



PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
INGENIERÍA

FACULTAD DE QUÍMICA

**“IMPACTO DEL EMPLEO DE CAMPOS
MAGNETICOS EN LA ALIMENTACIÓN DE
COMBUSTIBLE A CALDERAS, TURBINAS
DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO
DIRECTO.”**

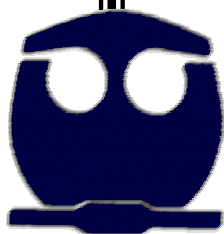
T E S I S

QUE PARA OPTAR POR ÉL GRADO DE:
**MAESTRO EN INGENIERÍA QUÍMICA
(INGENIERÍA DE PROYECTOS)**

P R E S E N T A:

I.Q. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

TUTOR: DR. JOSE FERNANDO BARRAGAN AROCHE





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Gracias a DIOS por permitirme cerrar este ciclo de mi vida profesional y a su vez experimentar que en ÉL **“están escondidos todos los tesoros de sabiduría y conocimiento” Col 2:3.**

A mi madre Esperanza Ramírez Martínez y a mi abuelita Isabel Martínez Areola, que están en la presencia de DIOS y quienes con su vida e inmenso amor me impulsaron a salir adelante siempre.

A Sachikito, preciosa bendición de DIOS e hija preciosa y amada de mi corazón, impulso y motor de muchas decisiones importantes en mi vida.

A “Ju bonita” amor de mi vida, gran compañera, amiga, esposa y colaboradora invaluable de este trabajo.

A Nan bonita y Joselín Angélica hermosa, ambas regalos de DIOS e hijas preciosas amadas de mi corazón.

Al “Bollito de migajón” Toñito, bebe amado que expresa el amor de DIOS y su misericordia infinita para mi vida.

A mi tío Rodolfo Ramírez Martínez quién ha sido como un padre para mí.

A Rosa María Martínez Ramírez, quién es una hermana para mí.

A Carmelita, Belén, Salvador, Lili, Ivonne, Elvio e Ivonita por su cariño.

Al M. en I. Carlos Rodríguez W. quién con su apoyo en el desarrollo de los proyectos me permitió dedicar tiempo a esta tesis.

Al Dr. José Fernando Barragán y sus colaboradores quienes me apoyaron intensamente en el desarrollo de este trabajo.

Al M. en I. Alejandro Anaya Durand quién ha sido y seguirá siendo un ejemplo a seguir, tanto en la vida profesional como en la vida académica y cotidiana.

Al Dr. Miguel Castro de quién he aprendido no solo a visualizar los problemas desde el punto de vista nanotecnológico sino también abordarlos con sencillez y humildad.

Al M. en I. Ezequiel Millán y al Dr. Helio García, por su inestimable apoyo.

A Alfonso Fernández por permitirme apoyarlo y por compartir sus impresionantes capacidades creativas y ayudarme cristalizar este trabajo

A Mariano Enrique Vázquez De Lomo por permitirme participar en la realización de las pruebas en las instalaciones industriales y en el análisis de todos los resultados obtenidos para este trabajo.

A mis amigos y hermanos en la fe de CRISTO, quienes con sus oraciones me apoyaron espiritualmente para llegar al fin de esta etapa.

GRACIAS DIOS MIO POR TODO LO QUE ME HAS DADO SIN MERECELO.

INDICE

INTRODUCCIÓN	ii
HIPÓTESIS	iii
OBJETIVO	iii
JUSTIFICACIÓN	iii
CAPITULO 1 Magnetismo	1
CAPITULO 2 Planteamiento del Problema	9
2.1 El dispositivo FES desde el punto de vista del inventor	9
2.2 Planteamiento de la evaluación técnica del dispositivo FES	11
2.3 Consideraciones aplicadas al diseño de la prueba	12
2.4 Descripción de las pruebas realizadas en la caldera	13
2.5 Pruebas para ver el efecto del FES sobre la temperatura y composición de los gases	14
2.6 Análisis de la composición de los gases de combustión	20
CAPITULO 3 Aplicaciones en caldera, turbina de gas y calentadores a fuego directo de capacidad industrial	23
3.1 Caldera	23
3.2 Turbina de Gas	24
3.3 Calentador a fuego directo	29
CAPITULO 4 Análisis de Resultados	31
CONCLUSIONES	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	46

INDICE DE FIGURAS

2.1 Diagrama de localización de los medidores	12
2.2 Fotografía de las instalaciones	13
2.3 Producción de vapor por litro de combustible lunes 16 y 23 de Agosto	14
2.4 Producción de vapor por litro de combustible jueves 9 y viernes 10 de septiembre	15
2.5 Producción de vapor por litro de combustible martes 24 de agosto y jueves 9 de septiembre	15
2.6 Diagrama de localización de medidores	16
2.7 Tiempo para alcanzar 100°C	16
2.8 Temperatura máxima a un mismo consumo	17
2.9 Consumos a igualdad de temperaturas	18
2.10 Fotografía de las flamas y temperaturas alcanzadas con un mismo consumo de gas.	19
2.11 Instalaciones para experimento de composición de gases	19
2.12 Porcentaje de oxígeno	21
2.13 Porcentaje de CO ₂	21
2.14 Porcentaje de aire en exceso	22
2.15 Temperatura en el hogar	22
3.1 Índice marzo-abril sin FES y mayo junio con FES 2006	23
3.2 Esquema de operación de la turbina	24
3.3 Generación de potencia diciembre 2005 a marzo 2006	25
3.4 Índices diciembre 2005 a marzo 2006	26
3.5 Índice de diseño	26
3.6 Generación de potencia en junio de 2004, 2005 y 2006	28
3.7 Índices energéticos de junio de 2004, 2005 y 2006	29
4.1 Modelo de una molécula	33
4.2 Molécula de propano reproducida con la Teoría de Funcionales de la Densidad (DFT)	37
4.3 Cuatro cúmulos de átomos de hierro	37
4.4 Interacción entre los cúmulos de fierro y la molécula de propano	38
4.5 Interacción mediante puentes de hidrógeno	39
4.6 Interacción entre los cúmulos de fierro y la molécula de propano	40
4.7 Efecto sobre las vibraciones del carbón central	41

INDICE DE TABLAS

3.1 Comparación con índices corregidos por condiciones de operación en turbina da gas	27
4.1 Porcentaje de incremento en el flux térmico	32

SUMMARY

This work presents the experimental and theoretical results of apply magnetic fields of high intensity over natural gas, liquefied petroleum gas and diesel. The magnetic fields are located on the feed pipe to burners, as close as possible to the burner.

The first part includes the results on industrial diesel boiler, gas boiler, gas turbine and fired heater. The second part shows the theoretical analysis results applying the Density Functional Theory developed by Walter Kohn¹⁹, with the interaction of iron clusters on propane molecule. To do this analysis I received the support of Ph. D. Miguel Castro who use Gaussian computer program.

From industrial equipment results I obtained fuel savings of 3% to 11%.for steam boilers and fired heaters. The results for gas turbines require a more careful evaluation, because there are many factors involved that affect the turbine operation.

Theoretical analysis with Gaussian computer program shows that the bond length carbon –hydrogen increase from 1.10 Å to 1.13 Å, and the angle between hydrogen-carbon-hydrogen change from 106° to 111°. On the other hand propane and Fe₄ are non polar but when they interact the propane acquire a dipole moment of 2.89 Debyes (D). The C-H bonds are more polarized than in free C₃H₈. Since Fe atoms lie in a relatively symmetric pyramid the contribution to dipole moment is small. Thus, the dipole is mainly due to C₃H₈, since the interaction with Fe₄ results in a polar behavior.

RESUMEN

Este trabajo presenta los resultados experimentales y teóricos de la aplicación de campos magnéticos de gran intensidad, sobre el gas natural, el gas LP y el diesel. Estos campos magnéticos se instalaron directamente en la tubería de alimentación, lo mas cerca posible al quemador.

La primera parte del trabajo incluye los resultados obtenidos de las pruebas en equipos industriales tales como calderas que operan con diesel y gas natural, de una turbina de gas y de un calentador a fuego directo. La segunda parte muestra los resultados del análisis teórico mediante la aplicación de la Teoría de Funcionales de la Densidad (DFT), desarrollada por Walter Kohn¹⁹, a la interacción de cúmulos de hierro con la molécula de propano. Para realizar este análisis se contó con el apoyo del Dr. Miguel Castro, empleando el programa de computadora conocido como “Gaussian”.

De los resultados industriales se obtuvieron ahorros de combustible desde un 3% hasta un 11%, basados en la evaluación de los índices energéticos, principalmente en las calderas y en el calentador a fuego directo. Para las turbinas de gas se requiere una evaluación más cuidadosa, debido a los múltiples factores que influyen en su operación

Los resultados del análisis teórico con el programa de computadora “Gaussian”, muestran que la longitud de los enlaces C-H se incrementan de 1.10 Å a 1.13 Å y el ángulo que forman los enlaces H-C-H cambia de 106° a 111°. Además el propano y el Fe₄ que no son polares por si solos, cuando interactúan hacen que el propano adquiera un momento dipolo de 2.89 Debys. Asimismo los enlaces C-H están más polarizados al presentarse dicha interacción, que cuando el propano está solo. Ya que los átomos de hierro se encuentran en un arreglo relativamente piramidal simétrico, su contribución al momento dipolo es pequeña, por lo tanto el cambio de momento dipolo se debe a la molécula de C₃H₈, provocando un comportamiento polar por la interacción con el Fe₄.

**Impacto del empleo de campos Magnéticos en la Alimentación de Combustible a
Calderas, Turbinas de Gas y Calentadores a Fuego Directo**

José Antonio Ortiz Ramírez

INTRODUCCIÓN

Durante el año 2004 se realizó un mantenimiento mayor de la caldera del Laboratorio de Ingeniería Química y se buscó además implementar algún sistema de ahorro de combustible. A través de uno de los alumnos egresado de la Facultad de Química contactamos a un inventor mexicano el D. I. Alfonso Fernández de la Torre, a quién le propuse realizar pruebas con su invento conocido como FES (Fuel Energy Saver), en la caldera mencionada, de acuerdo con la hipótesis de este trabajo. Le solicité también que, en caso de obtener ahorros, donara el equipo a la Facultad lo cual aceptó amablemente, además de apoyar para el pago del combustible diesel para las pruebas y becas para los alumnos que ayudarían en la realización de las mismas. El compromiso del suscrito consistió en entregar una carta, donde se mostrarían los resultados obtenidos en las pruebas.

Las pruebas se iniciaron en agosto de 2004 con los resultados que se describen en este trabajo y en virtud de que fueron positivos, ya que se logró una producción adicional de vapor de hasta 11.5 %, el inventor nos solicitó autorización para poner la carta en su página en Internet, lo cual aceptamos. Se logró ahorrar hasta un 10% de combustible, y se inició una intensa comunicación vía correo electrónico, con una gran cantidad de cuestionamientos que me motivaron a intensificar mas la investigación que dio origen al presente trabajo de tesis.

En la primera etapa inicié una búsqueda de investigaciones relacionadas con el tema y únicamente encontré aplicaciones de campos magnéticos sobre las flamas como son las investigaciones de:

- Yukio Mizutani¹ quién ha estado trabajando en flamas laminares,
- Eisuke Yamada² experimentando y realizando análisis numérico del efecto de los campos magnéticos sobre los radicales OH⁻ en la difusión de la flama,
- Nabuko I. Wakayama³ cuya investigación está asociada al comportamiento del flujo de gas en presencia de un campo magnético, aunque solo evalúa el aspecto hidráulico,
- Swaminathan Sumathi⁴ estudiando el efecto de los campos magnéticos en el proceso de combustión sobre la difusión de flamas,
- John Baker, Mark E. Calvert⁵ quienes estudiaron las características de la difusión de la flama en toberas ranuradas, en presencia de campos magnéticos y
- S. Ueno⁶ investigando el amortiguamiento de las flamas mediante campos magnéticos.

Al no encontrar literatura asociada a la aplicación de campos magnéticos sobre el combustible, instalados en la tubería previa a la alimentación al quemador, me di a la tarea de realizar algunos experimentos y pruebas en equipos industriales y a buscar el apoyo de algún investigador para encontrar explicaciones bien fundamentadas de los resultados obtenidos. El Dr. Miguel Castro Martínez aceptó esta última parte y también se presentan algunos de los resultados de sus interesantes investigaciones teóricas.

HIPÓTESIS

Al hacer pasar los combustibles, líquido como el diesel o uno gaseoso como el gas natural o el gas licuado del petróleo, a través de campos magnéticos permanentes de gran intensidad (superiores a 50,000 Gauss), inmediatamente antes de ser alimentados al quemador, se produce una activación de las moléculas y se modifican algunas de sus propiedades tales como temperatura de flama, energía liberada y polaridad, dando como consecuencia una mejora en los índices energéticos en equipos de combustión tales como calderas, calentadores a fuego directo y turbinas de gas entre otros. Se considerará como punto de referencia, la operación de estos equipos en igualdad de condiciones con y sin la aplicación de los campos magnéticos mencionados.

OBJETIVO

Con base en la hipótesis anterior, el objetivo de esta tesis es evaluar el impacto de campos magnéticos de alta intensidad en los índices energéticos de calderas, calentadores a fuego directo y turbinas de gas, de tal manera que se confirme que dichos impactos no se deben a otras variables operativas ajenas a los campos magnéticos. Con base en los resultados y en caso de confirmarse dicho impacto, se buscarán algunas explicaciones teóricas bien fundamentadas.

JUSTIFICACIÓN

Si la hipótesis se cumple se podrán obtener índices energéticos que impliquen ahorros superiores al 2% lo que representa una contribución relevante al uso eficiente de la energía, sobre todo en equipos en los que ya se han optimado todas las variables asociadas con la combustión, incluyendo la relación aire combustible y otros sistemas para el ahorro de energía. Además, al lograr disminuir el consumo de combustible, se obtendrá un beneficio ambiental en cuanto a la emisión de gases, ya que estos se reducirán proporcionalmente.

Por las características del equipo es de fácil instalación, ya que los campos magnéticos permanentes se colocan en el interior de una tubería con un diámetro y una longitud adecuados para lograr un tiempo de residencia que permita el contacto eficiente del combustible con los campos magnéticos, mediante un proceso eficiente de centrifugación. El diámetro generalmente es de una o dos unidades comerciales mas grande que el de la tubería transportadora del combustible.

De acuerdo con el costo que representa la instalación de los campos magnéticos permanentes y que no requieren de consumo de energía extra se estima que para ahorros superiores al 2% el retorno de la inversión será aceptable desde el punto de vista económico.

1.0 Magnetismo

Un imán natural está constituido por una sustancia que tiene la propiedad de atraer limaduras de hierro, denominándose a esta propiedad magnetismo o, más propiamente, ferromagnetismo^{12, 13}. El elemento constitutivo más común de los imanes naturales es la magnetita: óxido ferroso férrico, mineral de color negro y brillo metálico que se utiliza como mena de hierro¹⁴.

Un imán artificial es un cuerpo metálico al que se ha comunicado la propiedad del magnetismo, bien mediante frotamiento con un imán natural, bien por la acción de corrientes eléctricas aplicadas en forma conveniente (electroimanación).¹⁶

Un electroimán es una bobina (en el caso mínimo, una espira) por la cual circula corriente eléctrica. Esto genera un campo magnético isomórfico semejante al de un imán de barra.¹⁶

En el interior de la materia existen pequeñas corrientes cerradas debidas al movimiento de los electrones que contienen los átomos, cada una de ellas origina un microscópico imán o dipolo. Cuando estos pequeños imanes están orientados en todas direcciones sus efectos se anulan mutuamente y el material no presenta propiedades magnéticas; en cambio si todos los imanes se alinean actúan como un único imán y en ese caso decimos que la sustancia se ha magnetizado.¹⁵

Para que un imán pierda sus propiedades debe llegar a la llamada "temperatura de Curie" que es diferente para cada composición. Por ejemplo para un imán cerámico es de 450 °C, para uno de cobalto 800 °C, etc.¹⁷. También se produce la desimanación por contacto, cada vez que pegamos algo a un imán perdemos parte de sus propiedades. Los golpes fuertes pueden descolocar las partículas haciendo que el imán pierda su potencia.

La máxima fuerza de atracción de cualquier imán se halla en sus extremos, llamados polos. Un imán consta de dos polos, denominados polo norte y polo sur. Polos iguales se repelen y polos distintos se atraen. Si un imán se rompe en dos partes, se forman dos nuevos imanes, cada uno con su polo norte y su polo sur.¹⁸

Entre ambos polos se crean líneas de fuerza, siendo estas líneas cerradas, por lo que en el interior del imán también van de un polo al otro. Como se muestra en la figura 1.1

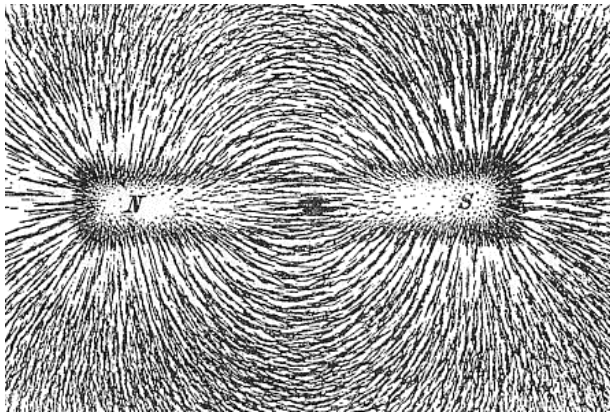


Figura 1.1 Líneas de fuerza magnética

Las fuerzas magnéticas son producidas por el movimiento de partículas cargadas, como por ejemplo electrones, lo que indica la estrecha relación entre la electricidad y el magnetismo¹⁸. El marco que une ambas fuerzas se denomina teoría electromagnética¹⁰.

La manifestación más conocida del magnetismo es la fuerza de atracción o repulsión que actúa entre los materiales ferromagnéticos como el hierro. Desde la antigüedad se ha constatado la interacción entre el hierro o minerales como la magnetita con el campo magnético terrestre, de forma que el polo norte de un imán tiende a apuntar al polo sur de otro¹¹.

En realidad, si se disponen de los instrumentos de medida adecuados, en toda la materia se pueden observar efectos más sutiles del magnetismo (como paramagnetismo y diamagnetismo). Recientemente, estos efectos han proporcionado claves importantes para comprender la estructura atómica de la materia.^{11,18}

El campo magnético es la magnitud vectorial que expresa la intensidad de la fuerza magnética. El campo magnético es creado por cargas eléctricas en movimiento, pero nunca se crea campo magnético en el mismo sentido de la trayectoria de la carga, además las cargas en reposo no originan ningún campo magnético. A diferencia del campo eléctrico, en el campo magnético no existen monopolos magnéticos, sólo dipolos magnéticos, lo que significa que las líneas de campo magnético son cerradas, esto es, el número neto de líneas de campo que entran en una superficie es igual al número de líneas de campo que salen de la misma superficie. Un ejemplo de esta propiedad se observa en las líneas de campo de un imán, donde se puede ver que el mismo número de líneas de campo que salen del polo norte vuelve a entrar por el polo sur, desde donde vuelven por el interior del imán hasta el norte.

El campo magnético es una región del espacio en la que una carga eléctrica puntual que desplazándose a una velocidad v , sufre la acción de una fuerza perpendicular y proporcional a la velocidad y a una propiedad del campo, llamada inducción magnética en este punto¹⁶:

$F = qv \times B$ donde q es la carga eléctrica y B es la inducción magnética.

El módulo del campo magnético B generado por una única carga en movimiento (no por una corriente eléctrica), se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$B = \frac{\mu_0(qv) \times U_r}{4\pi \times r^2}$$

, donde $\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \frac{N}{A^2}$

N: Newtons

A: Amperes

U_r : Vector de fuerza

q : Carga en Coulombs

La unidad del campo magnético en el Sistema Internacional de Unidades es el Tesla, a menudo se emplea el Gauss. Para esta conversión es directa:

$$1 \text{ T} = 10000 \text{ G}$$

1 Tesla equivale a $1 \text{ V}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$, o lo que es lo mismo, $1 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-2}\cdot\text{A}^{-1}$. (Véase unidad derivada del SI).

La existencia de un campo magnético se pone en evidencia por la propiedad localizada en el espacio de orientar un magnetómetro (laminilla de acero imantado que puede girar libremente). La aguja de una brújula, que pone en evidencia la existencia del campo magnético terrestre, puede ser considerada un magnetómetro.

El momento magnético de un elemento puntual es un vector que, en presencia de un campo magnético (inherentemente vectorial), se relaciona con el torque de alineación de ambos vectores en el punto en el que se sitúa el elemento. El vector de campo magnético a utilizarse es B denominado como Inducción Magnética o Densidad de Flujo Magnético cuya magnitud es el Weber por metro cuadrado.

La relación es:

$$\tau = \mu \times B$$

Donde τ es el torque, μ es el momento magnético, y B es el campo magnético. El alineamiento del momento magnético con el campo crea una diferencia en la energía potencial U :

$$U = -\mu \cdot B$$

Uno de los ejemplos más simples de momento magnético es el de una espira conductora de la electricidad, con intensidad I y área A , para el cual la magnitud es:

$$\mu = IA$$

Los electrones y muchos núcleos atómicos también tienen momentos magnéticos intrínsecos, cuya explicación requiere tratamiento mecanocuántico y que se relaciona con el momento angular de las partículas. Son estos momentos magnéticos intrínsecos los que dan lugar a efectos macroscópicos de magnetismo, y a otros fenómenos como la resonancia magnética nuclear.

El momento magnético de espín es una propiedad fundamental de las partículas, como la masa o la carga eléctrica.

Momento magnético μ de algunas partículas elementales		
Partícula elemental	Símbolo	$\mu / (JT - 1)$
Electrón	μ_e	$-9,284.764.12(80) \times 10^{-24}$
Protón	μ_p	$1,410.606.71(12) \times 10^{-26}$
Neutrón	μ_n	$-0,966.236.45(24) \times 10^{-26}$

Los compuestos de los diferentes metales de transición presentan muy diversos momentos magnéticos, pero es posible encontrar un intervalo típico para cada metal en cada estado de oxidación, teniendo en cuenta, por supuesto, si es de espín alto o bajo.

Momentos magnéticos típicos de diversos complejos metálicos, comparados con el momento magnético de espín.		
Metal de transición	$\mu_{eff} / (M.B.)$	$\mu_{es} / (M.B.)$
Vanadio (IV)	1.7-1.8	1.73
Cromo (III)	3.8	3.87
Hierro (III) (espín alto)	5.9	5.92
Manganeso (II) (espín alto)	5.9	5.92
Hierro (II) (espín alto)	5.1-5.5	4.90
Hierro (II) (espín bajo)	0	0
Cobalto (II) (espín alto)	4.1-5.2	3.87
Níquel (II)	2.8-3.6	2.83
Cobre (II)	1.8-2.1	1.73

La susceptibilidad magnética es el grado de magnetización de un material, en respuesta a un campo magnético. La susceptibilidad magnética volúmica se representa por el símbolo χ , y no tiene dimensiones.

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

donde M es la magnetización del material (la intensidad del momento magnético por unidad de volumen) y H es la intensidad del campo magnético externo aplicado.

Si χ es positivo, el material se llama paramagnético (o ferromagnético), y el campo magnético se fortalece por la presencia del material. Si χ es negativa, el material es diamagnético, y el campo magnético se debilita en presencia del material.

La susceptibilidad magnética y la permeabilidad magnética (μ) están relacionadas por la siguiente fórmula:

$$\mu = \mu_0(1 + \chi)$$

donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío.

Se denomina permeabilidad magnética a la capacidad de una sustancia o medio para atraer y hacer pasar a través suyo los campos magnéticos, la cual está dada por la relación entre la intensidad de campo magnético existente y la inducción magnética que aparece en el interior de dicho material.

La magnitud así definida, el grado de magnetización de un material en respuesta a un campo magnético, se denomina permeabilidad absoluta y se suele representar por el símbolo μ :

$$\mu = \frac{B}{H},$$

donde B es la inducción magnética (también llamada densidad de flujo magnético) en el material, y H es intensidad de campo magnético.

La permeabilidad del vacío, conocida también como constante magnética, se representa mediante el símbolo μ_0 y se define como:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N A}^{-2}$$

La permitividad eléctrica - que aparece en la Ley de Coulomb - y la constante magnética del vacío están relacionadas por la fórmula:

$$\epsilon_0 \mu_0 = \frac{1}{c^2}$$

donde c representa velocidad de la luz en el espacio vacío.

Para comparar entre sí los materiales, se entiende la permeabilidad magnética absoluta (μ) como el producto entre la permeabilidad magnética relativa (μ_r) y la permeabilidad magnética de vacío (μ_0):

$$\mu = \mu_r \times \mu_0$$

Los materiales se pueden clasificar según su permeabilidad magnética relativa en:

ferromagnéticos, cuyo valor de permeabilidad magnética es muy superior a 1.

paramagnéticos o no magnéticos, cuya permeabilidad relativa es aproximadamente 1 (se comportan como el vacío).

diamagnéticos, de permeabilidad magnética relativa inferior a 1.

Los materiales ferromagnéticos atraen el campo magnético hacia su interior. Son los materiales que "se pegan a los imanes". Esa propiedad recibe el nombre de ferromagnetismo. Ejemplos de ellos son el hierro y el níquel.

Los materiales paramagnéticos son la mayoría de los que encontramos en la naturaleza. No presentan ferromagnetismo, y su reacción frente a los campos magnéticos es muy poco apreciable.

Los materiales diamagnéticos repelen el campo magnético, haciendo que éste pase por el exterior del material. En general, esta acción diamagnética es muy débil, y no es comparable al efecto que produce el campo magnético sobre los materiales ferromagnéticos. Un ejemplo de material diamagnético es el cobre.

Otro efecto de los campos magnéticos sobre los materiales es el antiferromagnetismo, que resulta en una polarización nula del material, pero produce una ordenación interna de éste.

La magnetización o imanación de un material es la diferencia entre el campo magnético aplicado y la inducción magnética observada. Si la magnetización es positiva, el campo magnético se refuerza en el interior del material (como ocurre en los paramagnetos y en los ferromagnetos, por ejemplo). Si la magnetización es negativa, el campo magnético se debilita en el interior del material (como ocurre en los diamagnetos). En los superconductores, la inducción magnética es nula, así que la magnetización ha de ser siempre de la misma magnitud y dirección que el campo magnético aplicado, pero en sentido inverso.

La inducción electromagnética es el fenómeno que origina la producción de una fuerza electromotriz (f.e.m. o voltaje) en un medio o cuerpo expuesto a un campo magnético variable, o bien en un medio móvil respecto a un campo magnético estático. Es así que, cuando dicho cuerpo es un conductor, se produce una corriente inducida. Este fenómeno fue descubierto por Michael Faraday quién lo expresó indicando que la magnitud del voltaje inducido es proporcional a la variación del flujo magnético (Ley de Faraday).

El paramagnetismo es la tendencia de los momentos magnéticos libres (espín u orbitales) a alinearse paralelamente a un campo magnético. Si estos momentos magnéticos están fuertemente acoplados entre sí, el fenómeno será ferromagnetismo o ferrimagnetismo.

Este alineamiento de los dipolos magnéticos atómicos con un campo externo tiende a fortalecerlo. Esto se describe por una permeabilidad magnética superior a la unidad, o, lo que es lo mismo, una susceptibilidad magnética positiva (y pequeña)⁸.

En el paramagnetismo puro, el campo actúa de forma independiente sobre cada momento magnético, y no hay interacción entre ellos. En los materiales ferromagnéticos, este comportamiento también puede observarse, pero sólo por encima de su temperatura de Curie.

Los materiales paramagnéticos sufren el mismo tipo de atracción y repulsión que los imanes normales, cuando están sujetos a un campo magnético. Sin embargo, al retirar el campo magnético, la entropía destruye el alineamiento magnético, que ya no está favorecido energéticamente⁷.

A campos magnéticos bajos, los materiales paramagnéticos exhiben una magnetización en la misma dirección del campo externo, y cuya magnitud se describe por la ley de Curie:

$$M = C \frac{B}{T}$$

En esta ecuación, M es la magnetización resultante, B es la densidad de flujo magnético del campo aplicado, T es la temperatura absoluta (en Kelvin), y C es una constante específica de cada material (su constante de Curie). Esta ley indica que los materiales paramagnéticos

tienden a volverse cada vez más magnéticos al aumentar el campo aplicado, y cada vez menos magnéticos al elevarse la temperatura.

La ley de Curie sólo es aplicable a campos bajos o temperaturas elevadas, ya que falla en la descripción del fenómeno cuando la mayoría de los momentos magnéticos se hallan alineados (cuando nos acercamos a la saturación magnética). En este punto, la respuesta del campo magnético al campo aplicado deja de ser lineal. Llegado al punto de saturación, la magnetización es la máxima posible, y no crece más, independientemente de que se aumente el campo magnético o se reduzca la temperatura.

El diamagnetismo es una propiedad de los materiales que consiste en repeler los campos magnéticos tanto el polo norte como el sur. El fenómeno del diamagnetismo fue descubierto y nominado por primera vez en Septiembre de 1845 por Michael Faraday.

Generalmente, el diamagnetismo se justifica por la circulación de los electrones en los orbitales doblemente ocupados. Como en un cable de un material conductor, la circulación de los electrones se produce en el sentido en el que el campo magnético que generan se opone al campo aplicado, generando una repulsión (efecto Hall). Por este mismo mecanismo, los superconductores presentan un diamagnetismo extraordinariamente alto.

Experimentalmente, se verifica que los materiales diamagnéticos tienen una permeabilidad magnética inferior a la unidad, y una susceptibilidad magnética negativa, prácticamente independiente de la temperatura, y generalmente del orden (en unidades cegesimales) de

$10^{-6} \cdot \frac{M}{2}$ e.m.u./mol, donde M es la masa molecular. En muchos compuestos de coordinación se obtiene una estimación más exacta utilizando las tablas de Pascal. Materiales diamagnéticos son por ejemplo: bismuto, grafito, plata, agua. El grafito piro lítico, que tiene un diamagnetismo especialmente alto, se ha usado como demostración visual, ya que una capa fina de este material levita (por repulsión) sobre un campo magnético lo suficientemente intenso (a temperatura ambiente).

En 1847 Faraday¹⁷ observó que los campos magnéticos pueden influir en el desarrollo de una flama. De modo tal que un campo magnético no uniforme es capaz de distorsionar la forma de la misma. Inclusive fue posible demostrar que se tienen cambios apreciables en la luminosidad de la flama si se sitúa en el dominio de un campo magnético. Faraday intentó explicar este comportamiento afirmando que en la flama se tiene la presencia de especies químicas gaseosas magnéticas como diamagnéticas.

Recientemente Eisuke Yamada² encontró que un incremento en la fuerza de los campos magnéticos uniformes produce un incremento en la intensidad de emisión de los radicales OH•. Esta afirmación fue confirmada por otros investigadores.

Entonces, la interrelación entre el incremento de la intensidad magnética y el desarrollo de la combustión en la flama es todavía un campo en investigación. El efecto importante de estos campos magnéticos es la influencia sobre la temperatura efectiva de la flama, de modo tal que esta se acerca al valor teórico de la flama adiabática. En este sentido se presenta como una explicación razonable a este fenómeno que la flama se deforma de modo que se tenga una configuración de menor energía en el campo magnético. Se afirma que

1.0 Magnetismo

dada la naturaleza paramagnética del oxígeno y diamagnética de los productos de combustión son elementos que contribuyen a alcanzar esta configuración. Se considera que el oxígeno se concentra en la región de mayor gradiente magnético, fenómeno que se ha denominado presión magnética que es la responsable de la reconfiguración de la flama.

2.0 Planteamiento del problema

Una condición fundamental, alrededor de la cual gravita la dependencia tecnológica de este país, es precisamente el desarrollo de nuevas tecnologías. Estos desarrollos deben ser el resultado de la participación de los diferentes sectores de la sociedad mexicana. Principalmente, las instituciones de educación superior, los empresarios y el gobierno. En el momento que estos tres componentes se integran en armonía se obtienen resultados satisfactorios.

En este sentido se enmarca este trabajo donde se aborda precisamente el desarrollo y validación de una propuesta tecnológica innovadora. Aquí se toma un producto tecnológico desarrollado completamente por mexicanos, se pondera su factibilidad técnica a través de un análisis fundamental de los principios físicos, de pruebas a nivel planta piloto, para posteriormente hacer el montaje a escala industrial. Este resultado es un muy buen ejemplo de la colaboración de una institución de educación superior, como lo es la Facultad de Química, con un inventor independiente y donde se obtiene una relación fructífera que aporta una solución con tecnología nacional, que permite hacer más eficientes, energéticamente hablando, a las industrias nacionales que estén interesadas en adquirir este tipo de tecnologías. Esto produce una sinergia que impulsa el desarrollo de las componentes antes mencionadas.

Como se ha explicado, como una parte de los objetivos de este trabajo se encuentra la evaluación de un dispositivo en donde se aplican los principios magnéticos planteados en el capítulo 1. Este dispositivo se denomina “Fuel Energy Saver” (FES, “Dispositivo Ahorrador de Combustible”) y es un dispositivo cuya propiedad industrial está protegida por una patente nacional y una internacional. Por esta razón no es posible describir de en forma explícita, la estructura ni la composición interna de este dispositivo. De hecho, esta discusión se circunscribe a lo que formalmente está permitido por el propietario de las patentes mencionadas.

A continuación se hace una recopilación de los datos que presenta el inventor del dispositivo, los cuales se analizarán posteriormente en términos de un diseño experimental a nivel planta piloto y a escala industrial.

2.1 El dispositivo FES desde el punto de vista del inventor

El dispositivo FES es un producto desarrollado por técnicos mexicanos, hecho en México, con calidad total y de alta tecnología. Cuenta con adelantos sustanciales, los cuales permiten, en un corto periodo de tiempo, obtener resultados significativos garantizando un 10% en el ahorro de combustibles y hasta un 40% en la disminución de contaminantes. Se han instalado más de 2000 dispositivos a más de trescientos cincuenta clientes satisfechos.

Este dispositivo presenta las siguientes Ventajas:

- Periodo de amortización inferior a un año.
- Reducción de la emisión de contaminantes de hasta 40%.
- Su instalación es simple y no requiere modificación en el sistema de producción.
- Aplicable a cualquier equipo (Calderas, Calentadores, Hornos, etc.).
- Incrementa la temperatura de la flama.

2.0 Planteamiento del Problema

- No necesita mantenimiento.

El fabricante ofrece la siguiente garantía:

- 10% mínimo en el ahorro de combustible o la devolución de su dinero.
- Un año contra defectos de fábrica y de funcionalidad.
- Seis años de productividad.
- Ocho años de investigación.

El desarrollador explica el funcionamiento del dispositivo en los siguientes términos:

“Al instalar un dispositivo la flama del quemador se hace eficiente y por lo tanto genera mayor temperatura con el mismo consumo de gas. Al regular esta temperatura a la que se tenía antes de poner el dispositivo, se logra el ahorro de combustible. En caso de hornos, calderas, etc., son sistemas automáticos de control de temperatura, esta acción dará por si sola”.

Además, presenta lo siguiente como el principio técnico del dispositivo:

“Con un campo magnético podemos incrementar la energía interna del combustible, causando cambios específicos a escala molecular, incrementando la energía interna para optimizar la combustión. Las moléculas fluyen libremente y se unen al oxígeno más fácilmente permitiendo una mejor ignición. La ionización implica que el combustible adquiera una carga de moléculas de igual carga y las moléculas de igual carga se repelen unas con otras, lo que hace que el combustible se disperse eficazmente. Si el aire se lleva una polaridad contraria, el combustible y el aire se combinan más rápido de lo normal, quemándose completamente, produciendo una economía y por consecuencia reduciendo las emisiones contaminantes”.

Se explican además los beneficios económicos siguientes:

- *“Una de las bondades más importantes de éste sistema es el rendimiento económico como se podrá ver a continuación. Como premisas financieras tenemos el “retorno de la inversión y el costo-beneficio”.*
- *“El retorno de la inversión fluctúa entre los 5 y 8 meses, dependiendo de la cantidad de dispositivos que se instalen en el sistema, así como del tipo de combustible.”*
- *“El costo-beneficio variará de 10 a 15:1, lo que significa que por cada peso que se invierta ganan de 10 a 15 pesos. Los datos mencionados son para un ahorro mínimo del 10% que es nuestro compromiso. La media de ahorro es del 15 al 18%, lo que hace que el tiempo de recuperación y el retorno mejore sustancialmente.”*

Para el caso en que los interesados deseen adquirir este producto se establecen estos requerimientos:

“Para poder presentar una cotización, se necesita lo siguiente”:

- *“Mediciones previas de sus consumos y producción de tres meses”*
- *“Visitas al lugar donde se instalará el dispositivo, ya que se necesita conocer las medidas, tren de válvulas, tipos de equipo, número de quemadores, etc.*
- *Posteriormente, una vez aceptada ésta, firmar un contrato/pedido, en el cual se indicará las condiciones de venta, tiempo de entrega, etc.”*

2.0 Planteamiento del Problema

El tecnólogo explica como criterio de demostración de ahorro lo siguiente:

“La mejor forma de demostrar el ahorro con el dispositivo, es utilizando un índice energético, así evitamos el comprar días sin producción, etc. El índice energético es producción-final/consumo de combustible, o viceversa.”

Ahora bien, el inventor y desarrollador se ha enfrentado con una barrera al momento de ofrecer su producto ante los industriales que están interesados. Esta consiste en la desconfianza que genera la novedad y la naturaleza física del mismo producto. Se tiene desconfianza pues se considera que se puede estar ante un producto de un charlatán.

Por este motivo, el desarrollador recurre al suscrito quién con el apoyo de la Facultad de Química y más precisamente al Departamento de Ingeniería Química, acepta la realización de las pruebas para que sea emitido un dictamen técnico imparcial sobre su desarrollo. Debe considerarse que asiste el derecho de no revelar la configuración del dispositivo en los términos que señala la propiedad intelectual del mismo.

Sensible a esta situación y preocupado por impulsar el desarrollo tecnológico en este país, diseñé un mecanismo de validación para comprobar y de este modo emitir un fallo técnico, considerando las restricciones mencionadas.

2.2 Planteamiento de la evaluación técnica del dispositivo FES

La primera evaluación que se efectúa fue desarrollada en el generador de vapor instalado en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química. La capacidad de este generador de vapor es de 940 kg/hr y utiliza diesel como combustible, más adelante se presenta la ficha técnica del equipo. El dispositivo FES fue instalado en la línea de alimentación del combustible (diesel) procurando situarlo lo más cerca posible del quemador del generador de vapor. El resultado inmediato que se pudo observar fue el incremento de entre 5 y 11% de producción de vapor por kilogramo de diesel alimentado. Estos resultados provocaron el diseño de dos experimentos adicionales con el fin de obtener más información y así tener elementos de juicio suficientes para emitir una opinión válida y tratar de explicar él por qué de este incremento en la producción de vapor. Cabe señalar que en uno de estos experimentos se estudio la temperatura de la flama y en el otro la composición de los gases de combustión.

Especificaciones del generador de vapor:

- Fabricante: Cleaver Brooks
- Tipo: calentador de tubos de humo
- Capacidad: 940 kg / hr
- Presión de diseño: 10.5 kg / cm²
- Presión de operación: 5.5 kg / cm²
- Combustible: diesel

2.0 Planteamiento del Problema

2.3 Consideraciones aplicadas al diseño de la prueba:

1. El flujo del diesel se determina por medio de la diferencia de alturas que se tienen en un tanque de depósito.
2. El flujo de agua de alimentación se determina por la diferencia de alturas en un tanque de depósito.
3. La temperatura se determina por medición directa en la línea de alimentación utilizando un indicador de temperatura.
4. La presión del vapor se mide por medio de un manómetro localizado en la línea de salida de vapor.
5. Se determina la temperatura de los gases de combustión en el tiro de la chimenea.
6. El control de flujo de aire se lleva a cabo fijando la posición de la compuerta del ventilador.
7. Las válvulas de alivio o de escape fueron cerradas durante la prueba.
8. Se mantuvieron las mismas condiciones de operación en la red de vapor cuando se realizaron las pruebas con y sin el dispositiv.
9. Las instrucciones de operación y de seguridad del equipo fueron estrictamente obedecidas a lo largo de la prueba.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama con la localización de los medidores y en la figura 2.2 una fotografía de las instalaciones correspondientes.

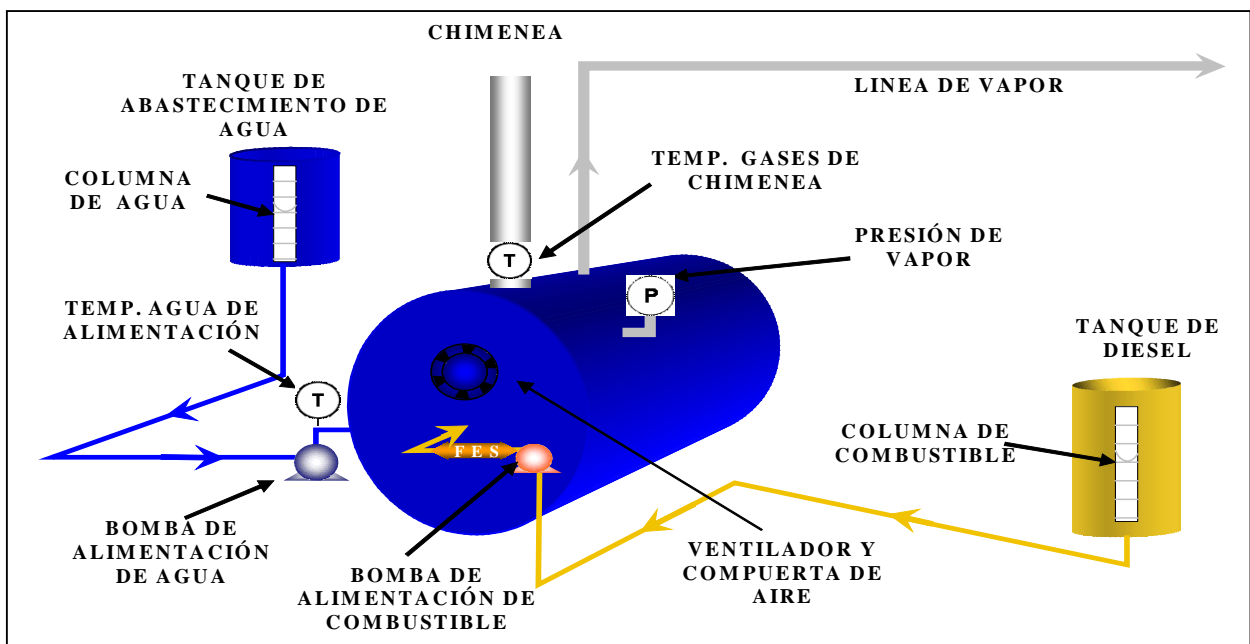


Figura 2.1. Diagrama de localización de medidores.

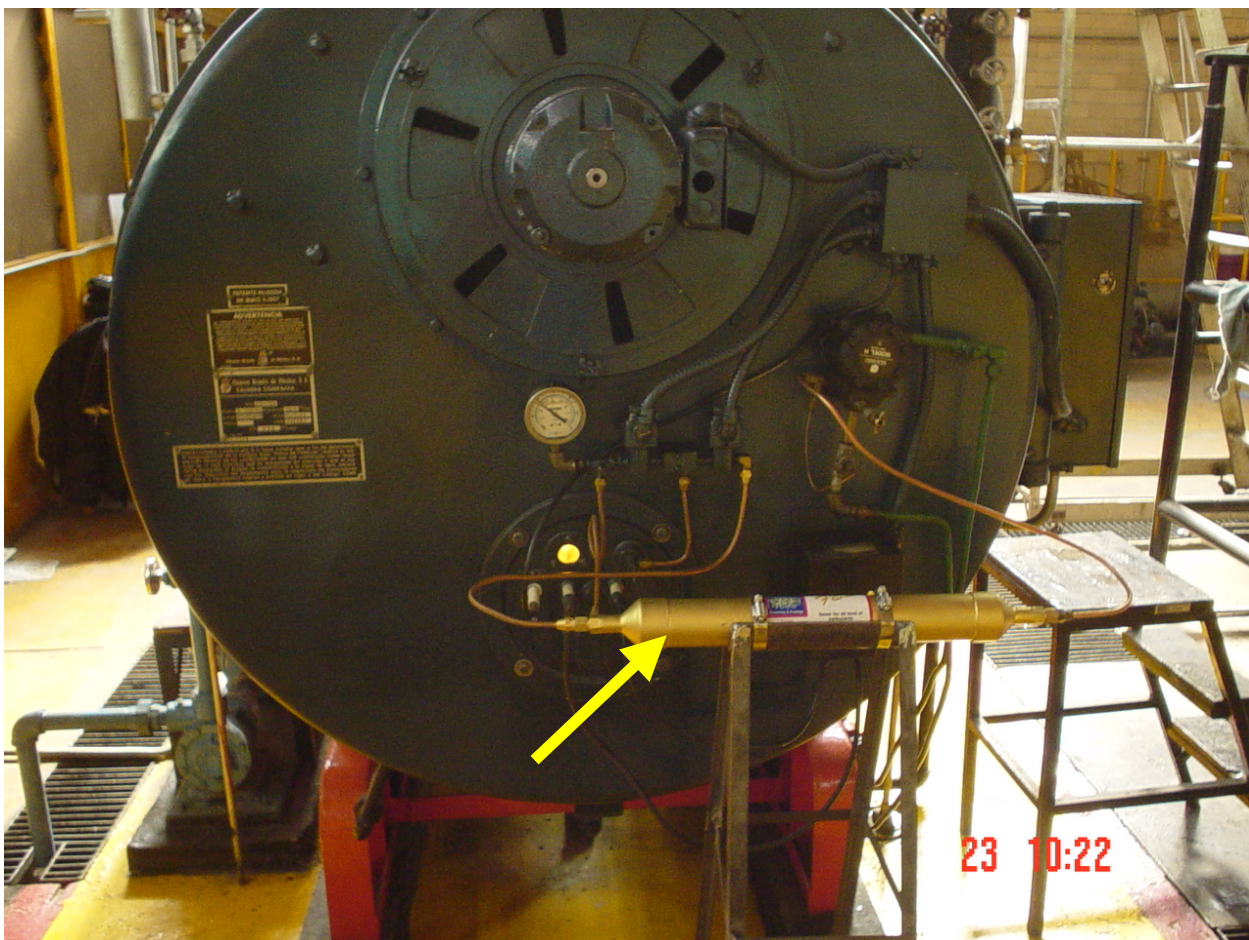


Figura 2.2 Fotografía de las instalaciones.

2.4 Descripción de las pruebas realizadas en la caldera

Se propuso realizar las pruebas en condiciones lo más equivalentes posibles, por lo que se decidió realizar las mediciones el lunes, martes y miércoles de la semana del 16 al 22 de agosto de 2004 sin FES, durante 5 horas por día y los mismos días con FES en la semana del 23 al 29 de agosto del mismo año, tomando en cuenta que en ambos casos la caldera estuvo fuera de operación el sábado y domingo correspondientes. Los resultados obtenidos se muestran en la figura 2.3.

La comparación de resultados se realizó mediante la relación de vapor producido por litro de combustible.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del lunes 16 y lunes 23 de agosto a las mismas condiciones de operación sin y con FES, respectivamente.

También se propusieron otras pruebas para analizar el comportamiento de la producción de vapor respecto a la operación alternada de la caldera con y sin dispositivo de ahorro de energía. Estas pruebas se realizaron sin dispositivo el 7 y 9 de septiembre y con dispositivo el 8 y 10 de

2.0 Planteamiento del Problema

septiembre. Los resultados obtenidos de estas pruebas se presentan en la figura 2.4. Estas pruebas no se realizaron por más tiempo debido a la necesidad de vapor en el laboratorio, lo cual limitó a trabajar en igualdad de condiciones.

Cabe señalar que a partir del 30 de agosto iniciaron las prácticas del Laboratorio de Ingeniería Química y se consideró conveniente operar la caldera con FES en este lapso de tiempo, para que se estabilizara su funcionamiento.

Los resultados que se muestran en la figura 2.5 corresponden a la comparación de los días 24 de agosto y 9 de septiembre.

En los resultados obtenidos del análisis para estas pruebas se observa que la producción de vapor por litro de combustible se incrementó con el dispositivo FES de un 5 a un 12% una vez estabilizada la caldera.

2.5 Pruebas para ver el efecto del FES sobre la temperatura y composición de los gases

Descripción de las pruebas para temperatura

Se diseñó el experimento tomando como base la instalación del equipo FES en una tubería previa a la alimentación de gas a un mechero Bunsen, en paralelo con otra línea de alimentación de gas a otro mechero Bunsen sin FES. Ambas tuberías fueron alimentadas con el mismo gas proveniente de un tanque de almacenamiento. Se instaló también un sensor de temperatura en la flama de cada mechero, un medidor de flujo en cada línea de suministro y medidores de presión. En la figura 2.6 se muestra el diagrama de las instalaciones.

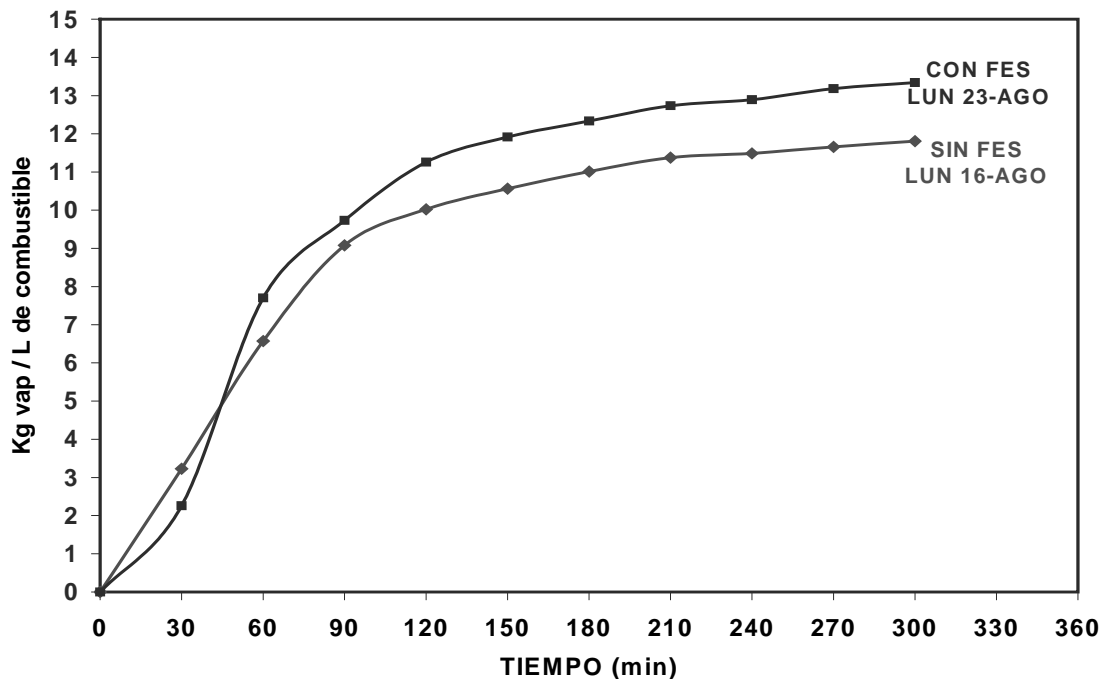


Figura 2.3. Producción de vapor por litro de combustible lunes 16 y 23 de Agosto.

2.0 Planteamiento del Problema

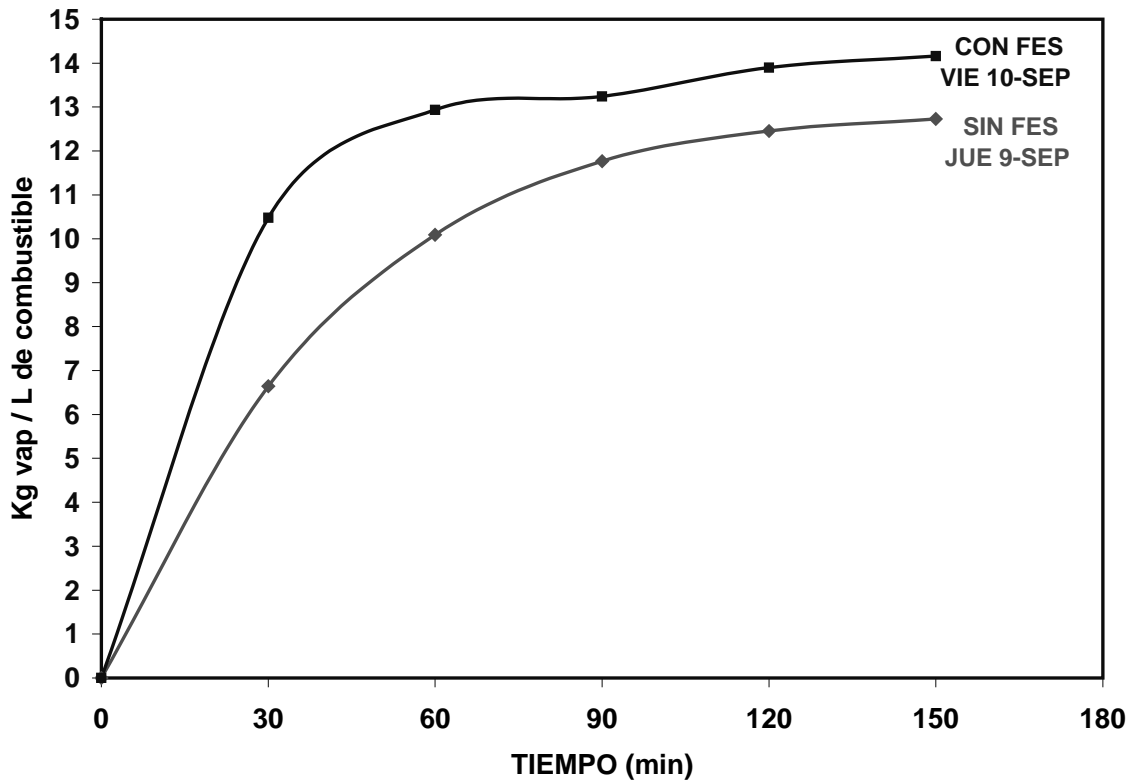


Figura 2.4. Producción de vapor por litro de combustible jueves 9 y viernes 10 de Septiembre.

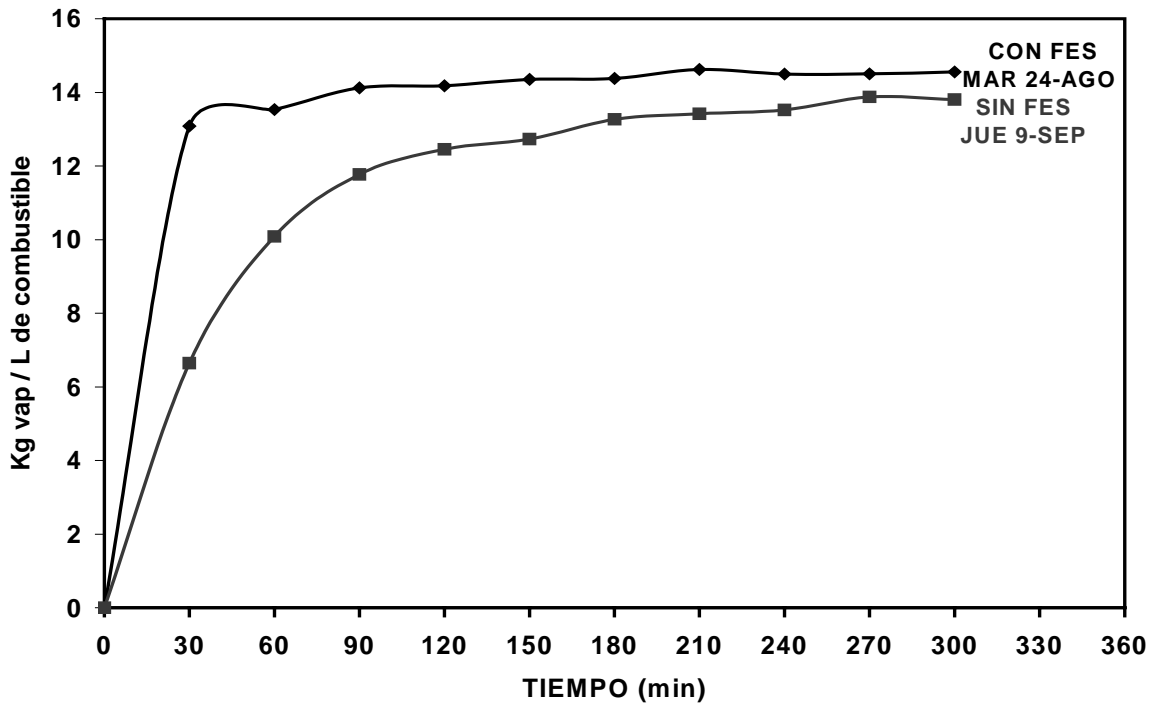


Figura 2.5. Producción de vapor por litro de combustible martes 24 de Agosto y jueves 9 de Septiembre.

2.0 Planteamiento del Problema

Los mecheros, las válvulas de suministro de gas a estos, los medidores de temperatura y flujo son del mismo modelo y marca respectivamente. La entrada de aire se calibró con un Vernier digital para asegurar que fuera la misma para ambos mecheros.

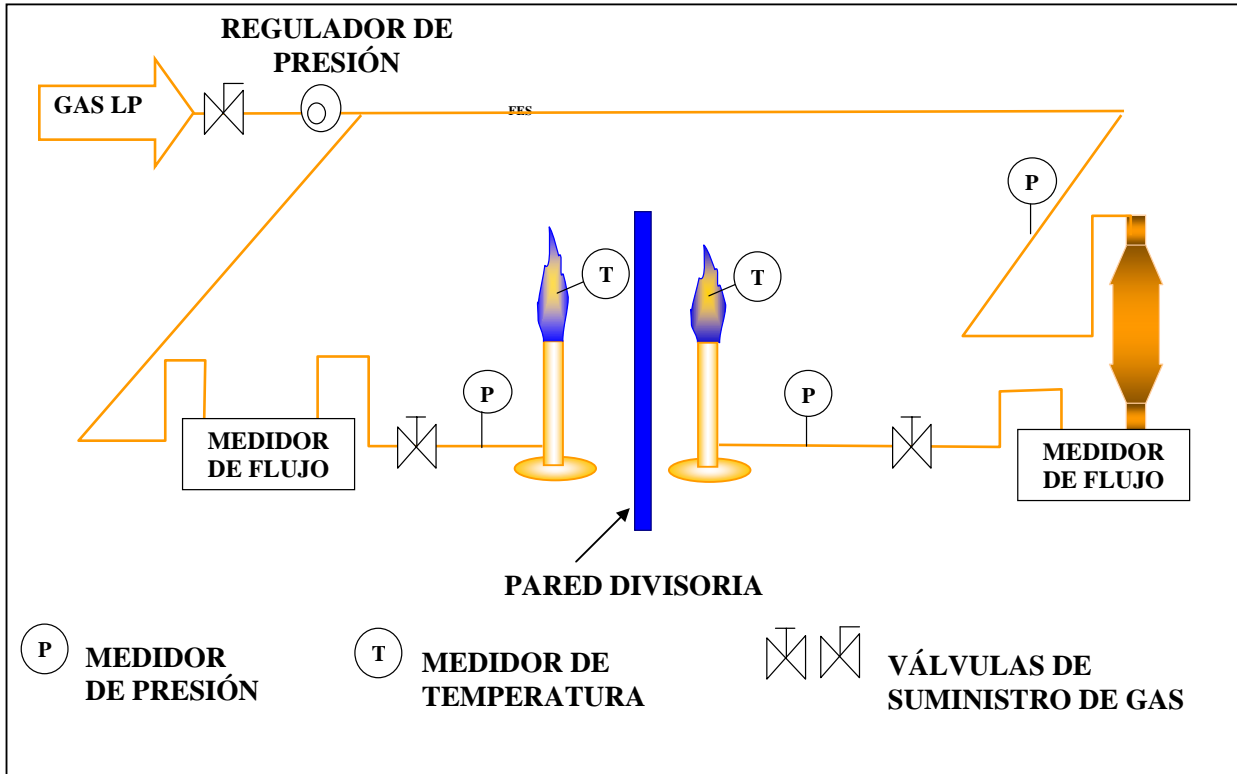


Figura 2.6. Diagrama de localización de medidores.

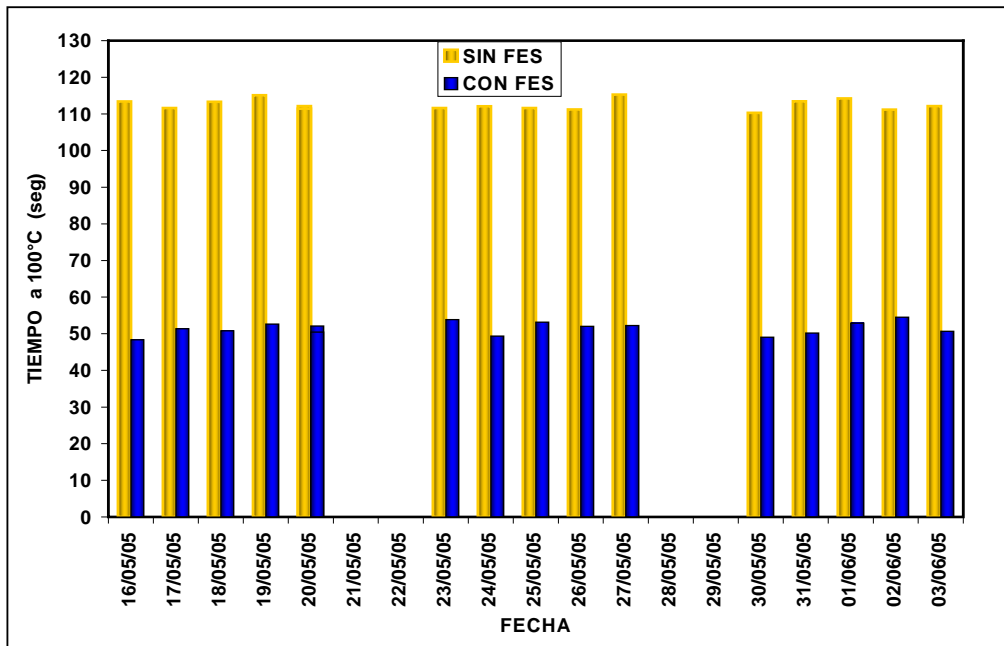


Figura 2.7. Tiempo para alcanzar 100°C

2.0 Planteamiento del Problema

Para comprobar la igualdad en el consumo de Gas LP, se encendieron simultáneamente los mecheros manteniendo sus respectivas válvulas totalmente abiertas durante un periodo de tiempo, logrando tener de esta forma igualdad de condiciones.

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

1. Medición de tiempo para alcanzar 100°C
2. Temperatura máxima alcanzada con el mismo consumo
3. Consumo a temperaturas iguales durante un periodo de tiempo

La figura 2.7 muestra el tiempo que tardó cada mechero en alcanzar 100°C.

Se puede notar que con FES se logra alcanzar 100°C en aproximadamente la mitad de tiempo que sin FES

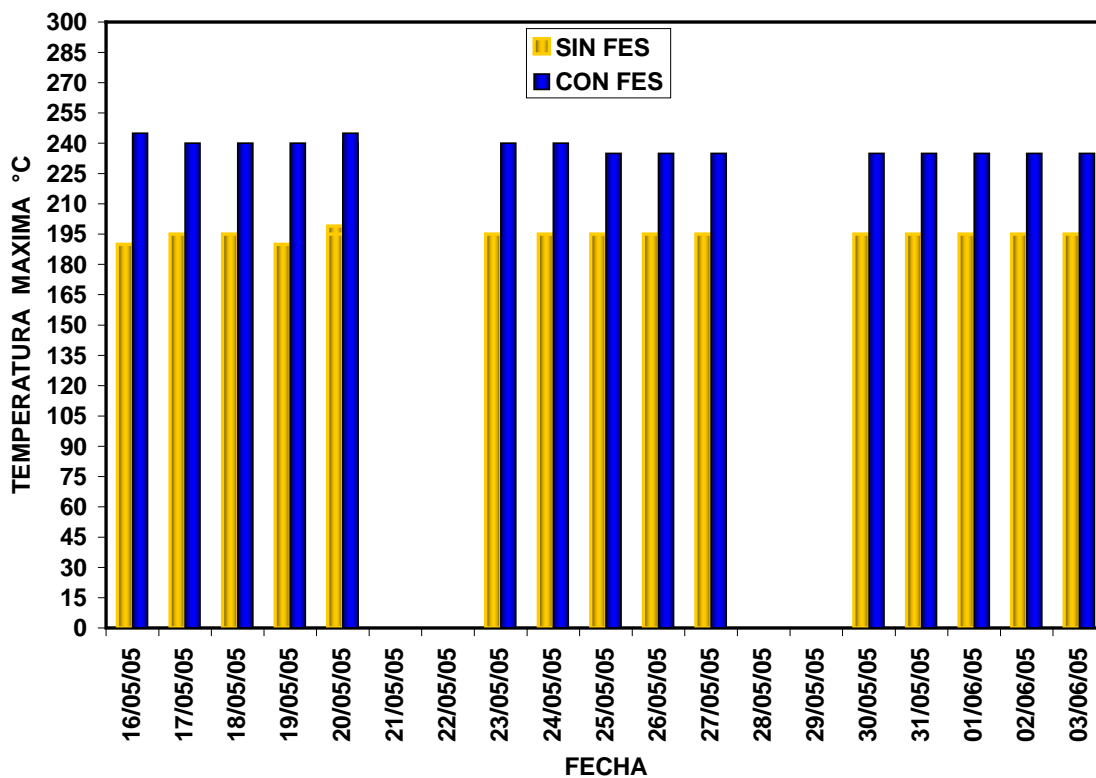


Figura 2.8. Temperatura máxima a un mismo consumo.

2.0 Planteamiento del Problema

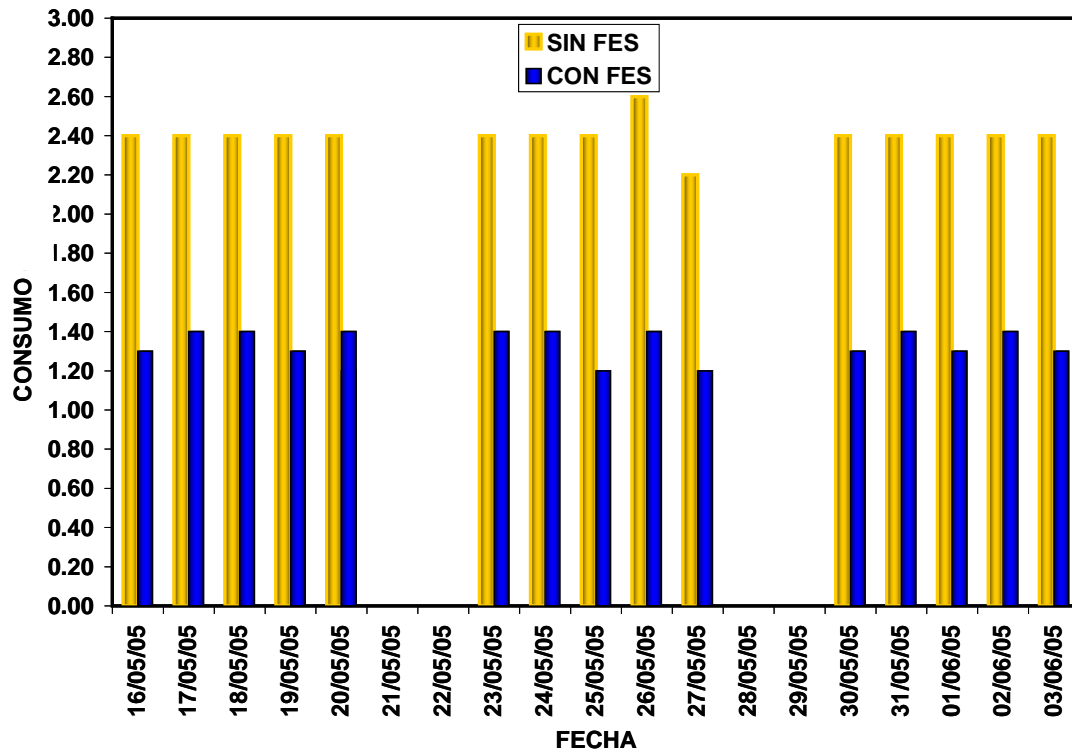


Figura 2.9. Consumos a igualdad de temperaturas.

Una vez registrado lo anterior, se dejó que los mecheros se estabilizaran y alcanzaran su temperatura máxima, verificando la igualdad de consumos; los resultados se muestran en la figura 2.8.

Podemos observar que existe un incremento en la temperatura del mechero con FES en promedio de 45°C con respecto al otro mechero.

El siguiente paso fue igualar la temperatura de la flama de los mecheros cerrando la válvula de suministro de GAS LP de la línea de FES y dejando estabilizar el sistema. Los consumos obtenidos a igualdad de temperaturas son mostrados en la figura 2.9.

Los resultados muestran que el consumo de gas con FES es 45% menor en promedio, que sin el equipo.

Además de los resultados obtenidos en este sistema, en la flama del mechero con FES, se observa un cambio en el color y una forma más definida.

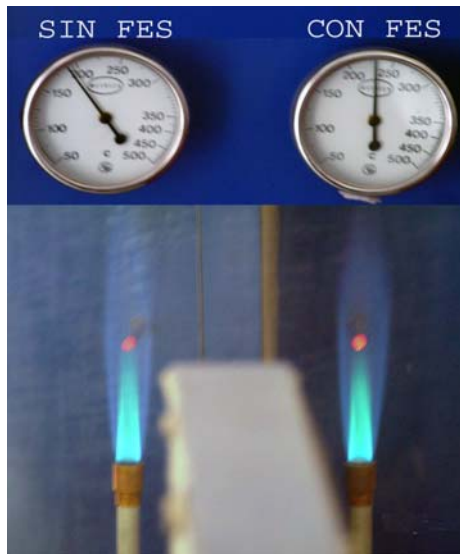


Figura 2.10. Fotografía de las flamas y temperaturas alcanzadas con un mismo consumo de gas.

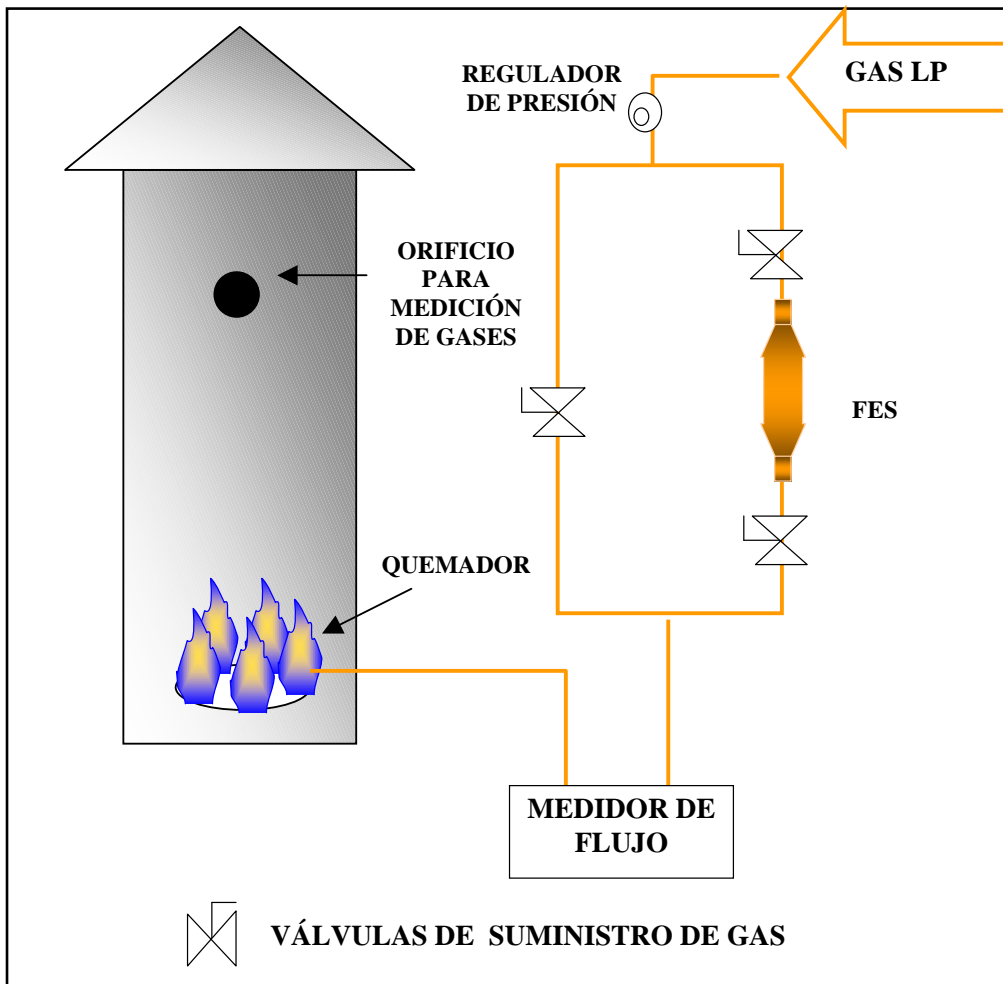


Figura 2.11. Instalaciones para experimento de composición de gases.

2.6 Análisis de la composición de los gases de combustión.

Descripción de las pruebas.

En este experimento se instaló una tubería de alimentación de gas a un quemador, situado dentro de un ducto cuadrado tipo chimenea, con un pequeño orificio para medir la composición de los gases producto de la combustión con y sin FES. Este sistema cuenta con una serie de válvulas que permiten cambiar de arreglo con y sin FES. Los gases de combustión se midieron con un analizador portátil. En la figura 2.11 se muestra el diagrama de las instalaciones.

La prueba consistió en encender el quemador con FES y dejar pasar un periodo de tiempo razonable para que se estabilizara, una vez logrado ésto se introdujo la sonda del analizador y se almacenaron las composiciones de oxígeno (O₂), bióxido de carbono (CO₂), exceso de aire y temperatura de en el hogar, posteriormente se realizó el mismo procedimiento pero sin el dispositivo, repitiendo este procedimiento de manera alternada con y sin FES.

Los resultados de la composición de gases producto de la combustión se muestran en las figuras 2.12, 2.13 y 2.14, la temperatura alcanzada en el hogar del sistema se muestra en la figura 2.15.

Estos resultados, indican que con el equipo FES se presenta un mejor aprovechamiento del aire para la combustión, ya que se reduce en promedio la cantidad de oxígeno (O₂) en 10% y el exceso de aire en 16% y se incrementa la cantidad de bióxido de carbono en 8%. Este mejor aprovechamiento de aire así como el incremento del CO₂, se traduce en la disminución de monóxido de carbono CO, el cual oscilaba en un rango de 0 a 2 ppm.

Por último la temperatura en el hogar resultó ser mayor con FES un 5% en promedio.

Conclusiones

Con base a las pruebas realizadas por el suscrito en el Laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la UNAM, se puede aseverar que el dispositivo FES, incrementa la temperatura de flama, reduce la emisión de contaminantes y permite obtener una mayor producción de vapor en la caldera de la Facultad de Química, con el mismo consumo de combustible.

Los resultados obtenidos a nivel laboratorio, son indicadores de lo que se puede obtener a escala industrial, por lo que se procederá a realizar pruebas en caldera, turbinas de gas y calentadores a fuego directo de gran capacidad, para analizar los resultados obtenidos a escala industrial.

2.0 Planteamiento del Problema

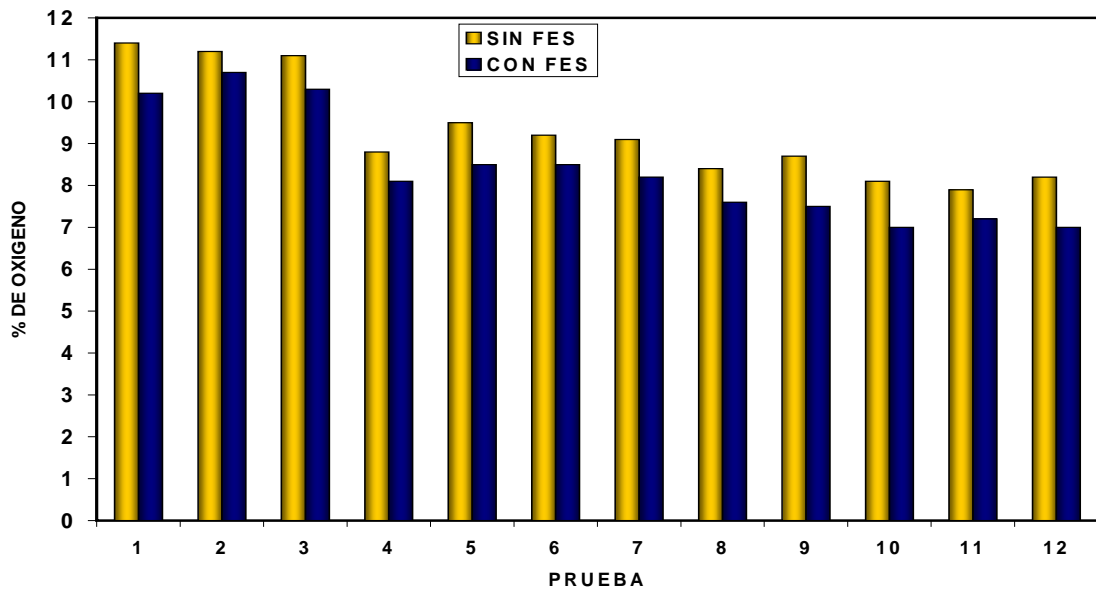


Figura 2.12. Porcentaje de Oxígeno.

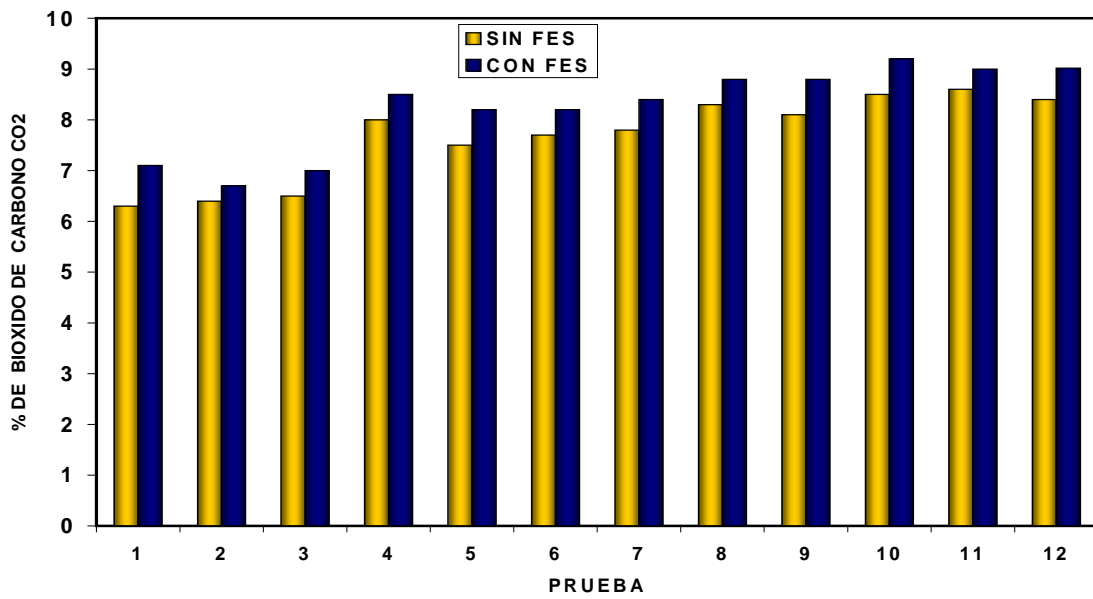


Figura 2.13. Porcentaje de CO2.

2.0 Planteamiento del Problema

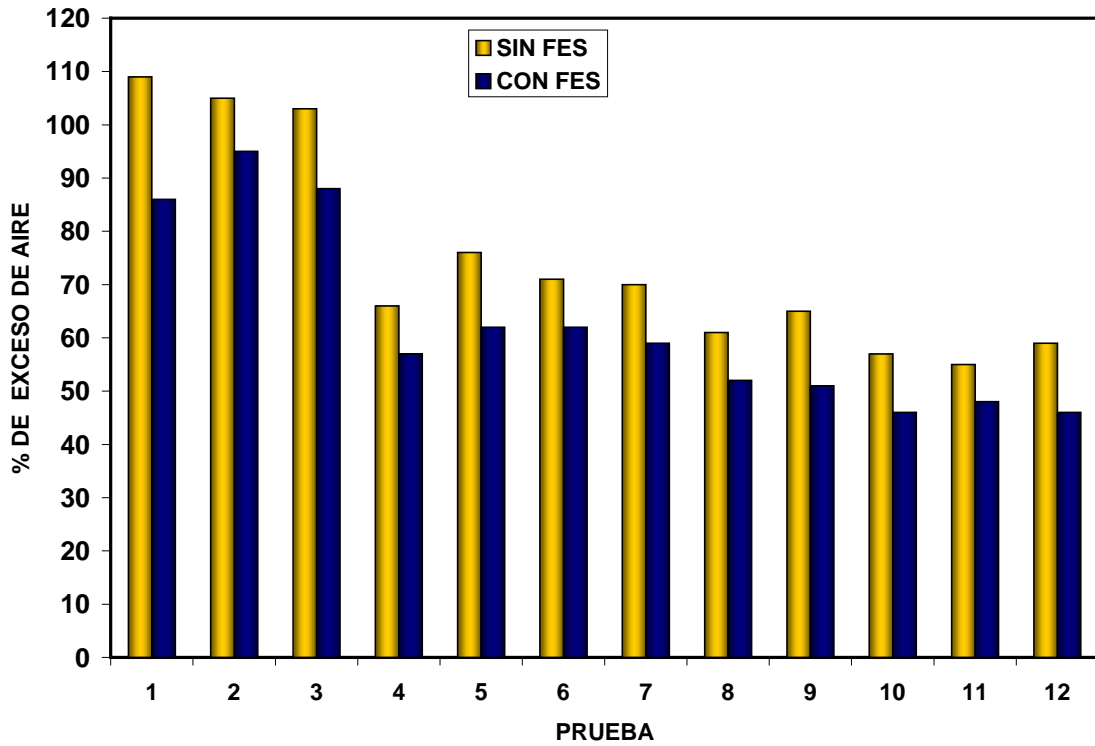


Figura 2.14. Porcentaje de aire en exceso.

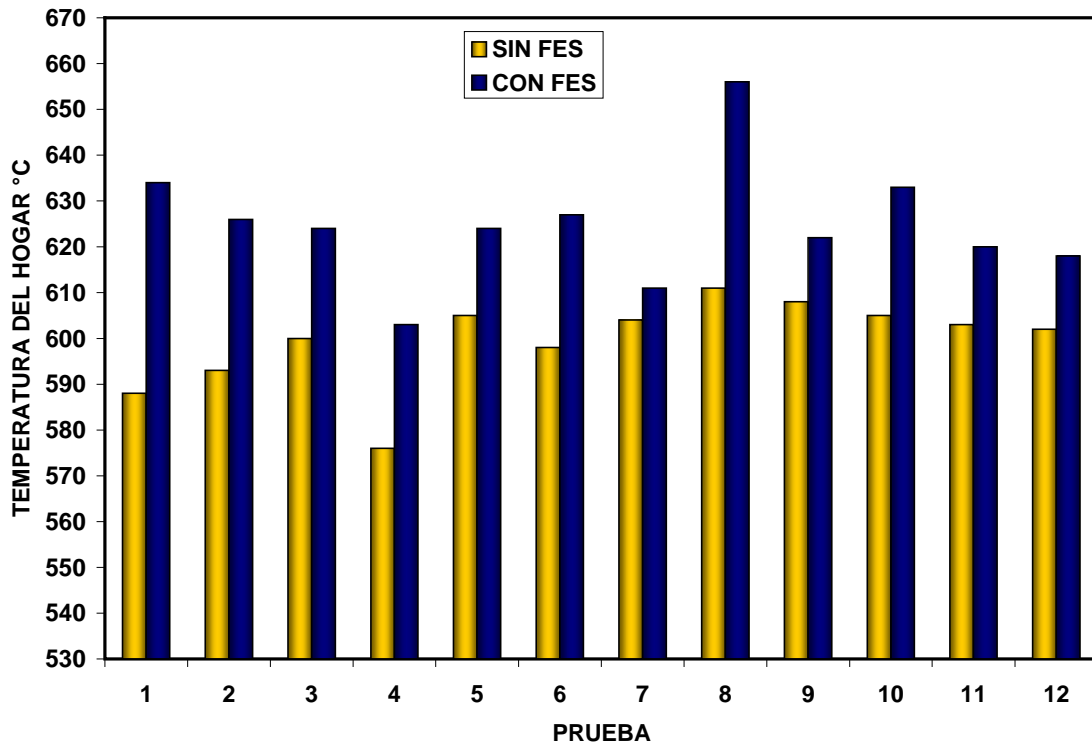


Figura 2.15. Temperatura en el hogar.

3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

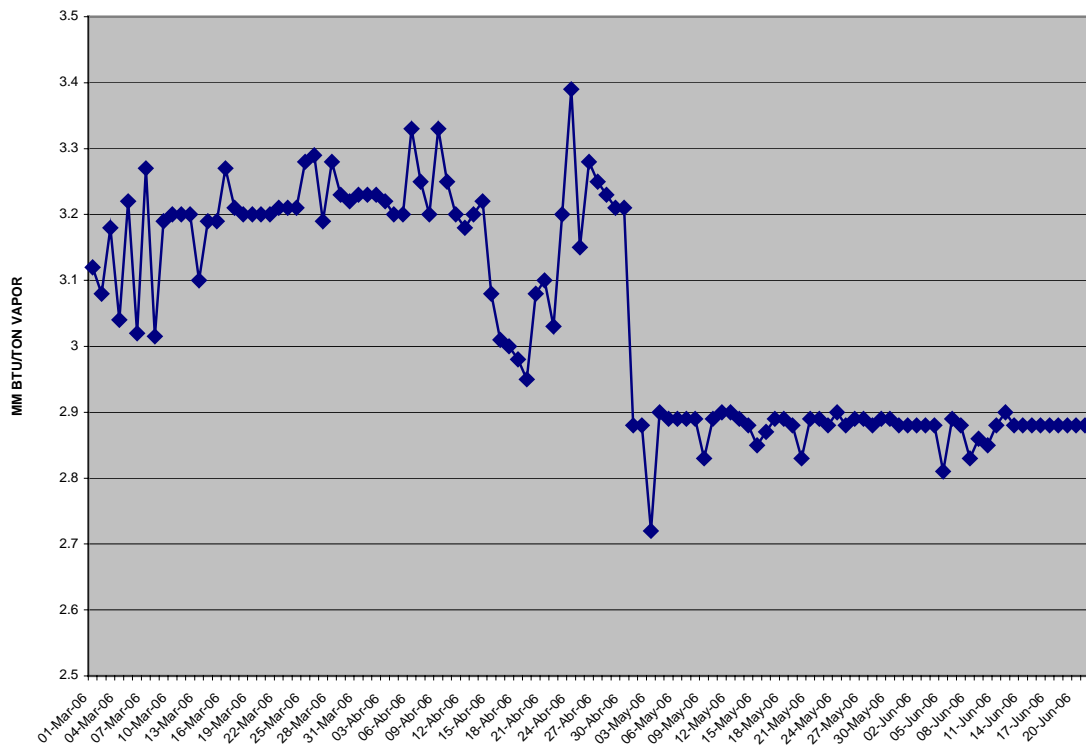
3.1 CALDERA

Se instalaron seis dispositivos FES, uno para cada quemador, en una caldera con capacidad para 200 Ton/hr de vapor con una presión de 650 psig y 800 °F. Los datos de operación considerados como punto de comparación, comprenden el periodo del 01 de marzo al 30 de abril de 2006 sin el dispositivo FES y del 03 de mayo al 20 de junio de 2006 con el dispositivo instalado.

El parámetro empleado corresponde al índice evaluado por el cociente del consumo de combustible expresado en millones de unidades térmicas británicas por hora (Btu/hr), entre las toneladas por hora de vapor generado. Los datos graficados en la Fig. 3.1 muestran un ahorro de aproximadamente 10 % ya que el índice con el dispositivo FES fue sensiblemente menor.

Figura. 3.1

INDICE MARZO-ABRIL SIN FES Y MAYO JUNIO CON FES 2006
CALDERA 200 TON/HR

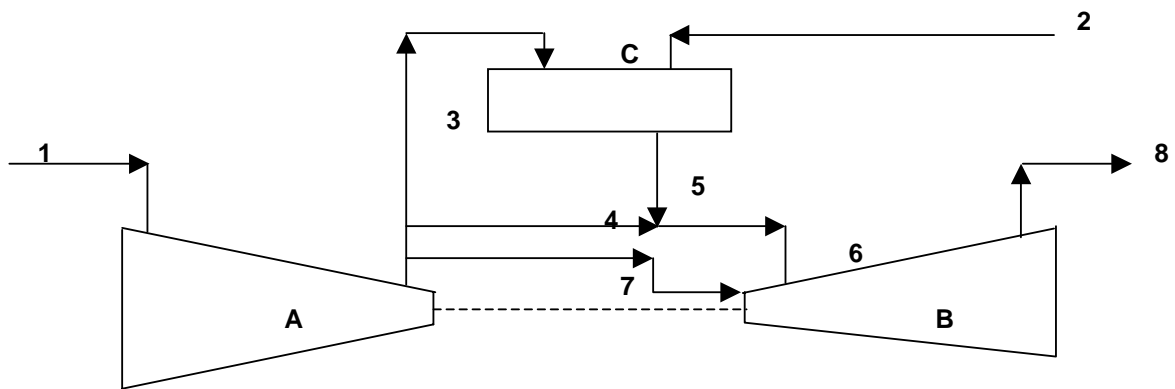


3.2 TURBINA DE GAS

La aplicación del dispositivo ahorrador de energía en una turbina de gas con ciclo simple, presenta serios retos tomando en cuenta las características de operación de la misma, las cuales se explican a continuación.

Primeramente en el siguiente esquema se muestran las principales corrientes de flujo:

Figura.3. 2 ESQUEMA DE OPERACIÓN DE LA TURBINA



Corrientes:

- 1: Aire ambiente alimentado al compresor
- 2: Combustible
- 3: Aire para la combustión
- 4: Aire para enfriamiento de gases de combustión y control de temperatura de entrada a turbina de gas
- 5: Gases de combustión que salen del combustor
- 6: Mezcla de aire frío y gases de combustión alimentados a la turbina de gas
- 7: Aire para enfriamiento de partes mecánicas de la turbina de gas
- 8: Gases de escape de la turbina, descargados a la atmósfera

Equipos:

- A: Compresor de aire acoplado a la flecha de la turbina
- B: Turbina de gas
- C: Combustor

3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

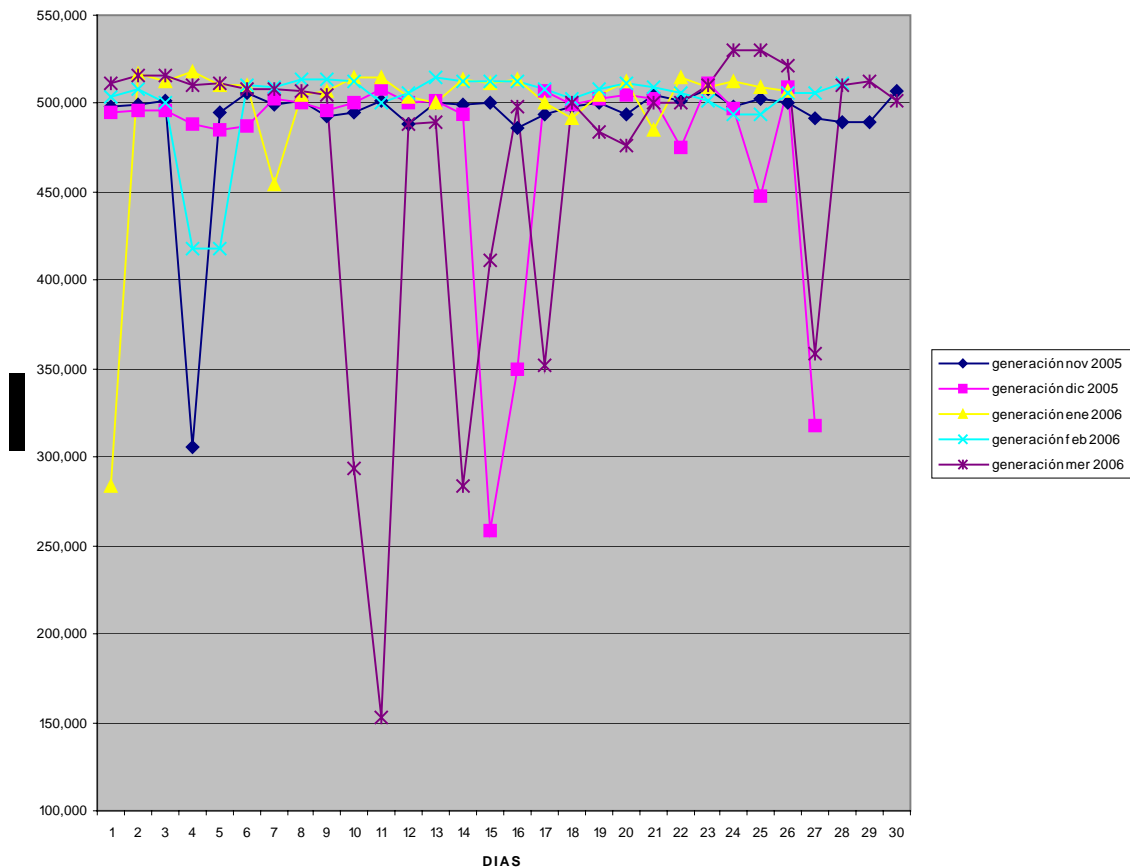
Las características más importantes de la turbina son:

COMBUSTIBLE		GAS NATURAL
GENERACIÓN DE DISEÑO	KW	26790
ÍNDICE DE CONSUMO	BTU/KW-HR	12350
CONSUMO ENERGÉTICO	MM BTU/HR	330.9
FLUJO DE AIRE DE DISEÑO	LBS/HR	951800

Se elaboró un protocolo de pruebas en el que se consideró operar la turbina sin el equipo FES durante los meses de noviembre y diciembre de 2005 y con el equipo FES instalado durante los meses de enero a octubre de 2006. Al final del periodo se realizarían las evaluaciones para determinar el impacto del equipo en los índices de consumo (BTU/KW-HR.). Las gráficas siguientes muestran los resultados obtenidos.

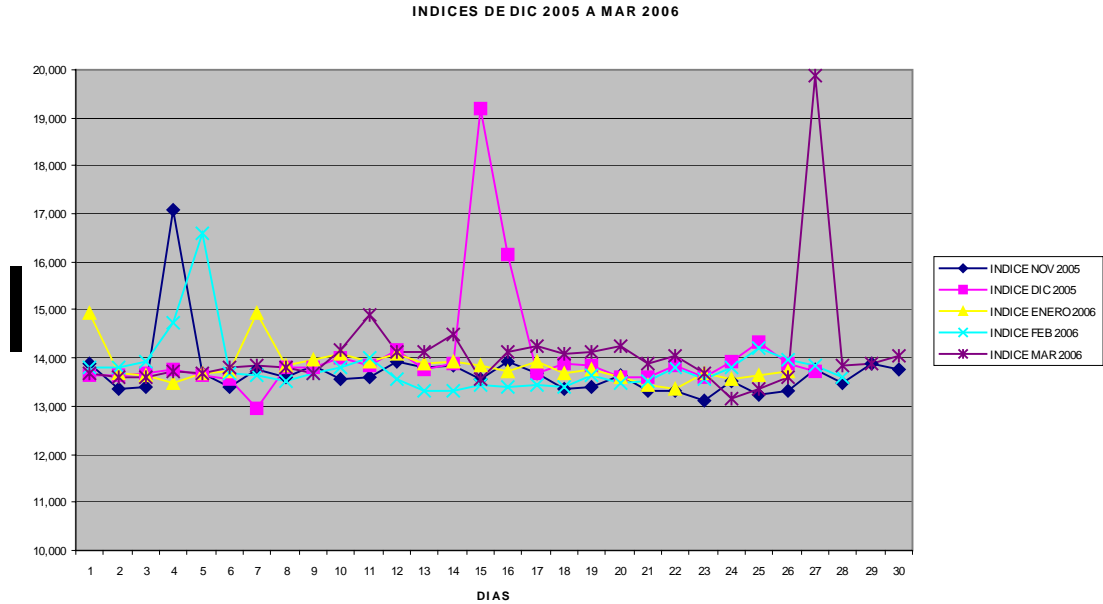
Figura. 3.3

GENERACIÓN DE POTENCIA DIC 2005 A MARZO 2006



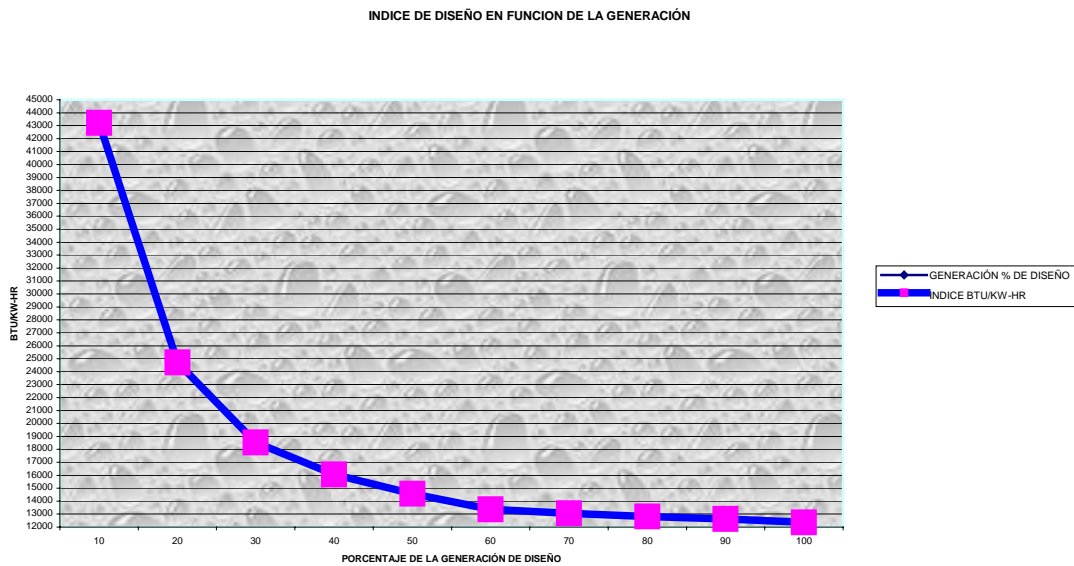
3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

Figura. 3.4



Tomando en cuenta que la eficiencia de la turbina se ve afectada por: la temperatura y humedad del aire ambiente, así como por la capacidad de generación, se realizaron los ajustes correspondientes, tomando en cuenta las curvas proporcionadas por el fabricante del equipo.

Figura 3.5 INDICE DE DISEÑO



3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

Con base en las gráficas anteriores se elaboró la siguiente tabla:

TABLA 3.1 COMPARACION CON INDICES CORREGIDOS POR CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

MES		Nov-05	Dic-05	Ene-06	Feb-06	Mar-06
PODER CALORIFICO	Kcal/m3	8688	8825	8656	8671	8684.48475
GENERACIÓN	KW-HR/D	491667	475296	497692	501036	466600
GENERACIÓN	KW	20486	19804	20737	20876	19442
CAPACIDAD DE DISEÑO	KW	26790	26790	26790	26790	26790
% DE LA CAP DE DISEÑO	%	76	74	77	78	73
INDICE ENERGÉTICO DE OPERACIÓN	Btu / kw-hr	13702	14056	13839	13807	14103
INDICE ENERG CORREGIDO POR T	Btu / kw-hr	13341	13713	13501	13470	13626
INDICE ENERG CORREGIDO POR T MAS HUMEDAD	Btu / kw-hr	13287	13659	13454	13426	13577
INDICE ENERGÉTICO DE GRÁFICA	Btu / kw-hr	12911	12960	12887	12863	12984
TEMPERATURA PROMEDIO BULBO SECO	°F	78.2	75.85	75.60	75.24	80.37
HÚMEDAD ESPECÍFICA PROMEDIO	LB H2O/LB AIRE SECO	0.0170	0.0165	0.0159	0.0152	0.0167
FACTOR CORRECC POR TEMP		1.027	1.025	1.025	1.025	1.035
FACTOR CORRECC POR HUMEDAD		1.0041	1.0040	1.0035	1.0033	1.0036
FACTOR CORRECC POR CAPACIDAD		1	0.996204787	1.00185888	1.00371776	0.99434591
INDICE REFERIDO A CAPACIDAD DE DIC 2005	Btu / kw-hr	13287	13607	13479	13476	13500
AHORRO RESPECTO A NOVIEMBRE 2005	%	13287		-1.45	-0.01	-1.60
AHORRO RESPECTO A DICIEMBRE 2005	%		13607	0.94	0.97	0.79

La metodología empleada en estos cálculos se basó en corregir los índices obtenidos de operación, con los factores de temperatura, humedad y capacidad, para ponerlos en igualdad de condiciones de operación y con la capacidad de generación de noviembre como capacidad de referencia. De lo anterior se puede concluir que no se presentó ningún ahorro, lo cual se puede explicar porque la masa de aire manejada para enfriar los gases que salen del combustor anula el efecto del equipo FES, el cual consiste en incrementar la temperatura de flama en el combustor. Además la turbina tiene como temperatura de control para los gases de combustión a la entrada de la turbina un rango entre 1800 y 1900 °F por lo que sí la temperatura se incrementa el flujo de aire de enfriamiento se ajusta para no rebasar estos valores.

Se pidió autorización para ajustar la temperatura de control de los gases a la entrada de la turbina, a valores ligeramente superiores a los establecidos pero hubo una negativa rotunda del fabricante, ya que su garantía se vería seriamente modificada, motivando que el mantenimiento mayor de la turbina se realizará cada 16000 horas de operación en lugar de cada 48000 horas.

Con el fin de realizar un análisis mas profundo, pero fuera del protocolo acordado con la compañía propietaria de la turbina, se decidió comparar con respecto a la operación en los últimos dos años. Las consideraciones básicas fueron las siguientes:

1. Comparar mismos meses, es decir enero 2004, enero 2005 y enero 2006 por ejemplo, tomando en cuenta que las condiciones climatológicas son equivalentes.

3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

2. Leer los índices energéticos de la figura 5, para la capacidad de operación promedio de la turbina, para cada mes, en términos de generación de potencia.
3. Calcular los índices energéticos directos de operación, entre los meses con el equipo FES y los mismos meses de años atrás sin el equipo FES
4. Aplicar una penalización al índice correspondiente a la menor capacidad de generación, equivalente al porcentaje de desviación por operar a capacidades distintas.
5. Obtener el ahorro neto, dividiendo la diferencia de índices energéticos entre el índice sin FES.

Los resultados se muestran en el apéndice y se ejemplifican en las siguientes gráficas al comparar julio de 2004 y 2005 con julio de 2006:

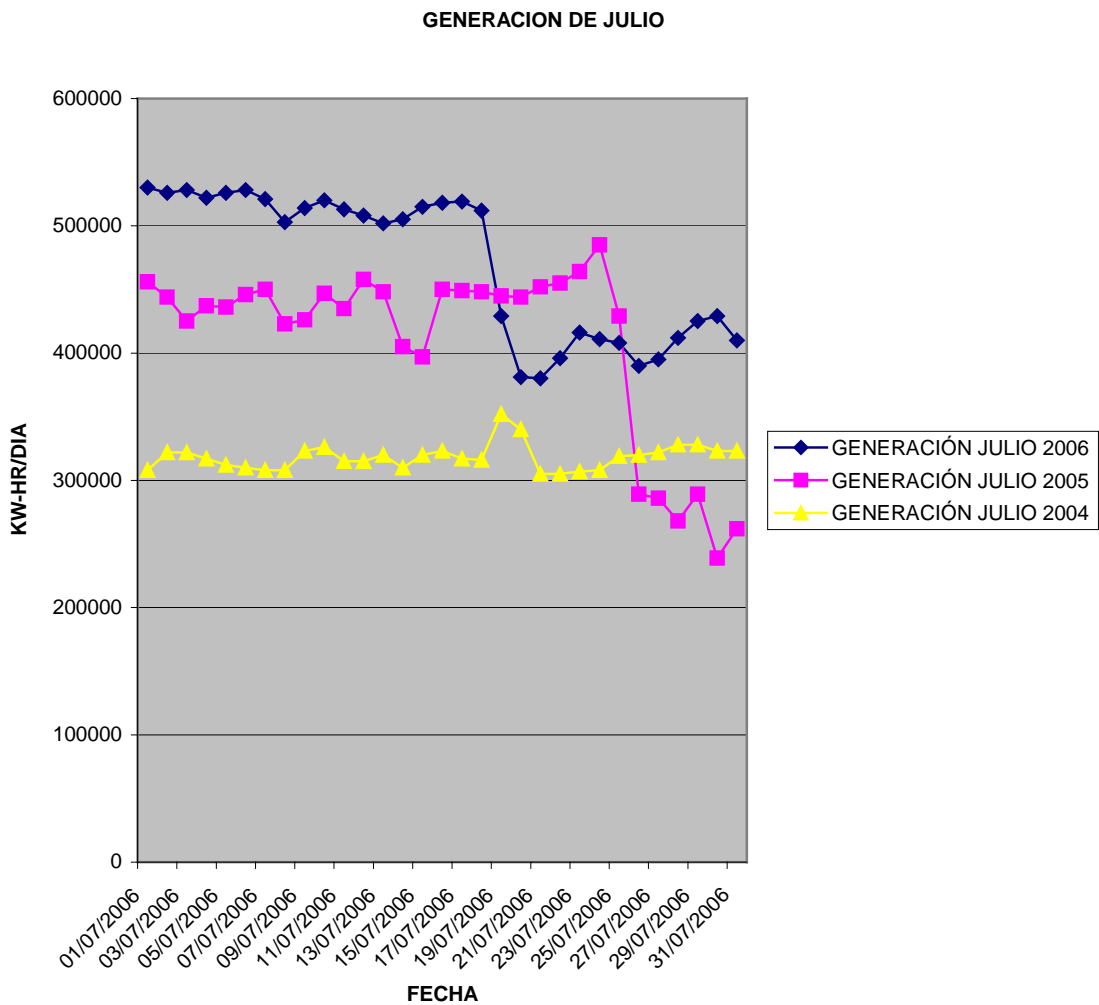


Figura 3.6 Generación de Potencia en junio de 2004, 2005 y 2006

3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

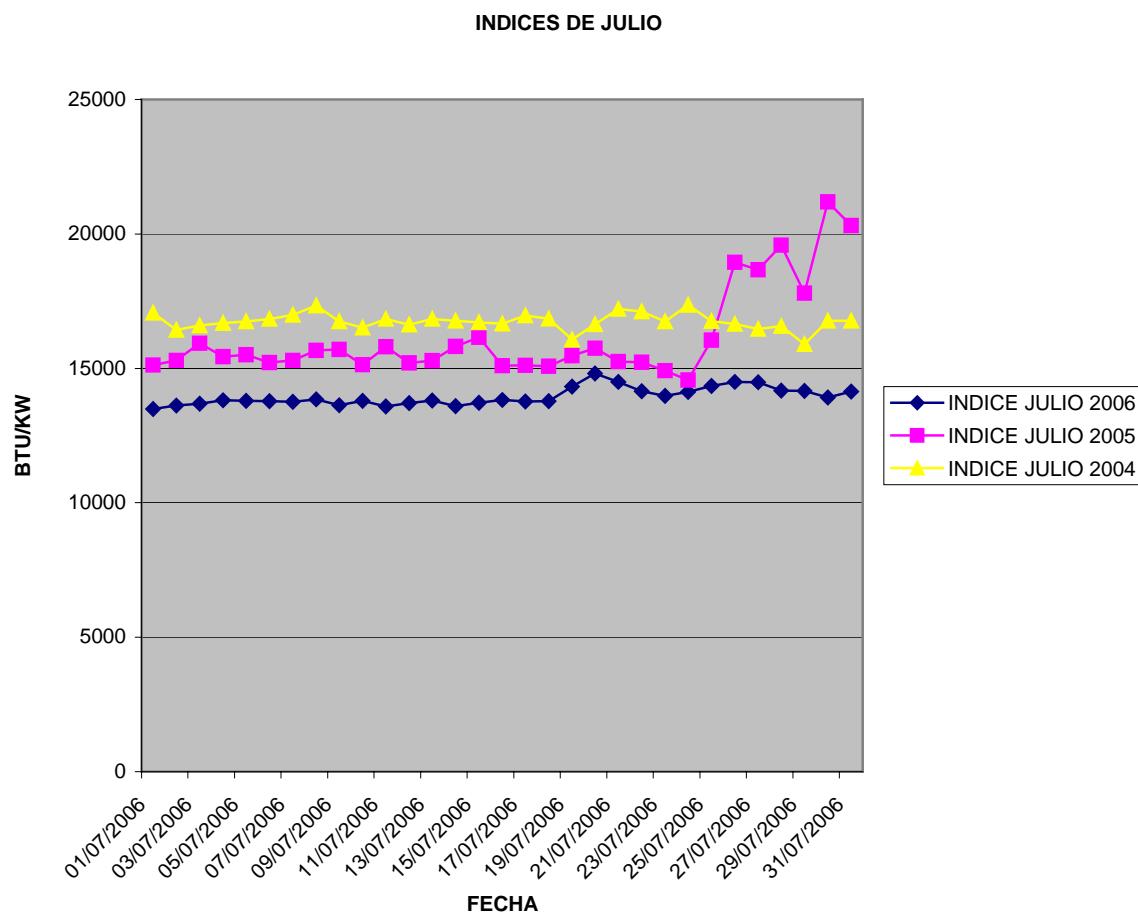


Figura 3.7 Índices Energéticos de Junio de 2004, 2005 y 2006

En forma general se puede afirmar que se presenta el mismo comportamiento para cada uno de los meses de abril a agosto analizados, obteniéndose entre un 4.5 y un 6% de ahorro cuando la capacidad de generación de la turbina fue inferior o igual al 80% de la capacidad de diseño de la misma. Cabe señalar que fue esta capacidad del 80% la que se empleó como base de diseño del FES.

3.3 Calentador a fuego directo

En esta aplicación se instalaron 128 equipos ahorradores de energía uno para cada quemador.

3.3.1 BASES DE CÁLCULO

- Se emplearon las hojas de cálculo elaboradas por el Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute), para determinar el poder calorífico del combustible.

3.0 APLICACIONES EN CALDERA, TURBINA DE GAS Y CALENTADORES A FUEGO DIRECTO DE CAPACIDAD INDUSTRIAL

- Con base en lo establecido en el contrato se buscaron los días que cumplen lo más cercano posible, con la capacidad indicada en el mismo.
- Se emplearon los consumos máscicos de combustible y los análisis del combustible proporcionados por PEMEX Petroquímica.
- Para evaluar el índice energético se consideraron el calor liberado y no el flujo de combustible, ya que el poder calorífico cambia con la composición.

3.3.2 METODOLOGÍA

3.3.2.1 Con base en los análisis proporcionados por el propietario del equipo, los cuales se muestran en el anexo, se calculó el peso molecular y el poder calorífico del gas combustible para cada uno de los días mostrados en la tabla, ya que como puede observarse dicha composición no es constante y por lo tanto su poder calorífico es diferente cada día. Los resultados obtenidos se muestran en el anexo

3.3.2.2 De esta tabla fueron seleccionados aquellos casos cuya capacidad de etano manejado fuera muy parecida con y sin el dispositivo de ahorro de energía FES, de donde surgieron los valores obtenidos en las tablas mostradas mas adelante.

3.3.2.3 Debido a que se dispuso, en algunos días, de los consumos de combustible tanto en flujo máscico como en flujo volumétrico se procedió a calcular la densidad a 20 °C y 1.0 atm, para convertir el flujo volumétrico a flujo máscico y verificar la congruencia de la información. Debido a que los valores de flujo máscico obtenidos de esta forma no son consistentes con los correspondientes valores medidos como flujo máscico, se descartaron dichos flujos volumétricos.

3.3.2.4 Con el flujo máscico y el poder calorífico calculado se obtuvo el calor liberado, multiplicando estas dos cantidades.

3.3.2.5 El índice energético se determina por el cociente del calor liberado expresado en cientos de miles de BTUs por hora entre la carga de etano en TONs por hora.

3.3.2.6 El ahorro se calcula restando al índice promedio sin FES, el índice promedio con FES y dividiendo está diferencia entre el índice promedio sin FES, multiplicando este número por 100.

3.3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se puede observar en el anexo 2.2, que a pesar de que se presentó un poder calorífico menor cuando se operó con FES que cuando se operó sin FES y por lo tanto un mayor consumo de combustible, con FES que sin FES, el calor total liberado fue menor, lo que refleja un ahorro de aproximadamente 6.6% de combustible.

Debido a que no se elaboró un protocolo de pruebas detallado y a que aun con dicho protocolo es difícil mantener estables las condiciones de operación, por necesidades propias de la planta, la cantidad de datos comparativos debe incrementarse, sin embargo con los datos analizados se prevé un ahorro superior al 5 %. Se acordó con el propietario del equipo realizar pruebas posteriores las cuales por la fecha programada no se incluyen en este trabajo.

4.0 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Desde el punto de vista de los resultados operacionales es importante analizar el impacto que produce el aumento de la temperatura de flama, para lo cual se recurre a los principios de intercambio de energía térmica radiante.

Si consideramos como modelo el caso de intercambio de energía radiante entre dos superficies grises, el flux de calor se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{12} / A_1 = F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (4.1)$$

Donde:

- | | | | |
|------------|---------------------------------------|------------|--------------------------------|
| Q : | Flujo de energía térmica | σ : | Constante de Stefan-Boltzman |
| A_1 : | Área del emisor de mayor temperatura. | T_1 : | Temperatura de la superficie 1 |
| F_{12} : | Factor de perspectiva | T_2 : | Temperatura de la superficie 2 |

$$F_{12=} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 F_{12}^f}{(F_{11}^f (1 - \varepsilon_1) - 1)((F_{12}^f (1 - \varepsilon_2) - 1) - F_{12}^f F_{21}^f (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2))}$$

- | | | | |
|------------|----------------------------------------|-----------------|-----------------|
| $F_{12=}$ | Factor de perspectiva superficie 1 a 2 | ε_1 | Emisividad de 1 |
| F_{12}^f | Factor de forma superficie 1 a 2 | ε_2 | Emisividad de 2 |
| F_{21}^f | Factor de forma superficie 2 a 1 | | |

Con base en los experimentos realizados y explicados en el capítulo 2 al instalar el equipo para ahorrar energía se incrementa un 5 % la temperatura de la flama, en grados centígrados, lo que equivale a un aumento de 3.6 a 3.87% en grados Kelvin, y que se traduce en un incremento en el flux de calor:

$$\text{INCREMENTO EN EL FLUX} = \left(\frac{(Q_{12} / A_1)_2}{(Q_{12} / A_1)_1} - 1 \right) * 100$$

$$\text{INCREMENTO EN EL FLUX} = \left(\frac{F_{12} \sigma ((T_1 * (1 + I/100))^4 - T_2^4)}{F_{12} \sigma (T_1^4 - T_2^4)} - 1 \right) * 100$$

Donde:

I : Porcentaje de incremento de temperatura, en grados Kelvin.

Aplicando las ecuaciones anteriores a los casos prácticos, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.1.

TABLA 4.1 PORCENTAJE DE INCREMENTO EN EL FLUX TÉRMICO

Temperatura T1	°K	1213	1260	1255	1302	1922	2004	1922	2004
Temperatura T2	°K	1073	1073	1108	1108	1255	1255	823	823
T1 ⁴		2.2E+12	2.5E+12	2.5E+12	2.9E+12	1.4E+13	1.6E+13	1.4E+13	1.6E+13
T2 ⁴		1.3E+12	1.3E+12	1.5E+12	1.5E+12	2.5E+12	2.5E+12	4.6E+11	4.6E+11
flux	cal/(cm ² - s)eg	0.76	1.1	0.88	1.2	1.0	12	12	14
Flux adicional	%		42		41		22		19
Incremento de T, °C	%		5		5		5		5
Incremento de T, °K	%		3.87		3.77		4.29		4.29

Se puede observar que un aumento de 5% en la temperatura de flama, en grados centígrados, genera un incremento en el flux que varía desde 19% hasta 42%, dependiendo de la aplicación. En consecuencia, para mantener el flux térmico requerido por el proceso es necesario reducir la temperatura en la zona de combustión y la única manera de lograrlo es disminuyendo el flujo de combustible. De esta manera se explican los ahorros presentados en el capítulo anterior.

Fundamentación Teórica

Se realizó una investigación sobre las maneras de cuantificar los efectos del FES, sin obtener buenos resultados significativos luego se intento evaluar, vía cromatografía de gases, y no se observó ningún efecto, por lo que invité al Dr. Miguel Castro Martínez investigador del Departamento de Física y Química Teórica de la Facultad de Química a participar, considerando su amplia experiencia en la investigación de campos magnéticos y en la simulación de la interacción que dichos cambios ejercen sobre diversas moléculas.

En paralelo con las pruebas en equipo industrial, el Dr. Miguel Castro Martínez realizó una serie de simulaciones en computadora, empleando la Teoría del Funcional de la Densidad desarrollada por Walter Kohn¹⁹.

Walter Kohn (nacido el 9 de marzo de 1923 en Viena, Austria) es un físico teórico austriaco nacionalizado estadounidense que fue premiado, junto con John A. Pople, con el Premio Nóbel de Química en 1998. El premio reconocía sus contribuciones al entendimiento de las propiedades eléctricas de los materiales. En particular, W. Kohn desempeñó un papel importante en el desarrollo de la Teoría del Funcional de la Densidad, que posibilitó el incorporar los efectos de la mecánica cuántica en la densidad electrónica (en lugar de aplicar la función de onda). Esta simplificación computacional ha sido muy

4.0 Análisis de Resultados

fructífera y ha pasado a ser una herramienta esencial en el campo de la electrónica de materiales.

W. Kohn realizó también contribuciones significativas a la física de semiconductores, y en 1961 obtuvo el Premio Buckley de la Sociedad Americana de Física (American Physical Society), por su obra.

El propósito del trabajo del Dr. Castro consiste en estudiar la interacción del propano con Fe 4 y determinar si un pequeño cúmulo magnético de este tipo es capaz de activar a dicha molécula de hidrocarburo.

Teoría del Funcional de la Densidad

Si bien la mecánica cuántica es una teoría muy precisa para describir el comportamiento de los sistemas muy pequeños, su habilidad de predicción se ve limitada por el hecho de que el sistema de ecuaciones correspondiente, es demasiado complejo resolver numéricamente o menos aún analíticamente.

La Teoría del Funcional de la Densidad (DFT en sus siglas en Inglés) es una formulación alternativa de la mecánica cuántica en la que la cantidad central es la densidad y no la función de ondas de muchos cuerpos. La ventaja es que la densidad es un objeto mucho más simple que dicha función de ondas y por lo tanto más fácil de calcular. La desventaja es que no se conocen de manera exacta las ecuaciones de la teoría del funcional de la densidad y se deberá aproximarlas.

Su aplicación es principalmente a la descripción del comportamiento de los electrones tanto en química como en física de la materia condensada, donde el objeto central es la densidad electrónica.

Descripción de la teoría

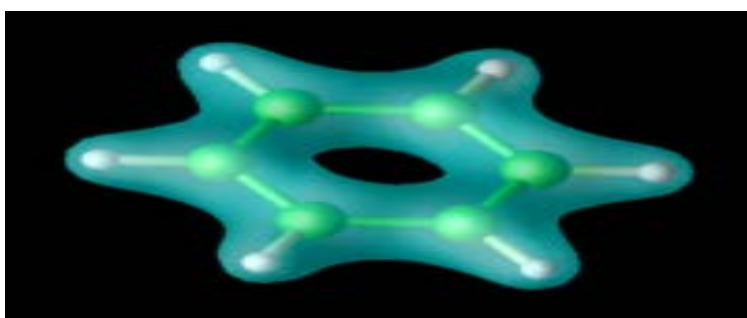


Figura 4.1. Modelo de una molécula

Representación de la densidad electrónica de una molécula de benceno en el estado fundamental.

Un funcional es una función que recibe como argumento otra función, por ejemplo, en $g[f(x)]$, g depende de $f(x)$. La densidad electrónica en una molécula es una función $\rho(x, y, z)$. Diferentes distribuciones electrónicas tienen diferentes energías, así que se puede

expresar la energía como un funcional $E[\rho(x, y, z)]$. Si se conoce el funcional que relaciona la energía con la densidad electrónica, se podrá encontrar el estado fundamental del sistema, ya que será aquella distribución electrónica que corresponda a la menor energía.

La DFT moderna es una teoría exacta en principio, aunque en la práctica hay que aplicar varias aproximaciones. En muchos casos, la DFT produce resultados satisfactorios si se comparan con los datos experimentales, o con métodos de mecánica cuántica más precisos, con un costo computacional relativamente bajo.

La DFT era muy popular para cálculos de física del estado sólido desde los años 70. Sin embargo, se consideraba que no era lo bastante precisa para estudios de la química cuántica y no fue sino hasta los años 90, cuando se refinaron en gran medida las aproximaciones usadas en la teoría. Ahora la DFT es un método fundamental para los cálculos de estructura electrónica en ambos campos.²⁰

Primeros modelos

La primera teoría del funcional de la densidad fue desarrollada por Thomas y Fermi en los años 20¹⁸. Ellos calcularon la energía de un átomo, representando su energía cinética como un funcional de su densidad electrónica, y combinando esto con las expresiones clásicas de las interacciones núcleo-electrón y electrón-electrón; (que también se pueden representar en términos de densidad electrónica).

Aunque este fue un primer paso importante, la precisión de la ecuación de Thomas-Fermi estaba limitada porque no representaba la energía de canje de un átomo, predicha por la teoría de Hartree-Fock¹⁹. Paul Dirac añadió un funcional de energía de canje en 1928²¹.

Sin embargo, la teoría de Thomas-Fermi-Dirac siguió siendo imprecisa para la mayoría de las aplicaciones, por la dificultad de representar la energía cinética con un funcional de densidad, y porque no considera la correlación electrónica en absoluto.

Teoría de Kohn-Sham

En la mecánica cuántica estándar, los observables son calculados a partir de la función de onda de muchos cuerpos. El método de la DFT fue sometido a un tratamiento riguroso por Hohenberg y Kohn¹⁹ en 1964, quienes demostraron que toda propiedad observable de un sistema electrónico puede ser calculada a partir de la densidad electrónica. Esto quiere significar que la densidad contiene, en principio, la misma información que la función de onda. En particular, Hohenberg y Kohn mostraron que la energía es un funcional de la densidad y que además la densidad del sistema minimiza este funcional.

El problema, es que no se conoce la forma completa de este funcional, por lo que debe ser aplicada una aproximación.

Kohn y Sham presentaron una forma de aproximar el energía cinética en 1965²⁰, monitoreando el problema de la densidad en un sistema de ecuaciones monoeléctricas. Para esto se incorpora el concepto de orbital de métodos de función de ondas, aunque estos orbitales y sus autoenergías no tienen significación física directa.

Intercambio y correlación

Aun con esta aproximación, no se conoce la forma funcional para las energías de intercambio (también llamada canje) y la correlación electrónica. Estas corresponden a la interacción cuántica entre electrones, la primera debido al principio de exclusión de Pauli entre electrones del mismo espín y la segunda debido a la parte cuántica de la repulsión coulombiana.

Aproximación de Densidad Local

La primera aproximación para este funcional se conoce como la Aproximación de Densidad Local (LDA)²² y consiste en suponer que en cada punto, la energía de intercambio y correlación depende solo de la densidad en ese punto. Este valor se considera como el que tendría un gas de electrones libres de esa densidad. Si bien es una aproximación bastante fuerte, se obtienen resultados sorprendentemente precisos para algunas propiedades, y es en parte a eso que se debe el éxito de esta teoría.

Aproximaciones de Gradiente Generalizado

Existen aproximaciones más sofisticadas para el funcional de intercambio y correlación, estas se conocen como Aproximaciones de Gradiente Generalizado^{22, 23}. Estas son semi-locales, ya que consideran en cada punto el valor de la densidad y sus gradientes. Para algunas propiedades estas aproximaciones dan mejores resultados que LDA, en particular para geometrías moleculares y energías del estado fundamental, aunque para otras no representan una mejora sustancial.

Funcionales dependientes de los orbitales e intercambio exacto (EXX)

¿Ab initio o no?

Existe una controversia sobre si la Teoría del Funcional de la Densidad puede ser considerada o no un método ab initio. En general, en Física se le considera así, debido a que no se requiere ningún tipo de parámetro adicional ni ajuste obtenido de resultados experimentales. En Química por el contrario, suele guardarse el término ab initio para métodos derivados de la Teoría cuántica de muchos cuerpos que por lo general son más precisos, más costosos computacionalmente y cuyo nivel de aproximación puede ser ajustado.

Aplicaciones

La principal ventaja de la Teoría del Funcional de la Densidad es que las ecuaciones de esta son mucho más simples de resolver que las ecuaciones de muchos cuerpos de mecánica cuántica u otras aproximaciones, por lo que permiten tratar sistemas más grandes y calcular más propiedades. Por lo general es posible llegar a hacer simulaciones con unos pocos miles de átomos.

El principal problema es que si bien es en principio una teoría exacta, solo se puede aplicar de forma aproximada, lo que hace que sus resultados sean menos precisos que otros métodos. Además, diferentes aproximaciones para la energía de intercambio y correlación pueden dar resultados diferentes.

En 1998 Walter Kohn recibió el premio Nóbel de Química por sus aportes al desarrollo de esta teoría.

En la práctica, la teoría de Kohn-Sham se puede aplicar de dos formas distintas, dependiendo de lo que se investigue. En el estado sólido, se usan bases de onda plana con condiciones de contorno periódicas. Además, se pone un gran énfasis en mantener la consistencia con el modelo idealizado de *gas electrónico uniforme*, que exhibe un comportamiento similar al del sólido infinito.

En los estados líquido y gaseoso, este énfasis se relaja, ya que el gas de electrones es un mal modelo para el comportamiento de átomos y moléculas discretas. Por el relajamiento de las restricciones, se ha desarrollado una enorme variedad de funcionales para aplicaciones químicas. El más famoso y popular de ellos es B3LYP^{21, 22, 23}. Los parámetros ajustables de estos funcionales generalmente se obtienen por un conjunto de moléculas 'de entrenamiento'.

Comparación con otros métodos

Hay cierta división en la comunidad científica. Los defensores de la DFT indican que sus resultados son muy satisfactorios, y que, por su bajo costo computacional, es la única forma de abordar sistemas más allá de cierta complejidad. Sus detractores apuntan a que es un método semi-empírico más, y que no es tan fiable como los métodos ab initio "clásicos".

Resultados de los trabajos del Dr. Castro²⁴

El estado basal de Fe₄, C₃H₈, y Fe₄-C₃H₈ se determinaron, por medio de la DFT, con el funcional de Becke para intercambio y Perdew y Wang, desarrollado en 1991, para correlacionar esta combinación la cual es referida como **BPW91**.

El orbital base usado fue **6-311+G (d,p)** para los átomos de Fe, C e H. Los cálculos fueron hechos con la ayuda del programa Gaussian-03, empleándose una convergencia rigurosa de energía minimizada hasta de 10⁻⁸ unidades atómicas.

Los resultados para la molécula de propano se muestran en la siguiente figura:

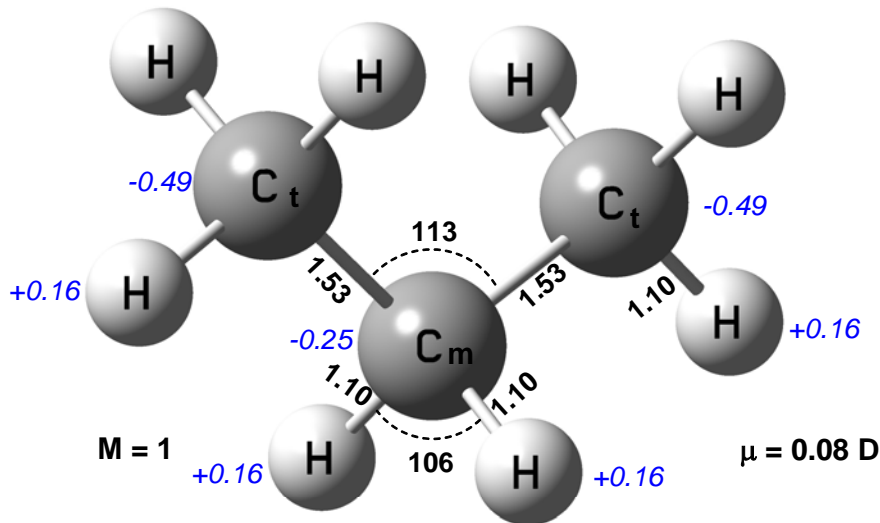


Figura 4.2. Molécula de propano reproducida con la DFT

Puede observarse que la molécula de propano no es magnética, ya que el magnetismo representado por M tiene un valor de 1, comparado con un valor de 15 para el Fe-4, ni polar puesto que el valor del momento dipolo es de 0.08 D, el cual es un valor muy pequeño comparado con el del agua cuyo valor del momento dipolo es de 1.8 D. Además de los aspectos anteriores, sugerimos se ponga atención a los ángulos que se forman entre las ligaduras C-C-C y H-C-H que son de 113° y 106° respectivamente y a la distancia entre el átomo de carbono y el átomo de hidrógeno es de 1.10 Amstrongs.

El Fe-4 obtenido con la DFT se muestra en la figura y también sobresale el valor de $M=15$ y del momento dipolo $= 0$, lo que se traduce en una gran capacidad magnética y nula polaridad.

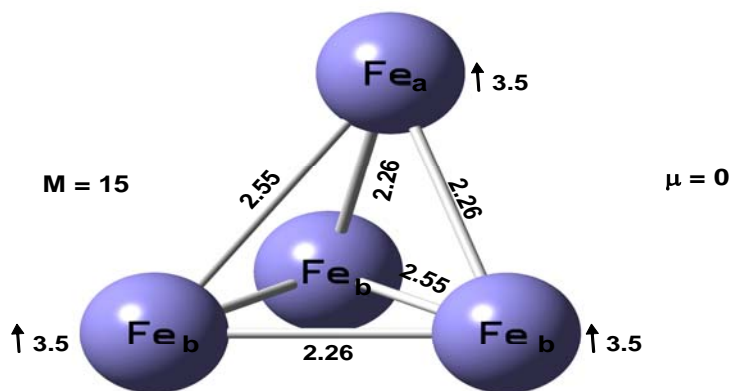


Figura 4.3 Cuatro cúmulos de átomos de hierro

4.0 Análisis de Resultados

Cuando se realiza la simulación de lo que ocurre al aproximar un cúmulo altamente magnético como el Fe-4 a una molécula no magnética y no polar como la de propano, se obtuvieron los siguientes resultados tanto con el átomo de carbón central como con los átomos de carbón extremos:

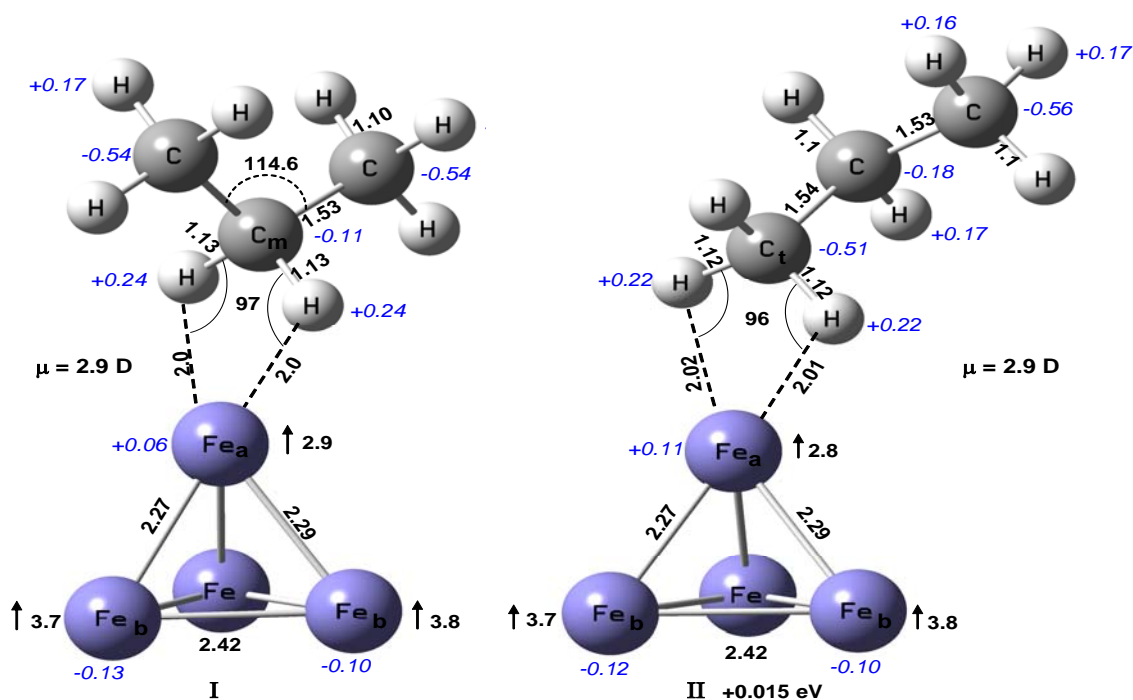


Figura 4.4 Interacción entre los cúmulos de hierro y la molécula de propano

El contacto estimado entre el CH...Fe de $\cong 2.0$ Å para I y II, es significativamente menor a la suma del radio vdW del Fe (1.9 Å) y del H (1.1 Å), lo cual sugiere la formación de puentes de hidrógeno entre CH...Fe. Si el ángulo formado entre la unión H-C-H y la unión H-Fe es superior a 100° entonces se puede considerar la formación de puentes de hidrógeno, los cuales pueden ser débiles si su valor se encuentra entre 100° y 120° o muy débiles para valores de $\cong 180^\circ$.

Como los valores obtenidos son de $\cong 97^\circ$, se puede inferir que estos contactos C-H...Fe son puentes de hidrógeno no convencionales. Se aproxima más a un enlace del tipo "agóstico", donde $M...H-C < 100^\circ$ y la longitud del enlace C-H se encuentra entre 1.1 y 1.2 Å. Estos dos puntos se cumplen pero el enlace Fe...H (2.0 Å) y Fe...C (2.4 Å) no cumplen con el tercer requisito que indica que $d(M...H) \cong d(M...C)$, lo cual se presenta normalmente en las etapas tempranas de la activación del enlace C-H por centros metálicos.

En resumen, la longitud del enlace CH...Fe, los ángulos y la topología de la densidad (ρ) indican la formación de enlaces débiles CH...Fe en I y II y sobresale la activación de los

enlaces C-H del propano. Los resultados obtenidos por el Dr. Castro en cuanto a las energías de unión se muestran a continuación para los casos I y II.

Energías de Unión (BE)

		BE (kcal/mol)	BE -ZPE (kcal/mol)
(I)	BPW91/6311+G(d)	4.50	4.21
(I)	BPW91/6311+G(d,p)	5.15	4.89
(I)	BPW91/6311++G(2d,2p)	5.18	4.93
(II)	BPW91/6311+G(d,p)	4.81	4.51

Los valores indican que se trata de uniones débiles entre la molécula de propano y el cúmulo magnético, lo que permite por un lado polarizar la molécula de propano e inducir que otras moléculas de propano se entrelacen y ordenen unas con otras y por otro lado se desprendan fácilmente del cúmulo, permaneciendo unidas por un cierto periodo de tiempo, suficiente para llegar al quemador e iniciar la combustión.

Los valores de densidad $\rho = 0.041$ y del laplaciano $\nabla^2 \rho = -0.039$ para los puentes de hidrógeno no convencionales son sensiblemente menores que los correspondientes para los enlaces entre los átomos de hierro cuyos valores son $\rho = 0.060$ y $\nabla^2 \rho = -0.016$, como se puede apreciar en la siguiente figura.

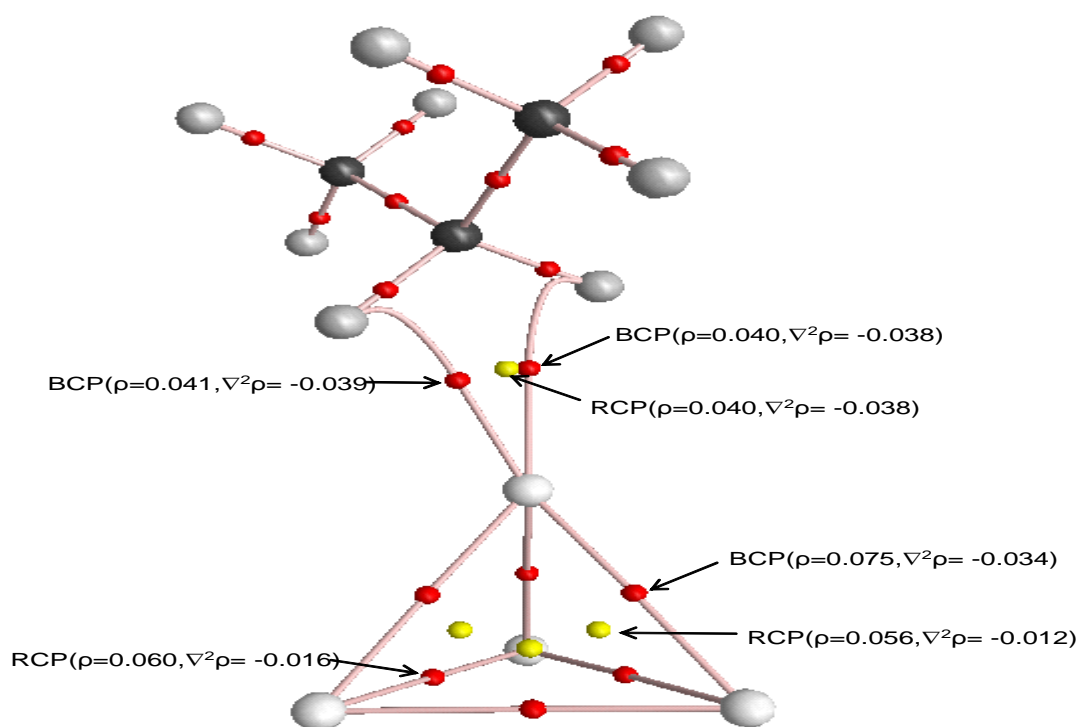


Figura 4.5 Interacción mediante puentes de hidrógeno

4.0 Análisis de Resultados

Otro resultado importante se obtuvo en cuanto a la transferencia de carga electrónica entre el propano y el Fe₄ de 0.31 y los átomos de H de los enlaces CH--Fe tienen una mayor carga positiva lo cual aunado al incremento en la longitud de los enlaces C-H muestran una debilitación del enlace C-H del átomo central de la molécula, ya que tiene solo -0.11 e y se ha desplazado hacia un comportamiento negativo menor.

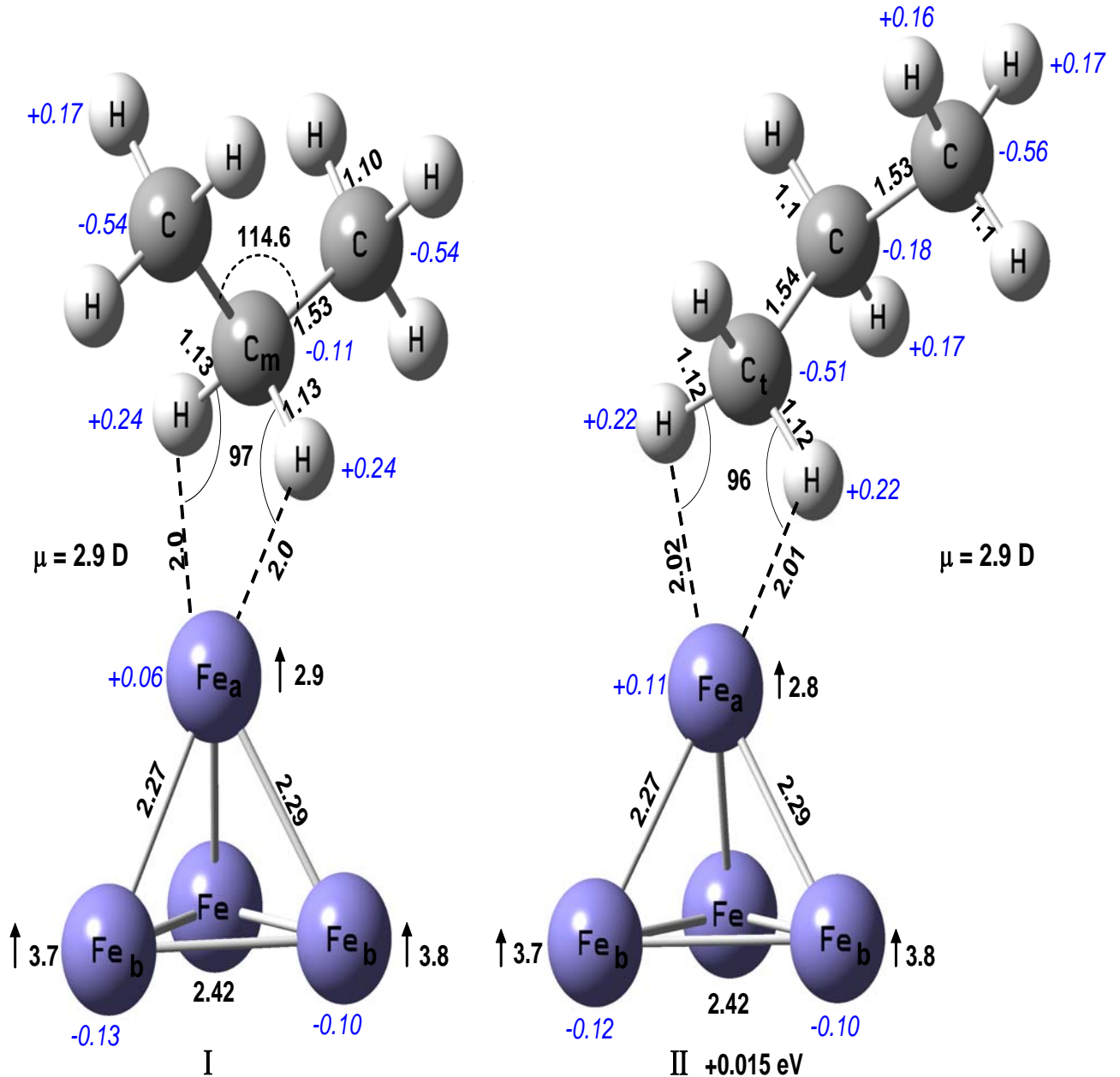


Figura 4.6 Interacción entre los cúmulos de hierro y la molécula de propano

Finalmente, mediante la Teoría de los Funcionales de la Densidad (DFT), el Dr. Castro evaluó las vibraciones del carbón que se localiza en la parte media de la molécula, tanto las vibraciones simétricas como las antisimétricas, observándose una reducción de 274 y 257 cm^{-1} respectivamente. Estos valores fueron cuantificados en la formación del enlace de dicho carbón central con el hierro.

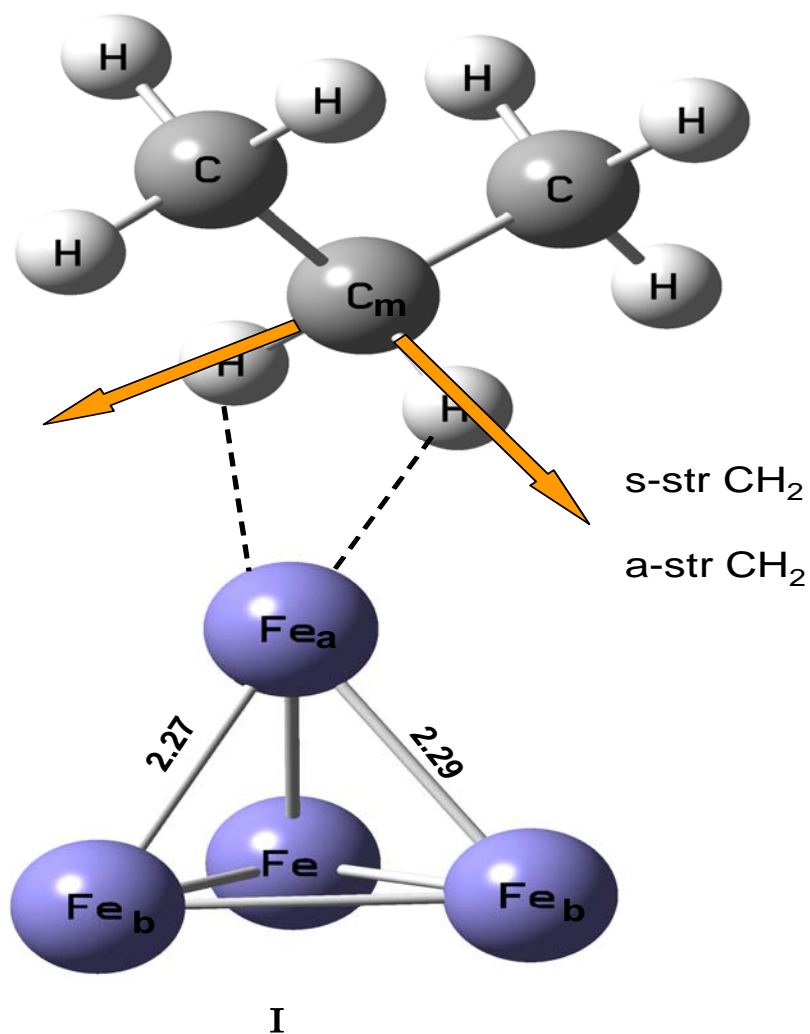


Figura 4.7 Efecto sobre las vibraciones del carbón central

5.0 Conclusiones

Con la instalación de campos magnéticos en la tubería de alimentación de combustible a calderas, calentadores a fuego directo y turbinas de gas se ha podido comprobar la hipótesis planteada en esta tesis, ya que se presenta en la práctica un efecto importante de los campos magnéticos sobre combustibles líquidos y gaseosos de tal forma que se incrementa el índice energético, siempre y cuando el equipo magnético se instale lo más cerca posible del quemador, ya que el efecto que produce es reversible.

El aumento en la temperatura de flama, de aproximadamente 5%, del valor obtenido sin el FES, valor corroborado en el laboratorio, representó incrementos en el Flux de energía térmica de hasta 42% y para restaurar las condiciones de operación a los valores de temperatura y como consecuencia de flux que se tenían sin el equipo, fue necesario disminuir el flujo de combustible y mantener la relación aire combustible original.

Por las razones anteriores, en la mayoría de las aplicaciones se obtuvieron ahorros de combustible, los cuales van desde 3% hasta 11%.

Con base en las investigaciones teóricas del Dr. Miguel Castro se puede concluir que el aumento en la polaridad del combustible, la distensión de los enlaces carbón – hidrógeno y el incremento en el ángulo hidrógeno-carbón-hidrógeno, favorecen la realización de la reacción del combustible con el oxígeno y como consecuencia permite lograr una combustión más eficiente. Estas investigaciones permiten aseverar que la hipótesis referente a la activación de las moléculas y a la modificación de algunas de sus propiedades tales como temperatura de flama, energía liberada y polaridad, son correctas, quedando pendiente una evaluación experimental que requiere de un trabajo de tesis doctoral.

Por otro lado los gases de combustión presentaron menos efectos contaminantes al disminuir el exceso de aire requerido y aunque la concentración de CO₂ aumentó al disminuir el exceso de aire, la cantidad en masa disminuye, al quemar menos combustible. En particular este aspecto será motivo de futuros trabajos.

La creatividad de un inventor mexicano como lo es el Diseñador Industrial Alfonso Fernández y su deseo de explicar y aplicar su invento, aunado a su humildad para recibir y dar apoyo de y a investigadores como el Dr. Fernando Barragán Aroche, el Dr. Rogelio Cuevas, el Dr. Miguel Castro y el suscrito, permitieron vincular la investigación básica, la investigación aplicada y las pruebas industriales, para consolidar un desarrollo tecnológico nacional de gran impacto en áreas estratégicas para México.

BIBLIOGRAFÍA

1. Yukio Mizutani, Manabu Fuchihata y Yoshimasa Ocurra
Pre-mixed Laminar Flames in a Uniform Magnetic Field
Combustion and Flame 125: 1071-1073 (2001)
2. Eisuke Yamada, Masahisa Shinoda, Hiroshi Yamashita
Experimental and Numerical Analysis of magnetic effect on OH Radical
Distribution in Hydrogen – Oxygen Diffusion Flame
Combustion and Flame 135 (2003) 365-379
3. Nabuko I. Wakayama
Behavior of gas flow under gradient magnetic fields
J. Appl. Phys. 69(4), 15 Feb 1991
4. Swaminathan Sumathi
Magnetic Field Effects on the Combustión Processes in Diffusion Flames
2005 ME Graduate Student Conference
April 9, 2005
5. John Baker, Mark E. Calvert
A study of the characteristics of slotted laminar jet diffusion flames in the
presence of non uniform magnetic fields
Combustion and Flame 133 (2003) 345-357
6. S. Ueno
Quenching of flames by magnetic fields
J. Appl. Phys. 65(3), 1 Feb 1989
7. Knoepfel, H. E.
Magnetic Fields: A comprehensive Theoretical Treatise for Practical Use
New York: Wiley, 2000
8. Griffiths, D. J.
Introduction to Electrodynamics, 3rd ed.
Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1998
9. Jean H. , Longo M.J.
Search for magnetic monopoles trapped in matter
Phys. Rev. Lett 75, 1443-1446, 1995
10. Feynman, R.P.; Leighton, R.B.; and Sands, M.
Ferromagnetism Ch 36 The Feynman Lectures on Physics Vol. 2
Redwood City, CA. Adison Wesley

BIBLIOGRAFÍA

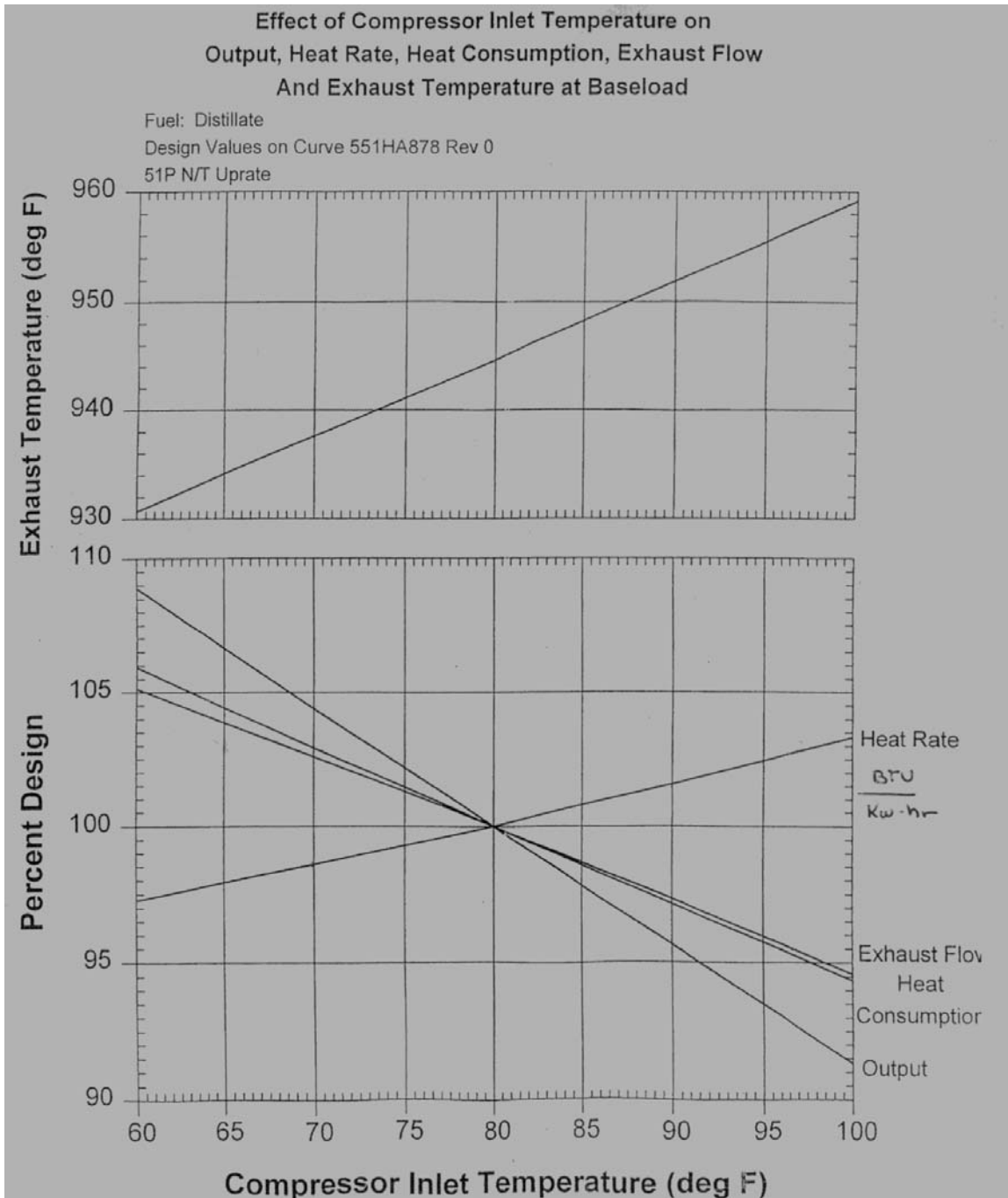
11. Auerbach, A
Interacting Electrons and Quantum Magnetism
New York: Springer-Verlag, 1994
12. Bozorth, R.M.
Ferromagnetism
New York: Van Nostrand. 1998
13. Craik, D.
Magnetism Principles and Application
New York: Wiley. 1995
14. Guimaraes, A. P.
Magnetism and Magnetic Resonance in Solids
New York: Wiley. 1998
15. Gupta, L.C. y Multan, M.S.
Selected Topics in Magnetism Vol. 1 y 2
Singapore World Scientific 1993
16. Mattis, D.C.
The Theory of Magnetism I y II
Berlin Springer- Verlag 1988
17. Verschuur G.L.
Hidden Attraction: The Mistery and History of Magnetism
Oxford, England Oxford University Press, 1993
18. Welther, W.J.
Magnetic Atoms and Molecules
New York Dover, 1990
19. P. Hohenberg y W. Kohn
Phys. Rev. *136* (1964) B864
20. W. Kohn y L. J. Sham
Phys. Rev. *140* (1965) A1133
21. A. D. Becke, J.
Chem. Phys. *38* (1998) 3089
22. C. Lee, W. Yang, y R. G. Parr
Phys. Rev. B *37* (1988) 785
23. P. J. Stephens, F. J. Devlin, C. F. Chabalowski, y M. J. Frisch
J. Phys. Chem. *98* (1994) 11623

BIBLIOGRAFÍA

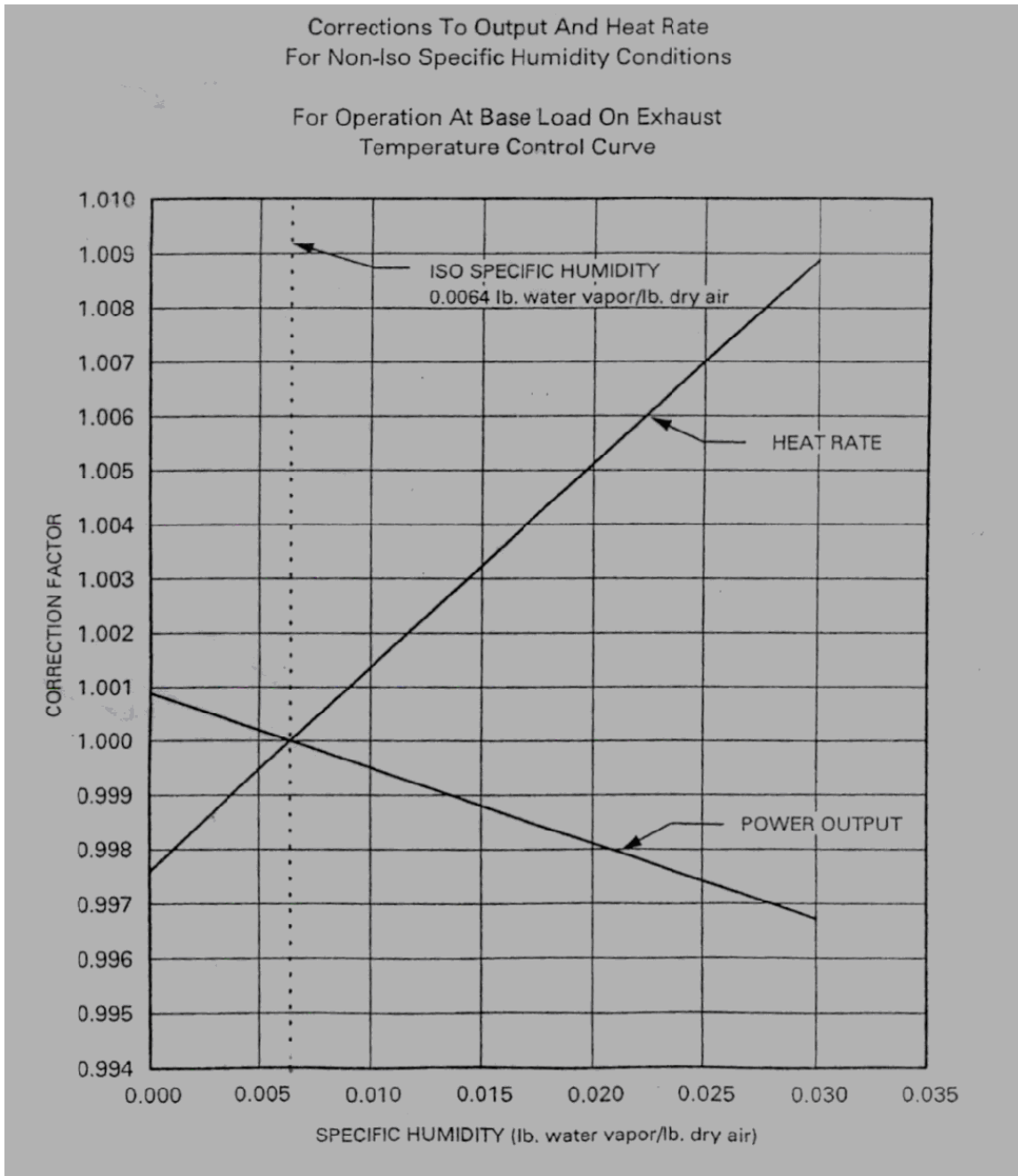
24. Miguel Castro
On the interaction of magnetic iron clusters with hydrocarbons: Fe₄- propane
Chemical Physics Letters 435 (2007) 322-326
25. Miguel Castro
On the bonding of methane with magnetic Fe₄ clusters
Chemical Physics Letters 446 (2007) 333-338
26. http://es.wikipedia.org/wiki/Premio_Nobel_de_Química

ANEXO 1

ANEXO 1.1 CURVA DE COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS



ANEXO 1.2 FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA TURBINA DE GAS



Abr-06								Abr-05			Abr-04		
DIA	GENERAC.	ÍNDICE						DIA	ÍNDICE	ÍNDICE	DIA	ÍNDICE	ÍNDICE
	KW-HR/DIA	BTU/KW							KW-HR/DIA	BTU/KW		KW-HR/DIA	BTU/KW
01-04-06	499,000	14,100									01-04-04	354,000	15,321
02-04-06	480,000	13,357									02-04-04	359,000	15,512
03-04-06	504,000	13,824									03-04-04	354,000	15,809
04-04-06	507,000	13,893									04-04-04	350,000	15,490
05-04-06	507,000	13,954									05-04-04	350,000	15,560
06-04-06	502,000	13,809									06-04-04	355,000	15,396
07-04-06	493,000	13,700									07-04-04	282,000	17,480
08-04-06	476,000	13,917									08-04-04	344,000	15,632
09-04-06	496,000	13,718									09-04-04	345,000	16,086
10-04-06	514,000	13,452									10-04-04	350,000	15,763
11-04-06	522,000	13,237									11-04-04	354,000	15,435
12-04-06	519,000	13,334									12-04-04	355,000	15,300
13-04-06	513,000	13,492									13-04-04	353,000	15,662
14/04/06	505,000	13,677									14-04-04	353,000	15,514
15/04/06	513,000	13,503						15-04-05	234,000	17,281	15-04-04	347,000	15,757
16/04/06	501,000	13,699						16-04-05	209,000	21,136	16-04-04	350,000	15,314
17/04/06	481,000	13,754						17-04-05	204,000	21,360	17-04-04	360,000	15,357
18/04/06	481,000	13,780						18-04-05	200,000	21,526	18-04-04	350,000	15,519
19/04/06	480,000	13,710						19-04-05	201,000	21,429	19-04-04	347,000	15,660
20/04/06	482,000	13,948						20-04-05	201,000	21,476	20-04-04	377,000	15,637
21/04/06	481,000	13,973						21-04-05	203,000	21,318	21-04-04	392,000	14,946
22/04/06	481,000	14,140						22-04-05	185,000	22,485	22-04-04	400,000	14,884
23/04/06	481,000	2,276						23-04-05	183,000	22,794	23-04-04	390,000	14,823
24/04/06	0							24-04-05	220,000	20,428	24-04-04	388,000	15,024
25/04/06	0							25-04-05	228,000	20,324	25-04-04	381,000	15,099
26/04/06	278,000	9,343						26-04-05	224,000	20,929	26-04-04	389,000	14,887
27/04/06	471,000	14,359						27-04-05	216,000	21,179	27-04-04	384,000	15,374
28/04/06	471,000	14,485						28-04-05	216,000	31,058	28-04-04	389,000	14,868
29/04/06	472,000	14,403						29-04-05	413,000	15,847	29-04-04	385,000	14,904
30/04/06	463,000	14,623						30-04-05	387,000	17,434	30-04-04	386,000	15,007
PROMEDIO	452,433	13,266						PROMEDIO	232,750	21,125	PROMEDIO	362,433	15,434
								ÍNDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD			ÍNDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		
								16,218			14,578		
								AHORRO de 2006 respecto 2005			%AHORRO de 2006 respecto 2004		
								18.20			8.99		
								%AHORRO de 2006 respecto 2005			%AHORRO de 2006 respecto 2005		
								22.83			18.74		

ANEXO 1.3 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE ABRIL DE 2004, 2005 Y 2006

Anexos

May-06			May-05			May-04				
1/05/06	472,000	14,467		01-05-05	462,000	15,122		1/05/04		
2/05/06	492,000	0		02-05-05	440,000	15,203		2/05/04		
3/05/06	492,000	13,891	GENERACION	03-05-05	450,000	15,064		3/05/04	365,000	15,159
4/05/06	481,000	14,506	KW-HR/DIA	04-05-05	454,000	15,035		4/05/04	238,000	17,602
5/05/06	500,000	14,149		05-05-05	434,000	16,054		5/05/04	354,000	14,862
6/05/06	490,000	14,206	INDICE	06-05-05	434,000	15,151		6/05/04	336,000	15,552
7/05/06	477,000	14,369	BTU/KW	07-05-05	389,000	16,289		7/05/04	322,000	15,791
8/05/06	477,000	14,463		08-05-05	450,000	15,268		8/05/04	289,000	16,335
9/05/06	477,000	14,410	DESGASTE	09-05-05	444,000	15,310		9/05/04	330,000	15,426
10/05/06	478,000	14,313		10-05-05	446,000	15,370		10/05/04	321,000	15,945
11/05/06	475,000	14,401		11-05-05	449,000	15,218		11/05/04	318,000	15,687
12/05/06	500,000	14,230		12-05-05	432,000	15,854		12/05/04	327,000	15,929
13/05/06	511,000	13,914		13-05-05	399,000	16,528		13/05/04	335,000	15,998
14/05/06	511,000	13,826		14-05-05	414,000	16,079		14/05/04	330,000	16,096
15/05/06	498,000	14,229		15-05-05	450,000	15,372		15/05/04	325,000	16,191
16/05/06	516,000	14,064		16-05-05	461,000	15,046		16/05/04	313,000	16,354
17/05/06	521,000	14,057		17-05-05	416,000	16,062		17/05/04	342,000	16,085
18/05/06	517,000	14,092		18-05-05	447,000	15,326		18/05/04	379,000	15,131
19/05/06	533,000	13,695		19-05-05	446,000	15,446		19/05/04	382,000	15,068
20/05/06	512,000	12,635		20-05-05	446,000	15,912		20/05/04	319,000	16,367
21/05/06	449,000	14,451		21-05-05	442,000	16,056		21/05/04	370,000	15,405
22/05/06	526,000	13,625		22-05-05	442,000	15,782		22/05/04	366,000	15,622
23/05/06	520,000	13,960		23-05-05	462,000	15,183		23/05/04	372,000	15,408
24/05/06	537,000	13,458		24-05-05	450,000	15,639		24/05/04	374,000	15,340
25/05/06	530,000	13,837		25-05-05	441,000	15,969		25/05/04	380,000	15,376
26/05/06	531,000	13,778		26-05-05	457,000	15,393		26/05/04	389,000	15,191
27/05/06	530,000	13,667	DESGASTE 2004 A 2006	27-05-05	451,000	15,591		27/05/04	380,000	15,116
28/05/06	521,000	13,824	INDICE DESGASTADO	28-05-05	450,000	15,713		28/05/04	371,000	15,243
29/05/06	519,000	13,871	INDICE 2006	29-05-05	441,000	15,911		29/05/04	373,000	15,296
30/05/06	525,000	13,800	AHORRO	30-05-05	450,000	15,404		30/05/04	355,000	15,722
31/05/06	507,000	14,050		31-05-05	443,000	15,743		31/05/04	330,000	15,994
PROMEDIO	504,032	13,556		PROMEDIO	441,677	15,584		PROMEDIO	344,310	15,700
				INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD	15,292			INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD	14,261	
				AHORRO de 2006 respecto 2005	11.35	%		AHORRO de 2006 respecto 2004	4.94	%
				INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE	16,209			INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE	15,972	
				AHORRO de 2006 respecto 2005	16.37	%		AHORRO de 2006 respecto 2005	15.13	%

ANEXO 1.4 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE MAYO DE 2004, 2005 Y 2006

Anexos

Jun-06			Jun-05			Jun-04		
1/06/06	531,000	13,643				1/06/04	345,000	15,608
2/06/06	529,000	13,719				2/06/04	345,000	15,812
3/06/06	536,000	13,444	GENERACIÓN	2005	2004	3/06/04	351,000	15,870
4/06/06	531,000	13,590	KW-HR/DIA	470,179	470,179	4/06/04	347,000	15,709
5/06/06	526,000	13,772				5/06/04	367,000	15,549
6/06/06	529,000	13,721	ÍNDICE	15,145	14,676	6/06/04	376,000	15,940
7/06/06	528,000	13,748	BTU/KW			7/06/04	353,000	15,718
8/06/06	452,000	14,340	DESGASTE	%	3.1	8/06/04	328,000	15,922
9/06/06	533,000	13,559				9/06/04	337,000	15,678
10/06/06	533,000	13,519				10/06/04	342,000	15,724
11/06/06	528,000	13,583				11/06/04	339,000	15,912
12/06/06	526,000	13,523				12/06/04	342,000	15,827
13/06/06	451,000	13,737				13/06/04	341,000	15,965
14/06/06	533,000	13,348				14/06/04	335,000	16,263
15/06/06	520,000	13,710				15/06/04	324,000	16,308
16/06/06	535,000	13,418				16/06/04	318,000	16,378
17/06/06	527,000	13,463				17/06/04	326,000	16,129
18/06/06	528,000	13,608				18/06/04	319,000	16,461
19/06/06	525,000	13,789				19/06/04	320,000	16,813
20/06/06	525,000	13,664				20/06/04	320,000	16,780
21/06/06	526,000	13,726				21/06/04	315,000	16,947
22/06/06	528,000	13,462				22/06/04	316,000	16,840
23/06/06	528,000	13,360				23/06/04	316,000	16,797
24/06/06	523,000	13,663				24/06/04	322,000	16,576
25/06/06	522,000	13,623				25/06/04	319,000	16,686
26/06/06	525,000	13,687	DESGASTE 2004 A 2006	6.01%	ANUAL	26/06/04	310,000	16,646
27/06/06	528,000	13,603	ÍNDICE DESGASTADO	14,373		27/06/04	317,000	16,696
28/06/06	520,000	13,535	ÍNDICE 2006	13,613		28/06/04	310,000	17,029
29/06/06	534,000	13,316	AHORRO	5.29		29/06/04	303,000	17,163
30/06/06	530,000	13,514				30/06/04	319,000	16,782
PROMEDIO	523,000	13,613				PROMEDIO	330,733	16,284
						ÍNDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		14,461
						AHORRO de 2006 respecto 2005	8.77	%
						ÍNDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE	15,817	
						AHORRO de 2006 respecto 2005	13.93	%
						ÍNDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE	16,196	
						AHORRO de 2006 respecto 2005	15.95	%

ANEXO 1.5 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE JUNIO DE 2004, 2005 Y 2006

Ago-06				Ago-05			Ago-04		
01/08/06	404,000	14,366		1/08/05	260,000	20,196	1/08/04	319,000	16,721
02/08/06	377,000	14,404		2/08/05	266,000	19,634	2/08/04	326,000	16,507
03/08/06	373,000	14,477	GENERACION 2005 2004 374,000 371,000	3/08/05	266,000	20,387	3/08/04	325,000	16,806
04/08/06	360,000	14,826	KW-HR/DIA	4/08/05	240,000	22,168	4/08/04	316,000	16,957
05/08/06	393,000	14,376		5/08/05	374,000	16,653	5/08/04	245,000	19,780
06/08/06	422,000	14,297	INDICE 16,653 15,146	6/08/05	493,000	14,837	6/08/04	277,000	18,025
07/08/06	445,000	13,885	BTU/KW	7/08/05	486,000	15,124	7/08/04	259,000	18,432
08/08/06	487,000	14,642		8/08/05	497,000	14,590	8/08/04	227,000	19,691
09/08/06	517,000	13,424	DESGASTE % 9.0	9/08/05	483,000	14,959	9/08/04	225,000	20,111
10/08/06	525,000	13,268		10/08/05	489,000	14,836	10/08/04	238,000	18,847
11/08/06	519,000	13,352		11/08/05	488,000	14,965	11/08/04	228,000	19,929
12/08/06	521,000	13,407		12/08/05	492,000	14,821	12/08/04	230,000	19,715
13/08/06	525,000	13,579		13/08/05	495,000	14,812	13/08/04	233,000	19,576
14/08/06	520,000	13,633		14/08/05	494,000	15,231	14/08/04	302,000	16,581
15/08/06	523,000	13,355		15/08/05	497,000	14,774	15/08/04	358,000	15,069
16/08/06	520,000	13,298		16/08/05	422,000	16,850	16/08/04	342,000	15,613
17/08/06	454,000	14,010		17/08/05	496,000	15,007	17/08/04	361,000	15,289
18/08/06	519,000	13,779		18/08/05	502,000	14,911	18/08/04	360,000	15,496
19/08/06	513,000	13,844		19/08/05	502,000	14,827	19/08/04	368,000	15,230
20/08/06	509,000	13,738		20/08/05	460,000	15,193	20/08/04	370,000	15,201
21/08/06	526,000	13,680		21/08/05	503,000	14,942	21/08/04	369,000	15,376
22/08/06	524,000	13,898		22/08/05	501,000	14,751	22/08/04	371,000	15,146
23/08/06	525,000	13,693		23/08/05	506,000	14,476	23/08/04	361,000	15,467
24/08/06	517,000	13,731		24/08/05	502,000	14,263	24/08/04	336,000	15,886
25/08/06	520,000	13,877		25/08/05	502,000	14,197	25/08/04	325,000	16,359
26/08/06	520,000	14,018		26/08/05	457,000	13,734	26/08/04	220,000	18,039
27/08/06	520,000	13,788	DESGASTE 2004 A 2006 6.01% ANUAL	27/08/05	502,000	14,290	27/08/04	89,000	24,686
28/08/06	517,000	13,802	INDICE DESGASTADO 14,511	28/08/05	498,000	14,264	28/08/04	182,000	22,550
29/08/06	506,000	14,174	INDICE 2006 13,895	29/08/05	490,000	14,529	29/08/04	90,000	38,380
30/08/06	522,000	13,837	AHORRO 4.25	30/08/05	489,000	14,135	30/08/04	47,000	79,830
31/08/06	517,000	14,276		31/08/05	262,000	14,307	31/08/04	50,000	54,281
PROMEDIO	488,387	13,895		PROMEDIO	448,962	15,813	PROMEDIO	269,323	21,470
				INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		15,631	INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		17,574
				AHORRO de 2006 respecto 2005		11.11	AHORRO de 2006 respecto 2004		20.93
						%			%
				INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		16,569	INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		19,683
				AHORRO de 2006 respecto 2005		16.14	AHORRO de 2006 respecto 2005		29.41
						%			%

ANEXO 1.6 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE JULIO DE 2004, 2005 Y 2006

Ago-06			Ago-05			Ago-04				
01/08/06	404,000	14,366		1/08/05	260,000	20,196		1/08/04	319,000	16,721
02/08/06	377,000	14,404		2/08/05	266,000	19,634		2/08/04	326,000	16,507
03/08/06	373,000	14,477	GENERACION KW-HR/DIA	2005	374,000	20,387		3/08/04	325,000	16,806
04/08/06	360,000	14,826		2004	371,000	22,168		4/08/04	316,000	16,957
05/08/06	393,000	14,376		5/08/05	374,000	16,653		5/08/04	245,000	19,780
06/08/06	422,000	14,297	INDICE BTU/KW		16,653	14,837		6/08/04	277,000	18,025
07/08/06	445,000	13,885			15,146	15,124		7/08/04	259,000	18,432
08/08/06	487,000	14,642	DESGASTE	%	9.0		8/08/04	227,000	19,691	
09/08/06	517,000	13,424				14,959		9/08/04	225,000	20,111
10/08/06	525,000	13,268		10/08/05	489,000	14,836		10/08/04	238,000	18,847
11/08/06	519,000	13,352		11/08/05	488,000	14,965		11/08/04	228,000	19,929
12/08/06	521,000	13,407		12/08/05	492,000	14,821		12/08/04	230,000	19,715
13/08/06	525,000	13,579		13/08/05	495,000	14,812		13/08/04	233,000	19,576
14/08/06	520,000	13,633		14/08/05	494,000	15,231		14/08/04	302,000	16,581
15/08/06	523,000	13,355		15/08/05	497,000	14,774		15/08/04	358,000	15,069
16/08/06	520,000	13,298		16/08/05	422,000	16,850		16/08/04	342,000	15,613
17/08/06	454,000	14,010		17/08/05	496,000	15,007		17/08/04	361,000	15,289
18/08/06	519,000	13,779		18/08/05	502,000	14,911		18/08/04	360,000	15,496
19/08/06	513,000	13,844		19/08/05	502,000	14,827		19/08/04	368,000	15,230
20/08/06	509,000	13,738		20/08/05	460,000	15,193		20/08/04	370,000	15,201
21/08/06	526,000	13,680		21/08/05	503,000	14,942		21/08/04	369,000	15,376
22/08/06	524,000	13,898		22/08/05	501,000	14,751		22/08/04	371,000	15,146
23/08/06	525,000	13,693		23/08/05	506,000	14,476		23/08/04	361,000	15,467
24/08/06	517,000	13,731		24/08/05	502,000	14,263		24/08/04	336,000	15,886
25/08/06	520,000	13,877		25/08/05	502,000	14,197		25/08/04	325,000	16,359
26/08/06	520,000	14,018		26/08/05	457,000	13,734		26/08/04	220,000	18,039
27/08/06	520,000	13,788	DESGASTE 2004 A 2006	6.01%	ANUAL		27/08/04	89,000	24,686	
28/08/06	517,000	13,802	INDICE DESGASTADO	14,511			28/08/04	182,000	22,550	
29/08/06	506,000	14,174	INDICE 2006	13,895			29/08/04	90,000	38,380	
30/08/06	522,000	13,837	AHORRO	4.25			30/08/04	47,000	79,830	
31/08/06	517,000	14,276					31/08/04	50,000	54,281	
PROMEDIO	488,387	13,895				PROMEDIO	269,323	21,470		
						INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		17,574		
						AHORRO de 2006 respecto 2005	11.11	%		
						INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE	16,569	19,683		
						AHORRO de 2006 respecto 2005	16.14	%		
						AHORRO de 2006 respecto 2004	20.93	%		
						AHORRO de 2006 respecto 2005	29.41	%		

ANEXO 1.7 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE AGOSTO DE 2004, 2005 Y 2006

Sep-06			2005			2004			Sep-05			Sep-04		
01/09/06	521,000	13,913	GENERACION KW-HR/DIA INDICE BTU/KW DESGASTE %	380,000	380,000	1/09/05	498,000	13,977	1/09/04					
02/09/06	525,000	13,987		15,247	15,386	2/09/05	491,000	14,262	2/09/04					
03/09/06	526,000	13,982				3/09/05	496,000	14,008	3/09/04					
04/09/06	524,000	13,761				4/09/05	506,000	13,904	4/09/04					
05/09/06	524,000	13,586				5/09/05	505,000	14,044	5/09/04					
06/09/06	522,000	13,802				6/09/05	504,000	14,159	6/09/04					
07/09/06	504,000	13,935				7/09/05	502,000	13,943	7/09/04					
08/09/06	511,000	13,872				8/09/05	501,000	13,966	8/09/04					
09/09/06	514,000	13,928				9/09/05	507,000	13,898	9/09/04					
10/09/06	530,000	13,843				10/09/05	495,000	14,328	10/09/04					
11/09/06	515,000	14,130				11/09/05	505,000	14,138	11/09/04					
12/09/06	519,000	13,746				12/09/05	502,000	14,325	12/09/04					
13/09/06	519,000	13,848				13/09/05	507,000	14,491	13/09/04					
14/09/06	521,000	13,696				14/09/05	507,000	14,473	14/09/04					
15/09/06	512,000	13,943				15/09/05	500,000	14,632	15/09/04	369,000	15,441			
16/09/06	516,000	13,798				16/09/05	504,000	14,466	16/09/04	364,000	15,317			
17/09/06	515,000	13,665				17/09/05	478,000	14,498	17/09/04	370,000	15,310			
18/09/06	510,000	13,953				18/09/05	501,000	13,933	18/09/04	370,000	16,689			
19/09/06	518,000	13,801				19/09/05	499,000	14,274	19/09/04	349,000	16,211			
20/09/06	519,000	13,615				20/09/05	504,000	13,593	20/09/04	374,000	15,444			
21/09/06	521,000	13,479				21/09/05	509,000	13,912	21/09/04	380,000	15,386			
22/09/06	513,000	13,731				22/09/05	510,000	13,866	22/09/04	373,000	15,384			
23/09/06	517,000	13,559				23/09/05	507,000	13,537	23/09/04	363,000	15,376			
24/09/06	512,000	13,717				24/09/05	493,000	13,981	24/09/04	362,000	15,380			
25/09/06	510,000	13,666				25/09/05	502,000	13,835	25/09/04	371,000	15,399			
26/09/06	516,000	13,701		DESGASTE 2004 A 2006	6.01%	ANUAL	26/09/05	503,000	13,714	26/09/04	373,000	15,664		
27/09/06	515,000	13,574		ÍNDICE DESGASTADO	14,397		27/09/05	450,000	14,311	27/09/04	365,000	15,462		
28/09/06	516,000	13,551		ÍNDICE 2006	13,783		28/09/05	504,000	13,706	28/09/04	370,000	15,352		
29/09/06	497,000	13,687		AHORRO	4.26	29/09/05	501,000	13,706	29/09/04	365,000	15,504			
30/09/06	493,000	14,033				30/09/05	380,000	15,247	30/09/04	360,000	15,683			
PROMEDIO	515,833	13,783			PROMEDIO	501,385	14,083	PROMEDIO	367,375	15,563				
					INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		14,025	INDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		14,506				
					AHORRO de 2006 respecto 2005		1.72	%AHORRO de 2006 respecto 2004		4.98				
					INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		14,866	INDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		16,246				
					AHORRO de 2006 respecto 2005		7.28	%AHORRO de 2006 respecto 2005		15.16				

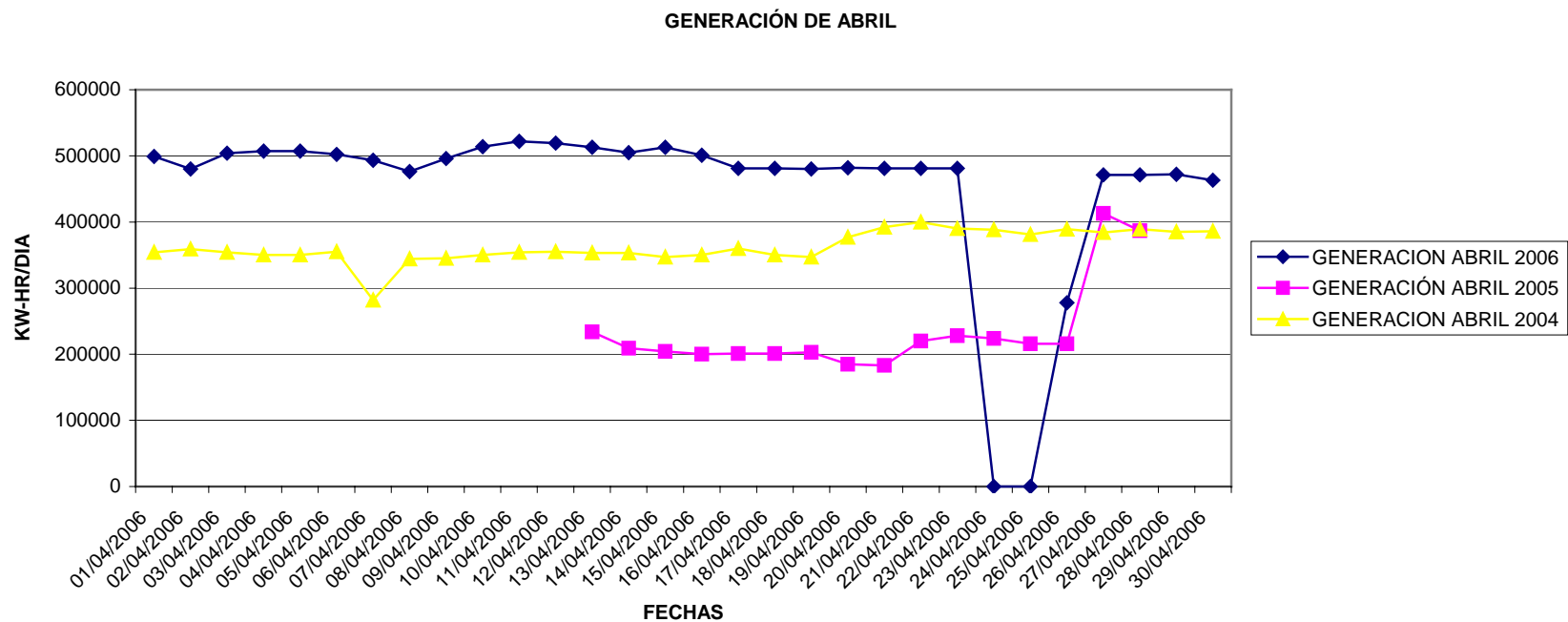
ANEXO 1.8 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE SEPTIEMBRE DE 2004, 2005 Y 2006

Anexos

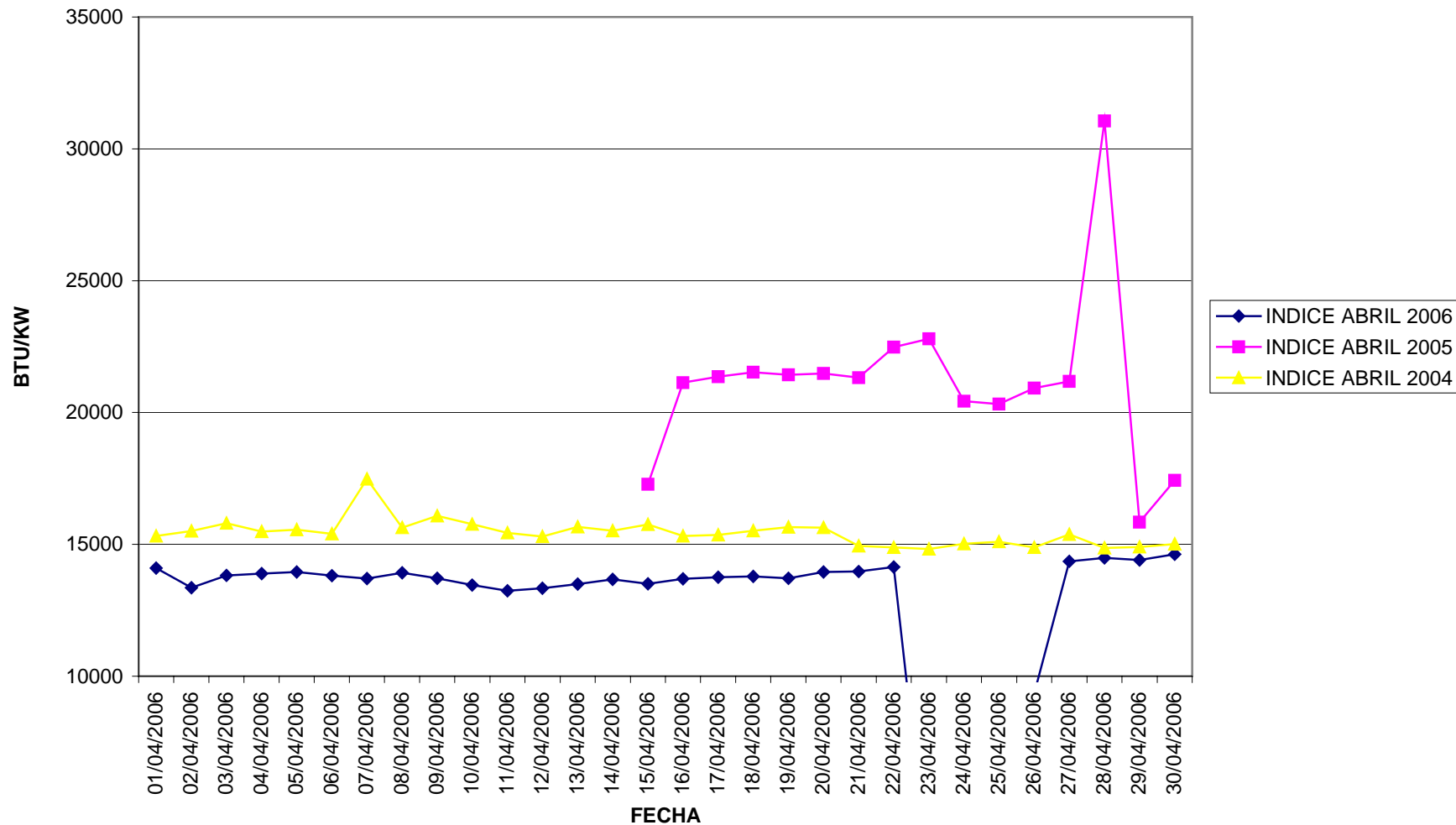
Oct-06				Oct-05			Oct-04		
01/10/06	516,000	13,602		1/10/05	494,000	13,734	01/10/04	393,000	14,401
02/10/06	522,000	13,658	2005 2004	2/10/05	503,000	13,713	02/10/04	377,000	15,264
03/10/06	514,000	13,717	GENERACIÓN 499,000 499,000	3/10/05	510,000	13,283	03/10/04	372,000	15,399
04/10/06	527,000	13,357	KW-HR/DIA	4/10/05	500,000	12,344	04/10/04	370,000	15,339
05/10/06	520,000	13,577	ÍNDICE 13,781 14,422	5/10/05	501,000	13,505	05/10/04	368,000	15,258
06/10/06	516,000	13,574	BTU/KW	6/10/05	506,000	13,390	06/10/04	368,000	15,051
07/10/06	523,000	13,402	DESGASTE % -4.7	7/10/05	496,000	13,829	07/10/04	367,000	15,448
08/10/06	523,000	13,493		8/10/05	507,000	13,432	08/10/04	390,000	15,043
09/10/06	513,000	13,766		9/10/05	508,000	13,556	09/10/04	368,000	15,739
10/10/06	519,000	13,715		10/10/05	486,000	13,824	10/10/04	371,000	15,388
11/10/06	495,000	13,964		11/10/05	474,000	14,172	11/10/04	376,000	15,336
12/10/06	517,000	14,012		12/10/05	503,000	13,525	12/10/04	380,000	15,059
13/10/06				13/10/05			13/10/04		
14/10/06				14/10/05			14/10/04		
15/10/06				15/10/05			15/10/04		
16/10/06				16/10/05			16/10/04		
17/10/06				17/10/05			17/10/04		
18/10/06				18/10/05			18/10/04		
19/10/06				19/10/05			19/10/04		
20/10/06				20/10/05			20/10/04		
21/10/06				21/10/05			21/10/04		
22/10/06				22/10/05			22/10/04		
23/10/06				23/10/05			23/10/04		
24/10/06				24/10/05			24/10/04		
25/10/06				25/10/05			25/10/04		
26/10/06				26/10/05			26/10/04		
27/10/06			DESGASTE 2004 A 2006 6.01% ANUAL	27/10/05			27/10/04		
28/10/06			ÍNDICE DESGASTADO 14,392	28/10/05			28/10/04		
29/10/06			ÍNDICE 2006 13,653	29/10/05			29/10/04		
30/10/06			AHORRO 5.13	30/10/05			30/10/04		
31/10/06				31/10/05			31/10/04		
PROMEDIO	517,083	13,653		PROMEDIO	499,000	13,526	PROMEDIO	375,000	15,227
				ÍNDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		13,456	ÍNDICE CORREGIDO POR CAPACIDAD		14,358
				AHORRO de 2006 respecto 2005		-1.46	% AHORRO de 2006 respecto 2004		4.91
				ÍNDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		14,264	ÍNDICE CORREG POR CAP. Y DESGASTE		16,081
				AHORRO de 2006 respecto 2005		4.28	% AHORRO de 2006 respecto 2005		15.10

ANEXO 1.9 COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA TURBINA DE GAS EN LOS MESES DE OCTUBRE DE 2004, 2005 Y 2006

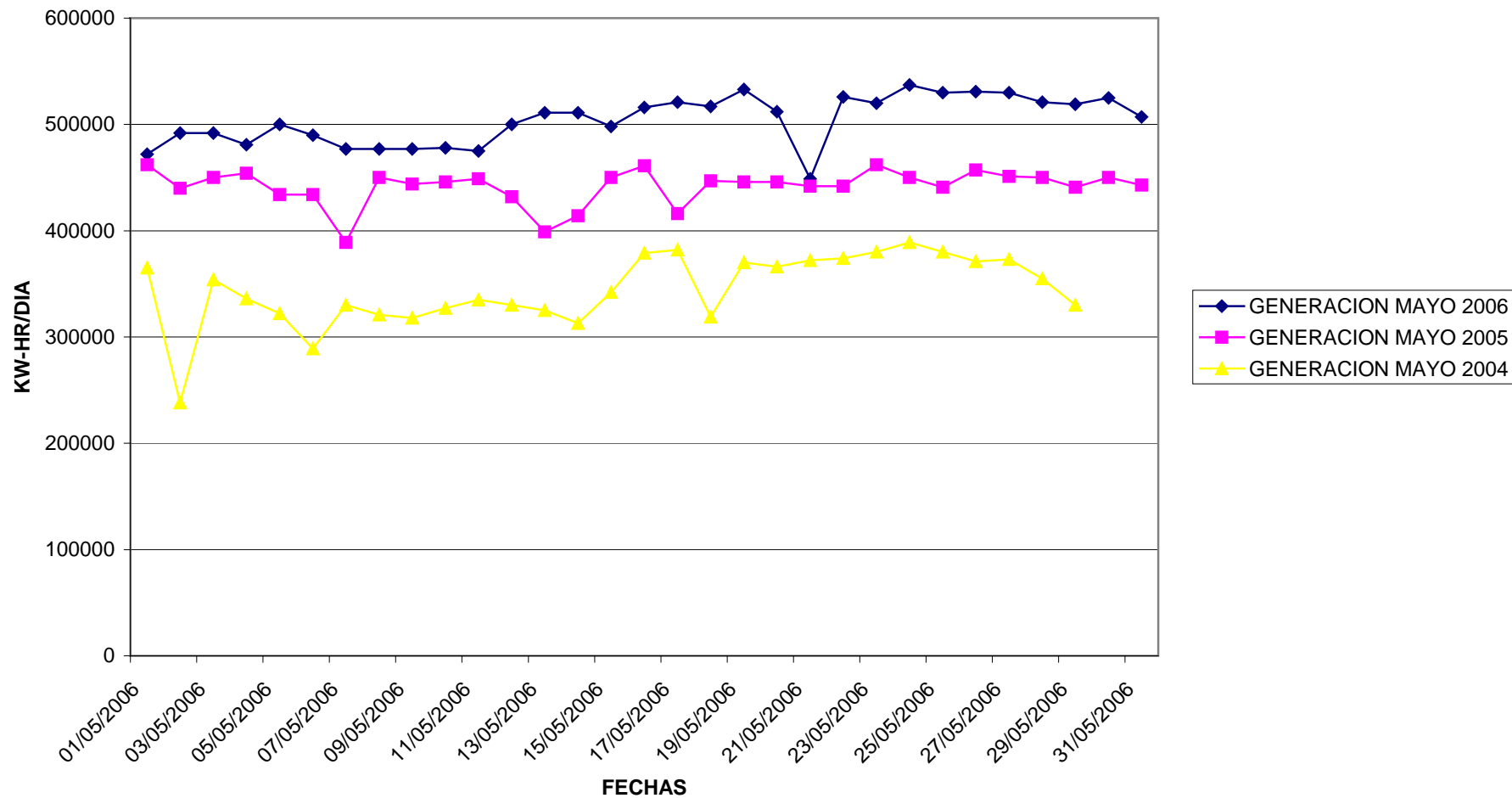
ANEXO 1.10 GENERACIÓN DE POTENCIA E INDICES ENERGÉTICOS PARA LA TURBINA DE GAS PARA LOS MESES
DE ABRIL A OCTUBRE DE 2004, 2005 Y 2006



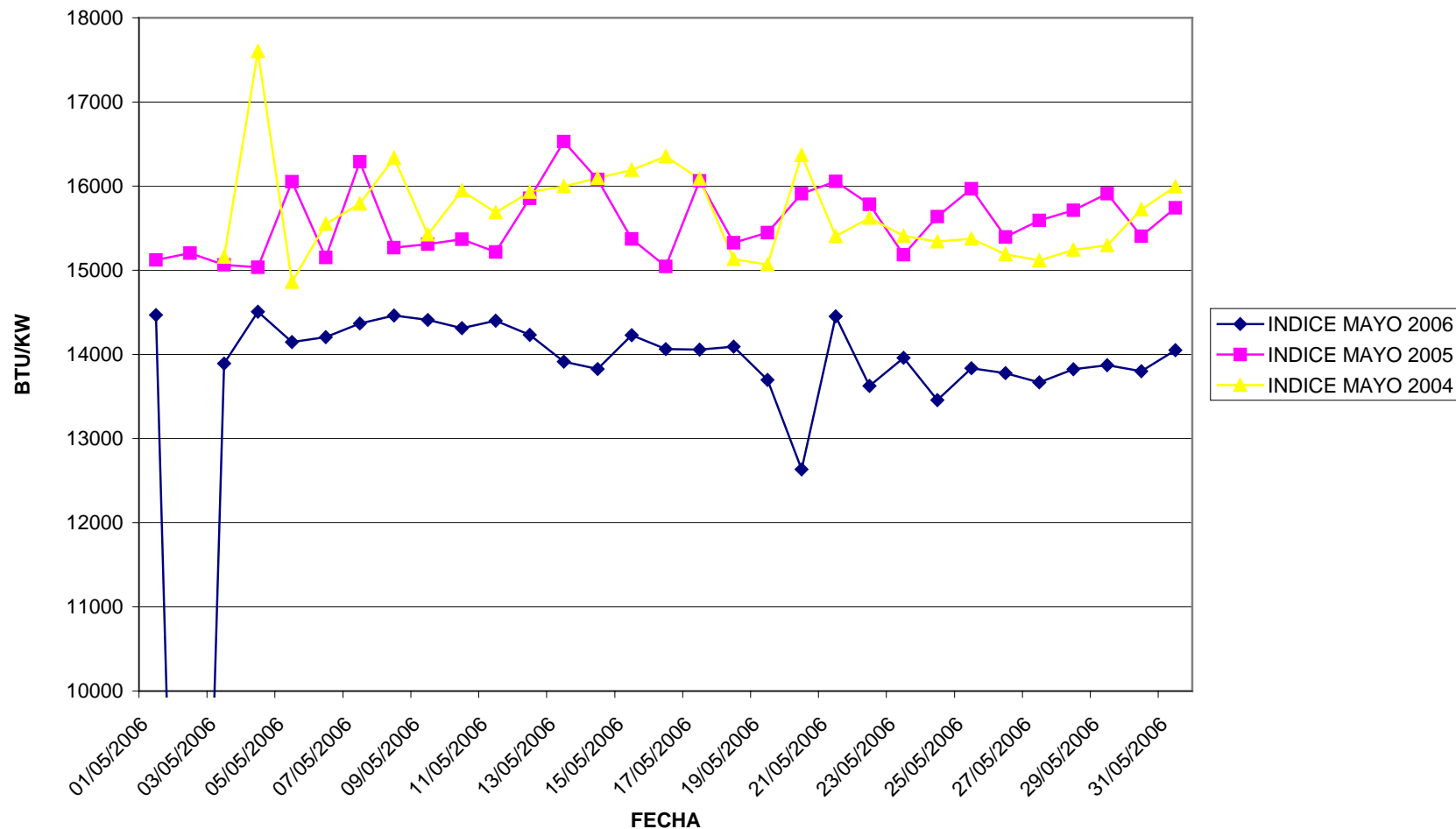
INDICES DE ABRIL

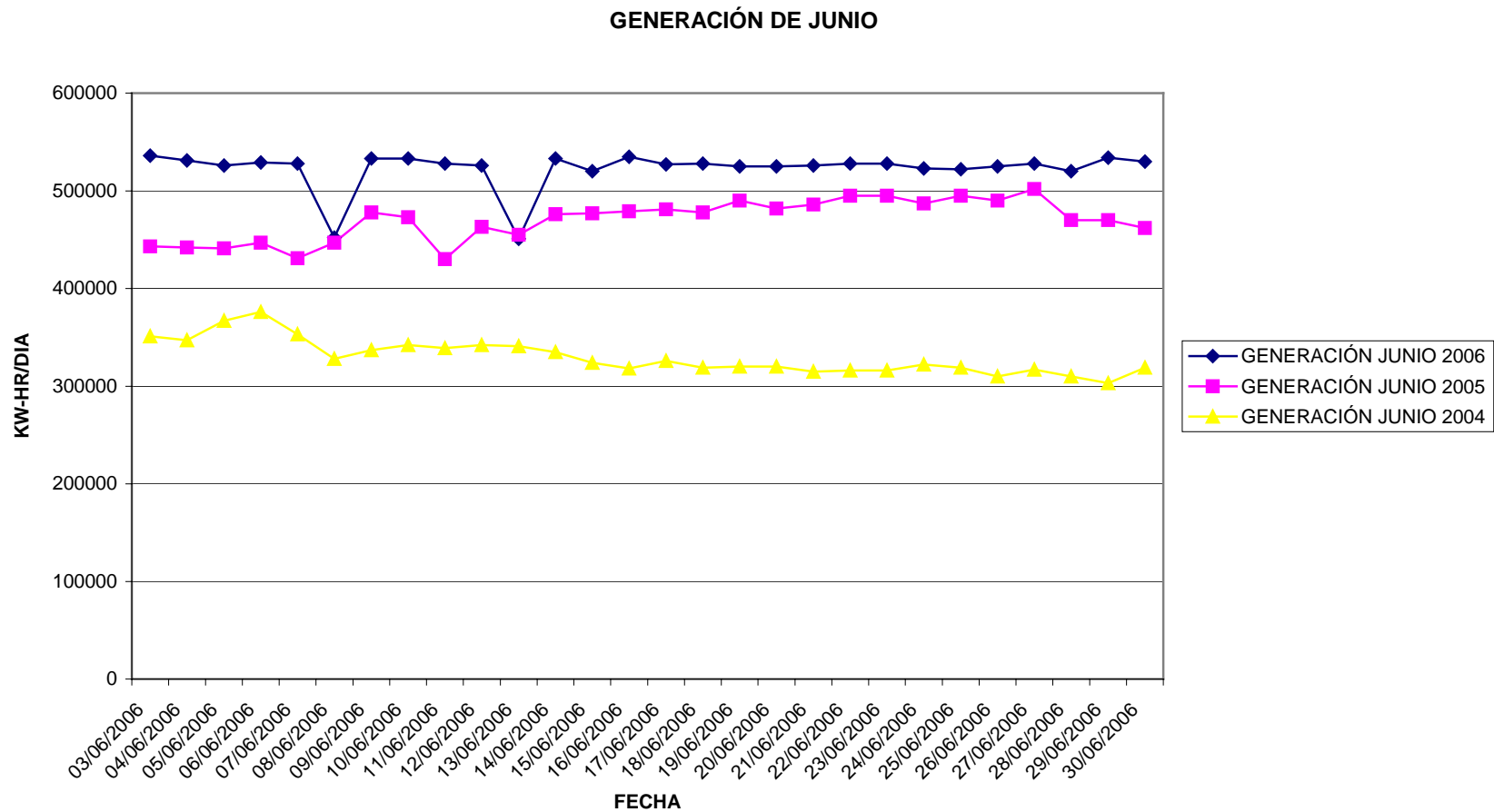


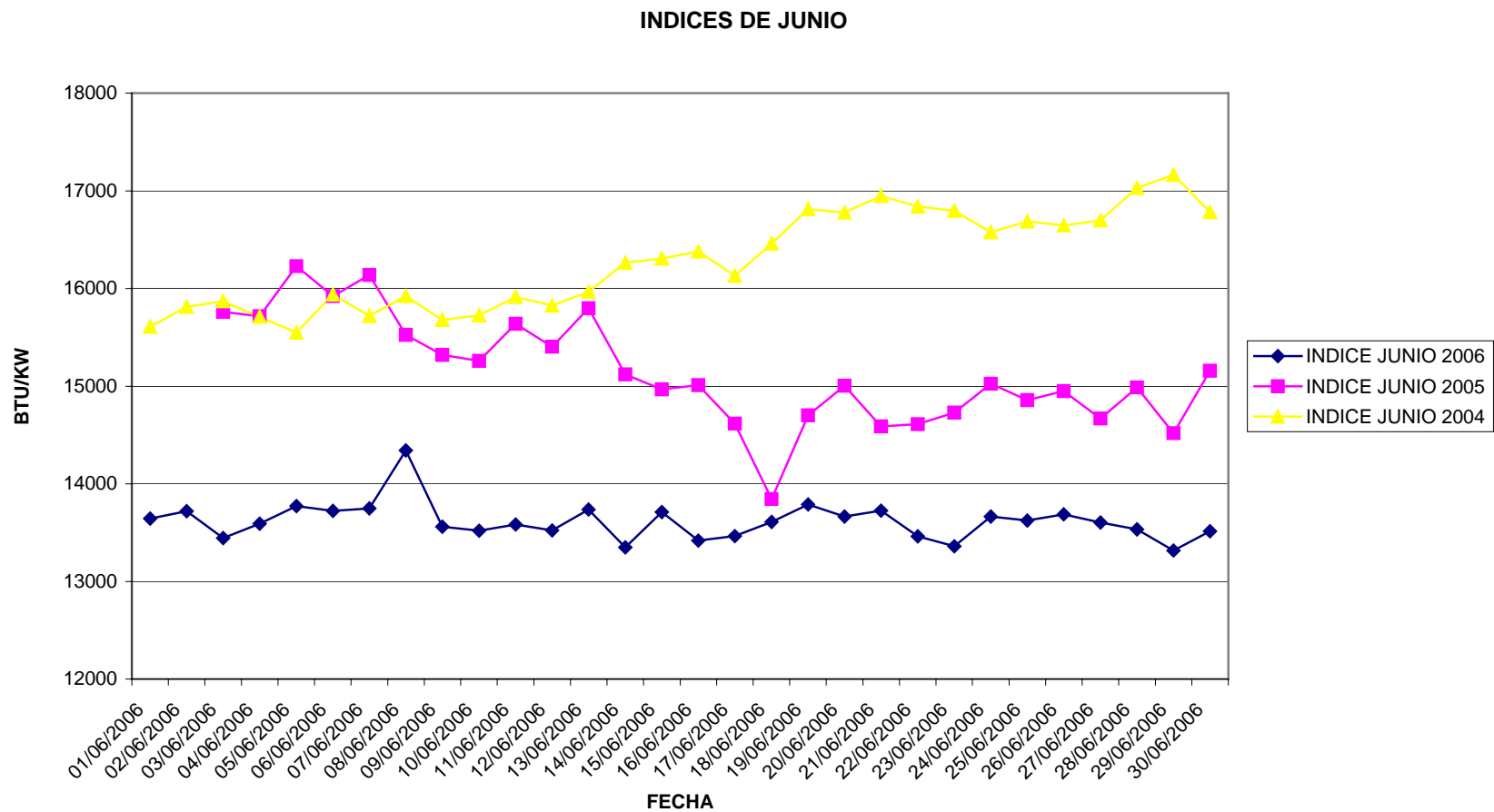
GENERACIÓN DE MAYO



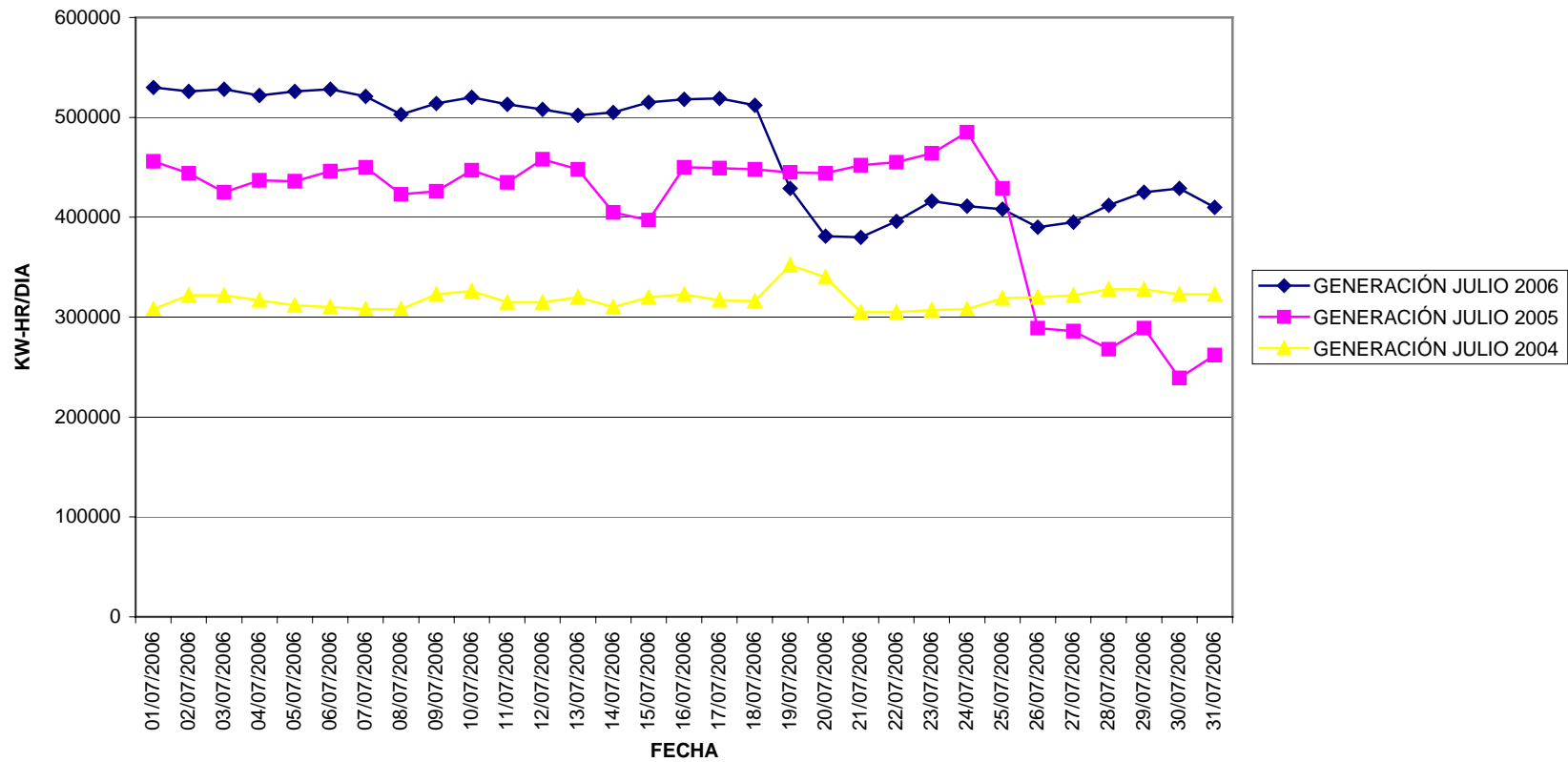
INDICES DE MAYO



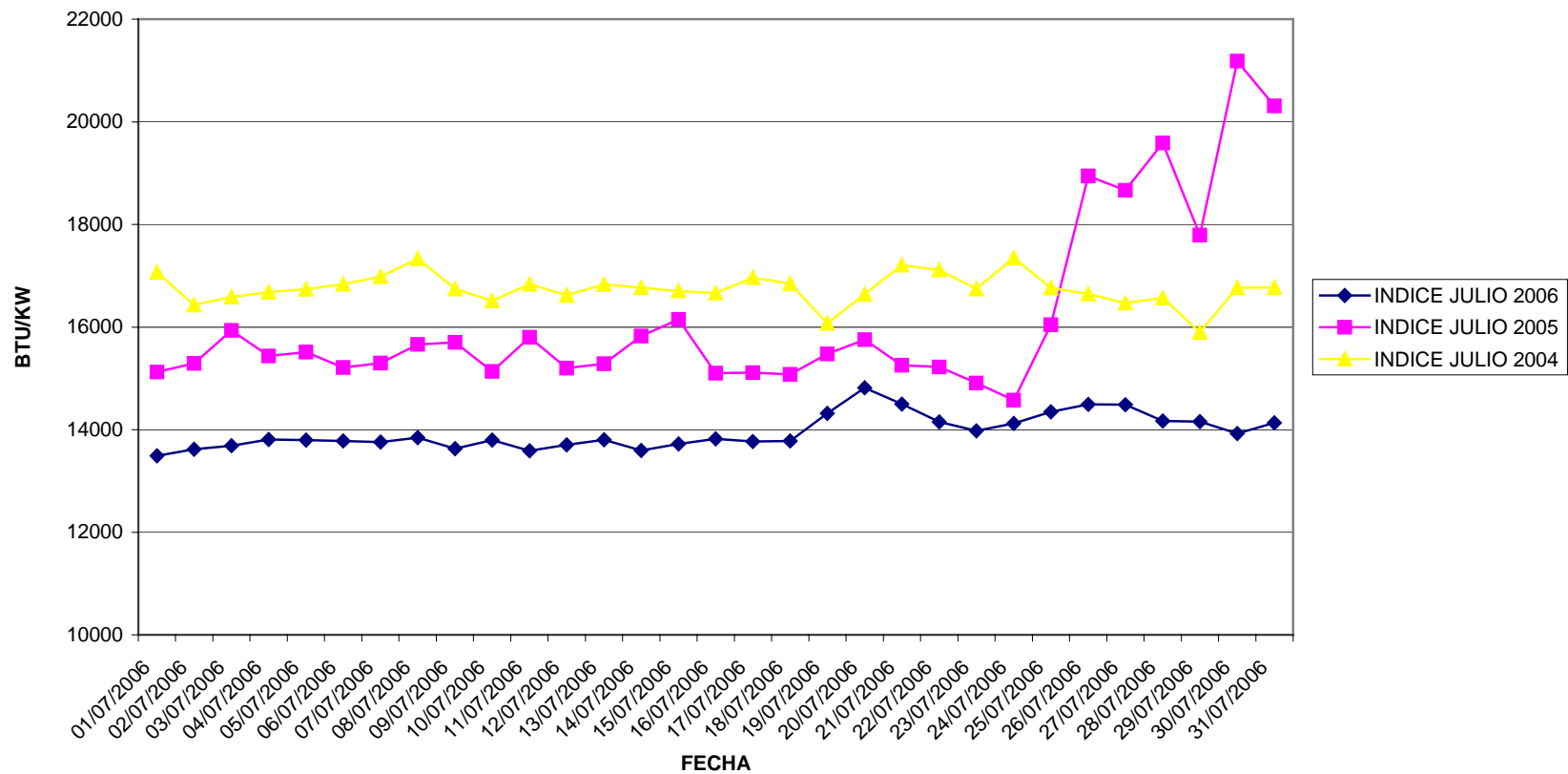




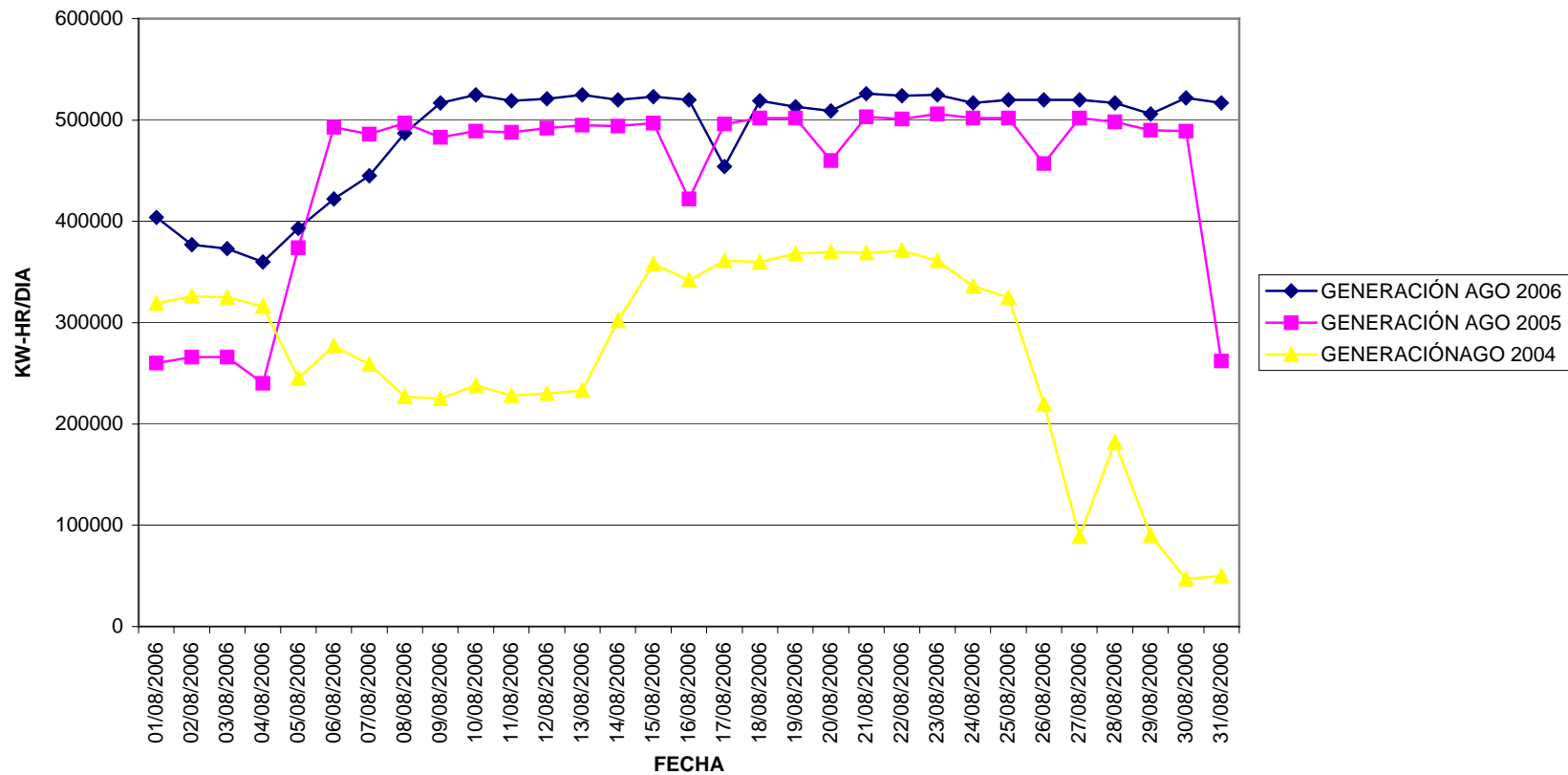
GENERACION DE JULIO



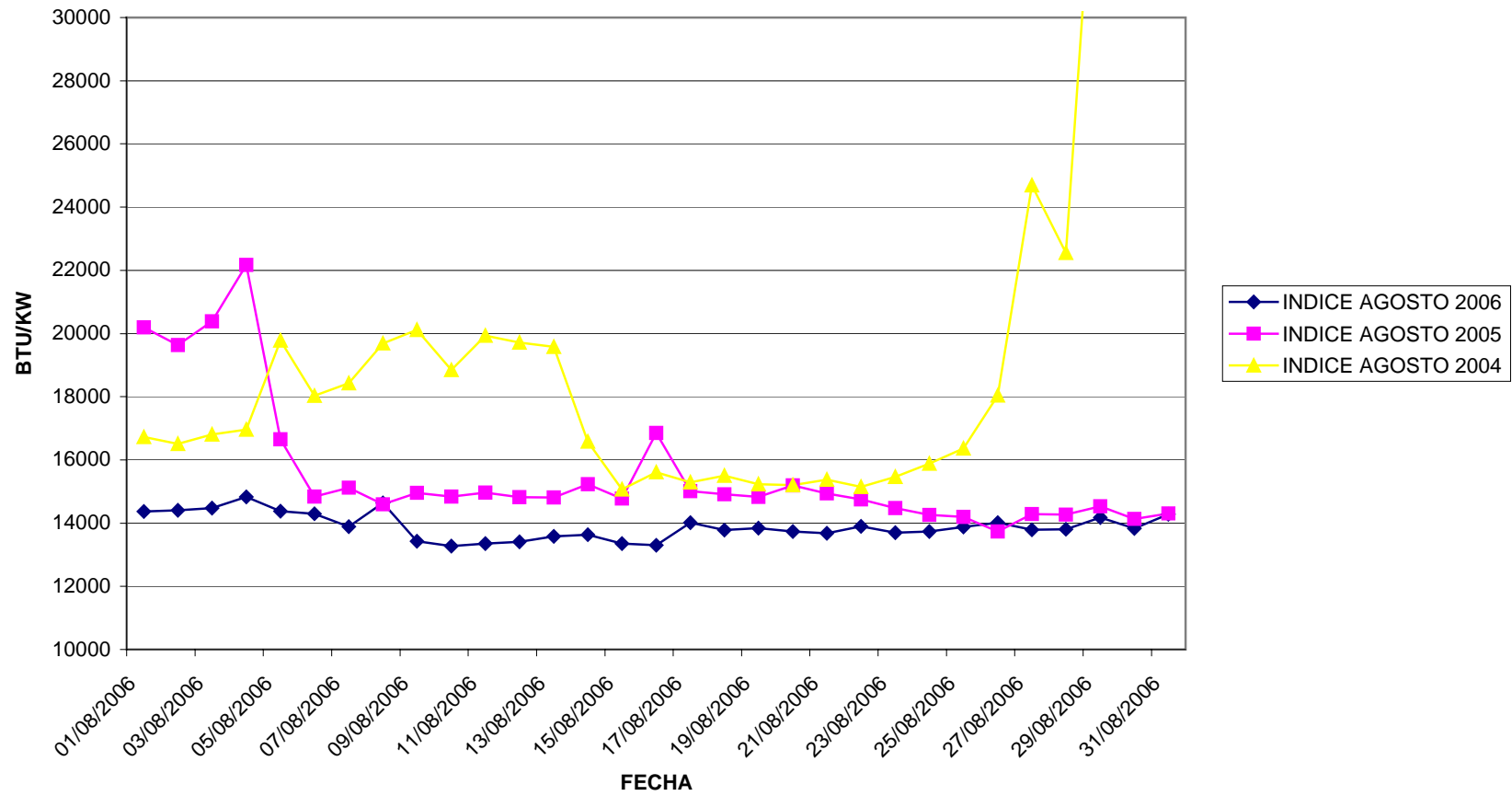
INDICES DE JULIO



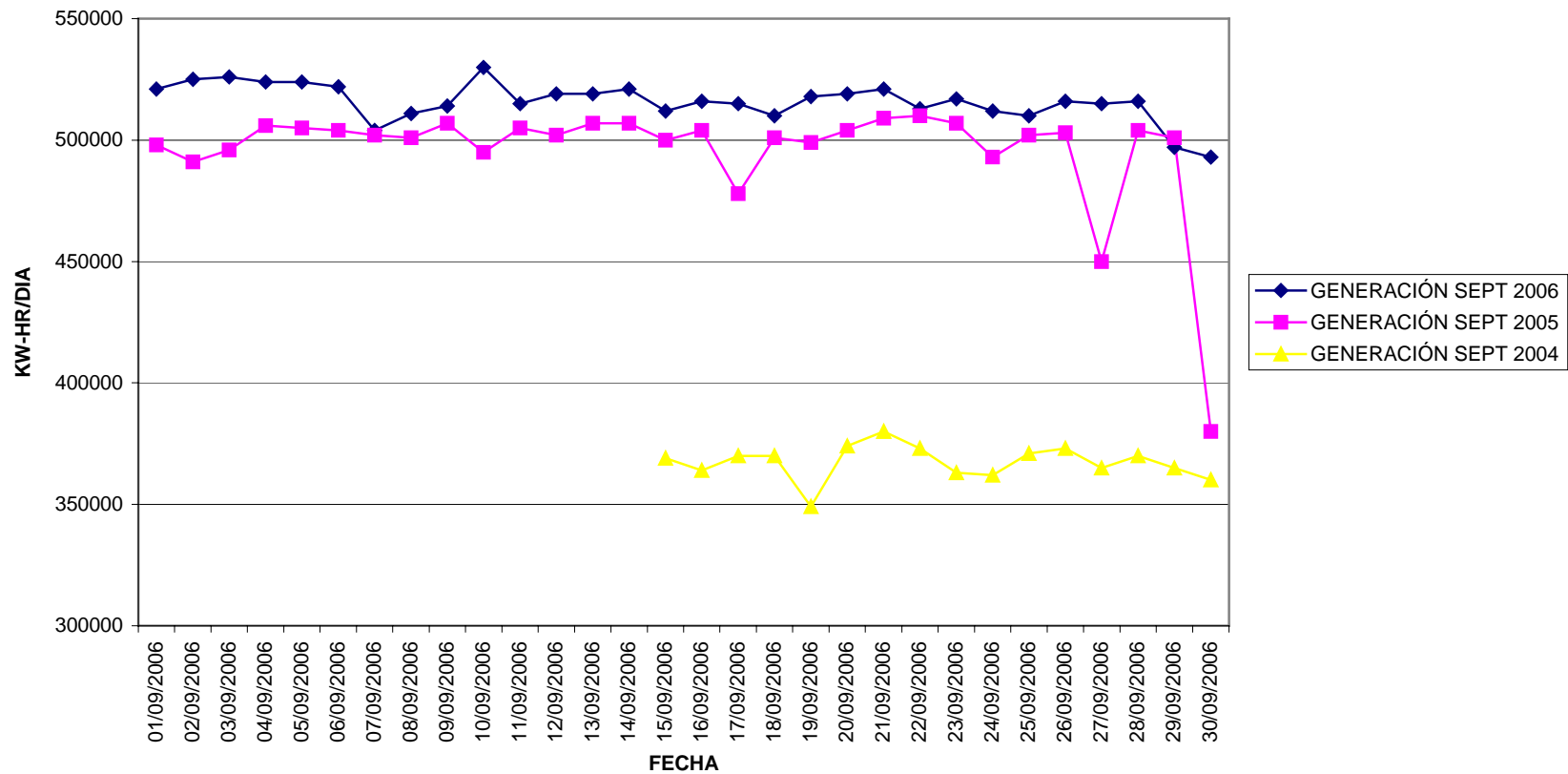
GENERACION DE AGOSTO



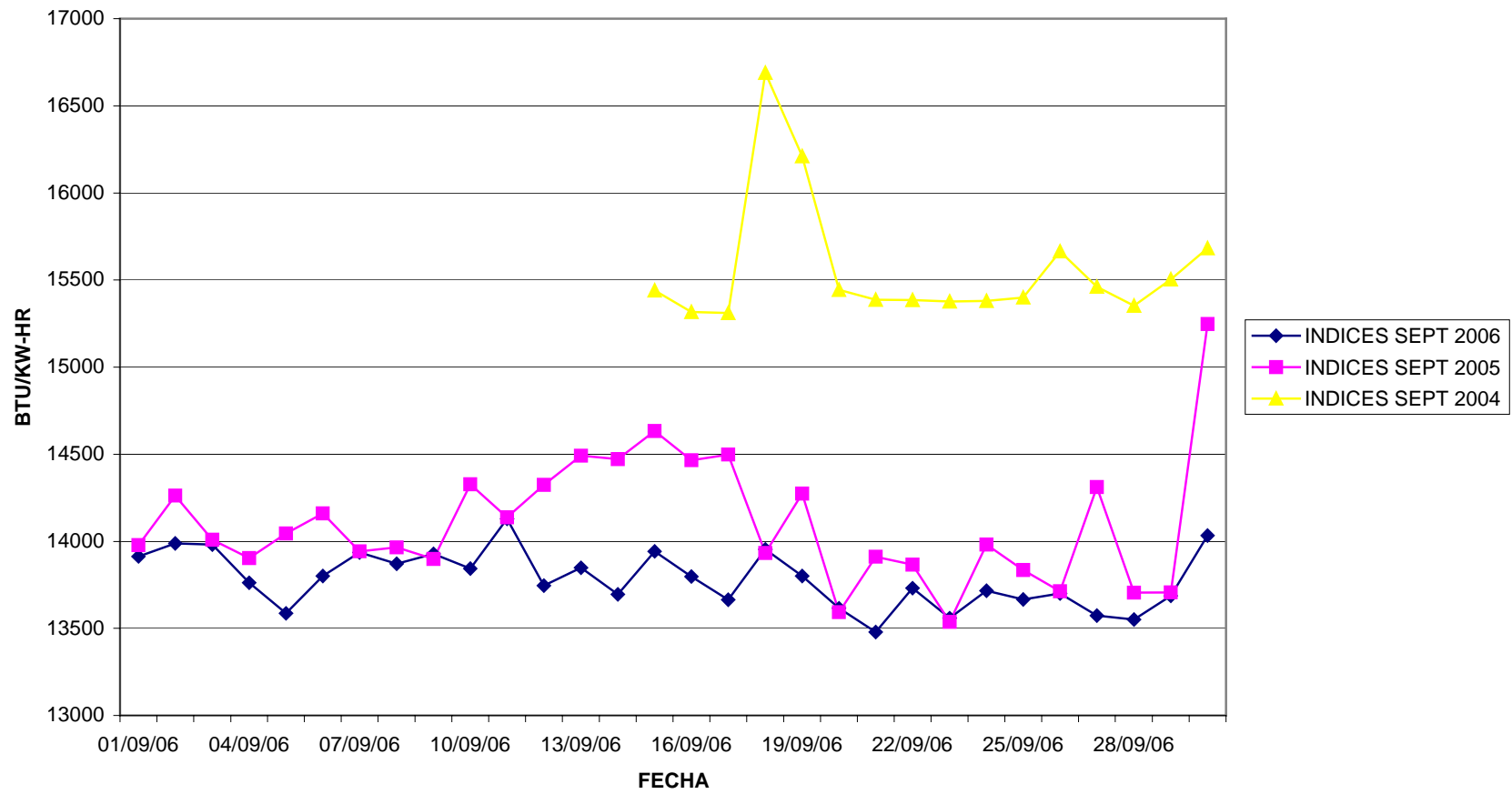
INDICES DE AGOSTO

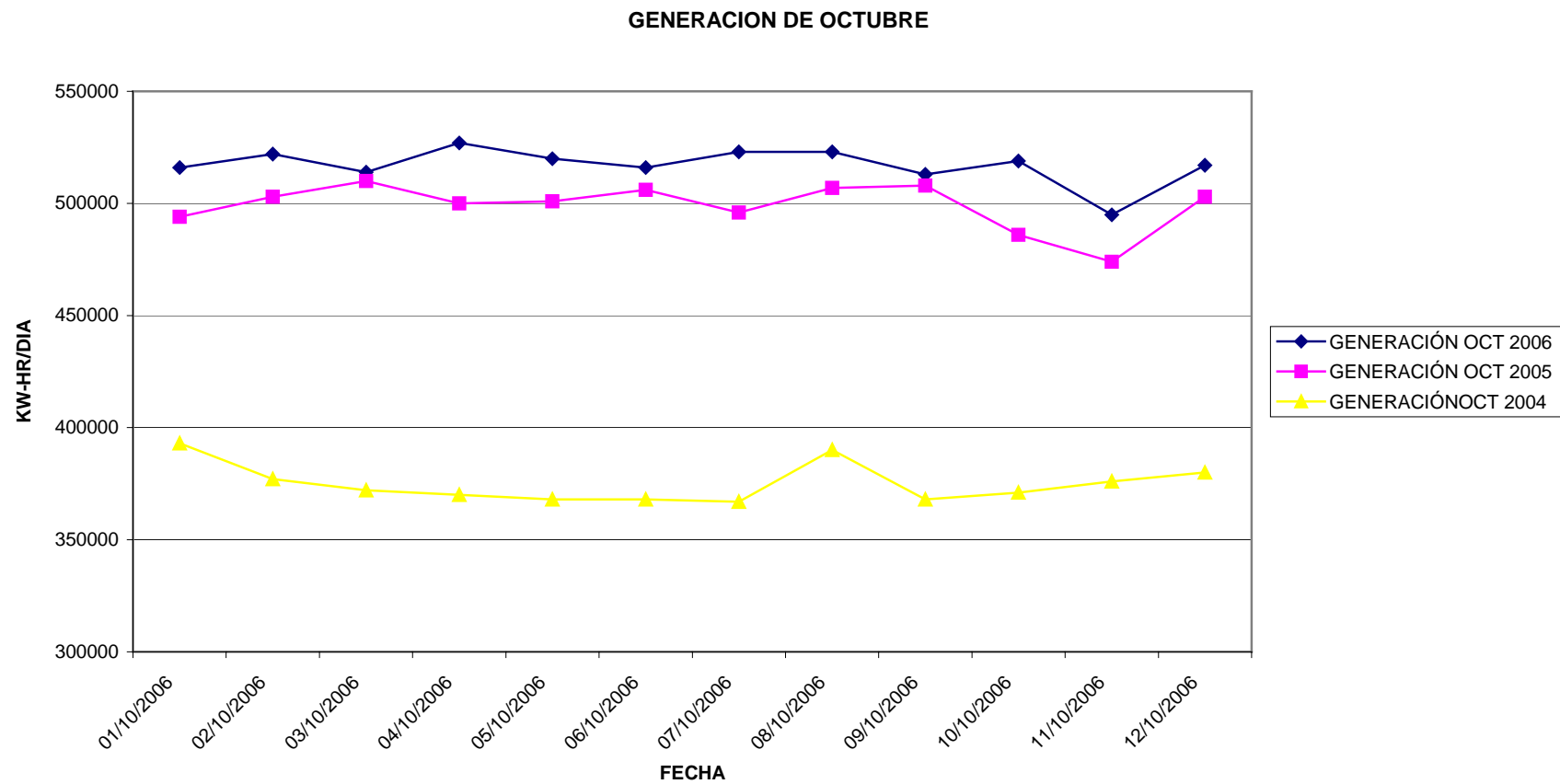


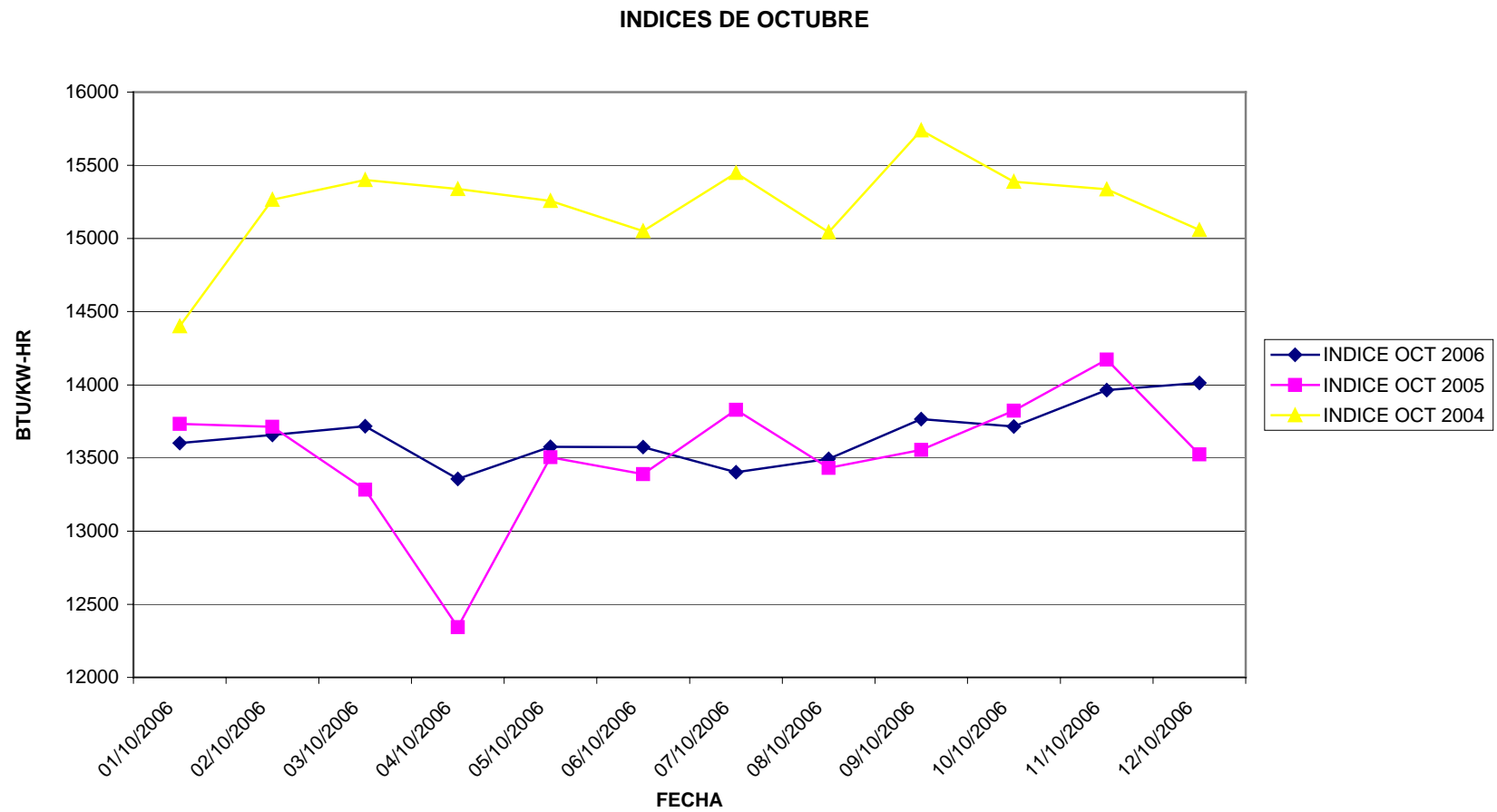
GENERACION DE SEPTIEMBRE



INDICES DE SEPTIEMBRE







ANEXO 2
EVALUACIÓN DE LOS AHORROS DE ENERGÍA EN UN CALENTADOR A FUEGO DIRECTO

**ANEXO 2.1 ANÁLISIS DEL GASCOMBUSTIBLE PROPORCIONADO
POR EL CLIENTE PARA LOS CALENTADORES A FUEGO DIRECTO**

		HIDROGENO	NITROGENO	METANO	BIOXIDO DE CARBONO	ETILENO	ETANO	PROPANO	BUTANOS	PESADOS
16-AGO-06	11:30	70.01	2.39	21.85	ND	0.58	5.14	NC	NC	0.03
10-AGO-06	09:00	69.28	7.5	21.52	0.01	0.34	1.24	NC	NC	0.11
09-AGO-06	09:00	70.22	2.14	24.93	ND	0.16	2.53	NC	NC	0.02
04-AGO-06	09:00	74.14	1.2	23.57	ND	0.19	0.87	NC	NC	0.03
10-ABR-06	13:00	74.39	1.72	20.03	0.01	ND	3.76	NC	NC	0.09
27-FEB-06	09:00	70.25	2.83	22.49	0.01	ND	4.29	NC	NC	0.13
30-ENE-06	09:00	74.42	6.93	16.92	0.01	ND	1.56	ND	ND	0.16
02-ENE-06	19:45	69.51	3.3	20.77	0.01	0.47	2.57	ND	ND	3.37
27-DIC-05	09:00	70.44	4.13	22.61	0.01	0.08	2.6	N/D	N/D	0.13
05-DIC-05	09:00	67.79	5.5	24.38	0.01	0.09	2.13	ND	ND	0.01
23-AGO-05	09:00	60.82	11.29	22.91	0.01	0.63	2.11	NC	NC	2.23
16-AGO-05	09:00	69.78	3.16	23.12	0.01	0.17	0.99	NC	NC	2.77
09-AGO-05	09:00	68.7	6.64	20.34	0.01	0.24	0.93	NC	NC	3.14
28-JUN-05	09:00	76.36	0.56	19.33	0.06	0.09	1.07	NC	NC	2.53
21-JUN-05	13:00	62.19	7.46	24.36	0.01	0.16	1.03	NC	NC	4.79
14-JUN-05	09:00	71.5	1.67	21.7	0.01	0.27	3.04	NC	NC	1.81
07-JUN-05	17:00	67.38	3.22	26.48	ND	0.15	2.65	ND	ND	0.12
07-JUN-05	09:00	67	4.23	23.32	0.01	0.22	2.3	N/D	N/D	2.92
31-MAY-05	09:00	69.95	2.25	22.35	0.02	0.5	2.2	ND	ND	2.73
24-MAY-05	09:00	69.86	4.31	23.44	N/D	0.11	2.17	NC	NC	0.11
17-MAY-05	09:00	68	1.17	23.13	0.08	0.15	5.01	N/D	N/D	2.46
10-MAY-05	09:00	60	1.04	28.26	ND	0.27	7.14	ND	ND	3.29
03-MAY-05	09:00	67.89	1.75	27.91	0.01	0.14	1.48	NC	NC	0.82
26-ABR-05	09:00	64.88	4.39	28.88	0.01	0.19	1.11	NC	NC	0.54
19-ABR-05	09:00	68.82	2.68	25.27	N/D	0.16	2.98	N/D	N/D	0.09
12-ABR-05	09:00	69.27	1.21	27.87	N/D	0.2	1.38	NC	NC	0.07
15-FEB-05	09:00	71.24	0.12	25.07	ND	0.49	0.75	ND	ND	2.33
14-FEB-05	09:00	72.72	0.15	25.05	ND	0.48	1.26	NC	NC	0.34
10-FEB-05	09:00	71.71	2	22	ND	0.58	3.62	ND	ND	0.09
09-FEB-05	09:00	69.98	2.87	23.44	ND	0.15	2.51	ND	ND	1.05
08-FEB-05	09:00	66.42	5	25.57	ND	0.11	1.19	NC	NC	1.71
07-FEB-05	13:00	73.46	1.7	19.69	ND	0.12	2.56	ND	ND	2.45
06-FEB-05	09:00	70.76	0.27	24.03	ND	0.1	4.76	NC	NC	0.08
05-FEB-05	09:00	73.99	0.81	20.41	ND	0.15	4.11	NC	NC	0.53
04-FEB-05	09:00	74.2	0.5	20.49	0.01	0.12	4.38	NC	NC	0.3
03-FEB-05	01:00	74.6	0.5	20.66	ND	0.15	4.05	NC	NC	0.04
13-ENE-05	09:00	70.89	2.52	21.01	0.01	0.46	2.58	NC	NC	2.53
11-ENE-05	09:00	72.35	1.31	21.13	0.01	0.1	3.88	NC	NC	

ANEXO 2.2 EVALUACIÓN DEL PODER CALORÍFICO, LA LIBERACIÓN TÉRMICA Y EL AHORRO DE COMBUSTIBLE

	CON FES 10-AGO-06 09:00	SIN FES 09-FEB-05 09:00	CON FES 02-ENE-06 19:45	CON FES 27-DIC-05 09:00	SIN FES 15-FEB-05 09:00	SIN FES 14-FEB-05 09:00	SIN FES 10-FEB-05 09:00
HIDROGENO	69.28	69.98	69.51	70.44	71.24	72.72	71.71
NITROGENO	7.5	2.87	3.3	4.13	0.12	0.15	2
METANO	21.52	23.44	20.77	22.61	25.07	25.05	22
BIOXIDO DE CARBONO	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0
ETILENO	0.34	0.15	0.47	0.08	0.49	0.48	0.58
ETANO	1.24	2.51	2.57	2.6	0.75	1.26	3.62
PROPANO	0	0	0	0	0	0	0
BUTANOS	0	0	0	0	0	0	0
PESADOS	0.11	1.05	3.37	0.13	2.33	0.34	0.09
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100
PESO MOLECULAR	CON FES 10-AGO-06 09:00	SIN FES 09-FEB-05 09:00	CON FES 02-ENE-06 19:45	CON FES 27-DIC-05 09:00	SIN FES 15-FEB-05 09:00	SIN FES 14-FEB-05 09:00	SIN FES 10-FEB-05 09:00
	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL	PESO MOLECULAR LB/LB MOL
HIDROGENO	2	2	2	2	2	2	2
NITROGENO	28	28	28	28	28	28	28
METANO	16	16	16	16	16	16	16
BIOXIDO DE CARBONO	44	44	44	44	44	44	44
ETILENO	28.10	28.10	28.10	28.10	28.10	28.10	28.10
ETANO	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10	30.10
PROPANO							
BUTANOS							
PESADOS	86	86	86	86	86	86	86
	PESO LB	PESO LB	PESO LB	PESO LB	PESO LB	PESO LB	PESO LB
HIDROGENO	1.3856	1.3996	1.3902	1.4088	1.4248	1.4544	1.4342
NITROGENO	2.1	0.8036	0.924	1.1564	0.0336	0.042	0.56
METANO	3.4432	3.7504	3.3232	3.6176	4.0112	4.008	3.52
BIOXIDO DE CARBONO	0.0044	0	0.0044	0.0044	0	0	0
ETILENO	0.09554	0.04215	0.13207	0.02248	0.13769	0.13488	0.16298
ETANO	0.37324	0.75551	0.77357	0.7826	0.22575	0.37926	1.08962
PROPANO	0	0	0	0	0	0	0
BUTANOS	0	0	0	0	0	0	0
PESADOS	0.0946	0.903	2.8982	0.1118	2.0038	0.2924	0.0774
PESO MOLECULAR MEZCLA	7.49658	7.65426	9.44564	7.10408	7.83684	6.31094	6.8442

PODER CALORÍFICO	CON FES	SIN FES	CON FES	CON FES	SIN FES	SIN FES	SIN FES
	10-AGO-06 09:00	09-FEB-05 09:00	02-ENE-06 19:45	27-DIC-05 09:00	15-FEB-05 09:00	14-FEB-05 09:00	10-FEB-05 09:00
	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB	PODER CALORIFICO IND BTU/LB
HIDROGENO	51600	51600	51600	51600	51600	51600	51600
NITROGENO							
METANO	21500	21500	21500	21500	21500	21500	21500
BIOXIDO DE CARBONO							
ETILENO	20290	20290	20290	20290	20290	20290	20290
ETANO	20420	20420	20420	20420	20420	20420	20420
PROPANO							
BUTANOS							
PESADOS	19390	19390	19390	19390	19390	19390	19390
	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB	CALOR LIBERADO BTU/LB
HIDROGENO	71496.96	72219.36	71734.32	72694.08	73519.68	75047.04	74004.72
NITROGENO	0	0	0	0	0	0	0
METANO	74028.8	80633.6	71448.8	77778.4	86240.8	86172	75680
BIOXIDO DE CARBONO	0	0	0	0	0	0	0
ETILENO	1938.5066	855.2235	2679.7003	456.1192	2793.7301	2736.7152	3306.8642
ETANO	7621.5608	15427.5142	15796.2994	15980.692	4609.815	7744.4892	22250.0404
PROPANO	0	0	0	0	0	0	0
BUTANOS	0	0	0	0	0	0	0
PESADOS	1834.294	17509.17	56196.098	2167.802	38853.682	5669.636	1500.786
PODER CALORIF. MEZCLA BTU/LB	20932	24384	23064	23800	26288	28105	25824
DENSIDAD LB/FT3	0.0195	0.0199	0.0245	0.0184	0.0203	0.0164	0.0178
DENSIDAD Kg/M3	0.3109	0.3175	0.3918	0.2947	0.3250	0.2618	0.2839
CONSUMO DE COMBUSTIBLE KG/HR REPORTADO POR PEMEX	2369	2193	2331	2264	2142	2120	2148
CONSUMO DE COMBUSTIBLE NM3/HR REPORTADO POR PEMEX	9966		9994	9735			
CONSUMO DE COMBUSTIBLE CALCULADO CON DENSIDAD KG/HR	3099	0	3915	2868	0	0	0
INDICE ENERGÉTICO Y AHORRO	CON FES	SIN FES	CON FES	CON FES	SIN FES	SIN FES	SIN FES
CALOR LIBERADO TOTAL MM BTU/HR	109,342,528	117,920,878	118,562,038	118,787,257	124,177,044	131,388,279	122,288,814
CARGA DE MATERIA PRIMA TON/HR	482.1	481.9	480.0	479.9	477.8	478.0	478.9
	CON FES	SIN FES	CON FES	CON FES	SIN FES	SIN FES	SIN FES
INDICE ENERGÉTICO=100000 BTU/HR CAL LIB/CARGA DEMATERIA PRIMA	2.26823482	2.44678836	2.46995871	2.47512796	2.59884604	2.74868986	2.55327289
INDICE ENERGÉTICO PROMEDIO	2.26823482	2.44678836	2.472543336		2.63360293		
PORCENTAJE DE AHORRO	7.29		6.11				