

**INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO**



**COORDINACION DE PROTECCION AMBIENTAL**

**GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

**DIVISION DE CONTROL ENERGETICO**

**SERVICIO NO. EOE-4330**

**“PRUEBAS DE COMBUSTOLEO EN CAMARA ABIERTA PARA  
EVALUAR COMBUSTOLEO ADICIONADO CON EL ADITIVO Xp3”**

**INFORME TECNICO**

**NOVIEMBRE DE 1995**



**CONTENIDO**

|   |    |
|---|----|
| 1. ANTECEDENTES   | 3  |
| 2. OBJETIVOS  | 3  |
| 3. ALCANCE  | 4  |
| 4. DESARROLLO   | 5  |
| -METODOS DE MEDICION Y EQUIPOS                                    | 5  |
| -MEDICION DE GASES EN CHIMENEA                                    | 8  |
| -EQUIPO DE MEDICION UTILIZADO PARA EL<br>CONTROL DE LA COMBUSTION | 9  |
| -CARACTERISTICAS DEL QUEMADOR                                     | 10 |
| -CARACTERISTICAS DEL COMBUSTOLEO<br>SIN ADITIVO                   | 11 |
| -CARACTERISTICAS DEL COMBUSTOLEO<br>MAS ADITIVO                   | 12 |
| -CONDICIONES DE OPERACION PARA EL<br>QUEMADO DE COMBUSTOLEO       | 15 |
| 5. RESULTADOS   | 16 |
| -DISCUSION DE RESULTADOS  | 27 |
| 6. COMENTARIOS  | 29 |
| 7. CONCLUSIONES   | 30 |



## 1. ANTECEDENTES

El 5 julio de 1995, el Ing. Antonio Fernández, Director comercial de Productos Industriales MISEDA, S.A. de C.V., solicitó a este instituto una cotización para efectuar pruebas comparativas de combustión con combustóleo contra combustóleo adicionado con el aditivo Xp<sup>3</sup>, como respuesta a esta solicitud se presentó una propuesta técnico/económica en el mes de septiembre del año en curso donde se detallaron todos los aspectos técnicos así como el costo de la pruebas. El Ing. Antonio Fernández procedió a efectuar una visita el día 26 de septiembre de 1995 a las instalaciones ubicadas en el parque Industrial "la Reformar" en Pachuca, Hgo., con el propósito de conocer la caldera experimental donde se efectuarían las pruebas, al final de la visita el Ing. Fernández aceptó la propuesta.

## 2. OBJETIVO

Realizar pruebas de combustión con combustóleo con y sin la adición del aditivo Xp<sup>3</sup> para evaluar la eficiencia en la combustión y cuantificar sus emisiones y comparar los resultados obtenidos, con los valores establecidos por la norma NOM-085-ECOL-1994.



### **3. ALCANCE**

Las pruebas de combustión permitirán determinar experimentalmente el comportamiento del combustible con y sin aditivo a diferentes excesos de aire (3, 5 y 7 % de oxígeno en gases de chimenea), así mismo con los valores de flujo de combustible y vapor producido en cada condición de combustión se obtendrá la eficiencia de la caldera.

La evaluación de las emisiones contaminantes de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO y Partículas Suspensas Totales (PST), se realizarán para el combustible durante su quemado, comparando éstas emisiones contra los valores de la misma norma.



## 4. DESARROLLO

El desarrollo de este trabajo se llevó a cabo en el período comprendido del 26 de septiembre de 1995 al 6 de octubre del mismo año, mediante las pruebas y equipos descritas a continuación.

### Métodos de medición:

Las mediciones en la chimenea se realizaron tomando como base las Normas Oficiales Mexicanas vigentes y Métodos de la EPA.

1. NOM-AA-9-1973: "Determinación de flujo de gases por medio del Tubo Pitot".
2. NOM-AA-54-1978: "Determinación del contenido de humedad en los gases que fluyen por un ducto".
3. DGN-AA-35-1975: "Determinación del bióxido de carbono, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión"
4. NOM-085-ECOL-1994: "Para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos en cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos para las condiciones de operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, (así como los niveles máximos



permisibles de emisión de dióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión).

5. EPA-Método 1: "Determinación del sitio de muestreo y velocidad de los gases de chimenea provenientes de fuentes fijas. Federal Register, Title 40, Part. 60, App A, pag. 348."
6. EPA-Método 2: "Determinación de la velocidad de gases de chimenea y flujo volumétrico (tubo Pitot tipo "S"). Federal Register, Title 40, Protection of Environmental Part 60, App. A, pag. 354-372."
7. EPA-Método 3: Análisis de gas para dióxido de carbono, oxígeno, monóxido de carbono, exceso de aire y peso molecular. Federal Register, Title 40, Protection of Environmental, pag. 60, App A, pag. 372.
8. EPA-Método 3A: Determinación de las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en emisiones provenientes de fuentes fijas. Protection of Environmental, Part 60, App A, pag. 372 (Procedimiento de analizador instrumental).
9. EPA-Método 4: Determinación del contenido de humedad en gases de chimenea Federal Register, Vol. 36, No. 247, Diciembre de 1971.
10. EPA-Método 5: Determinación de la emisión de partículas provenientes de fuentes fijas. Title 40, Protection of Environmental, Part. 60, App A, Pag. 387.



- 11.EPA-Método 6C: Determinación de las emisiones de bióxido de azufre provenientes de fuentes fijas (procedimiento de analizador instrumental).
- 12.EPA-Método 7E: Determinación de las emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes de fuentes fijas (procedimiento de analizador instrumental).
- 13.EPA-Método 10: Determinación de las emisiones de monóxido de carbono provenientes de fuentes fijas (procedimiento de analizador instrumental).

**Equipos:**

**A continuación se enlistan los principales componentes de la caldera experimental:**

|   |  |
|---|--|
| Tipo  | Empacado con tubos de humo               |
| Capacidad de evaporación                        | 3.6 t/h                                  |
| Calor generado                                  | $1.94 \times 10^6$ Kcal/h                |
| Presión Máxima                                  | 10.0 Kg/cm <sup>2</sup>                  |
| Presión normal                                  | 7 Kg/cm <sup>2</sup>                     |
| Temperatura del vapor                           | 169 °C                                   |
| Cámara de combustión                            | Morrison de un paso                      |
| Volumen de la cámara de combustión              | 2.409 m <sup>3</sup>                     |
| Capacidad calorífica de la cámara de combustión | $926 \times 10^3$ Kcal/m <sup>3</sup> /h |

**Analizadores de gases de combustión empleados para la medición de gases en chimenea:**

|                 |                               |
|-----------------|-------------------------------|
| CO              | Absorción infrarroja          |
| CO <sub>2</sub> | Absorción infrarroja          |
| SO <sub>2</sub> | Absorción infrarroja          |
| O <sub>2</sub>  | Método de Zirconio            |
| NO <sub>x</sub> | Quimiluminiscencia            |
| Humo            | Método Bacharach y Ringelmann |







### **Características del quemador**

#### **QUEMADOR NORMAL**

Método de atomización: aire o vapor (intercambiable)

Método de mezclado: Interno, este mezclado produce la atomización más fina, es decir, el menor tamaño de gota, son los que utilizan la menor cantidad de fluido auxiliar. El consumo de fluido auxiliar es proporcional al flujo de combustible, esto es, varía de acuerdo con la carga. Cuentan con barrenos individuales con dirección unitaria y en arreglos específicos para el control de la forma de la flama y la emisión de NOx.

Tipo de garganta: Cilíndrica recta, la flama se estabiliza a la salida de la misma, suministra una zona de alta temperatura que da estabilidad a la flama. Cuenta con un difusor tipo abanico que imparte un movimiento rotatorio al aire de combustión.

Capacidad: 240,000 Kcal/h

Presión de atomización del combustible: 3.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Presión de atomización del vapor: 4.5 Kg/cm<sup>2</sup>

Consumo de atomización del vapor: 3.5 Kg/l

Viscosidad del combustible a la entrada del quemador: 20 cSt



El análisis realizado al combustóleo sin aditivo dio los siguientes resultados:

| PRUEBA                        | MÉTODO      | UNIDADES | RESULTADO |
|-------------------------------|-------------|----------|-----------|
| Viscosidad S. F. a 50 °C      | ASTM D-88   | SSF      | 793.0     |
| Peso específico 20/4 °C       | ASTM D-70   | -----    | 0.9916    |
| Poder calorífico neto         | ASTM D-240  | Btu/lb   | 16995     |
| Carbón Ramsbottom             | ASTM D-524  | % peso   | 14.16     |
| Agua y sedimento              | ASTM D-1796 | % vol    | 4.0       |
| Temp. de ignición             | ASTM D-92   | °C       | 194       |
| Temp. de inflamación          | ASTM D-93   | °C       | 108       |
| Azufre total                  | ASTM D-4294 | % peso   | 3.55      |
| Cenizas                       | ASTM D-482  | % peso   | 0.059     |
| Insolubles en nC <sub>5</sub> | ASTM D-2007 | % peso   | 17.57     |



Prueba No. 1 Los resultados del laboratorio correspondientes a la prueba No. 1 realizados al combustóleo ya aditivado con Xp3 son los siguientes:

| PRUEBA                   | MÉTODO      | UNIDADES | RESULTADO |
|--------------------------|-------------|----------|-----------|
| Viscosidad S. F. a 50 °C | ASTM D-88   | SSF      | 653.0     |
| Peso específico 20/4 °C  | ASTM D-70   | -----    | 0.9918    |
| Poder calorífico neto    | ASTM D-240  | Btu/lb   | 17122     |
| Carbón Ramsbottom        | ASTM D-524  | % peso   | 14.60     |
| Agua y sedimento         | ASTM D-1796 | % vol    | < 0.05    |
| Temp. de ignición        | ASTM D-92   | °C       | 170.0     |
| Temp. de inflamación     | ASTM D-93   | °C       | 115       |
| Azufre total             | ASTM D-4294 | % peso   | 3.44      |
| Cenizas                  | ASTM D-482  | % peso   | 0.0522    |
| Insolubles en nC5        | ASTM D-2007 | % peso   | 18.20     |



Prueba No. 2 los resultados del laboratorio para esta prueba del combustóleo ya aditivado con Xp3 son los siguientes:

| PRUEBA                  | METODO      | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------|-------------|----------|------------|
| Viscosidad S.F. a 50 °C | ASTM D-88   | SSF      | 640.7      |
| Peso específico 20/4 °C | ASTM D-70   | -----    | 0.9923     |
| Poder calorífico neto   | ASTM D-240  | Btu/lb   | 17076      |
| Carbón Ramsbottom       | ASTM D-524  | % peso   | 14.59      |
| Agua y sedimento        | ASTM D-1796 | % vol    | < 0.05     |
| Temp. de ignición       | ASTM D-92   | °C       | 196        |
| Temp. de inflamación    | ASTM D-93   | °C       | 108        |
| Azufre total            | ASTM D-4294 | % peso   | 3.18       |
| Cenizas                 | ASTM D-482  | % peso   | 0.0669     |
| Insolubles en nC5       | ASTM D-2007 | % peso   | 17.26      |



Prueba No. 3 los resultados del análisis del combustóleo ya aditivado con Xp3 en esta prueba son los siguientes :

| PRUEBA                  | METODO      | UNIDADES | RESULTADOS |
|-------------------------|-------------|----------|------------|
| Viscosidad S.F. a 50 °C | ASTM D-88   | SSF      | 725.5      |
| Peso específico 20/4 °C | ASTM D-70   | -----    | 0.9927     |
| Poder calorífico neto   | ASTM D-240  | Btu/lb   | 17023      |
| Carbón Ramsbottom       | ASTM D-524  | % peso   | 13.23      |
| Agua y sedimento        | ASTM D-1796 | % vol    | < 0.05     |
| Temp. de ignición       | ASTM D-92   | °C       | 184        |
| Temp. de inflamación    | ASTM D-93   | °C       | 114        |
| Azufre total            | ASTM D-4294 | % peso   | 3.66       |
| Cenizas                 | ASTM D-482  | % peso   | 0.0581     |
| Insolubles en nC5       | ASTM D-2007 | % peso   | 17.27      |



## Condiciones de operación para el quemado del combustóleo.

De acuerdo con el programa experimental de pruebas de combustión en cámara abierta para evaluar el combustóleo sin y con el aditivo  $Xp^3$ , éstas se realizaron con un flujo de 200 l/h equivalente al 85% de carga de la caldera, operando con quemador normal y variando la concentración de oxígeno en los gases de combustión a: 3, 5 y 7%.

Por otra parte se llevaron a cabo pruebas para determinar la eficiencia de la caldera aplicando el método directo, a las diferentes condiciones de operación antes indicadas, determinando por este medio si el aditivo contribuye a mejorar las propiedades del combustible durante su quemado.

Al mismo tiempo se procedió a determinar la emisión de partículas suspendidas totales durante la combustión con y sin aditivo.



## RESULTADOS

Durante la operación de la caldera utilizando quemador normal se realizaron 6 pruebas que comprenden las cargas de 200 l/h de combustóleo variando la concentración en 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en los gases de combustión, .

En el cuadro No. 1 se presentan las condiciones operativas y la eficiencia de la caldera, obtenida con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión, utilizando combustóleo sin aditivo.

En el cuadro No. 2 se presentan las condiciones operativas y la eficiencia de la caldera, obtenida con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión, empleando combustóleo con aditivo.

En el cuadro No. 3 se encuentran los resultados obtenidos de la emisión de contaminantes a la atmósfera, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión utilizando combustóleo sin aditivo.

En el cuadro No. 4 se presentan los resultados obtenidos de la emisión de contaminantes a la atmósfera, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión utilizando combustóleo con aditivo.





En el cuadro No. 5 se presentan los resultados obtenidos de la emisión de partículas suspendidas totales, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión utilizando combustóleo sin aditivo.

En el cuadro No. 6 se presentan los resultados obtenidos la emisión de partículas suspendidas totales, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión utilizando combustóleo con aditivo.

En el cuadro No. 7 se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de NO<sub>x</sub>, comparados éstos con los valores establecidos en la NOM-085-ECOL-1994, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión.

En el cuadro No. 8 se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de SO<sub>2</sub>, comparados éstos con los valores establecidos en la NOM-085-ECOL-1994, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión.

En el cuadro No. 9 se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de partículas suspendidas totales (PST), comparados éstos con los valores establecidos en la NOM-085-ECOL-1994, con una carga aproximada de 200 l/h de alimentación de combustible, con 3, 5 y 7 % de O<sub>2</sub> en gases de combustión.

**CUADRO 1****CONDICIONES DE OPERACION  
EMPLEANDO COMBUSTOLEO SIN ADITIVO**

|  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |       |       |
|--|-----------------------------------|-------|-------|
|  | 7 %                               | 5 %   | 3 %   |
| TEMPERATURA DE GASES DE CHIMENEA (°C). | 254                               | 243   | 230   |
| FLUJO DE AGUA (l/h).                   | 2460                              | 2626  | 2045  |
| FLUJO DE COMBUSTIBLE (l/h).            | 201                               | 202.0 | 202.5 |
| EFICIENCIA DE LA CALDERA (%)           | 82.6                              | 87.8  | 68.1  |

**CUADRO 2****CONDICIONES DE OPERACION  
EMPLEANDO COMBUSTIBLE CON ADITIVO**

|   | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |       |       |
|---|-----------------------------------|-------|-------|
|   | 7 %                               | 5 %   | 3 %   |
| <b>TEMPERATURA DE GASES DE CHIMENEA (°C).</b> | 258                               | 251.4 | 243.5 |
| <b>FLUJO DE AGUA (l/h).</b>                   | 2520                              | 2700  | 2056  |
| <b>FLUJO DE COMBUSTIBLE (l/h).</b>            | 197.6                             | 201.6 | 197.5 |
| <b>EFICIENCIA DE LA CALDERA (%)</b>           | 85.4                              | 89.9  | 70.1  |

**CUADRO 3****EMISION DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA  
CORREGIDOS AL 5% DE O<sub>2</sub>  
EMPLEANDO COMBUSTOLEO SIN ADITIVO**

|  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |        |        |
|--|-----------------------------------|--------|--------|
|  | 7 %                               | 5 %    | 3 %    |
| <b>OXIDOS DE NITROGENO "NO<sub>x</sub>"<br/>(ppm).</b> | 283.2                             | 233.0  | 208.0  |
| <b>DIOXIDO DE AZUFRE "SO<sub>2</sub>"<br/>(ppm).</b>   | 1830.0                            | 1750.3 | 1769.0 |
| <b>MONOXIDO DE CARBONO "CO"<br/>(ppm).</b>             | ILD*                              | ILD*   | 56.0   |

\* Inferior al límite detectable por el equipo de medición

**CUADRO 4****EMISION DE CONTAMINANTES A LA ATMOSFERA  
CORREGIDOS AL 5% DE O<sub>2</sub>  
EMPLEANDO COMBUSTOLEO CON ADITIVO**

|  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |        |        |
|--|-----------------------------------|--------|--------|
|  | 7 %                               | 5 %    | 3 %    |
| <b>OXIDOS DE NITROGENO<br/>"NO<sub>x</sub>" (ppm).</b> | 286.0                             | 270.0  | 230.8  |
| <b>DIOXIDO DE AZUFRE<br/>"SO<sub>2</sub>" (ppm).</b>   | 1659.0                            | 1716.1 | 1688.0 |
| <b>MONOXIDO DE<br/>CARBONO "CO" (ppm).</b>             | ILD*                              | ILD*   | 6.4    |

\* Inferior al límite detectable por el equipo de medición

**CUADRO 5****EMISION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES  
EMPLEANDO COMBUSTOLEO SIN ADITIVO**

|  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |        |        |
|--|-----------------------------------|--------|--------|
|  | 7 %                               | 5 %    | 3 %    |
| <b>CONCENTRACION DE PARTICULAS (mg/m<sup>3</sup>N)</b> | 180.8                             | 230.0  | 330.9  |
| <b>EMISION DE PARTICULAS (Kg/h)</b>                    | 0.2355                            | 0.2925 | 0.3424 |
| <b>NUMERO DE HUMO</b>                                  | 4                                 | 5      | 7      |

**CUADRO 6****EMISION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES  
UTILIZANDO COMBUSTOLEO CON ADITIVO**

|  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |        |        |
|--|-----------------------------------|--------|--------|
|  | 7 %                               | 5 %    | 3 %    |
| <b>CONCENTRACION DE PARTICULAS (mg/m<sup>3</sup>N)</b> | 129.3                             | 161.6  | 246.3  |
| <b>EMISION DE PARTICULAS (Kg/h)</b>                    | 0.1662                            | 0.1799 | 0.2918 |
| <b>NUMERO DE HUMO</b>                                  | 3                                 | 3      | 6      |



**CUADRO No.7**

**COMPARACION DE EMISIONES DE OXIDOS DE NITROGENO, EMPLEANDO COMBUSTOLEO CON Y SIN ADITIVO VS NOM-085-ECOL-1994.**

| VALOR DE NORMA (ppm)               | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |                           |                           |                           |                           |                           |
|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                    | 7                                 |                           | 5                         |                           | 3                         |                           |
|                                    | CON Xp <sup>3</sup> (ppm)         | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) | CON Xp <sup>3</sup> (ppm) | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) | CON Xp <sup>3</sup> (ppm) | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) |
| ZMCM = 220<br>ZC = 300<br>RP = 400 | 286.0                             | 283.2                     | 270.0                     | 233.0                     | 230.8                     | 208.0                     |

ZMCM= Zona Metropolitana de la Ciudad de México  
ZC = Zona Critica  
RP = Resto del pais

**CUADRO No.8**

**COMPARACION DE EMISIONES DE BIOXIDO DE AZUFRE, EMPLEANDO COMBUSTOLEO CON Y SIN ADITIVO VS NOM-085-ECOL-1994.**

| VALOR DE NORMA (ppm)                  | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA |                           |                           |                           |                           |                           |
|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                                       | 7                                 |                           | 5                         |                           | 3                         |                           |
|                                       | CON Xp <sup>3</sup> (ppm)         | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) | CON Xp <sup>3</sup> (ppm) | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) | CON Xp <sup>3</sup> (ppm) | SIN Xp <sup>3</sup> (ppm) |
| ZMCM = 1100<br>ZC = 2100<br>RP = 2600 | 1659.0                            | 1830.0                    | 1716.1                    | 1750.3                    | 1688.0                    | 1769.0                    |

ZMCM= Zona Metropolitana de la Ciudad de México  
ZC = Zona Critica  
RP = Resto del pais





**CUADRO No.9**

**COMPARACION DE EMISIONES DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES, EMPLEANDO COMBUSTOLEO CON Y SIN ADITIVO VS NOM-085-ECOL-1994.**

| VALOR DE NORMA (mg/m <sup>3</sup> ) | % DE OXIGENO EN GASES DE CHIMENEA        |  |  |  |  |  |
|-------------------------------------|--|--|--|--|--|--|
|                                     | 7  |  | 5  |  | 3  |  |
|                                     | CON Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) | SIN Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) | CON Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) | SIN Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) | CON Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) | SIN Xp <sup>3</sup> (mg/m <sup>3</sup> ) |
| ZMCM = 100<br>ZC = 425<br>RP = 600  | 129.3                                    | 180.8                                    | 161.6                                    | 230.0                                    | 246.3                                    | 330.9                                    |

ZMCM= Zona Metropolitana de la Ciudad de México

ZC = Zona Critica

RP = Resto del país

En las gráficas 1, 2 y 3 (páginas 31, 32 y 33), se presentan los valores obtenidos para la eficiencia de la caldera con una carga de 200 l/h, con 3, 5 y 7 % de exceso de oxígeno en la combustión empleando combustóleo con y sin aditivo Xp<sup>3</sup>.

En las gráficas 4, 5 y 6 (páginas 34, 35 y 36), se presentan los valores obtenidos para Oxidos de Nitrógeno (NOx) en las pruebas de quemado de combustóleo con y sin aditivo Xp<sup>3</sup>, con una carga de 200 l/h con 3, 5 y 7 % de exceso de oxígeno en la combustión.

En las gráficas 7, 8 y 9 (páginas 37, 38 y 39), se presentan los valores obtenidos para el Bióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) en las pruebas de quemado de



combustóleo con y sin aditivo  $Xp^3$ , con una carga de 200 l/h con 3, 5 y 7 % de exceso de oxígeno en la combustión.

En la gráfica 10 (página 40), se presentan los valores obtenidos para el Monóxido de Carbono (CO) en las pruebas de quemado de combustóleo con y sin aditivo  $Xp^3$ , con una carga de 200 l/h con 3, 5 y 7 % de exceso de oxígeno en la combustión.

En las gráficas 11, 12 y 13 (páginas 41, 42 y 43), se presentan los valores obtenidos para las Partículas Suspendidas Totales (PST) en las pruebas de quemado de combustóleo con y sin aditivo  $Xp^3$ , con una carga de 200 l/h con 3, 5 y 7 % de exceso de oxígeno en la combustión.

En las gráficas 14, 15 y 16 (páginas 44, 45 y 46), se presentan los resultados obtenidos en Número de Humo durante las pruebas de combustión de combustóleo con y sin aditivo  $Xp^3$ , con una carga de 200 l/h con 3, 5 y 7% de exceso de oxígeno en la combustión.



## DISCUSION DE RESULTADOS

### **Eficiencia de la caldera:**

En la gráfica 1 se observa que el combustóleo aditivado con Xp3 proporcionó un 2.80% más eficiencia en la combustión cuando fue quemado con un exceso de 3% de oxígeno en gases de combustión.

En la gráfica 2 se observa que el combustóleo aditivado con Xp3 proporcionó un 2.38% más eficiencia en la combustión cuando fue quemado con un exceso de 5% de oxígeno en gases de combustión.

En la gráfica 3 se observa que el combustóleo aditivado con Xp3 proporcionó un 3.30% más eficiencia en la combustión cuando fue quemado con un exceso de 7% de oxígeno en gases de combustión.

### **Emisiones contaminantes:**

En las gráficas Nos. 4, 5 y 6 se observa que el combustóleo con y sin aditivo excede el valor para NOx fijado por la norma para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México; con excepción del combustóleo sin aditivo cuando éste se quema al 3% de exceso de oxígeno en gases de combustión. No así en las Zona Critica y Resto del País donde los valores obtenidos con el aditivo Xp3 están por debajo de la norma de referencia.



En las gráficas Nos. 7, 8 y 9, en donde se identifican los valores de emisión de  $\text{SO}_2$  obtenidos durante las pruebas con aditivo  $\text{Xp}^3$ , el valor fijado por la norma es excedido en todos los casos para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. No así para la Zona Crítica y Resto del país donde los valores obtenidos están por debajo de la norma de referencia y se apreció una disminución equivalente al 4.58% , 1.95% y 9.34% con un exceso de oxígeno al 3, 5 y 7% respectivamente al combustóleo sin aditivo.

En la gráfica No. 10 los únicos valores de CO detectados durante las pruebas que corresponden al 3% de exceso de oxígeno en los gases de combustión. Las emisiones de CO se redujeron en un 88.57% con el combustóleo aditivado con  $\text{Xp}^3$ .

En las gráficas Nos. 11, 12 y 13 se aprecia que con el combustóleo aditivado con  $\text{Xp}^3$  se dió una disminución de partículas suspendidas totales en un 25.56%, 29.74% y 28.49% con un exceso al 3, 5 y 7% respectivamente.

En las gráficas Nos. 14, 15 y 16 para evaluación de número de mancha (opacidad), se observó que con el combustóleo aditivado con  $\text{Xp}^3$  se dió una disminución en un 14.28%, 40% y 25%, con un exceso de oxígeno en los gases de combustión al 3, 5 y 7% respectivamente.



**COMENTARIOS**

La comparación de los resultados de las pruebas de combustión con los valores en la NOM-085-ECOL-1994 corresponden a los establecidos para el período 1994- 1997.

Para las pruebas de combustión con aditivo Xp<sup>3</sup>, el personal de la compañía Productos Industriales MISED A S.A. de C.V. adicionó su producto en una proporción de 0.0005 % al combustóleo.



## **CONCLUSIONES**

Los análisis realizados al combustóleo con y sin aditivo para su caracterización física muestran ligeros cambios en cuanto a la viscosidad, poder calorífico, agua y sedimento siendo favorables al combustóleo aditivado con Xp3.

De los resultados obtenidos durante el quemado del combustóleo se concluye lo siguiente:

El aditivo Xp<sup>3</sup> mejoró la eficiencia de la caldera en 2.83% promedio.

En lo que respecta a los contaminantes NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y Partículas Suspensas Totales todos los valores obtenidos durante el quemado del combustóleo con aditivo Xp<sup>3</sup> están por debajo de los valores establecidos por la norma de referencia para la zona crítica y resto del país.

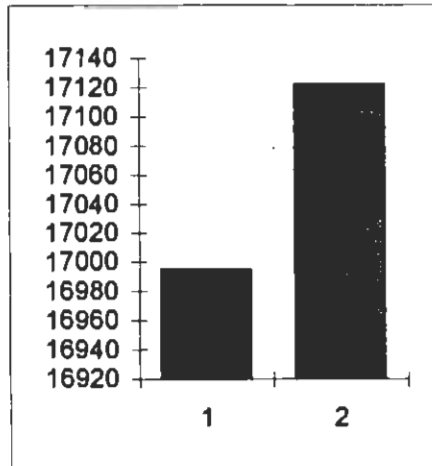
Respecto a los contaminantes NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> y Partículas Suspensas Totales todos los valores obtenidos durante el quemado del combustóleo con aditivo Xp<sup>3</sup> y sin aditivo exceden a los fijados por la norma de referencia para la Zona Metropolitana de la Ciudad de México exceptuando el valor de NO<sub>x</sub> al 3 % de oxígeno sin aditivo.

**RESULTADOS OBTENIDOS AL MEZCLAR Xp3 CON COMBUSTOLEO (# 6)  
ESTUDIO REALIZADO POR EL INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO  
DIVISION DE CONTROL ENERGETICO**

| <i>Prueba</i>                  | <i>Método</i>     | <i>Unidad</i> | <i>No Tratado</i> | <i>Con Xp3</i> |
|--------------------------------|-------------------|---------------|-------------------|----------------|
| <b>Poder calorífico neto</b>   | <b>ASTM D-240</b> | <b>Btu/lb</b> | <b>16,995</b>     | <b>17,122</b>  |
| <b>Viscosidad S.F. a 50 °C</b> | <b>ASTM D-88</b>  | <b>SSF</b>    | <b>793.0</b>      | <b>653.0</b>   |

**PODER CALORIFICO NETO**

ASTM-240

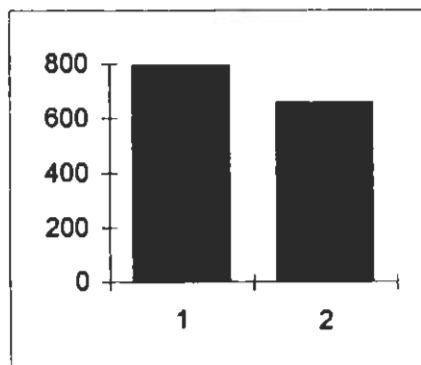


Btu/lb

- 1 16995 Combustible no tratado
- 2 17122 Combustible con Xp3

**VISCOSIDAD S.F. A 50 °C**

ASTM D-88



SSF

- 1 793 Combustible no tratado
- 2 653 Combustible con Xp3

## EMISIONES

Xp3 fue formulado con el objeto de reducir en forma importante la EMISION DE PARTICULAS CONTAMINANTES, el CO, el NOx, el SO2 y la OPACIDAD.

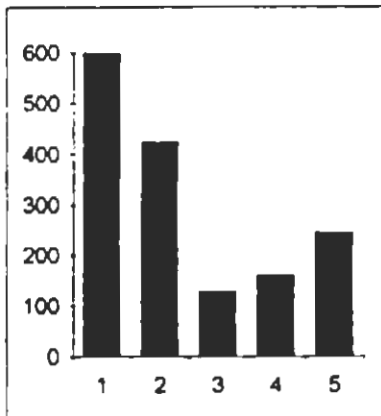
### RESULTADOS OBTENIDOS EN PRUEBAS DE COMBUSTOLEO #6 EN CAMARA ABIERTA PARA EVALUAR COMBUSTOLEO CON Xp3

Informe técnico de la División de Control Energético del Instituto Mexicano del Petróleo (Noviembre 1995)

| PARTICULAS SUSPENDIDAS (1)                        | Sin tratar | Tratado | Reducción en % |
|---|------------|---------|----------------|
|   |            | Con Xp3 |                |
| Concentración de partículas (mg/m <sup>3</sup> N) | 230.09     | 161.65  | 29.74%         |
| Emisión de partículas (kg/h)                      | 0.2925     | 0.1799  | 38.50%         |
| Opacidad (Densidad de Humo)                       | 5          | 3       | 40.00%         |

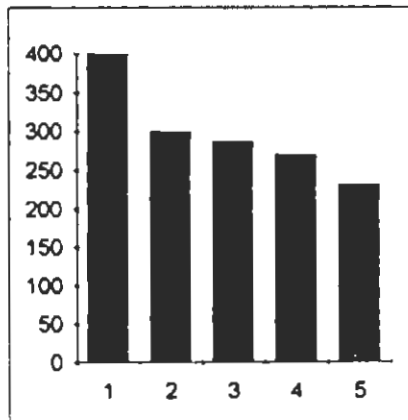
(1) Resultados con 5% de oxígeno en gases de chimenea

### EMISION DE PARTICULAS SUSPENDIDAS TOTALES



- 1) 600.00 Norma ecológica para la República Mexicana NOM-085-ECOL-RP
- 2) 425.00 Norma ecológica para la Zona Crítica en México NOM-085-ECOL-ZC
- 3) 129.32 Con Xp3 (7% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 4) 161.65 Con Xp3 (5% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 5) 246.35 Con Xp3 (3% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)

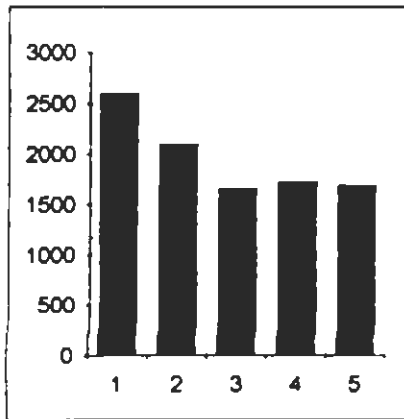
### EMISIONES DE NOx CORREGIDAS AL 5% DE O2



- 1) 400.00 Norma ecológica para la República Mexicana NOM-085-ECOL-RP
- 2) 300.00 Norma ecológica para la Zona Crítica en México NOM-085-ECOL-ZC
- 3) 286.10 Con Xp3 (7% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 4) 270.00 Con Xp3 (5% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 5) 230.80 Con Xp3 (3% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)

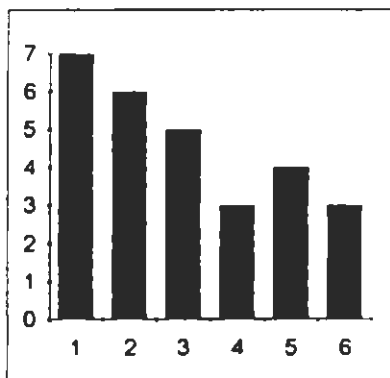


### EMISIONES DE SO<sup>2</sup> CORREGIDAS AL 5% DE O<sub>2</sub>



- 1) 2600 Norma ecológica para la República Mexicana NOM-085-ECOL-RP
- 2) 2100 Norma ecológica para la Zona Crítica en México NOM-085-ECOL-ZC
- 3) 1659 Con Xp3 (7% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 4) 1716 Con Xp3 (5% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 5) 1688 Con Xp3 (3% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)

### DENSIDAD DE HUMO (OPACIDAD) EN CALDERAS



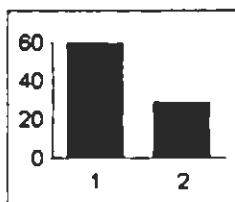
- 1) 7 SIN (3% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 2) 6 Con Xp3 (3% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 3) 5 SIN (5% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 4) 3 Con Xp3 (5% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 5) 4 SIN (7% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)
- 6) 3 Con Xp3 (7% de O<sub>2</sub> en gases de combustión)

El cetano en el diesel se ha venido reduciendo en los últimos 30 años. La baja de cetano se relaciona directamente con dificultades y demoras en el encendido, humo, reducción de fuerza y reducción de kilómetros por litro (kpl).

La mejora de cetano reducirá el tiempo de encendido. Esto permitirá mayor tiempo para completar la combustión y reducir los niveles de las emisiones.

### PRUEBA REALIZADA EN VEHICULOS

#### DENSIDAD DE HUMO



- (1) Sin Tratar
- (2) Con Xp3

#### TIEMPO DE ARRANQUE

