

300627

29



**UNIVERSIDAD LA SALLE**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS  
INCORPORADA A LA UNAM**

2EJ

**CONTROL DE LOS OXIDOS DE NITROGENO Y MONOXIDO  
DE CARBONO EMITIDOS POR CALDERAS DE TUBOS  
DE HUMO MEDIANTE SU MONITOREO CON  
CELDAS ELECTROQUIMICAS**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO  
PRESENTA**

**GUSTAVO ADOLFO JIMENEZ GARCIA**

**Director de Tesis: Dra. Araceli Sánchez de Corral**

**México D. F.  
1995**

**FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

UNAM



## **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 está 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.

## **INDICE.**

## **OBJETIVOS**

### **Introducción**

<b>1.0</b>	<b>Contaminación atmosférica generada por los procesos de combustión.</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Introducción.</b>	<b>3</b>
<b>1.2</b>	<b>Definición y lista general de los contaminantes del aire.</b>	<b>4</b>
<b>1.3</b>	<b>Efectos del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno.</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1</b>	<b>Monóxido de carbono.</b>	<b>6</b>
<b>1.3.1.1</b>	<b>Efectos del monóxido de carbono en los materiales y en las plantas.</b>	<b>7</b>
<b>1.3.1.2</b>	<b>Efectos del monóxido de carbono en la salud.</b>	<b>7</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Óxidos de nitrógeno.</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2.1</b>	<b>Efectos del <math>N_2O</math>, <math>NO</math> y <math>NO_2</math> en los materiales y las plantas.</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2.2</b>	<b>Efectos del <math>NO</math> y <math>NO_2</math> en la salud.</b>	<b>9</b>
<b>1.3.2.3</b>	<b>Fuentes y concentraciones del <math>NO_x</math>.</b>	<b>12</b>
<b>1.4</b>	<b>Legislación ambiental en México en cuestión atmosférica.</b>	<b>14</b>
<b>1.4.1</b>	<b>Reglamento para el control de la contaminación atmosférica.</b>	<b>15</b>
<b>1.4.2</b>	<b>Normatividad aplicada al monóxido de carbono y a los óxidos de nitrógeno emitidos por las calderas.</b>	<b>16</b>
<b>2.0</b>	<b>Principales aspectos teóricos de la combustión en calderas.</b>	
<b>2.1</b>	<b>La combustión.</b>	<b>17</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Relación aire/combustible.</b>	<b>20</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Productos de la combustión.</b>	<b>21</b>
<b>2.1.2.1</b>	<b>Dióxido de carbono y agua.</b>	<b>21</b>

2.1.2.2	Compuestos hidroxilados, aldehídos.	21
2.1.2.3	El hollín.	21
2.1.2.4	Monóxido de carbono.	22
2.1.2.4.1	Cinética de la formación del CO.	22
2.1.2.4.2	Principales aspectos para controlar su formación.	26
2.1.2.5	Óxidos de nitrógeno	26
2.1.2.5.1	Aspectos termodinámicos que controlan la formación del NO y del NO <sub>2</sub> generados a partir del nitrógeno del aire.	26
2.1.2.5.2	Cinética de la formación del NO en los procesos de combustión a partir del nitrógeno del aire.	33
2.1.2.5.2.1	Estudio cualitativo de la cinética de formación del NO.	34
2.1.2.5.3	Formación del NO <sub>x</sub> a partir del nitrógeno del combustible.	36
2.1.2.6	¿Qué es una caldera ?	37
2.1.2.7	Emisión de óxidos de nitrógeno provenientes de calderas.	38
2.1.2.8	Controles de la combustión para disminuir las emisiones de NO <sub>x</sub> .	40
2.1.2.8.1	Método del mínimo exceso de aire (MEA) para controlar la emisión de los NO <sub>x</sub> y del CO.	41
<b>3.0</b>	<b>Monitores electroquímicos de la contaminación atmosférica.</b>	
3.1	Introducción.	42
3.2	Problemas presentes durante los análisis.	43
3.3	Principales partes de los monitores.	44
3.3.1	Muestreo y pretratamiento de la muestra.	45
3.3.2	Absorción de la sustancia por analizar antes de efectuar el análisis.	47
3.3.3	Calibración y autoajuste a cero.	47
3.3.4	Preparación de las mezclas de calibración.	48
3.3.5	Análisis de la muestra.	49
3.3.5.1	Electrodos especiales para el análisis de contaminantes atmosféricos.	50

<b>3.3.5</b>	<b>Análisis de la muestra.</b>	<b>49</b>
<b>3.3.5.1</b>	<b>Electrodos especiales para el análisis de contaminantes atmosféricos.</b>	<b>50</b>
<b>3.3.5.1.1</b>	<b>Electrodos cubiertos con una capa de electrolito.</b>	<b>50</b>
<b>3.3.5.1.2</b>	<b>Electrodos porosos.</b>	<b>51</b>
<b>3.3.5.1.3</b>	<b>Electrodos cubiertos con membranas.</b>	<b>53</b>
<b>3.3.5.2</b>	<b>Métodos electroanalíticos para el análisis de contaminantes atmosféricos.</b>	<b>55</b>
<b>3.3.5.2.1</b>	<b>Método potenciométrico.</b>	<b>55</b>
<b>3.3.5.2.2</b>	<b>Método voltamétrico.</b>	<b>56</b>
<b>3.3.5.2.3</b>	<b>Método coulombimétrico.</b>	<b>57</b>
<b>3.3.5.2.4</b>	<b>Análisis galvánico.</b>	<b>59</b>
<b>4.0</b>	<b>Metodología</b>	
<b>4.1</b>	<b>Material y equipo</b>	<b>60</b>
<b>4.2</b>	<b>Especificaciones de la caldera</b>	<b>60</b>
<b>4.3</b>	<b>Descripción de los sensores del ENERAC 2000.</b>	<b>61</b>
<b>4.3.1</b>	<b>Sensor de monóxido de carbono.</b>	<b>61</b>
<b>4.3.2</b>	<b>Sensor de oxígeno.</b>	<b>61</b>
<b>4.3.3</b>	<b>Sensor de óxidos de nitrógeno.</b>	<b>61</b>
<b>4.4</b>	<b>Procedimiento para determinar la concentración del oxígeno, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono presentes en los gases de combustión emitidos por la caldera.</b>	<b>62</b>
<b>4.5</b>	<b>Programa para efectuar el ajuste de la caldera.</b>	<b>62</b>
<b>4.6</b>	<b>Programa de monitoreo de los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y oxígeno presentes en los gases de combustión de la caldera.</b>	<b>64</b>
<b>4.7</b>	<b>Documentación.</b>	<b>66</b>
<b>5.0</b>	<b>Resultados y discusión de resultados.</b>	<b>67</b>

<b>6.0</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones.</b>	<b>124</b>
<b>7.0</b>	<b>Bibliografía.</b>	<b>126</b>
<b>8.0</b>	<b>Apéndices</b>	
<b>8.1</b>	<b>Apéndice A. Niveles máximos permisibles y métodos de medición</b>	
<b>8.2</b>	<b>Apéndice B. Concentraciones de las especies químicas en la atmósfera</b>	
<b>8.3</b>	<b>Apéndice C. Tabla de ajustes</b>	
<b>8.4</b>	<b>Apéndice D. Procedimiento para manejar el ENERAC 2000.</b>	
<b>8.5</b>	<b>Apéndice E. Impresiones del analizador de gases durante los ajustes.</b>	

## **OBJETIVOS**

---

- **Mencionar los principales contaminantes generados por los procesos de combustión.**
- **Enumerar las propiedades fisicoquímicas y los efectos biológicos tanto del monóxido de carbono como de los óxidos de nitrógeno.**
- **Corroborar los principales aspectos teóricos de la combustión en calderas.**
- **Mencionar las principales reacciones que llevan a la formación del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno durante los procesos de combustión.**
- **Determinar la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno, presentes en los gases de combustión de una caldera, por medio de celdas electroquímicas.**
- **Establecer un programa para el control y monitoreo de las emisiones de dichos contaminantes y como puede ser utilizado éste, en conjunción con un analizador de gases de combustión basado en celdas electroquímicas, para cumplir con la normalidad ambiental mexicana.**

# **INTRODUCCIÓN**



## INTRODUCCIÓN.

Un gran número de reacciones químicas y operaciones unitarias llevadas a cabo en las industrias en las que se efectúan procesos químicos dependen de una fuente de calor eficiente.

Mientras que el calor puede ser transferido por medio de intercambiadores de calor y fluidos de transferencia, ya sea aire por convección o radiación, la fuente de calor es generalmente algún tipo de caldera u horno, en el que se quema un combustible.

El componente mecánico crítico en cualquier proceso de combustión es el quemador. A pesar de que en los últimos años los aspectos técnicos acerca del diseño de los quemadores han sido utilizados como puntos importantes para disminuir la contaminación ambiental, la correcta operación y mantenimiento de estos es vital para poder mantener a las industrias químicas funcionando.<sup>1</sup>

La mayoría de los óxidos de nitrógeno provienen del nitrógeno atmosférico sujeto a las altas temperaturas de combustión. Dichos contaminantes contribuyen a la formación de los oxidantes fotoquímicos y de la lluvia ácida.

Las metodologías para poder disminuir dicho contaminante son numerosas. Estas van desde el diseño de quemadores especiales hasta la reducción de los NOx a la salida de las chimeneas.<sup>2</sup> Ambos procesos son muy costosos debido a que en el primer caso se requiere de una inversión muy fuerte para poder efectuar el cambio de quemador a cualquier equipo de combustión; por otra parte, la segunda opción requiere de un gran costo de mantenimiento del equipo de control ubicado a la salida de las chimeneas.

Antes de optar por cualquiera de las dos opciones anteriormente mencionadas, es conveniente regular la proporción aire/combustible suministrada a los quemadores con el fin de poder disminuir la emisión de óxidos de nitrógeno.

El método que ayuda a regular la proporción aire/combustible se denomina " Método del mínimo exceso de aire ". Este tiene como objetivo mejorar el mezclado aerodinámico y eliminar las distribuciones no uniformes del aire y del combustible en la cámara de combustión. Sin

embargo, dicho método requiere de un cuidado constante del operador para poder asegurar que el equipo de combustión este operando en forma segura. Otro requerimiento es el del monitoreo diario de las concentraciones de oxígeno, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono en los gases de combustión.

En el presente trabajo se presentará como fue utilizado dicho método para poder disminuir la concentración de los óxidos de nitrógeno así como de mantener la del monóxido de carbono por debajo de sus niveles máximos permisibles. Por otra parte, se ejemplificará como puede ser utilizada la electroquímica para el monitoreo de dichos contaminantes.

El trabajo esta subdividido en 4 partes. La primera de ellas es dar un bosquejo general de la contaminación generada por los procesos de combustión y del porque se consideran contaminantes tanto los NOx como el CO.

Posteriormente, se tratarán los principales aspectos teóricos de la combustión, desde un punto de vista cualitativo, para poder así entender que procesos o eventos son los que llevan a la formación de los NOx y del CO.

En la tercera parte se hara una breve descripción de los monitores electroquímicos y de como los aspectos teóricos de la electroquímica pueden ser utilizados para determinar la concentración de dichos contaminantes.

Finalmente, la última parte cubre el principal objetivo de dicho trabajo. En esta se describe como fueron acoplados los aspectos teóricos de la combustión y de la electroquímica, con el fin de disminuir la concentración de los NOx y del CO presentes en los gases de combustión emitidos por las calderas de una industria química.

# CAPÍTULO 1

---

**Contaminación atmosférica  
generada por los procesos  
de combustión**

## **1.0 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA GENERADA POR LOS PROCESOS DE COMBUSTIÓN.**

### **1.1 Introducción.**

La contaminación del aire forma parte de la vida moderna. Es una consecuencia de la forma como se construyen nuestras ciudades; es un residuo de los métodos empleados para producir nuestras mercancías, para transportarlas junto con nosotros y para generar la energía para calentar e iluminar los lugares donde vivimos, nos divertimos y trabajamos. La causa principal de toda la contaminación del aire es la combustión, y ésta es esencial para el hombre. Cuando ocurre la combustión perfecta o teórica, el hidrógeno y el carbono del combustible se combinan con el oxígeno del aire para producir calor, luz, dióxido de carbono y vapor de agua. Sin embargo, las impurezas del combustible, una incorrecta relación entre el combustible y el aire, o temperaturas de combustión demasiado altas o demasiado bajas son causa de la formación de productos secundarios, tales como monóxido de carbono, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, cenizas e hidrocarburos no quemados.

En años recientes, la humanidad se preocupa cada vez más por los problemas de la contaminación ambiental, por lo que se ha llegado a considerar al aire como un elemento de dominio público. Por lo tanto, se piensa que la contaminación del aire es un problema, que no solamente concierne a los responsables de la contaminación sino también a quienes podrían sufrir las consecuencias. El control racional de la contaminación del aire, se apoya en cuatro suposiciones básicas:

1. El aire es del dominio público.
2. La contaminación del aire constituye un aspecto inevitable de la vida moderna.
3. Se pueden aplicar los conocimientos científicos para definir las normas públicas.
4. Los métodos para reducir la contaminación del aire no deben aumentar dicha contaminación en otros sectores del ambiente.

## 1.2 Definición y lista general de los contaminantes del aire.

Se puede definir la contaminación del aire como la presencia en la atmósfera exterior de uno o más compuestos químicos o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad, que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades.

Un método para definir un contaminante del aire consiste, primero en especificar la composición del aire atmosférico seco, "limpio" o "normal", y luego clasificar todos los otros materiales o las cantidades aumentadas de dichos materiales presentes en la composición del aire atmosférico, como contaminantes, si su presencia daña a personas, plantas, animales o materiales.

### COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AIRE ATMOSFÉRICO SECO.

Sustancia	Volumen(%)	Concentración (ppm)
Nitrógeno	78.084	780,900
Oxígeno	20.946	209,400
Argón	0.934	9,300
Dióxido de carbono	0.033	315
Neon		18
Helio		5,2
Metano		1,2
Criptón		0,5
Hidrógeno		0,5
Xenón		0,08
Dióxido de nitrógeno		0,02
Ozono		0,01-0,04

Fuente: Handbook of Air Pollution, Publicaciones PHS AP-44 (PB-199-247), 1968 (40).

El aire atmosférico contiene también del 1 al 3% en volumen de vapor de agua, y trazas de dióxido de azufre, formaldéhid, yodo, cloruro de sodio, amoníaco, monóxido de carbono, metano y un poco de polvo y polen.

En la actualidad, ni el dióxido de carbono ni el vapor de agua se consideran como contaminantes. Esta situación podría cambiar, puesto que la descarga a la atmósfera de cualesquiera de estas sustancias en cantidades cada vez mayores, podría resultar en un cambio significativo de la temperatura atmosférica global. De igual manera, ciertos olores que ahora se consideran molestias más bien que contaminantes pueden considerarse como contaminantes.

A continuación se presenta una clasificación general de los contaminantes del aire:

1. Materia particulada o partículas.
2. Compuestos que contienen azufre.
3. Compuestos orgánicos.
4. Compuestos que contienen nitrógeno.
5. Óxidos de carbono.
6. Compuestos halogenados
7. Compuestos radiactivos

La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen polvo fino (menor de  $100\mu\text{m}$  de diámetro), polvo grueso (más de  $100\mu\text{m}$  de diámetro), vapores ( $0.001\text{-}1\mu\text{m}$  de diámetro) y neblinas ( $0.1\text{-}10\mu\text{m}$  de diámetro). Los vapores son partículas formadas por condensación, sublimación o reacción química, y a veces se les designa como humo. Los vapores, humo, neblina y niebla forman una clase más amplia llamada aerosoles.

Los compuestos de la lista general anterior se pueden agrupar en dos amplias clasificaciones: contaminantes primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son los emitidos directamente por las fuentes, mientras que los secundarios son los que se forman en la atmósfera por reacciones químicas entre los contaminantes primarios y las especies químicas que se encuentran en la atmósfera. A continuación se presenta una lista de los contaminantes primarios y secundarios para dichos compuestos:

Clase	Contaminantes primarios	Contaminantes secundarios
Compuestos que contienen azufre	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S	SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , MSO <sub>4</sub>
Compuestos orgánicos	Compuestos de C <sub>1</sub> - C <sub>5</sub>	Cetonas, aldehídos, ácidos
Compuestos que contienen nitrógeno	NO, NH <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> , MNO <sub>3</sub>
Oxidos de carbono	CO, CO <sub>2</sub>	(Ninguno)
Halógeno	HCl, HF	(Ninguno)

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Wark, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pág. 27.

M puede ser cualquier metal monovalente o divalente capaz de formar una sal con el ion nitrato o ion sulfato respectivamente.

### 1.3 Efectos del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno.

Los efectos perjudiciales de los contaminantes del aire no son equivalentes sobre una base de igualdad de masa. Es decir, una concentración dada de dióxido de azufre, por ejemplo, puede ser más nociva para la salud que una concentración equivalente de monóxido de carbono. A continuación se presentarán los principales efectos nocivos del monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno. No se presentan los otros contaminantes ya que están fuera del alcance de este trabajo.

#### 1.3.1 Monóxido de carbono.

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro. Es muy estable y tiene una vida media en la atmósfera de 2 a 4 meses. Las emisiones globales del monóxido de carbono son grandes (350 millones de toneladas/año en 1968) de las que aproximadamente 20 por ciento es obra del hombre. Los hongos en el suelo pueden eliminar una porción significativa de la cantidad liberada, y se supone, por lo general, que el CO se oxida a CO<sub>2</sub> en la atmósfera, a pesar de que la tasa de conversión es muy lenta. Se tiene alguna evidencia de que el CO puede ser químicamente activo durante la formación del neblumo.

### **1.3.1.1 Efectos del monóxido de carbono en los materiales y las plantas.**

El monóxido de carbono no parece tener efectos perjudiciales sobre la superficie de los materiales. Los resultados de numerosos experimentos han mostrado que el CO no produce ningún daño en las formas superiores de vida de las plantas a concentraciones por debajo de 100ppm, durante exposiciones de 1 a 3 semanas. Las concentraciones ambientales del CO rara vez alcanzan este nivel, aún en periodos cortos.

### **1.3.1.2 Efectos del monóxido de carbono en la salud.**

Existen muchos estudios que demuestran que las altas concentraciones de monóxido de carbono pueden causar cambios fisiológicos y patológicos y, finalmente, la muerte. El monóxido de carbono es un veneno que inhalado priva a los tejidos del cuerpo del oxígeno necesario.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se encuentra expuesto a una alta concentración (>750ppm). La combinación del monóxido de carbono conduce a la formación de la carboxihemoglobina (COHb). La cantidad de COHb es una función de la concentración de CO en el aire respirado. Afortunadamente, la formación del COHb en el torrente sanguíneo es un proceso reversible. Cuando cesa la exposición, el CO que se combinó con la hemoglobina es liberado espontáneamente, y la sangre queda libre de la mitad de su monóxido de carbono, en pacientes saludables.

El efecto directo de la COHb es que reduce la capacidad de conducción del oxígeno en la sangre. No obstante, está presente también un efecto secundario. La COHb interfiere con la liberación del oxígeno que lleva el resto de la hemoglobina. Esto reduce efectivamente aún más la capacidad de transporte de oxígeno. Algunos casos de exposición de 8h o más a concentraciones de 10 a 15ppm han causado el deterioro de la discriminación del intervalo. Este rango de concentraciones es común durante el día en las calles del centro urbano. La evidencia indica que la exposición durante 8 horas o más a concentraciones de 30ppm (35mg/m<sup>3</sup>) altera



ciertas pruebas psicomotoras. La exposición a concentraciones más altas ha mostrado evidencia de fatiga psicológica con los pacientes con afecciones del corazón. Muchas áreas urbanas tienen promedios ambientales diarios dentro del rango de 5 a 20ppm. En general, se considera 100ppm como el límite superior de seguridad en la industria para individuos saludables dentro de ciertos rangos de edad, y para una exposición de 8 horas. A 100 ppm, la mayoría de las personas experimentan mareos, dolores de cabeza y cansancio. En términos de la exposición al CO, se debe notar que el humo del cigarro contiene de 400 a 450ppm de CO.

Hay desacuerdo sobre si el CO es un contaminante de umbral. Muchos expertos opinan que aun pequeñas concentraciones de CO producen efectos indeseables. No ocurre envenenamiento crónico como resultado de la exposición a largo plazo a concentraciones relativamente bajas. Los individuos especialmente susceptibles pueden verse afectados por los niveles de CO que se encuentran en la calle. La exposición a bajas concentraciones de CO (10 a 15ppm) puede perjudicar la capacidad de la persona para estimar los intervalos y afectar su agudeza visual con respecto al umbral de luminosidad. Se posee alguna evidencia de que tales efectos sobre una persona que conduce un automóvil, aumentan las posibilidades de que tenga un accidente al alterarse sus capacidades.

**Efectos sobre la salud del monóxido de carbono**

Condiciones ambientales	Efectos
9 ppm con 8h de exposición	Norma sobre la calidad del aire ambiente
50 ppm con seis semanas de exposición	Cambios estructurales en el corazón y cerebro de los animales.
50 ppm con 50 min de exposición	Cambios en el umbral de la luminosidad relativa y la agudeza visual.
50 ppm con exposición de 8 a 12h para los no fumadores.	Impedimentos en el funcionamiento de las pruebas psicomotoras.

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Wark, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pag. 46.

### 1.3.2 Óxidos de nitrógeno.

Los óxidos gaseosos estables del nitrógeno incluyen el  $N_2O$  (subóxido de nitrógeno),  $NO$  (óxido nítrico),  $N_2O_3$  (anhídrido nitroso),  $NO_2$  (peróxido de nitrógeno) y  $N_2O_5$  (anhídrido nítrico). De los seis o siete óxidos de nitrógeno, el óxido nítrico ( $NO$ ) y el peróxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) son importantes contaminantes del aire.

#### 1.3.2.1 Efectos del $NO$ y $NO_2$ en los materiales y en las plantas.

Ni el  $NO$  ni el  $NO_2$  causan daños directos a los materiales; sin embargo, el  $NO_2$  puede reaccionar con la humedad presente en la atmósfera para formar ácido nítrico, posible causante de la corrosión de las superficies metálicas.

El peróxido de nitrógeno absorbe la luz visible y a una concentración de 0.25ppm causa una considerable reducción de la visibilidad. Por otra parte el peróxido de nitrógeno a una concentración de 0.5ppm en un período de 10 a 12 días ha detenido el crecimiento de plantas tales como el frijol pinto y el tomate.

#### 1.3.2.2 Efectos del $N_2O$ , $NO$ y $NO_2$ en la salud.

El subóxido de nitrógeno ( $N_2O$ ) es un gas inerte con características anestésicas. Su concentración ambiental es de 0.50ppm, la cual está muy por debajo de la concentración de umbral que pudiera producir un efecto biológico. Esta es la razón por la que a pesar de que el  $N_2O$  se encuentra, por lo general, presente en la atmósfera inferior (formado por la acción biológica en la superficie del terreno) no se considera como contaminante del aire.

El óxido nítrico es un gas incoloro y su concentración ambiental es menor a 0.5ppm. A estas concentraciones, su toxicidad biológica en términos de la salud humana es insignificante. Sin embargo, el óxido nítrico es un precursor de la formación del peróxido de nitrógeno y es también un compuesto activo en la formación del neblumo fotoquímico. Por lo tanto, inicia

reacciones que producen contaminantes del aire. Por consiguiente, el control del NO es un factor importante en la reducción de la contaminación del aire.

El peróxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) es un gas pardo rojizo y es muy visible cuando está presente en una cantidad suficiente. Una concentración de 1ppm de  $\text{NO}_2$  es probable que sería detectado a simple vista. No se conocen todos los efectos toxicológicos y epidemiológicos del  $\text{NO}_2$  en los seres humanos. Por lo que se sabe, el  $\text{NO}_2$  no es un contaminante primario en el sentido de que afecta en forma directa a la salud humana, a menos que la concentración sea muy elevada. Antes, el límite de umbral en el ambiente era considerado como alrededor de 5ppm para la exposición diaria. Se ha sugerido un nivel de umbral de aproximadamente 1.5ppm de  $\text{NO}_2$  para los trastornos fisiológicos. El riesgo ambiental del peróxido de nitrógeno está asociado principalmente con los efectos en los pulmones. Individuos sanos expuestos a concentraciones de  $\text{NO}_2$  entre 0.7 y 5ppm durante 10 a 15 minutos han desarrollado condiciones anormales en la resistencia de los conductos pulmonares. La exposición a 15ppm de  $\text{NO}_2$  causa irritación en los ojos y en la nariz, y se han notado trastornos en los pulmones a 25ppm, para una exposición menor de 1 hora. No obstante, estos resultados carecen de importancia en el campo de la medicina, en lo que respecta a las concentraciones presentes en la atmósfera, puesto que ocurrieron sólo con niveles de dióxido de nitrógeno de 5 a 20 veces el nivel del aire ambiente. No se conoce de una manera adecuada la importancia de los niveles usuales atmosféricos del  $\text{NO}_2$  en lo que concierne a la salud humana.

En combinación con hidrocarburos no quemados, los óxidos de nitrógeno reaccionan con la luz solar y forman el neblumo fotoquímico. Los componentes del neblumo, más dañinos para la salud del hombre, son los oxidantes fotoquímicos.

El ozono ( $\text{O}_3$ ), nitrato de peroxiacetilo (NPA), nitrato de peroxibencilo (NPB), y otras trazas de sustancias que pueden oxidar al ion yoduro del yoduro de potasio, se conocen como oxidantes fotoquímicos. El ozono y el NPA se encuentran por lo general en altas concentraciones, y los efectos perjudiciales del neblumo fotoquímico se relacionan por lo general con la concentración de dichas especies. Los aerosoles formados durante las reacciones

químicas que crean el neblumo causan una notable reducción de la visibilidad, y dan a la atmósfera un maliz parduzco. El ozono ataca al hule sintético, con lo que reduce la vida de las llantas, el aislamiento del hule, etc. También ataca la celulosa de los textiles, reduciendo la resistencia de dichos artículos. Todos los oxidantes decoloran las telas. Los oxidantes, principalmente el NPA y el NPB, causan severa irritación en los ojos, y en combinación con el ozono irritan la nariz y la garganta, producen constricción del pecho, y a concentraciones altas (3900  $\mu\text{m}^3$ ) producen fuerte tos e incapacidad de meditación. En la siguiente tabla se presenta un resumen de los efectos del ozono y los oxidantes fotoquímicos.

**Efectos sobre la salud debido al ozono.**

Concentración		Exposición	Efectos
0.02	40	1 hora	Grietas en el hule estirado
0.03	60	8 horas	Daños en la vegetación
0.10	200	1 hora	Aumento en la resistencia a la respiración
0.30	590	Horas continuas de trabajo.	Irritación en la nariz y la garganta, constricción al pecho.
2.00	3,900	2 horas	Tos violenta.

Fuente: National Air Pollution Control, Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, AP-63, Washington, D.C.: HEW, 1970.

**Efectos sobre la salud de los oxidantes fotoquímicos.**

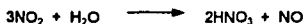
Concentración		Exposición	Efectos
0.05	100	4 horas	Daños a la vegetación
0.10	200		Irritación a los ojos
0.13	250	Máximo de 1 hora diaria	Agravación de las enfermedades respiratorias
0.03		1 hora	Impedimentos en el rendimiento de los atletas.
0.08	160	Máximo de 1 hora	Normas para la calidad del aire

Fuente: National Air Pollution Control, Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants, AP-63, Washington, D.C.: HEW, 1970.

### 1.3.2.3 Fuentes y concentraciones del NO<sub>x</sub>.

En los gases emitidos durante los procesos industriales y en la atmósfera ambiental tanto el NO como el NO<sub>2</sub> están presentes en cantidades significativas pero en proporciones variables. Más del 90% de todos los óxidos de nitrógeno producidos por el hombre se originan por el consumo de combustibles. A una escala nacional, aproximadamente la mitad del NO<sub>x</sub> proviene de fuentes estacionarias, mientras que el resto proviene de fuentes móviles, tales como los motores de encendido por chispa o por compresión, instalados en automóviles y camiones.

Sobre una base global, la tasa de emisión de NO<sub>x</sub> producida por el hombre no representa una seria preocupación en la actualidad. Los óxidos de nitrógeno son parte esencial del ciclo del nitrógeno en la naturaleza. El dióxido de nitrógeno se hidroliza a ácido nítrico en la atmósfera, que se precipita a su vez como nitrato. Éste último regresa a la superficie terrestre como fertilizante para promover el crecimiento orgánico. Entre las posibles reacciones atmosféricas para la formación del ácido nítrico se tiene:



El ácido nítrico es un principal contribuyente de la lluvia ácida. La máxima concentración de los óxidos de nitrógeno en las principales áreas urbanas pueden alcanzar los niveles de 0.3 a 1.4ppm, para tiempos promedio de 1 día o menos.

La contaminación del aire asociada con el NO<sub>x</sub> dependerá de las tasas de emisión de las fuentes en el área local. Con base en los conocimientos médicos actuales y de las concentraciones del NO<sub>x</sub>, este último no se considera un riesgo para la salud. El daño real presentado por el NO<sub>x</sub> a las concentraciones que se encontraron en las áreas metropolitanas se basa en el papel que tiene en las reacciones fotoquímicas que conducen a la formación del neblumo. Estas reacciones llevan a la formación de compuestos químicos que tienen efecto adverso directo sobre los seres humanos y las plantas. En algunas situaciones, el NO<sub>x</sub> podrá estar presente en una concentración suficientemente alta, y sin embargo, no reaccionar para la formación del neblumo, debido a que están ausentes otras condiciones para la reacción. No

obstante, casi todas las principales ciudades en cualquier país tecnológicamente avanzado, experimentan a veces hoy en día, los efectos inducidos por la presencia del  $\text{NO}_x$ .

En una fuente de emisión, la concentración de los óxidos de nitrógeno es mucho más elevada que los valores ambientales. Por ejemplo, la concentración del  $\text{NO}_x$  en el gas de combustión de un calentador doméstico de agua, alimentado con gas, es de 10ppm o menos, mientras que el nivel de los gases de la combustión de la caldera de vapor de una planta generadora de energía, puede llegar de 500 a 1000ppm. Las cantidades actuales del  $\text{NO}_x$  producidas por cualquier industria pueden ser muy grandes. Por ejemplo, una planta generadora de energía de vapor, de 750MW y alimentada con gas o carbón, produce casi 7500 a 9500 libras de  $\text{NO}_x$  (de  $\text{NO}_2$  equivalente) por hora. El gasto total de gases de la combustión para la planta sería casi de  $80 \times 10^6$  pcs/h. En dichos procesos de combustión, el  $\text{NO}_x$  presente en los gases de escape de la chimenea estaría formado por 90% de NO y el resto sería  $\text{NO}_2$ . El tipo de combustible que se utiliza puede alterar significativamente la tasa de emisión. Generalmente, las emisiones de  $\text{NO}_x$ , basándose en la misma energía liberada, aumentan en el orden gas-petróleo-carbón.

Existen dos fuentes de nitrógeno que contribuyen a la formación de los óxidos de nitrógeno en las reacciones de combustión. La fuente inevitable en las reacciones entre el combustible y el aire, es el propio aire, que contiene nitrógeno y oxígeno moleculares en una relación molar de aproximadamente 3.75:1. Además, la evidencia indica que los combustibles son causantes de una apreciable fracción del nitrógeno que aparece finalmente como  $\text{NO}_x$ . En primer lugar, interesan como contribuyentes el aceite combustible o combustóleo y el carbón, ya que el gas natural está esencialmente libre de compuestos del tipo del nitrógeno. Desde un punto de vista teórico, la energía de enlace del  $\text{N}=\text{N}$  en el nitrógeno molecular es mucho mayor que la de un enlace C-N en un compuesto orgánico (por ejemplo una amina primaria, secundaria o terciaria). Los estudios de laboratorio han demostrado que la adición de compuestos orgánicos de nitrógeno a las flamas de oxidación del CO conducen a la formación de  $\text{NO}_x$  en

ausencia de nitrógeno molecular en el oxidante. Estos estudios cubrían un rango de temperatura de 860°K a 1150°K.

La cantidad de  $\text{NO}_x$  dispersada en la atmósfera se puede reducir de dos maneras. El método primario consiste en controlar la reacción que produce el contaminante. Como una segunda posibilidad, se podría remover el contaminante después de que se ha formado.<sup>3</sup>

## 1.4 Legislación ambiental en México en cuestión atmosférica.

La legislación ambiental está basada primeramente en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de la cual se desprende la Ley General del Equilibrio Ecológico. Dicha Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución en todo lo que se refiere a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como de la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Las disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, son de orden público e interés social y tienen por objeto establecer las bases para:

- I. Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación.
- II. El ordenamiento ecológico.
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente.
- IV. La protección de las áreas naturales y la flora y fauna silvestres y acuáticas.
- V. El aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas.
- VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo.
- VII. La concurrencia del gobierno federal, de las entidades federativas y de los municipios, en la materia.

VIII. La coordinación entre las diversas dependencias y entidades de la administración pública federal, así como la participación corresponsable de la sociedad, en las materias de este ordenamiento.

Esta ley esta subdividida en 5 reglamentos con el fin de cumplir los objetivos anteriormente mencionados. Dichos reglamentos son:

I. Reglamento para la protección al ambiente contra la contaminación originada por emisión del ruido.

II. Reglamento en materia de Impacto Ambiental.

III. Reglamento de control de la contaminación atmosférica.

IV. Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos.

V. Reglamento de control de la contaminación de aguas.<sup>4</sup>

#### **1.4.1 Reglamento para el control de la contaminación atmosférica.**

Este reglamento fue emitido el 25 de Noviembre de 1988. Las secretaría que está involucrada en su aplicación es la Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.

Las normas que aplica este reglamento para el control de la contaminación atmosférica son:

I. NMX-AA

II. NOM-PA-CCAT

III. NOM-ECOL/1994

Las principales actividades exigidas por dicho reglamento se pueden resumir en 5 puntos:

I. Las emisiones de contaminantes deben ser conducidas a través de chimeneas.

II. Se deberán controlar los contaminantes que se emiten a la atmósfera.

III. Se deberán monitorear los contaminantes que se emiten a la atmósfera.

IV. Se deberá presentar un inventario de emisiones.



V. Se deberán elaborar bitácoras de mantenimiento y operación de los equipos de control de contaminantes, así como de los equipos de combustión.

#### 1.4.2 Normatividad aplicada al monóxido de carbono (CO) y los óxidos de nitrógeno (NOx) emitidos por las calderas.

La norma que regula la emisión del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno emitidos por las calderas es la siguiente:

**NOM-085-ECOL-1994** Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, neblinas de ácido sulfúrico y partículas suspendidas, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y emisiones de dióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

Los puntos de dicha norma de interés para este trabajo son los siguientes:

I. Todo sistema de combustión, de calentamiento indirecto, que se instale y opere en el período de 1994 al 31 de diciembre de 1997, deberá cumplir con los límites de emisión consignados en las tablas 1, 2 del apéndice A.

II. La medición y análisis de las emisiones deben realizarse con la frecuencia y métodos estandar o equivalentes que se muestran en las tablas 3 y 4 del apéndice A

III. El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, será sancionado conforme a lo dispuesto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, su reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación a la Atmósfera y los demás ordenamientos jurídicos aplicables.

IV. La presente Norma Oficial Mexicana entrará en vigor el Viernes 3 de Diciembre de 1994.<sup>5</sup>

## CAPÍTULO 2

**Principales aspectos teóricos  
de la combustión en  
calderas**

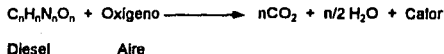
## 2.0 PRINCIPALES ASPECTOS TEÓRICOS DE LA COMBUSTIÓN EN CALDERAS.

### 2.1 La combustión.

La combustión es el proceso en el que se lleva a cabo una combinación violenta, con desprendimiento de calor y luz, del oxígeno del aire, con el carbono, hidrógeno y azufre de un combustible.

La combustión del oxígeno con el carbono, hidrógeno y azufre, se efectúa en proporciones de peso bien determinadas. Así pues, por cada átomo de carbono se necesitan dos átomos de oxígeno para llegar a la combustión armónica, formándose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) aunque también se puede combinar un átomo de carbono con uno de oxígeno cuando el carbono se quema con una deficiencia de aire, formándose monóxido de carbono (CO) producto de una combustión imperfecta, que debe evitarse porque la combustión del carbono en forma de CO, proporciona aproximadamente el 30% del poder calorífico que resulta de la combustión uniforme en forma de  $\text{CO}_2$ . El hidrógeno se combina siempre en proporción de 2 átomos de hidrógeno con 1 de oxígeno, formando vapor de agua, el azufre se combina siempre en la proporción de 1 átomo de azufre con 2 átomos de oxígeno, formando dióxido de azufre  $\text{SO}_2$  y el nitrógeno se combina con el oxígeno para formar óxido nítrico o peróxido de nitrógeno  $\text{NO}_x$ .

Un combustible empieza a quemarse hasta que las sustancias que lo constituyen sean llevadas al estado gaseoso mediante una fuente de calor externa, iniciándose así un proceso químico, con desprendimiento de calor y luz en mayor o menor abundancia, hasta que se agoten las sustancias susceptibles de quemarse.



En el caso de un combustible líquido como el diesel, se tiene una mezcla compleja de combinaciones de los elementos hidrógeno y carbono (hidrocarburos) y que también contiene el elemento azufre, en cantidades muy pequeñas. Si se tiene una cantidad de diesel en un tanque, a presión atmosférica, siempre se tendrá una pequeña porción de gases de diesel sobre la superficie líquida, debido al fenómeno natural de la evaporación. El proceso de combustión se puede iniciar instantáneamente y para ello bastará acercar una fuente de calor externa de cierta intensidad. Una vez que se ha iniciado el proceso, parte del calor producido se emplea en llevar al combustible de su estado líquido natural al gaseoso, para continuar la combustión del mismo. Por lo tanto se puede decir que:

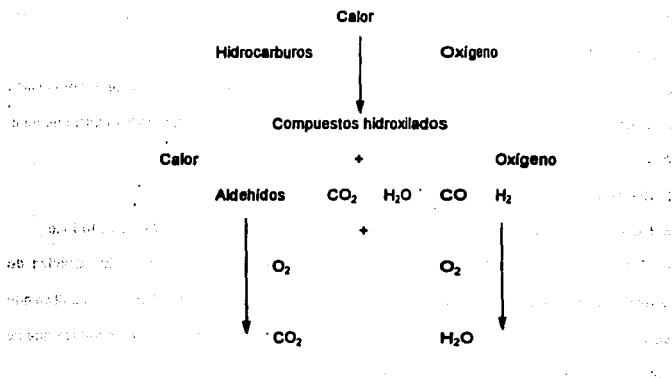
1. Para poderse quemar, toda sustancia combustible debe estar en estado gaseoso.
2. Debe estar presente el elemento oxígeno, mezclado con el gas combustible en proporción adecuada.
3. Debe disponerse de una fuente de calor externa de intensidad y cantidad adecuados para poder iniciar el proceso de combustión.

Para iniciar y continuar un proceso de combustión, debe existir proporcionalidad entre la relación de masa aire/combustible y de la intensidad de la fuente de calor externa durante un tiempo determinado.

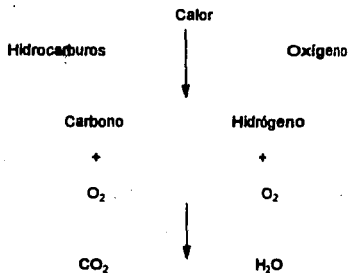
Los límites dentro de los cuales sucede lo anterior para cada combustible en particular, se llaman límites de inflamabilidad. Fuera de ellos, no se realizará la combustión aunque concurren dichas condiciones.

Los puntos de inflamación y de incendio se refieren a las temperaturas óptimas para que se inflame un combustible, sin que continúe el proceso de combustión y la que se requiere para que continúe el proceso respectivamente. La primera temperatura (de inflamación) es muy útil conocerla para un diseño adecuado de los almacenamientos de hidrocarburos líquidos. La segunda temperatura (de incendio) es indispensable conocerla cuando hay que quemar combustibles en un horno y analizar los resultados.

El producto gaseoso que abandona la cámara de combustión se conoce como humos o gas de chimenea. Al quemarse la molécula de hidrocarburo aparecen y desaparecen productos como sigue:



En el caso elemental de disociación de la molécula de hidrocarburo debido a la proyección de una zona de muy alta temperatura, los productos de la combustión serán:<sup>8</sup>



## 2.1.1 Relación aire-combustible.

Si dos reactivos participan en una reacción y uno es considerablemente más caro que el otro, se alimenta el menos caro en exceso respecto del valioso. Esto posee el efecto de aumentar el grado de conversión del reactivo valioso a expensas del costo del reactivo en exceso y de los costos de bombeo adicionales. Antes de continuar es importante conocer los siguientes términos:

- a. *Oxígeno teórico*: Son las moles o flujo molar de oxígeno necesarias para una combustión completa de todo el combustible alimentado a una caldera, suponiendo que todo el carbono en el combustible se oxida a  $\text{CO}_2$  y todo el hidrógeno se oxida a  $\text{H}_2\text{O}$ .
- b. *Aire teórico*: La cantidad de aire que contiene al oxígeno teórico.
- c. *Exceso de aire*: La cantidad en que el aire alimentado a la caldera excede al aire teórico.
- d. *Relación aire/combustible ( $\phi$ )*. Es la relación entre la cantidad de aire y la cantidad de combustible que se alimentan a la cámara de combustión. Una relación inferior a 1 significa que se está trabajando con mezclas ricas en combustible y una relación superior a 1 significa que se está trabajando con mezclas con exceso de aire.

El caso extremo de un reactivo económico es el aire, que resulta gratuito. En consecuencia, las reacciones de combustión se llevan a cabo en presencia de exceso de aire respecto de la cantidad necesaria para proveer oxígeno en proporción estequiométrica al combustible.

El control del aire suministrado al quemador de una caldera para que se verifique una combustión completa, es un aspecto muy importante, pues al haber un exceso de aire, el rendimiento es menor porque se calienta una cantidad de aire que no interviene en la combustión y que escapa por la chimenea a una temperatura elevada.

Por otro lado debe evitarse la falta de aire ya que existe el peligro de la formación de  $\text{CO}$ , resultante de una combustión incompleta del carbono.

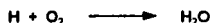
Es importante saber que la concentración de  $\text{CO}_2$ , es directamente proporcional a la cantidad de exceso de aire suministrado e inversamente proporcional a la cantidad de  $\text{CO}$  generado.<sup>7</sup>

## 2.1.2 Productos de la combustión.

A continuación se mostrarán los productos de la combustión, ampliándose la información para el monóxido de carbono y los óxidos de nitrógeno ya que son objeto de estudio de este trabajo.

### 2.1.2.1 Dióxido de carbono y agua.

Estos se producen debido a una combustión completa del carbono y del hidrógeno que forman parte del combustible. Las reacciones que llevan a su formación son las siguientes:



### 2.1.2.2 Compuestos hidroxilados, aldehídos.

Estos se forman debido a una combustión incompleta del combustible. Las reacciones que llevan a su formación son las siguientes:



### 2.1.2.3 El hollín.

Se denomina también combustible coquizado. Teóricamente el hollín es combustible no quemado o parcialmente quemado, significando consecuentemente pérdida en el consumo de combustibles. Prácticamente es el resultado de una combustión incompleta.

Se presenta en dos formas, algunas veces en forma volátil, y otras veces coquizado, cuando se presenta en esta forma, recibe el nombre de escoria.<sup>8</sup>

## 2.1.2.4 Monóxido de carbono.

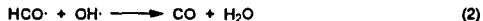
El monóxido de carbono se forma como un producto intermedio de la reacción química entre combustibles carbonados y el oxígeno. Cuando se provee una cantidad insuficiente de oxígeno (con relación aire/combustible mayor a 1, es decir mezclas ricas en combustible) o no existe una buena mezcla entre el aire y el combustible, tiende que producirse CO como un producto final de la combustión.

### 2.1.2.4.1 Cinética de la formación del monóxido de carbono.

Actualmente se desconoce parcialmente la cinética de la oxidación del carbono. Se necesita una gran cantidad de trabajo adicional para lograr un mecanismo satisfactorio de reacción elemental para la formación del CO y el CO<sub>2</sub> en los procesos de combustión de hidrocarburos. Las etapas para la formación del CO deben preceder a las del CO<sub>2</sub> y, lamentablemente, es probable que el primero esté menos bien delineado. En la mayoría de los estudios sobre procesos de oxidación a alta temperatura para hidrocarburos, como el metano, los investigadores incluyen con frecuencia la reacción del O<sub>2</sub> con el radical metilo CH<sub>3</sub>· :



como una reacción intermedia principal. Se ha propuesto entonces que el monóxido de carbono se forma principalmente por la reacción:



a pesar de que otra posibilidad podría ser (donde M puede ser cualquier cuerpo que absorbe energía):



Usualmente, las flamas contienen grandes cantidades de hidrocarburos, de modo que no está restringida la formación de CO.

La conversión de CO a CO<sub>2</sub>, está bastante bien establecida. La reacción principal, que es intrínsecamente rápida, se considera como:





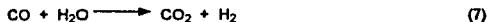
Otra ruta es la de la reacción de oxidación directa



Sin embargo, esta etapa es relativamente lenta, y probablemente no es importante. Ante la evidencia de la cinética elemental, parece ser que la oxidación directa no es la ruta preferida, a pesar del exceso de  $\text{O}_2$ . Antes bien, domina la reacción (4). Si éste es el mecanismo, entonces la concentración de  $\text{OH}\cdot$  en diversas regiones del proceso de la combustión, controla el grado de  $\text{CO}$  consumido en dichas regiones. A pesar de que existe cierto número de reacciones elementales que se pueden considerar como contribuyentes en la formación de radicales  $\text{OH}\cdot$ , hay una etapa esencial que es:



Esta reacción es importante debido a que en combinación con la reacción (4) forma la reacción del monóxido de carbono con agua, o sea:



En la zona caliente de las flamas, las reacciones elementales se equilibran y; por lo tanto, una reacción global como la (7) está también en equilibrio. En la siguiente tabla se muestran los datos para la constante  $K_p$  de equilibrio de un gas ideal, en el caso de la reacción del monóxido de carbono con agua.

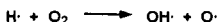
**Constantes de equilibrio para la reacción del monóxido de carbono con agua.**

$\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$	T(°K)	T(°F)	$K_p$
$K_p = \frac{(p_{\text{CO}_2})(p_{\text{H}_2})}{(p_{\text{CO}})(p_{\text{H}_2\text{O}})} = \frac{[\text{CO}_2][\text{H}_2]}{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}$	298	77	$1.04 \times 10^5$
	500	440	$1.38 \times 10^2$
	1000	1340	1.44
	1500	2240	0.39
	2000	3140	0.22
	2500	4040	0.16

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Wark, Warner, Ed. Limusa Noriega. Pag. 393.

Con base en esta sola consideración termodinámica, se debería formar  $\text{CO}_2$  del CO cuando la temperatura baja, según los gases abandonan la zona caliente de combustión. Si está presente suficiente oxígeno (en forma de radicales hidroxilo), la magnitud de  $K_p$  a 298°K indica conversión casi completa a  $\text{CO}_2$ . No obstante, la cinética de la reacción conduce a una conclusión muy diferente.

Considérese que las reacciones elementales (4) y (6) constituyen las etapas esenciales de la reacción del monóxido de carbono con agua (a pesar de que el esquema total es mucho más complejo). Luego se puede presentar una simple explicación cinética para los niveles de equilibrio del CO en los gases de escape. La reacción progresiva (4) es muy rápida y la constante de equilibrio es muy grande independientemente de la temperatura. La reacción progresiva (6) es también rápida a altas temperaturas. Cerca de 1500°K, las constantes de tasa progresiva para las dos reacciones son comparables. Sin embargo, la reacción (6) tiene una alta energía de activación (alrededor de 85KJ). Por lo tanto su constante de tasa cae rápidamente con una disminución de la temperatura. A 1000°K, la constante es alrededor de la trigésima parte del valor a 1500°K, y a 800°K, la constante es aproximadamente la tricentésima parte del valor a 1500°K. Por lo tanto, la reacción (6) es ineficaz para producir especies  $\text{OH}\cdot$  a una tasa razonable según baja la temperatura del gas. Con una disminución en la producción de  $\text{OH}\cdot$ , la conversión del CO por la reacción (4) se reducirá notablemente. Podría sugerirse que la reacción:



es otra posible fuente de  $\text{OH}\cdot$ . Esta reacción elemental también tiene una energía de activación razonablemente alta. Por tanto, su constante de tasa cae también rápidamente según baja la temperatura.

El mecanismo de reacción elemental comentado es provisional. Se requerirán más trabajos de una naturaleza teórica y experimental antes de que quede bien establecido un modelo completo del sistema  $\text{CO-CO}_2$ .

Podemos concluir que en las mezclas pobres el monóxido de carbono (CO) se produce por alguna de estas dos razones específicas:

1. Puede haber una mezcla defectuosa del combustible y el aire en la zona de reacción, de manera que las regiones de dicha zona se comportan como ricas en combustible, a pesar de que la mezcla global sea pobre.

2. El CO se puede originar en regiones a alta temperatura de la zona de combustión, donde el equilibrio químico impone que deberá ocurrir la disociación del CO<sub>2</sub> a CO. En el siguiente cuadro se tabula la constante K<sub>p</sub> de equilibrio de un gas ideal para la oxidación del CO a CO<sub>2</sub>, como una función de la temperatura.

**Constantes de equilibrio para el proceso de oxidación del CO al CO<sub>2</sub>.**

CO + 1/2O <sub>2</sub> → CO <sub>2</sub>	T(°K)	T(°F)	K <sub>p</sub>
$K_p = \frac{p_{CO_2}}{(p_{CO})(p_{O_2})^{1/2}}$	298	80	1.2 × 10 <sup>45</sup>
	500	1340	1.1 × 10 <sup>7</sup>
	1000	1340	1.7 × 10 <sup>10</sup>
	1500	2240	2.1 × 10 <sup>5</sup>
	2000	3140	766
	2500	4040	28

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. De. Limusa Noriega. Pag. 395.

Para las temperaturas mayores de 2000°K, los valores relativamente pequeños de K<sub>p</sub> indican que ya no es despreciable la disociación del CO<sub>2</sub>. Por lo tanto, los efectos de la relación aire/combustible, el grado de mezcla y la temperatura pueden llevar a una formación significativa de CO en la parte caliente de la zona de combustión.

### 2.1.2.4.2 Principales aspectos para controlar su formación.

Como se indicó anteriormente, el camino preferido para la oxidación del CO a CO<sub>2</sub> es por medio de la reacción elemental con el radical hidroxilo, como se da por la reacción (4). No importa cuáles sean las razones de su formación, la remoción del contaminante CO depende de la presencia de OH<sup>-</sup> en la mezcla reactiva. El monóxido de carbono, a diferencia de otros importantes contaminantes gaseosos, no se presta para las técnicas de remoción para los gases de escape. Un método más productivo es el control de su formación. El método más práctico de reducir la emisión de CO de fuentes estacionarias de combustión consiste en el diseño, instalación, operación y mantenimiento adecuados, del equipo de combustión.<sup>3</sup>

### 2.1.2.5 Óxidos de nitrógeno.

Los óxidos de nitrógeno generados a partir de la combustión pueden provenir de dos fuentes: a) del nitrógeno del aire, b) del nitrógeno del combustible. A continuación veremos los principales aspectos termodinámicos y cinéticos que llevan a su formación.

#### 2.1.2.5.1 Aspectos termodinámicos que controlan la formación del NO y del NO<sub>2</sub> generados a partir del nitrógeno del aire.

Las dos reacciones globales de importancia son aquellas que producen óxido nítrico, NO, y el peróxido de nitrógeno, NO<sub>2</sub>. Las reacciones de equilibrio son:



En la siguiente tabla se muestra la ecuación de la constante de equilibrio  $K_p$  para la reacción (1), y valores típicos de  $K_p$ .

**Constantes de equilibrio para la formación del óxido nítrico a partir del oxígeno y nitrógeno moleculares.**

$K_p = \frac{(pNO)^2}{(pN_2)(pO_2)}$	$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$		T(°K)	T(°F)	$K_p$
			300	80	$10^{-30}$
			1000	1340	$7.5 \times 10^{-9}$
			1200	1700	$2.8 \times 10^{-7}$
			1500	2240	$1.1 \times 10^{-5}$
			2000	3140	$4.0 \times 10^{-4}$
		2500	4040	$3.5 \times 10^{-3}$	

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pag. 473.

El valor de  $K_p$  es extremadamente pequeño ( $<10^{-4}$ ) para temperaturas por debajo de  $1000^\circ K$  ( $1350^\circ F$ ). Esto indica que hasta esta temperatura, la presión parcial del NO y, por tanto, la cantidad en equilibrio de NO sería muy pequeña. Por encima de  $1000^\circ K$  se podrían formar cantidades apreciables de NO.

En la siguiente tabla se presenta una lista de la cantidad teórica de NO en equilibrio para dos situaciones especiales.

**Composición típica del NO a diversas temperaturas para la reacción de equilibrio  $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ , como una función de la composición inicial  $N_2/O_2$ .**

°K	°F	$4N_2/O_2$ (ppm)	$40N_2/O_2$ (ppm)
1200	1700	210	80
1500	2240	1300	500
1800	2780	4400	1850
2000	3140	8000	2950
2200	3500	13100	4800
2400	3860	19800	7000

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pag. 474.

Los datos de la tercera columna son para el nitrógeno y el oxígeno inicialmente presentes en una relación 4:1, y no habiendo otros gases presentes. La cuarta columna es para una razón 40:1, pero en una mezcla gaseosa del producto, aproximadamente representativa de la combustión de hidrocarburos con 10% de exceso de aire. Los valores representan solamente una aproximación a las condiciones reales de combustión, ya que no se ha tenido en cuenta la presencia del CO<sub>2</sub> y del H<sub>2</sub> en los gases de escape. Dichos valores indican que la formación del NO en equilibrio aumenta rápidamente con la temperatura. [La temperatura de la flama en las reacciones de hidrocarburos está en las cercanías de 3000° a 3500°F (1900° a 2200°K), para concentraciones del aire ligeramente mayores que las estequiométricas].

Los valores de K<sub>p</sub> para la reacción (2) aparecen en la siguiente tabla:

**Constantes de equilibrio para la reacción de oxidación del óxido nítrico a peróxido de nitrógeno.**

NO + 1/2O <sub>2</sub> → NO <sub>2</sub>	T(°K)	T(°F)	K <sub>p</sub>
$K_p = \frac{p_{NO_2}}{(p_{NO})(p_{O_2})^{1/2}}$	300	80	10 <sup>9</sup>
	500	440	1.2 × 10 <sup>2</sup>
	1000	1340	1.1 × 10 <sup>-1</sup>
	1500	2240	1.1 × 10 <sup>-2</sup>
	2000	3140	3.5 × 10 <sup>-3</sup>

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pág. 474.

La constante de equilibrio, K<sub>p</sub>, para la formación del NO<sub>2</sub> disminuye con el aumento de la temperatura. Por lo tanto, la formación del NO<sub>2</sub> se ve favorecida por las temperaturas bajas, pero el NO<sub>2</sub> se disocia nuevamente a NO a temperaturas más altas. Según la temperatura se eleva por encima de 1000°K, la formación del NO<sub>2</sub> se hace cada vez menos probable en condiciones de equilibrio.

En los procesos reales de combustión, las reacciones (1) y (2) ocurren simultáneamente. En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de equilibrio, pronosticadas para el NO y el NO<sub>2</sub> en un gas de combustión típico (3.3% de O<sub>2</sub>, 76% de N<sub>2</sub>).

Composición típica del NO a diversas temperaturas para la reacción de equilibrio  $N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$ , como una función de la composición inicial  $4N_2/O_2$ .

<sup>o</sup> K	<sup>o</sup> F	NO (ppm)	NO <sub>2</sub> (ppm)
300	80	$1.1 \times 10^{-10}$	$3.3 \times 10^{-9}$
800	980	0.77	0.11
1400	2060	250	0.87
1873	2912	2000	1.8

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pág. 475.

Con base solamente en estos datos termodinámicos, podemos observar que se formará poco NO o NO<sub>2</sub> a la temperatura ambiente. Cualquier cantidad de NO que se forme se convertirá en NO<sub>2</sub>. En el rango de 800°K (980°F) las cantidades presentes serán todavía despreciables, a pesar de que la cantidad de NO sobrepasa ahora la de NO<sub>2</sub>. No obstante, a las temperaturas convencionales de combustión (>1500°K ó 2250°F) es posible una formación apreciable de NO, con cantidades despreciables de NO<sub>2</sub> presentes.

Sin embargo, todos los gases de la combustión se enfrían finalmente. Por ejemplo, en una planta de energía eléctrica, el enfriamiento se deberá a la transferencia de calor del gas al vapor en la caldera, sobrecalentador, economizador o precalentador del aire. La temperatura decreciente desplazará la composición de equilibrio del NO y el NO<sub>2</sub>. Si estuviera presente un exceso de oxígeno, según se enfríe el gas, se preferirá la conversión del NO al NO<sub>2</sub>. La termodinámica pronostica entonces que el gas algo enfriado que sale de un proceso de combustión consistirá principalmente de NO<sub>x</sub> en la forma de NO<sub>2</sub>.

Esto no es lo que sucede en la realidad. A pesar de que la forma ambiental o global del contaminante NO<sub>x</sub> sea NO<sub>2</sub>, los gases de la combustión que salen de la mayoría de los procesos de combustión, contendrán predominantemente NO. Como ya se ha visto, el NO en

los gases de la combustión es termodinámicamente inestable según entra al medio ambiente y cae su temperatura. No obstante, tanto la descomposición del  $\text{NO}_2$  en  $\text{NO}$  y  $\text{O}_2$ , como la reacción del  $\text{NO}$  con el  $\text{O}_2$  para formar  $\text{NO}_2$ , están limitadas cinéticamente. Según cae la temperatura por debajo de  $2300^\circ$  a  $2400^\circ\text{F}$  ( $1550^\circ\text{K}$ ), las tasas de estas reacciones se hacen muy pequeñas. Por lo tanto, la concentración final de los óxidos de nitrógeno en los gases de la combustión queda esencialmente bloqueada a los valores hallados durante su formación a temperaturas más altas. Como ya se indicó, la cantidad de  $\text{NO}_2$  formada a temperaturas más bajas (por debajo de  $1500^\circ\text{K}$ ) será bastante pequeña. Por lo tanto, el  $\text{NO}$  formado en los gases de la combustión a temperaturas más altas es arrastrado a la atmósfera ambiental. La reacción de oxidación del  $\text{NO}$  al  $\text{NO}_2$  tiene lugar en la atmósfera durante un período dictado por la cinética de las reacciones. La descomposición del  $\text{NO}$  en  $\text{N}_2$  y  $\text{O}_2$  está limitada por la alta energía de activación ( $375 \text{ kJ/gmol}$ ) de la reacción. Por lo tanto, el  $\text{NO}$  formado a temperaturas altas, forma preferentemente  $\text{NO}_2$  a temperaturas más bajas, antes que descomponerse.

El mecanismo cinético de la reacción para la formación de  $\text{NO}_2$  a partir de  $\text{N}_2$ , no es tan simple ni tan sencillo como el presentado por las ecuaciones globales (1) y (2). En primer lugar, existe la evidencia de que se puede formar una cantidad considerable de  $\text{NO}_2$  en zonas de precalentamiento que preceden a la zona principal de la flama. Parte de ese  $\text{NO}_2$  se descompone en  $\text{NO}$  en la zona de flama, y se formará  $\text{NO}$  por algún otro mecanismo dentro o por encima de la zona de flama. El estudio de donde se obtuvo esta información implicaba una flama de metano y aire; dos tercios del aire estequiométrico estaba premezclado con el combustible.

En segundo lugar, las reacciones globales se obtienen por medio de un complicado conjunto de reacciones cinéticas que pueden incluir cierto número de especies intermedias. Por ejemplo, se considera por lo general que la tasa a la que se forma el  $\text{NO}$ , está controlada por la reacción:





Como suplemento a esta reacción, también se podrían encontrar las siguientes reacciones importantes dentro del esquema global de reacción:

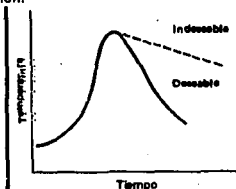


donde M es un cuerpo que no reacciona. Por lo tanto, se debe reconocer que a pesar de que se trata específicamente de la formación del NO y el NO<sub>2</sub> en las reacciones de combustión, la química que interviene resulta compleja.

El comentario anterior enfatiza la importancia de dos parámetros en la formación de los NO<sub>x</sub>: temperatura y tiempo. Básicamente, a temperaturas elevadas (>3000°F ó 1900°K) tanto la termodinámica como la cinética favorecen la formación del NO. Por lo tanto, se deberán evitar los picos de temperatura. Para controlar la temperatura de la reacción se pueden llevar a cabo dos procesos:

1. Alcanzar altas tasas de remoción de calor. Controlada por el tiempo de residencia a las temperaturas pico de la mezcla aire-combustible.

En este caso, el perfil de temperatura contra tiempo de mezclado controla la composición de los gases de la combustión según sale del equipo. En el siguiente esquema se muestran dos posibles perfiles de temperaturas contra tiempo para un elemento gaseoso que pasa por una zona de combustión.

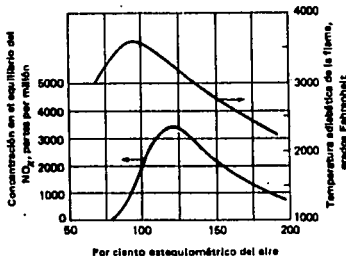


Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pag. 478.

El perfil superior es indeseable puesto que el elemento se mantiene a una temperatura elevada durante un tiempo considerable. Por ejemplo, con una tasa de remoción elevada, se podría obtener el perfil inferior que es el más deseable. En este último caso, la tasa de formación del NO se vería disminuida y se formaría en último término una menor cantidad de dióxido de nitrógeno.

2. Evitar las altas tasas de liberación de calor. Controlada por el oxígeno presente en la cámara de combustión.

El contenido de oxígeno de la mezcla reactiva está estrechamente ligado con la temperatura. La relación entre el aire y el combustible determinan en gran parte la temperatura pico. A pesar de que la relación estequiométrica entre el aire y el combustible conduce esencialmente a la máxima temperatura de combustión posible, la concentración máxima de equilibrio del NO<sub>x</sub> ocurre a un por ciento de aire estequiométrico algo más alto del 100%. Esta tendencia se ilustra en el siguiente esquema para el caso del metano.



Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pag. 478.

En el equilibrio, la concentración de NO<sub>x</sub> es un máximo alrededor del 115% del aire estequiométrico, o sea, 15% de exceso de aire. Esto nos indica que aunque tengamos altas tasas de remoción de calor si trabajamos con concentraciones de aire cercanas a las estequiométricas nuestra temperatura aumentará y con ello la concentración de óxidos de

nitrógeno. Si la implicación de esta cifra es correcta cualitativamente para las reacciones de combustión en general, se tiene entonces que el control de la combustión constituye un enfoque adecuado para el control del  $\text{NO}_x$  cuando está cerca del valor estequiométrico del aire.

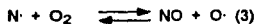
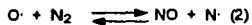
### 2.1.2.5.2 Cinética de la formación del NO en los procesos de combustión a partir del nitrógeno del aire.

Como se indicó en la sección anterior, las cantidades del NO y el  $\text{NO}_2$  que se forman en los varios sistemas de combustión no quedan explicados de manera adecuada sólo mediante un análisis termodinámico. Es necesario tener también en cuenta la tasa de reacción. La aplicación de la cinética química a los procesos que contienen nitrógeno y oxígeno procedentes del aire atmosférico ha ayudado a elucidar la estructura del sistema de reacción química, que conduce a la formación de los óxidos de nitrógeno.

Una característica inherente de los modelos analíticos para la formación del NO en los procesos de combustión; es un mecanismo de reacción (cinético) para la formación del NO a partir del nitrógeno atmosférico. Una vez que se hayan formado los átomos de oxígeno por el proceso:



las reacciones primarias que interesan, según los mecanismos de radicales libres, serán:



Es interesante observar que a pesar de que el oxígeno atómico se forma por la disociación del oxígeno diatómico, como se indica por la fórmula (1), no se considera el nitrógeno atómico como formado del nitrógeno diatómico por disociación. En su lugar, el nitrógeno atómico se forma por medio de la reacción expresada en la fórmula (2). La razón para la cantidad significativa de oxígeno atómico formado por disociación cuando se le compara con el nitrógeno atómico, es evidente cuando se comparan los valores de  $K_p$  para las dos reacciones de disociación, como una función de la temperatura, como se muestra a continuación:

Temperatura, °K	2000	2200	2400	2600	2800
log 10 Kp para O <sub>2</sub> ----- 2O	-8.356	-5.142	-4.130	-3.272	-2.536
log 10 Kp para N <sub>2</sub> ----- 2N	-18.092	-15.810	-13.908	-12.298	-10.914

Fuente: Contaminación del aire. Origen y control. Werk, Warner. Ed. Limusa Noriega. Pág. 480.

Obsérvese que el valor de  $K_p$  para la última reacción es de  $10^{-8}$  a  $10^{-12}$  veces menor que la disociación del O<sub>2</sub>. Por lo tanto, se puede, no tener en cuenta su efecto. Sin embargo, nótese que los valores de  $K_p$  para la disociación del O<sub>2</sub> son pequeños; por ello, la cantidad de oxígeno atómico formado es extremadamente pequeña, aun a las temperaturas elevadas que se encuentran en las zonas de flama.

Se supone que las reacciones básicas de combustión se equilibran antes del inicio de la formación del NO en la zona de postcombustión de las flamas. Otra reacción elemental que se añade frecuentemente a la lista es:



No obstante, las reacciones (2) y (3) son las más importantes en términos de la formación del NO en las flamas pobres y moderadamente ricas (relación aire/combustible, > 1.2). La reacción (4) tiene su importancia en las flamas ricas en combustible (relación aire/combustible < 1.2). La reacción (2) es la que controla por lo general la tasa, ya que la ruptura del enlace N<sub>2</sub> es la etapa más difícil del mecanismo de radicales.

### 2.1.2.5.2.1 Estudio cualitativo de la cinética de formación del NO.

Se puede efectuar una evaluación cualitativa de la cinética que controla la formación del NO en los procesos de combustión entre los hidrocarburos y el aire, si se examinan las reacciones (2) y (3). De estas dos, se considera que la reacción (2) es la reacción que controla la formación. La remoción del NO se debe primeramente al reverso de la reacción (3). Las

constantes de tasa para estas dos reacciones elementales, para la formación y consumo del NO son:

$$k_2 = 1.4 \times 10^{14} T \exp(-315.5/RT), \text{ cm}^3/\text{g mol s}$$

$$k_3 = 6.4 \times 10^9 T \exp(-26.15/RT), \text{ cm}^3/\text{g mol s}$$

$$k_{-3} = 1.6 \times 10^9 T \exp(-161.5/RT), \text{ cm}^3/\text{g mol s}$$

donde R está en KJ /g mol °K y T está en grados Kelvin. Nótese que ambas reacciones poseen grandes energías de activación, de manera que las tasas de estas dos reacciones serán relativamente pequeñas a temperaturas bajas. Además, la concentración del radical O<sup>·</sup> que controla también las tasas de reacción será insignificante a temperaturas bajas. Por lo tanto, la cinética pronostica una tasa muy baja de formación de NO a temperaturas bajas, y la termodinámica pronostica una concentración baja en el equilibrio.

A temperaturas altas, se formará rápidamente NO si están presentes suficientes radicales O<sup>·</sup>. De hecho, en la zona más caliente de la flama existe un nivel de superequilibrio de radicales O<sup>·</sup>. De aquí resulta que la concentración de NO aumenta rápidamente ya que la combustión de los hidrocarburos proporciona las condiciones apropiadas para la oxidación del nitrógeno atmosférico. No obstante, como los gases se enfrían rápidamente al abandonar la zona caliente de la flama, la concentración de NO está "congelada", debido a que su remoción depende del reverso de la reacción (3). La tasa de esta reacción cae significativamente con una disminución de la temperatura, debido a su alta energía de activación y a su dependencia en los átomos de oxígeno, que se recombinan con los gases enfriados para formar O<sub>2</sub>. A pesar de que la constante de equilibrio, basada en consideraciones termodinámicas, podría indicar un cambio de NO a N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, según baja la temperatura, este cambio está limitado cinéticamente. Por esta razón, una cantidad significativa de NO sale con los gases de la combustión y entra a la atmósfera.

### 2.1.2.5.3 Formación de NO<sub>x</sub> a partir del nitrógeno del combustible.

Estudios recientes, han indicado que el nitrógeno químicamente enlazado en los hidrocarburos combustibles, llamado nitrógeno del combustible, es una fuente importante en la formación del NO. Los compuestos de anillo heterocíclico, como la piridina, piperidina y quinolina están entre los más comunes que se encuentran en el petróleo. El carbón contiene compuestos productores de nitrógeno tanto de cadena como de anillo. El gas natural está esencialmente libre de dichos compuestos. Es significativo que en la mayoría de estos compuestos orgánicos productores de nitrógeno, los enlaces entre los átomos de nitrógeno y el resto de la molécula son considerablemente más débiles que el enlace N=N del nitrógeno molecular (940 kJ/g mol). Por lo tanto, no es nada sorprendente que el nitrógeno del combustible pueda contribuir con grandes cantidades de NO en los procesos de combustión.

Las reacciones que intervienen en la cinética de formación del NO del nitrógeno del combustible no se conocen con certeza. No obstante, los datos experimentales indican que la oxidación del nitrógeno del combustible es rápida. La escala de tiempo tiene el mismo orden que el de las reacciones principales de combustión. Los experimentos también han mostrado que las concentraciones de NO en exceso del equilibrio ocurren en las cercanías del frente de flama. Se han propuesto varias teorías. Se incluyen entre ellas:

- 1) El uso del cianuro (CN) como un intermediario
- 2) Liberación del nitrógeno atómico al romperse los enlaces
- 3) Un mecanismo de equilibrio parcial

Algunos resultados experimentales han indicado de un 20 a un 80% para la conversión a NO<sub>x</sub> del nitrógeno del combustible. Mediciones más recientes con queroseno que contenía 0.5% de piridina indican una conversión del nitrógeno del combustible cercana al 100%. Para una relación aire/combustible igual a 0.7, la concentración de NO aumentó de aproximadamente 50 a 400ppm en buenas condiciones de mezclado del combustible y el aire. Para una relación de equivalencia alrededor de 1.0, el aumento fue de 50 a 800ppm en el escape. Por lo tanto, existe

evidencia amplia de que el nitrógeno del combustible interviene en la formación de  $\text{NO}_x$  cuando se consume carbón o petróleo.<sup>3</sup>

### 2.1.2.6 ¿ Que es una caldera ?

El vapor es ampliamente utilizado para la calefacción, para evaporar disoluciones químicas, para procesos de calentamiento, para mover turbinas, máquinas y bombas; para realizar miles y miles de procesos en todas las ramas de la industria.

El vapor es utilizado en estos casos, simplemente porque existe una necesidad de calor y energía al mismo tiempo y el vapor es la manera más adecuada y económica de transportar grandes cantidades de calor y energía.

El vapor es fácil de producir ya que se obtiene del agua y generalmente se requiere de un recipiente adecuado para producirlo industrialmente, este recipiente es una CALDERA o GENERADOR DE VAPOR.

Las calderas se clasifican comúnmente por el tipo de mecanismo empleado para quemar el combustible, el mecanismo empleado para transferir el calor y por el tipo de combustible utilizado.

Los mecanismos para quemar el combustible pueden utilizar quemadores o parrillas. Cuando se emplean quemadores, el combustible es inyectado a la caldera a través de una boquilla y este es quemado mientras está suspendido en la cámara de combustión. Las parrillas se utilizan para quemar combustibles sólidos.

La caldera de tubos de agua es el mecanismo más utilizado para transferir el calor. En las calderas de tubos de agua, el agua para la generación de vapor está contenida en bancos de tubos suspendidos en la cámara de combustión. En las calderas de tubos de humo se invierte esta configuración, ya que se hacen pasar los gases calientes de la combustión a través de tubos suspendidos dentro de un tanque de agua.

Los combustibles más utilizados por las calderas son los fósiles, dentro de los cuales encontramos al gas natural, el diesel y el carbón, y los no fósiles como madera, desecho industrial o municipal, etc.

### 2.1.2.7 Emisión de óxidos de nitrógeno provenientes de calderas.

Las emisiones de los  $\text{NO}_x$  dependen de varios parámetros de diseño y operación de la caldera, tales como el tipo de combustible, tipo de quemador, uso de aire precalentado, la temperatura de la zona de combustión, el tipo de desfogue y el nivel de exceso de aire.

El parámetro de diseño más importante que afecta las emisiones de dichos contaminantes es el tipo de combustible.

Otro factor de diseño que tiene efecto sobre la emisión de dichos contaminantes es el tipo de quemador. Los quemadores que queman diesel difieren principalmente en el método utilizado para atomizar el combustible antes de efectuarse la combustión. Los quemadores de diesel pueden clasificarse en dos categorías: quemadores de diesel convencionales o quemadores de diesel por etapas.

El objetivo de dichos quemadores es lograr una mejor distribución del aire de combustión con el fin de incrementar la longitud de la flama (y reducir la temperatura pico de ésta) y poder así disminuir las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

El uso de aire precalentado causa un incremento en la cantidad de  $\text{NO}_x$  formado ya que esto incrementa la temperatura de la flama. Por lo tanto, el incremento en el grado de precalentamiento causará un incremento en las emisiones de  $\text{NO}_x$ .

La temperatura requerida de la zona de combustión para una aplicación dada, determina en gran parte la emisión de  $\text{NO}_x$  ya que existe una relación entre la temperatura de la zona de combustión y la temperatura de la flama. Si se requiere una temperatura alta en la zona de combustión, es lógico esperar un incremento en las emisiones de  $\text{NO}_x$ . El uso fraccional de la



capacidad de la zona de combustión puede reducir la emisión de los NOx debido a la disminución de la temperatura.

El tipo de desfogue con que cuenta la caldera afecta las emisiones de NOx ya que se presentan diferencias en el mezclado del aire y del combustible entre un desfogue natural y un desfogue mecánico. Para un nivel de exceso de oxígeno dado, se espera que el desfogue mecánico genere una mayor concentración de NOx que la del desfogue natural ya que se logra una mejor mezcla en la zona de combustión, incrementándose así la intensidad de la combustión. Sin embargo, debido a que las unidades con desfogue mecánico pueden operar con niveles de exceso de aire menores que los desfogues naturales, la emisión de NOx puede ser menor para los desfogues mecánicos.

Un incremento en el nivel de exceso de aire bajo las condiciones típicas de operación provoca un incremento en las emisiones de NOx debido a un incremento en la temperatura de la flama. Las calderas son operadas comúnmente en un rango de porcentaje de oxígeno amplio, dependiendo de las preferencias del operador. Se requiere algo de exceso de aire para asegurar una combustión completa, sin embargo, las calderas se operan comúnmente por arriba del mínimo nivel de exceso de aire requerido.

La concentración mínima de oxígeno en la chimenea para una caldera dada, es una función del tipo de combustible, del tipo de desfogue, de la presencia o ausencia de fugas de aire, del diseño del quemador, de la velocidad de mezclado del aire y del combustible y del método utilizado para distribuir el aire en el quemador.<sup>8</sup>

### **2.1.2.8 Controles de la combustión para disminuir las emisiones de NOx.**

Como se mencionó anteriormente, el NOx formado a partir de los procesos de combustión proviene ya sea de la reacción entre el oxígeno y el nitrógeno del aire o bien a partir de la reacción entre el oxígeno del aire y el nitrógeno orgánico del combustible. Los parámetros clave para controlar la velocidad de formación de los NOx para un combustible y tipo de quemador dados son la concentración local de oxígeno, la temperatura de la zona de combustión y el tiempo de vida de los productos de combustión a dichas temperaturas. Cada uno de estos parámetros, están determinados por el diseño y la forma en la que se opera el sistema. Las técnicas que están encaminadas a reducir el NOx haciendo modificaciones ya sea al diseño o a la operación del sistema se denominan controles de la combustión. Existen otras técnicas para controlar la formación de los NOx, denominadas controles posteriores a la combustión, las cuales intentan reducir el NOx formado a nitrógeno molecular en las partes finales de las chimeneas.<sup>9</sup>

Existen dos maneras fundamentales de controlar la estequiometría de la flama:

1. Regular el aire suministrado a la cámara de combustión, con el fin de obtener una relación aire/combustible inferior a uno (mínimo exceso de aire).
2. Efectuar modificaciones a los quemadores con el fin de llevar a cabo la combustión por etapas. Opción que queda fuera de los alcances de este trabajo.

### **2.1.2.8.1 Método del mínimo exceso de aire (MEA) para controlar la emisión de NOx y CO.**

Todos los procesos de combustión convencionales, requieren algo de exceso de aire para asegurar que las moléculas de combustible puedan reaccionar con el oxígeno. El método MEA consiste en suministrar menor cantidad de aire a la cámara de combustión. Entre menor sea la concentración de oxígeno en la zona del quemador, la temperatura de la flama será menor y por lo tanto disminuye la formación de NOx proveniente del nitrógeno del aire.

El criterio que se utiliza para determinar el exceso de aire óptimo, es el incremento en las emisiones de monóxido de carbono y una reducción en la estabilidad de la flama.

La principal preocupación con el método del MEA es la de mejorar el mezclado aerodinámico y la de eliminar distribuciones no uniformes de la mezcla aire/combustible. Se deberán efectuar ajustes al sistema de aire y de combustible con el fin de reducir el aire inyectado a la cámara de combustión manteniendo distribuciones adecuadas de la mezcla aire/combustible.

El método del MEA requiere de un chequeo continuo por parte del operador para verificar que esté operando la caldera de forma segura. Otro requerimiento de dicho método es el de emplear un monitoreo constante de la concentración de oxígeno, monóxido de carbono y óxidos de nitrógeno en los gases de combustión. Por otra parte, se requieren controles de flujo del aire y del combustible, precisos y sensibles, con el fin de lograr una buena mezcla en todas las posiciones en las que dosifica combustible la válvula reguladora.<sup>6</sup>

## CAPÍTULO 3

---

**Monitores electroquímicos  
de la contaminación  
atmosférica**

### 3.0 MONITORES ELECTROQUÍMICOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.

#### 3.1 Introducción.

En la actualidad, se fabrican más de 50 tipos de monitores electroquímicos para contaminantes tanto atmosféricos como acuáticos. Sus ventajas incluyen una alta sensibilidad, simplicidad, seguridad en su funcionamiento, son de simple operación y de bajo costo. Los monitores electroquímicos consumen poca energía y son portátiles.

Los contaminantes son monitoreados automáticamente en la atmósfera y en el agua. El monitoreo de los contaminantes del aire es relativamente sencillo ya que la composición de la atmósfera es en términos generales constante, las concentraciones de los contaminantes fluctúan dentro de un intervalo conocido, y la presencia de interferencias o contaminantes en el aire puede predecirse con cierta precisión. Las interferencias pueden eliminarse utilizando filtros selectivos o mediante el pretratamiento de la muestra antes de efectuar el análisis.

Existen varios requerimientos en cuanto a la estabilidad y precisión de la medición, la frecuencia con la que se requieren los registros y el tiempo de respuesta del instrumento. Con los monitores personales y los monitores portátiles, es suficiente si la señal es estable por 8 horas o en algunos casos menos. Por otra parte, en el caso de los instrumentos para efectuar monitoreos continuos de contaminantes atmosféricos, la precisión de las lecturas deberá ser de por lo menos  $\pm 2\%$  para un mes sin interferencia humana. Esto representa un requisito riguroso, sin embargo, ha sido cumplido por numerosos monitores que emplean sensores perfectos, accesorios que toman la muestra y dosifican el reactivo, así como de métodos de calibración y de autoajuste del cero automáticos.

Cuando la señal del sensor se utiliza para ajustes de equipos de combustión, se requiere un tiempo de respuesta corto (de pocos segundos). Sin embargo, cuando las emisiones y concentraciones de contaminantes en el aire se monitorean en estaciones de control, son suficientes mediciones periódicas con intervalos de 5 a 10 minutos, por lo que un tiempo de respuesta mayor no es importante.

### 3.2 Problemas presentes durante los análisis.

Las máximas concentraciones permitidas de los contaminantes atmosféricos son muy bajas y dependen de los estándares establecidos por cada país, así como del tiempo de exposición. Por ejemplo, los estándares Checoslovacos permiten una concentración promedio de dióxido de azufre de  $0.15\text{mg}/\text{m}^3$  durante 24hr y  $0.5\text{mg}/\text{m}^3$  para una exposición no mayor a 30min en 24hr. Por lo tanto, para monitorear la contaminación atmosférica, es necesario medir continuamente concentraciones de 0.01 a 10ppm (Apéndice B). Dichas concentraciones son difíciles de determinar en el laboratorio utilizando los métodos más sensibles y aun más si se desean determinar de manera continua y automática en campo.

Los métodos electroanalíticos determinan fácilmente concentraciones a partir de  $10^{-5}\text{mol/litro}^{1,3,4}$ . Por lo tanto, los contaminantes deben ser preconcentrados a partir del aire para obtener una concentración fácilmente medible en solución, por ejemplo, disolviendo el contaminante en un electrolito o por medio de una reacción química. En los métodos analíticos periódicos, la preconcentración se logra por adsorción de la sustancia problema en un filtro, seguida de la liberación de ésta mediante calor.

Los métodos de análisis se basan principalmente en la potencimetría, polarografía o voltametría, coulombimetría o una combinación de varios métodos. En el análisis de la atmósfera, el oxígeno siempre está presente e interfiere en las determinaciones en la región catódica. El oxígeno puede ser eliminado, pero esto genera desventajas en las lecturas prolongadas. Por lo tanto, la determinación se lleva a cabo en la región anódica donde el oxígeno no interfiere, lo cual tiene una ventaja adicional ya que evita la deposición de impurezas metálicas en el electrodo, proceso que puede dar como resultado la pasivación de éste. Los compuestos químicos con cierta pureza pueden utilizarse sin peligro de envenenar el electrodo y las medidas voltamétricas o coulombimétricas se efectúan sin llevar a cabo una regeneración de la superficie del electrodo, lo cual es de hecho posible en la determinación de contaminantes gaseosos conocidos como el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{NO}_x$  en el que los productos de la oxidación anódica son solubles.

Cuando el contaminante es oxidado o reducido en forma directa en la superficie del electrodo, basta con proporcionar el electrolito con el contaminante disuelto al electrodo de lectura. Dicha lectura puede ser efectuada sólo con concentraciones relativamente altas (del orden de decimas de ppm) donde la señal analítica es más alta o por lo menos comparable al ruido. Es importante recordar que es prácticamente imposible obtener un incremento sustancial en la sensibilidad mediante el incremento de la superficie del electrodo, debido a que la relación señal-ruido permanece virtualmente constante. Por esta razón, aun los contaminantes electroactivos son preconcentrados primero por una reacción química, usualmente con yodo o bromo. De esta manera, la selectividad de la medición se deteriora ya que no puede ser controlada mediante la selección del potencial del electrodo. Esta desventaja puede ser evitada por filtración selectiva o mediante pretratamiento de la muestra.

### 3.3 Principales partes de los monitores.

Los monitores son instrumentos que determinan de forma automática, controlando desde el muestreo hasta el manejo de resultados, la concentración de una sustancia dada durante un periodo de tiempo. Una parte esencial del monitor es el sensor (algunas veces llamado de forma incorrecta, analizador), el cual mide la concentración de la sustancia.

Los monitores generalmente consisten de cuatro partes, las cuales llevan a cabo las siguientes funciones:

- a. El muestreo y pretratamiento de la muestra.
- b. La calibración y autoajuste a cero.
- c. El análisis de la muestra.
- d. El manejo de los resultados.

Esta clasificación es esquemática; ya que una parte ejecuta a menudo más operaciones, por ejemplo, el dispositivo que calibra y autoajusta a cero también pretrata la muestra y el dispositivo que maneja los resultados también corrige las fluctuaciones de temperatura y el flujo de la muestra.

### 3.3.1 Muestreo y pretratamiento de la muestra.

El muestreo regularmente afecta la precisión y la confiabilidad de la lectura. En el análisis de contaminantes traza, existen muchos problemas que no ocurren o bien que son de poca importancia en las determinaciones de altas concentraciones. La pérdida de la sustancia problema debe evitarse; ésta ocurre por ejemplo, por adsorción en las paredes del tubo de muestreo o en los filtros, por condensación, o bien a través de reacciones. Por lo tanto, el tubo de muestreo del monitor debe ser lo más corto posible, de un material no reactivo y, junto con los filtros, es algunas veces calentado por arriba del punto de condensación de los gases analizados. Por estas razones, el medidor de flujo y la bomba se colocan después del sensor, con el fin de evitar la pérdida de la sustancia problema. Las interferencias se eliminan con filtros selectivos, en donde la sustancia activa se encuentra en soportes con gran área superficial.

La construcción y composición química de los filtros con que cuentan los monitores comerciales es amplia y variada. Por ejemplo el NO es oxidado a  $\text{NO}_2$  utilizando una mezcla de  $\text{MnO}_2/\text{KHSO}_4$ , con cristales de  $\text{CrO}_3$ , con  $\text{MnO}_2$  u ozono. El aire puro enriquecido con ozono se pasa a través de una lámpara ultravioleta para que posteriormente se mezcle con el aire por analizar, en el cual el NO es oxidado cuantitativamente a  $\text{NO}_2$ . La oxidación también puede ser utilizada para eliminar  $\text{NO}_x$ , en donde el  $\text{NO}_2$  formado se atrapa selectivamente en tubos que contienen trietanolamina, dietanolamina o acetato de sodio. El dióxido de nitrógeno, junto con el  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}_2$ , y vapor de agua, puede ser atrapado utilizando filtros conectados en serie que contengan carbón activado, así como una mezcla de hidróxidos de sodio y calcio con sílica gel.

El dióxido de azufre puede removerse junto con el vapor de agua, utilizando lana de asbesto cubierta con NaOH.

El sulfuro de hidrógeno se remueve utilizando lana de plata calentada a  $150^\circ\text{C}$ .

El ozono, que interfiere en la determinación del  $\text{SO}_2$ , se remueve utilizando cristales de  $\text{FeSO}_4$ .

El monóxido de carbono y los hidrocarburos se oxidan catalíticamente utilizando opcalita (una mezcla de óxidos de cobre y manganeso).



**Durante la preparación del aire puro para ajustar a cero o durante la preparación de mezclas de calibración, todas las interferencias deben eliminarse. Los filtros se conectan generalmente en el siguiente orden:**

**Filtro de polvo**

**Generador de ozono (oxidación de NO a NO<sub>2</sub>)**

**Carbón activado (adsorción de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>)**

**Hidróxido de sodio (oxidación del CO<sub>2</sub>)**

**Filtros de opcalita (oxidación del CO e hidrocarburos)**

**Filtro de lana de plata (adsorción del H<sub>2</sub>S)**

**Silica gel (H<sub>2</sub>O)**

**Para absorber el gas por analizar se puede preparar una solución pura o bien, el electrolito base analizador se puede regenerar continuamente a partir de la solución gastada si se circula a través de un dispositivo purificador. Se utilizan filtros de carbón activado o fibra de nylon (para remover el yodo) o bien se puede llevar a cabo una electrólisis para efectuar la purificación. El agua evaporada se reconstituye por medio de un tanque de almacenamiento. La solución se circula utilizando una bomba peristáltica simple.**

**Los problemas relacionados con la dosificación de los reactivos o de los gases por analizar, con la preparación de las mezclas de calibración y con el autoajuste a cero son generalmente no se toman en cuenta. Sin embargo, se sabe bien de la práctica que muchos monitores dependen menos de los problemas electroquímicos que de los dispositivos auxiliares.**

### **3.3.2. Absorción de la sustancia por analizar antes de efectuar el análisis.**

En los monitores coulombimétricos, los cuales tienen comúnmente un arreglo en donde los gases pasan a través de la solución del reactivo, la energía cinética del gas es utilizada para generar una convección en la solución hacia el electrodo. El reactivo generalmente es una solución de un halógeno ( $I_2$ ,  $Br_2$ ) o un haluro ( $I^-$ ,  $Br^-$ ). El área de contacto entre el gas y la solución se incrementa utilizando absorbedores que hacen que circule la solución; o bien permitiendo que la solución fluya a lo largo de la superficie del electrodo. Existen monitores en los que el reactivo se atomiza, por un flujo de aire, dentro del espacio esférico de la reacción, para posteriormente fluir a lo largo de las paredes en dirección del electrodo indicador.

Se puede obtener una alta eficiencia con electrodos cubiertos por una película de electrolito y con electrodos porosos. El gas de prueba se difunde rápidamente a través de la película del electrolito hacia la superficie del electrodo donde éste es sujeto a una reacción química. De esta manera la sensibilidad se incrementa substancialmente aun sin preconcentrar la sustancia en el reactivo.

### **3.3.3 Calibración y autoajuste a cero.**

Muchos de los monitores comerciales están provistos con dispositivos, que operan manual o automáticamente, para efectuar la calibración y el autoajuste a cero. El operador ajusta la velocidad de flujo del gas y los otros parámetros a los valores preestablecidos y permite que entre el gas puro. Se alimenta una mezcla de calibración al analizador y la señal se corrige en base a la concentración del gas en dicha mezcla. El operador revisa en forma simultánea los dispositivos auxiliares.

En la modalidad de automático, los procedimientos anteriormente descritos se llevan a cabo automáticamente a intervalos preestablecidos. El ajuste a cero y la calibración, llevados a cabo diariamente, se efectúan con solo una concentración de la sustancia de prueba. La velocidad de flujo, la temperatura, el potencial del electrodo y los otros parámetros también son

revisados. La señal del sensor es corregida por el microprocesador, dependiendo de los valores obtenidos.

### 3.3.4 Preparación de las mezclas de calibración.

Los gases que son químicamente estables, que no reaccionan con las paredes del cilindro y que no son adsorbidos pueden ser almacenados a concentraciones altas en cilindros a presión (principalmente el CO y el CO<sub>2</sub>). Los cilindros a presión y las válvulas son de acero inoxidable o están cubiertos con teflon. Los óxidos de nitrógeno se almacenan comúnmente en cilindros de aluminio.

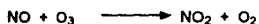
La mayoría de las mezclas de calibración no pueden almacenarse por lo que son preparadas *in situ* por dilución. Para dosificar la sustancia de prueba (se emplean tubos de permeación), los vapores del gas licuado son difundidos a través de un tubo de plástico (copolímero de etileno fluorinado y propileno o teflon) dentro de un flujo de aire puro. La velocidad de penetración del vapor depende del área y el espesor de las paredes del tubo, de la masa molecular del gas y de la temperatura. De esta manera, las mezclas con 0.1 a 10ppm de la sustancia de prueba pueden prepararse con una precisión del  $\pm 2\%$  si el tubo de permeación es termoestable dentro de un rango de  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ . Para preparar mezclas más diluidas (por debajo de 0.005ppm), se utilizan discos de permeación que tienen una área de difusión más pequeña.

Los dispositivos de permeación son adecuados para dosificar los gases con temperaturas críticas superiores a los  $25^\circ\text{C}$ ; por ejemplo SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y NH<sub>3</sub>.

Los dispositivos de difusión operan de manera análoga a los dispositivos de permeación; sin embargo, la sustancia de calibración se difunde a través de capilares de vidrio que se encuentran entre el tanque de almacenamiento que contiene la sustancia de calibración licuada y la pila a través de la cual fluye el aire puro. De esta manera, las mezclas con concentraciones de 0.1 a 100ppm pueden prepararse aun de sustancias con una presión de vapor baja a temperaturas normales.

Muchas sustancias pueden prepararse por electrólisis. La cantidad de sustancia producida está dada por las leyes de Faraday y puede modificarse al variar la corriente. El hidrógeno y el oxígeno son los que normalmente se producen de manera electroquímica, sin embargo también se pueden preparar sustancias tales como el O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, I<sub>2</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, etc.

Para producir ozono en el aire a baja concentración, se utiliza una lámpara uv que presenta una pantalla móvil para permitir la variación de la concentración del ozono dentro de un amplio rango. La concentración de ozono es muy reproducible, por lo que la lámpara ultravioleta se utiliza como standard secundario para la calibración de analizadores de ozono, óxido nítrico y peróxido de nitrógeno. La reacción



se utiliza para generar NO<sub>2</sub>, la cual es rápida y cuantitativa. Se denomina titulación en fase gaseosa. Si se agrega cierta cantidad de ozono a una mezcla que contiene una mezcla de NO, la cantidad de ozono consumida es proporcional a la cantidad de NO consumida o bien de NO<sub>2</sub> formado. Esta reacción la emplean muchos monitores comerciales.

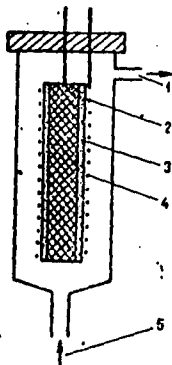
### 3.3.5 Análisis de la muestra.

Para efectuar mediciones continuas se emplean comúnmente los métodos potenciométricos, voltamétricos o coulombimétricos. Es difícil de clasificar los monitores comerciales debido a que generalmente combinan varios métodos y la construcción del sensor es algo diferente de la forma clásica.

### 3.3.5.1 Electrodo especiales para el análisis de contaminantes atmosféricos.

#### 3.3.5.1.1 Electrodo cubiertos con una capa de electrolito.

Están formados por un electrodo enrollado, inmerso parcialmente en un electrolito en el que el gas por analizar está disuelto, capaz de proporcionar mayor cantidad de corriente que un electrodo completamente inmerso aun cuando el area superficial del electrodo sea menor. Cerca del menisco del líquido, el electrodo está cubierto por una delgada capa de electrolito, a través de la cual el gas por analizar se difunde rápidamente hacia el electrodo. En el esquema 3 se observa un ejemplo de dicho electrodo:



Sensor con una capa de electrolito. 1. Salida del gas; 2. Electrodo de referencia  
3. Tubo poroso; 4 Electrodo indicador; 5 Entrada del gas.

Air Pollution Engineering Manual. Air and Waste Management Association, Antony J Bunnicore. Pag. 137.

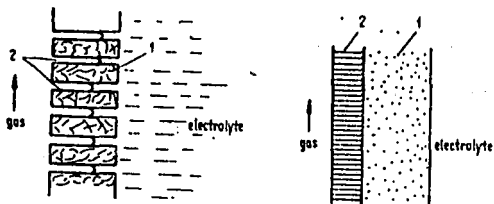
se observa que el electrodo esta unido a una base porosa mojada con un electrolito. La capa del electrolito se mantiene debido a las fuerzas de capilaridad y su espesor no debe variar como resultado de la evaporación. Por lo tanto, el gas pasa primero por el electrolito antes de entrar al analizador, sin embargo esto es imposible con emisiones reactivas. La capa del electrolito puede ser regenerada manteniendo un flujo continuo por medio de la recirculación de éste.

Estos electrodos tienen una gran sensibilidad (concentraciones inferiores a 0.1ppm pueden determinarse sin llevar a cabo una preconcentración por absorción), tienen tiempos de respuesta cortos y son de estructura sencilla.

### 3.3.5.1.2 Electrodo poroso.

La rápida difusión de un gas a través de las paredes de un poro, que soporta un electrolito, da como resultado la gran sensibilidad que presentan los electrodos porosos. Existen dos métodos de medición:

- El gas por analizar se pasa a través de los poros de un electrodo para ser posteriormente burbujeados a través de una solución electrolítica. El gran contacto que se genera entre el gas y el electrodo permite una reacción cuantitativa a bajas concentraciones (superiores a 100ppm). El gas de prueba debe ser bombeado a una presión elevada y a un flujo constante.
- Se hace pasar el gas por analizar sobre la pared del electrodo, la cual está en contacto con el electrolito, para ser difundido a través de los poros y llevarse a cabo la reacción electrolítica.



Esquema de un electrodo poroso: a) Electrodo poroso 1. Poros líquidos; 2. Poros de gas.

b) Electrodo poroso con una membrana porosa hidrofóbica: 1 membrana 2 Electrodo poroso.

Air Pollution Engineering Manual. Air and Waste Management Association, Antony J Buncore. Pag. 138.

El principal problema en las aplicaciones electroanalíticas que emplean electrodos porosos es la necesidad de mantener un contacto definido entre el gas y el electrolito dentro de los poros y el de prevenir una polarización por concentración ocasionada por el llenado de los poros. Esto se logra con la presencia de un gas inerte dentro de los poros. Por lo tanto, el electrodo debe contener sólo poros de dos tamaños; poros pequeños (de  $3\mu\text{m}$ ) llenos de electrolito y capaces de proporcionar una conexión conductiva; poros largos (de  $50\mu\text{m}$ ) dentro de los cuales el gas de prueba se difunde. La apertura de los poros es provocada por una sobrepresión del gas de prueba o, sin el peligro de perder gas de prueba en la bomba, creando un vacío del lado líquido del electrodo poroso. Otro método para prevenir el llenado de los poros es hidrofobizando la superficie (utilizando un material hidrofóbico natural, como el carbón negro).

Actualmente una subdivisión de los electrodos porosos son los electrodos activos catalíticamente impregnados con un catalizador y utilizados para determinar  $\text{CO}$ , hidrocarburos y  $\text{H}_2\text{S}$  y para acelerar la oxidación del  $\text{SO}_2$  y el  $\text{NO}_2$ . Se utilizan como catalizadores generalmente el platino y el paladio. Por otra parte, la alta actividad catalítica de los dos metales puede provocar un incremento en la corriente residual debido a la catálisis de la reducción u oxidación de otras sustancias que pueden interferir en la lectura.

Algunos tipos de electrodos son cubiertos con una membrana porosa de Teflón la cual está recubierta con algún catalizador. Hasta cierto punto, la membrana de Teflón asume el papel de los poros; ya que previene la pérdida del electrolito y ayuda a la rápida difusión del gas. La sensibilidad es mejorada por lo que dicho sistema es utilizado para determinar concentraciones que van de 1 a 100ppm, especialmente en los analizadores portátiles. Una ventaja es que el gas de prueba puede dosificarse por difusión libre y no necesita ser bombeado, siendo utilizado generalmente por los detectores de gases tóxicos. Estos sensores son llamados algunas veces electrodos de difusión.

### 3.3.5.1.3 Electrodo cubiertos con membranas.

Los electrodos cubiertos con membranas (ECM) pueden utilizarse para determinaciones tanto en matrices gaseosas como líquidas. Se utilizan para determinar gases ( $O_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NO_2$ ,  $HCN$ ,  $Cl_2$ ), sustancias volátiles ( $NH_3$ , aminas), y de forma indirecta sustancias que pueden convertirse en productos gaseosos o volátiles ( $NH_4^+$ , aminas,  $NO_3^-$ ,  $CN^-$ ,  $ClO^-$ ).

Los ECM se basan en membranas plásticas semipermeables, que llevan dentro una delgada capa de electrolito, colocadas sobre el electrodo indicador. La matriz, ya sea líquida o gaseosa fluye fuera de la membrana, la sustancia por analizar se difunde a través de la membrana, ésta se disuelve en la delgada capa del electrolito y es detectada por el electrodo indicador. Las sustancias de alto peso molecular, impurezas, iones y coloides no penetran a través de las membranas semipermeables, sin embargo el vapor de agua penetra parcialmente. La aplicación de las membranas semipermeables eliminó problemas como la pasivación del electrodo y mejoró sustancialmente la selectividad de la lectura.

Un ejemplo de ECM potenciométrico es el sensor para la determinación continua del  $CO_2$ , constituido por un electrodo de vidrio de pH. El dióxido de carbono de la muestra se difunde a través de la membrana y se disuelve en la película líquida,



El cambio en el pH es indicado por el electrodo de vidrio y es una función logarítmica de la concentración de  $CO_2$ . La reacción es reversible ya que al disminuir la concentración, el  $CO_2$  se difunde de la capa de electrolito hacia la matriz, formandose así un equilibrio.

La velocidad de respuesta esta determinada por la velocidad de difusión, la cual depende de la membrana, del espesor de la capa del electrolito, la temperatura y las velocidades de desorción y absorción. Por otra parte, la velocidad de difusión tiene poca influencia en la señal del sensor, ya que ésta última, es independiente de los cambios en la permeabilidad de la membrana ocasionados por el envejecimiento o por los esfuerzos mecánicos no simétricos



sufridos. Por otra parte, la difusión lenta da como resultado un tiempo de respuesta largo por lo que se trata de prevenir este fenómeno. Los sensores comercialmente disponibles que tienen electrodos indicadores del pH, se utilizan para determinar  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$  y  $\text{CH}_3\text{COOH}$ . Los sensores comercialmente disponibles que presentan electrodos selectivos de iones se utilizan para determinar indirectamente  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Br}^-$  a través de la determinación directa de compuestos como  $\text{NO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{Br}_2$  y  $\text{F}_2$ . Muchas sustancias pueden determinarse después de haberlas convertido en gases; por ejemplo el nitrato puede ser determinado como  $\text{NH}_3$  después de haber efectuado una reducción a  $\text{NH}_4^+$  seguida de una alcalinización de la solución.

El flujo de difusión a través de la membrana debe ser constante, con lo que los distintos electrodos difieren principalmente en el método utilizado para llevar a cabo este requerimiento. El espesor de la membrana y la tensión de la membrana no deberán de cambiar; esto dependerá del tiempo de uso que tenga la membrana, ya que la elasticidad de la membrana disminuye gradualmente. Para regular la presión sufrida por la membrana existen varias alternativas:

1. Se coloca generalmente un separador delgado entre la membrana y el electrodo.
2. Se recubre la membrana con una capa de un metal poroso.
3. Se ajusta la membrana a un disco de plata poroso.

Los ECM se utilizan para determinar  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{Cl}_2$ ; cuando se utilizan electrodos catalíticos se puede determinar  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}$ , algunos hidrocarburos, vapores de alcoholes y  $\text{H}_2$ .

Se utilizan membranas plásticas delgadas (polietileno, teflon, milar, hule de silicon, etc) dependiendo de la constante de permeabilidad del gas por analizar. Si se tiene una alta permeabilidad se puede obtener una señal elevada y por lo tanto se pueden determinar bajas concentraciones. Sin embargo, la selectividad de la determinación no puede lograrse mediante la selección de la membrana (ya que la permeabilidad para varios gases no difiere por mas de un orden de magnitud) por lo que se deberán utilizar como ayuda los filtros, la solución ajustadora del pH y el potencial del electrodo indicador.

### 3.3.5.2 Métodos electroanalíticos utilizados para el análisis de contaminantes atmosféricos.

#### 3.3.5.2.1 Método potenciométrico.

Este método se utiliza para medir los potenciales redox con electrodos de platino, el pH con electrodos de vidrio y varias sustancias utilizando electrodos selectivos de iones (ISE). De acuerdo con la ecuación de Nernst, el potencial del electrodo es una función logarítmica de la actividad de la sustancia electroactiva,  $a$ ,

$$E = E_0 + (RT/nF) \ln a_i = E_0 + (0.059/n) \log a_i$$

donde  $E_0$  es el potencial de electrodo estándar,  $R$  es la constante general de los gases,  $T$  es la temperatura absoluta,  $n$  es el número de electrones intercambiados y  $F$  es la constante de Faraday. Cuando se trabaja con soluciones diluidas se puede asumir que la actividad es igual a la concentración.

Una ventaja de la potenciometría es su alta sensibilidad (el límite de detección es generalmente de  $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  mol/litro) y la sencillez del aparato. Una desventaja es la dependencia logarítmica de la señal sobre la concentración, ya que limita la precisión de la medición a concentraciones altas. También ocurre generalmente un decremento gradual en la señal provocado por la lixiviación de la membrana selectiva de iones y debe corregirse periódicamente por medio de una calibración.

La determinación de la concentración se lleva a cabo después de la absorción de la sustancia de prueba en una solución o en un reactivo. Los electrodos cubiertos con membranas se utilizan para monitorear de forma directa los gases mediante un sistema de alta selectividad.

### 3.3.5.2.2 Método voltamétrico.

Se basa en la medición de la corriente, ya que ésta es proporcional a la concentración C,

$$i = nFAm_{ox} C/\delta$$

donde  $n$  = número de electrones intercambiados

$F$  = constante de Faraday

$m_{ox}$  = coeficiente de difusión

$S$  = área de la superficie del electrodo

$\delta$  = espesor de la capa de difusión

El espesor de la capa de difusión  $\delta$  en la superficie del electrodo depende de la convección presente en la solución y debe mantenerse constante. Esto se logra por ejemplo con movimientos de rotación o vibración del electrodo, manteniendo en flujo la solución. En los analizadores de gases atmosféricos, la convección generalmente se mantiene mediante un burbujeo del gas de prueba a través de la solución.

La corriente depende de la temperatura (2%-4% K<sup>-1</sup>) y de la actividad del electrodo. Se utilizan electrodos indicadores sólidos (grafito pirrolítico, Ag, Au, Pt) de varias formas así como electrodos activos catalíticamente (carbón impregnado con un catalizador de Pt). El límite de detección va de 10<sup>-5</sup> a 10<sup>-6</sup> mol/litro. Una gran ventaja es el amplio rango de la dependencia lineal de la señal en la concentración (10<sup>-6</sup> a 10<sup>-1</sup> mol/litro). El efecto de la temperatura es compensado eléctricamente. Los sensores voltamétricos con electrolito burbujeado se utilizan para efectuar mediciones de muestras con concentraciones que van de 500ppm al 10%. Para monitorear bajas concentraciones, se utilizan electrodos cubiertos con una capa de electrolito, electrodos porosos y electrodos cubiertos con una membrana.

### 3.3.5.2.3 Método coulombímetro.

En estos sistemas, el gas es alimentado a velocidad constante dentro de un contenedor donde las condiciones experimentales son ajustadas para llevar a cabo la electrólisis completa de la sustancia de prueba. La corriente de la electrólisis es controlada por medio de la velocidad de alimentación y esta dada por la ley de Faraday

$$i = nFN = knFvC$$

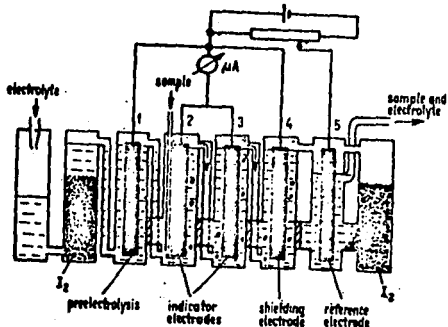
donde N es el número de moles alimentadas, de la sustancia de prueba, dentro del contenedor por unidad de tiempo, v es la velocidad de flujo de la muestra y C es la concentración de la sustancia de prueba. No es posible lograr una electrólisis completa (por lo menos del 98%) de la sustancia de prueba en un sistema sujeto a flujo. Para poder llevar a cabo una electrólisis completa se deberán utilizar electrodos cubiertos con membranas con grandes áreas superficiales, generar una convección intensa, mantener un contacto constante entre la muestra y la superficie del electrodo y proporcionar una alimentación estable de ésta (ya sea una solución o un gas) dentro del contenedor donde se lleva a cabo la electrólisis. La corriente es proporcional a la velocidad de alimentación de la muestra, por lo que deberá ser estable durante largos periodos. Una ventaja de la coulombimetría de flujo es que la corriente eléctrica es independiente de la temperatura y de la actividad del electrodo dentro de un amplio margen.

Los analizadores coulombimétricos se utilizan principalmente para determinar concentraciones pequeñas (del orden de las ppm) cuando se utilizan altas velocidades de alimentación de la muestra; reportándose retrasos aceptables para llevar a cabo una electrólisis completa. Los analizadores coulombimétricos también emplean reacciones químicas preliminares de la sustancia de prueba con yodo, bromo u otros reactivos lo que lleva a un almacenamiento cuantitativo de trazas de la sustancia por analizar aún en absorbedores pequeños.

El circuito eléctrico de los sensores coulombimétricos y voltamétricos es virtualmente idéntico y los dos métodos difieren solamente en las condiciones experimentales. La voltimetría

emplea electrodos con una area superficial pequeña y una alta velocidad de flujo de la muestra, con lo que la sustancia de prueba no es destruida en forma apreciable por la electrólisis en el contenedor. Por otra parte, la coulombimetría emplea electrodos con una gran area superficial y una baja velocidad de flujo de la muestra y las condiciones experimentales se arreglan de tal manera que la sustancia de prueba sea electrolizada completamente.

En el siguiente esquema se muestra el ejemplo de un analizador de SO<sub>2</sub> coulombimétrico:



Esquema de un analizador coulombimétrico de dióxido de azufre.  
Air Pollution Engineering Manual, Air and Waste Management Association, Antony J Bunickore, Pág. 142.

El aire por muestrear es alimentado a una velocidad constante en el contenedor 2 a través del cual pasa una solución de yodo con el fin de oxidar el dióxido de azufre. Como resultado de la reacción:



La cantidad de iones yoduro que se forman será proporcional a la concentración de SO<sub>2</sub>; posteriormente estos iones se determinan por medio de una oxidación anódica efectuada en los electrodos 2 y 3, según la reacción:



La corriente que pasa a través de los electrodos 2 y 3 se mide; ésta será proporcional a la concentración de  $\text{SO}_2$ . En el electrodo 1, la solución reactivo de yodo se preelectroliza con el fin de eliminar los iones yoduro que pudiera tener ésta. El electrodo 4 previene la penetración de aquellos iones yoduro que provengan del cátodo de referencia 5. La solución es bombeada (a razón de 0.1 ml/min) en dirección del flujo de gas a través de los compartimentos, conectados por medio de diafragmas localizados en la parte inferior de estos, que contienen a cada uno de los electrodos. La sensibilidad depende de la velocidad de flujo del aire.

En muchos de los monitores comerciales solo se lleva a cabo una electrólisis parcial de la sustancia de prueba (20%-60%). Estos sensores operan en la frontera establecida entre la coulombimetría y voltametría; su señal es una complicada función de la velocidad de flujo de la muestra, temperatura, y la actividad del electrodo.

#### 3.3.5.2.4 Análisis Galvánico.

Este nombre se utiliza sólo para aquellos métodos que operan sin una fuente de corriente externa. Cuando se selecciona en forma adecuada el electrodo de referencia, de tal manera que su potencial sea suficiente para llevar a cabo la reducción de la sustancia de prueba en el electrodo indicador, la corriente que pasa entre los dos electrodos, conectados a través de un microamperímetro, será proporcional a la concentración presente en el electrodo indicador. Este sistema se utiliza principalmente en electrodos cubiertos con una capa de electrolito y con electrodos cubiertos con membranas.

El electrodo de referencia debe ser capaz de proporcionar corriente por un largo período de tiempo sin presentar una polarización marcada; por lo tanto, estos electrodos están fabricados comunmente de laminas de metales (Ag, Cd, Pb, Zn) con gran area superficial y generalmente se regeneran utilizando corriente de una fuente externa.<sup>10</sup>

**Metodología**

## 4.0 Metodología.

### 4.1 Material y equipo.

1. Analizador de gases de combustión ENERAC 2000.
2. Guantes.
3. Escalera.
4. Llave de perico.
5. Juego de llaves állen.
6. Linterna
7. Pinzas de mecánico.
8. Juego de llaves españolas.

### 4.2 Especificaciones de la caldera.

Marca	Cleaver Brooks
Capacidad	150 CC = 5303.84 MJ/hr
Tipo de combustible	Diesel
Tipo de desfogue	Mecánico
Mecanismo utilizado para quemar el combustible	Quemador convencional
Mecanismo para transferir el calor	Tubos de humo
Proceso	Combustión. Generación de vapor.
NMP óxidos de nitrógeno (2)	220 ppm (Ver apéndice A)
NMP óxidos de nitrógeno (1)	190 ppm (Ver apéndice A)
NMP monóxido de carbono	400 ppm (Ver apéndice A)
Oxígeno de referencia	5%



### **4.3 Descripción de los sensores del ENERAC 2000.**

#### **4.3.1 Sensor de monóxido de carbono.**

Este es una celda electroquímica sellada. Consiste de tres electrodos de platino y un electrolito. El monóxido de carbono se difunde a través de un orificio pequeño en la cara del sensor para que reaccione con el oxígeno presente dentro de la celda para formar dióxido de carbono. La reacción produce una corriente eléctrica proporcional a la concentración del gas.

#### **4.3.2 Sensor de oxígeno.**

Este es una celda electroquímica con dos electrodos. Tiene un electrodo de plata y otro de plomo. El oxígeno pasa a través de un pequeño orificio y reacciona con el plomo. La reacción produce una corriente eléctrica. La celda se agota cuando todo el plomo se ha oxidado.

#### **4.3.3 Sensor de óxidos de nitrógeno.**

Este es una celda electroquímica similar a la del monóxido de carbono con la importante diferencia de que ésta requiere la aplicación de una diferencia de potencial constante. El sensor responde en forma primaria al óxido nítrico (NO). Exhibe una pequeña sensibilidad al  $\text{NO}_2$ .<sup>12</sup>

#### **4.4 Procedimiento para determinar la concentración del oxígeno, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono presentes en los gases de combustión emitidos por la caldera.**

Se inserta el tomamuestra en la chimenea de la caldera. Una bomba localizada dentro del instrumento succionará una pequeña muestra del gas y hará que éste pase a través de los sensores de oxígeno, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono. La concentración de los contaminantes, presente en los gases de combustión, podrán observarse en la pantalla del analizador o bien ser impresas (Ver apéndice D) durante el periodo de tiempo en el que el tomamuestras se encuentre dentro de la chimenea\*\*.

#### **4.5 Programa para efectuar el ajuste de la caldera.**

El ajuste o carburación de una caldera tiene como objetivo el de evitar que tanto los óxidos de nitrógeno como el monóxido de carbono rebasen los niveles máximos permisibles dictados por la norma NOM-085-ECOL-1994. El programa propuesto consta de los siguientes puntos:

- 4.5.1 Los ajustes serán efectuados por el operador de las calderas y por un químico o persona que conozca bien los procesos químicos que llevan a la formación tanto de los óxidos de nitrógeno como del monóxido de carbono. Los análisis serán efectuados en el puerto de muestreo que se ubica en la base de la chimenea.
  
- 4.5.2 Se regulará la relación aire-combustible mediante el ajuste de la compuerta del aire primario y de la válvula de inyección del combustible para cada una de las siguientes posiciones: Fuego bajo, fuego medio bajo, fuego medio, fuego medio alto y fuego alto.

\* Según la localización indicada en el inciso 4.6.

\*\* Según el tiempo de muestreo indicado en el inciso 4.6.

**Todos los ajustes mecánicos que se efectúen a la válvula de inyección del combustible y a la compuerta del aire primario se registrarán en la tabla de ajustes (Ver apéndice C).**

**4.5.3** Se ajustará la presión del aire de atomización, mediante el ajuste de la válvula del compresor del aire de atomización, y la presión de dosificación del combustible, mediante el ajuste de la válvula reguladora de la presión de inyección del combustible, con el fin de obtener un mezclado uniforme y poder así evitar que la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno sobrepasen los niveles máximos permisibles al aplicar el método del mínimo exceso de aire.

Todos los ajustes a las válvulas mencionadas anteriormente y las lecturas que se presenten en los manómetros del aire de atomización y de inyección del combustible se registrarán en la tabla de ajustes (Ver apéndice C).

**4.5.4** Se efectuará un análisis de combustión (Ver apéndice D) antes y después de efectuar algunas de las operaciones indicadas en los incisos 4.5.2 y 4.5.3.

**4.5.5** Una vez efectuados los ajustes necesarios, se hará un análisis de combustión en cada una de las posiciones indicadas en el inciso 4.5.2., con el fin de certificar que la concentración del monóxido de carbono y de los óxidos de nitrógeno se encuentren por debajo de los niveles máximos permisibles. Se deberán registrar en la tabla de ajustes la presión de atomización y de inyección del combustible para cada una de las posiciones indicadas en el inciso 4.5.2.

**4.5.6** Los resultados de los análisis del inciso 4.5.4 y 4.5.5 se pegarán en una hoja (Ver apéndice E) y se anexarán a la tabla de ajustes (Ver apéndice C). Estos dos documentos servirán para certificar que la caldera fue ajustada y que la

concentración de los óxidos de nitrógeno y del monóxido de carbono emitidos por ésta, se encuentran por debajo de los niveles máximos permisibles.

- 4.5.7 Los ajustes a la caldera se efectuarán la primera y última semana de operación de ésta. Sin embargo, si la concentración de alguno de los contaminantes en cuestión rebasa los NMP, se efectuará el ajuste necesario para poder evitar dicho fenómeno.

#### **4.6 Programa de monitoreo de los óxidos de nitrógeno monóxido de carbono y oxígeno presentes en los gases de combustión de la caldera.**

Debido a que el proceso de combustión de una caldera esta sujeto a grandes cambios debidos en primera, a que la demanda de vapor en una planta de fabricación no es constante; y en segunda a que el método del mínimo exceso de aire reduce el oxígeno inyectado a la cámara de combustión, punto en el que se puede incrementar la concentración del monóxido de carbono emitido, es conveniente efectuar un monitoreo diario de los óxidos de nitrógeno y del monóxido de carbono para certificar que las concentraciones de las emisiones no se rebasen los niveles máximos permisibles y poder efectuar un ajuste rápido en el momento que el sistema de combustión presente alguna falla. El método de análisis, la frecuencia con la que se efectuarán estos y las zonas de la chimenea donde se efectuarán la toma de muestra propuestos para la determinación de los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y oxígeno emitidos como productos de la combustión por una caldera que utiliza diesel industrial como combustible (Ver apéndice A) son:

**CONTAMINANTE  
EMITIDO****MÉTODO DE  
ANÁLISIS****FRECUENCIA**

Monóxido de  
carbono  
(CO)

- Celdas electroquímicas (continuo 30min) (impresiones c/5min)

- Diario
  - L,M,V puerto de muestreo de la base de la chimenea.
  - M,J tiro puerto de muestreo a 2D<sup>\*</sup> de la salida de la chimenea.

Oxígeno

- Celdas electroquímicas (continuo 30min) (impresiones c/5min)

- Diario
  - L,M,V puerto de muestreo de la base de la chimenea.
  - M,J puerto de muestreo a 2D<sup>\*</sup> de la salida de la chimenea.

Óxidos de  
nitrógeno (NO<sub>x</sub>)

- Celdas electroquímicas (continuo 30 min) (impresiones c/5min)

- Diario
  - L,M,V puerto de muestreo de la base de la chimenea.
  - M,J puerto de muestreo a 2D<sup>\*</sup> de la salida de la chimenea.

\* D = Diámetro de la chimenea.

4.6.1 Si algún parámetro se encuentra fuera de los niveles máximos permisibles (NMP), se ajustará la caldera con el fin de que estos no sean rebasados. El procedimiento a seguir será el indicado en el inciso 4.5.

## 4.7 Documentación.

4.7.1 **Bitácora de emisiones:** Esta será una libreta foliada en la cual se pegarán las impresiones del ENERAC 2000 obtenidas en cada monitoreo continuo. Dicha bitácora deberá contener la siguiente información (Ver apéndice E):

- No. de caldera
- Fecha
- Turno
- Hora de reporte
- Eficiencia (%)
- Temperatura ambiente (°C)
- Temperatura de los gases (°C)
- Oxígeno (%)
- Monóxido de carbono (ppm)
- Dióxido de carbono (%)
- Combustible no quemado (%)
- Exceso de aire (%)
- Oxidos de nitrógeno (ppm)
- Dióxido de azufre (ppm)

## CAPÍTULO 5

---

**Resultados y análisis  
de resultados**

## 5.1 Resultados y análisis de resultados

### 5.1.1 CALDERA 1 (MAYO 1995)

#### TABLA DE RESULTADOS.

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
8/05/95	10:18	4.7	34	203	0.9816	33	199
8/05/95	10:23	6.2	103	208	1.0811	111	225
8/05/95	10:28	6.5	73	207	1.1034	81	228
8/05/95	10:33	3.5	79	190	0.9143	72	174
8/05/95	10:38	4.4	71	196	0.9639	68	189
8/05/95	10:43	5.4	75	208	1.0256	77	213
8/05/95	10:48	6.2	76	205	1.0811	82	222
12/05/95	11:36	4.7	24	166	0.9816	24	163
12/05/95	11:41	5.2	34	169	1.0127	34	171
12/05/95	11:52	5.5	68	174	1.0323	70	180
12/05/95	11:58	5.9	38	175	1.0596	40	185
12/05/95	12:20	4.7	50	177	0.9816	49	174
15/05/95	11:43	5.6	40	186	1.039	42	193
15/05/95	11:48	5.7	40	184	1.0458	42	192
15/05/95	11:53	6.4	42	177	1.0959	46	194
15/05/95	11:58	5.7	49	175	1.0458	51	183
15/05/95	12:04	5.7	55	182	1.0458	58	190
15/05/95	12:08	5.4	58	182	1.0256	59	187
15/05/95	12:13	4.9	63	182	0.9938	63	181
16/05/95	09:55	5.2	29	186	1.0127	29	188
16/05/95	10:00	4.7	37	185	0.9816	36	182
16/05/95	10:05	5.2	42	188	1.0127	43	190
16/05/95	10:10	4.5	40	187	0.9697	39	181
16/05/95	10:15	5.2	47	186	1.0127	48	188
18/05/95	14:44	5.4	39	192	1.0256	40	197
18/05/95	14:50	5.9	42	188	1.0596	45	199
18/05/95	14:55	5.8	42	184	1.0526	44	194
18/05/95	15:01	5.6	44	184	1.039	46	191
18/05/95	15:05	5.4	47	187	1.0256	48	192
18/05/95	15:10	5.3	50	187	1.0191	51	191
18/05/95	15:15	5.3	49	186	1.0191	50	190
23/05/95	15:04	5.8	55	200	1.0526	58	211
23/05/95	15:09	5.8	66	199	1.0526	69	209
23/05/95	15:14	6	73	195	1.0667	78	208
23/05/95	15:19	4.8	81	193	0.9877	80	191



## TABLA DE RESULTADOS

CALDERA 1  
MAYO 1985

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
23/05/85	15:24	5.8	86	197	1.0526	91	207
23/05/85	15:29	5.9	89	197	1.0596	94	209
26/05/85	12:04	5.2	45	196	1.0127	46	198
26/05/85	12:09	5.4	60	194	1.0256	62	199
26/05/85	12:14	5.8	68	195	1.0526	72	205
26/05/85	12:19	5.8	78	192	1.0526	82	202
26/05/85	12:24	5.2	86	192	1.0127	87	194
26/05/85	12:29	5.8	89	194	1.0526	94	204
26/05/85	12:37	3.6	97	182	0.9195	89	167

**MEDIA**

5.3

58

188

1.026

60

194

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 12/05/95

CALDERA: 1

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	11:46				1/2 v (-) comb. Tornillos 1 y 2.
Fuego bajo	12:11				1/2 v (-) comb. Tornillos 1 y 2.
Fuego bajo	12:24				Se presentó una lectura aceptable.
Fuego M/bajo	11:58	2.65	0.82	0.70	Ninguno. Alto % de oxígeno.
Fuego medio	11:52	2.40	0.95	7.0	Ninguno. Alto % de oxígeno.
Fuego alto	12:20	2.30	1.00	6.9	Ninguno. Alto % de oxígeno.
					Para poder disminuir la concentración de oxígeno se debe cerrar la compuerta de aire primario.
					Esto se debe a que la válvula de inyección no puede dosificar mayor cantidad de combustible.
					Dicha operación se programa para la primera quincena de Junio. Se efectuará una verificación
					antes de salir de operación para comprobar dicha sugerencia.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 26/05/95

CALDERA: 1

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pv (Kg/cm <sup>2</sup> )	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	12:37	0.65	2.9	5.5	Ninguno. Buena combustión.
Fuego M/bajo	12:29	0.82	2.53	6.5	Ninguno. Alto % de oxígeno.
Fuego medio	12:19	0.81	2.38	6.5	Ninguno. Alto % de oxígeno.
Fuego M/alto	12:14	0.95	2.3	7.0	Ninguno. Alto % de oxígeno.
Fuego alto	12:09	0.96	2.2	6.9	Ninguno. Alto % de oxígeno.
					PARA PODER DISMINUIR EL % DE
					DE OXIGENO EN LOS GASES DE
					COMBUSTIÓN SE RECOMIENDA
					CERRAR LA COMPUERTA DE
					AIRE PRIMARIO YA QUE LA VALVULA DE
					INYECCIÓN NO PUEDE DOSIFICAR
					MAYOR CANTIDAD DE COMBUSTIBLE.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

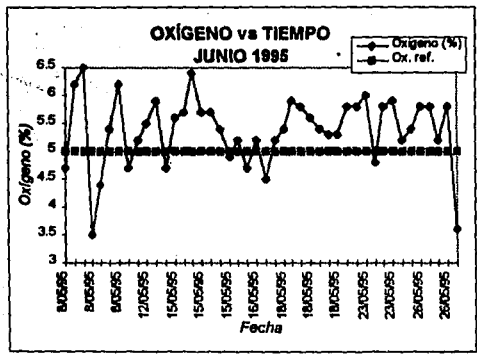
# GRÁFICAS.

BADAJOS

GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
MAYO 1995

10/05/95  
11/05/95  
12/05/95

GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
MAYO 1995

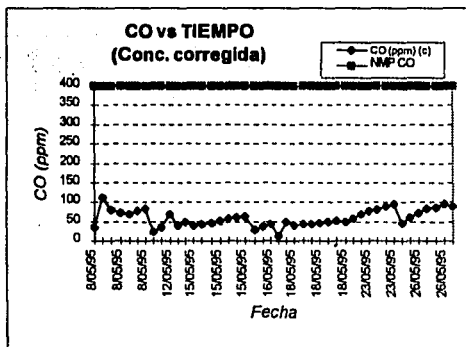
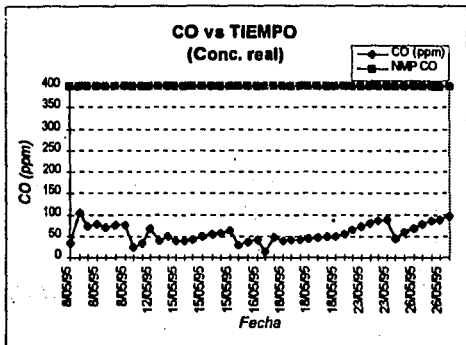


# GRÁFICAS.

ESTACION

GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
MAYO 1995

CONCENTRACION DE MONÓXIDO DE CARBONO  
EN CALDERA 1

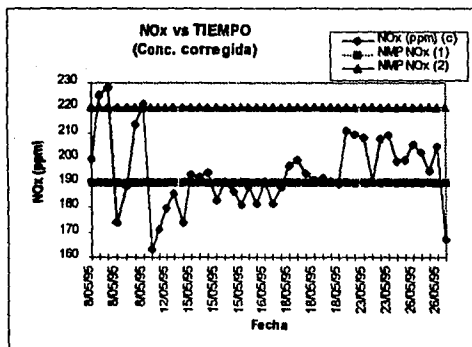
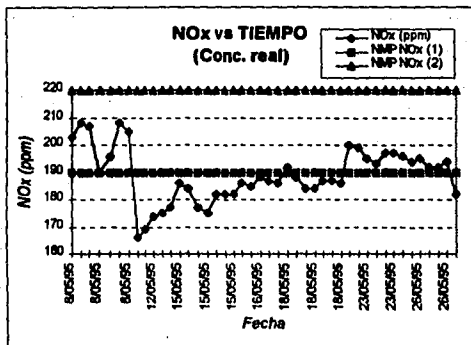


# GRÁFICAS.

CONCENTRACIONES DE NOx

GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
MAYO 1995

CONCENTRACIONES DE NOx



## 5.1.2 CALDERA 1 (JUNIO 1995)

2009900

## TABLA DE RESULTADOS.

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia							Ox. ref. 5%	
Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)	
19/06/95	15:17	1.7	177	9999	0.8290	146.74	8289.33	
19/06/95	15:26	3.3	191	58	0.9040	172.66	52.43	
19/06/95	15:32	2.8	201	53	0.8698	174.78	46.09	
19/06/95	15:39	3.6	189	53	0.9195	173.79	48.74	
19/06/95	15:44	7.2	186	47	1.1594	215.65	54.49	
19/06/95	15:52	3.1	191	58	0.8939	170.73	51.84	
19/06/95	16:13	6.1	190	32	1.0738	204.03	34.36	
19/06/95	16:22	5.6	193	42	1.0390	200.52	43.64	
19/06/95	16:36	5.4	195	50	1.0258	200.00	51.28	
19/06/95	16:49	5	198	50	1.0000	198.00	50.00	
20/06/95	08:40	4.8	199	27	0.9877	196.54	26.67	
20/06/95	08:46	4.8	202	40	0.9877	199.51	39.51	
20/06/95	08:50	5.1	204	40	1.0063	205.28	40.25	
20/06/95	08:56	5.7	199	42	1.0458	208.10	43.92	
20/06/95	09:00	4.9	200	45	0.9938	198.76	44.72	
20/06/95	09:05	3.8	186	47	0.9302	173.02	43.72	
20/06/95	09:10	3.8	189	52	0.9302	175.81	48.37	
21/06/95	10:16	4.8	197	25	0.9877	194.57	24.69	
21/06/95	10:23	5.6	195	34	1.0390	202.60	35.32	
21/06/95	10:29	4.7	203	42	0.9816	199.26	41.23	
21/06/95	10:34	4.9	200	45	0.9938	198.76	44.72	
21/06/95	10:38	4	189	45	0.9412	177.88	42.35	
21/06/95	10:43	4.2	190	50	0.9524	180.95	47.62	
21/06/95	10:49	4.8	194	52	0.9877	191.60	51.36	
22/06/95	10:23	4.6	204	32	0.9756	199.02	31.22	
22/06/95	10:27	3.6	188	37	0.9195	172.87	34.02	
22/06/95	10:32	3.9	201	37	0.9357	188.07	34.62	
22/06/95	10:37	5.3	198	38	1.0191	201.78	38.73	
22/06/95	10:44	3.2	189	45	0.8989	189.89	40.45	
22/06/95	10:55	3.4	191	47	0.9091	173.64	42.73	
22/06/95	11:02	3.7	198	47	0.9249	183.12	43.47	
22/06/95	11:07	5.7	196	47	1.0458	204.97	49.15	
22/06/95	11:28	3	182	27	0.8889	161.76	24.00	
22/06/95	11:31	5.3	191	32	1.0191	194.65	32.61	
22/06/95	11:35	4.6	179	34	0.9756	174.63	33.17	
23/06/95	12:50	4.4	196	21	0.9639	188.92	20.24	
23/06/95	12:55	5.3	195	32	1.0191	198.73	32.61	
23/06/95	13:00	4.6	200	40	0.9756	195.12	39.02	
23/06/95	13:05	4.7	201	42	0.9816	197.30	41.23	
23/06/95	13:10	3.9	184	45	0.9357	172.16	42.11	

## TABLA DE RESULTADOS.

CALDERA 1  
JUNIO 1995

Fecha	Hora	Oxigeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
23/08/95	13:15	3.6	177	47	0.9195	162.76	43.22
23/08/95	13:20	4.1	186	50	0.9467	176.09	47.34
28/08/95	08:22	6.1	188	24	1.0738	201.88	25.77
28/08/95	08:27	6.4	189	32	1.0959	207.12	35.07
28/08/95	08:32	5.9	190	40	1.0596	201.32	42.38
28/08/95	08:38	5.8	188	42	1.0526	195.79	44.21
28/08/95	08:42	5.9	192	48	1.0596	203.44	50.86
28/08/95	08:47	4.4	185	50	0.9839	178.31	48.19
28/08/95	08:53	4.4	188	53	0.9839	179.28	51.08
29/08/95	09:52	4.8	179	27	0.9877	176.79	26.67
29/08/95	09:57	4.6	178	32	0.9756	173.66	31.22
29/08/95	10:02	5.9	193	42	1.0596	204.50	44.50
29/08/95	10:07	5.8	192	45	1.0526	202.11	47.37
29/08/95	10:12	5.8	191	50	1.0526	201.05	52.83
29/08/95	10:17	4.5	178	51	0.9697	172.61	49.45
29/08/95	10:23	4.7	174	53	0.9816	170.60	52.02

**MEDIA**

4.7

191

42

0.9836

188

41



## TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 19/06/95  
 CALDERA: 1

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	15:17	2.78	0.62	6.0	Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego bajo	15:32	2.79	0.62	6.0	Buena combustión.
Fuego M/bajo	15:44	2.78	0.80	6.5	Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego M/bajo	16:13	2.78	0.80	6.5	Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego M/bajo	16:22	2.77	0.81	6.0	Alto % de oxígeno. 1/2 v(+) comb.
Fuego M/bajo	16:36	2.78	0.81	6.0	Alto % de oxígeno. No fue posible aumentar más el comb.
Fuego medio	15:39	2.50	0.99	7.0	Ninguno. Buena combustión.
Fuego M/alto	15:52	2.50	1.02	7.0	Ninguno. Buena combustión.
Fuego alto	15:26	2.50	1.02	7.5	Ninguno. Buena combustión.
					Se dejará trabajar la caldera en dichas
					condiciones para ver si se presentan variaciones
					en las concentraciones. La otra verificación, y si es
					necesario ajuste, se programa para el 22/06/95.
					Para poder ajustar el fuego M/bajo se tiene que
					cambiar de peine ya que en la posición de fuego
					M/bajo, el actual peine presenta un tope que
					no permite dosificar más combustible.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 22/08/95  
CALDERA: 1

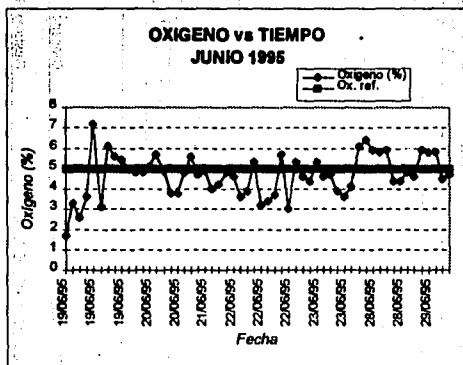
FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	10:23	2.59	0.65	6.5	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	10:32	2.60	0.65	6.0	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	11:02	2.60	0.63	6.5	Alta conc. de NOx. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	11:28	2.60	0.63	6.5	Ninguno. Buena combustión.
Fuego M/bajo	11:07	2.58	0.80	6.0	Alto % de oxígeno. Ninguno.
Fuego medio	10:27	2.50	0.99	6.5	Ninguno. Buena combustión.
Fuego M/alto	10:44	2.50	1.02	7.0	Ninguno. Buena combustión.
Fuego alto	10:55	2.50	1.02	7.5	Ninguno. Buena combustión.
					Para poder mejorar la combustión en el
					fuego M/bajo se requiere cambiar de peine.
					Esta opción es necesaria debido a que dicho
					peine presenta un tope en el tornillo 3. Dicho
					tope no permite girar al tornillo y por lo tanto,
					no se puede aumentar el combustible inyectado a
					la cámara de combustión.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Crescencio MercadoPERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

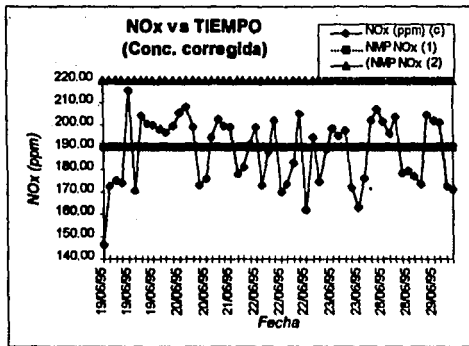
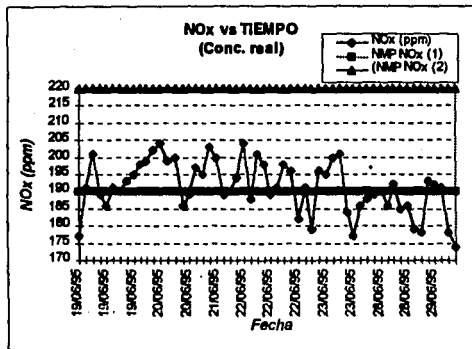
# GRÁFICAS.

GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
JUNIO 1995



GRÁFICAS.

GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
JUNIO 1995

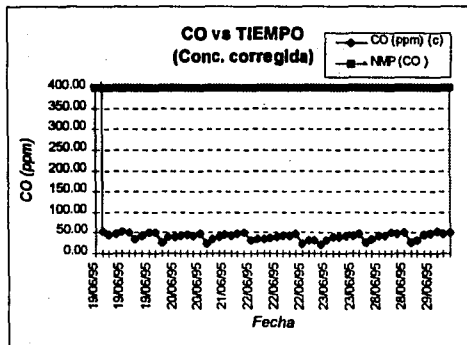
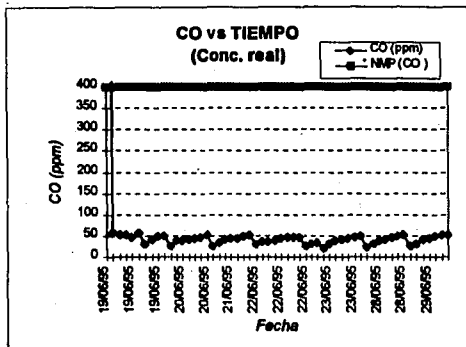


# GRÁFICAS.

GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO  
CALDERA 1  
JUNIO 1995

2003420

19 JUN 1995  
10:00 AM  
10:00 AM



### 5.1.3 CALDERA 2 (MAYO 1995)

#### TABLA DE RESULTADOS.

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
2/05/95	09:44	6.3	221	32	1.0884	240.54	34.83
2/05/95	09:44	6.7	200	35	1.1189	223.78	39.16
2/05/95	09:54	6.3	218	45	1.0884	237.28	48.98
2/05/95	09:59	6.2	217	53	1.0811	234.59	57.30
2/05/95	12:22	5.9	229	90	1.0596	242.65	95.36
2/05/95	12:27	5.7	222	90	1.0458	232.16	94.12
2/05/95	12:32	5.7	225	90	1.0458	235.29	94.12
3/05/95	09:46	6	214	32	1.0667	228.27	34.13
3/05/95	09:51	5.9	226	40	1.0596	239.47	42.38
3/05/95	11:06	5.7	230	68	1.0458	240.52	71.11
3/05/95	11:13	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
3/05/95	11:18	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
3/05/95	11:21	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
4/05/95	09:55	6.4	216	24	1.0959	236.71	26.30
4/05/95	12:51	6	224	83	1.0667	238.93	88.53
4/05/95	12:56	6.1	227	37	1.0738	243.76	39.73
4/05/95	13:02	5.1	209	24	1.0063	210.31	24.15
4/05/95	13:07	4.8	203	26	0.9877	200.49	25.66
5/05/95	10:33	5.5	228	32	1.0323	235.35	33.03
5/05/95	10:43	5.4	222	242	1.0256	227.69	248.21
5/05/95	11:43	5.2	239	60	1.0127	242.03	60.76
5/05/95	11:48	5.2	242	60	1.0127	245.06	60.76
5/05/95	11:53	5.1	239	60	1.0063	240.50	60.38
5/05/95	11:58	5	232	60	1.0000	232.00	60.00
29/05/95	08:43	3.9	202	45	0.9357	189.01	42.11
29/05/95	08:48	3.8	205	53	0.9302	190.70	49.30
29/05/95	08:54	6	203	66	1.0667	216.53	70.40
29/05/95	08:58	4	203	76	0.9412	191.06	71.53
29/05/95	09:03	6.1	203	81	1.0738	217.99	86.98
29/05/95	09:08	2	179	181	0.8421	150.74	152.42
29/05/95	09:13	3.8	203	123	0.9302	188.84	114.42
30/05/95	08:42	1.7	175	649	0.8290	145.08	538.03
30/05/95	08:49	1.7	175	631	0.8290	145.08	523.11
30/05/95	08:53	1.7	175	667	0.8290	145.08	552.95
30/05/95	08:58	1.7	177	687	0.8290	146.74	569.53
30/05/95	09:03	1.7	179	635	0.8290	148.39	526.42
30/05/95	09:08	3	198	122	0.8889	176.00	108.44
30/05/95	09:13	3.2	200	89	0.8989	179.78	80.00
30/05/95	09:18	2.6	187	109	0.8696	162.61	94.78

# TABLA DE RESULTADOS

CALDERA 2  
MAYO 1985

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
31/05/85	09:03	3.8	200	32	0.9195	183.91	29.43
31/05/85	09:10	2.2	180	118	0.8511	153.19	100.43
31/05/85	09:15	2.2	178	309	0.8511	151.49	262.98
31/05/85	09:20	2.2	180	144	0.8511	153.19	122.55
31/05/85	09:25	2.8	193	222	0.8791	169.67	195.16
31/05/85	09:30	2.8	186	208	0.8791	163.52	182.86
31/05/85	09:35	3.8	207	81	0.9195	190.34	74.48

**MEDIA**

4.4

208

148

0.975

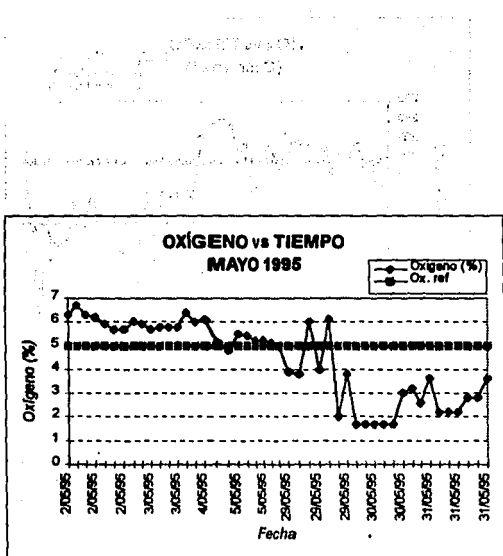
204

133

# GRÁFICAS.

BACATARE

GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995



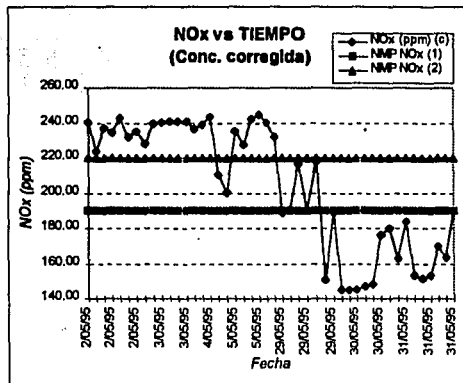
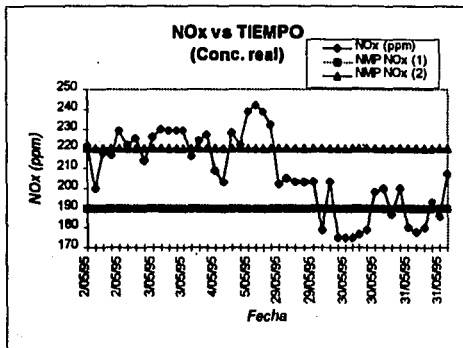


# GRÁFICAS.

MACIACAP

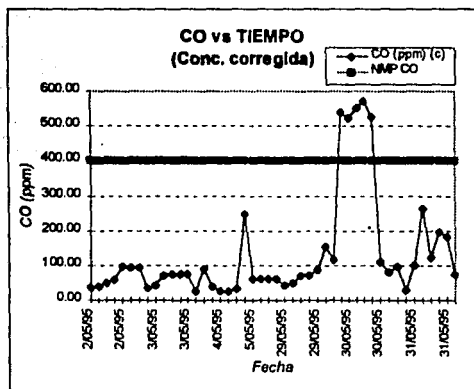
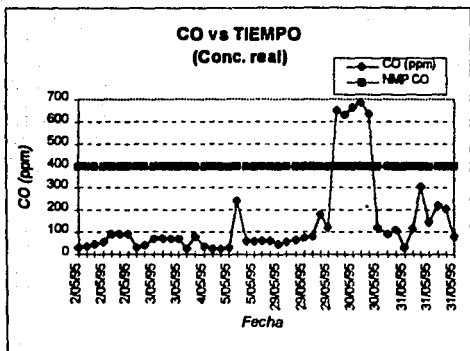
GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995

PROYECTO DE ASESORIA  
TÉCNICA  
MAYO 1995



# GRÁFICAS.

GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995



### 5.1.3.1 Antes del ajuste de la compuerta del aire primario.

CALDERA 2  
MAYO 1995

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. Ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
2/05/95	09:44	6.3	221	32	1.0884	240.54	34.83
2/05/95	09:44	6.7	200	35	1.1189	223.78	39.16
2/05/95	09:54	6.3	218	45	1.0884	237.28	48.98
2/05/95	09:59	6.2	217	53	1.0811	234.59	57.30
2/05/95	12:22	5.9	229	90	1.0596	242.65	95.36
2/05/95	12:27	5.7	222	90	1.0458	232.16	94.12
2/05/95	12:32	5.7	225	90	1.0458	235.29	94.12
3/05/95	09:46	6	214	32	1.0687	228.27	34.13
3/05/95	09:51	5.9	228	40	1.0596	239.47	42.38
3/05/95	11:08	5.7	230	68	1.0458	240.52	71.11
3/05/95	11:13	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
3/05/95	11:18	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
3/05/95	11:21	5.8	229	70	1.0526	241.05	73.68
4/05/95	09:55	6.4	216	24	1.0959	236.71	28.30
4/05/95	12:51	6	224	83	1.0687	238.93	88.53
4/05/95	12:56	6.1	227	37	1.0738	243.76	39.73
4/05/95	13:02	5.1	209	24	1.0063	210.31	24.15
4/05/95	13:07	4.8	203	26	0.9877	200.49	25.68
5/05/95	10:33	5.5	228	32	1.0323	235.35	33.03
5/05/95	10:43	5.4	222	242	1.0256	227.69	248.21
5/05/95	11:43	5.2	239	60	1.0127	242.03	60.76
5/05/95	11:48	5.2	242	60	1.0127	245.06	60.76
5/05/95	11:53	5.1	239	60	1.0063	240.50	60.38
5/05/95	11:58	5	232	60	1.0000	232.00	60.00

**MEDIA**

5.7

224

63

1.0490

235

65

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 02/05/95  
CALDERA: 2

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	11:36	3.0	0.5	6.2	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ajuste de la presión.
Fuego bajo	12:03	3.1	0.5	7.0	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego M/bajo	11:34	2.81	0.61	6.5	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego medio	11:31	2.68	0.72	7.0	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego M/alto	11:28	2.59	0.8	6.8	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego alto	12:07	2.79	0.8	6.5	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
					No se pudo aumentar el comb. por medio del ajuste del peine de la válvula de inyección debido a que los tornillos estaban dosificando la mayor cantidad de combustible.
					Se recomienda cerrar la compuerta de aire primario. Dicha opción se programa para el día 03/05/95 a las 6:00am.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

## TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 03/05/95  
CALDE RA: 2

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	10:01	3.03	0.5	5.9	Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego bajo	11:03	3.03	0.5	5.5	Alto % de oxígeno. Ninguno.
Fuego medio	10:43	2.7	0.78	7.2	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego M/Alto	10:30	2.7	0.79	7.7	Alto % de oxígeno. Alta conc de NOx. Ninguno.
Fuego alto	10:08	2.7	0.81	6.6	Alto % de oxígeno. Alta conc de NOx. Ninguno.
Fuego alto	10:18	2.7	0.81	7.0	Alto % de oxígeno. Alta conc de NOx. Ninguno.
					Disminuyó el % de oxígeno. Sin embargo,
					aumento la concentración de NOx.
					Se recomienda cerrar aún más la compuerta
					de aire primario ya que no se presentaron
					problemas con la concentración del CO.
					Dicha operación se programó para el día
					05/05/95 a las 6:00am.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio MercadoPERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez.

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 05/05/95  
CALDE RA: 2

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	11:14	3.2	0.51	6.0	Alto % de oxígeno. Ninguno.
Fuego M/bajo	11:38	2.80	0.58	6.0	Buena combustión. Ninguno.
Fuego medio	11:27	2.79	0.78	7.4	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego M/alto	11:20	2.81	0.81	6.5	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego alto	11:41	2.79	0.81	7.0	Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
					La caldera entrará en servicio. Se recomienda
					cerrar la compuerta de aire primario por medio
					del ajuste del sistema de tornillos y del sistema
					de varillaje. Dicha operación se programa para
					la segunda y tercera semana de marzo. Se
					efectuará una verificación y si es necesario un
					ajuste cuando entre en operación. Operación
					programada para el 01/06/95.

AJUSTARON:

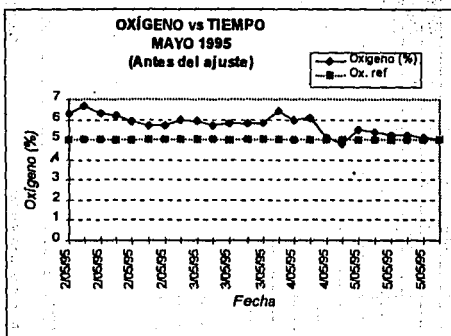
PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

## GRÁFICAS

(Antes del ajuste de la compuerta del aire primario)

GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995



## GRÁFICAS

(Antes del ajuste de la compuerta del aire primario)

BATERIA

CONCENTRACION DE NOx (ppm)

GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO

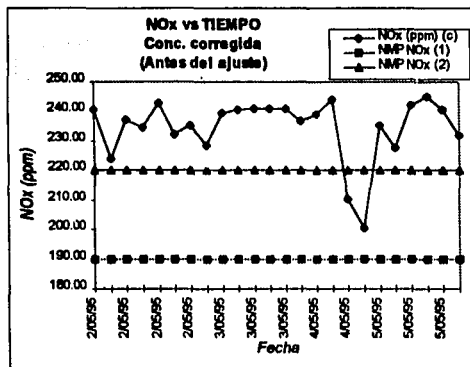
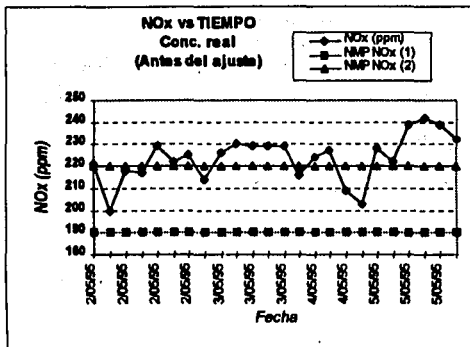
CALDERA 2

MAYO 1995

CONCENTRACION DE NOx (ppm)

CONCENTRACION DE NOx (ppm)

CONCENTRACION DE NOx (ppm)





# GRÁFICAS

(Antes del ajuste de la compuerta del aire primario)

GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995

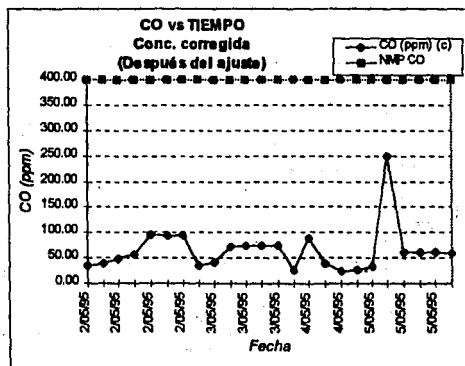
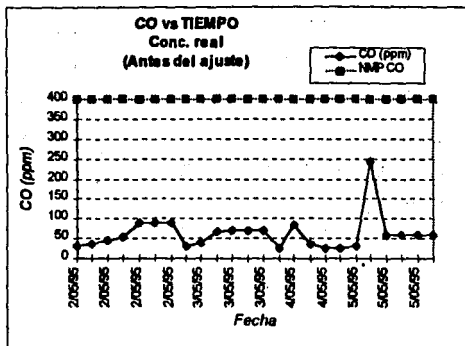
PROCESO

INDUSTRIAL (MAYO 1995)

INDUSTRIAL (MAYO 1995)

INDUSTRIAL

INDUSTRIAL



### 5.1.3.2 Después del ajuste de la compuerta del aire primario.

CALDERA 2  
MAYO 1995

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. Ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
29/05/95	08:43	3.9	202	45	0.9357	189.01	42.11
29/05/95	08:48	3.8	205	53	0.9302	190.70	49.30
29/05/95	08:54	6	203	66	1.0667	216.53	70.40
29/05/95	08:58	4	203	76	0.9412	191.06	71.53
29/05/95	09:03	6.1	203	81	1.0738	217.99	86.98
29/05/95	09:08	2	179	181	0.8421	150.74	152.42
29/05/95	09:13	3.8	203	123	0.9302	188.84	114.42
30/05/95	08:42	1.7	175	649	0.8290	145.08	538.03
30/05/95	08:49	1.7	175	631	0.8290	145.08	523.11
30/05/95	08:53	1.7	175	667	0.8290	145.08	552.95
30/05/95	08:58	1.7	177	687	0.8290	146.74	589.53
30/05/95	09:03	1.7	179	635	0.8290	148.39	526.42
30/05/95	09:08	3	198	122	0.8889	176.00	108.44
30/05/95	09:13	3.2	200	89	0.8989	179.78	80.00
30/05/95	09:18	2.8	187	109	0.8698	162.61	94.78
31/05/95	09:03	3.6	200	32	0.9195	183.91	29.43
31/05/95	09:10	2.2	180	118	0.8511	153.19	100.43
31/05/95	09:15	2.2	178	309	0.8511	151.49	262.98
31/05/95	09:20	2.2	180	144	0.8511	153.19	122.55
31/05/95	09:25	2.8	193	222	0.8791	169.67	195.16
31/05/95	09:30	2.8	186	208	0.8791	163.52	182.86
31/05/95	09:35	3.6	207	81	0.9195	190.34	74.48

**MEDIA**

3.0

190

242

0.89

171

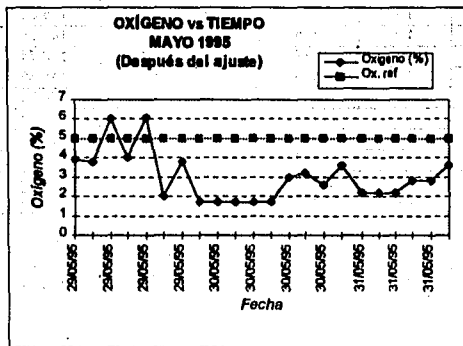
207

## GRÁFICAS

(Después del ajuste de la compuerta del aire primario)

5/20/1995  
10:00:00

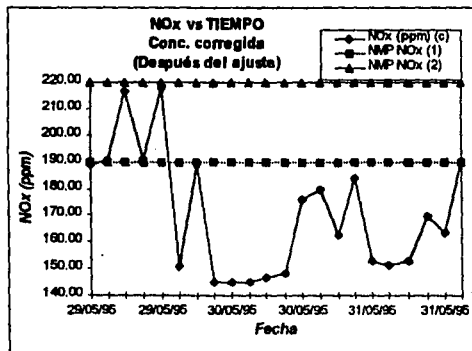
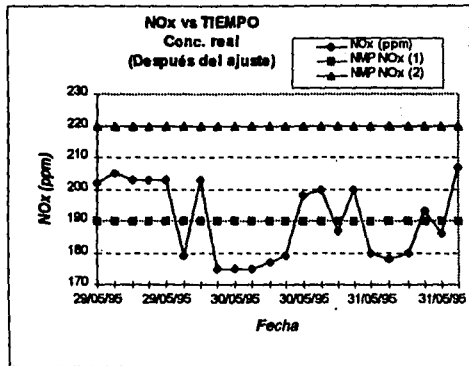
GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995



## GRÁFICAS

(Después del ajuste de la compuerta del aire primario)

GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
MAYO 1995



# GRÁFICAS

(Después del ajuste de la compuerta del aire primario)

CALDERA 2

(Después del ajuste de la compuerta)

## GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO

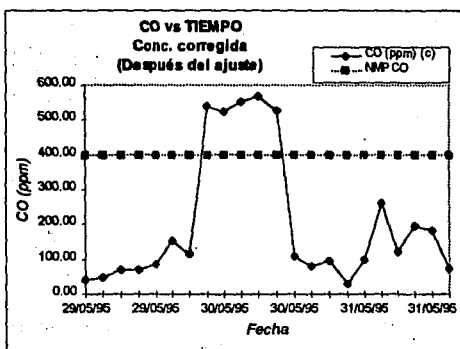
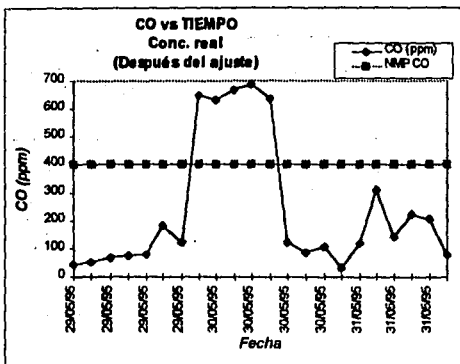
CALDERA 2

MAYO 1995

CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO

EN CALDERA 2

DEL 29/05/95



## 5.1.4 CALDERA 2 (JUNIO 1995)

### TABLA DE RESULTADOS

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia							Ox. Ref. 5%	
Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)	
1/06/95	12:34	3.7	219	65	0.9249	202.54	60.12	
1/06/95	12:39	4.4	221	67	0.9639	213.01	64.58	
1/06/95	12:44	5	219	65	1.0000	219.00	65.00	
2/06/95	10:24	4.6	160	105	0.9756	156.10	102.44	
2/06/95	10:34	3.8	227	50	0.9302	211.16	46.51	
2/06/95	10:56	3.6	221	78	0.9195	203.22	71.72	
2/06/95	11:00	4	230	60	0.9412	216.47	56.47	
2/06/95	11:05	4.7	232	55	0.9816	227.73	53.99	
2/06/95	11:10	4.9	198	50	0.9938	196.77	49.69	
2/06/95	11:43	3.7	156	613	0.9249	144.28	566.94	
2/06/95	11:44	4.3	153	270	0.9581	146.59	258.68	
2/06/95	11:51	4.5	156	68	0.9697	151.27	65.94	
5/06/95	11:19	5.3	208	27	1.0191	211.97	27.52	
5/06/95	11:24	5.1	201	37	1.0063	202.26	37.23	
5/06/95	11:29	4.7	217	32	0.9816	213.01	31.41	
5/06/95	11:34	4.8	191	27	0.9877	188.64	26.67	
5/06/95	11:39	4.6	222	32	0.9756	216.59	31.22	
5/06/95	11:44	4.6	208	32	0.9756	202.93	31.22	
5/06/95	11:50	4.7	217	34	0.9816	213.01	33.37	
6/06/95	10:22	3.3	217	42	0.9040	196.16	37.97	
6/06/95	10:31	3.6	177	216	0.9195	162.76	198.62	
6/06/95	10:34	4.8	162	44	0.9877	160.00	43.46	
6/06/95	10:35	2.6	208	63	0.8791	182.66	55.38	
6/06/95	10:40	3.2	213	63	0.8989	191.46	56.63	
6/06/95	10:46	3.7	180	135	0.9249	166.47	124.86	
6/06/95	10:51	3.3	212	70	0.9040	191.64	63.28	
6/06/95	11:00	2.8	210	81	0.8791	184.62	71.21	
7/06/95	08:50	3.2	213	40	0.8989	191.46	35.96	
7/06/95	08:55	3.6	216	50	0.9195	198.62	45.98	
7/06/95	09:00	3.4	213	61	0.9091	193.64	55.45	
7/06/95	09:05	3.9	212	63	0.9357	198.36	58.95	
7/06/95	09:10	4.1	211	66	0.9467	199.76	62.49	
7/06/95	09:15	4.1	203	68	0.9467	192.19	64.38	
7/06/95	09:20	4.4	199	68	0.9639	191.81	65.54	
8/06/95	12:56	4	215	42	0.9412	202.35	39.53	
8/06/95	13:01	4.6	192	55	0.9756	187.32	53.66	
8/06/95	13:05	4.7	172	81	0.9816	168.83	79.51	
8/06/95	13:11	4.6	189	71	0.9877	166.91	70.12	
8/06/95	13:16	5.1	177	70	1.0063	178.11	70.44	

## TABLA DE RESULTADOS

CALDERA 2  
JUNIO 1995

(c) concentración corregida en base al oxígeno de referencia

Ox. Ref. 5%

Fecha	Hora	Oxígeno (%)	NOx (ppm)	CO (ppm)	FC	NOx (ppm) (c)	CO (ppm) (c)
9/06/95	08:22	5.1	206	29	1.0063	207.30	29.18
9/06/95	08:26	5.2	182	37	1.0127	184.30	37.47
9/06/95	08:32	5.5	200	42	1.0323	206.45	43.35
9/06/95	08:37	5.4	205	50	1.0256	210.26	51.28
9/06/95	08:42	6	197	52	1.0667	210.13	55.47
9/06/95	08:47	5	178	58	1.0000	178.00	56.00
12/06/95	08:14	4.3	202	34	0.9581	193.53	32.57
12/06/95	08:19	4.2	201	58	0.9524	191.43	55.24
12/06/95	08:25	4.2	200	66	0.9524	190.48	62.86
12/06/95	08:30	4.5	181	160	0.9697	156.12	155.15
12/06/95	08:34	4.7	193	132	0.9816	189.45	129.57
12/06/95	08:39	4.7	175	84	0.9816	171.78	82.45
12/06/95	08:44	4.1	194	89	0.9467	183.67	84.26
13/06/95	08:32	3.5	196	42	0.9143	179.20	38.40
13/06/95	08:37	4	198	55	0.9412	186.35	51.76
13/06/95	08:42	3.6	197	63	0.9195	181.15	57.93
13/06/95	08:49	3.5	206	76	0.9143	188.34	69.49
13/06/95	08:55	3.7	208	83	0.9249	190.52	76.78
13/06/95	08:57	3.6	205	88	0.9195	188.51	79.08
13/06/95	09:03	3.7	205	91	0.9249	189.60	84.16
14/06/95	09:30	3.8	198	32	0.9302	184.19	29.77
14/06/95	09:35	3.6	189	45	0.9195	173.79	41.38
14/06/95	09:40	3.6	158	431	0.9195	145.29	396.32
14/06/95	09:46	4	180	80	0.9412	169.41	75.29
14/06/95	09:50	3.9	184	84	0.9357	172.16	76.60

**MEDIA**

4.2

198

82

0.95

188

78

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 01/06/95  
 CALDE RA: 2

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	10:13	3.3	0.5		Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	11:29	3.1	0.51		Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	11:48	3.19	0.54		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego bajo	12:03	3.2	0.51		Alto % de oxígeno. Ninguno.
Fuego bajo	12:21	3.1	0.52		Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego bajo	12:30	3.1	0.52		No buena combustión. Pero se dejó así.
Fuego medio	10:21	3.0	0.82		Buena combustión. Ninguno.
Fuego alto	10:29	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	10:57	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	11:00	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	11:24	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	11:33	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	11:52	3.0	0.90		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego alto	12:14	3.0	0.90		Buena combustión. Ninguno.
					Se dejó operando la caldera en dichas cond.
					Se volverá a efectuar otra verificación o ajuste el 02/06/95.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez



GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 02/06/95  
 CALDE RA: 2

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pv (Kg/cm <sup>2</sup> )	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo	10:24	3.16	0.55		Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
Fuego alto	10:34	2.81	0.88		Alto % de oxígeno. 1/2 v (+) comb.
					Se rompió el resorte del peine y se tuvo que colocar otro peine. Por esta razón se efectuaron verificaciones y ajustes en algunos fuegos.
Fuego bajo	11:43	3.19	0.55		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego bajo	11:44	3.19	0.55		Alta conc. de CO. 1/2 v (-) comb.
Fuego bajo	11:51	3.19	0.55		Buena combustión. Ninguno.
Fuego M/bajo	11:10	3.0	0.70		Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego medio	11:05	2.90	0.80		Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego M/alto	11:00	2.81	0.87		Alto % de oxígeno. Alta conc. de NOx. Ninguno.
Fuego alto	10:34	2.81	0.88		% de oxígeno adecuado. Alta conc. NOx. Ninguno.
					Se dejó trabajando en estas condiciones. Se programo un nuevo ajuste para el 06/06/95.
					El objetivo es aumentar el combustible con el fin de disminuir la concentración de los NOx.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio Mercado

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez

## TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA (Ver Apéndice E para ver las lecturas del analizador)

FECHA: 06/06/95  
CALDE RA: 2

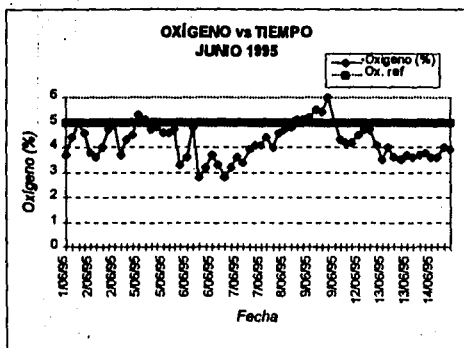
FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm2)	Pa (Kg/cm2)	Pv (Kg/cm2)	AJUSTES EFECTUADOS
Fuego bajo					Se le quito ¼ v de comb. sin analizar los gases de comb.
Fuego bajo	11:34	3.2	0.52	7.0	Buena combustión.
Fuego M/bajo					1 v (+) de comb. sin analizar los gases de comb.
Fuego M/bajo	10:31	3.1	0.69	6.0	Alta conc. de CO. ¼ v (-) comb.
Fuego M/bajo	10:46	3.1	0.69	6.0	Buena combustión.
Fuego medio	10:22	2.9	0.81	7.5	Alta conc. de NOx. 1/2 v (+) de comb.
Fuego medio	10:51	2.9	0.81	6.4	Buena combustión.
Fuego M/alto					1/2 v (+) de comb.
Fuego M/alto	10:40	2.89	0.87	6.6	Buena combustión.
Fuego alto	10:35	2.85	0.90	6.5	Buena combustión. 1/2 v (+) comb.
Fuego alto	11:00	2.82	0.89	7.5	Buena combustión.
					La concentración de NOx. es un poco elevada
					sin embargo está por debajo del NMP (2).
					Por esta razón se dejará trabajando en éstas
					condiciones.

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: Cresencio MercadoPERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: Gustavo Jiménez.

## GRÁFICAS

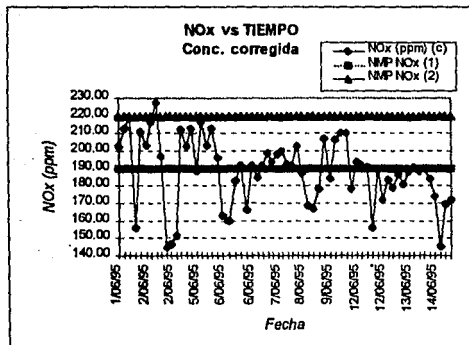
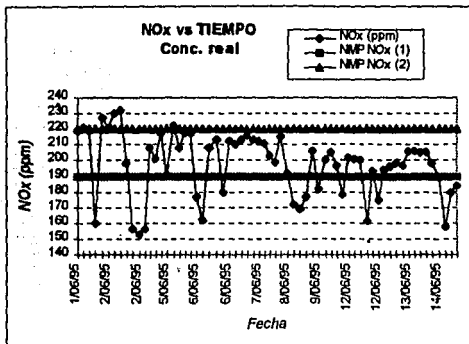
GRÁFICA DE OXÍGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
JUNIO 1995



# GRÁFICAS

CAJONABO

GRÁFICAS DE ÓXIDOS DE NITRÓGENO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
JUNIO 1995

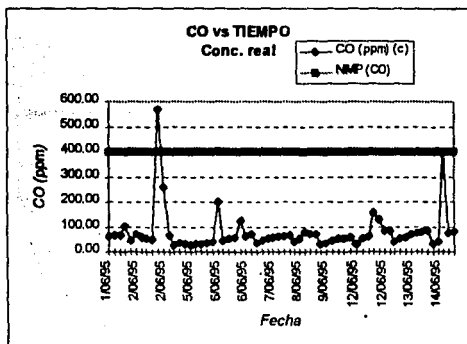
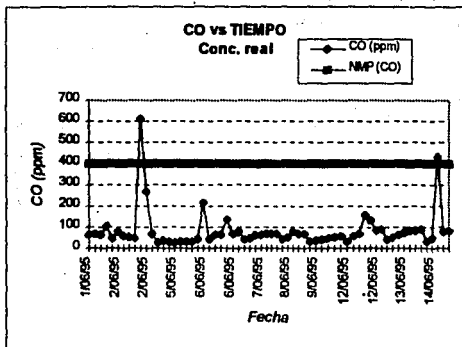


# GRÁFICAS

CADIRAFIO

GRÁFICAS DE MONÓXIDO DE CARBONO vs TIEMPO  
CALDERA 2  
JUNIO 1995

INSTRUMENTO  
CANTIDAD  
SERIAL



## 5.2 Análisis de resultados.

### 5.2.1 CALDERA 1 MAYO 1995

#### **Verificación del 8 de Mayo de 1995**

Se detectó una alta concentración de oxígeno. Esto indica que el aire inyectado a la cámara de combustión, es mayor al mínimo requerido con relación al combustible inyectado. Este exceso de aire da como resultado altas concentraciones de óxidos de nitrógeno y bajas concentraciones de monóxido de carbono en los gases de combustión. Para evitar dicho inconveniente se aumentará el combustible inyectado a la cámara mediante el ajuste de la válvula de inyección del combustible.

#### **Ajuste del 12 de Mayo de 1995**

En las posiciones de fuego medio bajo, medio, medio alto y alto no se pudo aumentar el combustible debido a que los tornillos del peine de la válvula de inyección del combustible se encontraban dosificando la mayor cantidad posible de éste. Para dichas posiciones se recomendó que se cerrara la compuerta de aire primario. Esta operación solo se podía efectuar cuando la caldera estuviera fuera de operación ya que se tienen que hacer ajustes al sistema de tornillos y de varillaje de la compuerta. Dicha operación se programó para la primera quincena de Junio. La concentración de los contaminantes estudiados en dichas posiciones fue la siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/Bajo	11:58	5.9	38	175	1.0596	40.26	185.43
Medio	11:52	5.5	68	174	1.0322	70.19	179.61
Alto	12:20	4.7	50	177	0.9815	49.07	173.74

En lo que respecta a la posición de fuego bajo, se estaba dosificando una gran cantidad de combustible a la cámara de combustión. Esto originaba que se presentará una baja concentración de los óxidos de nitrógeno, sin embargo el monóxido de carbono saturaba el sensor del analizador. Se procedió a disminuir el combustible inyectado a la cámara de combustión, obteniéndose los siguientes resultados:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	11:46	2.8	OVER	140	0.8791	OVER	123.07
Bajo	12:11	2.7	OVER	144	0.8743	OVER	125.90
Bajo	12:24	4.8	39	181	0.9876	38.51	176.76

Se observo un aumento considerable en la concentración de los óxidos de nitrógeno al disminuir el combustible inyectado a la cámara de combustión pero la del monóxido de carbono disminuyó. Se dejó operando la caldera en estas condiciones debido a que ambos contaminantes se encontraban por debajo de sus niveles máximos permisibles.

#### **Periodo del 15 al 23 de Mayo de 1995.**

Debido a que la concentración de oxígeno en todas las posiciones de la válvula reguladora (fuego bajo, fuego medio bajo, fuego medio y fuego alto) era un poco elevada, la concentración de los óxidos de nitrógeno también se presentó alta. Por otra parte no se tuvieron problemas con el monóxido de carbono debido a que la cantidad de aire inyectado a la cámara de combustión durante dicho periodo era muy elevada.

### Verificación del 26 de Mayo de 1995.

La concentración de los gases estudiados fué la siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	12:37	3.6	97	182	0.9195	89.19	167.35
M/Bajo	12:29	5.8	89	194	1.0526	93.68	204.21
Medio	12:19	5.8	78	192	1.0526	82.10	202.09
M/Alto	12:24	5.2	86	192	1.0126	87.08	194.43
Alto	12:09	5.4	60	194	1.0258	81.53	188.97

#### Fuego bajo:

Se presentó una baja concentración de oxígeno. Por otra parte, la concentración de óxidos de nitrógeno estaba por debajo de los NMP (1) y (2) y no se presentaron problemas con el monóxido de carbono. Esto indica que el aire inyectado a la cámara de combustión estaba en proporción estequiométrica al combustible.

#### Fuego medio bajo, medio, medio alto y alto:

Se presentó una alta concentración de oxígeno en dichas posiciones. Debido a este alto porcentaje de oxígeno en los gases de combustión no se tuvieron problemas con el monóxido de carbono ya que ni las concentraciones reales o ni las corregidas rebasaron el NMP. Si se toma como base la concentración real de los óxidos de nitrógeno, se observa que el 20% rebasaba el NMP (1) y no se rebasaba el NMP (2). Si se toma como base la concentración corregida de los óxidos de nitrógeno, el 63.63% de las determinaciones rebasaban el NMP (1) y el 3.8% rebasaban el NMP (2).

Estos resultados reafirmaban la propuesta del 12 de Mayo de 1995. La solución para reducir los óxidos de nitrógeno era cerrar la compuerta de aire primario, cuidando la estequiometría de la mezcla aire/combustible para evitar el aumento en la concentración del monóxido de carbono. Dicha operación se programó para la primera quincena de Junio.



## 5.2.2 CALDERA 1 JUNIO 1995

### Verificación y Ajuste del 19 de Junio de 1995.

#### Fuego bajo:

La concentración de oxígeno era muy baja, por lo que la concentración de óxidos de nitrógeno se encontraba por debajo de los NMP (1) y (2), sin embargo la estequiometría de la mezcla aire/combustible no era la óptima ya que el monóxido de carbono rebasaba las 250ppm y por lo tanto su NMP. Esto indicaba que se estaba inyectando demasiado combustible a la cámara de combustión por lo que se procedió a disminuir el combustible inyectado a ésta mediante el ajuste de los tornillos de la válvula de inyección del combustible. El resultado de los análisis durante el ajuste fué el siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	15:17	1.7	OVER	177	0.8290	OVER	146
Bajo	15:32	2.6	53	201	0.8695	46.08	174

#### Fuego M/bajo:

La concentración de oxígeno fue superior al 5%. Esto dió como consecuencia que la concentración de óxidos de nitrógeno rebasára el NMP (1) pero no el NMP (2). Por otra parte, el monóxido de carbono se encontraba por debajo de las 50ppm. Dichos resultados indicaban que había que suministrar mayor cantidad de combustible a la cámara de combustión. Opción que fué ejecutada mediante el ajuste de los tornillos de la válvula de inyección del combustible (Debido a que al cerrar la compuerta del aire primario se ajusta el peine de la válvula de inyección del combustible para que dosifique menor cantidad de éste, se pudo efectuar dicha operación). La concentración de los contaminantes estudiados a lo largo del ajuste fué la siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/bajo	15:44	7.2	47	186	1.1594	54.49	215
M/bajo	18:13	6.1	32	180	1.0738	34.38	204.02
M/bajo	18:22	5.6	42	193	1.0389	43.63	200.51
M/bajo	18:36	5.4	50	195	1.0256	51.28	200

Como se observó en la tabla, la concentración del oxígeno no estuvo por debajo del 5%. No se disminuyó más el oxígeno debido a que el peine de la válvula de inyección del combustible tiene un tope que no permite que el tornillo de dicha posición dosifique mayor cantidad de éste. Se propuso cambiar el peine para evitar dicha restricción; operación que ya no se incluye en dicho trabajo. Se observa que la concentración real de los óxidos de nitrógeno (por arriba del NMP (1) pero inferior al NMP (2) ), aumenta a medida que disminuye la concentración del oxígeno. Esto se debe a que existe menor cantidad de aire capaz de amortiguar el calor generado durante la reacción de combustión, favoreciéndose así la formación del NOx térmico. Por otra parte, la concentración corregida de los óxidos de nitrógeno (también por arriba del NMP (1) pero inferior al NMP (2) ), va disminuyendo ya que el factor de corrección tiende a 1 a medida que disminuye la concentración de oxígeno. No se presentó ningún problema con el monóxido de carbono debido al exceso de aire presente en dicha posición.

#### Fuego medio, medio alto, alto:

El cierre de la compuerta de aire primario sirvió para dichas posiciones ya que las concentraciones de los contaminantes estudiados fueron las óptimas. A continuación se presentan los resultados de los análisis efectuados en dichas posiciones:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Medio	15:39	3.6	53	189	0.9195	48.73	173
M/Alto	15:52	3.1	58	191	0.8938	51.84	170
Alto	15:26	3.3	58	191	0.9039	52.42	173

La concentración de oxígeno estuvo por debajo del 5% en las tres posiciones. Por esta razón, la concentración real de los óxidos de nitrógeno no rebasó el NMP (1) en el fuego medio y lo rebasó ligeramente en las posiciones de fuego M/alto y alto. Por otra parte, las concentraciones corregidas de los óxidos de nitrógeno estuvieron muy por debajo de los dos NMP. No se presentaron problemas con el monóxido de carbono a pesar de que se cerró la compuerta de aire primario.

Se dejó trabajar la caldera en estas condiciones y se programó una nueva verificación para el 22 de Junio de 1995, con el fin de reajustar cualquier variación que pudiera haber ocurrido en el proceso de combustión capaz de alterar la concentración de los contaminantes estudiados.

### **Verificación y Ajuste del 22 de Junio de 1995.**

Fuego bajo:

Se presentó un aumento en el % de oxígeno. Por esta razón se tuvo que aumentar el combustible inyectado a la cámara de combustión por medio del ajuste de los tornillos del peine conectado a la válvula de inyección del combustible. El resultado de los análisis a lo largo de los ajustes es el siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	10:23	4.6	32	204	0.9756	31.21	199
Bajo	10:32	3.9	37	201	0.9356	34.61	188
Bajo	11:02	3.7	47	198	0.9248	43.46	183
Bajo	11:28	3.0	37	182	0.8888	32.88	161.76

Se observa una disminución muy notoria en la concentración de los óxidos de nitrógeno a medida que disminuye la concentración de oxígeno. A lo largo del ajuste se observa que tanto la concentración real como la corregida en un principio rebasan el NMP (1); sin embargo, a medida que aumenta el combustible inyectado a la cámara, las concentraciones de los óxidos de nitrógeno caen por debajo de dicho NMP. Esto se debe principalmente a que disminuye el nitrógeno molecular y el oxígeno molecular disponibles para la formación del NOx.

Por otra parte, también se observa que el factor de corrección se hace cada vez menor a medida que disminuye la concentración de oxígeno.

En cuanto al monóxido de carbono, no se presentó ningún problema ya que la concentración fluctuó entre 30 y 50ppm. Dichas concentraciones indican que todavía era posible inyectar más combustible, sin embargo, dicha posición se dejó trabajando en estas condiciones.

Fuego medio bajo:

Se presentó un aumento del 0.3% en la concentración del oxígeno. Sin embargo no fué posible efectuar algún ajuste debido a que el tornillo en dicha posición tiene un tope que impide el suministro de mayor cantidad de combustible. La concentración de los conaminantes estudiados en dicha posición fué la siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/bajo	11:07	5.7	47	196	1.0457	49.15	205

Se presentó un ligero aumento en la concentración (tanto real como corregida) de los óxidos de nitrógeno debido a ese ligero aumento en la concentración de oxígeno. Dichas concentraciones rebasaban el NMP (1) pero no el NMP (2). La concentración del monóxido de carbono estaba muy por debajo de su NMP. La única opción para poder disminuir tanto la concentración de los óxidos de nitrógeno como del oxígeno era la de cambiar el peine para poder suministrar mayor cantidad de combustible en dicha posición. Dicha opción se programó para cuando la caldera estuviera fuera de servicio. Los resultados de dicho cambio no se presentan en éste trabajo.

**Fuego medio, medio alto y alto:**

La concentración de los contaminantes no presentó ninguna variación, por lo que ya no se efectuó ningún ajuste en dichas posiciones. Los resultados de los análisis efectuados en dichas posiciones son los siguientes:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NO <sub>x</sub> (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NO <sub>x</sub> (ppm) (c)
Medio	10:27	3.6	37	188	0.9195	34.02	172.87
M/alto	10:44	3.2	45	189	0.8988	40.44	169.88
Alto	10:55	3.4	47	191	0.9090	42.72	173.83

Se observa que la concentración real de los óxidos de nitrógeno en las posiciones de fuego medio y medio alto se encuentran por debajo del NMP(1); y la de fuego alto está ligeramente arriba de dicho NMP. Cabe mencionar que la concentración corregida de dichas posiciones no rebasa ni el NMP (1) ni el NMP (2).

**Periodo del 23 al 29 de Junio de 1995.**

Se observa que el 45% de las lecturas de oxígeno se encuentran por arriba del 5%. Este porcentaje de lecturas se debe principalmente a la posición de fuego medio bajo, ya que en dicho periodo la caldera no presentaba mucha demanda de vapor y dicha posición fué la que con mayor frecuencia operó la caldera.

En cuanto a los óxidos de nitrógeno, solo el 35% de las concentraciones reales estuvieron por arriba del NMP (1) y ninguna por arriba del NMP (2). Por lo que respecta a las concentraciones corregidas, el 50% estuvieron por arriba del NMP (1) y ninguna por arriba del NMP (2). Éste 15% de diferencia se debió principalmente al exceso de aire manejado en la posición de fuego M/bajo, ya que se trabajó con un factor de corrección superior a 1, dando como resultado un incremento en la concentración de los óxidos de nitrógeno con respecto a la concentración real emitida.

## 5.2.3 CALDERA 2 MAYO 1995

### Antes del ajuste.

#### Verificación del 2 de Mayo de 1995.

Se presentó una alta concentración de oxígeno en todas las posiciones del peine. Esto dió como resultado una alta concentración de oxígeno y óxidos de nitrógeno, pero bajas concentraciones de monóxido de carbono, especialmente en los fuegos medio alto y alto, en los gases de combustión. La concentración corregida de los óxidos de nitrógeno rebasaron tanto el NMP (1) como el NMP (2) también en dichas posiciones. Los resultados de las lecturas se observán en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	11:36	5.7	70	158	1.04	73	165
Bajo	12:03	5.2	80	165	1.01	81	167
M/bajo	11:34	6.1	75	179	1.07	80	192
Medio	11:31	6.2	80	179	1.08	86	193
M/alto	11:28	6.0	80	218	1.06	85	233
Alto	12:07	6.2	87	224	1.08	94	242

Para solucionar dicho problema se tenían dos opciones.

1. Aumentar el combustible inyectado a la cámara de combustión por medio del ajuste de los tornillos del peine de la válvula de inyección de éste.

2. Cerrar la compuerta de aire primario, para así disminuir el aire inyectado a la cámara de combustión.

Se tomó la segunda opción debido a que los tornillos del peine de la válvula de inyección del combustible se encontraban dosificando la mayor cantidad de combustible posible (según su diseño). Se

programó el cierre de la compuerta para el día 03/05/95 a las 6:00am; esto debido a que la operación de cierre de compuerta se tenía que efectuar cuando no hubiera mucha demanda de vapor.

#### **Verificación del 3 de Mayo de 1995.**

Presentó el mismo problema del 2 de Mayo de 1995. Se tuvieron problemas con el fuego bajo debido a que aumentó la concentración del monóxido de carbono en los gases de combustión. Para evitar dicho inconveniente se disminuyó la cantidad de combustible inyectado a la cámara de combustión, mediante el ajuste del peine de la válvula de inyección de éste. Se observó un aumento en la concentración de los óxidos de nitrógeno en las posiciones de fuego medio, medio alto y alto. Los resultados de los análisis en todas las posiciones del peine son las siguientes:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	10:01	4.6	753	144	0.97	735	140
Bajo	11:03	5.2	62	160	1.01	63	162
Medio	11:03	5.7	68	222	1.04	71	232
M/alto	10:30	5.7	68	229	1.04	71	239
Alto	10:08	5.9	60	229	1.05	64	243

Se programó nuevamente cerrar aun más la compuerta de aire primario para el 05/05/95 a las 6:00am.



**Verificación del 5 de Mayo de 1995.**

Se observó una notable reducción en el % de oxígeno emitido en todos los fuegos. No se tuvieron problemas con la concentración del monóxido de carbono. Sin embargo, la concentración de los óxidos de nitrógeno no vario. Los resultados de los análisis se observan en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	11:14	5.1	71	169	1.006	71	170
M/bajo	11:38	4.8	65	160	0.98	64	158
Medio	11:27	5.1	60	231	1.006	60	232
M/alto	11:20	5.1	60	237	1.006	60	238
Alto	11:41	5.3	60	239	1.01	61	243

Se recomendó cerrar aún más la compuerta de aire primario con el fin de disminuir la temperatura de la reacción. Dicha operación se programó para la segunda y tercera semana de junio ya que la caldera salía de operación el 6 de mayo de 1995.

**Periodo del 29 al 31 de Mayo.**

Se observó una notable reducción en la concentración de oxígeno. Esto dió como resultado, que los óxidos de nitrógeno presentaran concentraciones por debajo de los NMP (1) y (2). Sin embargo, se tuvo el problema de que aumentó el monóxido de carbono en algunas posiciones. El ajuste y verificación se programó para el 1ro de Junio de 1995.

## 5.2.4 CALDERA 2 JUNIO 1995

### Verificación y ajuste del 1 de Junio de 1995.

#### Fuego bajo:

Se presentó un alto % de oxígeno por lo que se tuvo que aumentar paulatinamente el combustible inyectado a la cámara de combustión (Debido a que al cerrar la compuerta del aire primario se ajusta el peine de la válvula de inyección del combustible para que dosifique menor cantidad de éste, se pudo efectuar dicha operación). Esto se logró mediante el ajuste del peine de la válvula de inyección del combustible. El resultado de los análisis a lo largo del ajuste en dicha posición fué el siguiente:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	10:13	8.7	34	179	1.30	44.2	232.7
Bajo	11:29	6	60	176	1.06	63.6	166.56
Bajo	11:48	4.6	416	157	0.97	403.52	152.29
Bajo	12:03	6.2	52	168	1.08	56.21	161.62
Bajo	12:21	6.3	62	173	1.08	66.96	166.64
Bajo	12:30	5.7	60	161	1.04	62.4	167.44

Se observa que se tuvieron problemas al aumentar el combustible ya que la lectura de las 11:48 presentó una alta concentración de monóxido de carbono. Por esta razón se tuvo que disminuir y aumentar el combustible inyectado a la cámara de combustión. Sin embargo no se pudo ajustar en forma adecuada dicha posición ya que la concentración final del oxígeno estaba por arriba del 5%. Se dejó en estas condiciones debido a que ni los óxidos de nitrógeno ni el monóxido de carbono rebasaban sus NMP.

### Fuego medio

Dicho fuego presentó buena combustión por lo que no se tuvo que efectuar ningún ajuste. Los resultados de los análisis se presentan en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Medio	10:21	3.1	66	199	0.89	59	177

Se observa una notable reducción en la concentración del oxígeno, óxidos de nitrógeno y del monóxido de carbono, si se comparan con la lectura del 5 de Mayo de 1995.

Por otra parte, tanto la concentración de los óxidos de nitrógeno como del monóxido de carbono estuvieron por debajo de sus NMP.

### Fuego alto.

Al cerrar la compuerta, disminuyó demastado la concentración del oxígeno en los gases de combustión. A pesar de que la concentración de los óxidos de nitrógeno era formidable, se tuvieron problemas con el monóxido de carbono ya que se presentaron concentraciones por arriba de las 1000ppm. Para poder solucionar dicho inconveniente se tuvo que disminuir paulatinamente el combustible inyectado a la cámara de combustión. Los resultados de los análisis a lo largo de los ajustes se observan en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Alto	10:29	1.4	1491	173	0.81	1217	141
Alto	10:57	1.4	1016	177	0.81	829	144
Alto	11:00	1.5	938	178	0.82	769	146
Alto	11:24	1.8	369	182	0.83	308	152
Alto	11:33	2.1	168	188	0.84	141	158
Alto	11:52	2.6	91	196	0.86	78,13	170
Alto	12:14	3.1	70	210	0.89	62	187

Como se observa, al ir disminuyendo paulatinamente el combustible inyectado a la cámara de combustión, se presenta un aumento paulatino en la concentración del oxígeno y por lo tanto de los óxidos de nitrógeno. Por otra parte, a lo largo del proceso anterior, la concentración del monóxido de carbono va disminuyendo hasta tener una concentración por debajo de las 100ppm. Se observa que la última lectura es la óptima ya que las concentraciones corregidas de los óxidos de nitrógeno y del monóxido de carbono no rebasan sus NMP.

A pesar de que faltaron algunos fuegos de verificar y ajustar, se dejó la caldera en estas condiciones debido a que no se contaba con el tiempo necesario para llevar dichas operaciones. Se programó una nueva verificación y ajuste para el 2 de Junio de 1995.

#### *Verificación y ajuste del 2 de Junio de 1995.*

Se estaban ajustando las posiciones de fuego bajo y alto cuando se rompió el peine de la válvula de inyección del combustible. Por este motivo, se perdió tiempo y solo se tuvo oportunidad de ajustar el fuego bajo y checar las otras posiciones del nuevo peine.

#### **Fuego bajo:**

Se observa que dicho peine era capaz de dosificar mayor cantidad de combustible ya que disminuyeron considerablemente las concentraciones de oxígeno y de óxidos de nitrógeno. Sin embargo, se tuvo el problema de que el monóxido de carbono estaba por arriba de las 400ppm. Se tuvo que disminuir paulatinamente el combustible inyectado a la cámara de combustión. Los resultados de los análisis a lo largo del ajuste se observan en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	11:43	3.7	613	156	0.92	567	144
Bajo	11:44	4.3	270	153	0.95	259	147
Bajo	11:51	4.5	66	156	0.96	66	151

Se observa que la última lectura es la óptima debido a que tanto los óxidos de nitrógeno como el monóxido de carbono se encontraban muy por debajo de sus NMP.

Fuego medio bajo, medio, medio alto y alto.

Solo se tuvo oportunidad de analizar los gases de combustión en dichas posiciones. El resultado de dichos análisis se observa en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/bajo	11:10	4.9	50	198	0.99	49	197
Medio	11:05	4.7	55	232	0.98	54	227
M/alto	11:00	4	60	230	0.94	56	216
Alto	10:56	3.6	78	221	0.91	72	203

Como se observa, todos los fuegos presentaban concentraciones moderadamente elevadas de oxígeno. A pesar de que no se tuvieron problemas con el monóxido de carbono, el alto porcentaje de oxígeno manejado en cada una de las posiciones dió como consecuencia que se presentarán concentraciones reales o corregidas, de óxidos de nitrógeno, por arriba de las 190ppm. Para poder disminuir este problema se recomendó aumentar el combustible inyectado a la cámara de combustión, por medio del ajuste del peine de la válvula de inyección de éste. Dicha operación se programó para el 6 de Junio de 1995.

#### *Ajuste del 6 de Junio de 1995.*

Fuego bajo:

Antes de efectuar el análisis en dicha posición se redujo el combustible inyectado a la cámara de combustión debido a que el operador de la caldera observó humo negro en dicha posición. Posteriormente se efectuó el análisis de los gases de combustión reportándose los siguientes resultados:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Bajo	10:34	4.8	44	162	0.98	43	160

Se observa una concentración un poco elevada de oxígeno. Sin embargo, tanto la concentración de óxidos de nitrógeno como la del monóxido de carbono se encuentran por debajo de sus NMP.

**Fuego medio bajo:**

Atendiendo a la petición del 2 de Mayo de 1995, se cerró la compuerta del aire primario y se aumentó un poco el combustible inyectado a la cámara de combustión (Debido a que se cambió el peine el 2 de Junio de 1995 se pudo llevar a cabo dicha operación). Sin embargo se presentaron problemas con el monóxido de carbono y tuvo que reducirse el combustible una vez mas. Los resultados de los análisis a lo largo del ajuste se observan en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/bajo	10:31	3.6	216	177	0.91	199	167
M/bajo	10:48	3.7	135	180	0.92	125	166

Se observa una notable disminución del monóxido de carbono si se comparan las dos lecturas de la tabla. Se dejó la última lectura debido a que tanto la concentración del monóxido de carbono como la de los óxidos de nitrógeno se encuentran por debajo de sus NMP.

**Fuego medio:**

Atendiendo a la sugerencia propuesta el 2 de mayo de 1995 se cerró la compuerta del aire primario y se aumentó el combustible inyectado a la cámara de combustión (Debido a que se cambió el peine el 2 de Junio de 1995 se pudo llevar a cabo dicha operación). Esto dió como resultado una

notable disminución en la concentración de los óxidos de nitrógeno sin alterar la del monóxido de carbono. El resultado de los análisis se reporta en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Medio	10:22	3.3	42	217	0.90	38	196
Medio	10:51	3.3	70	212	0.90	63	192

A pesar que en la posición de fuego medio la temperatura de combustión aumenta, se observa que la concentración de los óxidos de nitrógeno se encuentra por debajo del NMP (2).

**Fuego M/alto:**

Se aumentó el combustible inyectado a la cámara de combustión con el fin de reducir disminuir la concentración de los óxidos de nitrógeno (Debido a que se cambió el peine el 2 de Junio de 1995 se pudo llevar a cabo dicha operación). El resultado de los análisis a lo largo del ajuste se encuentra en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
M/alto	10:40	3.2	63	213	0.89	57	191

Se observa que disminuyó la concentración de los óxidos de nitrógeno si se compara con la lectura tomada el 2 de Mayo de 1995. Por otra parte, se puede ver que la concentración corregida de los óxidos de nitrógeno esta por debajo del NMP (2) y muy cercana al NMP (1).

**Fuego alto:**

Con el fin de disminuir, al igual que los otros fuegos, la concentración de los óxidos de nitrógeno se aumentó el combustible inyectado a la cámara de combustión (Debido a que se cambió el peine el 2

de Junio de 1995 se pudo llevar a cabo dicha operación). El resultado de los análisis a lo largo del ajuste se observa en la siguiente tabla:

FUEGO	HORA	Oxígeno (%)	CO (ppm)	NOx (ppm)	FC	CO (ppm) (c)	NOx (ppm) (c)
Año	10:35	2.8	63	208	0.87	55	183
Año	11:00	2.8	81	210	0.87	71	185

Se observa que dicho ajuste ayudó notablemente a reducir las emisiones de los óxidos de nitrógeno. Por otra parte, la concentración corregida logra estar por debajo de los dos NMP.

*Periodo del 7 al 14 de Junio de 1995.*

Si se observa la gráfica de los óxidos de nitrógeno, tanto concentraciones reales como corregidas, se puede verificar que en ningún momento estos rebasarán el NMP (2). Por otra parte, solo se tuvo problemas una vez con la concentración de los óxidos de nitrógeno. Dicho fenómeno se presentó un día antes de que la cadera saliera de operación. Por tal motivo no se efectuó alguna acción correctiva.



## CAPÍTULO 6

**Conclusiones y  
recomendaciones**

## 6.0 Conclusiones y recomendaciones.

### 6.1 Conclusiones.

Para que una reacción de combustión se lleve a cabo eficientemente, es necesario que tanto el aire como el combustible inyectados a la cámara de combustión se encuentren en proporción estequiométrica y que éstos estén mezclados adecuadamente.

El monitoreo de los reactivos en exceso y los productos de la combustión tales como el oxígeno, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono, son indicativos muy certeros del grado de mezclado del aire y del combustible en la cámara de combustión.

Cuando se trabaja con mezclas en las que el aire se encuentra entre un 20 y un 30% en exceso se favorece la formación de los óxidos de nitrógeno.

La operación con mezclas ricas en combustible, o bien presiones de atomización incorrectas dan lugar a un incremento en la concentración del monóxido de carbono.

Las mezclas exageradamente pobres en combustible, originan que tanto el monóxido de carbono como los óxidos de nitrógeno se encuentren muy por debajo de sus niveles máximos permisibles.

El método del mínimo exceso de aire es muy eficaz para poder controlar la emisión de los óxidos de nitrógeno, sin embargo se debe de tener mucha precaución para que la emisión del monóxido de carbono no se eleve y poder así mantener ambas concentraciones por debajo de los niveles máximos permisibles.

## 6.2 Recomendaciones.

Para poder aplicar el método del mínimo exceso de aire para el control tanto del monóxido de carbono como de los óxidos de nitrógeno, en cualquier otro equipo de combustión, es importante realizar estudios detallados de los sistemas de inyección tanto del aire como del combustible.

Todos los análisis efectuados en este trabajo se llevaron a cabo en el puerto de muestreo ubicado en la base de la chimenea (salida de la caldera) por motivos de tiempo y para facilitar la comunicación con el operador de la caldera. Sin embargo, si se recomienda que por lo menos dos veces a la semana sean efectuados los análisis en el puerto de muestreo ubicado a 2 diámetros de la salida de la chimenea.

Se sugiere que además de determinar los óxidos de nitrógeno y el monóxido de carbono, se evalúen contaminantes tales como dióxido de carbono, combustible no quemado, exceso de aire, dióxido de azufre, temperatura de los gases de combustión y la temperatura ambiente. Esto debido a que nos ayuda a conocer y a controlar aun más el proceso de combustión y por lo tanto a mejorar la eficiencia de ésta.

Es recomendable llevar a cabo una bitácora de presiones del aire de atomización y de dosificación del combustible durante los monitoreos diarios, con el fin de poder identificar la posible causa que haga variar la concentración de los óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono y oxígeno en los gases de combustión emitidos por una caldera.

Se recomienda la aplicación del método del mínimo de exceso de aire para cualquier equipo de combustión, ya que tiene el incentivo de mejorar la eficiencia de éste y por consiguiente disminuir el combustible gastado por los equipos.

## BIBLIOGRAFÍA

## BIBLIOGRAFÍA

1. Straitz, J. ; Mendoza, V. Keeping Burners in Fighting Trim. Chemical Engineering. Vol 102. No. 5 Mayo 1995. Pags 66-69.
2. Straitz, J. ; Mendoza V. Combat Nox with Better Burner Design. Enviromental Engineering. Special Supplement to November 1994. Chemical Engineering. Pags EE4-EE8.
3. Wark, K. ; Warner, C. Contaminación del Aire. Origen y Control. Ed. Limusa. Segunda Reimpresión. México D.F. 1994. Pags. 17-27, 40-45, 53-57, 391-397, 467-490.
4. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Ed. Porrúa. Séptima Edición. México D.F. 1993. Pags. 1-5.
5. Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994. Contaminación Atmosférica-Fuentes Fijas.
6. Manual de Calderas Selmec. Sociedad Electro Mecánica S.A. de C.V. México 1976. Pags. 71-76.
7. Falder, R. ; Rousseau, R. Principios Básicos de los Procesos Químicos. Ed. El Manual Moderno, 9na Reimpresión. México D.F. 1991. Pags. 136-147.
8. Campbell, L. ; Stone, D. NOx. Control Technology Data. EPA publication. EPA-600/2-91-029. Julio 1991. Pags. 17-19, 24-25.
9. Ashutosh Garg. Enviromental Technology. Vol. 99. No. 11. Año Nov. 1992. Pags 122-130.
10. Buonicare, A. Electrochemical Detectors and Monitors of Atmosphere Pollution. De. John Wiley and Sons, 1986. Pags. 128-145.
11. Manual de Operación de la Caldera Cleaver Brooks, Cleaver Brooks. Número de parte 750-44. Pags 1.1-2.5.
12. Manual de Operación del Analizador de Gases de Combustión. Modelo 2000. Energy Efficiency Systems. Pags. 4-12.
13. Finlayson B. Pitts J. Atmospheric Chemistry. Fundamentals and experimental techniques. John Wiley and Sons. 1986. Pags 10-13.

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA PARA EL MEJOR ENTENDIMIENTO DE ESTE TRABAJO.**

### **LIBROS.**

1. Sears F. Zemansky M. Física Universitaria. Addison Wesley Iberoamericana. 6ta edición. México 1986. Pags. 545-669.
2. Dawes Ch. Tratado de Electricidad. Ediciones Gustavo Gili. 9na edición. México 1986. Pags. 104-147.
3. Castellan G. Fisicoquímica. Addison Wesley Iberoamericana. México 1987. Pags 235-268, 368-390, 393-419.
4. Olgún S. Montoya F. Flores E. Fundamentos de Electroquímica. Instituto Politécnico Nacional. 1ra edición. México 1988. Pags. 105-164.
5. Vassos B. Ewing. Galen. Electroquímica Analítica. Limusa. 1ra edición. México 1987. Pags. 13-25.
6. Ayres G. Haria. Análisis Químico Cuantitativo. 2da edición. México 1970. Pags. 515-550.
7. Oberl E. Motores de combustión Interna. Análisis y Aplicaciones. Compañía editorial continental. Decimonovena reimpresión. México 1991. Pags 385-410.

### **Revistas.**

1. Tsioumky M., Lev. O. Electrochemical composite carbon-ceramic gas sensors: Introduction and oxygen sensing. Analytical chemistry. Vol. 67, Octubre 1990. No. 14. Pags. 2409-2414.
2. Bélanger R. Moffat J. Removal of NO<sub>2</sub> from gaseous streams by sorption and conversion on 12-tungstophosphoric acid. Environmental science and technology. Vol. 29, No. 6. Junio 1995. Pags. 1681-1685.
3. Tiemey M. Electrochemical gas sensor with extremely fast response times. Analytical chemistry. Vol 65, No. 23. Diciembre 1993. Pags 3435-3440.
4. O'Reilly S. Nitrogen oxide sensor based on an nitrite selective electrode. Analytical chemistry. Vol. 63, No. 13. Julio 1991. Pags. 1278-1281.

5. Uhegbu Ch. Pardue H. Data-processing method to reduce error coefficients for membrane-based analytical systems. Amperometric based sensor evaluated for quantification of oxygen. Analytical chemistry. Vol 64. No. 20. Octubre 1992. Pags. 2378-2382.
6. Yim H. Meyerhoff M. Reversible potentiometric sensors based on polymeric and metallic film electrodes. Analytical chemistry. Vol. 64. No. 17. Septiembre 1992. Pags. 1777-1785.
7. Warburton R. Kuwana T. Bush D. Cooper(II) reduction and monitoring of carbon monoxide. Analytical chemistry. Vol. 63. No. 23. Diciembre 1991. Pags. 2773-2776.

**TESIS SIN PAGINACION**

**COMPLETA LA INFORMACION**



## APÉNDICES

8.0 Apéndices  
8.1 Apéndice A

Niveles máximos permisibles y métodos de medición

TABLA 1  
Niveles máximos permisibles de 1994 al 31 de Diciembre de 1997

CATEGORÍA DE EQUIPO DE COMBUSTIÓN (kW)	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	MÉTODO DE MUESTREO	PARTICULAR (PM) depo <sup>2</sup> dep <sup>2</sup> base <sup>2</sup> (1) (2)			ÓXIDO DE AZUFRE depo <sup>2</sup> dep <sup>2</sup> base <sup>2</sup> (1) (2)			ÓXIDO DE NITRÓGENO depo <sup>2</sup> dep <sup>2</sup> base <sup>2</sup> (1) (2)			NIVELES DE AEROSOL EN CONCENTRACIONES (% volumen) (4)
			ZONA	ZC	SP	ZONA	ZC (4)	SP	ZONA	ZC (4)	SP	
Menor a 200	Carbón o petróleo	4	NA	NA	NA	1400 (4.00)	2100 (7.00)	3000 (9.01)	NA	NA	NA	50
	Gas líquido	3	NA	NA	NA	1100 (4.00)	2100 (7.01)	3000 (9.01)	NA	NA	NA	
	Gasolina	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	
De 200 a 43,000	Líquido	NA	100 (4.0)	400 (14.0)	600 (20.0)	1100 (4.0)	2100 (7.0)	3000 (9.0)	200 (0.50)	300 (0.75)	400 (1.00)	50
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	200 (0.50)	300 (0.75)	400 (1.00)	
De 43,000 a 110,000	Líquido	NA	100 (4.0)	475 (17.0)	600 (20.0)	1100 (4.0)	2100 (7.0)	3000 (9.0)	100 (0.25)	300 (0.75)	400 (1.00)	40
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100 (0.25)	300 (0.75)	400 (1.00)	
Mayor de 110,000	Sólido	NA	50 (1.0)	200 (8.0)	400 (14.0)	1400 (4.0)	2100 (7.0)	3000 (9.0)	100 (0.25)	300 (0.75)	400 (1.00)	30
	Líquido	NA	50 (1.0)	325 (12.0)	600 (20.0)	1100 (4.0)	2100 (7.0)	3000 (9.0)	100 (0.25)	300 (0.75)	400 (1.00)	
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100 (0.25)	300 (0.75)	400 (1.00)	

Fuente: NOM-085-ECOL-1994. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, neblinas de ácido sulfúrico y partículas suspendidas, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y emisiones de dióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

FALLA DE ORIGEN

**TABLA 2**  
**Niveles máximos permisibles del 1ro de Enero de 1988 en adelante**

CAPACIDAD DEL EQUIPO DE COMBUSTIÓN (kW)	TIPO DE COMBUSTIBLE EMPLEADO	CANTIDAD DE CARBÓN (kg/hora)	PARTÍCULAS (PT) mg/m <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) hora			BÍOXIDO DE AZUFRE (SO <sub>2</sub> ) mg/m <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) hora			GASES DE NITRÓGENO (NO <sub>x</sub> ) mg/m <sup>3</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) hora			EXCESO DE GASES DE COMBUSTIÓN (% volumen)
			MÉXICO	C. U.	O.P.	MÉXICO	C. U.	O.P.	MÉXICO	C. U.	O.P.	
Hasta 0.250	Carbón vegetal o leña	3	NA	NA	NA	500 (2.04)	1,100 (4.20)	2,300 (8.53)	NA	NA	NA	50
	Grasas vegetales	2	NA	NA	NA	500 (2.04)	1,100 (4.20)	2,300 (8.53)	NA	NA	NA	
	Gasolina	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	90	
De 0.250 a 1.000	Líquido	NA	75 (2.83)	300 (1.12)	400 (1.48)	500 (1.89)	1,100 (4.02)	2,300 (8.53)	100 (3.66)	100 (3.66)	275 (1.01)	40
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	100 (3.66)	100 (3.66)	275 (1.01)	
De 1.000 a 10.000	Líquido	NA	60 (2.20)	300 (1.12)	400 (1.48)	500 (1.89)	1,100 (4.02)	2,300 (8.53)	110 (3.96)	110 (3.96)	275 (1.01)	30
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (3.96)	110 (3.96)	275 (1.01)	
Mayor de 10.000	Líquido	NA	60 (2.20)	300 (1.12)	350 (1.27)	500 (1.89)	1,100 (4.02)	2,300 (8.53)	110 (3.96)	110 (3.96)	275 (1.01)	25
	Líquido	NA	60 (2.20)	300 (1.12)	350 (1.27)	500 (1.89)	1,100 (4.02)	2,300 (8.53)	110 (3.96)	110 (3.96)	275 (1.01)	
	Gasolina	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110 (3.96)	110 (3.96)	275 (1.01)	

Fuente: NOM-085-ECOL-1984. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, neblinas de ácido sulfúrico y partículas suspendidas, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y emisiones de dióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

100000 30 ALIAR

TABLA 3

Medición y análisis de los gases de combustión

Capacidad del equipo de Combustión (kW)	PARÁMETRO	FRECUENCIA MÍNIMA DE MEDICIÓN	TIPO DE EVALUADOR	TIPO DE EQUIPOS DE S
Hasta 5 000	Monitoreo de ruido	1 vez cada 3 meses	monitoreo 12 mensual, muestra de fondo	Equipo y gas
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	1 vez cada 3 meses	monitoreo 12 mensual, vez anual 3	Equipo y gas
De 5 000 a 10 000	Factorial capacidad máxima	una vez por año	medidas indirecta a través de parámetros de control de contaminación que están al presente	Equipo
	NO <sub>x</sub>	una vez por año	monitoreo 12, quinquenalmente o equivalente	Equipo y gas
De 10 000 a 15 000	Factorial capacidad máxima	una vez por año	medidas indirecta a través de parámetros de control de contaminación que están al presente	Equipo
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	una vez por año	monitoreo 12 mensual, vez anual 3	Equipo y gas
De 15 000 a 100 000	Factorial capacidad máxima	una vez por año	monitoreo 12 mensual, después del arranque, 6 meses, quinquenalmente, o equivalente	Equipo
	NO <sub>x</sub>	1 vez cada 6 meses	monitoreo 12, quinquenalmente o equivalente	Equipo y gas
Mayor de 100 000	Factorial capacidad máxima	una vez por año	monitoreo indirecta a través de parámetros de control de contaminación que están al presente	Equipo
	CO <sub>2</sub> , CO, O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub>	una vez por año	monitoreo 12 mensual, vez anual 3	Equipo y gas
Mayor de 100 000	Factorial capacidad máxima	1 vez cada 6 meses	monitoreo 12 mensual después del arranque, 6 meses, quinquenalmente, o equivalente	Equipo, Equipo y gas
	NO <sub>x</sub>	quinquenal (3)	monitoreo 12, quinquenalmente o equivalente	Equipo y gas
	O <sub>2</sub>	quinquenal	monitoreo 12 mensual después del arranque, 6 meses, quinquenalmente o equivalente	Equipo y gas
	NO <sub>x</sub>	una vez por año	medidas indirecta a través de parámetros de control de contaminación que están al presente	Equipo, Equipo y gas

NOTAS

(1) Ver 6 1 14

(2) Ver 6 1 15

(3) El monitoreo continuo de NO<sub>x</sub> será permanente en las zonas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara y Monterrey, con una duración de cuando menos 7 días una vez cada 3 meses en las zonas críticas, y con una duración de cuando menos 7 días una vez cada seis meses en el resto del país

(4) Ver 4 13

Deberán realizarse las mediciones correspondientes a equipos de calentamiento industriales del ambiente de cualquier capacidad en enero y octubre de cada año

Fuente: NOM-065-ECOL-1994. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, neblinas de ácido sulfúrico y partículas suspendidas, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y emisiones de dióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

MEXICO GO AIIA9

**TABLA 4**  
**Contaminantes y sus métodos de evaluación para fuentes fijas y métodos equivalentes**

CONTAMINANTE	METODO DE EVALUACION	METODO EQUIVALENTE
Partículas de hulla	• prueba a marcha de hulla • gravedad	
Partículas suspendidas totales	• gravedad	
Fuente de escape	• determinación gravimétrica	• por escape no dispersivo
Química de carbono	• métodos de dispersión • células electroquímicas • gases (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y CO)	
Química	• células electroquímicas • por gravimétricas	• anal (O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub> y CO) • análisis de excedente (células electroquímicas)
SO <sub>2</sub>	• medición indirecta a través de catalizadores de carbono de catalizadores que emita el precursor	Capacidad (límite 5.750 del equipo de combustión SO <sub>2</sub> ) • vía indirecta (límite) • vía de fuga no dispersiva • células electroquímicas Máximo de 5.750 • vía directa • escape no dispersivo

Fuente: NOM-085-ECOL-1994. Establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas, monóxido de carbono, óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, neblinas de ácido sulfúrico y partículas suspendidas, así como los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión y emisiones de bixido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión utilizados en fuentes fijas, que usan combustibles fósiles líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones.

FALLA DE ORIGEN

## 8.2 Apéndice B

### Concentraciones de las especies químicas en la atmósfera

Existe un gran número de unidades de concentración para determinar la cantidad de las especies químicas en la atmósfera. Algunas de las más importantes son las siguientes:

#### **Partes por millón, cientos de millón, billon, trillón.**

Para las especies químicas gaseosas, las unidades que más se utilizan son las de (ppm), partes por cientos de millón (ppcm), partes por billón (ppb)(billón americano  $10^9$ ) y partes por trillón. Estas unidades expresan el número de moléculas de contaminante que se encuentran en un millón ( $10^6$ ), un ciento de millón ( $10^5$ ), un billón, o un trillón de moléculas de aire, respectivamente.

Debido a que los números de moléculas (o moles) son proporcionales a sus volúmenes, de acuerdo con la ley de los gases ideales ( $PV=nRT$ ), estas unidades pueden ser expresadas como el número de volúmenes del contaminante encontrados en  $10^6$ ,  $10^5$ ,  $10^9$  o  $10^{12}$  volúmenes de aire respectivamente.

Las concentraciones de los contaminantes en el aire ambiente son tan pequeñas la unidad más utilizada es la de ppm. Sin embargo, las concentraciones de los contaminantes en las chimeneas normalmente son mucho más grandes por lo que en estos casos se utilizan casi siempre porcentajes. Estas reflejan el número de moléculas de monóxido de carbono (o volúmenes) por 100 moléculas (o volúmenes) de gas emitido.

#### **Microgramos por metro cúbico.**

Otra unidad de medición para las especies gaseosas es masa por unidad de volumen, generalmente  $10^{-6}$  g por metro cúbico ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ). Debido a que una atmósfera a  $25^\circ\text{C}$  contiene  $4.09 \times 10^{-2}$  moles  $\text{L}^{-1}$ , 1 ppm deberá contener  $(4.09 \times 10^{-2}) \times 10^{-6}$  o  $4.09 \times 10^{-8}$  mol  $\text{L}^{-1}$  o  $4.09 \times 10^{-5}$  moles  $\text{m}^{-3}$ . Si el peso molecular del contaminante es PM gramos por mol, entonces 1 ppm en unidades de masa por  $\text{m}^3$  es  $(4.09 \times 10^{-5}) \times (\text{PM})$  g  $\text{m}^{-3}$  o  $(40.9) \times (\text{PM})$   $\mu\text{g m}^{-3}$ .

Los factores de conversión entre  $\mu\text{g m}^{-3}$  y ppm, ppcm, ppb y ppt pueden resumirse de la siguiente manera<sup>13</sup>:

- $\mu\text{g m}^{-3} = \text{ppm} \times 40.9 \text{ (PM)}$
- $\mu\text{g m}^{-3} = \text{ppcm} \times 0.409 \text{ (PM)}$
- $\mu\text{g m}^{-3} = \text{ppb} \times 0.0409 \text{ (PM)}$
- $\mu\text{g m}^{-3} = \text{ppt} \times (4.09 \times 10^{-5}) \text{ (PM)}$

### 8.3 Apéndice C Tabla de ajustes

GLAXO DE MÉXICO S.A. DE C.V.

TABLA PARA EL AJUSTE DE LA CALDERA

FECHA: \_\_\_\_\_  
CALDERA: \_\_\_\_\_

FUEGO	HORA	Pc (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pa (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pv (Kg/cm <sup>2</sup> )	AJUSTES EFECTUADOS

AJUSTARON:

PERSONA DEL SISTEMA DE FLUIDOS: \_\_\_\_\_

PERSONA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL: \_\_\_\_\_

CONTROL

11-1-5  
1-1-5

1-1-5  
1-1-5



## 8.4 Apéndice D Procedimiento para manejar el ENERAC 2000.

### 8.4.1 Procedimiento para efectuar los análisis del O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y el CO.

#### 8.4.1.1 Descripción del ENERAC 2000.

Hay 20 teclas en la carátula del instrumento. Estas teclas están agrupadas en 4 grupos básicos. El más importante es el grupo que contiene las ocho teclas de operación (más la pantalla) y está ubicado en el centro de la carátula. Hay un grupo de tres teclas del lado izquierdo que, cuando se oprimen, indicarán los tres combustibles principales. Hay cuatro teclas a la derecha de la carátula que se emplean para imprimir, almacenar, dar salida a la información e indican el tiempo. Finalmente hay un grupo de cuatro teclas localizado debajo de la pantalla que se usan para establecer varios parámetros y dar uso personal al instrumento. Ver el apéndice C.

#### 8.4.1.2 Arrancando el instrumento.

##### 8.4.1.2.1 Abra la caja del instrumento, remueva la trampa de agua, la manguera y el toma muestra de sus compartimentos.

##### 8.4.1.2.2 Inserte la trampa de agua en la apertura provista que está en la sección con bisagra de la carátula. Conecte la conexión de gas en el extremo del filtro desechable de la trampa a la entrada "GAS IN (Entrada del gas por analizar)" del instrumento. Asegúrese que las conexiones sean seguras para evitar una fuga.

##### 8.4.1.2.3 Conecte un extremo de la manguera a la parte superior de la trampa y el otro a la parte inferior del toma muestra.

##### 8.4.1.2.4 Encienda el instrumento. Se debe encender la indicación "BATTERY OK (Batería en buen estado)". El siguiente mensaje aparecerá en la pantalla:

"Press ENTER to AUTOZERO"  
(Presione ENTER para autoajustar a cero)

Oprima la tecla ENTER. El siguiente mensaje aparecerá en la pantalla.

"DO NOT INSERT PROBE"  
(No inserte el toma muestras en la chimenea)

e inmediatamente después:

"WARMING UP XXX SEG"  
(Período de calentamiento XXX SEG)

y cuenta regresiva.

##### 8.4.1.2.5 Al final del periodo de calentamiento y autocalibración (aproximadamente 2 minutos), el ENERAC lee la salida de todos sus sensores y los lleva a cero con la excepción del oxígeno, que lo lleva a 21% y la temperatura ambiente que se lee directamente. Por lo tanto, es muy importante que en el momento de arrancar el instrumento, el extremo del toma-muestra esté a la temperatura ambiente y el ambiente esté limpio de monóxido de carbono y otros gases.

Si todo funciona bien con el instrumento, eventualmente aparecerá el siguiente mensaje en la pantalla:

**"INSERT PROBE (Inserte el toma muestras)"**

En este momento se puede comenzar una medición.

**8.4.1.3 Lectura del contenido de gases de combustión y temperaturas.**

**8.4.1.3.1** Inserte el toma-muestra en la chimenea, oprima la tecla que corresponda al combustible empleado. (Si desea instalar un combustible nuevo vea el capítulo 6 del manual; en el cual se establecen las instrucciones para insertar combustibles).

**8.4.1.3.2** pueden leer en la pantalla cualesquiera dos parámetros del gas que se desee, simplemente operando las ocho teclas básicas.

**8.4.1.3.3** Use la tecla "DISPLAY PTR (Desplegado en pantalla)" para indicar cualquier combinación de los parámetros que usted desee ver simultáneamente.

La pantalla esta dividida en dos mitades. Usted puede desplegar cualquier parámetro de los gases en cualquier mitad usando la tecla "DISPLAY PTR (Desplegado en pantalla)" y observando lado de la pantalla al que el LED (indicador con luz roja) esta apuntando.

Las teclas "TEMP/ST-RM (temp. ambiente/temp de la chimenea)", "CO<sub>2</sub>/X-AIR (concentración de CO<sub>2</sub>/exceso de aire)", "OXY/NO<sub>x</sub> (concentración de oxígeno/concentración de NO<sub>x</sub>)" y "CO/SO<sub>2</sub> (concentración de monóxido de carbono/concentración de bióxido de azufre) son alternativas. Se despliegan los parámetros alternativamente oprimiendo repetidamente la misma tecla.

**8.4.1.4 Impresión del contenido de gases y temperaturas**

**8.4.1.4.1** Asegúrese de que el indicador de la impresora esté encendido.

**8.4.1.4.2** Asegúrese de que no esté en el modo de configuración (indicador "SET" (configurar) apagado)

**8.4.1.4.3** Oprima la tecla "TEXT (impresión de texto)". La impresora comenzará a trabajar, la impresión completa toma unos 20 segundos.

**8.4.1.4.4** Emplee el interruptor "PAPER FEED (alimentación de papel)" para que avance el papel hasta poder cortarlo fácilmente.

**8.4.1.4.5** Si un contaminante se encuentra fuera de parámetro, se deberá informar al Departamento del Sistema de Fluidos para programar la acción correctiva.

**8.4.1.5 Apegando el instrumento.**

**8.4.1.5.1** Retire el toma-muestra de la chimenea y agítelo vigorosamente para eliminar toda el agua acumulada. No toque el extremo caliente.

**8.4.1.5.2** Remueva el drenaje y la trampa de condensación.

**8.4.1.5.3 Permíta al instrumento que funcione por dos minutos aspirando aire del ambiente para purgar cualquier gas remanente.**

**8.4.1.5.4 Apague la unidad y guarde la trampa y el toma-muestra en sus compartimentos.**

	0.1.1.4
	1.0.1.1.4
	1.0.1.1.5
	1.0.1.1.6
	1.0.1.1.7
	1.0.1.1.8
	1.0.1.1.9
	1.0.1.1.10
	1.0.1.1.11
	1.0.1.1.12
	1.0.1.1.13
	1.0.1.1.14
	1.0.1.1.15
	1.0.1.1.16
	1.0.1.1.17
	1.0.1.1.18
	1.0.1.1.19
	1.0.1.1.20
	1.0.1.1.21
	1.0.1.1.22
	1.0.1.1.23
	1.0.1.1.24
	1.0.1.1.25
	1.0.1.1.26
	1.0.1.1.27
	1.0.1.1.28
	1.0.1.1.29
	1.0.1.1.30
	1.0.1.1.31
	1.0.1.1.32
	1.0.1.1.33
	1.0.1.1.34
	1.0.1.1.35
	1.0.1.1.36
	1.0.1.1.37
	1.0.1.1.38
	1.0.1.1.39
	1.0.1.1.40
	1.0.1.1.41
	1.0.1.1.42
	1.0.1.1.43
	1.0.1.1.44
	1.0.1.1.45
	1.0.1.1.46
	1.0.1.1.47
	1.0.1.1.48
	1.0.1.1.49
	1.0.1.1.50
	1.0.1.1.51
	1.0.1.1.52
	1.0.1.1.53
	1.0.1.1.54
	1.0.1.1.55
	1.0.1.1.56
	1.0.1.1.57
	1.0.1.1.58
	1.0.1.1.59
	1.0.1.1.60
	1.0.1.1.61
	1.0.1.1.62
	1.0.1.1.63
	1.0.1.1.64
	1.0.1.1.65
	1.0.1.1.66
	1.0.1.1.67
	1.0.1.1.68
	1.0.1.1.69
	1.0.1.1.70
	1.0.1.1.71
	1.0.1.1.72
	1.0.1.1.73
	1.0.1.1.74
	1.0.1.1.75
	1.0.1.1.76
	1.0.1.1.77
	1.0.1.1.78
	1.0.1.1.79
	1.0.1.1.80
	1.0.1.1.81
	1.0.1.1.82
	1.0.1.1.83
	1.0.1.1.84
	1.0.1.1.85
	1.0.1.1.86
	1.0.1.1.87
	1.0.1.1.88
	1.0.1.1.89
	1.0.1.1.90
	1.0.1.1.91
	1.0.1.1.92
	1.0.1.1.93
	1.0.1.1.94
	1.0.1.1.95
	1.0.1.1.96
	1.0.1.1.97
	1.0.1.1.98
	1.0.1.1.99
	1.0.1.2
	1.0.1.3
	1.0.1.4
	1.0.1.5
	1.0.1.6
	1.0.1.7
	1.0.1.8
	1.0.1.9
	1.0.1.10
	1.0.1.11
	1.0.1.12
	1.0.1.13
	1.0.1.14
	1.0.1.15
	1.0.1.16
	1.0.1.17
	1.0.1.18
	1.0.1.19
	1.0.1.20
	1.0.1.21
	1.0.1.22
	1.0.1.23
	1.0.1.24
	1.0.1.25
	1.0.1.26
	1.0.1.27
	1.0.1.28
	1.0.1.29
	1.0.1.30
	1.0.1.31
	1.0.1.32
	1.0.1.33
	1.0.1.34
	1.0.1.35
	1.0.1.36
	1.0.1.37
	1.0.1.38
	1.0.1.39
	1.0.1.40
	1.0.1.41
	1.0.1.42
	1.0.1.43
	1.0.1.44
	1.0.1.45
	1.0.1.46
	1.0.1.47
	1.0.1.48
	1.0.1.49
	1.0.1.50
	1.0.1.51
	1.0.1.52
	1.0.1.53
	1.0.1.54
	1.0.1.55
	1.0.1.56
	1.0.1.57
	1.0.1.58
	1.0.1.59
	1.0.1.60
	1.0.1.61
	1.0.1.62
	1.0.1.63
	1.0.1.64
	1.0.1.65
	1.0.1.66
	1.0.1.67
	1.0.1.68
	1.0.1.69
	1.0.1.70
	1.0.1.71
	1.0.1.72
	1.0.1.73
	1.0.1.74
	1.0.1.75
	1.0.1.76
	1.0.1.77
	1.0.1.78
	1.0.1.79
	1.0.1.80
	1.0.1.81
	1.0.1.82
	1.0.1.83
	1.0.1.84
	1.0.1.85
	1.0.1.86
	1.0.1.87
	1.0.1.88
	1.0.1.89
	1.0.1.90
	1.0.1.91
	1.0.1.92
	1.0.1.93
	1.0.1.94
	1.0.1.95
	1.0.1.96
	1.0.1.97
	1.0.1.98
	1.0.1.99
	1.0.2
	1.0.3
	1.0.4
	1.0.5
	1.0.6
	1.0.7
	1.0.8
	1.0.9
	1.0.10
	1.0.11
	1.0.12
	1.0.13
	1.0.14
	1.0.15
	1.0.16
	1.0.17
	1.0.18
	1.0.19
	1.0.20
	1.0.21
	1.0.22
	1.0.23
	1.0.24
	1.0.25
	1.0.26
	1.0.27
	1.0.28
	1.0.29
	1.0.30
	1.0.31
	1.0.32
	1.0.33
	1.0.34
	1.0.35
	1.0.36
	1.0.37
	1.0.38
	1.0.39
	1.0.40
	1.0.41
	1.0.42
	1.0.43
	1.0.44
	1.0.45
	1.0.46
	1.0.47
	1.0.48
	1.0.49
	1.0.50
	1.0.51
	1.0.52
	1.0.53
	1.0.54
	1.0.55
	1.0.56
	1.0.57
	1.0.58
	1.0.59
	1.0.60
	1.0.61
	1.0.62
	1.0.63
	1.0.64
	1.0.65
	1.0.66
	1.0.67
	1.0.68
	1.0.69
	1.0.70
	1.0.71
	1.0.72
	1.0.73
	1.0.74
	1.0.75
	1.0.76
	1.0.77
	1.0.78
	1.0.79
	1.0.80
	1.0.81
	1.0.82
	1.0.83
	1.0.84
	1.0.85
	1.0.86
	1.0.87
	1.0.88
	1.0.89
	1.0.90
	1.0.91
	1.0.92
	1.0.93
	1.0.94
	1.0.95
	1.0.96
	1.0.97
	1.0.98
	1.0.99
	1.1
	1.2
	1.3
	1.4
	1.5
	1.6
	1.7
	1.8
	1.9
	2.0
	2.1
	2.2
	2.3
	2.4
	2.5
	2.6
	2.7
	2.8
	2.9
	3.0
	3.1
	3.2
	3.3
	3.4
	3.5
	3.6
	3.7
	3.8
	3.9
	4.0
	4.1
	4.2
	4.3
	4.4
	4.5
	4.6
	4.7
	4.8
	4.9
	5.0
	5.1
	5.2
	5.3
	5.4
	5.5
	5.6
	5.7
	5.8
	5.9
	6.0
	6.1
	6.2
	6.3
	6.4
	6.5
	6.6
	6.7
	6.8
	6.9
	7.0
	7.1
	7.2
	7.3
	7.4
	7.5
	7.6
	7.7
	7.8
	7.9
	8.0
	8.1
	8.2
	8.3
	8.4
	8.5
	8.6
	8.7
	8.8
	8.9
	9.0
	9.1
	9.2
	9.3
	9.4
	9.5
	9.6
	9.7
	9.8
	9.9
	10.0

**8.4 Apéndice E**  
**Impresiones del analizador de gases durante los ajustes.**

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA	
TIME: 11:04:52		TIME: 11:04:52		TIME: 11:04:52		TIME: 11:04:52	
DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95	
FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3	
COMBUSTION EFFICIENCY: 87.9	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.9	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.3	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.3	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.3
WATER TEMPERATURE: 28	% WATER TEMPERATURE: 29	WATER TEMPERATURE: 31	% WATER TEMPERATURE: 31	WATER TEMPERATURE: 31	% WATER TEMPERATURE: 31	WATER TEMPERATURE: 31	% WATER TEMPERATURE: 31
STACK TEMPERATURE: 199	% STACK TEMPERATURE: 177	STACK TEMPERATURE: 198	% STACK TEMPERATURE: 188	STACK TEMPERATURE: 198	% STACK TEMPERATURE: 188	STACK TEMPERATURE: 198	% STACK TEMPERATURE: 188
WATER: 84.7	% WATER: 85.2	WATER: 85.5	% WATER: 85.5	WATER: 85.5	% WATER: 85.5	WATER: 85.5	% WATER: 85.5
WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34
WATER DIKING: 12.2	% WATER DIKING: 11.4	WATER DIKING: 11.4	% WATER DIKING: 11.4	WATER DIKING: 11.4	% WATER DIKING: 11.4	WATER DIKING: 11.4	% WATER DIKING: 11.4
WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88
WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	WATER GASES (INCHES H2O): 6.5	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.5
WATER AIR: 27	% WATER AIR: 27	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30
WATER OF NITROGEN: 164	% WATER OF NITROGEN: 148	WATER OF NITROGEN: 174	% WATER OF NITROGEN: 175	WATER OF NITROGEN: 174	% WATER OF NITROGEN: 175	WATER OF NITROGEN: 174	% WATER OF NITROGEN: 175
WATER DIKING: 8	% W/SULFUR DIKING: 85	WATER DIKING: 145	% W/SULFUR DIKING: 145	WATER DIKING: 145	% W/SULFUR DIKING: 145	WATER DIKING: 145	% W/SULFUR DIKING: 145
WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56
WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA		FUEL CLASS DE MEXICOBA	
TIME: 12:28:47		TIME: 11:04:52		TIME: 12:11:52		TIME: 12:24:42	
DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95		DATE: 05/12/95	
FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3		FUEL #2 OIL: 15366 STU/L3	
COMBUSTION EFFICIENCY: 85.9	% COMBUSTION EFFICIENCY: 76.6	COMBUSTION EFFICIENCY: 75.5	% COMBUSTION EFFICIENCY: 67.4	COMBUSTION EFFICIENCY: 75.5	% COMBUSTION EFFICIENCY: 67.4	COMBUSTION EFFICIENCY: 75.5	% COMBUSTION EFFICIENCY: 67.4
WATER TEMPERATURE: 28	% WATER TEMPERATURE: 28	WATER TEMPERATURE: 32	% WATER TEMPERATURE: 32	WATER TEMPERATURE: 32	% WATER TEMPERATURE: 32	WATER TEMPERATURE: 32	% WATER TEMPERATURE: 32
STACK TEMPERATURE: 207	% STACK TEMPERATURE: 185	STACK TEMPERATURE: 182	% STACK TEMPERATURE: 174	STACK TEMPERATURE: 182	% STACK TEMPERATURE: 174	STACK TEMPERATURE: 182	% STACK TEMPERATURE: 174
WATER: 84.7	% WATER: 84.7	WATER: 85.2	% WATER: 85.2	WATER: 85.2	% WATER: 85.2	WATER: 85.2	% WATER: 85.2
WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34	WATER MONITOR: 34	% WATER MONITOR: 34
WATER DIKING: 12.2	% WATER DIKING: 12.2	WATER DIKING: 12.2	% WATER DIKING: 12.2	WATER DIKING: 12.2	% WATER DIKING: 12.2	WATER DIKING: 12.2	% WATER DIKING: 12.2
WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88	WATER GASES: 6.88	% WATER GASES: 6.88
WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	WATER GASES (INCHES H2O): 6.1	% WATER GASES (INCHES H2O): 6.1
WATER AIR: 27	% WATER AIR: 27	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30	WATER AIR: 30	% WATER AIR: 30
WATER OF NITROGEN: 177	% WATER OF NITROGEN: 148	WATER OF NITROGEN: 164	% WATER OF NITROGEN: 161	WATER OF NITROGEN: 164	% WATER OF NITROGEN: 161	WATER OF NITROGEN: 164	% WATER OF NITROGEN: 161
WATER DIKING: 14	% W/SULFUR DIKING: 8	WATER DIKING: 6	% W/SULFUR DIKING: 6	WATER DIKING: 6	% W/SULFUR DIKING: 6	WATER DIKING: 6	% W/SULFUR DIKING: 6
WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56	WATER MONITOR ALARM: 56	% W/WATER MONITOR ALARM: 56
WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED	WATER OIL TEST-TRIED

FALLA DE ORIGEN

*Clase 6<sup>o</sup> Luro*

ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA	
TIME: 11:59:26	DATE: 05/26/95	TIME: 12:24:14	DATE: 05/26/95	TIME: 12:29:36	DATE: 05/26/95	TIME: 12:14:02	DATE: 05/26/95
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 96.7 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 29 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.7 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 36 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.7 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 31 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.5 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 31 °C
STACK TEMPERATURE: 82.3 °C	* STACK TEMPERATURE: 85.2 °C	STACK TEMPERATURE: 85.2 °C	* STACK TEMPERATURE: 85.2 °C	STACK TEMPERATURE: 85.4 °C	* STACK TEMPERATURE: 85.4 °C	STACK TEMPERATURE: 87.2 °C	* STACK TEMPERATURE: 87.2 °C
OXIDEN: 05.3 %	* OXIDEN: 05.3 %	OXIDEN: 05.2 %	* OXIDEN: 05.2 %	OXIDEN: 05.4 %	* OXIDEN: 05.4 %	OXIDEN: 05.8 %	* OXIDEN: 05.8 %
CARBON MONOXIDE: 32 PPM	* CARBON MONOXIDE: 32 PPM	CARBON MONOXIDE: 45 PPM	* CARBON MONOXIDE: 45 PPM	CARBON MONOXIDE: 68 PPM	* CARBON MONOXIDE: 68 PPM	CARBON MONOXIDE: 68 PPM	* CARBON MONOXIDE: 68 PPM
CARBON DIOXIDE: 11.7 %	* CARBON DIOXIDE: 11.7 %	CARBON DIOXIDE: 11.9 %	* CARBON DIOXIDE: 11.9 %	CARBON DIOXIDE: 11.6 %	* CARBON DIOXIDE: 11.6 %	CARBON DIOXIDE: 11.5 %	* CARBON DIOXIDE: 11.5 %
COMBUSTIBLE GASES: 0.89 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.89 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %
STACK DRAFT (INCHES H2O): - 0.9	* STACK DRAFT (INCHES H2O): - 0.9	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.1	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.1	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.3	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.3	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4
EXCESS AIR: 32 %	* EXCESS AIR: 32 %	EXCESS AIR: 31 %	* EXCESS AIR: 31 %	EXCESS AIR: 32 %	* EXCESS AIR: 32 %	EXCESS AIR: 36 %	* EXCESS AIR: 36 %
OXIDES OF NITROGEN: 195 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 195 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 184 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 184 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 195 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 195 PPM
SULFUR DIOXIDE: 12 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 12 PPM	SULFUR DIOXIDE: 187 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 187 PPM	SULFUR DIOXIDE: 120 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 120 PPM	SULFUR DIOXIDE: 128 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 128 PPM
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM
MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX	

ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 <sup>o</sup> COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA		FOR: CLANO DE MEXICO SA	
TIME: 12:19:24	DATE: 05/26/95	TIME: 12:24:43	DATE: 05/26/95	TIME: 12:29:19	DATE: 05/26/95	TIME: 12:37:37	DATE: 05/26/95
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.9 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.1 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C	COMBUSTION EFFICIENCY: 87.4 %	* AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C
STACK TEMPERATURE: 192 °C	* STACK TEMPERATURE: 192 °C	STACK TEMPERATURE: 195 °C	* STACK TEMPERATURE: 195 °C	STACK TEMPERATURE: 183 °C	* STACK TEMPERATURE: 183 °C	STACK TEMPERATURE: 172 °C	* STACK TEMPERATURE: 172 °C
OXIDEN: 05.8 %	* OXIDEN: 05.8 %	OXIDEN: 05.2 %	* OXIDEN: 05.2 %	OXIDEN: 05.8 %	* OXIDEN: 05.8 %	OXIDEN: 05.6 %	* OXIDEN: 05.6 %
CARBON MONOXIDE: 78 PPM	* CARBON MONOXIDE: 78 PPM	CARBON MONOXIDE: 86 PPM	* CARBON MONOXIDE: 86 PPM	CARBON MONOXIDE: 89 PPM	* CARBON MONOXIDE: 89 PPM	CARBON MONOXIDE: 97 PPM	* CARBON MONOXIDE: 97 PPM
CARBON DIOXIDE: 11.4 %	* CARBON DIOXIDE: 11.4 %	CARBON DIOXIDE: 11.8 %	* CARBON DIOXIDE: 11.8 %	CARBON DIOXIDE: 11.3 %	* CARBON DIOXIDE: 11.3 %	CARBON DIOXIDE: 13.8 %	* CARBON DIOXIDE: 13.8 %
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.84 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.84 %	COMBUSTIBLE GASES: 0.85 %	* COMBUSTIBLE GASES: 0.85 %
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.9	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.9
EXCESS AIR: 36 %	* EXCESS AIR: 36 %	EXCESS AIR: 31 %	* EXCESS AIR: 31 %	EXCESS AIR: 36 %	* EXCESS AIR: 36 %	EXCESS AIR: 28 %	* EXCESS AIR: 28 %
OXIDES OF NITROGEN: 192 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 192 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 192 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 192 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 194 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 194 PPM	OXIDES OF NITROGEN: 182 PPM	* OXIDES OF NITROGEN: 182 PPM
SULFUR DIOXIDE: 141 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 141 PPM	SULFUR DIOXIDE: 159 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 159 PPM	SULFUR DIOXIDE: 146 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 146 PPM	SULFUR DIOXIDE: 161 PPM	* SULFUR DIOXIDE: 161 PPM
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM
MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX		MODE: PPM OXY_REF=TRUEX	

FALLA DE ORIGEN

Cellano 1<sup>st</sup> turno

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA	
TIME: 15:17:26 DATE: 06/15/95	T2	TIME: 15:26:12 DATE: 06/15/95	T11	TIME: 15:32:16 DATE: 06/15/95	T2	TIME: 15:39:24 DATE: 06/15/95	T2
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 69.8 *AMBIENT TEMPERATURE: 28 STACK TEMPERATURE: 165 OXYGEN: 81.7 CARBON MONOXIDE: 14.4 COMBUSTIBLE GASES: 1.89 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.5 EXCESS AIR: 0 OXIDES OF NITROGEN: 177 PPM SULFUR DIOXIDE: 56 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.9 *AMBIENT TEMPERATURE: 29 STACK TEMPERATURE: 188 OXYGEN: 83.3 CARBON MONOXIDE: 58 PPM COMBUSTIBLE GASES: 6.83 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.4 EXCESS AIR: 18 OXIDES OF NITROGEN: 151 PPM SULFUR DIOXIDE: 58 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.2 *AMBIENT TEMPERATURE: 28 STACK TEMPERATURE: 163 OXYGEN: 82.6 CARBON MONOXIDE: 53 PPM COMBUSTIBLE GASES: 13.7 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.7 EXCESS AIR: 13 OXIDES OF NITROGEN: 201 PPM SULFUR DIOXIDE: 199 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.9 *AMBIENT TEMPERATURE: 31 STACK TEMPERATURE: 185 OXYGEN: 83.6 CARBON MONOXIDE: 53 PPM COMBUSTIBLE GASES: 13.8 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.4 EXCESS AIR: 15 OXIDES OF NITROGEN: 185 PPM SULFUR DIOXIDE: 189 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM	
MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX	

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA		FOR: GLAND DE MEXICOBA	
TIME: 15:44:55 DATE: 06/15/95	T2/H	TIME: 15:52:43 DATE: 06/15/95	T2/H	TIME: 12:12:30 DATE: 02/01/98	FH	TIME: 12:12:30 DATE: 02/01/98	FH
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 *AMBIENT TEMPERATURE: 31 STACK TEMPERATURE: 173 OXYGEN: 87.2 CARBON MONOXIDE: 47 CARBON DIOXIDE: 16.2 COMBUSTIBLE GASES: 6.83 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.6 EXCESS AIR: 58 OXIDES OF NITROGEN: 186 PPM SULFUR DIOXIDE: 148 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.9 *AMBIENT TEMPERATURE: 32 STACK TEMPERATURE: 189 OXYGEN: 83.1 CARBON MONOXIDE: 58 PPM COMBUSTIBLE GASES: 6.84 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.4 EXCESS AIR: 16 OXIDES OF NITROGEN: 191 PPM SULFUR DIOXIDE: 185 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 *AMBIENT TEMPERATURE: 29 STACK TEMPERATURE: 163 OXYGEN: 85.9 CARBON MONOXIDE: 17 PPM CARBON DIOXIDE: 13.3 COMBUSTIBLE GASES: 8.86 STACK DRAFT (INCHES H2O): - 6.8 EXCESS AIR: 0 OXIDES OF NITROGEN: 5 PPM SULFUR DIOXIDE: 22 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM		COMBUSTION EFFICIENCY: 86.6 *AMBIENT TEMPERATURE: 32 STACK TEMPERATURE: 181 OXYGEN: 84.1 CARBON MONOXIDE: 26.1 CARBON DIOXIDE: 16.1 COMBUSTIBLE GASES: 6.66 STACK DRAFT (INCHES H2O): - 6.8 EXCESS AIR: 0 OXIDES OF NITROGEN: 6 PPM SULFUR DIOXIDE: 6 PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	
MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX		MODE:PPM OXY_REF=TRUX	

FALLA DE ORIGEN

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD      ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD      ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD      ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAUD DE MEXICOSA	FOR: CLAUD DE MEXICOSA	FOR: CLAUD DE MEXICOSA	FOR: CLAUD DE MEXICOSA
TIME: 16:13:25	TIME: 16:22:55	TIME: 16:36:25	TIME: 16:49:58
DATE: 06/19/95	DATE: 06/19/95	DATE: 06/19/95	DATE: 06/19/95
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB
COMBUSTION EFFICIENCY: 86.4	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8
AMBIENT TEMPERATURE: 33	AMBIENT TEMPERATURE: 33	AMBIENT TEMPERATURE: 33	AMBIENT TEMPERATURE: 33
STACK TEMPERATURE: 177	STACK TEMPERATURE: 174	STACK TEMPERATURE: 176	STACK TEMPERATURE: 180
OXYGEN: 06.1	OXYGEN: 05.6	OXYGEN: 05.4	OXYGEN: 05.8
CARBON MONOXIDE: 32 PPM	CARBON MONOXIDE: 42 PPM	CARBON MONOXIDE: 50 PPM	CARBON MONOXIDE: 50 PPM
CARBON DIOXIDE: 11.1	CARBON DIOXIDE: 11.5	CARBON DIOXIDE: 11.5	CARBON DIOXIDE: 11.5
COMBUSTIBLE GASES: 0.83	COMBUSTIBLE GASES: 0.83	COMBUSTIBLE GASES: 0.83	COMBUSTIBLE GASES: 0.83
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.3	STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.2
EXCESS AIR: 38	EXCESS AIR: 34	EXCESS AIR: 33	EXCESS AIR: 29
OXIDES of NITROGEN: 150 PPM	OXIDES of NITROGEN: 150 PPM	OXIDES of NITROGEN: 195 PPM	OXIDES of NITROGEN: 198 PPM
SULFUR DIOXIDE: 127 PPM	SULFUR DIOXIDE: 142 PPM	SULFUR DIOXIDE: 158 PPM	SULFUR DIOXIDE: 158 PPM
CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM
MODE: PPM OXY_REF=TRUE	MODE: PPM OXY_REF=TRUE	MODE: PPM OXY_REF=TRUE	MODE: PPM OXY_REF=TRUE

FALLA DE ORIGEN



Caldera 1 1er turno Ajuste final		Caldera 1 1er turno Ajuste final		Caldera 1 1er turno Ajuste final		Caldera 1 1er turno Ajuste final	
ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA	
TIME: 10:13:20		TIME: 10:23:25	T2	TIME: 10:32:02	T2	TIME: 11:02:24	T2
DATE: 06/22/95	C	DATE: 06/22/95		DATE: 06/22/95		DATE: 06/22/95	
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 %	% COMBUSTION EFFICIENCY: 87.3 %	% COMBUSTION EFFICIENCY: 87.7 %	%	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 %	%	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 %	%
AMBIENT TEMPERATURE: 27 °C	* AMBIENT TEMPERATURE: 29 °C	* AMBIENT TEMPERATURE: 26 °C	*	* AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	*	* AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	*
STACK TEMPERATURE: 27 °C	* STACK TEMPERATURE: 160 °C	* STACK TEMPERATURE: 162 °C	*	* STACK TEMPERATURE: 162 °C	*	* STACK TEMPERATURE: 165 °C	*
OXYGEN: 28.5 %	% OXYGEN: 24.6 %	% OXYGEN: 23.9 %	%	% OXYGEN: 23.9 %	%	% OXYGEN: 23.9 %	%
CARBON MONOXIDE: 0 PPM	* CARBON MONOXIDE: 32 PPM	* CARBON MONOXIDE: 32 PPM	*	* CARBON MONOXIDE: 37 PPM	*	* CARBON MONOXIDE: 47 PPM	*
CARBON DIOXIDE: 86.1 %	% CARBON DIOXIDE: 12.2 %	% CARBON DIOXIDE: 12.7 %	%	% CARBON DIOXIDE: 12.5 %	%	% CARBON DIOXIDE: 12.5 %	%
COMBUSTIBLE GASES: 6.98 %	* COMBUSTIBLE GASES: 8.93 %	* COMBUSTIBLE GASES: 8.94 %	*	* COMBUSTIBLE GASES: 6.83 %	*	* COMBUSTIBLE GASES: 6.83 %	*
STACK DRAFT (INCHES H2O): - 8.8	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.5	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.7	*	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.6	*	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.6	*
EXCESS AIR: OVER	% EXCESS AIR: 27 %	% EXCESS AIR: 22 %	%	% EXCESS AIR: 21 %	%	% EXCESS AIR: 21 %	%
OXIDES OF NITROGEN: 0 PPM	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 284 PPM	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 281 PPM	*	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM	*	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM	*
SULFUR DIOXIDE: 0 PPM	* PPM SULFUR DIOXIDE: 63 PPM	* PPM SULFUR DIOXIDE: 63 PPM	*	* PPM SULFUR DIOXIDE: 124 PPM	*	* PPM SULFUR DIOXIDE: 124 PPM	*
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	*	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	*	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	*
MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	MODE:PPM OXY_REF=TRLEN		MODE:PPM OXY_REF=TRLEN		MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	

ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD		ENERAC MODEL 2000 COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA		FOR: CLAO DE MEXICOBA	
TIME: 11:28:01	T2	TIME: 10:37:24	T2	TIME: 11:07:32	T3/T4	TIME: 11:31:55	T4
DATE: 06/22/95		DATE: 06/22/95		DATE: 06/22/95		DATE: 06/22/95	
FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 BTU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 87.7 %	% COMBUSTION EFFICIENCY: 87.1 %	% COMBUSTION EFFICIENCY: 87.1 %	%	% COMBUSTION EFFICIENCY: 87.8 %	%	% COMBUSTION EFFICIENCY: 86.7 %	%
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	* AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	* AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	*	* AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C	*	* AMBIENT TEMPERATURE: 35 °C	*
STACK TEMPERATURE: 178 °C	* STACK TEMPERATURE: 160 °C	* STACK TEMPERATURE: 160 °C	*	* STACK TEMPERATURE: 171 °C	*	* STACK TEMPERATURE: 176 °C	*
OXYGEN: 23.8 %	% OXYGEN: 25.3 %	% OXYGEN: 25.3 %	%	% OXYGEN: 25.7 %	%	% OXYGEN: 25.3 %	%
CARBON MONOXIDE: 37 PPM	* CARBON MONOXIDE: 38 PPM	* CARBON MONOXIDE: 38 PPM	*	* CARBON MONOXIDE: 47 PPM	*	* CARBON MONOXIDE: 32 PPM	*
CARBON DIOXIDE: 13.4 %	% CARBON DIOXIDE: 11.7 %	% CARBON DIOXIDE: 11.7 %	%	% CARBON DIOXIDE: 11.4 %	%	% CARBON DIOXIDE: 11.7 %	%
COMBUSTIBLE GASES: 8.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 8.83 %	* COMBUSTIBLE GASES: 8.83 %	*	* COMBUSTIBLE GASES: 8.83 %	*	* COMBUSTIBLE GASES: 8.84 %	*
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.5	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.7	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.7	*	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.8	*	* STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.4	*
EXCESS AIR: 16 %	% EXCESS AIR: 32 %	% EXCESS AIR: 32 %	%	% EXCESS AIR: 35 %	%	% EXCESS AIR: 32 %	%
OXIDES OF NITROGEN: 182 PPM	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 198 PPM	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 198 PPM	*	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM	*	* PPM OXIDES OF NITROGEN: 197 PPM	*
SULFUR DIOXIDE: 123 PPM	* PPM SULFUR DIOXIDE: 121 PPM	* PPM SULFUR DIOXIDE: 121 PPM	*	* PPM SULFUR DIOXIDE: 110 PPM	*	* PPM SULFUR DIOXIDE: 118 PPM	*
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM	* CARBON MONOXIDE ALARM: 56 PPM	*	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	*	* CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM	*
MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	MODE:PPM OXY_REF=TRLEN		MODE:PPM OXY_REF=TRLEN		MODE:PPM OXY_REF=TRLEN	

FALLA DE ORIGEN



EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:28:37  
DATE: 05/02/95

TIME: 11:31:55  
DATE: 05/02/95

TIME: 11:34:33  
DATE: 05/02/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.2  
% AMBIENT TEMPERATURE: 38  
% STACK TEMPERATURE: 209  
% OXYGEN: 86.8  
% CARBON MONOXIDE: 88 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.2  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.83  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.8  
% EXCESS AIR: 37  
% OXIDES OF NITROGEN: 218 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 147 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.4  
% AMBIENT TEMPERATURE: 38  
% STACK TEMPERATURE: 203  
% OXYGEN: 86.2  
% CARBON MONOXIDE: 88 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.1  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.83  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.1  
% EXCESS AIR: 39  
% OXIDES OF NITROGEN: 211 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 147 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.3  
% AMBIENT TEMPERATURE: 38  
% STACK TEMPERATURE: 187  
% OXYGEN: 86.1  
% CARBON MONOXIDE: 88 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.1  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.33  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.2  
% EXCESS AIR: 38  
% OXIDES OF NITROGEN: 179 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 147 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

*Se volvió a ajustar la presión del combustible.*

Fuego Cojo  
EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

Fuego Cojo 5.7  
EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

Fuego Cojo 12:03  
EN ERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:36:14  
DATE: 05/02/95

TIME: 11:36:52  
DATE: 05/02/95

TIME: 12:03:33  
DATE: 05/02/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8  
% AMBIENT TEMPERATURE: 39  
% STACK TEMPERATURE: 179  
% OXYGEN: 85.8  
% CARBON MONOXIDE: 78 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.4  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.83  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.3  
% EXCESS AIR: 35  
% OXIDES OF NITROGEN: 158 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 147 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.8  
% AMBIENT TEMPERATURE: 38  
% STACK TEMPERATURE: 177  
% OXYGEN: 85.7  
% CARBON MONOXIDE: 70 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.4  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.83  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.2  
% EXCESS AIR: 35  
% OXIDES OF NITROGEN: 158 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 147 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.2  
% AMBIENT TEMPERATURE: 48  
% STACK TEMPERATURE: 177  
% OXYGEN: 85.2  
% CARBON MONOXIDE: 88 PPM  
% CARBON DIOXIDE: 11.8  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.83  
% STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.4  
% EXCESS AIR: 31  
% OXIDES OF NITROGEN: 165 PPM  
% SULFUR DIOXIDE: 161 PPM  
% CARBON MONOXIDE ALARM: 488 PPM

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

MODE: PPM OXY\_REF=TRUEX

FALLA DE ORIGEN

3 mayo 2000 2:00  
ENERAL CODE 2000  
DIPLOM TEST

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 12:37:53  
DATE: 05/02/95

FUEL #2 OIL: 19366 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY:	85.6%	%
WATER TEMPERATURE:	48.7	°C
TACK TEMPERATURE:	236	°C
OXYGEN:	86.2	%
ARGON MONOXIDE:	87	PPM
ARGON DIOXIDE:	11.1	%
COMBUSTIBLE GASES:	0.30	%
TACK DRAFT (INCHES H2O):	+ 0.1	
EXCESS AIR:	39.2	%
LEVELS of NITROGEN:	224	PPM
HEFLUOR DIOXIDE:	158	PPM
ARGON MONOXIDE ALARM:	488	PPM

JDE:PPM OXY\_REF=TRUEX

Antes de la lectura de las 12:03 se volvió a ajustar la presión de la reguladora.

Esto ayudo a  $\downarrow$   $\uparrow$  O<sub>2</sub>.

sin embargo tenemos todavia un exceso de O<sub>2</sub>. Esto genera  $\uparrow$  NO<sub>x</sub>.

Lo que se va a hacer el 3/11/95 a las 6:00am es cerrar un poco el compuerto de aire para así  $\downarrow$  NO<sub>x</sub> y  $\uparrow$  Eff.

Este proceso ayudara a disminuir el NO<sub>x</sub> en los fuegos medio-medio alto y alto y a aumentar la Eff.

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

*Cojo*  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:21:41  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 69.4 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 31 °C  
 STACK TEMPERATURE: 167 °C  
 OXYGEN: 04.6 %  
 CARBON MONOXIDE: 753 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 12.3 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 1.57 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.6  
 EXCESS AIR: 26 %  
 OXIDES of NITROGEN: 124 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 134 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:30:36  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.1 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
 STACK TEMPERATURE: 207 °C  
 OXYGEN: 05.7 %  
 CARBON MONOXIDE: 69 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.4 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8  
 EXCESS AIR: 35 %  
 OXIDES of NITROGEN: 229 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 129 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*Alto*  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:08:24  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.6 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C  
 STACK TEMPERATURE: 202 °C  
 OXYGEN: 05.9 %  
 CARBON MONOXIDE: 60 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.3 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.80 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.5  
 EXCESS AIR: 36 %  
 OXIDES of NITROGEN: 229 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 135 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:43:44  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.6 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
 STACK TEMPERATURE: 200 °C  
 OXYGEN: 05.7 %  
 CARBON MONOXIDE: 68 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.5 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8  
 EXCESS AIR: 34 %  
 OXIDES of NITROGEN: 222 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 126 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*Alto*  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:18:49  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.2 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
 STACK TEMPERATURE: 205 °C  
 OXYGEN: 05.8 %  
 CARBON MONOXIDE: 63 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.3 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.7  
 EXCESS AIR: 36 %  
 OXIDES of NITROGEN: 228 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 129 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX  
**ENERAC MODEL 2000**  
 COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:03:41  
 DATE: 05/03/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 67.3 %  
 AMBIENT TEMPERATURE: 34 °C  
 STACK TEMPERATURE: 165 °C  
 OXYGEN: 05.2 %  
 CARBON MONOXIDE: 62 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.8 %  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.84 %  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.1  
 EXCESS AIR: 31 %  
 OXIDES of NITROGEN: 166 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 131 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*Boic*  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:14:14  
DATE: 05/05/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C  
STACK TEMPERATURE: 174 °C  
OXYGEN: 65.1 %  
CARBON MONOXIDE: 71 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.9 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.9  
EXCESS AIR: 30 %  
OXIDES of NITROGEN: 159 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 162 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*Alto*  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR:

TIME: 11:20:52  
DATE: 05/05/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.1 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C  
STACK TEMPERATURE: 214 °C  
OXYGEN: 65.1 %  
CARBON MONOXIDE: 69 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.8 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8  
EXCESS AIR: 30 %  
OXIDES of NITROGEN: 237 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 159 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*adlc*  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:27:24  
DATE: 05/05/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.4 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 32 °C  
STACK TEMPERATURE: 289 °C  
OXYGEN: 65.1 %  
CARBON MONOXIDE: 60 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.9 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 0.8  
EXCESS AIR: 30 %  
OXIDES of NITROGEN: 231 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 159 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*m/Boic*  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:38:30  
DATE: 05/05/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.2 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 171 °C  
OXYGEN: 64.8 %  
CARBON MONOXIDE: 65 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.1 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.2  
EXCESS AIR: 27 %  
OXIDES of NITROGEN: 160 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 158 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

*Alto*  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:41:53  
DATE: 05/05/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.2 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 211 °C  
OXYGEN: 65.3 %  
CARBON MONOXIDE: 60 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.7 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.1  
EXCESS AIR: 31 %  
OXIDES of NITROGEN: 239 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 155 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 50 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

FALLA DE ORIGEN

E. ER. 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA *Fisco Mado*

TIME: 11:24:34  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.6 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 33.6 °C  
STACK TEMPERATURE: 205.1 °C  
OXYGEN: 85.1 % \*  
CARBON MONOXIDE: 78 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.9 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.27  
EXCESS AIR: 38.6 %  
OXIDES OF NITROGEN: 226 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 158 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

LET C 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA *Fisco alto*

TIME: 11:24:34  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 84.2 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 34.0 °C  
STACK TEMPERATURE: 213.0 °C  
OXYGEN: 81.8 % \*  
CARBON MONOXIDE: 365 PPM  
CARBON DIOXIDE: 14.3 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.27 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.37  
EXCESS AIR: 58.2 %  
OXIDES OF NITROGEN: 182 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 169 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

ENERGAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA *F B*

TIME: 11:29:15  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.7 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 34.0 °C  
STACK TEMPERATURE: 176.0 °C  
OXYGEN: 86.8 % \*  
CARBON MONOXIDE: 68 PPM  
CARBON DIOXIDE: 11.2 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.57  
EXCESS AIR: 37.8 %  
OXIDES OF NITROGEN: 176 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 143 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

ENERGAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

TIME: 11:33:27  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 34.0 °C  
STACK TEMPERATURE: 212.0 °C  
OXYGEN: 82.0 % \*  
CARBON MONOXIDE: 168 PPM  
CARBON DIOXIDE: 14.3 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.18 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.43  
EXCESS AIR: 116.0 %  
OXIDES OF NITROGEN: 188 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 176 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

ENERGAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

TIME: 11:48:22  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.7 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 34.0 °C  
STACK TEMPERATURE: 175.0 °C  
OXYGEN: 84.6 % \*  
CARBON MONOXIDE: 416 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.2 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.16 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.87  
EXCESS AIR: 27.0 %  
OXIDES OF NITROGEN: 157 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 155 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

ENERGAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

TIME: 11:52:01  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.4 % \*  
AMBIENT TEMPERATURE: 35.0 °C  
STACK TEMPERATURE: 210.0 °C  
OXYGEN: 82.6 % \*  
CARBON MONOXIDE: 91 PPM  
CARBON DIOXIDE: 13.8 % \*  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 % \*  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.81  
EXCESS AIR: 131.0 %  
OXIDES OF NITROGEN: 196 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 175 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE: PPM ONLY REF-TRUCK

FALLA DE ORIGEN

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:04:23  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 88.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 27 °C  
STACK TEMPERATURE: 27 °C  
OXYGEN: 21.8 %  
CARBON MONOXIDE: 8 PPM  
CARBON DIOXIDE: 88.1 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.88 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.0  
EXCESS AIR: OVER  
OXIDES of NITROGEN: 8 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 8 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:13:15 F. Ego  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.2 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 29 °C  
STACK TEMPERATURE: 176 °C  
OXYGEN: 88.7 %  
CARBON MONOXIDE: 34 PPM  
CARBON DIOXIDE: 89.2 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.88 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.5  
EXCESS AIR: 66 %  
OXIDES of NITROGEN: 179 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 118 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:21:15 F. Tieso  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.3 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 38 °C  
STACK TEMPERATURE: 283 °C  
OXYGEN: 83.1 %  
CARBON MONOXIDE: 66 PPM  
CARBON DIOXIDE: 13.3 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.84 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 8.6  
EXCESS AIR: 16 %  
OXIDES of NITROGEN: 199 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 174 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:29:39 Fuego AHC  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 77.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 31 °C  
STACK TEMPERATURE: 289 °C  
OXYGEN: 81.4 %  
CARBON MONOXIDE: 1491 PPM  
CARBON DIOXIDE: 14.6 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.94 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 6.7  
EXCESS AIR: 7 %  
OXIDES of NITROGEN: 173 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 166 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 18:57:52 F. alto  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 82.4 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 214 °C  
OXYGEN: 81.44 %  
CARBON MONOXIDE: 1816 PPM  
CARBON DIOXIDE: 14.6 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.46 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.1  
EXCESS AIR: 7 %  
OXIDES of NITROGEN: 177 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 166 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

**ENERAC MODEL 2000**  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: GLAXO DE MEXICOSA

TIME: 11:08:00 F. alto  
DATE: 06/01/95

FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 83.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 215 °C  
OXYGEN: 81.5 %  
CARBON MONOXIDE: 938 PPM  
CARBON DIOXIDE: 14.5 %  
COMBUSTIBLE GASES: 8.39 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): + 1.1  
EXCESS AIR: 7 %  
OXIDES of NITROGEN: 176 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 178 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM

MODE:PPM OXY\_REF=TRUEX

FAULA DE ORIGEN



GENERAC 2000  
 COMBUSTION TEST RECORD  
 FOR: GLAXO DE MEXICOSA  
 TIME: 12:03:00 FB  
 DATE: 06/01/95  
 FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
 COMBUSTION EFFICIENCY: 87.5% X  
 AMBIENT TEMPERATURE: 35 °C  
 STACK TEMPERATURE: 165 °C  
 OXYGEN: 86.2% X  
 CARBON MONOXIDE: 52 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.0% X  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83% X  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.22  
 EXCESS AIR: 48% X  
 OXIDES OF NITROGEN: 168 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 149 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
 MODE: PPM OXY\_REF-TRUEN

GENERAC 2000  
 COMBUSTION TEST RECORD  
 FOR: GLAXO DE MEXICOSA  
 TIME: 12:14:54 FA  
 DATE: 06/01/95  
 FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
 COMBUSTION EFFICIENCY: 86.1% X  
 AMBIENT TEMPERATURE: 35 °C  
 STACK TEMPERATURE: 212 °C  
 OXYGEN: 83.1% X  
 CARBON MONOXIDE: 70 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 13.1% X  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.8% X  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.82  
 EXCESS AIR: 12% X  
 OXIDES OF NITROGEN: 218 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 151 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
 MODE: PPM OXY\_REF-TRUEN

GENERAC 2000  
 COMBUSTION TEST RECORD  
 FOR: GLAXO DE MEXICOSA  
 TIME: 12:21:47 FB  
 DATE: 06/01/95  
 FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
 COMBUSTION EFFICIENCY: 85.7% X  
 AMBIENT TEMPERATURE: 35 °C  
 STACK TEMPERATURE: 173 °C  
 OXYGEN: 86.3% X  
 CARBON MONOXIDE: 52 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.8% X  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83% X  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.81  
 EXCESS AIR: 48% X  
 OXIDES OF NITROGEN: 173 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 151 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
 MODE: PPM OXY\_REF-TRUEN

GENERAC 2000  
 COMBUSTION TEST RECORD  
 FOR: GLAXO DE MEXICOSA  
 TIME: 12:38:10 FB  
 DATE: 06/01/95  
 FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
 COMBUSTION EFFICIENCY: 86.9% X  
 AMBIENT TEMPERATURE: 35 °C  
 STACK TEMPERATURE: 172 °C  
 OXYGEN: 85.7% X  
 CARBON MONOXIDE: 60 PPM  
 CARBON DIOXIDE: 11.4% X  
 COMBUSTIBLE GASES: 0.83% X  
 STACK DRAFT (INCHES H2O): + 2.12  
 EXCESS AIR: 35% X  
 OXIDES OF NITROGEN: 161 PPM  
 SULFUR DIOXIDE: 154 PPM  
 CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
 MODE: PPM OXY\_REF-TRUEN

FALLA DE ORIGEN

Colonia P 1<sup>er</sup> plano Ajuste  
ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:24:46  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.2 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 29 °C  
STACK TEMPERATURE: 163 °C  
OXYGEN: 84.6 %  
CARBON MONOXIDE: 185 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.2 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.96 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.5  
EXCESS AIR: 26 %  
OXIDES OF NITROGEN: 168 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 177 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:24:50  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 31 °C  
STACK TEMPERATURE: 209 °C  
OXYGEN: 83.2 %  
CARBON MONOXIDE: 12.8 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.9  
EXCESS AIR: 21 %  
OXIDES OF NITROGEN: 227 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 178 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:56:23  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 84.3 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 230 °C  
OXYGEN: 83.6 %  
CARBON MONOXIDE: 13.8 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 1.5  
EXCESS AIR: 19 %  
OXIDES OF NITROGEN: 221 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 185 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:52:52  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 287 °C  
OXYGEN: 84.8 %  
CARBON MONOXIDE: 68 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.7 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 1.6  
EXCESS AIR: 23 %  
OXIDES OF NITROGEN: 176 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 183 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:52:56  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.9 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 283 °C  
OXYGEN: 84.7 %  
CARBON MONOXIDE: 58 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.5 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 1.6  
EXCESS AIR: 21 %  
OXIDES OF NITROGEN: 220 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 176 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

ENERAC MODEL 2000  
COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAVO DE MEXICO

TIME: 18:52:55  
DATE: 06/02/95

FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.4 %  
AMBIENT TEMPERATURE: 33 °C  
STACK TEMPERATURE: 283 °C  
OXYGEN: 84.9 %  
CARBON MONOXIDE: 58 PPM  
CARBON DIOXIDE: 12.8 %  
COMBUSTIBLE GASES: 0.83 %  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 1.7  
EXCESS AIR: 23 %  
OXIDES OF NITROGEN: 179 PPM  
SULFUR DIOXIDE: 178 PPM  
CARBON MONOXIDE ALARM: 58 PPM  
MODE: PPM DRY\_REF=TRUCK

FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000	
OPERATION LOG		OPERATION LOG		OPERATION LOG	
FOR: CLARO DE MEXICO		FOR: CLARO DE MEXICO		FOR: CLARO DE MEXICO	
TIME: 11:26:34	DATE: 06/02/95	TIME: 11:29:31	DATE: 06/02/95	TIME: 11:43:25	DATE: 06/02/95
FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 88.8	APBSENT TEMPERATURE: 34	COMBUSTION EFFICIENCY: 88.0	APBSENT TEMPERATURE: 34	COMBUSTION EFFICIENCY: 85.1	APBSENT TEMPERATURE: 35
STACK TEMPERATURE: 34	STACK TEMPERATURE: 34	STACK TEMPERATURE: 34	STACK TEMPERATURE: 34	STACK TEMPERATURE: 167	STACK TEMPERATURE: 167
OWNGEN: 16.3	OWNGEN: 21.8	OWNGEN: 0	OWNGEN: 0	OWNGEN: 63.7	OWNGEN: 63.7
CARBON MONOXIDE: 12	CARBON MONOXIDE: 0	CARBON MONOXIDE: 0	CARBON MONOXIDE: 0	CARBON MONOXIDE: 61.2	CARBON MONOXIDE: 61.2
CARBON DIOXIDE: 0.88	CARBON DIOXIDE: 0.88	CARBON DIOXIDE: 0.88	CARBON DIOXIDE: 0.88	CARBON DIOXIDE: 12.9	CARBON DIOXIDE: 12.9
COMBUSTIBLE GASES: 0.88	COMBUSTIBLE GASES: 0.88	COMBUSTIBLE GASES: 0.88	COMBUSTIBLE GASES: 0.88	COMBUSTIBLE GASES: 0.29	COMBUSTIBLE GASES: 0.29
STACK DRAFT (INCHES H2O): - 8.0	STACK DRAFT (INCHES H2O): - 8.0	STACK DRAFT (INCHES H2O): - 8.0	STACK DRAFT (INCHES H2O): - 8.0	STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.1	STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.1
EXCESS AIR: 0V22	EXCESS AIR: 0	EXCESS AIR: 0	EXCESS AIR: 0	EXCESS AIR: 26	EXCESS AIR: 26
OXIDES OF NITROGEN: 18	OXIDES OF NITROGEN: 0	OXIDES OF NITROGEN: 0	OXIDES OF NITROGEN: 0	OXIDES OF NITROGEN: 152	OXIDES OF NITROGEN: 152
SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58
CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58
MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK

*de color de arena de la ch breasted por lo que se usó de la chimenea de los muestros y se valió a autoajustar o. ano h. veces.*

*Tengo hoy No es soluble lo setol.*

ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000	
OPERATION LOG		OPERATION LOG		OPERATION LOG	
FOR: CLARO DE MEXICO		FOR: CLARO DE MEXICO		FOR: CLARO DE MEXICO	
TIME: 11:44:48	DATE: 06/02/95	TIME: 11:55:35	DATE: 06/02/95	TIME: 11:59:29	DATE: 06/02/95
FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 87.8	APBSENT TEMPERATURE: 35	COMBUSTION EFFICIENCY: 87.8	APBSENT TEMPERATURE: 35	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.6	APBSENT TEMPERATURE: 26
STACK TEMPERATURE: 168	STACK TEMPERATURE: 168	STACK TEMPERATURE: 168	STACK TEMPERATURE: 168	STACK TEMPERATURE: 62	STACK TEMPERATURE: 62
OWNGEN: 64.5	OWNGEN: 64.5	OWNGEN: 64.5	OWNGEN: 64.5	OWNGEN: 25.3	OWNGEN: 25.3
CARBON MONOXIDE: 68	CARBON MONOXIDE: 68	CARBON MONOXIDE: 68	CARBON MONOXIDE: 68	CARBON MONOXIDE: 27.2	CARBON MONOXIDE: 27.2
CARBON DIOXIDE: 12.3	CARBON DIOXIDE: 12.3	CARBON DIOXIDE: 12.3	CARBON DIOXIDE: 12.3	CARBON DIOXIDE: 11.7	CARBON DIOXIDE: 11.7
COMBUSTIBLE GASES: 0.84	COMBUSTIBLE GASES: 0.84	COMBUSTIBLE GASES: 0.84	COMBUSTIBLE GASES: 0.84	COMBUSTIBLE GASES: 0.28	COMBUSTIBLE GASES: 0.28
STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): 2.4	STACK DRAFT (INCHES H2O): - 2.2	STACK DRAFT (INCHES H2O): - 2.2
EXCESS AIR: 26	EXCESS AIR: 26	EXCESS AIR: 26	EXCESS AIR: 26	EXCESS AIR: 32	EXCESS AIR: 32
OXIDES OF NITROGEN: 152	OXIDES OF NITROGEN: 152	OXIDES OF NITROGEN: 152	OXIDES OF NITROGEN: 152	OXIDES OF NITROGEN: 225	OXIDES OF NITROGEN: 225
SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 58	SULFUR DIOXIDE: 0.27	SULFUR DIOXIDE: 0.27
CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	CARBON MONOXIDE ALARM: 58
MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK	MODE:PPH ONLY-REF-TRUCK

*Tengo hoy No es soluble lo setol.*

*Tengo hoy se estabilizó lo and. Este en condiciones de uso sea lo parados se tengo hoy.*

ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000	
COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO	
TIME: 08:55:55	08/87/95	TIME: 11:27:03	08/87/95	TIME: 11:29:59	08/87/95	TIME: 08:59:26	08/87/95
DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95	
FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 86.1	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.0	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.0	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 87.2	%
AMBIENT TEMPERATURE: 33	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 35	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 35	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 27	°C
STACK TEMPERATURE: 289	°C	STACK TEMPERATURE: 33	°C	STACK TEMPERATURE: 33	°C	STACK TEMPERATURE: 185	°C
OVEN: 82.9	%OVEN	OVEN: 10.9	%OVEN	OVEN: 21.8	%OVEN	OVEN: 82.2	%
CARBON MONOXIDE: 81	PPM	CARBON MONOXIDE: 15	PPM	CARBON MONOXIDE: 6	PPM	CARBON MONOXIDE: 48	PPM
CARBON DIOXIDE: 13.6	%	CARBON DIOXIDE: 86.1	%	CARBON DIOXIDE: 86.1	%	CARBON DIOXIDE: 13.3	%
COMBUSTIBLE GASES: 8.85	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.86	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.86	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.86	%
STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.5	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.6	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.2	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.4	"
EXCESS AIR: 15	%	EXCESS AIR: 0	%	EXCESS AIR: 0	%	EXCESS AIR: 17	%
OXIDES OF NITROGEN: 218	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 5	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 8	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 213	PPM
SULFUR DIOXIDE: 182	PPM	SULFUR DIOXIDE: 16	PPM	SULFUR DIOXIDE: 8	PPM	SULFUR DIOXIDE: 33	PPM
CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM
MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE	

ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000		ENERAC MODEL 2000	
COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD		COMBUSTION TEST RECORD	
FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO		FOR: CLAMO DE MEXICO	
TIME: 08:55:18	08/87/95	TIME: 09:38:23	08/87/95	TIME: 09:25:45	08/87/95	TIME: 08:18:32	08/87/95
DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95		DATE: 08/87/95	
FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB		FUEL #2 OIL: 19368 STU/LB	
COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.6	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.0	%	COMBUSTION EFFICIENCY: 86.8	%
AMBIENT TEMPERATURE: 32	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 32	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 32	°C	AMBIENT TEMPERATURE: 29	°C
STACK TEMPERATURE: 184	°C	STACK TEMPERATURE: 184	°C	STACK TEMPERATURE: 182	°C	STACK TEMPERATURE: 179	°C
OVEN: 83.6	%OVEN	OVEN: 83.4	%OVEN	OVEN: 83.9	%OVEN	OVEN: 84.1	%
CARBON MONOXIDE: 58	PPM	CARBON MONOXIDE: 61	PPM	CARBON MONOXIDE: 62	PPM	CARBON MONOXIDE: 66	PPM
CARBON DIOXIDE: 13.8	%	CARBON DIOXIDE: 13.2	%	CARBON DIOXIDE: 12.8	%	CARBON DIOXIDE: 12.6	%
COMBUSTIBLE GASES: 8.84	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.86	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.85	%	COMBUSTIBLE GASES: 8.84	%
STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.5	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.5	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.6	"	STACK DRAWT (INCHES H2O): 8.6	"
EXCESS AIR: 19	%	EXCESS AIR: 18	%	EXCESS AIR: 21	%	EXCESS AIR: 23	%
OXIDES OF NITROGEN: 216	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 212	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 212	PPM	OXIDES OF NITROGEN: 212	PPM
SULFUR DIOXIDE: 182	PPM	SULFUR DIOXIDE: 184	PPM	SULFUR DIOXIDE: 182	PPM	SULFUR DIOXIDE: 179	PPM
CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM	CARBON MONOXIDE ALARM: 58	PPM
MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE		MODE:PPM ONY_REF=TRUE	

FALLA DE ORIGEN

Calles 8 y 14 Avda Agosto 06/JUN/95

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENE

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

TIME: 13:54:41  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 11:34:15  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 13:31:58  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 18:46:32  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 80.8  
% AMBIENT TEMPERATURE: 26  
% STACK TEMPERATURE: 21.8  
% OXYGEN: 21.8  
PPM CARBON MONOXIDE: 80.1  
PPM CARBON DIOXIDE: 0.80  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.0  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.0  
DRAWS AIR: OVER  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 0.0  
PPM SULFUR DIOXIDE: 0.0  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 0.0  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 87.1  
% AMBIENT TEMPERATURE: 35  
% STACK TEMPERATURE: 174  
% OXYGEN: 84.8  
PPM CARBON MONOXIDE: 44  
PPM CARBON DIOXIDE: 12.1  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.8  
DRAWS AIR: 29  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 162  
PPM SULFUR DIOXIDE: 189  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 84.7  
% AMBIENT TEMPERATURE: 31  
% STACK TEMPERATURE: 177  
% OXYGEN: 83.6  
PPM CARBON MONOXIDE: 216  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.0  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.27  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.5  
DRAWS AIR: 19  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 177  
PPM SULFUR DIOXIDE: 162  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 85.3  
% AMBIENT TEMPERATURE: 32  
% STACK TEMPERATURE: 176  
% OXYGEN: 83.7  
PPM CARBON MONOXIDE: 135  
PPM CARBON DIOXIDE: 12.9  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.13  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.7  
DRAWS AIR: 20  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 180  
PPM SULFUR DIOXIDE: 181  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

ENE  
COMBUSTION TEST RECORD  
FOR: CLAO DE MEXICOSEA  
TIME: 0  
DATE: 0  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
COMBUSTION EFFICIENCY: 85.3  
% AMBIENT TEMPERATURE: 32  
% STACK TEMPERATURE: 176  
% OXYGEN: 83.7  
PPM CARBON MONOXIDE: 135  
PPM CARBON DIOXIDE: 12.9  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.13  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.7  
DRAWS AIR: 20  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 180  
PPM SULFUR DIOXIDE: 181  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

FALLA DE ORIGEN

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENERAC MODEL 2000

ENE

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

COMBUSTION TEST RECORD

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

FOR: CLAO DE MEXICOSEA

TIME: 13:22:49  
DATE: 06/26/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 18:31:32  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 18:44:12  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

TIME: 13:35:18  
DATE: 06/06/95  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

ENE  
COMBUSTION TEST RECORD  
FOR: CLAO DE MEXICOSEA  
TIME: 0  
DATE: 0  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.2  
% AMBIENT TEMPERATURE: 26  
% STACK TEMPERATURE: 203  
% OXYGEN: 83.3  
PPM CARBON MONOXIDE: 42  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.2  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.4  
DRAWS AIR: 18  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 217  
PPM SULFUR DIOXIDE: 182  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 56  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.6  
% AMBIENT TEMPERATURE: 33  
% STACK TEMPERATURE: 193  
% OXYGEN: 80.3  
PPM CARBON MONOXIDE: 79  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.2  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.6  
DRAWS AIR: 18  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 212  
PPM SULFUR DIOXIDE: 183  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 86.2  
% AMBIENT TEMPERATURE: 32  
% STACK TEMPERATURE: 204  
% OXYGEN: 83.2  
PPM CARBON MONOXIDE: 63  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.3  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.5  
DRAWS AIR: 17  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 196  
PPM SULFUR DIOXIDE: 183  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

COMBUSTION EFFICIENCY: 96.4  
% AMBIENT TEMPERATURE: 31  
% STACK TEMPERATURE: 203  
% OXYGEN: 82.8  
PPM CARBON MONOXIDE: 63  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.6  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.4  
DRAWS AIR: 15  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 206  
PPM SULFUR DIOXIDE: 183  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE

ENE  
COMBUSTION TEST RECORD  
FOR: CLAO DE MEXICOSEA  
TIME: 0  
DATE: 0  
FUEL #2 OIL: 19360 BTU/LB  
COMBUSTION EFFICIENCY: 96.4  
% AMBIENT TEMPERATURE: 31  
% STACK TEMPERATURE: 203  
% OXYGEN: 82.8  
PPM CARBON MONOXIDE: 63  
PPM CARBON DIOXIDE: 13.6  
% COMBUSTIBLE GASES: 0.84  
STACK DRAFT (INCHES H2O): 0.4  
DRAWS AIR: 15  
PPM OXIDES OF NITROGEN: 206  
PPM SULFUR DIOXIDE: 183  
PPM CARBON MONOXIDE ALARM: 59  
MODE: PPM ONLY, REF=TRUE