qp S.1 verano Watts	Qp S.2 verano Watts
1. Mexicali B.C.	258.39	2452.84	786.15
2. Hermosillo Son.	228.06	2053.22 -	658.07
3. Chihuahua Chih.	192.13	1570.92	503.49
4. Zacatecas Zac.	-162.00	-248.04	-79.50
5. Mérida Yuc.	200.17	1777.62	569.74
6. Coatzacoalcos Ver	169.75	1460.68	468.15
7. México D.F.	99.31	440.96	141.33
8. Guanajuato Gto	117.50	647.66	207.58

#### CONCLUSIONES.

Al revisar los resultados obtenidos tras el calculo de la ganancia de calor promedio para las distintas ciudades con los dos sistemas constructivos propuestos, y tras compararlos con el cálculo hecho para la Resistencia Térmica (R) sugerida por la NOM-008. llegamos a la conclusión de que ninguno de los dos sistemas aprobarla la Norma. Podríamos decir sin embargo que el sistema 2 (vigueta y bovedilla), con algunas modificaciones, podría funcionar adecuadamente en la mayor parte del País.

Aunque el problema en este caso no es tan sencillo, ya que si aumentáramos el valor de la Resistencia Térmica de manera que éste apruebe la Norma, estaremos también incrementando de manera muy importante el costo de la vivienda (basta recordar que una de las maneras más comunes para aumentar el valor (R) es a través de la utilización de aislante). De aquí que la solución a este problema requiera de un estudio exhaustivo que busque la incorporación de nuevas tecnologías que por un lado sean económicas, culturalmente aceptadas y adecuadas desde el punto de vista térmico.

Sin embargo, lo que sí resulta evidente es la necesidad de mejorar, de manera urgente, la Resistencia Térmica de los sistemas constructivos que se usan con mayor frecuencia en la vivienda social de nuestro País.

Si nosotros observamos las ganancias de calor que, de manera conservadora, generarán las construcciones nuevas que utilicen los sistemas constructivos descritos en este estudio (Tabla 7), nos daremos cuenta de la magnitud del problema, ya que esas ganancias se traducen, de manera directa, a consumo eléctrico vía sistemas de enfriamiento (en la mayoría de los casos poco eficientes).

TABLA 7.

ENERGÍA MÍNIMA NECESARIA PARA ENFRIAR LAS VIVIENDAS NUEVAS CONSTRUIDAS

DURANTE UN ANO CON LOS SISTEMAS TRADICIONALES.

₹ '*, •	KW prom. por viv. consum. para enfr.	
132038	0.84	55335.68

Para obtener la energía necesaria por viviendo para remover la carga de calentamiento producida a través de la cubierta se sacó el promedio de las ganancias que se tuvieron en todas las ciudades utilizando los dos sistemas constructivos por partes iguales. El consumo diario de energía para enfriamiento se calculó considerando que sólo el 50% de las viviendas nuevas dispondrá de algún sistema mecanico para remover el calor.

Por todo esto consideramos que resulta importante fijar una Resistencia Térmica mínima para cada región, que a diferencia del valor propuesto en la NOM-008, permita la mediación entre el costo de la construcción y la energia ahorrada. A continuación se presentan los valores de Resistencia Térmica propuestos para las ciudades estudiadas.

TABLA 8.

CALCULO DE LA GANANCIA DE CALOR PROMEDIO (W) CON EL VALOR (R)

PROPUESTO EN ESTE TRABAJO.

CIUDAD.	R (M2 °C / W)	Qpe - inv Watts	Qpe - ver Watts
1. Mexicali B.C.	2.200	-382.50	364.09
2. Hermosillo Son.	2.200	-290.45	304.77
3. Chihuahua Chih. *	2.200	-472.50	233.18
4. Zacatecas Zac. **	1.600	-610.31	-50.63
5. Mérida Yuc.	1.900	-217.89	305.53
6. Coatzacoalcos Ver.	1 900	-260.53	251.05
7. México D.F.	1.600	-545.63	90.00
8. Guanajuato Gto.	1.600	-483.75	132.19

<sup>\*</sup> La Ciudad de Chihuahua por sus características se integra a la zona 1.

Como conclusión final de este trabajo podemos decir que lo más importante en este momento es propiciar la investigación que permita el desarrollo de materiales y técnicas constructivas adecuadas que cumplan con los valores mínimos de Resistencia Térmica y que permanezcan dentro de un rango aceptable de costo para la vivienda de interés social.

#### RECONOCIMIENTOS.

La información básica sobre vivienda social de baja densidad se obtuvo durante las conferencias del convenio de cooperación entre el Joint Center for Housing Studies de la Universidad de Harvard y el Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores (INFONAVIT).

Todos los datos climatológicos utilizados en este trabajo fueron tomados del Apéndice C (Características climáticas y condiciones de diseño de algunas ciudades de México) del anteproyecto que CONAE trabaja de la NOM-008.

#### REFERENCIAS.

- 1.González Durán, J.; 1996; <u>Desarrollo de vivienda en zonas de media densidad</u>; Taller sobre tecnologías, materiales y diseño para la vivienda de interés social; México.
- 2.López, L.; 1996; <u>Desarrollos de vivienda en zonas de media densidad</u>; Taller sobre tecnologías, materiales y diseño para la vivienda de interés social; México
- 3.CCNNPURRE; 1995; Norma Oficial Mexicana 008. Eficiencia energética integral en edificios no residenciales Comisión Nacional para el Ahorro de Energía; México.

<sup>\*\*</sup> La Ciudad de Zacatecas por sus características se integra a la zona 4.

MX9800055

## ANÁLISIS TÉRMICO DEL RECUPERADOR DE CALOR DE UNA CENTRAL TERMOELÉCTRICA DE CICLO COMBINADO

H. Romero Paredes<sup>1</sup>, O. González<sup>2</sup>, I. Sánchez<sup>1</sup>, L. C. Lazcano<sup>1</sup>, J.J. Ambriz<sup>1</sup>

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. E-Mail: hrp@xanum.uam.mx

Comisión Federal de Electricidad.
Gerencia Regional de Producción Central.
Central Ciclo Combinado Tula. Departamento de Análisis.
Tula, Hidalgo. Tel: (773) 21678.

# RESUMEN ADMINISTRAÇÃO DE ANALOS ANALO

Las centrales termoeléctricas del tipo ciclo combinado (ciclo Brayton y ciclo Rankine) presentan un conjunto de oportunidades para incrementar la eficiencia del ciclo combinado o bien la potencia generada.

En el presente trabajo se expone la metodología para realizar los balances de energía en un recuperador de calor (R.C.) típicamente utilizado en las Centrales de Ciclo Combinado (CCC) que operan en México, para evaluar el aprovechamiento de la energía en las diferentes secciones que conforman un R.C. Se evalúa el efecto que tiene la instalación de enfriadores evaporativos y/o un sistema de enfriamiento por absorción en la succión del compresor de la turbina de gas sobre la generación de vapor en el recuperador de calor. Se cuantifica esta generación extra de vapor para su posible utilización en el mismo sistema de refrigeración por absorción.

De la evaluación se desprende que la generación de vapor en el R.C. es inversamente proporcional a la temperatura ambiente y, que si bien, el incremento en el vapor generado no puede ser aprovechado en su totalidad por la turbina de vapor, la fracción remanente es suficiente para cubrir la demanda de calor para la operación del sistema de refrigeración.

# I. INTRODUCCIÓN DE RECEDENTA DE LA COMPANSIÓN DE LA COMPA

En México, las plantas de generación eléctrica son de muy diversos tipos, edades y orígenes. Actualmente existen en la República mexicana cinco Centrales de tipo Ciclo Combinado (El Sauz, Dos Bocas, Huinalá, Tula Hgo., Gómez Palacios Dgo.) además de otra Central de este tipo en fase avanzada de planeación llamada Samalayuca. CFE tiene interés en construir más centrales de este tipo en el norte de la República para satisfacer la demanda en esta región y poder competir satisfactoriamente en un futuro ante la inminente concesión a particulares en el sector de generación, transmisión y distribución eléctrica. A finales del primer semestre de este año, prestigiadas empresas extranjeras líderes en tecnología mundial en generación y transmisión eléctrica presentaron ante autoridades de CFE sus propuestas para la construcción de Centrales de Ciclo Combinado capaces de alcanzar eficiencias totales del ciclo de hasta 65 y 70%. CFE se encuentra analizando las diferentes tecnologías presentadas por estas empresas y decidirá cuál diseño e inversión es lo más adecuado para satisfacer las condiciones del lugar donde se planea construir la Central.

Las Centrales de Ciclo Combinado que actualmente operan en México son las de mayor eficiencia en generación eléctrica con base en hidrocarburos (al menos en teoría), no obstante, tienen una eficiencia global que no supera el 45% o en ocasiones menos. Este panorama refleja la ineficiencia

con que se genera la electricidad en México. Se necesitan programas de mejoras para conocer y establecer los períodos de mantenimiento, así como a la actualización tecnológica o de inversiones con nuevas alternativas tecnológicas. En cada equipo y en la operación de la planta se encuentra un gran potencial para este fin.

Uno de los equipos que merece atención debido a su participación tan importante en el sistema es el recuperador de calor. Es aquí donde finalmente se recupera el calor remanente de la turbina de gas y, si es necesario, mediante posquemadores se enriquecen los gases para la generación de vapor a las condiciones requeridas por la turbina de vapor. Así cualquier mejora que se realice al ciclo Brayton y al mismo recuperador repercutirá en la turbina de vapor.

El presente trabajo tiene por objetivo mostrar una metodología sencilla para evaluar cada una de las secciones del R.C. y obtener una eficiencia relativa de ellas, así como reconocer el estado que guardan y que determinan los requerimientos de mantenimiento. También se trata de saber cual es la magnitud de los efectos de los cambios que se operan en las etapas anteriores del sistema sobre la generación de vapor y en consecuencia en la turbina de vapor. Así es posible conocer cuales serán los beneficios globales sobre la central cuando se afecten las mejoras detectadas.

#### II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Las Centrales Termoeléctricas de Ciclo Combinado deben su nombre a la utilización de un ciclo superior de alta temperatura (Ciclo Joule-Breyton) cuyo calor de desecho es aprovechado como fuente de energía para un Ciclo inferior de baja temperatura (Ciclo Rankine).

والمناهرة فالعوال إقرابه الأراك المراكب

Semplangite existing out to Passacratic end and

and the same of the property o

the region of the recognition of the first probability of the fi

Carrier Control (Charles) graph diversity and high-reasons, in

فيال ومعادي ومعهدون والمحادث الأوادات

the production is at the weather to the except.

and the control of th

and the state of t

en de la compansión de

The second of th

Para la realización de este trabajo se toma como sistema después de los quemadores posteriores, es decir, a la entrada de los gases de combustión a la caldera de recuperación tomando en cuenta la combustión que se realiza tanto en la turbina de gas como en los quemadores posteriores (ver Figura 1).

El recuperador de calor (HRSG) es básicamente un intercambiador de calor dividido en cuatro secciones las cuales son el evaporador de baja presión, economizador, evaporador de alta presión y el sobre calentador, este último dividido en dos partes, el sobrecalentador primario y sobrecalentador secundario.

Los quemadores posteriores son un equipo que permite incrementar la temperatura de los gases de entrada al recuperador de calor, por medio de la combustión de gas natural con el exceso de oxígeno contenido en los gases de escape de la turbina de gas.

and the complete and the control of the control of

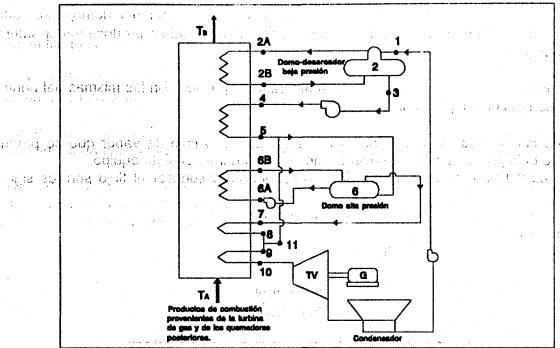


Figura 1. Representación esquemática de la caldera de recuperación indicando la nomenclatura empleada para el análisis térmico.

### III. ANÁLISIS TEÓRICO

Con base en los balances de energía, el siguiente análisis modela la transferencia de energía en el recuperador de calor. Este trabajo toma como fines demostrativos a la Central de Ciclo Combinado Tula, Hgo.

El objetivo es analizar cada sección, obtener las entalpías en cada punto y determinar la cantidad de energía aprovechada por el agua con la que se alimenta el recuperador; para el caso de la combustión del gas natural se analiza la combustión tanto en la cámara de combustión (turbina de gas), como en los quemadores posteriores, de esta forma se obtienen las pérdidas globales que se presentan en el recuperador de calor; en éstas están incluidas las pérdidas por radiación, conducción, convección, aislamiento, por purgas y las que finalmente son arrastradas al exterior por los gases de combustión.

## III.1. Balance de Energía.

Al tomar como base de partida la figura 1 se tiene que la información requerida y la que puede calcularse se recaba de las hojas de diario de la Central, de mediciones directas de la instrumentación de la planta y de mediciones con instrumentación portátil. Los puntos que a continuación se describen se asocian a cada sección comenzando por el domo deaereador.

Punto 1. Agua de alimentación proveniente de condensados: De la información de las hojas de diario, se conoce la temperatura y la presión; el agua se encuentra como líquido comprimido a la presión del domo-deaereador (Figura 1).

Punto 2. Domo-deaereador baja presión: La información disponible es la temperatura y la presión; existe una mezcla líquido-vapor.

Punto 2A. Entrada al evaporador baja presión: La temperatura y presión son las mismas que el punto 2; el agua se encuentra como líquido comprimido.

Punto 2B. Salida del evaporador baja presión : La presión es la misma del domo-deaereador, la temperatura es la de saturación a la presión antes mencionada; aquí se produce vapor saturado a baja presión (Figura 1).

Punto 3. Entrada a la bomba de baja presión: La temperatura y presión son las mismas del punto 2; el fluido se encuentra como líquido comprimido.

El objetivo de conocer estos cuatro puntos es para calcular el flujo de vapor que se produce el evaporador de baja presión (m<sub>2A</sub>) y conocer la cantidad de energía en éste equipo. Las ecuaciones del balance en el domo de baja presión para conocer el flujo son las siguientes (Figura 2):

$$m_1h_1 + m_2h_2h = m_2h_2h + m_3h_3$$
 (1)

donde:  $m_{2A} = m_{2B}$ 

الأخراب في العلوم أن فواجيل المهوم م المات

$$m_{2A}(h_{2B} - h_{2A}) = m_3h_3 + m_1h_1$$
 (2)

$$m_{2A} = \frac{m_3h_3 + m_1h_1}{(h_{2B} - h_{2A})},$$
 (3)

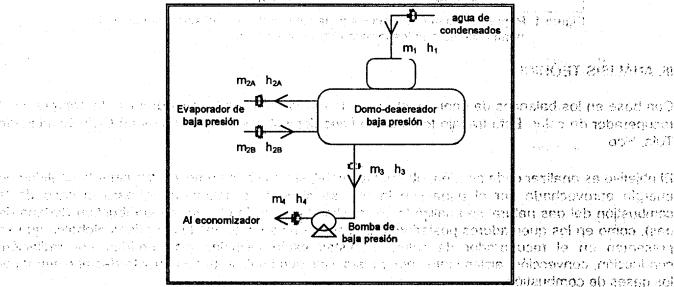


Figura 2. Esquema de los elementos a considerar en el balance de energía y masa para el domo de baja presión. PLA Balanco de Energia

Punto 4. Salida de la bomba, entrada al economizador: De la información histórica de la central se conoce unicamente la presión, sin embargo el proceso 3-4 es puede considerar isoentrópico, por lo que s₄=s₃; además se puede conocer la entalpía como (el agua se encuentra como líquido comprimido):

$$h_4 - h_3 = v_3(p_4 - p_3)$$

$$h_4 = v_3(p_4 - p_3) + h_3$$

many death and see great the same side of the prior of vigationer made of seconds. Punto 5. Salida del economizador: La presión es la misma del punto 4; pero se necesita conocer otro parámetro para calcular sus propiedades termodinámicas, en este caso de 5-6 existe una caída de presión isoentálpica, es decir, h<sub>5</sub>=h<sub>6</sub>; el flujo que alimenta al domo de alta presión disminuye ya que se realiza una extracción en este punto para atemperar el vapor sobrecalentado (nodo "x", Figura 3).

Punto 6. Domo de alta presión: Se conoce la temperatura y la presión; existe una mezcla líquidovapor. อ โก เหมองอาการที่ หลั**ป อ**ดกอว **กรักอยกคอ อล c**area ส

Punto 6A. Entrada al evaporador alta presión: La temperatura y presión son las mismas del domo alta presión; el fluido se encuentra como líquido comprimido.

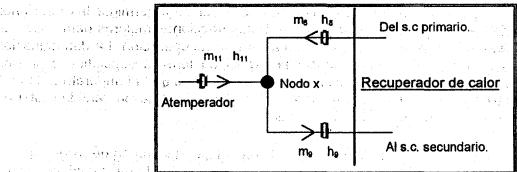
Punto 6B. Salida del evaporador alta presión: La presión es la misma del domo; la temperatura es la de saturación a ésa presión. 

Punto 7. Entrada al sobrecalentador primario: La temperatura y presión corresponden al vapor saturado que se produce en el evaporador de alta presión; el fluido se encuentra como vapor saturado.

Punto 8. Salida del sobrecalentador primario: El único dato conocido es la presión (presión del domo de alta). Para conocer las condiciones a la salida del sobrecalentador primario se tiene que hacer un balance en el nodo "x" (Figura 3).

$$m_8h_8 + m_{11} h_{11} = m_9h_9$$

$$h_8 = \frac{m_9h_9 - m_{11}h_{11}}{m_8}$$
(6)



The state of the s

Figura 3. Esquema representativo de los elementos a considerar en el balance de energía y masa para el sobrecalentador.

Punto 9. Entrada al sobrecalentador secundario: Se conoce la temperatura y la presión (p<sub>9</sub>=p<sub>6</sub>): el agua se encuentra como vapor sobrecalentado.

Punto 10. Salida del sobrecalentador secundario: Este punto son las condiciones con las que el vapor sale del recuperador de calor, más adelante se realiza un flasheo, con el fin de producir más vapor y así enviarlo a la turbina de vapor.

Punto 11. Extracción a la salida del economizador: Sus propiedades termodinámicas son las del punto was a wild the selection of the contact of

Para estimar las pérdidas de energía en el recuperador de calor (HRSG) se realiza un balance de energía en este último.

El término Qgases de combustión se refiere al calor transferido después de los quemadores posteriores.

A continuación se muestra la forma de calcular la energía térmica cedida al agua para cada equipo que conforma el recuperador de calor.

$$Q_{\text{evaporador baja presión}} = m_{2A}(h_{2B} - h_{2A}) \tag{8}$$

$$Q_{\text{economizdor}} = m_4(h_5 - h_4)$$
 (9)

$$Q_{s,c \text{ primario}} = m_7 \left( h_8 - h_7 \right) \text{ The standard primarios and the standard principal primarios and the standard primarios and the standard prim$$

$$Q_{s.c. secundario} = m_{\theta} (h_{10} - h_{\theta})$$
 (12)

Finalmente la energía aprovechada para el calentamiento y evaporación del agua es la sumatoria de cada componente del recuperador de calor, por lo que las pérdidas globales serán calculadas como:

$$Q_{\text{pérdidas globales}} = (Q_{\text{gases de combustión}}) - (Q_{\text{evaporador baja presión}} + Q_{\text{economizador}} + Q_{\text{economizado$$

#### III.2. Análisis de la combustión

El objetivo de realizar un análisis de los gases de combustión es el de determinar las fracciones molares de estos después de los quemadores posteriores. Estas fracciones molares permanecerán constantes durante el paso de los gases a través de la caldera de recuperación. La determinación de las fracciones molares es necesaria para conocer la capacidad térmica específica a presión constante (Cp) de la mezcla de gases de combustión y junto con los datos de la temperatura de esta mezcla a la entrada y salida de la caldera de recuperación, poder determinar la cantidad total de calor que los gases de combustión transfieren en dicha caldera.

Como datos para resolver el problema planteado se sabe el porcentaje en volumen de oxígeno(O₂) y bióxido de carbono(CO₂) a la salida de la caldera. Estos porcentajes a la salida de la caldera son los mismos que después de los quemadores posteriores, por lo que si se determina la ecuación de combustión que se realiza después de los quemadores posteriores se habrá determinado entonces las fracciones molares que se requieren.

#### Hipótesis:

- I. La cantidad de nitrógeno que entra al compresor de la turbina de gas es la misma que abandona la caldera (no hay otra entrada de aire).
- II. El flujo de gases que circula por la caldera es la suma del flujo de aire que admite el compresor mas el flujo de combustible que se inyecta en la cámara de combustión de la turbina de gas mas el flujo de combustible utilizado en los guernadores posteriores.
- III. La cantidad de oxígeno que sale excedente de la turbina de gas es la que se utiliza para oxidar al combustible de los quemadores posteriores.
- IV. La cantidad de bióxido de carbono a la salida de la caldera es la suma del bióxido de carbono producido por la combustión en la turbina de gas mas el que se produce en los quemadores posteriores, lo anterior es también válido para el agua producida por la combustión.
- V. La cantidad de oxígeno que sale de la turbina de gas y utilizado parcialmente en los quemadores posteriores es la que sirve para formar el bióxido de carbono y agua.

La cantidad total de calor transferida por los gases de combustión desde que entran hasta que salen de la caldera de recuperación está dada por la siguiente relación:

with an object maniful paragraph as addinguished on a

THE STATE OF THE MACHINERS AND THE STREET AS A STREET

$$Q = \int_{TA}^{TR} mc_{pmezclo}dT$$
(14)

donde  $C_{p_{mezcla}} = \sum_{x_i C_{p_i}} x_i C_{p_i}$ ; entonces:

$$Q = x c c_2 \int C_{PCO_2} dT + x H_{2O} \int C_{PH_{2O}} dT + x c_2 \int C_{PO_2} dT + x c_2 \int C_{PN_2} dT$$
(15)

en donde:

eng Chermin Company

$$\frac{c_p}{R_u} = a + bT + cT^2 + dT^3 + eT^4$$
 (16)

Las constantes a, b, c, d, e se encuentran reportadas en la tabla 1 para cada uno de los componentes que forman la mezcla de los gases de combustión.

Tabla 1. Constantes de cálculo para del Cp de la ecuación (16)

Gas	a	b x 10 <sup>-3</sup>	c x10*	d x 10 <sup>-9</sup>	e x 10 <sup>-12</sup>
CO <sub>2</sub>	2.401	8.735	-6.607	2.002	-
H₂O	4.070	-1.108	4.152	-2.964	0.807
O <sub>2</sub>	3.626	-1.878	7.056	-6.764	2.156
N <sub>2</sub>	3.675	-1.208	2.324	-0.632	-0.226

### III.3. Flujo de vapor al aumentar el flujo másico de los gases de combustión

La instalación de enfriadores evaporativos para enfriar el aire que entra al compresor o cualquier otro sistema de enfriamiento, con el propósito de aumentar la potencia que entrega la unidad de turbina de gas trae como consecuencia un aumento en el flujo másico a la entrada del compresor (esto debido al aumento de la densidad del aire) y por lo tanto un aumento en el flujo másico de los gases de escape de la turbina o gases de combustión. Al aumentar éste flujo, la energía disponible para la transferencia de calor en el recuperador será mayor, siempre y cuando se mantengan las condiciones de temperatura a la entrada y salida de los gases de combustión. Esto traerá como consecuencia un aumento en la generación de vapor. Los siguientes balances modelan el cálculo de la generación de vapor al aumentar el flujo másico de los gases de combustión:

De acuerdo al balance para el evaporador de baja presión se obtiene

$$m_{gc} C_P (T_C - T_B) = m_2 (h_{2B} - h_{2A})$$
 (17)

de donde

$$T_{\rm C} = \underline{m_2(h_{2\rm B} - h_{2\rm A})} + T_{\rm B}$$

$$m_{\rm gc} Cp$$
(18)

m<sub>2</sub> = Flujo de vapor generado en el evaporador de baja presión, bajo operación actual.

M<sub>ge</sub>= Flujo de gases producto de la combustión que entran a la caldera de recuperación de calor, bajo operación actual.

C<sub>p</sub>= Calor específico a presión constante de los gases producto de la combustión, a la temperatura de salida de la caldera de recuperación de calor (T<sub>B</sub>).

De esta forma se conoce la temperatura de los gases producto de la combustión entre el evaporador de baja presión y el economizador (T<sub>c</sub>). Si se considera que las temperaturas T<sub>B</sub> y T<sub>C</sub> se mantiene constantes al colocar el sistema de enfriamiento, se utilizará de nuevo la ecuación (17). Ahora para calcular el nuevo flujo de vapor generado en el evaporador de baja presión (m<sub>2</sub>'), utilizando para esto un nuevo flujo de gases producto de la combustión (m<sub>go</sub>'), se tiene:

$$m_2' = m_{gc}' C_p \frac{(T_C - T_B)}{(h_{2B} - h_{2A})}$$
 (19)

Para calcular el nuevo flujo de vapor generado para alimentar la turbina de vapor(m<sub>1</sub>'), se utiliza el balance hecho para el deaereador (ver figura 3)

$$m_1' = m_2' \frac{(h_{2A} - h_{2B})}{(h_1 - h_3)}$$

the mean of continue of the parties of the co-

ระเล็กกรีร์ (ครับ รัชกับ) และการ โดยเกษะ เลย สโรกระบายส พว เก็บสุร์ที่ ซีรี ให้ปละเภษยายะ เป

16 经股份银度债金银行银行公司

tention addingues and

de esta forma se puede calcular el porcentaje de vapor extra generado, como.

Flujo extra de vapor = 
$$\frac{(m_1'-m_1)}{m_1} \times 100$$
 (21)

#### RESULTADOS EN APLICACIÓN PRACTICA

Como ya se ha mencionado, este trabajo se desarrolló para la Central Ciclo Combinado Tula, Hgo., la cual consta de dos paquetes cada uno constituido por dos unidades de turbina de gas con una capacidad nominal cada una de 72 MW y 100 MW en la turbina de vapor. Los resultados que se presentan fueron obtenidos mediante el análisis de la información histórica de la planta tomada de las hojas de diario. Las mediciones que se requerían y no se encontraban en estas hojas se obtuvieron de las pantallas del cuarto de control y corroboradas por las mediciones en campo. La composición del gas natural se consideró como:

Tabla 2. Composición del gas natural. Tabla se percentada de la composición del gas natural.

Componente	% Volumen
CO <sub>2</sub>	0.0014
N <sub>2</sub>	0.118
Metano	87.829
Etano	11.5068
Propano	0.4129
n-Butano	0.0385
Iso-Pentano	0.013
n-pentano y mas pesados	0.08034

De acuerdo con el departamento químico de la planta el análisis de los gases de escape de los recuperadores de calor arrojan los siguientes datos (Tabla 3):

Tabla 3. Composición base seca de los gases de combustión.

Componente	% Volumen
NO <sub>x</sub>	136 ppm
СО	0.0
SO₂	0.0
CO₂	3.3
O <sub>2</sub>	14.6

Las fracciones molares que se obtuvieron para los gases de combustión que circulan por la caldera de recuperación son los mostrados en la tabla 4.

Tabla 4. Fracciones molares de los gases de combustión en la C.R.

Companiente	No moles	KI
CO₂	3.178134	0.031260941
H₂O	5.36053	0.052722603
O <sub>2</sub>	14.0608353	0.138301997
N <sub>2</sub>	79.068122	0.777711933

The state of the s

De acuerdo con los balances de masa y energía, la cantidad total de calor cedido por los gases de combustión en la caldera son los mostrados en la tabla 5.

Tabla 5. Calor cedido por los gases de combustión promedio mensual del segundo semestre de 1995.

mes	T <sub>A</sub> (entrada)	T <sub>B</sub> (salida)	Q (kJ/kg)	Q (Btu/lb)	Flujo Gases (lb/hr)
Julio	1263°F = 957 K	313°F = 429 K	591.38	254.25	2 551 343
Agosto	1216°F = 931 K	316°F = 431 K	558.49	240.11	2 551 343
Septiembre	1197°F = 920 K	325°F = 436 K	540.22	232.25	2 551 343
Octubre	1195°F = 919 K	293°F = 418 K	558.06	239.92	2 551 343
Noviembre	1190°F = 916 K	320°F = 433 K	538.69	231.59	2 551 343
Diciembre	1214°F = 930 K	311°F = 428 K	560.48	240.96	2 551 343

El calor cedido por los gases de combustión a cada sección de la caldera de recuperación se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Fracción de calor cedido por los gases de combustión a cada sección del R.C.

	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Evap. B. Presión (%)	9.70	10.26	10.03	7.84	9.04	9.50
Economizador (%)	24.88	24.16	23.32	25.15	24.70	24.28
Evap. A. Presión (%)	41.38	41.78	42.86	42.51	42.18	42.25
Sobrecalentador P (%)	12.19	11.75	13.04	12.82	12.50	11.82
Sobrecalentador S (%)	11.85	12.05	10.75	11.68	11.58	12.15

En la Figura 4. se muestra el comportamiento de la producción de vapor al aumentar el flujo de gases de combustión que circulan por la caldera de recuperación al instalar el sistema de enfriamiento a la entrada del compresor de la turbina de gas. Es claro que si las condiciones de presión y temperatura en los diferentes domos del ciclo se conservan, entonces la producción de vapor aumentará linealmente al aumentar el flujo de gases de combustión.

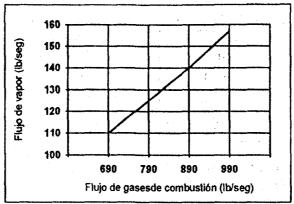


Figura 4. Gráfica de flujo de gases de combustión vs flujo de vapor

La Figura 5. Muestra el incremento porcentual que tiene el flujo de vapor al aumentar porcentualmente el flujo de gases de combustión.

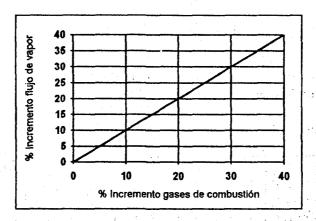


Figura 5. Incremento porcentual de los gases de combustión vs incremento porcentual del flujo de vapor.

La Figura 6. Muestra la potencia que generaría la turbina de vapor al incrementar el flujo de vapor. Para esto, se tomó como base las condiciones de operación en la Central en las cuáles la turbina de vapor entrega 90 MW. La línea continua muestra el incremento en el flujo de vapor con su respectiva ganancia en potencia en la turbina de vapor.

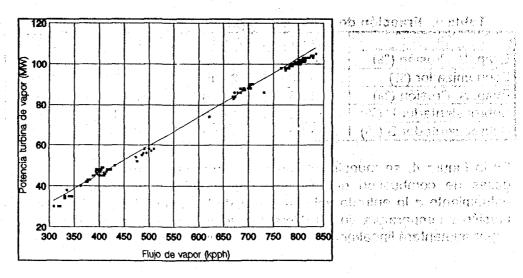


Figura 6. Incremento del flujo de vapor vs potencia de la turbina de vapor.

#### CONCLUSIONES

El comportamiento de la caldera de recuperación de calor es adecuado a su funcionamiento, las pérdidas globales que se originan varían entre los 12.5 y 8.22% (cálculos con promedios mensuales) lo que indica el buen funcionamiento de éste. Sin embargo existe un gradiente de temperatura de los gases de combustión a la salida del recuperador de calor y la temperatura ambiente, por lo que se tiene cierta energía aún disponible.

En cuanto al porcentaje extra de vapor que se puede producir, se concluye que es proporcional al flujo de extra de gases de combustión provenientes de la turbina de gas y de los quemadores posteriores, esto considerando que las pérdidas globales en el recuperador de calor se mantienen constantes, además de mantener tanto presión y temperatura constante del vapor producido. Cualquier aumento en los gases productos de la combustión existirá un aumento en el vapor producido. Asimismo se tendrá que suministrar más agua de alimentación.

Un factor muy importante a considerar es el flujo de agua que se utiliza en la atemperación; los balances de masa y energía que se presentaron son considerando el flujo de atemperación constante, en la realidad esto no pasa; una forma muy práctica era realizar los balances sin considerar esa extracción en el punto 11, sin embargo se caería en un error. Para un análisis más exacto seria recomendable que en las hojas de los operadores se lleve el registro del flujo de atemperación (punto 11), el cual se tiene en monitores, mas no se tiene su historial.

Se observa que para el R.C. del a CCC Tula, la mayor parte de la energía cedida por los gases de combustión se transmite en el evaporador de alta presión (42%), seguido por el economizador, el sobrecalentador primario, el sobrecalentador secundario y finalmente el evaporador de baja presión. Las pérdidas globales promedio son del 10% de las cuales la mayor parte corresponde a los gases de combustión que salen a la atmósfera seguidas por las pérdidas radiativas - convectivas en las paredes del R.C. y finalmente las pérdidas por purgas. No obstante debido a que no se tiene un registro del flujo y características de las purgas es difícil conocer su participación respecto a las pérdidas radiativas - convectivas.

Por último es útil reconocer que al aumentar la generación de vapor en el R.C., se pueda aumentar la generación eléctrica en la turbina de vapor. Sin duda alguna, y tal como actualmente sucede, en la segunda etapa de la turbina de vapor existirá un aumento de flujo de vapor en la extracción que, por supuesto, aumentará la disponibilidad de vapor para otros usos; por ejemplo un sistema de refrigeración por absorción para el enfriamiento del aire en la succión del compresor de la turbina de gas.

#### **BIBLIOGRAFIA.**

Romero Paredes H, Ambriz J.J., Torres A., Vargas M., Gómez J.F. "Incremento en la generación eléctrica en centrales de ciclo combinado". Proceedings of the International Congress on Engineering in Sustainable Development "FIUAEM '96". Toluca, México 22-25 de mayo de 1996, pp 98 - 103.

Wark K. Termodinámica, Mc. Graw Hill, 1984.

#### AGRADECIMIENTOS.

Los autores extienden un amplio agradecimiento a la CFE y especialmente al Ing. Víctor Martínez, Superintendente de la Central Ciclo Combinado de Tula, Hidalgo, por la oportunidad que brindó al equipo de la Universidad Autónoma Metropolitana para el desarrollo del conjunto de trabajos que se han llevado a cabo en la Central y uno de ellos a culminado con los resultados reportados en éste manuscrito, con la participación entusiasta de uno de los coautores el Ing. Oscar González Frayre.

#### **NOMENCLATURA**

the same of the same

MONITIACEVIOL	
m	Flujo másico
T	Temperatura absoluta
<b>p</b> = 1	Presión de la companya del companya del companya de la companya de
h	Entalpia
S	Entropía de la companya del companya del companya de la companya d
Tc	Temperatura entre el Evap. B. Presión y el de la superior y de la companya del companya de la companya del companya de la comp
	economizador
TA	Temp. gases de comb. a la entrada al HRSG.
T <sub>B</sub>	Temp. gases de comb. a la salida del HRSG.
m <sub>1</sub> , T <sub>1</sub> y p <sub>1</sub>	Antes de entrar al domo de baja presión.
$m_2$ , $T_2$ y $p_2$	Domo de baja presión.
$m_{2A}$ , $T_{2A}$ y $p_{2A}$	Entrada al evaporador de baja presión.
$m_{2B}$ , $T_{2B}$ y $p_{2B}$	Salida del evaporador de baja presión.
$m_3$ , $T_3$ y $p_3$	Entrada a al bomba de alimentación
m <sub>4</sub> , T <sub>4</sub> y p <sub>4</sub>	Salida de la bomba de alimentación.
m <sub>5</sub> , T <sub>5</sub> y p <sub>5</sub>	Entrada al economizador.
m <sub>6</sub> , T <sub>6</sub> y p <sub>6</sub>	Salida del economizador.
m <sub>7</sub> , T <sub>7</sub> y p <sub>7</sub>	Domo de alta presión.
m7A, T7A y P7A	Entrada al evaporador de alta presión.
m <sub>78</sub> , T <sub>78</sub> y p <sub>78</sub>	Salida del evaporador de alta presión
m <sub>8</sub> , T <sub>8</sub> y p <sub>8</sub>	Entrada al sobrecalentador primario.
m <sub>9</sub> , T <sub>9</sub> y p <sub>9</sub>	Salida del sobrecalentador primario.
m <sub>10</sub> , T <sub>10</sub> y p <sub>10</sub>	Entrada al sobrecalentador secundario.
m <sub>11</sub> , T <sub>11</sub> y p <sub>11</sub>	Salida del sobrecalentador secundario.
m <sub>12</sub> , T <sub>12</sub> y p <sub>12</sub>	Atemperador.
	and the state of the

[流程]经特别其5次。

and the second of the second o and the first of the Mental party and the wide the transfer considering ्रात्त्र कर्णा विकास क्षेत्र के अपने क्षेत्र कर्ण के अपने क्षेत्र क्षेत्र क्षेत्र क्षेत्र क्षेत्र क्षेत्र क्षेत्र

2. 化水管 化甲酰胺酚 人名阿里特特特 技术 化异氯化二甲二丁

Visite to vertical amount of the choice of a 1961

BORTHONDSON O

in a greens **collection and a solition** in the collection of is a contract of a contract to the contract of and the second of the second of the temperation of the second of and the second of the second o and a second street to be the second of the second of the

The state of the second of the second of the second and the control of th

and the second of the second o

en de la composition de production de la composition della composi

# FUENTES ALTERNAS Y RENOVABLES DE ENERGIA EN MEXICO (FAYRE).

J. Antonio Urbano C. (#,\*), Yasuhiro Matsumoto K.(#) y René Asomoza P.(#)

(#)Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N. Av. I.P.N. # 2508 Col. San Pedro Zacatenco México D.F. 07300 tel. 747-7000 ext 3175-3153 fax. 747-71-14

> (\*) Prof. de la E.S.I.M.E- I.C.E. del I.P.N. Unidad Profesional Zacatenco Col. Lindavista. Academia de Electrónica tel. 729-60-00 ext 54619

#### RESUMEN

El presente artículo, presenta una revisión de los esfuerzos que se han desarrollado en nuestro México, en el campo de las Fuentes Alternas y Renovables de Energía (FAYRE), esfuerzos realizados por diferentes instituciones, dependencias y compañías a lo largo de los últimos 25 años. No se contemplan períodos más antiguos, aunque han existido adelantos significativos, específicamente, en el campo de pequeñas centrales microhidráulicas desde fines del siglo, y de colectores solares desde hace más de 60 años, ya que los más relevantes se contemplan en estas últimas dos décadas de recopilación.

Se analiza la demanda de energía mundial, haciendo énfasis a nuestro país, se mencionan los esfuerzos de las plantas geotérmicas instaladas, los colectores planos para uso doméstico y las plantas solares instaladas por algunas dependencias; también el fuerte crecimiento del campo fotovoltaico, tanto a nivel mundial como nacional ( se presenta un cuadro de las múltiples aplicaciones de la conversión fotovoltaica de la energía solar a nivel mundial, de las cuales algunas de éstas ya están siendo operativas en nuestro país ), incluyendo los sistemas híbridos ( viento - fotovoltaico - diesel ), las plantas pilotos de biogas, los esfuerzos en estanques solares y la recientemente inaugurada planta eólica de 1.575 Megawatt instalada en la venta, Edo de Oaxaca.

#### Introducción.

México, además de ser uno de los países productores y exportadores importantes de hidrocarburos a nivel mundial, posee un enorme potencial en fuentes alternas de energía. Esto se debe a que recibe una excelente radiación solar en una gran extensión territorial y alrededor de tres cuartas partes del territorio nacional, son zonas áridas o semiáridas con una irradiancia promedio mayor de 5.5 kW-hora/m² al día ( es decir más de 2,000 kW-hora/m² ). Su extensión territorial de 2 millones de km², se localiza en una franja comprendida entre las latitudes norte 32º34 ′ y 14º32.

Al oeste y al este está limitada por el Océano Pacífico y el Golfo de México, respectivamente, que producen lluvias ciclónicas a lo largo del año (23 en promedio anual segun la C. Nal. del Agua) y varias zonas geográficas preferenciales de viento. Cuatro serranías captan todo el potencial pluvial ciclónico y las fallas geológicas volcánicas permiten el aprovechamiento de los recursos geotérmicos para la obtención de electricidad.

#### Demanda energética.

Según resultados del estudio de la tendencia energética mundial, el consumo de energía per cápita de una nación es directamente proporcional al ingreso anual per cápita. Por ello, el uso de la energía aunado a los avances de la tecnología incide en el " bienestar " socio-económico. Sin embargo, hasta la fecha los países del "primer mundo" han abusado de los recursos fósiles para el crecimiento socio-económico, alterando los ciclos ecológicos, produciendo lluvias ácidas y el calentamiento global del planeta. Si continuamos por este camino, usando los recursos fósiles para el crecimiento del resto de los países, los llamados "paises en vías de desarrollo", es seguro que terminaríamos por destruir totalmente el medio ambiente. En la figura 1 se muestra la demanda energética en relación a la población mundial, desde la segunda guerra mundial a la fecha, intervalo en el cual han ocurrido los mayores progresos tecnológicos del siglo (1).

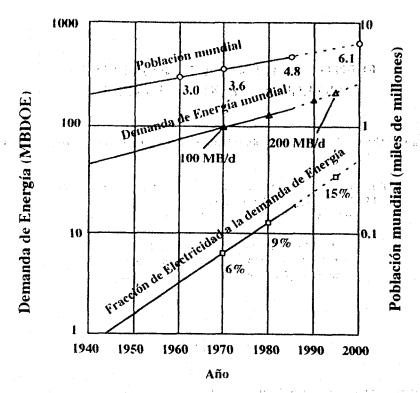


Figura 1. Crecimiento de la población mundial, demanda energética y la razón de la demanda eléctrica al total de los energéticos desde la segunda guerra mundial y su perspectiva. (MBDOE es el equivalente en millones de barriles diarios de petróleo (1).

En la figura 1 se puede apreciar que la población mundial sigue creciendo y para el año 2000 seremos más de 6,000 millones de habitantes, el doble de la población de 1960. Además la porción de energía eléctrica demandada, crece con mayor rapidez que los energéticos, es decir, el uso de la electricidad se incrementa con mayor razón con el crecimiento socio-económico. Por lo tanto, debemos prepararnos para obtener electricidad evitando el uso masivo de los combustibles fósiles que afectan seriamente al equilibrio ecológico y que tarde o temprano se agotarán, ya que son recursos no renovables de energía.

La figura 2 y 3 representan el esquema general de las diferentes fuentes de energía que la humanidad utiliza, sin embargo, en la fig.2 se clasifican a las fuentes como convencionales y alternas, mientras que en la fig 3, son clasificadas como renovables y no renovables, obsérvese que el asterisco significa la dependencia directa o indirecta del

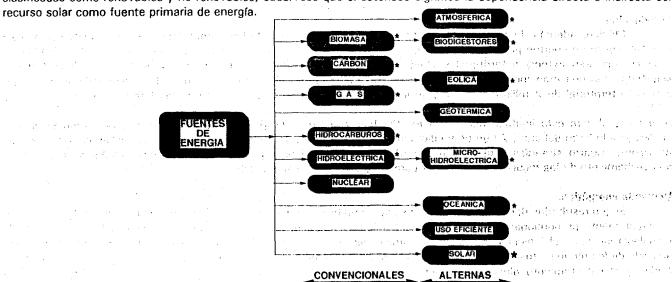


Figura 2. Clasificación de los energéticos en base a la separación de fuentes convencionales y alternas. El asterisco significa la dependiencia directa o indirecta de la fuente de energía solar.

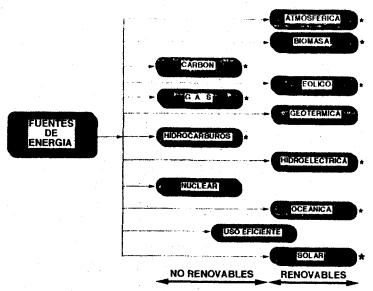
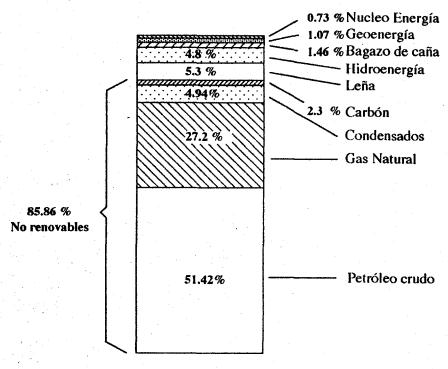


Figura 3. Clasificación de los energéticos en base a fuentes renovables y no renovables de energía. El asterisco significa la dependencia directa o indirecta de la fuente de energía solar.

#### Panorama energético de nuestro país.

La figura 4 muestra la proporción de cada uno de los energéticos primarios empleados en México en 1992. El contenido total energético de los hidrocarburos de la figura es de 1170 petacalorías (petacalorías = 10 <sup>15</sup> calorías). Se puede observar la gran dependencia que tenemos en este recurso no renovable. Lo grave es que en la transformación del hidrocarburo a una energía útil se desecha prácticamente un 70 %, debido a las pérdidas de conversión y de distribución; como sucede por ejemplo en las centrales termoeléctricas, donde la generación de energía eléctrica aprovecha solo 30 % (ver figura 5). Es decir, el resto de la energía se pierde en forma de calor y de contaminantes. Por tanto, es importante la diversificación de las fuentes de energía y dar énfasis a los energéticos renovables, no contaminantes y con mínimos peligro y daño al ambiente en su empleo.



Total de energéticos= 1364.1 petacalorías

Figura 4 Distribución de energía primaria en México, al consumo de 1992.

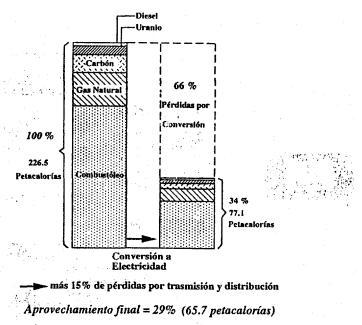


Figura 5.- Balance de energía eléctrica, en México (1992), Servicio Público (3)

En el caso de México, debido a la extensa y sofisticada topología que presenta su territorio, alrededor de 5 millones de personas ( de un global de 90 millones ), aún no tienen acceso en comunidades dispersas con menos de 500 habitantes cada una (4). Por lo que en este esquema, es altamente recomendable el ampleo de recursos energéticos locales ( como el viento, sol, biogas, microhidráulica, geotérmia, oceanica etc. ).

A continuación se describen las fuentes alternas utilizadas en los últimos 25 años, tiempo en que prácticamente han sido más desarrolladas, aunque de ellas ya se habían empleados desde el siglo pasado (5).

#### Geotermia.

Entre las fuentes alternas con que cuenta el país destaca el recurso geotérmico como una opción abundante, económica en muchos de los casos y no tan contaminante, si se explota adecuadamente. En 1959 la C.F.E. puso en marcha la primer unidad de 3.5 MWatt en el Estado de Hidalgo, actualmente el campo de la geotermia en México es uno de los más desarrollados a nivel mundial. Se cuenta con una generación de 753 MW en cuatro centrales, siendo la principal la de Cerro Prieto a 35 Km de la Cd. de Mexicali, Baja California Norte, con una capacidad de 620 MW (a base de 150 pozos profundos) y 200 MW en desarrollo. Para finales del siglo se piensa obtener un total del 1000 MW (6). La forma de extracción del fluido caliente del subsuelo tuvo su origen en la tecnología petrolera y las reservas probadas de generación geotérmica en esta zona son de 1200 MW, con la posibilidad de triplicar este valor (7). Actualmente de este conjunto se exportan al año 1700 GWh a los EUS. Le siguen los Azufres en el Estado de Michoacán con 98 MW instalados; La Primavera en el Estado de Jalisco con una capacidad de 10 MW y Los Humeros en el Estado de Puebla con 25 MW. La figura 6 muestra una de las centrales geotérmicas.



Figura 6.- Imagen de la central geotérmica de los Azufres en Michoacán

#### Eólico

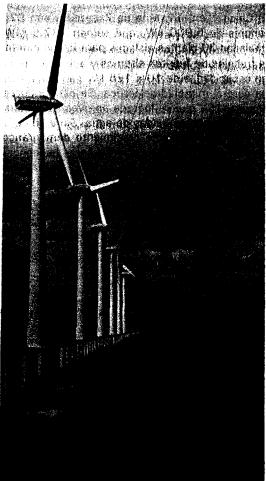
Los sistemas eólicos consisten de hélices conectadas mecánicamente a un generador eléctrico para la producción de la energía eléctrica (o las hélices conectadas directamente a un sistema mecánico para bombear agua, moler granos, etc.). La fuente de energía es el viento natural que se genera por la diferencia de temperatura ocasionada por el calentamiento de la superficie terrestre donde el flujo del aire se dirige de las altas a las bajas presiones. Mientras el gradiente de presión (o temperatura) sea mayor, la velocidad del viento será mayor. Estos fenómenos involucran las masas de aire frío en los polos y las calientes en las zonas ecuatoriales, y son influidos por la rotación de la tierra y la orografía. La potencia generada PG) es proporcional al cubo de la velocidad del viento (v), es decir  $PG = k(v)^3$ , donde k es una constante de proporcionalidad, por lo que la velocidad del viento toma un papel relevante en la generación eléctrica.

Las condiciones microclimáticas de varias zonas de la República Mexicana han originado que la energía eólica haya sido usada desde inicios del presente siglo, sobre todo en el altiplano mexicano y en las dos penínsulas, Baja California y Yucatán. Esto se ha aplicado para el bombeo de agua.

En México, desde los años 70 hasta la fecha, se ha instalado una capacidad de generación eléctrica proveniente del viento de 2,162 kW. Recientemente la CFE inauguró una central eoloeléctrica con siete unidades de 225 kW c/u en la Venta, Estado de Oaxaca a unos 30 kilómetros al noreste de Juchitán (zona de la ventosa). Las siete máquinas son de origen danés con un total de 1575 kW, montados en torres tubulares de 30m de altura y separados entre si 60m. La construcción de la central se inició en enero de 1994 y entró en pruebas en julio del mismo año (figura 7). En esta misma zona también se terminó la instalación de un sistema holandés de 95 kW para el bombeo de agua de 16 pozos en el ejido de Santo Domingo. En varias zonas aledañas a la Ventosa obtienen factores de planta del orden (8) del 50%. Por otra parte, se inició el desarrollo de una planta de 2 MW en el Estado de Zacatecas con 25 unidades de 80 kW c/u; sin embargo, este proyecto está detenido. El potencial eólico total en la República se estima en 5,000 MW (10). En 1991, la capacidad instalada entere los EUA y las naciones de Europa fue de 2,200 MW, con los cuales produjeron 3,800 millones de kW-h.



Figura 7. Vista de la central eoloeléctrica de la Venta, Oaxaca.



#### **Biomasa**

La biomasa es toda la materia orgánica que está formada por los arbustos, árboles, pastos, cultivos, residuos y desechos orgánicos tanto forestales como industriales y urbanos. Las plantas captan la radiación solar y por medio de la fotosíntesis transforman el CO<sub>2</sub> en carbohidratos que se pueden usar posteriormente para producir energía. Durante 1992, la biomasa representó el 10% del consumo final nacional de energía, básicamente proveniente de la leña y el bagazo de caña, y es del orden de 90 petacalorías (11). Dicha cantidad de energía se situó en tercer lugar a nivel nacional, después de las gasolinas y el gas y es comparable al total de energía eléctrica consumida en el mismo período (3). Las potencialidades del uso de la biomasa no se quedan únicamente en las leñas y en el bagazo, sino se encuentran en el procesamiento de los residuos y desechos orgánicos tales como los desechos agrícolas, la basura, los estiércoles animales, los desechos agroindustriales y los procesos químicos, pero son aún incipientes para ser considerados en el consumo nacional.

El 70% de la energía utilizada en el área rural proviene principalmente de la leña que se usa para la cocción de los alimentos. Se estima que anualmente 17 millones de toneladas se consumen en el medio rural (12). La biomasa siempre presenta la opción de su aprovechamiento para la generación de energía, ya sea por métodos biológicos o termoquímicos. El CO<sub>2</sub> resultante de la combustión directa de estos materiales, por formar parte del ciclo de carbono, no incrementaría el contenido de éste (13). Sin embargo, para conservar el equilibrio ecológico deberá haber un adecuado balance en el uso y la producción de la biomasa.

#### Microhidráulica

Los caudales que forman riachuelos y cascadas en las montañas pueden aprovecharse para impulsar turbinas y generar energía eléctrica. Según los tamaños de estas plantas, la Organización Latinoamericana de Energía clasifica las centrales generadoras como "microcentrales" hasta un límite de 50 kW, "minicentrales" de 50 a 500 kW y "pequeñas centrales hidroeléctricas" de 500 a 5,000 kW. Estas centrales datan de fines del siglo pasado cuando se generaban en cinco plantas con capacidades de decenas a miles de kWm, cada una, en varios Estados de la República Mexicana. Estas plantas fueron abandonándose por problemas gremiales y de legislación (solo el Estado era el facultado para generar electricidad). La Comisión Federal de Electricidad ha dejado de instalar plantas desde hace 30 años siendo la última la de "El Chique" en el Estado de Zacatecas con 624 kW de capacidad. Existen estadísticas de 92 unidades hidroeléctricas menores de 5,000 kW, que suman 137.5 MW interconectadas a la red. En 1975 en el sureste del país se hallaban instaladas 30 plantas aisladas para fincas cafetaleras privadas en 54 MW en conjunto (13). Recientemente se reiniciaron los trabajos de fuentes alternas y actualmente se cuenta con 15 plantas de generación en varios estados de la República con capacidades de 10 a 125 kW cada una, con un total de 463 kW instalados. En la figura 8 se muestran aspectos de una central microhidroeléctrica. Se estima que el potencial hidrológico para pequeñas centrales es del orden de 20,000 kilowatt (15), que se lograría aprovechando corrientes de baja altura y gran caudal (de los ríos principales), en medianas caídas y pequeñas caídas de agua. Sin embargo, en general, se ha visto la marginación del desarrollo microhidroeléctrico debido al alto ritmo de crecimiento demográfico en las entidades rurales que imposibilita el suministro suficiente para atender la demanda eléctrica así como la economía de escala que no siempre justifica la construcción de los micros y por otro lado, debido a la amplia dotación de los recursos fósiles.





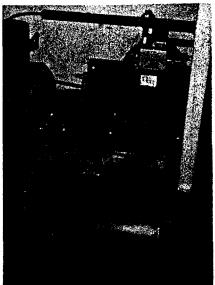


Fig. 8.- Composición fotográfica de una pequeña central micro-hidráulica instalada en el Estado de Chiapas.

#### Fototérmica

El aprovechamiento de la radiación solar tiene una historia tan antigua como el mismo hombre. El calentamiento de los materiales y su transmisión a otros medios es una rutina que sentimos todos los días en nuestros alrededores. En México su aprovechamiento más directo data de los años 50 con industrias artesanales para el calentamiento de agua de uso doméstico. En la actualidad se encuentran más de 20 compañías e instituciones nacionales que fabrican y experimentan diferentes tipos de colectores solares planos para el calentamiento de agua, así como la refrigeración, secado de granos, cocinas solares, climatización de edificios, etc. En 1992, se contaba con la instalación de más de 172,500 m² de calentadores solares planos para el agua. En este rubro de fuentes alternas han existido dos grandes proyectos gubernamentales que involucraron el uso de la energía solar. El primero data de mediados de los años 70 cuando la compañía francesa Sofretes instaló 18 bombas de agua solares de ciclo termodinámico. El segundo se inició a fines de los 70. Nuevamente el Gobierno desarrolló un proyecto con la República Federal Alemana para proveer de energía a toda una comunidad de pescadores con fuentes alternas. La instalación consistió de 500 kW térmicos en colectores planos y concentrados para purificar agua, refrigerar y obtener hielo para el producto de pesca. En estos dos grandes proyectos no se realizó una adecuada planeación para su mantenimiento, por lo que actualmente están desmantelados y abandonados. Aún cuando los sistemas solares requieren de menor mantenimiento en comparación a otros equipos convencionales, los descuidos y la mala administración arruinan equipos útiles. Actualmente se considera un estimado de 207,000 m².

En Puerto Lobos en el Estado de Sonora se está instalando una planta de 30 kW para proveer electricidad a 229 habitantes, 3000 lts/día de agua potable, 1.5 toneladas de hielo y refrigeración para 3 toneladas de pescado (16). El colector utilizado es de tipo cilindro-parabólico con seguimiento este-oeste y un área total de 100 m². Este proyecto fue financiado por el PRONASOL (Programa Nacional de Solidaridad).

#### Fotovoltaica

La conversión directa de la radiación luminosa a energía eléctrica se logra mediante el uso de las celdas solares. Desde que en México se iniciaron las aplicaciones fotovoltaicas en 1967, se ha visto un desarrollo excepcional en este campo (18). El Departamento de Ingeniería Eléctrica del Cinvestav fue el pionero en la investigación y desarrollo en el campo de las celdas solares(19). El Cinvestav consideró la conversión fotovoltaica (FV) como una de las mejores opciones de fuentes alternas en nuestro país, principalmente en comunidades rurales. Se participó de manera activa y se promovió el desarrollo integral de la conversión fotovoltaica, basada fundamentalmente en la física de los semiconductores y su desarrollo tecnológico. En seguida se enlistan las actividades principales realizadas: (1) investigación básica y aplicada, (2) desarrollo de la tecnología de conversión fotovoltaica, (3) fabricación de módulos FV, (4) diseño y fabricación de controladores electrónicos, (5) estudio de campo, (6) consultoría, (7) entrenamiento del personal y (8) estudios de mercado. Los resultados fueron competitivos en la aplicación de los sistemas FV, satisfaciendo diferentes necesidades como bombeo de agua, iluminación, TV educativa y radio comunicación rural. La figura 9 muestra diferentes servicios que proporcionan los sistemas fotovoltaicos.

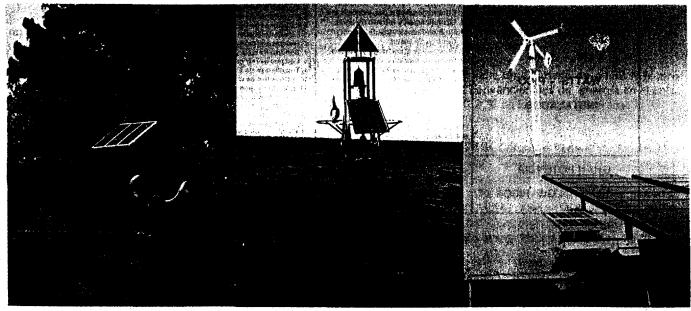


Figura 9.- Diferentes aplicaciones fotovoltaicas: (a) sistema de alumbrado en el zoológico de Chapultepec, (b) boya de señalización marítima en el Golfo de Cortés, (c) sistema híbrido eólico-diesel en María Magdalena, Estado de Hidalgo.

A mediados de los años 80 empiezan a incidir las empresas privadas de instalaciones fotovoltaicas principalmente de sistemas de iluminación, bombeo de agua y de radiocomunicaciones en las zonas rurales no electrificadas del país. Por ejemplo, en 1989 PRONASOL, respaldado por el Gobierno Federal, comenzó un programa de electrificación rural con la introducción de fuentes alternas de energía. Los objetivos fueron mejorar la calidad de vida de aquellas comunidades rurales pauperizadas, dispersas y alejadas de los sistemas convencionales de distribución, aprovechando racionalmente los recursos energéticos disponibles a partir del uso de fuentes locales para la generación de electricidad. En dicho programa participaron diferentes instituciones tanto paraestatales como privadas para llevar a cabo los objetivos de electrificación. De 1991 a 1993 se instalaron más de 5.4 MWp (17) para satisfacer las demandas de comunicación telefónica, iluminación y bombeo de agua. La CFE realizó programas de electrificación rural a través del PRONASOL en donde alrededor de diez empresas privadas participaron en los concursos para la electrificación con la instalación de luminarias en las comunidades rurales. Este programa proporcionó a decenas de miles de familias el servicio, no unicamente de iluminación, sino también de comunicación incluyendo Centros de Salud en varias entidades. A la fecha, el total acumulado de potencia pico instalada con sistemas fotovoltaicos hasta 1995 es del orden de 9.4 - 10 MWp (18). En la tabla 1, se describen diferentes aplicaciones de sistemas FV según su tamaño y para rubros de beneficio social y de servicios profesionales.

Tabla I. Aplicaciones Fotovoltaicas

APLICACIONES FOTOVOLTAICAS ACTUALES Y FUTURAS				
POTENCIA PICO	BENEFICIO SOCIAL	PROFESIONALES	VARIOS	
BAJA POTENCIA 1 - 1000	1. Radio-telefono 2. Tele-secundaria 3. Alumbrado doméstico 4. Alumbrado público. 5. Bombeo de agua. 6. Refrigeración. 7. Centros ejidales comunitarios.	1. Equipos de alarmas, 2. Equipos sismológicos, 3. Equipos metereológicos, 4. Radio - Jelefonos, 5. Radio faro sereo, 6. Señalamiento aereo 7. Señalamiento maritimo, 8. Repetidores de microondas.	Relojes     Calculadoras.     Autos eléctricos	
WATTS - PICO INSTALADOS	8. Telefonos de auxilio en caminos. 9. Alumbrado en zonas de nievla. 10. Sist. de Comunicacion para guardabosques. 11. Equipos de salud básicos. 12. Eliminador de Insectos. 13. Receptores de TV via satélite.	9. Casas de campo. 10. Casas rodantes. 11. Equipos de comunicacioanes. 12. Protección catódica. 13. Trasladores de canal. 14. Alambradas energizadas para ganado.	4. Lanchas 5. Avionetas 6. Planeadores. 7. Tiendas de campaña 8. Iuminarias de jardine	
MEDIANA POTENCIA	14. Sist. de puruficación de agua.  1. Bombeo de agua para uso dom. 2. Equipo desalador por osmosis inv. 3. Ozonificación y filtrado de agua. 4. Comunidades autosuficientes.	15. Bombeo de agua. 16. Estaciones de servicio en gral.  1. Estaciones de radar. 2. Equipos de comunicaciones. 3. Repetidores de microondas. 4. Estaciones de Gasolina.		
1 kW - 1 MW WATTS - PICO	5. Centros de Salud. 6. Bombeo de agua, riego y ganado. 7. Sistemas hibridos, viento-sol. 8. Transmisores de TV via satélite. 9. Estaciones de enlaces para Com. 10, Alimentación de granjas.	5. Estaciones metercológicas. 6. Sistemas hibridos. 7. Bombeo de agua para abrevaderos. 8. Equipos de retrigeración para mariscos. 9. Trasmisores de TV vía satélite. 10. Estaciones de enlace vía satélite. 11. Molinos de grano.		
INSTALADOS	11. Refrigeración para productos perecederos. 12. Fabrica de hielo. 13. Bombeo de agua para piscicult. 14. Molinos de grano.	12. Uso residencial y acopte à la red. 13. Autobus solar. 14. Protección catódica para ductos. 15. Generador de hidrógeno. 16. Fabricas con cogeneración. 17. Uso comercial en oficinas y aereopuertos.		
GRAN POTENCIA 10 MW - 1 GW -PICO	Comunidades autosuficientes.     Islas autosuficientes.     Centrales fotovoltaicas.     Sistemas hibridos.	1. Grandes centrales FV HVAC terrestres. 2. Grandes centrales FV HVAC maritimes. 3. Grandes centrales FV espaciales. 4. Interconección via superconductores entre Centrales FV de continentes (Proyecto Génesis).		

#### **Estanques solares**

Estos sistemas aprovechan la diferencia de temperatura que se obtiene del calentamiento en la parte superior de los estanques con respecto a su fondo por medio de fluidos de diferentes densidades. En Tuzandepetl, Veracruz, está un estanque piloto de 3000 m², acoplado a una máquina de ciclo Rankine orgánico de 10 kW de capacidad. Hasta la fecha,

el estanque salino ha alcanzado una temperatura máxima de 68°C. El objetivo de este estanque es demostrar la factibilidad técnica para proporcionar la energía eléctrica necesaria para el bombeo del petróleo.

#### Conclusiones:

- 1.- México es un país productor y exportador de hidrocarburos, pero además tiene un potencial importante en recursos renovables para satisfacer la demanda energética sobre todo en zonas marginadas del terrritorio. Por medio de la participación de diferentes instituciones estatales, así como empresas privadas, se ha fomentado el desarrollo de varios tipos de fuentes alternas de energía. Desde sus inicios en los años 70 hasta la actualidad existe una gama de aplicaciones en la República Mexicana. Sin embargo, obtener mayores alcances en el campo de estas fuentes requiere de una mejor vinculación entre los sectores industrial y gubernamental con las instituciones de investigación.
- 2.- Debido a multiples factores históricos, sociales, económicos y políticos, el ser humano se ha dedicado a ulilizar sobrantes o residuos de la energía solar, para el caso de la generación de energía eléctrica ( hidrocarburos, carbon, gas, hidro, viento ). Surge naturalmente la pregunta autoinducida, ¿ por que no utilizar la fuente primaria que éste brinda ?
- 3.- Cuál es el costo al daño ecológico ambiental, por utilizar los energéticos agresivos al medio ambiente, ¿ lo estamos pagando realmente ? o sólo damos paleativos para salvar la situación inmediata y no afrontamos el reto de los 48 años que nos restan de recursos fosiles no renovables.
- 4.- Si sumamos la actividad fotovoltaica en los últimos 8 años, Mexico ha sido el país que más a importado equipo fotovoltaico a nivel mundial, sin embargo no hay un programa formal, sólido a corto, mediano y largo plazo que contemple el uso de fuentes alternas de energía, llamese fotovoltaicos, eólico, fototérmico, estanques solares, microhidráulica, geotermia, oceanica y biomas. Por lo anterior, se tiene que este país no cuenta con un Programa Nacional que contemple el desarrollo de las FAYREs en México con consistencia, continuidad y miras hacia el futuro energético del país.
- 5.- Tenemos hidrocarburos para 48 años, basados en el " Plan de desarrollo y reestructuración del sectro de la energía 1995-2000". Sin embargo no se puede apreciar una politica sólida, contínua y formal que contemple, por ejemplo, cambiar todas las planta que usan este combustible en dicho período ( se tendrían que invertir del orden de 350 M/wattaño a 560 M/watt-año, dependiendo del factor de planta, a un regimen contínuo año con año, sólo para sustituir las plantas termoeléctricas ya existentes, sin incluir las nuevas plantas que se construyan en dicho periodo, para contrarestar los efectos del crecimiento demográfico del país y en consecuencia el aumento en la demanda de energía eléctrica).
- 6.- Algunos ecologistas estiman que si el planeta junto con los que lo habitan pudieran soportar los próximos 50 años, la raza humana y el planeta sobrevivirían, ya que es el tiempo que durarían las reservas mundiales de hidrocarburos, es decir, ya no podríamos contaminar más al planeta, al menos no con este tipo de contaminante.
- 7.- Si sumamos la capacidad instalada de todas las fuentes alternas de energía se tiene un estimado de 133 MW-pico instalados, lo que representa un 0.5 % en base a la capacidad instalda de fuentes convencionales de energía en el país. Si se toma en base a la energía generada al año, las FAYREs representa apenas el 0.2 % de la energía generada.

#### Reconocimientos

Agradecermos la aportación de información a las siguientes instituciones y compañías: Comisión Federal de Electricidad (CFE), Compañía de Luz y Fuerza del Centro (CLFC), Petróleos Mexicanos (PEMEX), Teléfonos de México (TELMEX), Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto Nacional Indigenista (INI), Ferrocarriles Nacionales (Ferrocarriles), Caminos y Puentes Federales y Servicios Conexos (CPFSC), Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), CONDUMEX, ENTEC, Opción Solar, IMSAESB, TSA, ITESA, Electro Solar, Heliotécnica, SIMSA, Solartec, Grupo Colibrí, Laboratorio de Energía Solar (LES), IPC Westinghouse, ASHMOR, Módulo Solar y Phoenix Latinoamericana. También hacemos patente nuestro reconocimiento al Ing. Ricardo Saldaña, del IIE, por haber aportado fotografías de la central eoloeléctrica.

#### Notas bibliográficas.

- 1. Y. Hamakawa, "Solar Photovoltaics and its New Role" en Solar Energy (21 Sept. 1993) p.22.
- 2. Según estudios, el petróleo requiere de un promedio de 60 millones de años para su formación, el carbón más de 400 millones de años.

- 3. Energía 1992, Balance Nacional de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), Espainos espais
- 4. Programa de electrificación rural (1991) de la Comisión Federal de Electricidad, publicación interna, Gerencia de Electrificación.
- 5. A. Nava Segura, "Estado actual y perspectivas de la investigación orientada, al aprovechamiento energético de recurso hidráulico de pequeña escala", preparado para el evento de Discusión y Análisis en Fuentes de Energía Alterna a, las Convencionales, 11-2/08/1990, SEMIP.

THE AT MEN THE SECOND REPORTED AS THE SHE WAS TO BE ASSESSED.

- 6. Boletín IIE 18, No 3, 106 (1994).
- 7. H.A. Espinosa, "Cerro Prieto; Una alternativa en el desarrollo energético", Memoria de la Reunión Nacional de Energía y el Confort; Mexicali, Baja California Norte, mayo de 1988. Instituto de Ingeniería de la UABC. p.314. Hande de la California Norte, mayo de 1988. Instituto de Ingeniería de la UABC.
- 8. Comunicación verbal, Víctor Tamayo, ENTEC S.A. de C.V. (junio de 1995). El factor de planta es la proporción del tiempo promedio durante el año que se puede estar generando energía. El se el comunicación verbal, lng. Enrique Caldera Muñoz, IIE (abril de 1995). El factor de planta es la proporción del tiempo promedio durante el año que se puede estar generando energía.
- 10. E. Caldera y R. Saldaña, "Aplicaciones de la energía eólica en México: realidades y expectativas", Revista Solar 15, 14(1988). The contraction of the contraction
- 11a A.M. Martínez, "Estado actual y perspectiva del aprovechamiento energético de la biomasa", IIE, Memoria del evento Discusión y Análisis en Fuentes de Energía Alterna a las Convencionales, 1-2/08/90, SEMIP.
- 12. Energía rural en México, documento patrocinado por la Comisión de Comunidades Europeas EEC, (SEMIP, 1987) 13.
- 13. A. M. Martínez, "Implicaciones ambientales del aprovechamiento de la biomasa", Memoria del simposio Energía y Medio: Ambiente (UNAM, 1984) p. 132. Construcción de la construcción de la biomasa", includente del simposio Energía y
- 14. R.E. Borja y R. González, "Pequeña central hidroeléctrica Tomatlan I: Descripción del sistema eléctrico", Memoria Reunión Nacional de Energía Solar, octubre 1992, Oaxaca, p. 70.
- 15. R. Vargas, "Avances de México en el desarrollo y planeación de las nuevas fuentes de energía", en *Posibilidades y limitaciones de la planeación energética en México*. M. Wionczek, R. Gutiérrez, O. M. Guzmán, eds. (El Colegio de México, 1988). p.197.
- 16. F.A. Bahena, C.A. Estrada y R.E. Cabanillas, "Análisis térmico de la planta de potencia termosolar de 30kWe; de Puerto Lobos, Sonora, México", Memoria Reunión Nacional de Energía solar, octubre 1993, Colima, p.300.
- 17. Wp = Watts-pico: energía que se obtendrá en promedio durante el tiempo de la irradiación solar (en México, 5.5; horas/día)
- 18. Y. Matsumoto, A. Urbano y R. Asomoza, "Status of PV Application in Mexico", First World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, Conf. Record of the Twenty-Fourth IEEE PVSC, Waikoloa Hawaii, vol.2; Diciembre, 1994. p.2291. Status of the second of the Status of the Association and december and contact of the second of the Status of the Status
- 19. J.L. Del Valle, J. A. Urbano, Y. Matsumoto y R. Asomoza "The experience of the CINVESTAV-IPN in the R&D of Photovoltaic System for the Mexican Rural Area", Technical Digest of the International Photovoltaic Science and Engineering Conference-5, Kyoto, Japón, 1990, p.1007.

6. Alguma gan<mark>agastas actuada que se</mark> el abora en como en 1, de 1960, de 19

er er formande de la companya de la La companya de la companya La companya de la

Promounded to the second of th

उन्हरीके हुई है जो का स्वर्क

t to engled <mark>extensive theorethe</mark> de la servició de la compania de la testa de la testa de la testa de la compania A despensive de la compania de la comp

Louis M. Contribution

# SISTEMA DE COGENERACIÓN EN UNA PLANTA MADERERA

# ING. ARTURO CASTELAZO HERNANDEZ M en I. ING. ALFONSO MENDOZA ARCARAZ

ULTRA ENERGIA S.A. DE C.V.
ANDES NUM. 98 LOMAS VERDES IV SECCION
NAUCALPAN EDO. DE MEXICO
TEL: 343-51-82 CON 4 LINEAS

FAX: 343-49-71

#### RESUMEN

La COGENERACION, que es la producción conjunta de dos manifestaciones de energía a partir de una misma fuente energética, se presenta como una de las alternativas más viables para lograr el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos finitos.

En las últimas décadas en que el crecimiento económico de México ha estado ligado a la generación y suministro de energía eléctrica, el Estado ha fungido como organizador y director del sistema nacional de generación eléctrica, sin embargo la intervención de los particulares ha sido determinante.

Debemos tomar en cuenta que para cubrir las necesidades futuras de electricidad del desarrollo nacional, se requerirán aproximadamente 17 mil MW adicionales, para lo cuál la iniciativa privada, entre las que podemos destacar a la pequeña y mediana industria, tendrá despejado el camino para producirlos, aprovechando los cambios en la Ley y el Reglamento del Servicio Público de Energía Eléctrica, publicados en el "Diario Oficial de la Federación" los días 23 de Diciembre de 1992 y 31 de Mayo de 1993 respectivamente.

Al contar con un sistema de cogeneración optimizado, el importe económico anual de la empresa maderera por concepto de energía (electricidad y combustible) se reducirá substancialmente.

La empresa maderera requiere la instalación de un sistema de cogeneración que suministre 4.75 MWe y 1,861 KWt (1.6 Gcal/hr).

La energía eléctrica se utilizará en la fabricación de TABLONES DE NOVOPAN y la energía térmica para calentar aceite térmico que se utiliza en la prensa de madera y en la preparación de la emulsión utilizada en el proceso.

Para satisfacer los requerimientos energéticos se han analizado 2 alternativas:

•Generación de energía eléctrica con un motor de combustión interna que utilice combustóleo como combustible, aprovechándose los gases de escape del motor para pre-calentar el aceite térmico en un intercambiador de calor "gases de escape-aceite térmico".

Debido a que los gases de escape del motor no contienen la suficiente energía para calentar el aceite térmico a la temperatura deseada se utilizará una caldera de fluido térmico que quema desperdicios de madera y corteza de árbol como combustible.

•Generación de energía eléctrica con una turbina de vapor a contrapresión. La salida del vapor a contrapresión se utilizará para calentar el aceite térmico a través de un intercambiador de calor "vapor-aceite térmico".

# 1.- INTRODUCCION

A unos cuantos años de entrar al siglo XXI y tomando en cuenta los cambios económicos, políticos y comerciales por los cuales atraviesa el país, es indispensable comenzar a vivir una " ERA " de ahorro y eficientización en el uso de la Energía.

Como sabemos, nuestro país, México, es noble y generoso en los recursos naturales de los cuales nos ha proveído, sin embargo parecería que tenemos como consigna ser depredadores y destructores de nuestro propio hábitat, haciendo un uso inadecuado e irracional de los recursos naturales que nos rodean, recursos claro, no renovables, el uso del agua y del aire son claro ejemplo de ello, pero y sin embargo ¿que hacemos por evitarlo?.

Nuestra preocupación del entorno nacional se centra en la economía, la política, el comercio, la religión, pero, ¿qué es lo que mueve a todo esto?, ¿qué es lo que mueve a la sociedad?, ¿qué es lo que mueve a la humanidad?. El mexicano está acostumbrado a llegar a la gasolinera y que le llenen el tanque, está acostumbrado a conectar su radio y escuchar música, a tener todo tipo de aparatos en los que se prenda un foquito, pero, ¿que los hace funcionar?. Es una respuesta tan fácil de decir, pero tan difícil de comprender:

# "LA ENERGIA"

Etimológicamente la palabra "ENERGIA" proviene del latín tardío "ENERGIA", y ésta a su vez del griego "ENERGEIA", es decir, fuerza en acción; sin embargo es más fácil de explicar para qué sirve, que tratar de definirla. Hoy en día "LA ENERGIA" se define como "Todo aquello capaz de producir trabajo".

A través del desarrollo de la humanidad han existido técnicos, ingenieros y especialistas que conscientes del grave problema que puede causar el agotamiento de los recursos energéticos en el mundo se encuentran estudiando y experimentando tecnologías capaces de hacer un uso eficiente y racional de la energía. La COGENERACION, tema central de este trabajo, es una de ellas.

#### 2.- OBJETIVO

- I) Plantear a la cogeneración como una tecnología capaz de hacer un uso racional y eficiente de la energía, tomando en cuenta que a través de ella se logran eficiencias energéticas mayores a las que se obtienen en las plantas convencionales de generación de energía eléctrica, además de aprovechar la calidad y cantidad de la energía.
- II) Reconocer la importancia de la cogeneración en el panorama energético de nuestro país teniendo en cuenta los cambios efectuados a la Ley y el Reglamento del Servicio Público de Energía Eléctrica.
- III) Mostrar la factibilidad técnica y económica de un caso real de cogeneración aplicado a la industria nacional, la cual se encuentra urgida de un servicio eléctrico confiable, costos energéticos bajos, ahorros energéticos altos y mayor margen de utilidades.

#### 3.- LA COGENERACION EN MEXICO

En las últimas décadas, en que el crecimiento económico de México ha estado ligado a la generación y suministro de energía eléctrica, el Estado ha fungido como organizador y director del sistema nacional de generación eléctrica, sin embargo la intervención de los particulares ha sido determinante.

La Constitución Mexicana establece que la generación, transmisión, transformación y distribución de la energía eléctrica, constituye un servicio público perteneciente y reservado exclusivamente a la nación, a través de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), que es un organismo descentralizado del gobierno. Sin embargo el 23 de Diciembre de 1992, se llevaron a cabo cambios importantes en la ley que regula el servicio eléctrico y que determina la estructura actual de la industria eléctrica.

Los objetivos de estas modificaciones pretenden abrir las posibilidades al sector privado para que participe en la generación de electricidad.

Hoy en día existen en nuestro país tres formas en las cuáles los inversionistas privados pueden participar en la generación de energía eléctrica:

- 1. **Generación de Energía Eléctrica para Autoabastecimiento**, que es la energía destinada a la satisfacción de necesidades propias de personas físicas o morales.
- 2. Cogeneración, que es la generación de energía eléctrica producida conjuntamente con vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas; cuando la energía térmica no aprovechada en los procesos se utilice para la producción directa o indirecta de energía eléctrica, o cuando se utilicen combustibles producidos en sus procesos para la generación directa o indirecta de energía eléctrica.
- 3. Generadores Independientes de Energía, en la cual la energía eléctrica generada se vende a la Comisión Federal de Electricidad, quedando ésta legalmente obligada a adquirida en los términos y condiciones económicas que se convengan.

Debemos tomar en cuenta que para cubrir las necesidades futuras de electricidad del desarrollo nacional, se requerirán aproximadamente 17 mil MW adicionales, para lo cuál la iniciativa privada, entre las que podemos destacar a la pequeña y mediana industria, tendrá despejado el camino para producirlos, aprovechando los cambios en la Ley y el Reglamento del Servicio Público de Energía Eléctrica, publicados en el "Diario Oficial de la Federación" los días 23 de Diciembre de 1992 y 31 de Mayo de 1993 respectivamente.

Es necesario recalcar que la cogeneración no consiste en generar electricidad y vapor a cualquier costo o a cualquier eficiencia, sino lo que se intenta con la cogeneración es maximizar la eficiencia energética y económica del proceso.

La Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en su Artículo 36, Fracción II, Inciso b, hace referencia a lo anterior y nos dice textualmente: "La electricidad generada se destine a la satisfacción de las necesidades de establecimientos asociadas a la cogeneración, siempre que se incrementen las eficiencias energéticas y económicas de todo el proceso y que la primera sea mayor que la obtenida en plantas de generación convencionales.

En México existen plantas industriales en las cuales el ejecutar proyectos de cogeneración resulta crítico, ya sea para mantener su mercado de exportación o para llevar a cabo su modernización y competir o bien para subsistir en un mercado interno totalmente abierto.

El instalar unidades de cogeneración en diversos centros de consumo ayuda a robustecer el sistema eléctrico nacional y mejora los niveles requeridos de reserva de energía eléctrica, ahorrando inversiones en capacidad de generación y transmisión, además, la creación de infraestructuras en zonas industriales permitirá atraer inversiones económicas con el consecuente efecto multiplicador.

La economía nacional pasa en estos momentos por una etapa de crisis, en este contexto las empresas deben de plantearse la forma de aminorar sus costos de producción con el objeto de incrementar su competitividad; los beneficios económicos proporcionados por la cogeneración son una oportunidad para incrementar la competitividad de la industria mexicana con el exterior.

# 4.- DESARROLLO DEL ESTUDIO

#### I.- Antecedentes

La EMPRESA MADERERA es una empresa privada líder en su ramo que se encuentra ubicada en la parte sur de la República Mexicana. Su producto principal es el tablón de "Novopán" de tres capas con las siguientes características:

RANGO	
6.00 a 38.00 mm	
580 a 700 kg/m <sup>3</sup> (8% DE HUMEDAD)	
1,220 x 2,440 mm 1,530 x 2,750 mm	

La capacidad de producción actual de la planta es de 340 m³/día de tablón novopán; aún y cuando la planta trabaja durante todo el día, solo se producen tablones de novopán durante 23 horas al día.

Actualmente la planta trabaja 50 semanas al año, utilizando 2 semanas para mantenimiento general. Las condiciones de sitio que se tienen en la planta son las siguientes:

Temperatura Promedio:	28.3°C
Temperatura Máxima:	40°C
Nivel Sobre el Nivel del Mar:	200 metros

La empresa maderera cuenta con un depósito de 75,000 m³ de madera almacenada, suficiente para la producción de 5 meses.

#### II.-VISITA A PLANTA Y VALIDACION DE DATOS

La empresa maderera utiliza como materia prima principal madera proveniente de árbol de eucalipto y ciprés, la cual se suministra al proceso en forma de troncos, ramas y corteza, con un contenido máximo de humedad de 100%.

Partiendo del cuestionario de datos base proporcionado para ser llenado por la EMPRESA MADERERA se realizó el estudio de viabilidad, el cual es la base para la implementación y ejecución del sistema de cogeneración

El objetivo del estudio fue realizar una evaluación técnica y económica de la situación energética actual de la planta comparada con las propuestas para la instalación de un sistema de cogeneración que utilice como combustible la madera de desperdicio, para generar la energía térmica requerida en el sistema de fluido térmico y la energía eléctrica requerida en la planta.

Durante la visita a campo se llevó a cabo una clasificación de los desperdicios de madera que se obtienen en la empresa maderera, además se tomaron muestras de maderas para ser analizadas en un laboratorio y obtener su poder calorífico y humedad. De acuerdo al muestreo visual llevado a cabo en la planta maderera durante la visita a campo se observó que existe una gran variedad de desperdicio; para fines de este estudio, este desperdicio se clasificó de la siguiente forma:

- Por peso
- Por volumen
- Por densidad de los residuos
- Por humedad de los residuos
- Por mezcla madera/corteza típica
- Por tipo de madera

De acuerdo con datos obtenidos de la empresa maderera, la producción de desperdicio (principalmente corteza) actual es de 2,130 Kg/ Hora que equivalen a 48.99 Ton / Día.

Con base en el análisis del poder calorífico y de la cantidad de desperdicio que se tiene en la planta, el poder calorífico inferior bruto base seca que se obtuvo es de 7,535 KJ/KG.

#### III.-ANALISIS DE VIABILIDAD TECNICA

Con el objeto de determinar que alternativas resultan técnicamente viables fue necesario tomar en cuenta la capacidad térmica y eléctrica instalada en la empresa maderera.

La ENERGIA ELECTRICA se utiliza para el accionamiento de los diferentes equipos y líneas de producción que se tienen en el proceso de fabricación de TABLONES DE NOVOPAN; la ENERGIA TERMICA se utiliza para calentar el aceite térmico que se utiliza en la prensa de madera y en la preparación de la emulsión utilizada en el proceso.

# Consumo de Energía Eléctrica:

En el **Diagnóstico Energético** que se elaboró para la Empresa Maderera se obtuvo una capacidad eléctrica instalada de 4.750 KW.

La demanda de potencia eléctrica (por áreas) que se tiene en la Empresa Maderera es la siguiente:

AREA	DEMANDA (KW)
Producción de Astillas y Virutas	563
Producción de Escamas de Madera	649
Secado de Escamas y Preparado	1,196
Pegado de Escamas	222
Estación de Formado	170
Línea de Formado	290
Prensa	375
Manejo del Tablón de Madera en Bruto	324
Línea de Lijado	854
Equipo Adicional.	107
TOTAL	4,750

Los Sistemas de Cogeneración propuestos tendrán que cubrir esta demanda (4,750 KW), para un día de trabajo típico en la empresa maderera.

Los consumos promedios que se tuvieron en la Empresa Maderera de Septiembre de 1995 a Septiembre de 1996 se muestran en la siguiente tabla:

CONCEPTO	CANTIDAD	
Demanda Facturable Mensual Promedio	4,550 KW	
Consumo Mensual Promedio Punta	547,500 KWh	
Consumo Mensual Promedio Base	2,889,580 KWh	

Estas cantidades se obtuvieron del análisis que se realizó a la facturación de la energía eléctrica que se tiene en la empresa maderera, tomando como base los recibos eléctricos proporcionados.

Los costos promedios que se tuvieron en la Empresa Maderera de Septiembre de 1995 a Septiembre de 1996 se muestran en la siguiente tabla:

CONCEPTO	COSTO
Costo Mensual Promedio por Demanda	151,943 \$
Costo Mensual Promedio por Consumo Punta	139,918 \$
Costo Mensual Promedio por Consumo Base	461,539 \$

Los costos promedios que se tuvieron en la Empresa Maderera de Septiembre de 1995 a Septiembre de 1996 se muestran en la siguiente tabla:

CONCEPTO	совто
Costo Mensual Promedio por Combustible	326,509 \$

A pesar de que CFE tiene un costo del KWh en su factura, este no es el que la Empresa Maderera esta pagando en realidad por cada Kwh consumido, ya que este costo no incluye los costos por demanda, por concepto de variación en el precio de los combustibles, por concepto de bonificaciones o remuneraciones por bajo o alto factor de potencia según sea el caso o por derecho de alumbrado.

El costo del KWh actual se tendrá que comparar con el costo del KWh que se obtenga en cada una de las alternativas propuestas para el sistema de cogeneración. La diferencia de costos será el ahorro que se obtenga por cogenerar en lugar de consumir energía eléctrica de la red.

Los costos promedios mensuales que se tuvieron en la Empresa Maderera de Septiembre de 1995 a Septiembre de 1996 se muestran en la siguiente tabla:

CONCEPTO	COSTOS:
Costo Promedio Mensual por Demanda	151,943 \$
Costo Promedio Mensual por Consumo Punta	139,918 \$
Costo Promedio Mensual por Consumo Base	461,539 \$
Costo Promedio Mensual por Variación en el Precio de	326,509 \$
los Combustibles	
Costo Promedio Mensual por Factor de Potencia y	32,782 \$
Derecho de Alumbrado	
Costo Promedio Mensual Total	1,112,691 \$
Consumo Promedio Mensual	3,437,080 KWh
Costo Promedio Mensual del KWh	0.3237 \$/KWh

### Consumo de Energía Térmica:

En el **Diagnóstico Energético** que se elaboró para la Empresa Maderera se obtuvo una capacidad térmica instalada de 1,860 KWt (1.6 Gcal/hr).

La energía térmica de la planta se utiliza para el calentamiento de aceite térmico, el cual se utiliza en diferentes áreas de la planta.

El aceite térmico se requiere a una temperatura de 265°C y tiene como objeto calentar de una manera uniforme los diferentes equipos en los cuales se utiliza.

La demanda de la energía térmica (por áreas) que se tiene en la Empresa Maderera es la siguiente:

AREAS	DEMANDA (KWt)	
Prensa	1,104	
Planta de Emulsión	117	
Ciclo corto de Laminación	639	
TOTAL	1,860	

Los Sistemas de Cogeneración propuestos tendrán que cubrir esta demanda (1,860 KWt) para un día de trabajo típico en la empresa maderera.

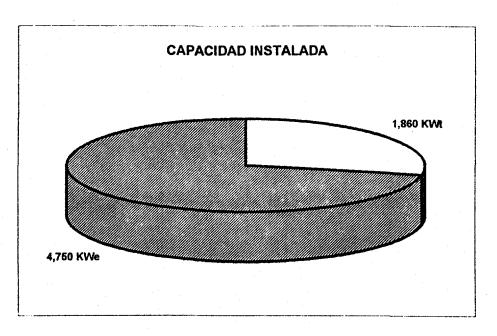
# Relación Calor / Electricidad (Q/E):

La relación Q/E (calor/ electricidad) que se tiene en la planta es de 2.55 KWe/KWt. Está relación es un parámetro que nos indica la cantidad de KW-térmicos que se tienen instalados por cada KW-eléctrico en la planta, este valor se obtiene con base a la capacidad térmica y eléctrica y nos da un primer indicio de que tecnología será la mas adecuada para instalar en el sistema de cogeneración.

## Indices Energéticos:

Para el cálculo de los índices energéticos de la Empresa Maderera se tomaron en cuenta la producción y los consumos energéticos que se tienen en la planta. Los índices energéticos que se obtuvieron se presentan en las siguientes tablas:

INDICE TERMICO:	321 KWh / m <sup>3</sup>
INDICE ELECTRICO	125 KWh / m <sup>3</sup>



Se consideraron dos alternativas en la elaboración de este estudio:

La Primera Alternativa tiene por objeto producir energía eléctrica y energía térmica. El equipo que se pretende
instalar es un motor de combustión intema (utilizando combustóleo como combustible) el cual satisfacerá la
totalidad de la energía eléctrica que se requiere en la planta (4,750 KW) y mediante un recuperador de calor
("gases de escape-fluido térmico") se recuperará el calor contenido en los gases de escape del motor, los cuales
suministrarán el 48% de las necesidades térmicas de la planta.

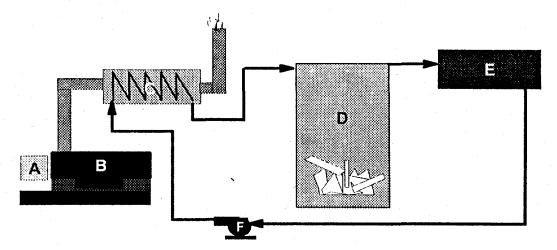
Para satisfacer el resto de la energía térmica requerida se utilizará una caldera de fluido térmico que utilice desperdicio de madera como combustible. Este sistema de cogeneración propuesto es capaz de producir 4,750 KW de electricidad y 1,860 KWt de energía térmica en forma de aceite térmico a una temperatura de 265 °C. Los equipos principales que se utilizarán en esta alternativa son:

- 1. Motor de Combustión Interna utilizando combustoleo como combustible.
- 2. Caldera de Fluido Térmico utilizando madera de desperdicio como combustible.
- 3. Recuperador de Calor / Intercambiador de calor "gases de escape -aceite térmico".
- La Segunda Alternativa contempla la generación de energía eléctrica utilizando para ello una turbina de vapor a contrapresión que generará 4,750 KW, aprovechándose 1,860 KWt en un intercambiador de calor "vapor-aceite térmico" en el cual se calentará el aceite térmico necesario para el proceso de la empresa; el vapor que se utilizará en el intercambiador de calor se extraerá de la turbina. Esta alternativa contemple una caldera de vapor que utiliza madera y combustóleo como combustible; el agua para la caldera se obtendrá de un pozo cercano, por lo que será necesario instalar una planta de tratamiento de agua para eliminar impurezas en las líneas de vapor y en el interior de la turbina. Los equipos principales que se utilizarán en esta alternativa son:
  - 1. Caldera de Vapor utilizando madera y combustóleo como combustible.
  - 2. Turbina de Vapor a Contrapresión.
  - 3. Recuperador de Calor / Intercambiador de calor "vapor-aceite térmico".

Los dos sistemas de cogeneración propuestos se calcularon para satisfacer la demanda eléctrica requerida para una producción "normal" y típica de la Empresa Maderera.

Las dos alternativas resultan técnicamente viables y tienen como principal ventaja la propuesta del aprovechamiento de la madera que se desperdicia, la cual se utiliza como combustible en los equipos propuestos, lo cual implica ahorros energéticos y económicos para la Empresa Maderera. La principal desventaja para las dos alternativas es que los equipos son de origen extranjero y por lo mismo su adquisición es en dólares americanos, pero los ahorros obtenidos con los cuales se pagará la inversión son en pesos.

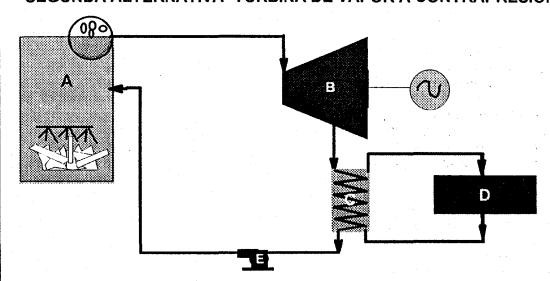
# PRIMERA ALTERNATIVA- MOTOR DE COMBUSTION INTERNA



#### A GENERADOR

- **B MOTOR DE COMBUSTION INTERNA**
- C RECUPERADOR DE CALOR "GASES DE ESCAPE-ACEITE TERMICO"
- D CALDERA DE FLUIDO TERMICO UTILIZANDO MADERA COMO COMBUSTIBLE
- **E PROCESO**
- F BOMBA DE CIRCULACION

# SEGUNDA ALTERNATIVA- TURBINA DE VAPOR A CONTRAPRESION



- A CALDERA DE VAPOR UTILIZANDO MADERA Y COMBUSTOLEO COMOCOMBUSTIBLE B TURBINA DE VAPOR A CONTRAPRESION Y GENERADOR
- C INTERCAMBIADOR DE CALOR "VAPOR-ACEITE TERMICO"
- D PROCESO
- E BOMBA DE CIRCULACION

# TABLA RESUMEN PARAMETROS TECNICOS ALTERNATIVAS PROPUESTAS EN LA EMPRESA MADERERA

CONCEPTO	UNIDAD	ACTUAL	MOTOR DE COMBUSTION INTERNA	TURBINA DE VAPOR
Capacidad Instalada		4,750	4,750	4750
Demanda Máxima	KW	4,750	4,750	4,750
Demanda Media Promedio PUNTA	KW	4,500	4.,500	4,500
Demanda Media Promedio BASE	KW	4,750	4.,750	4,750
Consumo Medio Promedio BASE	MWh/mes	547.50	547.50	547.50
Consumo Medio Promedio PUNTA	MWh/mes	2,889.58	2,889.58	2,889.58
Consumo Medio TOTAL	MWh/mes	3,437.08	3,437.08	3,437.08
Energía Térmica Requerida en la EMPRESA MADERERA	MJ/ hr	1.86	1.86	1.86
Energía Térmica Suministrada al Proceso por el SISTEMA DE COGENERACION	MJ/ hr	N/A	.8928	1.86
Consumo de Combustible	Lts/hr	160	1,002	2,876
PCI Combustible	KJ/KG	40,395	40,395	40,395
Consumo de Madera en el SISTEMA DE COGENERACION	KG/hr	N/A	625	1,998
PCI Madera	KJ/KG	7,535	7,535	7,535
Eficiencia de la Caldera	%	80% Caldera Actual	82%	82%
Eficiencia de Cogeneración	%	N/A	57 %	20 %
Eficiencia de Generación de Energía Eléctrica	%	N/A	45 %	15 %
Inversión Inicial	USD		4,212,000	5,772,000
Costo del KW instalado en Sitio	USD/KW		886.73	1,215.00

# IV.-ANALISIS DE VIABILIDAD ECONOMICA

Un proyecto de cogeneración se caracteriza básicamente por la sustitución de dos fuentes energéticas (de un lado la energía eléctrica la cual normalmente se compra en nuestro país a Comisión Federal de Electricidad y por otra la energía térmica, normalmente producida por el propio industrial a partir de algún combustible primario, combustóleo, diesel o gas natural, adquirido a PEMEX o algún distribuidor) por una única fuente energética (el combustible primario) que en una instalación adecuada es capaz de producir y suministrar la energía eléctrica y la térmica que el industrial precisa para su proceso productivo, con una mayor eficiencia energética.

Esta mayor eficiencia energética será la que permita en una primera fase reducir los costos para el industrial y en una segunda fase amortizar la inversión necesaria del equipo nuevo propuesto. La diferencia que se tenga entre los costos actuales de la planta y los costos en el sistema propuesto (sistema de cogeneración) serán los ahorros económicos con los cuales se podrá lograr la amortización de la inversión inicial.

Para poder llevar a cabo la evaluación económica de un sistema de cogeneración se hace necesario recurir a una serie de índices económicos que nos permitan aceptar o rechazar el proyecto.

La economía tiende a cambiar día a día por lo cual se deben plantear escenarios que nos permitan aceptar o rechazar los proyectos, sin embargo para definir estos escenarios es necesario contar con los siguientes índices económicos:

**12.14 puntos** 

- Tasa Real de Descuento o de Actualización o TREMA (Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva)

La cual se obtiene de:

Tasa Nominal45%Tasa Adicional12%Inflación40%

Tasa Real de Descuento= (1+(.45+.12))-(1.40)/1.40 = 12.14%

- Tasa \$/ USD: 7.6 \$ = 1 USD

- Período de Análisis 15 años.

- Sin Inflación

- Aranceles de Importación Sistemas de Cogeneración 0%

- Costo del Flete al Componente Extranjero 1%

A continuación se presentan los valores obtenidos de los análisis económicos realizados para cada una de las alternativas en los escenarios propuestos:

Parámetros	Alt I	Alt II
Tasa de Rendimiento Mínima Atractiva (TREMA)	12.14%	12.14%
Valor Presente Neto (VPN) (USD)	1,673,124	(8,815,871)
Anualidad Equivalente (AE) (USD)	254,237	(1,339,604)
Relación Beneficio/Costo	1.35	. (.36)
Tasa Interna de Rendimiento(TIR)	18.6%	
Periodo de Recuperación (PR)	8 años	NO SE RECUPERA

La alternativa que resultó económicamente viable es la Alternativa I (generación de energía eléctrica con un motor de combustión interna con combustóleo como combustible y aprovechamiento de los gases de escape del motor).

Para cada una de las alternativas se llevó a cabo una gráfica en la cual se muestra el periodo de recuperación para cada uno de los escenarios propuestos, con base en la inversión inicial y en los ahorros acumulables.

Al realizar un análisis de sensibilidad considerando diversos costos internacionales del KWh ( de 4.26 a 10 Cts USD/ KWh) se observó que el período de recuperación simple de los proyectos disminuye.

# COSTO INTERNACIONAL DEL KWh V.S. PERIODO DE RECUPERACION SIMPLE.

HORAS DE OPERACION:

8424 HORAS/AÑO

COSTO DEL KWh:

0.32373 \$/KWh (ACTUAL)

**COSTO DEL COMBUSTOLEO:** 

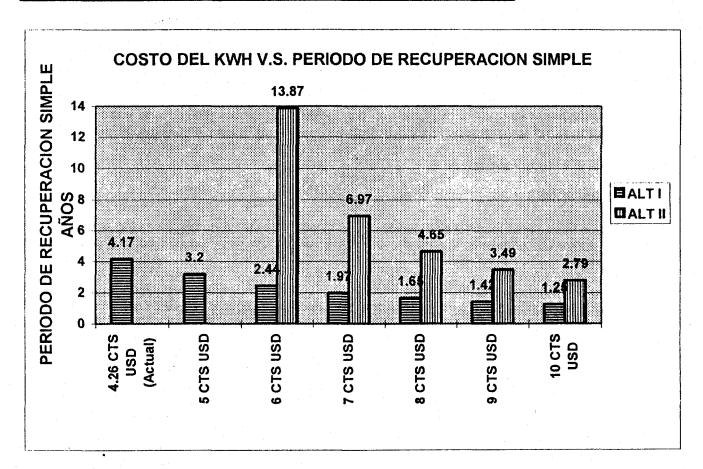
0.8 \$/LT

1 USD=

7.6 \$

# **COSTOS DEL KWh**

	AÑ	os
COSTO DEL KWh (CTS USD)	ALTI	ALT II
4.26 CTS USD (Actual)	4.17	N/A
5 CTS USD	3.20	N/A
6 CTS USD	2.44	13.87
7 CTS USD	1.97	6.97
8 CTS USD	1.65	4.65
9 CTS USD	1.42	3.49
10 CTS USD	1.25	2.79



En esta gráfica se observa que si los costos del KWh en México fueran similares a los que se tienen internacionalmente, el Período de Recuperación que se tendría para las alternativas propuestas sería sumamente atractivo.

# 5.- CONCLUSIONES

- 1. De la visita a campo se observa que existe una gran cantidad de desperdicio de madera, la cual es susceptible a clasificarse para su eventual aprovechamiento.
- 2. Del muestreo tomado y llevado para su análisis en el laboratorio se obtiene un poder calorífico inferior promedio ponderado de 7,535 KJ/KG, el cual es adecuado para las tecnologías que se proponen instalar en la empresa maderera.
- 3. Del análisis de viabilidad técnica se concluye que es posible aprovechar el desperdicio de madera que se tiene en la empresa maderera, en las dos alternativas analizadas.
- 4. Del análisis de viabilidad económica la alternativa que resulta más viable es la Alternativa I (generación de energía eléctrica con un motor de combustión interna con combustóleo como combustible y aprovechamiento de los gases de escape del motor).
- 5. La principal ventaja para cada una de las alternativas que se proponen es el aprovechamiento de la madera que se desperdicia, la cual se utiliza como combustible en los equipos propuestos, implicando ahorros energéticos y económicos para la empresa maderera. Actualmente estos desperdicios son sacados en camiones a un sitio de disposición final con costos adicionales.
- 6. La principal desventaja para las dos alternativas es que los equipos son de origen extranjero y por lo mismo su adquisición es en dólares americanos y los ahorros obtenidos con los cuales se pagará la inversión son en pesos.
- 7. La alternativa que presenta un costo menor por KW instalado a condiciones de sitio para las alternativas de cogeneración que se proponen es la Alternativa I .
- 8. La empresa maderera tiene entre sus objetivos principales exportar sus productos al extranjero para lo cual requiere tener un suministro de energía térmica y eléctrica confiable y de calidad, lo cual le obliga a contar con tecnologías de punta en su planta, las cuales le permitan reducir costos y aprovechar eficientemente la energía que en ella se utiliza.

#### 6.- RECOMENDACIONES

- a) En caso de que la empresa maderera se decidiera por instalar un sistema de cogeneración se recomienda instalar el un motor de combustión interna el cual tendría valores técnicos y económicos superiores al otro sistema propuesto.
- b) Si se instala alguno de los sistemas de cogeneración propuestos se recomienda trabajarlo en isla, es decir sin que se genere simultáneamente energía eléctrica del sistema de cogeneración y se consuma la energía eléctrica proveniente de la red, esto debido al costo que se tendría por la instalación de un tablero de sincronía. Para evitar que la empresa maderera llegue a requerir demandas mayores a las generadas por el sistema de cogeneración se recomienda llevar a cabo un control de demanda manual en la planta, con un programa de arranque escalonado de los motores, con el fin de evitar demandas picos.
- c) El papel que la cogeneración jugará en nuestro país durante la próxima década será primordial, al presentarse como una de las alternativas más viables para lograr el aprovechamiento óptimo de los recursos energéticos finitos.
- d) Corresponderá a las Instituciones Educativas y Centros de Estudio capacitar a profesionales que lleguen a ser especialistas en el tema, al Gobierno Federal promoverla e impulsarla y a los industriales y empresarios aplicarlas a sus fábricas e industrias, porque después de todo, si los recursos energéticos de nuestro país se terminan, se terminarán para todos, ricos y pobres.

MX9800058

# EL IMPACTO DEL USO DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS EN EL CAMBIO DE LOS CLIMAS GLOBALES

# EFICIENCIA ENERGÉTICA VÍA LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

Ing. Luis Felipe Ordóñez C. AISLANTES MINERALES, S.A. DE C.V. Tel. 255 0822 Fax. 203 4739

# **RESUMEN:**

Una de las tecnologías para el ahorro de energía mas fáciles de comprender y de las mas rápidas y económicas de instalar en la edificación de vivienda, comercial e industrial, es la que representa el uso de aislamientos térmicos para el control de las pérdidas de energía térmica. Como resultado de la aplicación de esta tecnología, en forma directa por el menor consumo de energéticos combustibles, tendrá como efecto la menor emisión de gases contaminantes que producen el efecto de invernadero en la atmósfera terrestre.

Los Aislamientos térmicos, fabricados de una gran variedad de materiales, muchos de los cuales utilizan grandes cantidades de productos reciclados en beneficio del menor uso de los recursos naturales, ofrecen anualmente y permanentemente reducciones de consumo de energía muy superiores a los recursos energéticos utilizados una sola vez en su manufactura. Por ende, también son una forma económica a coadyuvar en la reducción de contaminantes atmosféricos de los llamados gases de invernadero.

# **ANTECEDENTES:**

Este tema vuelve fuertemente a la actualidad en virtud del compromiso adquirido en 1992 por los países industrializados al reunirse en torno al Acuerdo Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (FCCC por sus siglas en inglés), debiendo reducir sus emisiones de gases de invernadero a los niveles de 1990 para el año 2000 y de presentar un plan para su reducción significativa en los años posteriores al 2000. La definición exacta del objetivo se planteó como, "...estabilización de las concentraciones de gases de invernadero a un nivel que prevenga interferencias peligrosas antropogénicas con el sistema natural de climas."

Al cabo del tiempo transcurrido desde entonces, se han elaborado varios estudios de los sectores industriales involucrados y los propios reportes del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) ante el FCCC a finales de 1995. Se menciona que "La mayoría de los escenarios de emisiones indican que, en caso de ausencia de políticas mitigantes, las emisiones de gases de invernadero continuarán en aumento durante el siglo próximo hasta que las concentraciones de dichos gases proyectadas para el año 2100, modificarán el clima en proporción mayor al efecto del doble de las concentraciones existentes de bióxido de carbono en tiempo anterior a la época industrial". También se estima que "...las emisiones antropogénicas han contribuido en aproximadamente el 80% del efecto de cambio que sobre los climas han tenido los gases de invernadero, desde los tiempos pre-industriales (aprox. desde el año 1750).

Aunque se pueda debatir sobre las distintas maneras de abatir las emisiones de gases de invernadero, lo cierto es que la comunidad internacional ha aceptado que es urgente tomar medidas en este sentido por todos los medios posibles y conocidos, por ejemplo adoptando tecnologías que mejoren las capacidades del hombre en reducir sus consumos de energéticos.

# LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS:

Los conceptos son simples; la eficiencia energética es el resultado de la reducción del consumo de energía per capita, y si las personas consumen menos energía, también serán menores las emisiones de gases de invernadero provenientes de la quema de combustibles fósiles. Estos productos podrán estar disponibles para otros destinos mas eficientes.

Para este fin, los aislamientos térmicos representan una tecnología efectiva para eficiencia energética, que además ofrece versatilidad y diversidad. Los beneficios son numerosos además de su eficiencia térmica; el confort de las personas, control de sonido, control de condensaciones, protección contra incendio y protección de las personas. Los materiales de construcción de los aislantes son muchos y muy variados, tales como; fibras minerales de roca y de vidrio, materiales aligerados minerales, espumas de materiales vítreos y plásticos, y otros, todos que reúnen dos condiciones fundamentales;

- 1.- Están diseñados para reducir substancialmente la transferencia de calor desde las estructuras a temperatura controlada en aplicaciones de vivienda, comerciales e industriales.
- 2.- Ahorran anualmente en consumo de energía una cantidad mayor a los energéticos utilizados una sola vez en su manufactura. Por lo mismo, la emisión de gases de invernadero generada un sola vez en la fabricación de los materiales aislantes es inferior a la reducción anual de gases de invernadero que resultan de su utilización.

Las Asociaciones de Fabricantes de Aislamientos Térmicos de América del Norte, Europa, Australia y otros han presentado durante 1996 sus evaluaciones del impacto que el uso de estos materiales tendrán en los consumos de energía y sus consecuentes emisiones de gases de invernadero.

Las efectos positivos son muy significativos y han provocado un gran interés en el ambiente internacional, promoviendo mayores apoyos, recomendaciones y normas en respaldo al mayor uso de materiales aislantes como medio eficiente de reducir el uso de energéticos combustibles. México juega un papel importante en el ámbito internacional, al haber presentado la primera Norma Oficial Mexicana con el tema de Aislamientos Térmicos Industriales para entrar en vigor en este mes de Noviembre de 1996 y estando en discusión y redacción otras en el ámbito de la edificación no residencial y de vivienda.

De los países desarrollados destacan los Códigos Nacionales de Energía en Vivienda y Edificación de Canadá, las recomendaciones de incremento de espesores en códigos de construcción y boletines del Departamento de Energía de los Estados Unidos de América, y las revisiones a las normas en varios países de Europa, todas de reciente emisión

# CIFRAS DE AHORRO DE EMISIONES CONTAMINATES

# EFICIENCIA ENERGÉTICA VÍA EL USO DE LOS AISLAMIENTOS TÉRMICOS

# Estados Unidos de América:

La Asociación Nacional de Fabricantes de Aislamientos Térmicos de los Estados Unidos (NAIMA por sus siglas en inglés), solicitó a las empresas "Energy Conservation Management, Inc., Barakat & Chamberlin, Inc. y la Alianza para Ahorrar Energía", la elaboración de un estudio (traducción; "Verde y Competitivo: Energía, Ambiental y Beneficios Económicos de Productos Aislantes de Lanas Minerales y de Vidrio), de fecha Junio de 1996, en el que los investigadores hicieron comparaciones entre la energía utilizada en la fabricación de las fibras aislantes con la energía ahorrada por los materiales aislantes térmicos instalados en la envolvente de edificaciones residenciales, comerciales e industriales. Como resultado de las investigaciones, se concluye que los beneficios del aislante térmico superan en proporción anual de 12 a 1 (12 veces desde el primer año de servicio), a la energía utilizada en su manufactura. Adicionalmente, por cada Kg. de CO<sub>2</sub> que se produce en la fabricación de fibras minerales aislantes se generan ahorros por 330 Kg. de gas carbónico que se evita ingrese a la atmósfera terrestre.

Estos ahorros se cuantificaron y se muestran en la Tabla No. 1 a continuación. El texto describe las siguientes comparaciones:

- "...debido al uso de los aislamientos en vivienda, se usa considerablemente menos energía en el acondicionamiento de los hogares de los Estados Unidos, si se compara con el consumo que fuera sin aislamiento. El ahorro resulta del 51% del consumo, o sea de 10,400 x1012 BTU, equivalentes a 255 días del suministro de gasolina a todos los Estados Unidos, o al 51% del total del consumo de energía en la industria".
- "...en la construcción comercial, el ahorro es de 1,510 x1012 BTU, equivalentes a 37 días de suministro de gasolina en los Estados Unidos.

A pesar de lo espectacular de las cifras anteriores, los ahorros potenciales de energía proyectados son todavía importantes. Los estudios analizaron el ahorro alcanzable si se implementaran los niveles de aislamiento sugeridos por los códigos actuales. Por ejemplo, si todos los edificios residenciales se aislaran de conformidad con el Código del Modelo de Energía (CABO 1992), el ahorro adicional fuera de 2,000 x10<sup>12</sup> BTU anuales, equivalentes a 54 días de suministro de gasolina a los Estados Unidos.

A continuación, el estudio calcula estos ahorros traducidos a emisiones de gases de invernadero contaminantes. Los datos se muestran en la Tabla No. 2 a continuación. Los resultados sugieren un beneficio enorme del efecto de los ahorros de emisiones de estos gases sobre el cambio global de los climas mundiales. La reducción en el consumo de energía significa:

- Si los niveles actuales de aislamiento térmico sobre vivienda no existieran, las emisiones de CO<sub>2</sub> de los Estados Unidos completos aumentaría 156%, lo que significa que 614 millones de toneladas de Bióxido de Carbono se generarían de emisiones atmosféricas anualmente.
- Si los espesores aislantes aumentaran a las dimensiones indicadas en el Código del Modelo de Energía (CABO 1992), se podrían reducir las emisiones de gases contaminantes en 114 millones de toneladas adicionales, lo que representa un descenso del 30% del total de los EUA.

- Medidas semejantes en el ramo de la construcción comercial tendría un efecto de 18 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> de reducción anual de emisiones, lo que representan 4% del total de los EUA.

TABLA No.1	Uso de Energía en 1,000 x10 <sup>12</sup> BTU en EUA, 1996		**************************************	
	Sin aislamiento	Condición existente	Ahorros	% Ahorro
Residencial	20.41	10.00	10.41	51%
Comercial	8.21	6.7	1.51	18%
Suma	28.62	16.7	11.91	42%
TABLA No.2	Reducción de las			A section
	Emisiones de CO <sub>2</sub> en Millones de			
	Toneladas en EUA, 1996			and the second second second
		Existente	Potencial Adicional	
	Residencial	612	113.3	
	Comercial	96	16.4	
	Industrial	No calculado	8.2	
	Total	708	293.5	grant to a firm grant

# -- EUROPA:

La asociación de Fabricantes de Aislamientos Térmicos en Europa (EURIMA por sus siglas en inglés), que representa a mas de 30 fabricantes de fibras minerales aislantes en 16 países de Europa, también ha contratado la realización de un estudio semejante, tendiente a determinar la contribución que la industria de los aislamientos térmicos ha dado a la solución del problema ecológico por calentamiento ambiental, denominado "El Aislamiento Térmico significa Protección Ambiental".

Los resultados del estudio se presentan en la Tabla No. 3. Los comentarios sobresalientes del texto, resaltan los siguientes datos:

- Los países Europeos reunidos en EURIMA, son responsables por la emisión de 3,000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, de las 20,000 millones totales emitidas a la atmósfera terrestre cada año.
- Como resultado, el potencial total de reducción de emisión de gases contaminantes a la atmósfera se estima de una porción de las 600 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> provenientes de la calefacción ambiental, por el uso de los niveles de aislamiento térmico mejorados en los países de EURIMA.
- El reporte concluyó que "...se pueden eliminar la emisión de 310 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> provenientes de la calefacción, por la aplicación de niveles adecuados de aislamiento térmico a las edificaciones nuevas y las existentes; cerca del 50% del total de emisiones provenientes de la calefacción y superior al 10% del total de las emisiones de CO<sub>2</sub>".

TABLA No.	Reducciones				
	Posibles de				
3	emisiones de				
	$CO_2$				
	provenientes de	• •			
• .	calefacción ,por				
	el uso de				
	mejores niveles				
	de aislamiento				
	térmico en				
	edificación16				
	Paises de		. *		
	Europa reunidos				
	en EURIMA		-		
PAISES	Emisiones		Reducción		
	actuales en		Posible		
EURIMA	Millones de				
	Toneladas				
	Total	Calefacción	Millón Tons.	% del Total	% Calefacción
Austria	<b></b> ,	21	10		48
Bélgica	112	33	22	20	67
Dinamarca	64	12	3	5	25
Finlandia	65	12	1	2	8
Francia	280	55	36	13	65
Alemania	743	150	100	13	67
Irlanda	27	7	5	18	71
Italia	360	36	18	5	50
Holanda	167	40	27	16	68
Noruega	35	3	1	3	33
España	186	27	13	7	50
Suecia	93	20	2	2	10
Suiza	42	17	11	26	65

# -- AUSTRALIA:

Gran Bretaña

186

542

~3,000

Turquía

TOTAL

En forma similar, la Asociación de Fabricantes de Aislamiento Térmico Fibroso de Australia (FARIMA por sus siglas en inglés), realizó un estudio muy significativo de los ahorros potenciales de emisiones de gases de invernadero a la atmósfera por el uso de los niveles adecuados de aislamiento térmico en edificaciones.

17

37

~310

25

49

~50

7

~10

69

75

~600

- El análisis se hizo suponiendo que todas las edificaciones se aislaran térmicamente con los espesores marcados por la ya vigente Norma Australiana de edificación AS2627.
- Los ahorros representarían 20% al 30% menores pérdidas en muros exteriores y 30% al 40% en techos.
- Los ahorros totales estimados por el cumplimiento de la Norma AS2627 llegarían a un total de 3.2 millones de toneladas anuales de gases de invernadero no enviados a la atmósfera terrestre.

# -- MÉXICO:

El trabajo que se ha realizado en México no es ni menor ni de poca importancia relativa, ya que las evaluaciones de los efectos de los ahorros potenciales de consumo de energía y de emisión de gases contaminantes, se ha desarrollado en el seno de los foros que sesionan en la Comisión Nacional de Ahorro de Energía durante la elaboración de Normas Mexicanas.

El día 9 de Noviembre de 1995 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER, cuya vigencia se inicia a partir de un año posterior, a sea el 9 de Noviembre, próximo pasado a la fecha de presentación de la ponencia.

El estudio de Costo-Beneficio que acompaña la publicación de la norma, hace un análisis muy cuidadoso de los ahorros esperados en consumo de combustibles, por la aplicación de los niveles económicos de aislamiento térmico en la industria Mexicana, basados en condiciones reales de operación de plantas industriales Mexicanas típicas. Dichos espesores y niveles económicos de aislamiento son el resultado de la comparación sobre planteamientos y datos reales de costo de energía y de materiales aislantes instalados, considerando que toda inversión en una cubierta aislante deberá justificarse plenamente sobre la base de retorno de la inversión.

- La reducción esperada en el consumo de combustibles, si todas las plantas Mexicanas se aislaran térmicamente con los espesores y la calidad indicada en la Norma, sería ligeramente mayor a 8 millones de barriles de petróleo equivalente anualmente, lo que significa una reducción del 40% de las pérdidas actuales y aproximadamente 2.6% del total del consumo energético industrial en combustibles fósiles.
- Esto significa que la reducción en contaminantes atmosféricos del tipo de gases de invernadero se reducirá en aproximadamente 2 millones de toneladas anuales, si las plantas Mexicanas se aislaran de conformidad con Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER.

En el caso de la construcción tanto residencial como comercial, actualmente esta bajo elaboración y revisión la norma relativa al aislamiento térmico de muros y techos en la edificación, denominada NOM-103-ENER-199x. En la elaboración de esta norma también se exponen los análisis de Costo-Beneficio, los que muestran cifras igualmente impresionantes por cuanto a ahorros potenciales en el consumo de energía y por la reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

- La reducción esperada en el consumo de combustibles es de entre 5.3 millones y 13.2 millones de barriles de petróleo equivalente anualmente, si las edificaciones fueran aisladas con los espesores y calidades de cubierta aislante recomendada por las normas de eficiencia energética relativa a cada tipo de edificación.
- Esto tendría el efecto de evitar la emisión de entre 2 millones y 5 millones de toneladas de gas CO<sub>2</sub> a la capa atmosférica y aumentar el efecto de calentamiento ambiental por aumentar el porcentaje de gases de invernadero en la cubierta terrestre.

En el caso de México, esto también tendría importantes efectos sociales, ya que los ahorros de combustible logrados en el tratamiento aislante térmico de las instalaciones climatizadas, y la respectiva mayor disponibilidad de capacidad instalada de la CFE en las zonas en las que el suministro de energía eléctrica se empieza a ver afectada por las limitaciones de capacidad de cada región, permitiría el acceso al energético de las clases mas necesitadas,

reduciría la necesidad inmediata de otras acciones de suministro en las regiones con conflicto y daría el efecto de una mejora en el nivel de vida de la población, en forma semejante a la que los países desarrollados determinan su objetivo de reducción de intensidad energética.

# **TABLA No.4**

**Ahorros** provectados en el consumo de Energía yde emisiones de Gas CO<sub>2</sub> a la atmósferaPor la aplicación de las **Normas Oficiales** Mexicanas en materia de Eficiencia Energética por **Aislamientos** Térmicos en Edificación e Industria

	Barriles de Petróleo equiv. de Ahorro anual	Tons. de Reducción de Emisiones de CO <sub>2</sub>
Industria	8,080,471	2,000,000
Edificación Optimista	13,230,288	5,000,000
Edificación Pesimista	5,267,201	2,000,000

# CONCLUSIÓN

Los beneficios que puede proporcionar el uso de los aislamientos térmicos en la edificación de vivienda, la comercial y en aplicaciones industriales, como tecnología para el ahorro en el consumo de energéticos del tipo de combustibles fósiles. es muy claro y fácil de comprender. Por lo mismo y como derivado directo de la misma situación, la reducción en la emisión de gases contaminantes a la atmósfera, del tipo de invernadero, principalmente CO2, puede ser lograda con la misma tecnología de aislamientos térmicos en forma sencilla.

Las fibras minerales aislantes térmicas del tipo de la fibra de vidrio y de la fibra de roca, utilizan un contenido muy alto; entre el 40% y el 80% de sus materiales reciclados de otros procesos industriales, por lo que, aunado a su alta eficiencia como elemento de control en la transferencia de calor, los recursos energéticos utilizados en su manufactura se recuperan muchas veces desde el primer año de su operación, y los multiplicadores son muy altos; en proporción mayor a 12 veces anualmente la cantidad de energía invertida total una sola vez.

Estas reducciones de emisiones contaminantes son oportunidades reales de disminución del efecto de calentamiento ambiental global. Todos los países desarrollados y algunos en desarrollo, están tomando acciones concretas de normatividad y reglamentación en el uso

de aislamientos térmicos, con el objeto de impulsar la eficiencia energética por esta vía, entre otras.

Es importante en foros como el que ofrece la ATPAE, el presentar las tecnologías mas apropiadas para lograr eficiencias energéticas, así como poder servir de medios de información y diseminación de los conocimientos adquiridos en los distintos foros internacionales en los que se tratan asuntos del mismo carácter.

# **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

"Energy Efficiency Through Insulation: The impact on Global Climate Change"

NAIMA (North American Insulation Manufacturers Asoc.)

Presented to the Second Conference of the Parties to the Climate Convention, 7/96

"Green and Competitive: Energy, Environmental and Economic Benefits of Fiber Glass and Mineral Wool Insulation Products".

Energy Conservation Mgt Inc, The Alliance to Save Energy, Barakat & Chamberlin Inc. Junio, 1996

"Environment Protection needs Insulation, needs Mineral Wool"

EURIMA (European Insulation Manufacturers Asoc.) 1990

"Insulation Incentives: A submission to the Federal Ministers for the Environment FARIMA (Fiberglass and Rockwool Manufacturers Asoc. of Australia) 1996

"Análisis Costo-Beneficio, Proyecto de Norma Oficial Mexicana de Aislamientos Térmicos Industriales, NOM-009-ENER-1995"

DGN, SE, México, 1995

"Análisis Costo Beneficio, Proyecto de Norma Oficial Mexicana de Aislamientos Térmicos para Techos y Muros, NOM-103-ENER-1996"

DGN, SE, México, 1995

M X9800059

# TENDENCIAS DEL CONSUMO DE ENERGÍA Y EMISIONES DE BIÓXIDO DE CARBONO DE LA INDUSTRIA CEMENTERA MEXICANA

Leticia Ozawa M. Claudia Sheinbaum P. Instituto de Ingeniería, UNAM Tel. 622 8132 al 37 Fax 622 8091

# Resumen

En este artículo se analizan los cambios ocurridos en el consumo de energía y emisiones de bióxido de carbono de la industria cementera mexicana. Para ello, se desagrega el consumo de energía y las emisiones en tres tipos de cambios que influyen en la demanda energética de una industria: actividad, estructura, e intensidad energética. De acuerdo con este análisis se encuentra que la industria cementera mexicana ha sufrido un importante decremento en la intensidad energética producto de la desaparición, casi por completo, del proceso de producción por vía húmeda, del incremento en la producción del cemento puzolánico y de la apertura de nuevas industrias con alta tecnología. Por su parte, la intensidad en las emisiones de bióxido de carbono no disminuye a la misma tasa que la intensidad energética debido al incremento en el uso del combustóleo sobre el gas natural. Al final del artículo se presenta una comparación internacional del consumo específico de energía y de las emisiones.

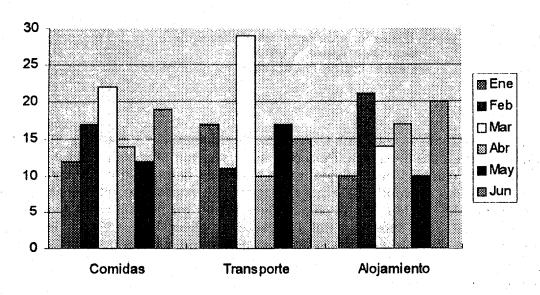
# 1. Consumo de energía en la industria del cemento (1982-1994)

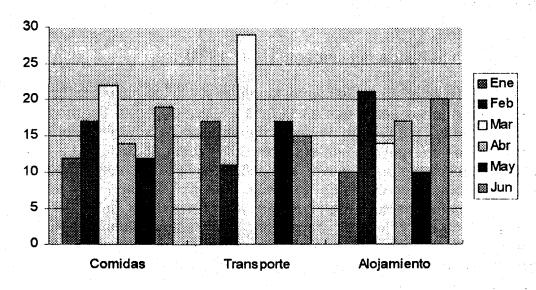
Existen dos métodos para la fabricación del cemento: la vía seca y la vía húmeda. En México se utiliza casi en su totalidad la vía seca, que es la más eficiente. Dentro del proceso de fabricación, los hornos de cemento requieren de una gran cantidad de energía calorífica. En México, las principales fuentes energéticas son el combustóleo y el gas natural. La energía eléctrica es utilizada principalmente para mover el pesado equipo de molinos, hornos, trituradores, bandas, elevadores y ventiladores. El diesel, que se consume en cantidades mínimas, se emplea fundamentalmente en el bombeo y calentamiento del combustóleo dentro del proceso productivo, y en el transporte. Los combustibles representan aproximadamente un 75 % de los insumos energéticos utilizados en el proceso, el 25 % restante es consumido por la electricidad. Actualmente para producir una tonelada de cemento se consume de 90 a 150 litros de combustóleo o su equivalente en gas natural, y aproximadamente 150 kWh de energía eléctrica.

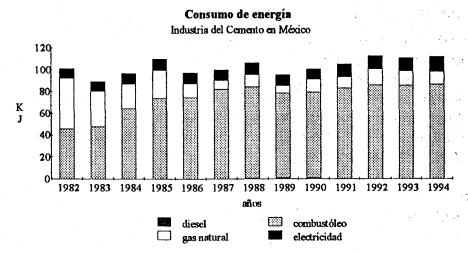
En 1982, la industria cementera mexicana consumía casi la misma cantidad de gas natural que de combustóleo. A partir de 1983 el gas natural comienza a ser sustituido por el combustóleo; el consumo de gas natural disminuyó en un 85.56% desde 1982 a 1989, en este último año representó solamente el 7% del consumo total de esta rama industrial. Actualmente el porcentaje del consumo de combustóleo es de 77.78%, mientras que el del gas natural es del 11.3%. Por otro lado, el consumo de energía eléctrica ha aumentado en un 56.78% de 1982 a 1994 (Gráfica 1).

De las 32 plantas cementeras que existen actualmente, veinte utilizan únicamente combustóleo, siete utilizan combustóleo o gas natural, una emplea exicusivamente gas natural, y de las cuatro restantes no se tiene información respecto al combustible utilizado.<sup>1</sup>

Gráfica 1







# 2. Cambios en el consumo de energía de la industria cementera mexicana

De acuerdo con la metodología planteada por Schipper (1994), la evolución del consumo energético de esta rama industrial responde a tres tipos de cambios, que son: (a) actividad, se refiere a la evolución del PIB manufacturero, (b) estructura, es la participación de la industria del cemento dentro de la Industria Manufacturera y (c) intensidad energética, se define como la proporción entre la energía consumida y el crecimiento o debilitamiento del Producto Interno Bruto.

# a) Actividad y estructura

La industria del cemento está fuertemente ligada con la industria de la construcción, esta última es muy sensible al crecimiento o debilitamiento de la actividad económica nacional. La crisis económica hizo que la actividad de la industria de la construcción disminuyera drásticamente en 1983, y a partir de ese año se ha recuperado paulatinamente. A pesar de la relación entre ambas industrias, el incremento en la producción de la industria cementera ha sido superior al de la construcción, inclusive al de la industria manufacturera y al conjunto de la economía nacional.

En 1993, la producción del cemento fue 47.2% mayor que la de 1982.<sup>2</sup> <sup>3</sup> <sup>4</sup> A pesar del debilitamiento de la economía mexicana entre 1982 y 1988, ésta logró recuperarse mediante las exportaciones, lo cual se vió reflejado en 1987 cuando las ventas externas representaron el 16.5% de la producción nacional.<sup>5</sup> Actualmente, las exportaciones de la industria cementera siguen en una etapa de expansión, pese a una disminución en las exportaciones, debido a una cuota compensatoria impuesta por el gobierno estadounidense al cemento mexicano<sup>5</sup>.

# b) Intensidad energética

Entre 1982 y 1985, la intensidad energética, que es el consumo de energía por unidad del PIB del cemento, se mantiene casi constante. A partir de este año, la tendencia es decreciente, con un ligero aumento en 1988. Entre 1990 y 1992 la intensidad se mantiene constante, pero registra una nueva caída entre 1992 y 1994. Durante todo el periodo, el consumo de energía por unidad de PIB decreció cerca del 28% (Gráfia 2). Esta disminución tiene tres causas principales:

# (i) Disminución de la producción con proceso húmedo e instalación de nuevas plantas.

En 1980, el 7.3% de la producción se realizó en 2 plantas con 6 hornos largos de proceso húmedo. Entre 1987 y 1990 una de las plantas dejó de utilizar 3 de estos hornos. En 1990 la producción realizada mediante este proceso sólo fue del 3 %.<sup>1, 6, 7</sup> De 1982 a 1994, la capacidad instalada aumentó en un 34.8 %, alcanzando 39.34 millones de toneladas, debido principalmente a la construcción de 6 plantas de cemento en Tabasco (1982), Hidalgo (1985), Sinaloa(1990), Coahuila(1991), Colima(1993) y Puebla(1994). La disminución del consumo de energía por unidad del PIB se ve reflejado en el incremento de la producción debido a los avances tecnológicos con los que disponen las plantas de Puebla, Colima y Coahuila que han sido construidas en los últimos 5 años.

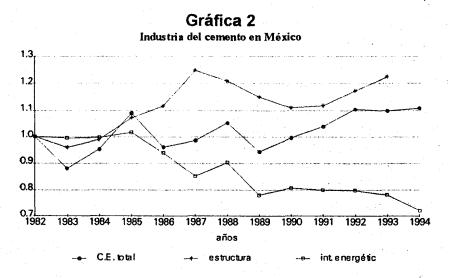
# ii) Incremento del cemento puzolánico

La fabricación de cemento puzolánicos, al añadir puzolanas al clínker, permite tener un incremento en la producción con la misma cantidad de clínker, con ello se reducen el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> por unidad producida. En los últimos años la producción de cementos puzolánicos ha aumentado notablemente, en 1990 llegó a representar el 42% de la producción total. Entre 1982 y 1986, el ahorro en el consumo de

energía debido a la fabricación de estos cementos fue de 2.6% en promedio. De 1987 a 1990, el ahorro se incrementó al producir una mayor cantidad de cementos puzolánicos.

# iii) Modernización de las plantas existentes

La capacidad instalada de plantas existentes ha aumentado, y se han instalado sistemas de precalentamiento y precalcinación, sistemas automatizados del proceso de producción, sistemas de molienda más eficientes, equipo para el control de emisiones contaminantes, y equipos especiales para el uso de combustibles alternativos. El consumo específico definido como la cantidad de energía necesaria para realizar una actividad específica se comporta de manera similar a la intensidad energética. En México, el consumo específico se redujo de 1249.95 kcal/kg de cemento a 970.192 kcal/kg de cemento, es decir, en 1994 el consumo de enegía por unidad de valor agregado fue 28 % menor que en 1982.<sup>2,3,4,10</sup>



Fuentes: SEMIP, Balance nacional de energía 1987-1994 Cámara Nacional del Cernento. Anuario 1987. Sexto Informe de Gobierno, 1994. INEGI, Sistema Nacional de Cuentas Nacionales

A pesar de que el consumo específico se ha reducido en los últimos años, existe una gran diferencia entre el consumo específico real y el consumo teórico necesario para la fabricación del cemento. En esta diferencia existe un gran potencial de ahorro de energía y reducción de emisiones de dióxido de carbono. El consumo de energía térmica mínimo para la formación de clínker es de 430 kcal/kg (1.8 GJ/ton). En 1994 se tiene el mínimo consumo específico obtenido en la industria cementera nacional que es de 970.192 kcal/kg (4.06 GJ/ton).

Por otro lado, para el ahorro de energía, las plantas cementeras se han equipado con sistemas de precalentamiento y precalcinación. Estos sistemas reducen notablemente el consumo de energía en el horno durante la etapa de clinkerización, ya que utilizan el contenido energético de los gases de combustión proveniente de los hornos para calentar la mezcla cruda que se introduce al horno. En 1991 sólo cinco plantas, que representan menos del 3% de la capacidad instalada total, no cuentan con sistema de precalentamiento.¹

La electricidad consumida por tonelada de cemento no presenta variaciones muy pronunciadas. De 1984 a 1990, la intensidad energética de la electricidad disminuye, y a partir de 1990 tiende a aumentar. El consumo de energía eléctrica podría disminuir si se implementan molinos de rodillos en lugar de los molinos de bolas comúnmente utilizados en la Industria Cementera Mexicana. Dentro de los cambios en la etapa de molienda, se sabe

que una nueva planta ha implementado en la etapa de molienda final de cemento, un sistema híbrido integral de molienda que utiliza un molino de rodillos y un molino de bolas, aumentando la capacidad de molienda de la planta.

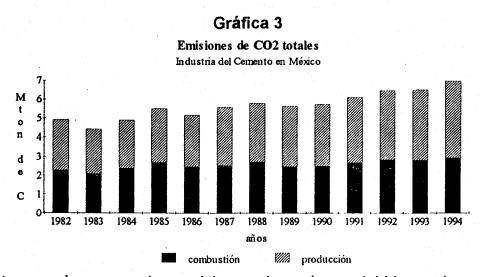
La industria del cemento en México ha utilizado otras opciones para ahorrar energía, entre ellas se encuentran el uso de combustibles alternativos, que sustituyen parcialmente a los combustibles fósiles, y la fabricación de cementos puzolánicos que tengan propiedades similares al cemento Portland. Estas alternativas son estudiadas en capítulos posteriores.

# 3. Emisiones de Dióxido de Carbono (CO2)

El dióxido de carbono es el gas que se produce en mayores cantidades durante el proceso de combustión, y debido a su gran capacidad de absorber y emitir calor es el principal componente de los gases invernadero.

La Industria del Cemento mundial contribuye con un 2% a las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, producidas principalmente en: (a) la combustión necesaria para alcanzar el calor requerido (1450°C) en la zona de sinterización, representa el 45.5% de las emisiones y (b) la reacción de decarbonatación, es decir, la descomposición de la caliza para formar clínker; representa el 54.5% de las emisiones.

La gráfica 3 muestra que las emisiones totales de dióxido de carbono de esta rama industrial han aumentando en los últimos años, principalmente las emisiones que resultan de la decarbonatación de la caliza debidas al incremento en la producción del cemento. En 1982, la industria cementera mexicana generó 4.9 millones de toneladas de carbono provenientes al CO<sub>2</sub>, para 1994 estas emisiones aumentaron a 7 millones de toneladas, lo que representa un incremento del 42.2 % respecto a 1982.



Es importante mencionar que las emisiones de carbono debidas a la combustión son producidas al quemar combustibles fósiles tanto en el proceso de fabricación del cemento como en la generación de energía eléctrica consumida por el mismo. Por esta razón se deben mejorar tanto la eficiencia del proceso de fabricación como la eficiencia de conversión de energía. Los cálculos de las emisiones de CO2 se realizaron en base a los índices de emisión de cada fuente energética utilizada. Estos índices estiman que tanto carbono se emite al producir cierta cantidad de energía. El índice de emisión de la electricidad varía dependiendo de la proporción de los combustibles utilizados en los diferentes tipos de generación de energía eléctrica del país durante cada año, y el contenido de carbono en

dichos combustibles. Para obtener las emisiones debidas al consumo de electricidad se debe tomar en cuenta la eficiencia de generación, que en México se considera del 30%. La gráfica 4 muestra las emisiones de bióxido de carbono por fuentes de energía.

Las emisiones de dióxido de carbono debidas a la decarbonatación no se pueden evitar, es una etapa esencial dentro de la fabricación del cemento, sin embargo, las emisiones se pueden reducir al utilizar materiales con propiedades cementantes como sustitutos parciales para el cemento. La sustitución de clínker por aditivos, como la puzolana, disminuye las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas en la formación del clínker tanto en la decarbonatación de la caliza como en la combustión. La mayor parte de las estrategias que se utilizan para la reducción de estas emisiones están dirigidas a mejorar la eficiencia de la combustión:

- Uso eficiente de la energía; a fin de reducir los productos de la combustión.

Existe un gran potencial de ahorro en la industria del cemento, ya que de la energía consumida por el horno el 48% son pérdidas; 24% debidas a los gases de salida, 14% en el enfriador, y 10% son pérdidas por radiación y por convección. Para reducir estas pérdidas se recomienda implementar sistemas con precalentadores que incluyan válvulas y ciclones con bajas caídas de presión; una combinación adecuada de éstos permite ahorros de energía del 3 al 8%. Las pérdidas en el enfriador pueden reducirse al mejorar el intercambio de calor entre el clínker caliente y el aire, y utilizar el calor recuperado en la combustión secundaria en los precalentadores.

- Uso de desechos industriales y orgánicos como sustitutos parciales de combustibles primarios.

Esta medida sigue generando CO<sub>2</sub> como producto de la combustión. Sin embargo, al quemar estos desechos para la fabricación de clínker en lugar de quemarlos en incineradores comerciales, se reduce el volumen total de las emisiones de manera proporcional a la sustitución de combustibles primarios.

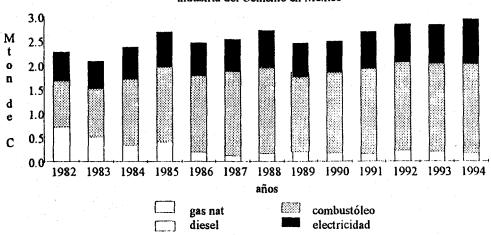
Al quemar desechos, además de reducir las emisiones, disminuye el volumen de desechos en el medio ambiente, se aprovecha la energía generada durante la combustión, y se incorporan al clínker algunos compuestos secundarios como cenizas, zinc, metales pesados, etc.

- Uso de desechos de cal u otros desperdicios como sustitutos parciales para la caliza.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> debidas a la decarbonatación de la caliza disminuyen al reemplazar cierta cantidad de caliza por desechos que contengan los óxidos principales (CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) que constituyen al cemento. Algunos materiales como las cenizas de combustibles no requieren ser decarbonatadas debido a su contenido de cal (CaO), de esta manera disminuye la generación de CO<sub>2</sub> al reducirse la proporción de caliza y la combustión de combustibles fósiles.

Gráfica 4

Emisiones de CO2 por combustibles
Industria del Cemento en México



Las emisiones específicas debidas a la decarbonatación de la caliza se consideraron constantes, en un valor de 136 kg de carbono por tonelada de clínker producido según Worrell y colaboradores (1995). Mientras que las emisiones específicas debidas a la combustión varían ligeramente alrededor de los 98 y los 130 kg. de carbono por tonelada clínker.

# 4. Comparación internacional

Como se mencionó anteriormente la industria del cemento es una de las mayores consumidoras de energía, y es responsable de cerca del 2 % de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el mundo. El cemento es producido por 80 países, y en 1990 la producción mundial fue de 1150 millones de toneladas. Por lo que es importante analizar las posibilidades de ahorro de energía y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que tiene esta industria. México se encuentra dentro de los diez prinipales productores de cemento en el mundo, y resulta interesante observar la eficiencia energética y el impacto ambiental de la industria cementera nacional respecto a otros países.

El consumo específico de energía (SEC por sus siglas en inglés) se define como la cantidad de energía por unidad producida. Para la comparación se analiza el consumo específico de energía primaria (SECp), que representa la demanda de energía primaria de este sector industrial. Y se obtiene sumando el consumo específico de los combustibles fósiles (SECf) y el consumo específico de electricidad (SECe) dividido entre la eficiencia de generación de la electricidad. A partir de este último se estima la demanda de energía primaria para la producción de la electricidad consumida.<sup>12</sup>

El consumo específico está influenciado principalmente por 3 factores: el tipo de cementos producidos, el tipo de materias primas utilizadas y la eficiencia del proceso utilizado.

De acuerdo a Worrell, el ahorro de energía en la industria del cemento se obtiene al mejorar la eficiencia energética y al incrementar la producción de cementos mezclados, los cuáles demandan una menor cantidad de clínker porque se les añade aditivos hidráulicos como las puzolanas, escoria granulada de alto horno o cenizas volantes.

Para comparar la eficiencia energética de la industria cementera en los distintos países se asume un consumo específico de 3.05 GJ de combustible por tonelada de clínker producido para un horno corto de proceso seco con un precalentador de 4 etapas, que se considera como la mejor tecnología disponible. La demanda de electricidad para la molienda de clínker se considera de 0.36 GJ de electricidad por tonelada clínker. Si se utiliza escoria de alto horno, el consumo eléctrico para su secado es de 0.75 GJ de combustible por tonelada de escoria; y para moler y mezlcar puzolanas se consumen 0.24 GJ de electricidad por tonealada de aditivo.<sup>1</sup>

El potencial de ahorro de energía y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al producir cementos mezclados depende del aditivo disponible en cada país y de la proporción de clínker en el cemento. La escoria de alto horno se obtiene al procesar la caliza, el coque y el mineral de hierro en la fundición de este mineral; esta escoria fundida al rojo vivo y enfriada bruscamente con agua se transforma en una masa de gránulos porosos de estructura vítrea con propiedades cementantes. Los cementos mezclados con escoria de alto horno se les puede añadir de un 20 a un 70% de este material. Otro material utilizado para producir estos cementos mezclados son las puzolanas, ya sean naturales o artificiales. Las puzolanas naturales son rocas de origen volcánico, como tobas y pumicitas, que tienen propiedades hidráulicas debido a su composición química y mineralógica. Estas puzolanas se pueden encontrar en Italia, la cordillera de los Andes, México, etc. Dentro de las puzolanas artificiales, las más representativas son las cenizas volantes que se generan como residuo de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas. Los cementos puzolánicos se les puede añadir de un 10 a un 30% de puzolanas o de cenizas volantes.

La producción mundial en 1990 estaba dividida de la siguiente manera: el 34 % de la producción (390 millones de toneladas) se produjo en los países de la OECD, 38% (433 millones de toneladas) en Asia sin incluir a Japón, 16% (188 millones de toneladas) en los países con economías en transición, 7% (84 millones de toneladas) en Latinoamérica y 5% (55 millones de toneladas) en Africa.

En la tabla 1, se muestran las características de la producción del cemento en los países analizados. Analizando el primer bloque se observa que Estados Unidos es el principal productor de cemento de los países de la OECD, muy por debajo le siguen España, Alemania y Francia. Estos países, con Estados Unidos a la cabeza, son también los principales emisores de CO<sub>2</sub>. Esto indica que la eficiencia energética de la industria cementera en estos países no es buena. Países como Estados Unidos y Gran Bretaña pueden reducir su alto consumo específico, si la parte de su industria cementera que produce mediante vía húmeda se transforma a vía seca. Otra medida de ahorro de energía es la producción de cementos mezclados. Algunos países como Estados Unidos, Gran Bretaña y Alemania tienen la posibilidad de producir cementos de escoria de alto horno y cementos con ceniza volante ya que cuentan con una industria siderúrgica importante, y utilizan carbón para la generación de electricidad. Dinamarca e Irlanda también pueden aprovechar la ceniza volante generada en sus carboeléctricas para producir el tipo de cemento correspondiente. Es importante mencionar que la Asociación Europea de cemento (CEMBUREAU) estima que en Francia en 1990, el 20.1% del consumo calorífico en los hornos proviene de combustibles alternativos.

Una medida para incrementar la fabricación y consumo de cementos mezclados es su normalización. Sólo 58 países en el mundo cuentan con legislaciones para estos tipos de cemento, los países restantes sólo permiten la producción de cemento Portland. En Luxemburgo, que es uno de los países con menor consumo específico, la producción de cementos Portland representa menos del 10% de la producción total.

Las características de los países con economías en transición deben interpretarse con cuidado, porque el proceso de cambio redujo drásticamente su capacidad productiva y esto aumentó el consumo específico de sus hornos. Rusia es el principal productor de cemento de este bloque, y también el mayor emisor de CO<sub>2</sub>. El consumo específico de Rusia y Polonia puede disminuir si se transforman las plantas que producen mediante proceso húmedo por plantas de proceso seco.

Por último, dentro de los países latinoamericanos Brasil es el principal productor de cemento del bloque, seguido por México. Sin embargo, las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo específico en México son mayores que en Brasil. En este bloque los países tienen varias limitaciones para mejorar su eficiencia energética y para fabricar cementos mezclados, ya que carecen de una industria siderúrgica sólida y la generación de electricidad se realiza principalmente en hidroeléctricas. Por otra parte, la mayoría de estos países no cuentan con normalización para la fabricación de cementos mezclados.

Comparando las características de la industria cementera nacional con las condiciones óptimas que consideran la mejor tecnología disponible, se observa que esta rama industrial en México es eficiente. México dispone de una gran cantidad de puzolanas naturales; y tanto la fabricación como el empleo de los cementos puzolánicos cuentan con legislación, lo que ha permitido que se utilicen ampliamente en todo el país.

Tabla 1. Características de la producción del cemento en diversos países del mundo

País	Producción [kton]	Proporción clínker/	SECf [GJ/ton]	SECe [GJ/ton]	Secp [GJ/ton]	Emisiones de
		cemento				CO <sub>2</sub> [Mton de C]
Bélgica	6766	0.71	3.19	0.37	4.2	1.2
Dinamarca	1597	0.95	4.5	0.55	5.9	0.4
Francia	26827	0.78	3.25	0.39	4.3	5.1
Alemania	27700	0.83	2.75	0.4	3.8	5.5
Portugal	6743	0.9	2.98	0.38	4	1.4
España	28217	0.81	3.01	0.38	4	5.6
G. Bretaña	15764	0.97	4.03	0.44	5.2	4
E.U.A.	67714	0.94	4.33	0.52	5.7	17.6
Rusia	137300	0.72	6.3	0.4	7.3	34.9
Argentina	3580	0.9	3.86	0.46	5.1	0.8
Brasil	26030	0.79	3.29	0.45	4.5	5
Colombia	6180	0.82	4.8	0.44	6	1.5
México	23824	0.85	3.77	0.39	5.1	5.2
Uruguay	430	0.9	5.02	0.43	6.2	0.1

Nota: Los datos de los países que pertenecen a la OECD corresponden al año de 1989, excepto Alemania cuyos datos son de 1990. Los datos de los países con economías en transición son de 1990, y los datos de los países latinoamericanos son de 1988, excepto México cuyos datos son de 1990. Worrell (1995) consideró una eficiencia de generación de la electricidad del 38%, y un índice de emisión de 24.8 kg de C por GJ de combustible para todos los países. Para México, la eficiencia de generación es cercana al 30%.

<sup>1</sup> Características del consumo de energía en la Industria del Cemento en México : evolución y prespectivas. Secretaria de Minas e Industria Paraestatal, México, enero, 1992.

<sup>2</sup> CANACEM, *Anuario 1987*, Cámara Nacional de la Industria del cemento. México, 1987 y del Sexto Informe de Gobierno, 1994.

<sup>3</sup> Salinas, Carlos. Sexto Informe de Gobierno 1994. Secretaría de Gobernación, México, 1994.

<sup>4</sup> INEGI, Sistema Nacional de Cuentas Nacionales, México, 1980-1984.

Salomón, Alfredo. <u>Industria del cemento : pruebas del tiempo.</u> Comercio Exterior, México, Noviembre, 1990

<sup>6</sup> CEMBUREAU. World Cement Directory 1987.CEMBUREAU. EUA, 1987

CEMBUREAU. World Cement Directory 1991.CEMBUREAU. EUA, 1991, p.p. 102-108

<sup>8</sup> Rock products. 1994 North American Cement Directory. Rock products. EUA, 1994

<sup>9</sup> Cementos Apasco, *Informes Anuales*. Cementos APASCO, México, 1989-1994

<sup>10</sup> SEMIP, Balances Nacionales de Energía , Secretaría de Energía, México, 1987-1994.

- <sup>11</sup> ONU, *Energy Conservation in cement industry some experiences.* Organización de las Naciones Unidas. EUA, 1982, p.p.10
- Worrell, Ernest. et.al. <u>International comparison of energy efficency improvement in the cement industry</u>, EUA, Agosto, 1995

MX9900060

# DESARROLLO DE LA COGENERACIÓN EN MÉXICO Y SU RECIENTE IMPACTO AMBIENTAL

# Alberto Elizalde Baltierra Juan Garcia Peláez

Programa Universitario de Energia (PUE)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Edificio de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico
Planta Baja, Ciudad Universitaria,
México, D.F., C.P. 04510
Tel: 622-8533, FAX: 622-8532

# RESUMEN

Se presenta el desarrollo histórico de los sistemas de autoabastecimiento eléctrico y cogeneración en México desde 1942 a 1995, en el entendido que éstos se diferencian y definen claramente desde 1992. Es, sin embargo, hasta 1994 cuando se otorgó el primer permiso ex profeso de cogeneración. Se desarrolla, además, una breve visión prospectiva de la cogeneración en nuestro país. Asimismo, se analiza el consumo de combustibles empleados por los sistemas de autoabastecimiento en 1993. Se estiman las emisiones contaminantes a la atmósfera y con ello se valora el impacto ambiental de estos sistemas eléctricos en ese año.

# 1. INTRODUCCIÓN

Dos de los insumos más importantes en la mayoría de las empresas industriales son las energías térmica y eléctrica. Cuando son requeridas de manera conjunta en una industria, se presenta la oportunidad de implantar un sistema de cogeneración, es decir, una instalación que genere simultáneamente energía eléctrica y térmica. La cogeneración forma parte de las medidas de ahorro de energía que más inversión requieren, pero de las que más beneficios económicos y medioambientales proveen a la empresa misma, al sector energético y al país en su conjunto, gracias al aumento de eficiencia que presentan estos sistemas.

Hasta el momento, no ha habido ningún intento por conocer con exactitud cuántos sistemas de cogeneración existen instalados en nuestro país. La dificultad estriba en que en el pasado, hasta 1992, no hubo una distinción entre autoabastecimiento eléctrico y cogeneración, tanto desde el punto de vista legal como del estadístico. Fue en 1992 que se llevó a cabo un cambio en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. De 1942 a 1993, se manejaron las estadísticas referidas únicamente a autoabastecimiento eléctrico. No obstante, se sabe que muchas de las plantas autoabastecedoras operaban bajo esquemas de cogeneración.

Por otra parte, en un sistema térmico de generación de energía eléctrica las principales emisiones contaminantes a la atmósfera son: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mónoxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), hidrocarburos no quemados (HC) y particulas suspendidas [1].

Este trabajo tiene por objeto mostrar el desarrollo del autoabstecimiento y la cogeneración en nuestro país entre 1942 y 1995 y una visión prospectiva de los mismos; además, estimar las emisiones contaminantes a la atmósfera de estos sistemas eléctricos en 1993.

# 2. EVOLUCIÓN DEL AUTOABASTECIMIENTO Y LA COGENERACIÓN EN MÉXICO (1942-1995)

De acuerdo a la extinta Ley de la Industria Eléctrica, el autoabastecimiento eléctrico fue permitido desde 1938 (Tabla 1). Y fue en 1942 cuando se otorgó el primer permiso para autogenerar. Si bien desde estos años se establecieron estos sistemas, el autoabastecimiento únicamente sirvió para dar seguridad de suministro eléctrico y poco para objetivos de aumento de eficiencia energética y productividad.

# 2.1 AUTOABASTECIMIENTO ENTRE 1942 Y 1993

Con la finalidad de conocer la evolución histórica del autoabastecimiento en nuestro país, el Programa Universitario de Energía realizó un estudio de los permisos para autogeneración que fueron otorgados por la instancia gubernamental correspondiente desde 1942 hasta 1993. En ese último año, el Padrón de Permisiona-

Trabajo auspiciado por la DG XVII, Comisión Europea, Red CO

# DESARROLLO DE LA COGENERACIÓN EN MÉXICO Y SU RECIENTE IMPACTO AMBIENTAL

# Alberto Elizalde Baltierra Juan García Peláez

Programa Universitario de Energía (PUE)
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Edificio de la Dirección General de Servicios de Cómputo Académico
Planta Baja, Ciudad Universitaria,
México, D.F., C.P. 04510
Tel: 622-8533, FAX: 622-8532

#### RESUMEN

Se presenta el desarrollo histórico de los sistemas de autoabastecimiento eléctrico y cogeneración en México desde 1942 a 1995, en el entendido que éstos se diferencian y definen claramente desde 1992. Es, sin embargo, hasta 1994 cuando se otorgó el primer permiso ex profeso de cogeneración. Se desarrolla, además, una breve visión prospectiva de la cogeneración en nuestro país. Asimismo, se analiza el consumo de combustibles empleados por los sistemas de autoabastecimiento en 1993. Se estiman las emisiones contaminantes a la atmósfera y con ello se valora el impacto ambiental de estos sistemas eléctricos en ese año.

## 1. INTRODUCCIÓN

Dos de los insumos más importantes en la mayoría de las empresas industriales son las energías térmica y eléctrica. Cuando son requeridas de manera conjunta en una industria, se presenta la oportunidad de implantar un sistema de cogeneración, es decir, una instalación que genere simultáneamente energía eléctrica y térmica. La cogeneración forma parte de las medidas de ahorro de energía que más inversión requieren, pero de las que más beneficios económicos y medioambientales proveen a la empresa misma, al sector energético y al país en su conjunto, gracias al aumento de eficiencia que presentan estos sistemas.

Hasta el momento, no ha habido ningún intento por conocer con exactitud cuántos sistemas de cogeneración existen instalados en nuestro país. La dificultad estriba en que en el pasado, hasta 1992, no hubo una distinción entre autoabastecimiento eléctrico y cogeneración, tanto desde el punto de vista legal como del estadístico. Fue en 1992 que se llevó a cabo un cambio en la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica. De 1942 a 1993, se manejaron las estadísticas referidas únicamente a autoabastecimiento eléctrico. No obstante, se sabe que muchas de las plantas autoabastecedoras operaban bajo esquemas de cogeneración.

Por otra parte, en un sistema térmico de generación de energía eléctrica las principales emisiones contaminantes a la atmósfera son: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mónoxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>), hidrocarburos no quemados (HC) y partículas suspendidas [1].

Este trabajo tiene por objeto mostrar el desarrollo del autoabstecimiento y la cogeneración en nuestro país entre 1942 y 1995 y una visión prospectiva de los mismos; además, estimar las emisiones contaminantes a la atmósfera de estos sistemas eléctricos en 1993.

# 2. EVOLUCIÓN DEL AUTOABASTECIMIENTO Y LA COGENERACIÓN EN MÉXICO (1942-1995)

De acuerdo a la extinta Ley de la Industria Eléctrica, el autoabastecimiento eléctrico fue permitido desde 1938 (Tabla 1). Y fue en 1942 cuando se otorgó el primer permiso para autogenerar. Si bien desde estos años se establecieron estos sistemas, el autoabastecimiento únicamente sirvió para dar seguridad de suministro eléctrico y poco para objetivos de aumento de eficiencia energética y productividad.

#### 2.1 AUTOABASTECIMIENTO ENTRE 1942 Y 1993

Con la finalidad de conocer la evolución histórica del autoabastecimiento en nuestro país, el Programa Universitario de Energia realizó un estudio de los permisos para autogeneración que fueron otorgados por la instancia gubernamental correspondiente desde 1942 hasta 1993. En ese último año, el Padrón de Permisiona-

Trabajo auspiciado por la DG XVII, Comisión Europea, Red CO

rios de Autoabastecimiento de la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP), antecesora de la actual Secretaría de Energía (SE), contaba con un total de 4471 permisos [6].

Tabla 1

Evolución de la legislación referente al autoabastecimiento eléctrico y la cogeneración.

Nombre de la Ley o Reglamento	Fecha de apa- rición	Fecha de desa- parición	Contempla al au- toabastecimiento	Contempla a la co- generación dife- renciándola de au- toabastecimiento
Ley de la Industria Eléctrica	Diciembre de 1938	Diciembre de 1975	si	no
Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica	Agosto de 1940	Octubre de 1945	si	no
Reglamento de la Ley de la Industria Eléctrica	Octubre de 1945	Mayo de 1993	si	no
Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica	Diciembre de 1975	vigente	si	si *
Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en Ma- teria de Autoabastecimiento	Mayo de 1991	Mayo de 1993	Si	, no
Reglamento de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica	Mayo de 1993	vigente	si	si

\* A partir de diciembre de 1992 Fuente: Investigación del PUE

En el estudio señalado, se eliminaron los permisos cancelados, así como los correspondientes para plantas de emergencia. La Figura 1 muestra la evolución de la capacidad instalada de los autogeneradores en función de los permisos otorgados de 1942 hasta 1993, y de 1994 a 1995 distinguiendo al autoabastecimiento de la cogeneración. En la Figura 2 se ilustra dicho desarrollo por tipo de planta.

En ambas figuras se observa, a mediados de los años ochenta, un incremento importante motivado principalmente por la modificación al Artículo 36 de la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica, llevada a cabo en 1983. Dicha reforma legal aumentó las posibilidades de autogenerar mediante la producción simultánea de electricidad y calor (cogeneración) y el aprovechamiento de fuentes de calor provenientes de procesos industriales. Además, mantuvo la atribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), existente en la Ley anterior, para disponer de los excedentes de producción de energía eléctrica.

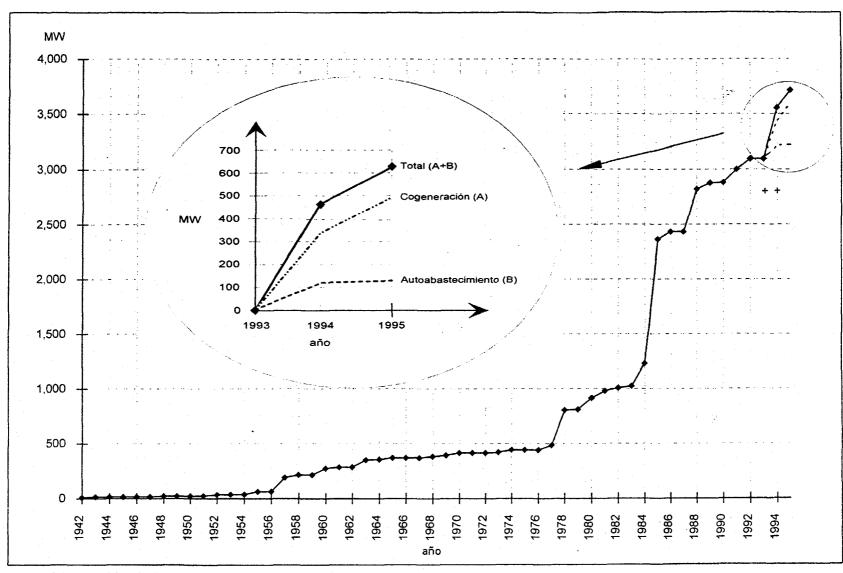
En la Tabla 2 se observa que el sector con mayor capacidad instalada y generación en 1993 fue el petrolero con 1592.9 MW y 6 080.511 GWh, respectivamente.

Del total de la generación de autoabastecimiento para 1993 (10 052 GWh), el 94 por ciento (9 485 GWh) se utilizó para usos del permisionario en sus procesos; y el seis por ciento restante (567 GWh) se entregó al Sector Eléctrico Nacional -CFE y Luz y Fuerza del Centro (LFC)-. Esta electricidad enviada a la red pública fue proporcionada por PEMEX en un 97 por ciento (549 GWh), y el resto (18 GWh) por el sector siderúrgico.

Sumando la capacidad instalada y la generación del autoabastecimiento y del Sistema Eléctrico Nacional para 1993, se tiene que CFE y LFC abarcan el 91 por ciento (29 204 MW) en capacidad, y el 93 por ciento (126 566 GWh) en generación. Por su parte, el autoabastecimiento comprende el restante nueve y siete por ciento en capacidad y generación, respectivamente.

El total de la capacidad instalada y de la generación de todos los sectores (2 813 MW y 10 052 GWh) arroja un factor de planta del 41 por ciento (ecuación 1). Este porcentaje significa que las instalaciones de los autogeneradores trabajaron con la potencia indicada en la capacidad instalada durante un período que representa el 41 por ciento del año.

Generación en el año
Capacidad instalada x 8760



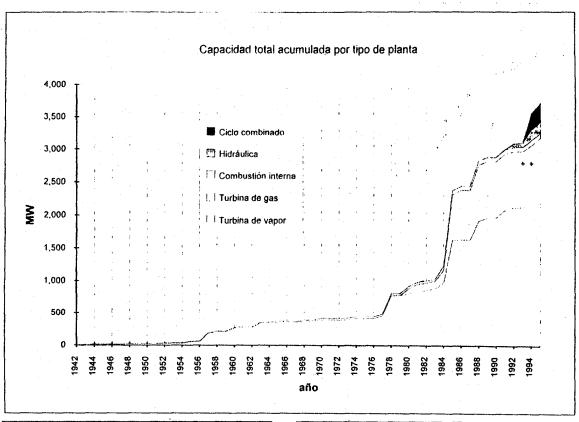
<sup>\*</sup> Datos referidos al final de cada año.

Nota: Las cruces en la gráfica nos muestran los valores de la capacidad que se encontraba en operación en 1993 y 1994.

Fuente: Investigación del PUE con datos del Padrón de Permisionarios de Autoabastecimiento de la SEMIP.

Figura 1. Evolución del autoabastecimiento y la cogeneración en México, capacidad acumulada\* en función de los permisos otorgados.

El dato correspondiente a 1994 se obtuvo del Balance Nacional de Energia del año en cuestión.



			Capacidad a	cumulada*	(MW)					Capacidad ad	umulada*	[MW]	
Año	Turbina	Turbina	Combustion	Hidráulica	Ciclo	Total	Año	Turbina	Turbina	Combustión	Hidráulica	Clclo	Total
	de Vapor	de Gas	Interna		combinado	acumulado		de Vapor	de Gas	Interna		combinado	acumulado
1942	8.9	0.0	02	0.0	0.0	9.1	1969	372.8	0.0	19.2	0.0	0.0	392.0
1943	15.1	0.0	. 02	0.0	0.0	15 3	1970	385.1	0.0	28.2	0.0	0.0	413 3
1944	15.1	0.0	1.0	0.0	0.0	16.0	1971	385.1	0.0	28.2	0.0	0.0	413.3
1945	15.1	0.0	1.0	0.0	0.0	16.1	1972	385.1	0.0	28.2	0.0	0.0	413.3
1946	15.1	0.0	1.0	0.0	0.0	16.1	1973	391.6	0.0	28.2	0.0	0.0	419.8
1947	15.1	0.0	1,3	0.0	0.0	16.4	1974	412.1	0.0	28.2	0.0	0.0	440.3
1948	19.6	0.0	2.4	0.0	0.0	22.0	1975	, 412.1	0.0	28.2	0.0	0.0	440.3
1949	19.6	0.0	2.4	0.0	0.0	22.0	1976	412.1	0.0	28.2	0.0	0.0	440.3
1950	19.6	0.0	2.4	0.0	0.0	22.0	1977	456.4	00	28.2	0.0	0.0	484.6
1951	22.8	. 0.0	2.4	0.0	0.0	25.2	1978	767.5	0.0	36.0	0.0	0.0	803.5
1952	28.1	0.0	6.7	0,0	0.0	34.B	1979	773.4	0.0	36.0	0.0	0.0	809.4
1953	28.1	0.0	8.0	0.0	. 00	36.1	1980	804,3	74.3	36.0	0.0	0.0	914.6
1954	28.1	0.0	10.0	0.0	0.0	38.1	1981	830,6	112.8	36.0	0.0	0.0	979.4
1955	51.5	0.0	11.1	0.0	0.0	62.6	1982	856.9	112.8	36.0	0.0	0.0	1,005.7
1956	51.5	0.0		0.0	0.0	63.7	1983	875.4	112.8	36.0	0.0	0.0	1,024.2
1957	178.0	0.0			0.0	190 2	1984	967.6	198.2	64.3	0.0	0.0	1,230 1
1958	203.0	0.0	12.2	;	0.0	215.2	1985	1,615.7	683.5	64.9	0.0	0.0	2,364.1
1959	203.0	0.0	12.2	0.0	0.0	215.2	1986	1,623.7	743.5	64.9	0.0	0.0	2,432.1
1960	258.5	0.0			0.0	274.8	1987	1,623.7	743.5	64.9	0.0	0.0	2,432.1
1961	268.3	0.0		0.0	0.0	284.5	1988	1,903.7	851.2	64.9	0.0	0.0	2,819.8
1962	268.3	0.0	1	0.0	0.0	284.5	1989	1,953.7	851.2	69.4	0.0	0.0	2,874.3
1963	333.8	0.0	16.2	0.0	0.0	350.0	1990	1,953.7	851.2	69.4	5.0	0.0	2,879.3
1964	337.7	0.0	16.2	0.0	0.0	354 0	1991	2,072.5	851 2	69 4	5.0	0.0	2,998 1
1965	352.1	0.0		0.0	0.0	368.3	1992	2,108.9	851.2	69.4	65.0	0.0	3,094.5
1966	352.1	0.0		0.0	0.0	368.3	1993	2,108.9	851.2	69.4	65.0	0.0	3,094.5
1967	352.1	0.0		0.0	0.0	368.3	1994	2,133.9	923.2	74.5	174.3	247 3	3,553 2
1968	362.0	0.0	19.2	0.0	0.0	381 2	1995	2,169.7	999.8	76.7	174.3	294.3	3,714.8

\* Datos referidos al final de cada año. Nota: Las cruces en la gráfica nos muestran los valores de la capacidad que se encontraba en operación en 1993 y 1994. El dato correspondiente a 1994 se obtuvo del Balance Nacional de Energia del año en cuestión. Fuente: Investigación del PUE con datos del Padrón de Permisionarios de Autoabastecimiento de la SEMIP.

Figura 2. Evolución del autoabastecimiento y la cogeneración en México por tipo de planta, capacidad acumulada en función de los permisos otorgados.

Tabla 2. Autoabastecimiento eléctrico en México en 1993.

Sector Industrial	Capacidad <sup>1</sup> Instalada (MW)	Generación (GWh)	Factor de Planta (%)	Máxima <sup>2</sup> Generación	Disponibilidad de Generación	
		[A]		(GWh) [B]	Adicional [B - A]	(MW)
PEMEX	1,592.90	6,080.511	43.58	9,069.973	2,989.462	525.02
Siderúrgico	325.50	1,248.676	43.79	1,853.397	604.721	106.20
Papelero	225.30	559.028	28.32	1,282.858	723.831	127.12
Azucarero	229.08	312.650	15.58	1,304.370	991.720	174.17
Químico	134.63	596.462	50.58	766.583	170.121	29.88
Minero	55.73	148.620	30.45	317.298	168.678	29.62
Cervecero	40.90	205.973	57.49	232.885	26.911	4.73
Fertilizantes	26.50	75.854	32.68	150.891	75.037	13.18
Otros*	182.27	824.059	51.61	1,037.845	213.786	37.55
TOTAL	2,812.80	10,051.834	40.79	16,016.100	5,964.267	1,047.47

¹ Incluye plantas con turbinas de vapor, turbinas de gas y motores de combustión interna.

#### 2.2 COGENERACIÓN ENTRE 1994 Y 1995

En diciembre de 1992 la Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica fue nuevamente modificada, y por primera vez el autoabastecimiento y la cogeneración fueron claramente diferenciados y definidos [2]. En particular, la cogeneración se refiere a:

- 1. La producción conjunta de electricidad y vapor u otro tipo de energía térmica secundaria, o ambas
- La producción directa o indirecta de electricidad a partir de energía térmica no aprovechada en los procesos involucrados, y
- La producción directa o indirecta de electricidad usando combustibles producidos en los procesos involucrados.

Es, sin embargo, hasta 1994 cuando la SEMIP otorgó el primer permiso de cogeneración diferenciándolo del autoabastecimiento. De esta forma, durante 1994 y 1995 se otorgaron permisos de cogeneración por un total de 497 MW, y permisos de autoabastecimiento por un total de 124 MW (Figura 1).

### 3. PROSPECTIVA DE LA COGENERACIÓN EN MÉXICO

A finales de 1994, la capacidad instalada del Sector Eléctrico Nacional fue de 31 649 MW. Para el período 1995-2004 la CFE estableció la necesidad de instalar 13 039 MW para satisfacer la demanda futura [3]. De estas adiciones, 4 008 MW ya están comprometidos y se pondrán en operación en los próximos años. La capacidad restante (9 031MW) podría ser construida en su mayoría por particulares bajo las modalidades autorizadas por la ley, es decir, con proyectos de cogeneración, autoabastecimiento, productores independientes y pequeños productores. Dadas las características de alta eficiencia y múltiples beneficios de la cogeneración, este tipo de proyectos es una fuente atractiva y aceptable para el Sistema Eléctrico Nacional y podrá competir con las otras modalidades privadas de generación de electricidad antes mencionadas.

El desarrollo futuro de la cogeneración en los próximos años dependerá de diversos factores, entre los que se pueden mencionar: el marco legal, la situación financiera de las empresas interesadas, las fuentes externas de financiamiento, los precios de la electricidad y de los combustibles, así como su disponibilidad, los pre-

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Calculada con base en la capacidad instalada y un factor de planta del 65 por ciento.

<sup>2</sup> Calculada con base en la disponibilidad de generación adicional y un factor de planta del 65 por ciento.

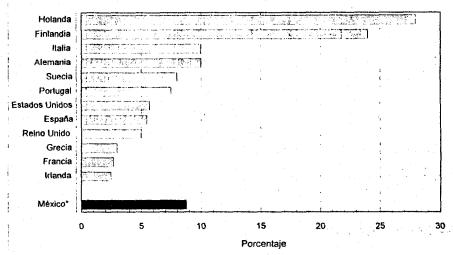
<sup>\*</sup> Incluye la planta de un Grupo Industrial de Monterrey, y otras empresas.

Fuente: Investigación del PUE con datos de los reportes de generación de los permisionarios.

cios que pagará el Sector Eléctrico Nacional a los cogeneradores por la venta de excedentes de producción de energía eléctrica, y la difusión y promoción nacional de la cogeneración.

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de capacidad de cogeneración respecto a la potencia total instalada de diferentes países de la Unión Europea y de los Estados Unidos de América. Para el caso de nuestro país, se muestra el porcentaje del autoabastecimiento respecto a la potencia total instalada.

Tomando en cuenta la capacidad instalada prevista en México para el año 2004, es decir, 44 688 MW, y los porcentajes presentados en la Figura 3 relativa a países con diferentes grados de desarrollo de la cogeneración, se puede tener una idea de las perspectivas de la cogeneración en nuestro país para el año 2004.



\* El dato se refiere a autoabastecimiento

Fuente: Paradinas, Francisco; Introducción a la cogeneración termoeléctrica. Experiencia Europea; Notas del Diplomado de Cogeneración, FI - UNAM, y CONAE; México, D. F., 1995

Figura 3. Porcentaje de capacidad de cogeneración sobre potencia total instalada en países seleccionados en 1993.

# 4. IMPACTO AMBIENTAL DEL AUTOABASTECIMIENTO EN 1993

Los impactos ambientales a la atmósfera asociados a un sistema térmico de generación de energía eléctrica comprenden las siguientes emisiones contaminantes: bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>), hidrocarburos no quemados (HC) y partículas suspendidas.

Con el propósito de estimar las emisiones a la atmósfera de estos contaminantes, en el trabajo se emplean los factores de emisión indicados en la Tabla 3.

Los autoabastecedores¹ emplearon en 1993 gas natural (64 por ciento), combustóleo (24 por ciento), diesel (cinco por ciento), gas de alto horno (tres por ciento) y gas LP, gas de coque, gasóleo y bagazo de caña con uno por ciento cada uno, que expresados en Terajoules resultan 141 655.58 (Tabla 4 y Figura 4). Sobresale el gas natural como principal fuente energética, seguido por el combustóleo. Además, se enlistan tres combustibles producto de procesos industriales (bagazo, y gas de alto horno y de coque de la producción de acero) que al ser quemados conforman sistemas de cogeneración según la definición de la legislación actual.

La Tabla 4 muestra los combustibles y las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica por autoabastecimiento.

En cuanto al CO<sub>2</sub>, CO y NO<sub>x</sub> se observa que el gas natural contribuyó a las emisiones de estos contaminantes con el 61, 65 y 57 por ciento, respectivamente, seguido por el combustóleo con un 31, 17 y 18 por ciento, respectivamente (Figura 5). En el caso de los SO<sub>x</sub>, HC y particulas el combustóleo contribuyó con el 89, 63 y 80 por ciento, mientras que el gas natural tan sólo participó con el uno, 14 y ocho por ciento, respectivamente.

Se incluyen tres de las subsidiarias de PEMEX y todos los sectores industriales.

Tabla 3. Factores de emisión.

Fuente	CO <sub>2</sub>	CO ton/TJ	NO <sub>x</sub> ton/TJ	SO <sub>X</sub>	HC ton/TJ	Particulas ton/TJ	
Petróleo	20.00 <sup>a</sup>				1		
Gasolina	19.42 <sup>b</sup>	10.6b	0.41 <sup>b</sup>	0.067 <sup>d</sup>	0.0697 <sup>c</sup>	0.0405 <sup>d</sup>	
Diesel	20.13 <sup>b</sup>	0.0625b	1.25 <sup>b</sup>	0.672 <sup>e</sup>	0.147 <sup>e</sup>	0.440e	
Combustóleo	21.30 <sup>b</sup>	0.0143 <sup>b</sup>	0.205 <sup>b</sup>	1.41 <sup>d</sup>	0.0936 <sup>e</sup>	0.682 <sup>e</sup>	
Gas natural	15.30ª	0.02 <sup>b</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.00876 <sup>1</sup>	0.00774 <sup>e</sup>	0.0259	
Gas natural	15.30 <sup>b</sup>	0.02					
(calentadores)							
0	25.8 <sup>a</sup>	<u></u>					
Carbón							
Carbón mineral	25.69 <sup>b</sup>	0.01 <sup>b</sup>	0.74 <sup>b</sup>	0.542	0.00534 <sup>g</sup>	0.167	
Biomasa	21.20ª		**************************************				

a Greenhouse Gas Emissions: The Energy Dimension, OECD/IEA, 1991, P. 64.

Es de esperarse que, en 1998, con la aplicación de las Normas Ecológicas NOM-085-ECOL-94 y NOM-086-ECOL-94, se vean modificadas, tanto la mezcla de combustibles como las emisiones asociadas.

Asimismo, en la Tabla 5 se presentan las emisiones por MWh generado correspondiente a cada fuente de energia.

Tabla 5. Emisiones contaminantes por MWh generado en el autoabastecimiento en 1993

	Emisiones de contaminantes por MWh generado										
Contaminante	Diesel	Combustóleo	gasóleo	Gas natural	Bagazo de caña	Total					
CO <sub>2</sub> *	18.67	95.61	2.81	184.62	0.59	302.30					
KgC		- 1									
CO	0.06	0.06	0.01	0.24		0.3					
Kg											
NO <sub>x</sub>	1.16	0.92	0.17	3.02		5.2					
Kg											
SO <sub>x</sub>	0.62	6.33	0.09	0.11		7.1					
Kg	i										
HC	0.14	0.42	0.02	0.09		0.6					
Kg		4									
Partículas	0.41	3.06	0.06	0.31		3.8					
Kg											

\* Si se desea expresar en KgCO , la equivalencia es: 1 KgCO , = (44/12) KgC

Fuente : Investigación del PUE con datos de los reportes de generación de los permisionarios.

b Greenhouse Gas Emissions: The Energy Dimension, Tables E-1.A, E-2 and E-3 OECD/IEA, 1991, pp 179-181.

C Environmental Biology, Altman Philip (ed.) Bethedsa: Federation of American Societies for Experimental Biology, 1996, p. 271.

d Cálculo propio, Programa Universitario de Energía, UNAM, México, 1991.

e Magar, R., La Contaminación en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Dynamis, Quintanilla, J.

y A. Rojas (eds.), Programa Universitario de Energía, UNAM, México, enero-febrero, 1991, p. 5.

f CFE, comunicación privada.

g Environmental Effects of Electricity Generation, OECD, Paris, 1985, pp. 69-71.

Fuente: Quintanilla, J. y M. Bauer, Projection of the Global Regional and Sectorial Energy Demand and Emissions for Mexico, WEC 4.3.13, Tokio, Japan, 1995.

Tabla 4. Combustibles empleados en el autoabastecimiento\* en 1993 y sus emisiones contaminantes.

		Consumo de co	ombustibles				Emision	nes**	•		
Fuente	millones de	millones de	miles de	TJ	CO2	со	NOx	so <sub>x</sub>	нс	Particulas	
	litros	metros cúbicos	ton		miles de tonC	ton	ton ·	ton	ton	ton	
Diesel	184.78			7048.77	141.89	440.55	8810.96	4736.77	1036.17	3101.46	
Combustóleo	810.82			34111.53	726.58	487.79	6992.86	48097.26	3192.84	23264.06	
Gasóleo ***	27.80	·		1060.39	21.35	66.27	1325.49	712.58	155.88	466.57	
Gas natural	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	2588.95		91701.39	1403.03	1834.03	22925.35	803.30	709.77	2375.07	
Gas LP	60.92			1646.23	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	
Bagazo de caña		د منگشی پیدادید اساند مانگشی	29.99	211.61	4.49						
Gas de alto horno		1490.18		4554.53	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	n.d.	n.d	
Gas de coque		75.13		1321.14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d	
TOTAL			F	141655.58	2297.33	2828.64	40054.66	54349.91	5094.65	29207.16	

<sup>\*</sup> Se incluyen todos los sectores industriales con excepción de una de las cuatro empresas subsidiarias de PEMEX.

Fuente : Investigación del PUE con datos de los reportes de generación de los permisionarios.

 <sup>□</sup> Calculadas con base en los datos de la Tabla 3.

<sup>\*\*\*</sup> En el cálculo se tomó el poder calorífico y el factor de emisión del diesel.

Poderes calorificos empleados: diesel 1448660 Kcal/bl, combustóleo 1597681 Kcal/bl, gas natural 8460 Kcal/m³,

gas LP 1026273 Kcal/bi, bagazo de caña 1684990 Kcal/ton, gas de alto homo 730 Kcal/m³, gas de coque 4200 Kcal/m³, (Balance Nacional de Energia 1993).

TJ = TeraJoule = 1012 J

n.d. = no disponible

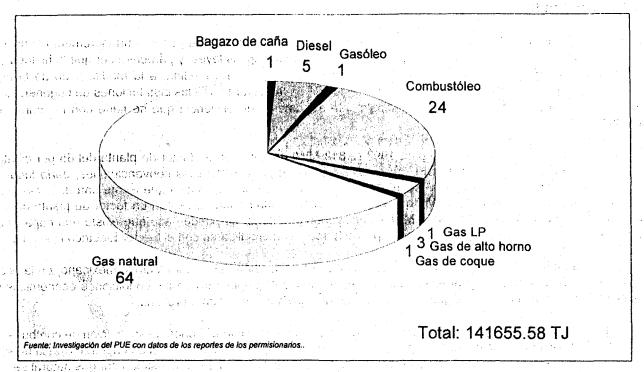


Figura 4. Participación en el consumo de combustibles, en por ciento.

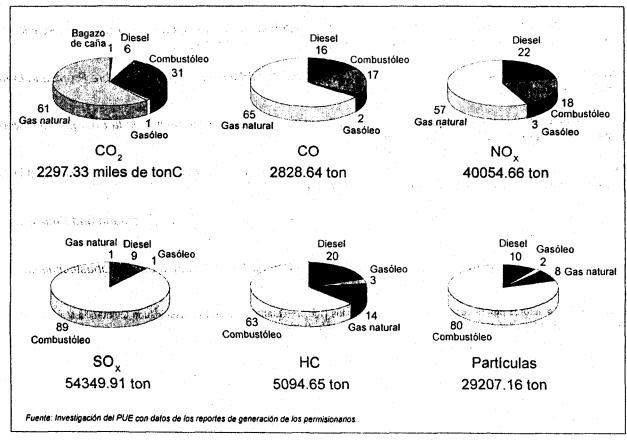


Figura 5. Participación en las emisiones contaminantes por combustible, en por ciento.

#### 5. CONCLUSIONES

Al analizar la evolución histórica del autoabastecimiento (Figura 1), se observa un incremento considerable en los años ochenta, motivado principalmente por un cambio en las leyes, y pareciera ser que la historia se repite a partir de 1994 cuando se vislumbra otro salto, debido, en cierta medida, a la modificación de la ley También se observa que empiezan a crecer a partir de 1994 con mayor fuerza las instalaciones de cogeneración que las de autoabastecimiento, debido principalmente al aumento de eficiencia que se tiene con los primeros sistemas.

Si la capacidad instalada total para 1993 (2 813 MW) operara con un factor de planta del 65 por ciento, valor empleado comúnmente por la CFE para sus estudios en plantas térmicas convencionales, daría lugar a una generación denominada "máxima" de 16 016 GWh (Tabla 2). Esto nos indica que existe una disponibilidad de generación adicional de 5 964 GWh, que convertida a capacidad equivalente con un factor de planta del 65 por ciento, resulta en un valor de 1 047 MW. Concluyendo lo anterior se puede decir que existe una capacidad disponible importante que bien puede y debe aprovecharse y comercializarse con el Sector Eléctrico Nacional.

La contribución de la cogeneración en los planes de expansión del sector eléctrico mexicano, en la economía de las empresas, y en la preservación del medio ambiente dependerá de las condiciones económicas y financieras, tecnológicas y legales que prevalezcan en nuestro país en el futuro próximo.

Finalmente, se podrá contribuir al desarrollo sustentable mediante acciones de sustitución de combustibles y la incorporación de sistemas de cogeneración y autoabastecimiento basados en gas natural. Con la disminución de las emisiones de SO<sub>X</sub>, HC y partículas mediante la sustitución de combustóleo por gas natural se incrementarán las emisiones de CO y No<sub>X</sub>. Aquí habrá la posibilidad de diseños novedosos de quemadores y uso de reductores de No<sub>X</sub>.

# 6. REFERENCIAS

- [1] Burgos Aguilar, Rafael; Elizalde Baltierra Alberto; La Contribución de la Cogeneración a la Preservación del Medio Ambiente; Tesis de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1995.
- [2] Estados Unidos Mexicanos; Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica; Legislación sobre Propiedad Industrial; Ediciones Andrade, México, D. F., 1994.
- [3] Estados Unidos Mexicanos, *Programa de Desarrollo y Reestructuración del Sector de la Energía. 1995-2000*, Secretaría de Energía, México, D. F., 1995.
- [4] Paradinas, Francisco; Introducción a la Cogeneración Termoeléctrica. Experiencia Europea, Notas del Diplomado de Cogeneración, FI-UNAM, y CONAE; México, D. F., 1995.
- [5] Quintanilla, J. y M. Bauer, *Projection of the Global Regional and Sectorial Energy Demand and Emissions for Mexico*, WEC 4.3.13, Tokio, Japan, 1995.
- [6] Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal; Padrón de Permisionarios de Autoabastecimiento; México, D. F., 1993.

Agradecimiento. Los autores agradecen el apoyo brindado por los Doctores Mariano Bauer Ephrussi y Juan Quintanilla Martinez, Director y Subdirector del PUE respectivamente, en la elaboración del presente escrito.

1. \$11 (10 MO) 5.5

ក្សាស្ថិតិ នៅក្រុង ខេត្ត បានប្រជាព្យាធិប្បនេះ ប្រើប្រជាព្រះ **និងអមាធិប**