

## 1. INTRODUCCIÓN

La Central Térmica Guangopolo, propiedad de Termopichincha, como residuo de su actividad genera contaminantes a la atmosféricos. El marco jurídico que rige a esta Central es el especificado en las regulaciones ambientales emitidas por la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito. Todos los parámetros de control están bajo los límites máximos permitidos, excepto los óxidos de nitrógeno (NOx). Esto se debe a que la tecnología con que fueron construidos los seis generadores es muy antigua (1975), y en esa época no se empleaban criterios ambientales en el diseño y construcción de estos equipos.

Termopichincha es una empresa comprometida con el cuidado y la preservación del medio ambiente, consciente de la necesidad de actuar dentro de políticas de desarrollo sustentable. Por ello que está dispuesta a invertir sus recursos en mitigar este problema, o encontrar una alternativa limpia a los procesos de producción.

Lamentablemente es poca o nula la experiencia en el país para tratar de disminuir la contaminación atmosférica. Es por ello que este estudio de tesis pretende encontrar la alternativa más viable para lograr una reducción significativa de NOx, que a más de solucionar el problema de la Compañía, deje sentado un precedente para que otras empresas se vean obligadas a tomar este tipo de medidas.

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son contribuyentes de algunos fenómenos nocivos como la lluvia ácida, generación de ozono en la tropósfera, smog fotoquímico y la eutroficación en las zonas costeras. Produce también afectaciones a la salud de los seres humanos ya que predispone al organismo para contraer diferentes infecciones respiratorias.

En base a un análisis de los factores que provocan la formación de NO<sub>x</sub>, se espera identificar una alternativa tecnológica y económicamente viable para la Central Térmica Guangopolo, que permita resolver su situación actual y pase de ser una entidad contaminante a la primera empresa que ha establecido como una de sus metas principales, la disminución de las emisiones de óxidos de nitrógeno, contribuyendo de esta manera a mejorar el ambiente laboral de sus empleados y de la comunidad, buscando alcanzar un equilibrio entre el desarrollo y la preservación de la naturaleza.

## 2. DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL TERMOELÉTRICA

### GUANGOPOLO

#### 2.1 INSTALACIONES

La Central Térmica Guangopolo está constituida por los siguientes elementos:

##### **Balanza para pesaje de tanqueros**

El departamento de bodega de la central realiza las actividades de control de ingreso de combustible mediante la medición del peso (Kg) de tanqueros llenos, y de los mismos vacíos cuando han descargado todo el combustible. Para este efecto cuenta con una balanza (**Fig.1**), misma que ha sido calibrada por personal técnico del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), y se mantiene en las mejores condiciones de mantenimiento.



**FIGURA No. 1**  
**TANQUERO EN BALANZA DE PESAJE**

## **Bodegas**

Se dispone de varias instalaciones de bodega, como se anota a continuación: una bodega general de repuestos y equipos para mantenimiento que está ubicada en el exterior de la casa de máquinas, una bodega cerrada para productos químicos, una bodega abierta para el almacenamiento de tubos, repuestos usados y de mayor volumen; una bodega de muebles y una bodega cerrada para productos en general.

## **Casa de Máquinas**

La casa de máquinas tiene seis grupos electrogeneradores de 5200 kW cada uno. Los grupos están constituidos por motores de combustión interna de la capacidad indicada y se dispone de un sistema de aire comprimido para el arranque de los mismos; cada motor está acoplado directamente al eje de un generador para la producción de energía eléctrica. Para uso general o individualizado de cada uno de los grupos electrogeneradores existen diferentes servicios auxiliares eléctricos y mecánicos, que permiten una operación eficiente.

En este esquema de servicios auxiliares, se dispone de equipo de refrigeración de las diferentes partes de cada motor, que funciona con agua desmineralizada para el enfriamiento de cilindros, válvulas de escape y válvulas de inyección de combustible; para enfriar el aceite lubricante del motor, el agua del cilindro y también las válvulas de combustible se utiliza agua clarificada, producto de procesamiento respectivo. El agua clarificada a su vez, se enfría a través de la torre de enfriamiento.

El combustible y los aceites lubricantes se calientan por medio de vapor de acuerdo a lo que se describe más adelante.

En el segundo piso de la casa de máquinas está ubicada la sala de control (**Fig. 2**) desde la cual se controla toda la instalación de generación y también la transferencia de energía eléctrica a la subestación Vicentina. En ese mismo nivel están las oficinas de la Vicepresidencia Técnica, Proyectos, Gestión Ambiental, Producción, Operación y Mantenimiento.



**FIGURA No. 2**  
**SALA DE CONTROL**

En la terraza de esta casa de máquinas sobresalen las chimeneas (**Fig. 3**) que tiene una forma cilíndrica con un diámetro de 76 cm y con una altura de 18 m.



**FIGURA No. 3**  
**CHIMENEAS**

### **Lavado de Filtros**

El cuarto de lavado de filtros esta adjunto a la central, es aquí en donde se realiza el lavado de los filtros de aceites lubricantes, tuberías de drenaje de residuos de combustibles, e intercambiadores de calor de combustibles y lubricantes, mediante el uso de diesel y vapor de agua.

### **Tratamiento de Agua**

La Central Térmica se abastece de agua cruda para su funcionamiento, a partir de esta se realizan tratamientos físicos y químicos para obtener un agua que cumpla con los requerimientos de calidad establecidos para su empleo durante la generación.

### **Tratamiento de Combustible**

Durante la operación de la central, en el cuarto de combustibles se realizan las operaciones de purificación de los combustibles, es decir se extraen asfaltenos y agua previo a su ingreso para la combustión en los motores.

### **Estructura para la toma de Agua Cruda**

La toma de agua cruda junto al reservorio de la Empresa Eléctrica Quito está construida en hormigón armada con el equipo electromecánico necesario para enviar el agua captada al estanque de tratamiento anexo a la casa de máquinas.

### **Laboratorio**

La Central Guangopolo cuenta con un laboratorio (**Fig. 4**) para efectuar pruebas físico-químicas de combustibles, aceites y aguas, relativas a los procesos que se cumplen en la planta.



**FIGURA No. 4**  
**LABORATORIO QUÍMICO**

### **Subestación Eléctrica**

Para evacuar la energía que se produce en la planta generadora, se dispone de una subestación eléctrica (**Fig. 5**) que contiene dos transformadores de 25 MVA cada uno, los cuales elevan el voltaje de generación de las máquinas de 6,6 kV a 138 kV, que es el voltaje del patio de maniobras donde existe una salida para la línea de transmisión, que se dirige a la subestación Vicentina del Sistema Nacional Interconectado. En el

mismo patio de la subestación se han ubicado 2 transformadores de 500 KVA, que proveen de energía a los servicios auxiliares. Todos estos transformadores están aislados con aceites dieléctricos de origen nafténico, es decir no contienen bifenilos policlorados.



**FIGURA No. 5**  
**SUBESTACIÓN ELÉCTRICA**

### **Tanques de Cieno**

Como residuo de las operaciones generación, mantenimiento y limpieza en la central, se obtiene un producto llamado cieno, el mismo que contiene una mezcla de combustibles y aceites lubricantes que por sus condiciones físicas y químicas no se pueden utilizar en las operaciones de la Central. Estos residuos se almacenan en tanques especiales bajo todas las condiciones de seguridad. Se dispone de tres tanques: de 50.000 gal, 3.000 gal y otro de 1.700 gal. El cieno es entregado al la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente.

### **Tanques de Aceites**

Existen dos tanques de almacenamiento de aceite Shell de 5000 gal. De capacidad cada uno. Texaco dispone de 2 tanques (**Fig. 6**) de 4500 gal

cada uno. Estos tanques se encuentran debidamente señalizados y con las medidas de protección del caso.



**FIGURA No. 6**  
**TANQUE DE ALMACENAMIENTO**  
**DE ACEITE TEXACO**

### **Tanques de Combustibles**

Hay dos tanques de almacenamiento de crudo residual de 400000 galones cada uno y dos de diesel de 100000 galones cada uno. Estos tanques están ubicados a 200 m de la casa de máquinas y están dentro de diques de hormigón. En este sitio se tiene las bombas de recepción y transferencia de combustible.

Además se dispone de dos tanques intermedios de 15000 litros cada uno para crudo residual y diesel en la planta baja de la casa de máquinas y dos tanques de servicio de 5000 litros cada uno en el nivel superior.

### **Tanques de Productos Químicos**

Existe un tanque 6000 litros de capacidad para ácido sulfúrico y uno de 11900 litros para sosa caústica.

### **Torre de Enfriamiento de Agua**

Está construida en un área cercana a la casa de máquinas y al estanque de tratamiento, está constituida por una estructura de hierro y con diafragmas que sirven para disipar la energía calórica del agua por evaporación. Tiene un equipo aspirador para evacuar el calor del agua directo a la atmósfera y dispone del equipamiento correspondiente de motores y tuberías.

### **Comedor**

El área de comedor está situada en la parte posterior de la empresa y sirve a todo el personal administrativo y técnico de la Central. El comedor mantiene una política de buen servicio y seguridad alimentaria en la preparación de sus recetas.

### **Edificio de Oficinas Administrativas**

En las oficinas administrativas (*Fig. 7*) se ubican los departamentos de Vicepresidencia Administrativa, Recursos Humanos, Contabilidad, Compras y Auditoría.



**FIGURA No. 7**  
**OFICINAS ADMINISTRATIVAS**

## **Enfermería**

El Departamento Médico presta sus servicios a todo el personal mediante programas de medicina preventiva y atiende todo lo referente a los primeros auxilios básicos.

## **2.2 PROCESO DE GENERACIÓN**

Los insumos empleados son: combustibles, lubricantes, agua, productos químicos, filtros, accesorios y otros.

A continuación se detallan los sistemas de combustión, enfriamiento, lubricación, y aire comprimido.

### **Sistema de Combustión**

La Central emplea como combustibles crudo residual y diesel. Un esquema de este proceso se observa en la **Fig.8**. El diesel es receptado en dos tanques de almacenamiento de 100000 gal cada uno, desde los terminales de Shushufindi a través de tanqueros que se cargan por medio de una bomba eléctrica. El diesel se usa en el arranque, parada y operación de las unidades.

Desde estos tanques, el diesel es llevado mediante bombeo por una tubería al tanque intermedio instalado junto al edificio de la Central. Desde allí y luego de un proceso de filtrado, pasa al equipo purificador desde el cual se alimenta al tanque de servicio, antes del ingreso en la cámara de combustión del motor. El diesel alimenta al motor que ha iniciado su

operación con la utilización del sistema de aire comprimido. Durante esta operación inicial el escape de los gases genera calor, el mismo que sirve para el calentamiento de agua desmineralizada en el caldero de la unidad hasta el punto de obtener vapor a una presión y temperatura tal, que posibilite calentar el crudo residual aprovechándose de la energía del motor.

Previo a este proceso, se debe calentar el aceite de los motores con vapor, mismo que se obtiene inicialmente con el caldero auxiliar. Este caldero deja de funcionar cuando los recuperadores de calor alcanzan condiciones apropiadas para producir vapor.

Una vez que se ha calentado el sistema con el vapor producido por los gases de escape y alcanzan los motores una potencia mayor a 3800 kW se combustiona una mezcla de crudo residual y diesel en proporciones que varían en razón de 98:2 a 90:10; dependiendo de la viscosidad con la que llega el crudo residual.

El crudo residual tiene un tratamiento similar al diesel, se lo receipta desde carros cisternas especialmente acondicionados para transportar este tipo de combustible. Cuando tiene una temperatura sobre los 50°C es depositado directamente en los tanques de almacenamiento por medio de las bombas respectivas, caso contrario debe ser calentado en la boca de los tanqueros para que fluya.



TANQUERO DE  
REFINERÍA SHUSHUFINDI



TANQUE DE ALMACENAMIENTO  
RESIDUO (400.000 gal) Y DIESEL (100.000 gal)



TANQUES INTERMEDIOS  
RESIDUO Y DIESEL (4000 gal)



PURIFICACIÓN(1600 gal/h)



TANQUE DE SERVICIO DIARIO (2700 gal)



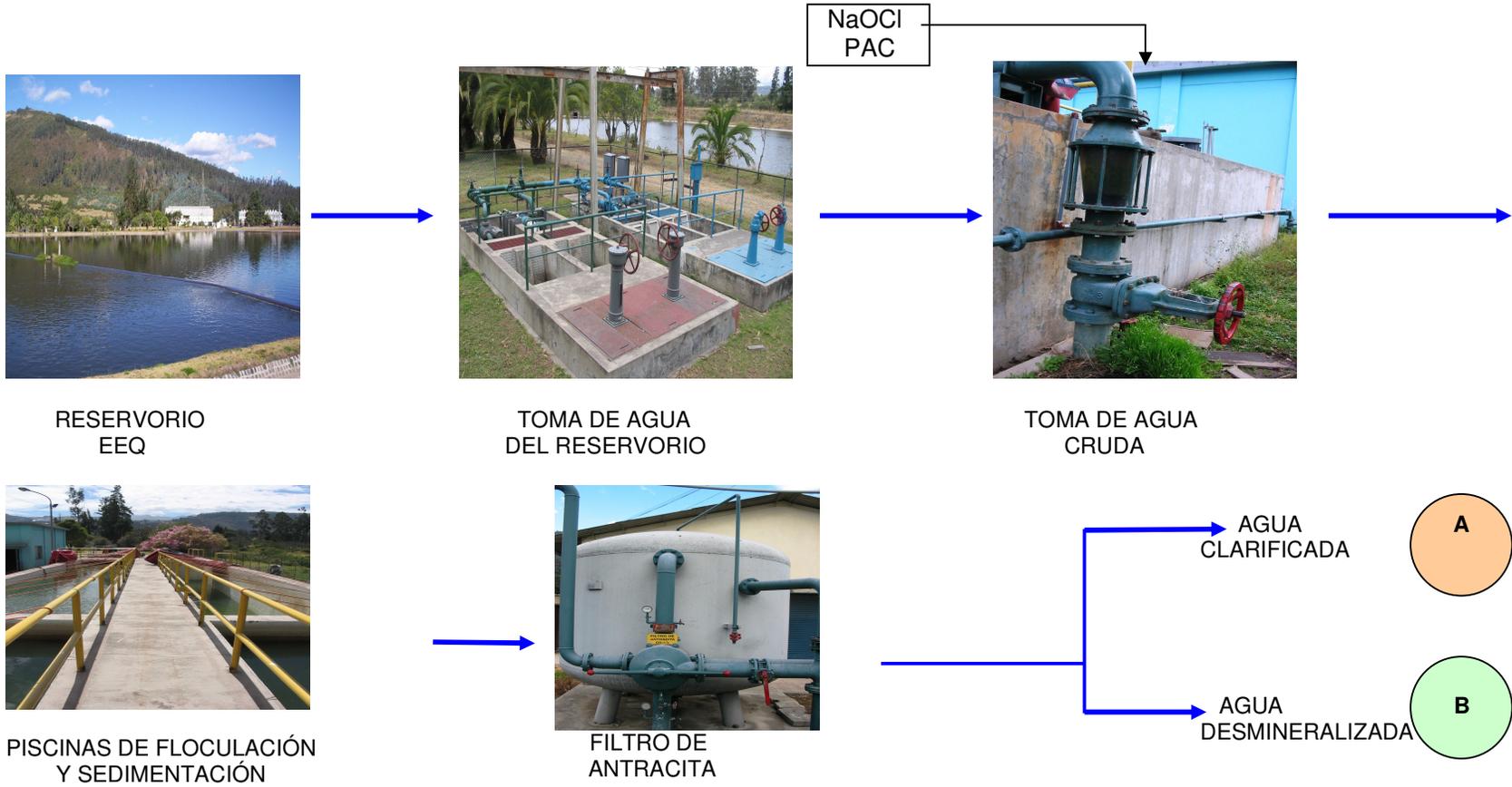
MOTORES (300 gal/h)

**FIGURA No.8**  
**SISTEMA DE COMBUSTIÓN**

Cuando se ha iniciado el proceso de generación con la provisión de diesel al caldero auxiliar, la unidad o las unidades que se ponen en servicio producen calor de desecho, el cual es utilizado en las calderas de los escapes de las mismas para la producción de vapor, parte de ese vapor es utilizado para calentar la tubería que lleva el crudo residual desde los tanques de recepción hasta el tanque intermedio, desde el cual pasa a una purificadora y desde allí al tanque de servicio, el mismo que, al igual que el de diesel, se encuentra ubicado en la parte alta de la sala de máquinas. Desde este tanque de servicio se alimenta a los motores para su combustión.

### **Sistema de Enfriamiento**

El agua se utiliza fundamentalmente para el enfriamiento de los motores de la Central y también para la producción de vapor. Un esquema de este proceso se observa en la **Fig.9**. La fuente de agua es el reservorio de la Central Hidroeléctrica Guangopolo de la Empresa Eléctrica Quito; que provee el agua a través de una estructura de toma simple, que incluye dos bombas con una capacidad de 100 metros cúbicos por hora cada una. El requerimiento es de 60 m<sup>3</sup> por hora.



**FIGURA No. 9**  
**SISTEMA DE ENFRIAMIENTO**

El agua que llega a los estanques de tratamiento, está sujeta al siguiente proceso de purificación:

El agua cruda es clarificada con policloruro de aluminio, compuesto químico que permite la precipitación de los lodos, los cuales son extraídos una vez al día mediante la utilización de una pequeña bomba.

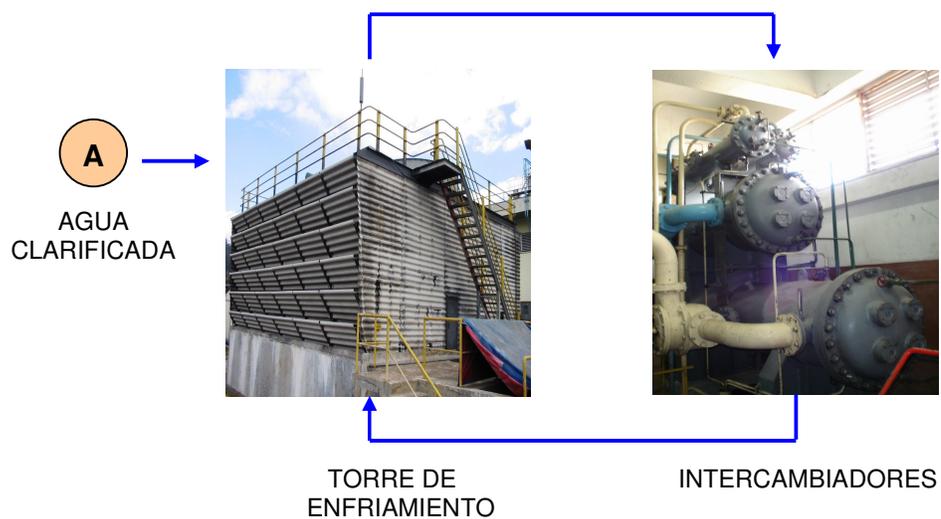
Se le añade también hipoclorito de sodio para la eliminación de bacterias y otros microorganismos, luego de lo cual pasa a las piscinas de sedimentación.

Posteriormente tienen lugar dos subprocesos, el primero tiene que ver con la producción de agua clarificada, también conocida como agua clarificada, que se consigue luego de pasarla por un filtro de antracita.

El agua clarificada con la temperatura elevada es trasladada mediante bombeo a la parte superior de la torre de enfriamiento desde la cual es distribuida por gravedad en forma de lluvia sobre los elementos de la torre permitiendo la evaporación del agua y la reducción de temperatura. (**Fig. 10**), Mediante sistemas de ventilación se elimina el vapor de agua producido por el contacto del agua caliente con las superficies de los componentes de la torre de enfriamiento.

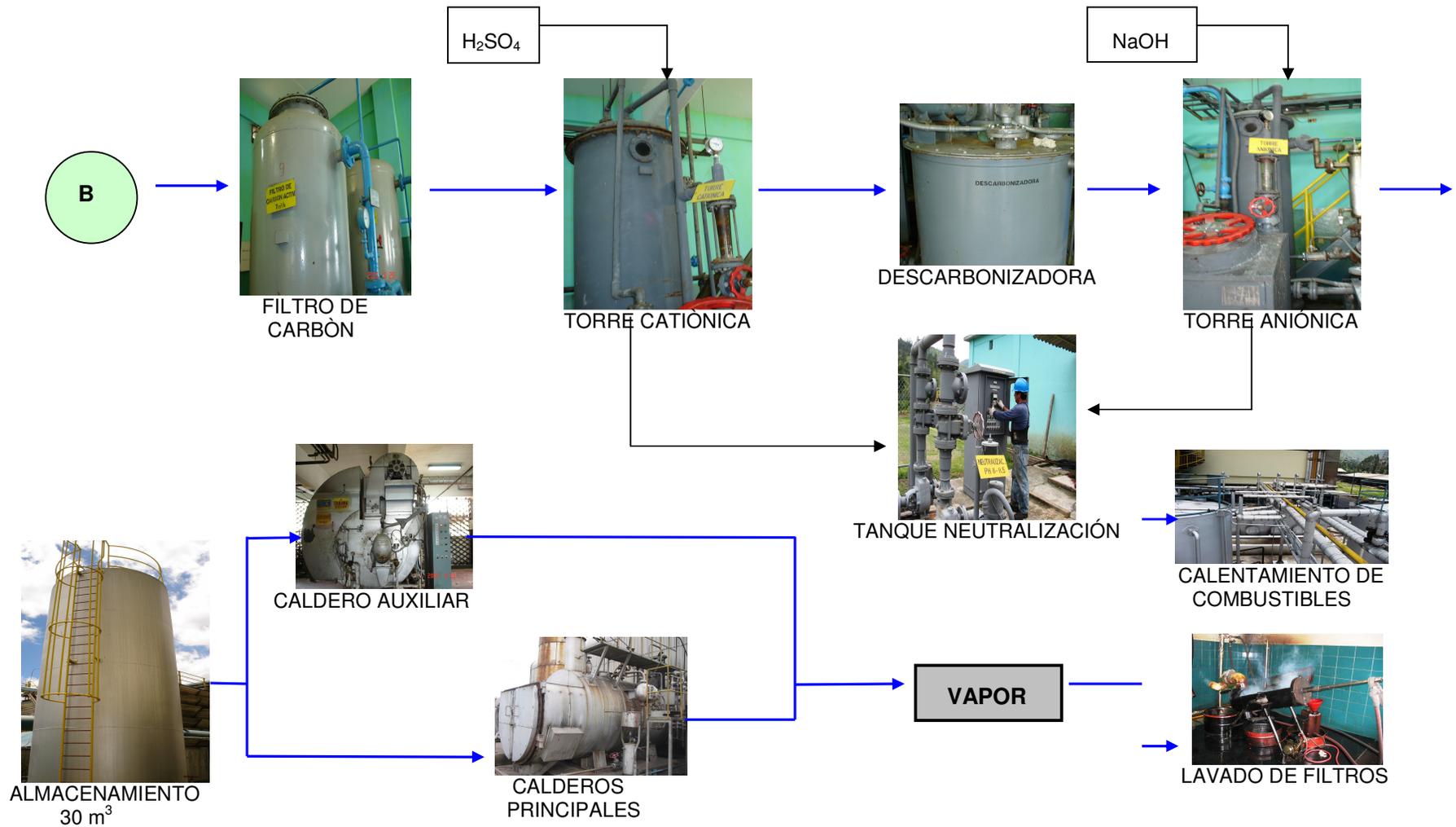
El sistema de agua clarificada opera de la siguiente manera: el agua clarificada se alimenta desde el depósito inferior hacia la torre de

enfriamiento previo su paso por el filtro de antracita. Este aprovisionamiento se usa para compensar la pérdida por evaporación. El agua clarificada se impulsa mediante dos bombas (existe una tercera en reposo) y regresa a la parte superior de la torre, después de enfriar los intercambiadores de aire/agua; agua/aceite y agua/agua de cada motor.



**FIGURA No. 10**  
**ENFRIAMIENTO DE AGUA CLARIFICADA**

El segundo subproceso se relaciona con la obtención de agua desmineralizada (*Fig. 11*), que sirve para la producción de vapor en los calderos principales o en el caldero auxiliar; este vapor se utiliza para calentar el crudo residual y lavar los filtros de los purificadores de combustible; el agua desmineralizada es también empleada para enfriar los inyectores de las válvulas de combustible.



**FIGURA No. 11**  
**PRODUCCIÓN DE AGUA DESMINERALIZADA**

Para obtener el agua desmineralizada se realizan los siguientes procesos:

- El agua clarificada que ha circulado por el filtro de antracita, es conducida a través de un filtro de carbón activado.
- Para desionizar el agua se utiliza un filtro de resina catiónica.
- Luego es conducida a una torre de descarbonización.
- Finalmente el agua pasa por un filtro de resina aniónica.

Como resultado del proceso de desmineralización, las resinas deben ser reactivadas, para lo cual se añade ácido sulfúrico para regenerar la resina catiónica y sosa cáustica para la resina aniónica. El agua sobrante converge a un tanque donde se neutraliza para ser evacuada por un canal de desagüe.

### **Sistema de lubricación**

Para la lubricación de los motores de la planta y sus sistemas auxiliares se dispone de varios tanques de almacenamiento: aceite de cilindros, aceite del turboalimentador, aceite de válvulas y aceite de sistema.

El aceite lubricante de los cilindros es transportado mediante bombeo al tanque de servicios, desde el cual se conduce a cada uno de los motores.

El aceite lubricante de sistemas es receptado desde los tanqueros mediante bombas en un tanque de almacenamiento. Desde este tanque se lo lleva mediante bombeo al tanque sumidero en el motor, de igual forma se lleva el aceite de cilindros al tanque para el mecanismo de distribución.

El aceite lubricante es trasladado al sistema de lubricación general del motor por medio de bombeo mecánico y eventualmente enfriado en un equipo de refrigeración si su condición de temperatura lo exige; luego de esto, el aceite cruza por el filtro principal antes de ingresar a la lubricación de las partes sujetas a fricción del motor; luego de pasar por el motor, el aceite regresa al tanque sumidero para cumplir un ciclo igual.

Ante la necesidad de purificar el aceite lubricante de sistema, este es bombeado a un sistema de calentamiento y luego pasado a una centrifugadora, desde la cual y con una bomba de descarga, se lo retorna limpio al tanque sumidero.

El aceite lubricante para el turbo alimentador se almacena en un recipiente rectangular de 500 lts. Desde este tanque, el aceite es llevado mediante bombeo y luego de cumplir su objetivo pasa al sistema de enfriamiento si la temperatura lo amerita.

### **Sistema de Aire Comprimido**

La Central dispone de un sistema de aire comprimido (cilindros 2 m<sup>3</sup>) que se produce con la acción de dos compresores eléctricos que trabajan en paralelo, el aire comprimido es utilizado para el arranque de los motores.

### **Sistema de vapor**

El vapor de agua es producido a partir de agua desmineralizada en los calderos, los cuales utilizan como fuente calórica los gases de escape de cada uno de los

motores. Cuando esto no es posible se utiliza el caldero auxiliar con combustible diesel.

El vapor así producido es utilizado como fuente de calor en todos los procesos descritos anteriormente.

### **Sistema eléctrico principal y asociado**

El equipo eléctrico principal está constituido por seis generadores de 5200 kW, con un voltaje de generación de 6,6 kV, 60 Hz. Existen también dos transformadores de elevación de 15/20 MVA de capacidad, que eleva el voltaje de generación de la Central a 138kV, para trasladar la energía por una línea de transmisión de la subestación Vicentina del Sistema Nacional Interconectado. Adicionalmente se cuenta con los tableros de protección y control, los electroventiladores, bombas eléctricas, bancos de baterías, equipos de alta tensión en el área de la subestación y equipos de alumbrado en el resto de la instalación.

### **3. DESCRIPCIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

En 1897, el ingeniero alemán Rudolf Diesel (1858-1913), inventó el motor con encendido por compresión. En comparación con el ya acreditado motor a explosión Otto, este motor tenía las ventajas de consumir mucho menos y de poder funcionar con un combustible relativamente barato, siendo posible además alcanzar potencias muy superiores.<sup>1</sup>

El motor diesel es una máquina productora de energía al quemar un combustible en un volumen de aire, el cual se ha comprimido previamente a una presión elevada mediante el movimiento de un émbolo. Por ser una máquina que produce energía se denomina motor, y como en su interior tiene lugar una combustión, son conocidos como motores de combustión interna.<sup>2</sup> (Román,1998)

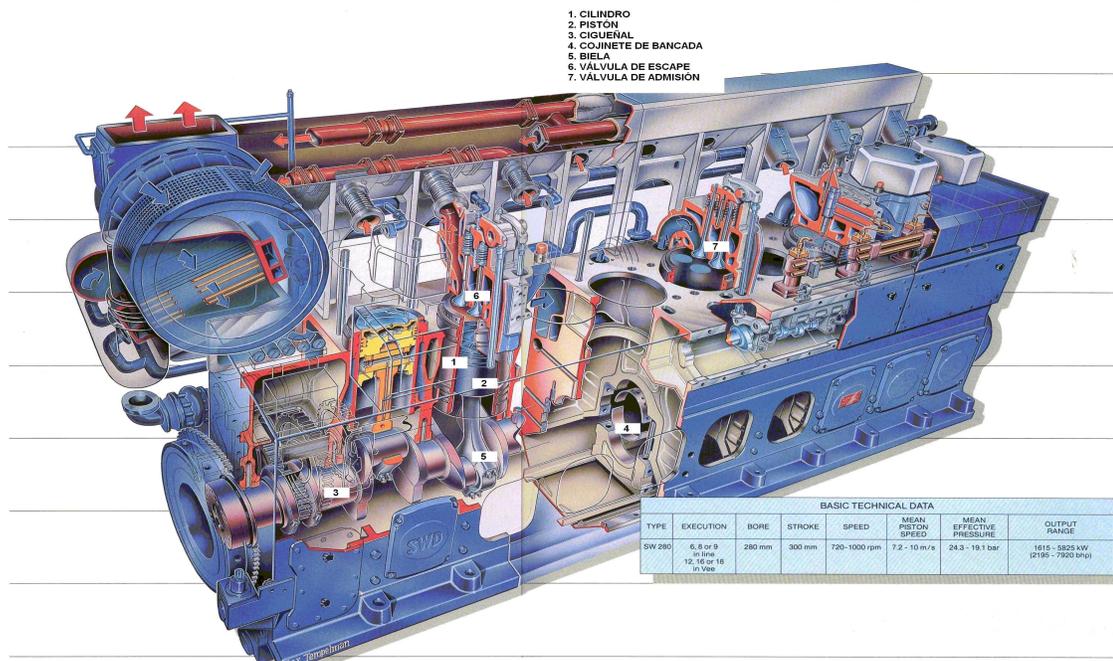
#### **3.1 PARTES FUNDAMENTALES**

El motor debe tener una pieza cilíndrica hueca o cilindro, en el interior del cual se desplaza, en movimiento de vaivén, de una pieza llamada émbolo y que se adapta perfectamente a las paredes internas del cilindro. El movimiento del émbolo se realiza en forma rectilínea de vaivén. Este émbolo debe estar conectado a un mecanismo que controle su deslizamiento.

Para este propósito el motor tiene un cigüeñal que gira en unas guías circulares o cojinetes de bancada. Este eje tiene una manivela articulada a otra pieza recta o biela, la cual a su vez se articula el émbolo. El cigüeñal es un mecanismo también

utilizado en otras maquinarias y que tiene por objeto transformar un movimiento rectilíneo de vaivén en movimiento circular. O sea, que el émbolo produce la rotación del eje por intermedio de la biela y el cigüeñal. Este eje puede constar de una o más manivelas según sea el número de cilindros a que atiende, y se denomina así, por su forma cigüeñal. Son además necesarias otras partes fundamentales. Se precisa de válvulas para permitir la entrada del aire en el interior del cilindro y también para la expulsión de los gases.<sup>3</sup>

En la **Fig. 12** se presenta un esquema de las partes fundamentales de un motor.



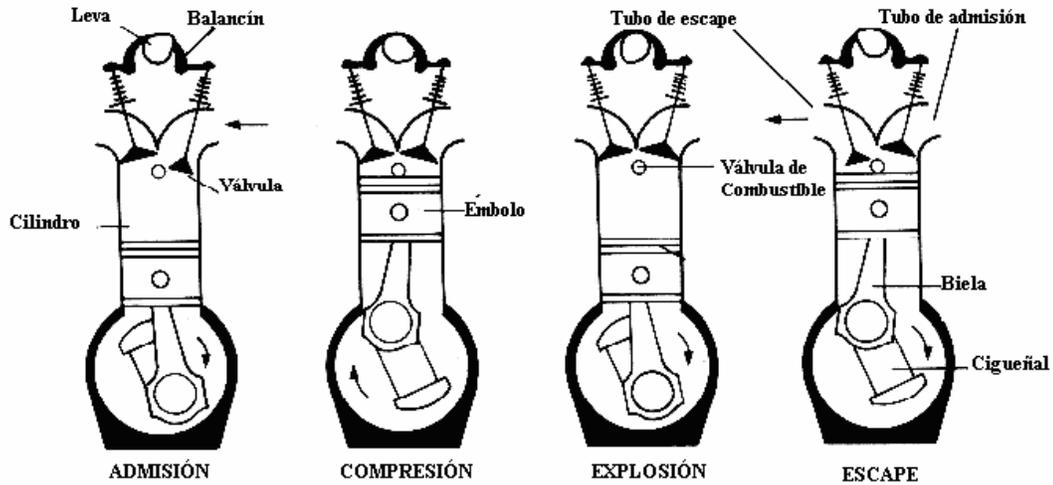
FUENTE: WARTSILA

**FIGURA No.12**

**MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

### 3.2 FUNCIONAMIENTO

Estos motores trabajan en cuatro tiempos que son la admisión, la compresión, la explosión y el escape, como se grafica en la **Fig.13**:

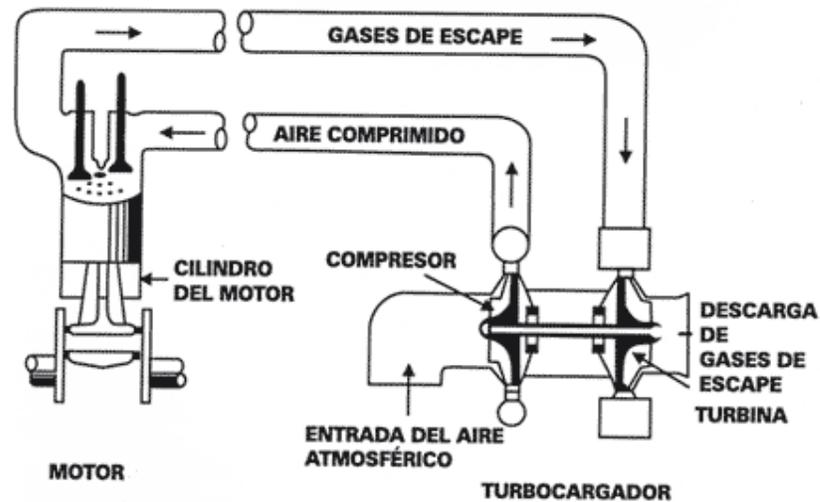


FUENTE: Chow Pangtay Susana "Petroquímica & Sociedad"

**FIGURA No. 13**  
**MOTORES DE CUATRO TIEMPOS**

**Admisión.-** En el primer tiempo o admisión, el cigüeñal arrastra hacia abajo el émbolo, aspirando aire procedente del turbocargador.

Un turbocargador (**Fig.14**) es básicamente una bomba de aire diseñada para operar utilizando la energía de los gases de escape. Estos gases hacen girar el rotor de la turbina (caliente) acoplado a través de un eje al rotor del compresor (frío), que al girar aspira un gran volumen de aire filtrado y lo pasa comprimido al motor.<sup>4</sup>

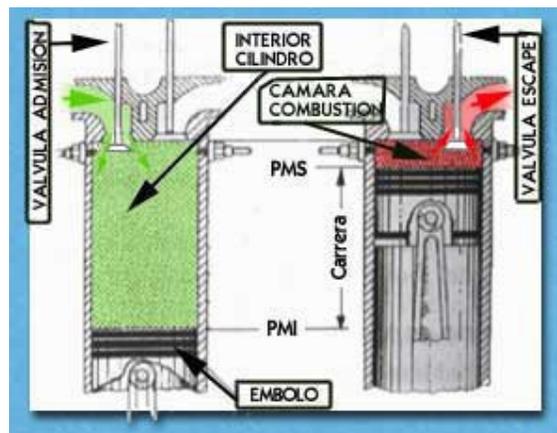


FUENTE: Turbodina GARRETT

**FIGURA No. 14**  
**TURBOCARGADOR**

**Compresión.-** El cigüeñal hace subir el émbolo, el cual comprime fuertemente el aire en la cámara de combustión. Se eleva la temperatura del aire a causa de la alta relación de compresión (1:14).

El combustible es atomizado en la cámara de combustión poco antes de llegar al punto muerto superior (**Fig. 15**) en la carrera de compresión.<sup>3</sup>



FUENTE: ULM "Motor Alternativo y Motor de Pistón. Definición y Tipos"

**FIGURA No. 15**  
**PUNTO MUERTO SUPERIOR E INFERIOR**

**Explosión.-** La explosión ocurre debido a la combustión producida por la alta temperatura del aire, generándose en forma violenta los gases de combustión que empujan el émbolo.

**Escape.-** Salen los gases de la combustión al concluir el ciclo.

#### 4. FORMACIÓN DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO

El nitrógeno molecular diatómico,  $N_2$ , es un gas relativamente inerte que compone alrededor del 80% del aire que respiramos. En forma monoatómica, N, puede ser reactivo y poseer números de valencia desde más uno a más cinco.<sup>5</sup>(US-EPA, 1999)

En la **Tabla 1**, se detallan los tipos y características de los diferentes óxidos de nitrógeno:

**TABLA No.1**  
**COMPUESTOS DE ÓXIDO DE NITRÓGENO**

FÓRMULA	NOMBRE	VALENCIA	PROPIEDADES
$N_2O$	Oxido Nitroso	1	Gas incoloro, soluble en agua
NO $N_2O_2$	Oxido Nítrico Bióxido de Dinitrógeno	2	Gas incoloro, ligeramente soluble en agua
$N_2O_3$	Trióxido de Dinitrógeno	3	Sólido negro, soluble en agua
$NO_2$ $N_2O_4$	Bióxido de Nitrógeno Tetróxido de Dinitrógeno	4	Gas café rojizo, muy soluble en agua.
$N_2O_5$	Pentóxido de Dinitrógeno	5	Sólido blanco, soluble en agua

FUENTE: EPA. Boletín Técnico "Óxidos de Nitrógeno (NO<sub>x</sub>) ¿Por qué y cómo se controlan? Clean Air Technology Center. November 1999

Por lo general, se considera a los  $NO_2$  como NO<sub>x</sub>, porque los NO se convierten rápidamente en  $NO_2$ .<sup>5</sup>

En una escala global, la emisión natural de óxido de nitrógeno es casi 15 veces mayor que la realizada por el hombre. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos,

incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.<sup>6</sup>

#### 4.1 MECANISMOS DE GENERACIÓN DE NO<sub>x</sub> POR CAUSA DE LA COMBUSTIÓN

- **NO<sub>x</sub> INMEDIATOS:** se refiere a los óxidos de nitrógeno que se forman con mucha rapidez, como resultado de la interacción del nitrógeno y el oxígeno con algunas de las especies activas de carbono obtenidas a partir del combustible en la llama.
- **NO<sub>x</sub> COMBUSTIBLE:** Los combustibles que contienen nitrógeno, crean NO<sub>x</sub> que resultan de la oxidación del nitrógeno contenido en el combustible. Se estima que la fracción de nitrógeno en el combustible que aparece en el gas de escape típicamente es del 20 al 50% dependiendo de la naturaleza química del nitrógeno del combustible.<sup>7</sup>(De Nevers, 1997)
- **NO<sub>x</sub> TÉRMICOS:** se trata de producto de la reacción del oxígeno y el nitrógeno del aire a las temperaturas elevadas (por encima de 1300°C).

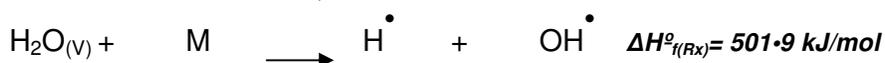
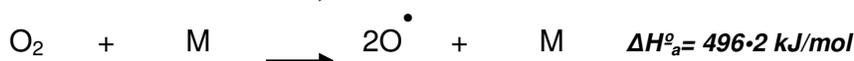
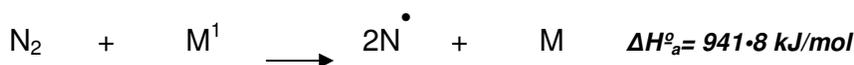
A partir de 1300°C este mecanismo se vuelve cada vez más importante por el predominio de NO sobre NO<sub>2</sub>.

Las reacciones más importantes para producir NO y NO<sub>2</sub> en las llamas serán:

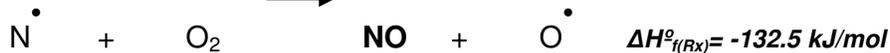


No obstante, estas reacciones avanzan por medio de pasos intermedios en las que intervienen especies fuertemente energéticas llamadas radicales libres.

#### a) Reacciones de formación de radicales libres.

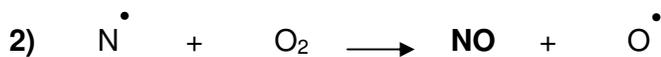


#### b) Reacciones de formación de NO•



#### c) Cinética del proceso: Mecanismo de Zeldovich

Considerando las siguientes reacciones:



y suponiendo que:

---

<sup>1</sup> M = puede ser una molécula de cualquier gas, por ejemplo N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, o H<sub>2</sub>O. No influye en el equilibrio, pero si en la velocidad de la reacción. Su función es actuar como catalizador.

- Los radicales  $\dot{\text{O}}$  se encuentran en equilibrio con  $\text{O}_2$
- Que la concentración de radicales  $\dot{\text{N}}$  no cambia significativamente con el tiempo
- Uno de los términos es pequeño en comparación con los otros

Si se deriva la concentración de NO y N respecto al tiempo; se puede simplificar las ecuaciones cinéticas resultantes hasta:

$$3) \quad \frac{d[\text{NO}]}{dt} = K_f [\text{N}_2] [\text{O}_2]^{1/2} - \frac{K_b [\text{NO}]^2}{[\text{O}_2]^{1/2}}$$

La constante de equilibrio ( $K_{\text{eq}}$ ), esta relacionada con las dos constantes de velocidad por:

$$4) \quad K_{\text{eq}} = K_f / K_b$$

Igualando a cero la razón de cambio de la concentración expresada en **3)**, se puede establecer que:

$$5) \quad \frac{d[\text{NO}]}{[\text{NO}]_e^2 - [\text{NO}]^2} = \frac{K_b}{[\text{O}_2]^{1/2}} dt$$

Asumiendo que en el instante cero  $[\text{NO}]$  es cero e integrando la ecuación **5)**, se obtiene:

$$6) \quad \frac{[\text{NO}]}{[\text{NO}]_e} = \frac{1 - \exp^{-\alpha t}}{1 + \exp^{-\alpha t}}$$

En donde:

$$7) \quad \alpha = \frac{2[\text{NO}]_e \cdot K_b \cdot t}{[\text{O}_2]^{1/2}}$$

## **5. IMPACTOS DE LOS ÓXIDOS DE NITRÓGENO SOBRE LA SALUD Y EL MEDIO AMBIENTE**

Los efectos de la exposición a cualquier sustancia tóxica dependen de la dosis, la duración y la manera como la persona se encuentra expuesta. En el caso de los óxidos de nitrógeno, tenemos que estos afectan directamente a la salud de las personas mediante su aspiración e indirectamente a través de afectaciones al ambiente.

### **5.1 SALUD**

De acuerdo al Instituto Norteamericano de Seguridad y Salud, el límite máximo de exposición sin ningún efecto permanente es de 1 ppm de NO<sub>x</sub> por 15 minutos. Concentraciones de 100 - 500 ppm pueden causar una muerte repentina a causa de una falla respiratoria o en corto tiempo a causa de inflamación del tejido pulmonar.

Ha sido documentado que la exposición de la niñez, a largo plazo de 3,5 ppm, causa un daño permanente del sistema respiratorio y circulatorio.<sup>8</sup>(Bullaude, 2002)

La Organización Mundial de la Salud (OMS) señala por su parte que exposiciones de 0,25 ppm a 1 ppm de NO<sub>x</sub> a largo plazo conduciría a enfermedades pulmonares como tos, bronquitis, bronco-neumonía, asma, sensación de falta de aliento, cansancio, náusea, y acumulación de líquido en los pulmones.

Exposiciones a bajo nivel (menor de 1 ppm) pueden impedir el transporte de oxígeno debido a la oxidación del hierro en la hemoglobina y también aumentan los incidentes por infecciones pulmonares bacteriales.

No se conoce si la exposición a los óxidos de nitrógeno puede afectar la reproducción en seres humanos.<sup>9</sup>

## 5.2 AMBIENTE

Al ingresar en la atmósfera óxidos de nitrógeno son degradados rápidamente al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. Como resultado de ello se generan varios problemas ambientales como la lluvia ácida, la generación de ozono, el smog fotoquímico y la eutrofización.

### 5.2.1 LLUVIA ÁCIDA

La lluvia ácida actualmente es objeto de una gran controversia debido a los extensos daños medioambientales que se le han atribuido. Se forma cuando los óxidos de nitrógeno se combinan con la humedad atmosférica para formar ácido nítrico, que puede ser arrastrado a grandes distancias de su lugar de origen antes de depositarse en forma de lluvia.<sup>10</sup> (US-EPA,1998)



Los científicos descubrieron, y han podido confirmar, que el dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son las causas principales de la lluvia ácida. En los Estados Unidos, alrededor de 2/3 de todo el  $\text{SO}_2$  y 1/4 de todos los  $\text{NO}_x$  provienen de la generación de energía eléctrica que depende de combustibles fósiles.<sup>10</sup>

La lluvia ácida se ve, se siente y sabe igual que la lluvia limpia. La lluvia ácida no causa daños directos a los seres humanos. Caminar bajo la lluvia ácida o incluso nadar en un lago ácido no es más peligroso que caminar o nadar en agua limpia.<sup>10</sup>

El agua pura tiene un pH de 7,0. La lluvia normal es levemente ácida porque el dióxido de carbono se disuelve en la misma, de modo que tiene un pH de alrededor de 5,5. Para el año 2000, la lluvia más ácida que había caído en los Estados Unidos tenía un pH de unos 4,3.<sup>10</sup>

Los efectos ecológicos de la lluvia ácida se ven más claramente en los ambientes acuáticos, tales como arroyos, lagos y pantanales. Después de caer en los bosques, campos, edificios y caminos, la lluvia ácida fluye hacia los arroyos, lagos y pantanos, y también cae directamente sobre los hábitat acuáticos. La mayoría de lagos y arroyos tienen un pH de entre 6 y 8, aunque algunos lagos son naturalmente ácidos aun sin los efectos de la lluvia ácida.

La lluvia ácida afecta primordialmente a las capas de agua sensibles, situadas en cuencas cuyos suelos tienen una capacidad limitada para neutralizar compuestos ácidos. Tanto los lagos como los arroyos se vuelven ácidos cuando el agua misma y el suelo circundante no pueden tamponar o estabilizar la lluvia ácida lo suficiente como para neutralizarla.<sup>10</sup>

La lluvia ácida causa una cascada de efectos que dañan a los peces o les provocan la muerte, reducen su población, eliminan por completo especies de peces de una masa de agua, y disminuyen la biodiversidad. Al fluir la lluvia ácida a través de los suelos de una cuenca, esos suelos dejan escapar

aluminio en los lagos y arroyos situados en esa cuenca. De modo que, al disminuir el pH de un lago o arroyo, aumentan los niveles de aluminio. Tanto el pH bajo como los mayores niveles de aluminio son directamente tóxicos para los peces.<sup>8</sup>

Además, los niveles bajos de pH, y altos de aluminio producen tensiones crónicas en los peces que podrían no causarles la muerte, pero que sí conducen a una reducción en su peso y tamaño, lo cual los hace menos capaces de competir por su alimento y hábitat.<sup>10</sup>

Algunas clases de plantas y animales pueden tolerar aguas ácidas. Otras, en cambio, son sensibles a la acidez y desaparecerán a medida que disminuye el pH. Las crías y retoños de la mayoría de las especies son, generalmente, más sensibles que los adultos a las condiciones ambientales. Con un pH de 5, la mayoría de los huevos de pez no llegan al punto en el que nacen las crías. A niveles más bajos de pH, algunos peces adultos mueren.<sup>10</sup>

Por otro lado, también los bosques y plantaciones se ven afectados. La capacidad de los suelos de los bosques para resistir o tamponar la acidez depende del grosor y la composición del suelo, así como del tipo de roca subyacente sobre la cual se halla dicho suelo. La lluvia ácida por lo general no mata directamente a los árboles. Es más probable que los debilite al dañarles las hojas, limitar los nutrientes que reciben, o exponerlos a sustancias tóxicas que escapan lentamente del suelo. Con mucha frecuencia, los daños que sufren los árboles o su muerte son la consecuencia de esos efectos de la lluvia ácida combinados con uno o más factores agresores.<sup>10</sup>

A lo largo de los últimos veinte años se han publicado numerosos informes sobre el deterioro ocasionado en las pinturas y otros revestimientos de vehículos automotores debido a la lluvia ácida. El daño mencionado ocurre por lo general en las superficies horizontales, y aparecen como áreas de forma irregular, marcadas permanentemente. El daño puede detectarse más claramente a la luz de lámparas fluorescentes y observarse más fácilmente en los vehículos de color oscuro, y parece ocurrir después de la evaporación de una gota de humedad.

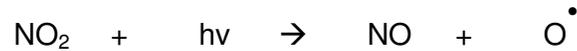
La opinión general en la industria automotriz es que dicho deterioro es el resultado de alguna forma de precipitación ambiental. Los resultados obtenidos en experimentos de laboratorio y por lo menos un estudio práctico han demostrado que la lluvia ácida puede producir marcas en los revestimientos de los vehículos automotores.<sup>10</sup>

La lluvia ácida también contribuye a la corrosión de los metales y al deterioro de la pintura y la piedra. Esos efectos reducen seriamente el valor que representan para la sociedad los edificios, puentes, y objetos culturales.<sup>10</sup>

### **5.2.2 OZONO**

La importancia de este gas depende a la altura que se encuentre presente. En la estratósfera es importante su conservación ya que actúa como un filtro protector, impidiendo que las radiaciones ultravioleta alcancen directamente la superficie de la tierra. Por otro lado, en la tropósfera, su presencia implica un

serio problema ambiental; y se forma principalmente por la presencia de óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles.<sup>11</sup>



El oxígeno atómico resultante reacciona con el oxígeno molecular formando ozono:



Entre los efectos del ozono en la salud humana se cuentan varios riesgos de mortalidad y morbilidad derivados de la inflamación pulmonar, incluidos el asma y el enfisema. Se indica que los primeros efectos sobre el hombre aparecen cuando su concentración alcanza a alrededor de 0,100 ppm.<sup>10</sup>

También se han detectado efecto en las plantas, estas son más sensibles aún y pueden observarse daños en algunas especies a concentraciones de 0,040 ppm de ozono. El daño en la vegetación se manifiesta por un deterioro visible en las hojas y reducción en el crecimiento, floración y cosechas.<sup>12</sup>

El ozono ataca al material sintético, con lo que reduce la vida de las llantas, aislamientos de hule, etc. También ataca a los textiles y los decoloran.<sup>13</sup> (Wark-Warner, 1997)

Además de estos efectos ambientales que dependen de su concentración en la superficie terrestre, el ozono también actúa como un gas invernadero, o sea que absorbe radiación infrarroja emitida por la Tierra.<sup>12</sup>

---

<sup>2</sup> M = puede ser una molécula de cualquier gas, por ejemplo N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, o H<sub>2</sub>O. No influye en el equilibrio, pero si en la velocidad de la reacción. Su función es actuar como catalizador.

### 5.2.3 SMOG FOTOQUÍMICO

La niebla fotoquímica lleva varias décadas originando problemas respiratorios y daños graves en las plantas.

Esta niebla se forma mediante un proceso fotoquímico a partir de numerosos gases presentes en la tropósfera, capa de la atmósfera que se extiende desde el suelo hasta una altura de 7-15 km.

Entre los principales precursores tenemos a los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles. La luz solar, al actuar sobre estos precursores, provoca la formación de una serie de compuestos conocidos como oxidantes fotoquímicos.<sup>10</sup>

Este smog está formado por una mezcla de contaminantes de origen primario (óxidos de nitrógeno, etc) con otros secundarios (ozono etc) , como se indica en la **Tabla 2**:

**TABLA No. 2**  
**COMPUESTOS ORIGINARIOS DEL SMOG**

TIPO DE CONTAMINANTE	FUENTE DE CONTAMINACIÓN
Monóxido de Carbono	Gases de escape de vehículos de motor. Algunos procesos industriales.
Dióxido de Azufre	Instalaciones generadoras de calor y electricidad que utilizan petróleo o carbón con contenido sulfuroso, plantas de ácido sulfúrico.
Partículas	Gases de escape de vehículos de motor, procesos industriales, incineración de residuos, generación de calor y electricidad, reacción de gases contaminantes.
Plomo	Gases de escape de vehículos de motor, fundiciones de plomo, fábrica de baterías.
Óxidos de Nitrógeno	Gases de escape de vehículos de motor, generación de calor y electricidad, explosivos, fábricas de fertilizantes.
Ozono	Se forman en la atmósfera como reacción a los óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y luz solar.
Hidrocarburos	Gases de escape de vehículos de motor, evaporación de disolventes, procesos industriales, eliminación de residuos sólidos de combustión de combustibles.
Dióxido de Carbono	Todas las fuentes de combustión.

FUENTE: Ciencias de la Tierra y el Ambiente "Contaminación de la Atmósfera"

#### 5.2.4 EUTROFIZACIÓN

Los óxidos de nitrógeno contribuyen a los procesos de eutrofización, que está causada por un incremento de nutrientes en el agua en forma de nitratos. El aumento de estos hace que ciertas plantas acuáticas, tales como algas y lentejas de agua, crezcan tanto que bloqueen el aporte de luz solar al agua. Las plantas utilizan además todo el aporte de oxígeno disponible, que no será renovado, porque las plantas heterotróficas y las bacterias necesitan luz para realizar la fotosíntesis.<sup>14</sup> (LENNTECH,1998)

## 6. CALIDAD DEL AIRE DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

La Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) se originó en el préstamo 822/OC-EC del Banco Interamericano de Desarrollo otorgado al Gobierno de la República del Ecuador el 13 de octubre de 1994, para ser ejecutado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito a través de la Empresa de Desarrollo del Centro Histórico (ECH). Su puesta en funcionamiento obedeció a un esfuerzo administrativo y técnico de la ECH durante el año 2003 y desde inicios del 2004, forma parte de la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Quito (CORPAIRE).<sup>15</sup>

Es importante considerar que debido a la ubicación geográfica del Distrito Metropolitano de Quito, este recibe radiación solar casi todos los días del año y siempre de manera vertical. En la atmósfera se producen lo que los científicos llaman la “heliofanía”, es decir mucha energía, estado ideal para que se produzcan reacciones fotoquímicas.<sup>16</sup> (Ordoñez, 2005)

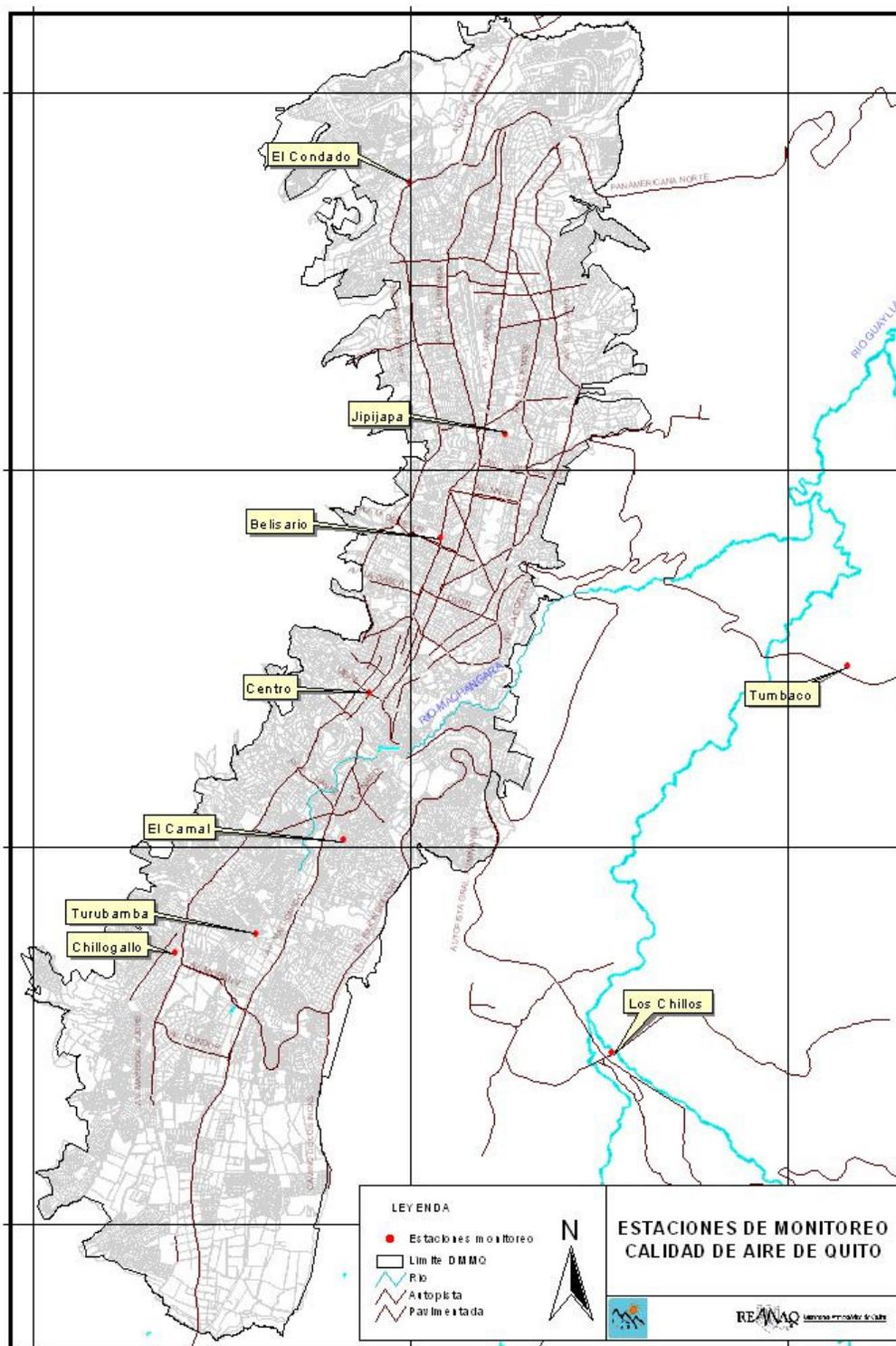
La REMMAQ tiene como finalidad producir datos confiables sobre la concentración de contaminantes atmosféricos en el territorio del Distrito Metropolitano de Quito que sirvan como insumo para la planificación, formulación, ejecución y evaluación de políticas y acciones orientadas al mejoramiento de la calidad del aire, y difundir esta información en condiciones comprensibles para el público en general.

Para ello cuenta con nueve estaciones de monitoreo de calidad del aire, distribuidas en diferentes barrios, conforme se indica en la **Tabla 3** y **Fig. 16**:

**TABLA No.3**  
**UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA REMMAQ**

<b>CON</b>	El Condado	Patio lateral del Diario Hoy (Av. Occidental N71-345))
<b>TUR</b>	Turubamba	Entrada al Mercado Mayorista (ex Administración Eloy Alfaro, Ayapamba y Tnte. Hugo Ortiz)
<b>BEL</b>	Belisario	Terraza del Edificio Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)
<b>JIP</b>	Jipijapa	Patio de la Dirección Metropolitana Ambiental (Río Coca 1731 e Isla Fernandina. Cdla. Jipijapa)
<b>CAM</b>	El Camal	Terraza del Hospital del Patronato Municipal San José Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)
<b>CEN</b>	Centro	Terraza de la Radio Municipal (ex Hogar Javier, García Moreno 751 y Sucre)
<b>CHI</b>	Chillogallo	Patio de la Escuela Juan Pablo II (Carlos Freile y Manuel Coronado)
<b>TUM</b>	Tumbaco	Terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal)
<b>LCH</b>	Los Chillos	Terraza de Andinatel (Av. Ilaló, Vía a El Tingo)

FUENTE: CORPAIRE-REMMAQ"Informe Final 2004"



FUENTE:CORPAIRE-REMAAQ

**FIGURA No. 16**  
**ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN EL DMQ**

Las referidas estaciones cuentan con equipos que permiten la evaluación de diferentes parámetros, como se indica en el la **Tabla 4**:

**TABLA No.4**  
**EQUIPAMIENTO DE LAS ESTACIONES DE LA REMMAQ**

	CON	TUR	BEL	JIP	CAM	CEN	CHI	TUM	LCH
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	n/a	OK	OK	OK	OK	OK	n/a	n/a	n/a
<b>SO<sub>2</sub></b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	n/a	n/a	n/a
<b>CO</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	n/a	n/a	n/a
<b>O<sub>3</sub></b>	OK	n/a	OK	n/a	OK	n/a	OK	OK	OK
<b>NOx</b>	OK	OK	OK	OK	OK	OK	n/a	n/a	n/a
<b>PTS</b>	n/a	n/a	n/a	OK	OK	n/a	OK	n/a	n/a
<b>PM<sub>10</sub></b>	OK	n/a	OK	OK	n/a	n/a	n/a	n/a	OK
<b>Metereológicos</b>	OK	OK	OK	n/a	OK	n/a	n/a	OK	OK

**n/a** : no existe analizador

FUENTE: CORPAIRE-REMMAQ"Informe Final 2004"

En el Libro VI De La Calidad Ambiental del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria, se encuentran los límites máximos permisibles para el control de Calidad del Aire Ambiente, mismos que se detallan en la **Tabla 5** y **Tabla 6**:

**TABLA No.5**  
**NORMA CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE**

CONTAMINANTE	VALOR	UNIDAD	TIPO DE NORMA	EXCEDENCIA
Partículas Sedimentables	1	mg/cm <sub>2</sub> x30 d)	Acumulado 30 días	No se permite
Material Particulado Respirable (PM <sub>10</sub> )	50	µg/m <sup>3</sup>	Promedio anual	No se permite
	150	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 24 hr	2 veces por año
Material Particulado Respirable (PM <sub>2.5</sub> )	15	µg/m <sup>3</sup>	Promedio anual	No se permite
	65	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 24 hr	2 veces por año
Dióxido de Azufre	80	µg/m <sup>3</sup>	Promedio anual	No se permite
	350	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 24 hr	1 vez por año
Monóxido de Carbono	10000	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 8 hr	1 vez por año
	40000	µg/m <sup>3</sup>	Media arit. Horaria	1 vez por año
Ozono	120	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 8 hr	1 vez por año
	160	µg/m <sup>3</sup>	Media arit. Horaria	1 vez por año
Dióxido de Nitrógeno	100	µg/m <sup>3</sup>	Media arit. Anual	No se permite
	150	µg/m <sup>3</sup>	Promedio 24 hr	2 veces por año

CONDICIONES: 25°C y 760 mmHg

FUENTE: Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria

**TABLA No.6**  
**LÍMITES INFERIORES DE CONTAMINANTES COMUNES (µg/m<sup>3</sup>) QUE DEFINEN LOS EPISODIOS CRÍTICOS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

CONTAMINANTES Y PERÍODO DE TIEMPO	ALERTA	ALARMA	EMERGENCIA
CO (concentración promedio en 8 hr)	15000	30000	40000
O <sub>3</sub> (concentración promedio en 1 hr)	300	600	800
NO <sub>2</sub> (concentración promedio en 1hr)	1200	2300	3000
SO <sub>2</sub> (concentración promedio en 24 hr)	800	1600	2100
PM <sub>10</sub> (concentración promedio en 24 hr)	250	400	500

FUENTE: Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria

De acuerdo al Informe Anual 2004 “La Calidad del Aire en Quito”, elaborado por CORPAIRE con datos generados por la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico, se registraron 11 días en los cuales se superó el límite máximo de concentración de uno o más contaminantes (**Tabla 7**), lo cual representa el 3,6% del tiempo.

**TABLA No.7**  
**NÚMERO DE DÍAS REGISTRADOS QUE SUPERAN**  
**LA NORMA DE CALIDAD DEL AIRE**

	PM <sub>10</sub> 24 h	PM <sub>2,5</sub> 24 h	SO <sub>2</sub> 24 h	CO 8h	CO 1h	O <sub>3</sub> 8h	O <sub>3</sub> 1h	NO <sub>2</sub> 24 h
<b>CON</b>	0	n/a	0	0	0	0	0	0
<b>TUR</b>	n/a	0	0	0	0	n/a	n/a	0
<b>BEL</b>	1	0	0	0	0	2	3	0
<b>JIP</b>	3	0	0	0	0	n/a	n/a	0
<b>CAM</b>	n/a	0	0	0	0	0	0	0
<b>CEN</b>	n/a	0	0	0	0	n/a	n/a	0
<b>CHI</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	0	0	n/a
<b>TUM</b>	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	4	4	n/a
<b>LCH</b>	0	n/a	n/a	n/a	n/a	0	0	n/a

**n/a** : no existe analizador

FUENTE: CORPAIRE-REMMAQ”Informe Final 2004”

En las estaciones en donde se monitoreo NO<sub>x</sub>, no existen días que incumplan la norma. En el caso del ozono, este no se emite directamente por las chimeneas, sino que se forma como resultado de reacciones fotoquímicas entre óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles; de ahí la importancia de controlar las emisiones de estos gases.

Según entrevista mantenida con el Ing. Carlos Paéz de CORPAIRE (08 de septiembre de 2004), según sus registros en lo referente a óxidos de nitrógeno, el 16% corresponde a las Centrales Térmicas Guangopolo de Termopichincha y Gualberto Hernández de la Empresa Eléctrica Quito. El 1% es de responsabilidad de aproximadamente 600 fuentes fijas. El porcentaje restante estaría repartido entre 15.000 vehículos a diesel y 200.000 vehículos a gasolina.

En base a los datos de monitoreo de la Central Guangopolo se ha procedido a calcular la cantidad de NOx generados, obteniéndose las siguientes cifras:

2.800 ton/año 2003

3.787 ton/año 2004

## 7. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LA CONTAMINACIÓN ATMÓSFERICA EN LA CENTRAL TÉRMICA GUANGOPOLO

La Central Térmica Guangopolo fue la primera Central Térmica con motores de combustión interna de mediana potencia que entró en operación durante la década de los años sesenta, mientras se construían las centrales hidroeléctricas de Pisayambo, Paute y Agoyán. Fue construida por el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), bajo convenio con el gobierno japonés, para enfrentar la demanda de fluido eléctrico de los sectores industriales, comerciales y residenciales.

El 31 de marzo de 1999, INECEL es liquidado por el estado, a fin de privatizar el sector eléctrico. Es así como Termopichincha entró en actividades el primero de abril de 1999, pero fue a partir del segundo semestre del año 2000 cuando se empezaron a monitorear las emisiones de los gases de escape.

A fin de contar con una clara idea de los contaminantes emitidos y su concentración se procedió a recolectar todos los datos obtenidos desde entonces hasta el año 2004.

Los parámetros monitoreados, a fin de dar cumplimiento a las regulaciones locales y nacionales, son los indicados en la **Tabla 8**:

**TABLA No.8**  
**PARÁMETROS DE CONTROL DE EMISIONES A LA ATMOSFERA**

PARÁMETRO	UNIDAD
Flujo de gas seco	m <sup>3</sup> /h
Temperatura	°C
Oxígeno	%
Dióxido de Carbono	%
Monóxido de Carbono	ppm
Dióxido de Azufre	ppm
Óxidos de Nitrógeno	ppm
Material Particulado	g/m <sup>3</sup> de gas seco
Número de Humo	

El promedio de las mediciones mensuales se utilizó como valor representativo para cada semestre. Posteriormente se calculó el promedio para cada parámetro y para cada motor. Estos cálculos se encuentran detallados en el **Anexo 1**.

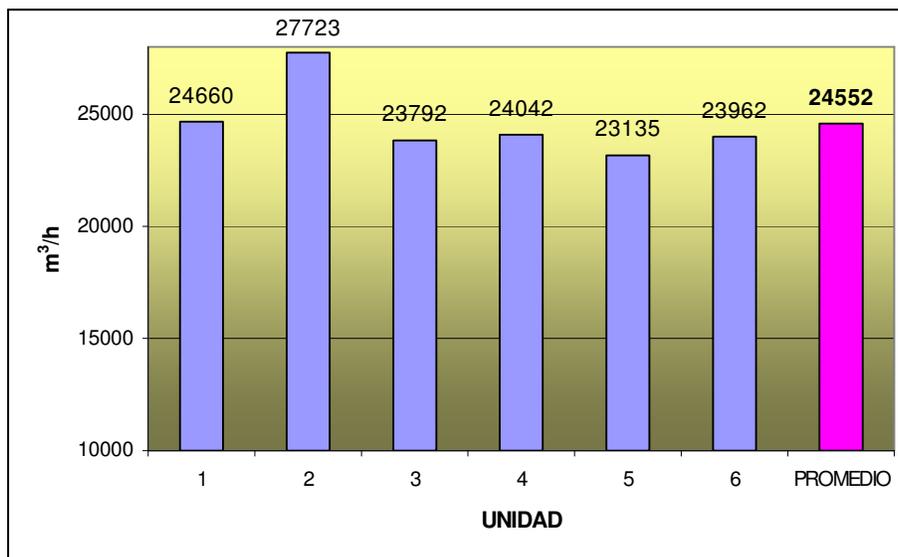
A continuación se presenta un promedio total respecto a los parámetros de control de emisiones a la atmósfera de la Central Térmica Guangopolo, (**Tabla 9**), basados en los datos de la línea base:

**TABLA No.9**  
**LÍNEA BASE DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS**  
**DE LA CENTRAL TÉRMICA GUANGOPOLO 2000-2004**

PARÁMETRO	UNIDAD	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 3	UNIDAD 4	UNIDAD 5	UNIDAD 6	PROMEDIO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Flujo de gas seco	m <sup>3</sup> /h	24.660	27.723	23.792	24.042	23.135	23.962	<b>24.552</b>	
Temperatura	°C	366	370	356	388	367	367	<b>369</b>	
Oxígeno	%	11,4	11,4	11,4	11,3	11,8	11,7	<b>11,5</b>	
Dióxido de Carbono	%	7,4	7,4	7,4	7,5	7	7,4	<b>7,3</b>	
Monóxido de Carbono	ppm	156	185	176	237	206	210	<b>195</b>	
<i>Monóxido de Carbono</i>	g/kW-h	1,1	1,1	1,4	1,4	1,3	1,4	<b>1,3</b>	<b>8 DMMA</b>
Dióxido de Azufre	ppm	217	266	236	256	216	232	<b>237</b>	
<i>Dióxido de Azufre</i>	mg/m <sup>3</sup>	400	405	408	449	407	428	<b>416</b>	<b>1500 TULAS</b>
Óxidos de Nitrógeno	ppm	2246	2373	2144	2295	2379	2284	<b>2287</b>	
<i>Óxidos de Nitrógeno</i>	g/kW-h	<b>21,3</b>	<b>22,6</b>	<b>19,5</b>	<b>21,2</b>	<b>19,6</b>	<b>21,5</b>	<b>20,9</b>	<b>6.4 DMMA</b>
Material Particulado	g/m <sup>3</sup> de gas seco	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	<b>0,02</b>	
<i>Material Particulado</i>	g/kW-h	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	<b>0,1</b>	<b>0.4 DMMA</b>
Número de Humo		4,6	4	4,2	4,6	5,3	5	<b>4,6</b>	

## 7.1 FLUJO DE GAS SECO

En la **Fig.17** se representa el promedio de  $\text{m}^3/\text{h}$  de gas seco (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.

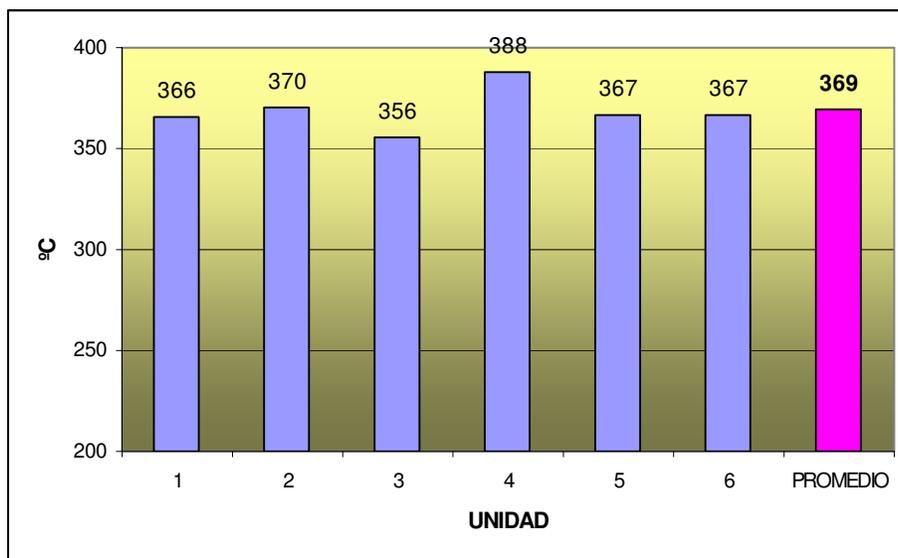


**FIGURA No. 17**  
**FLUJO DE GAS SECO**

Este parámetro no se encuentra regulado por la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, ni por la Legislación Ambiental Secundaria. Sin embargo es de trascendental importancia ya que su relación es directamente proporcional a la generación de  $\text{g}/\text{kW-h}$  de  $\text{NO}_x$ , puesto que es utilizado para transformar a estas unidades los ppm que reporta el equipo analizador.

## 7.2 TEMPERATURA

En la **Fig.18** se representa el promedio en °C 2000-2004 con que salen los gases de escape de cada unidad, así como el promedio de la Central.

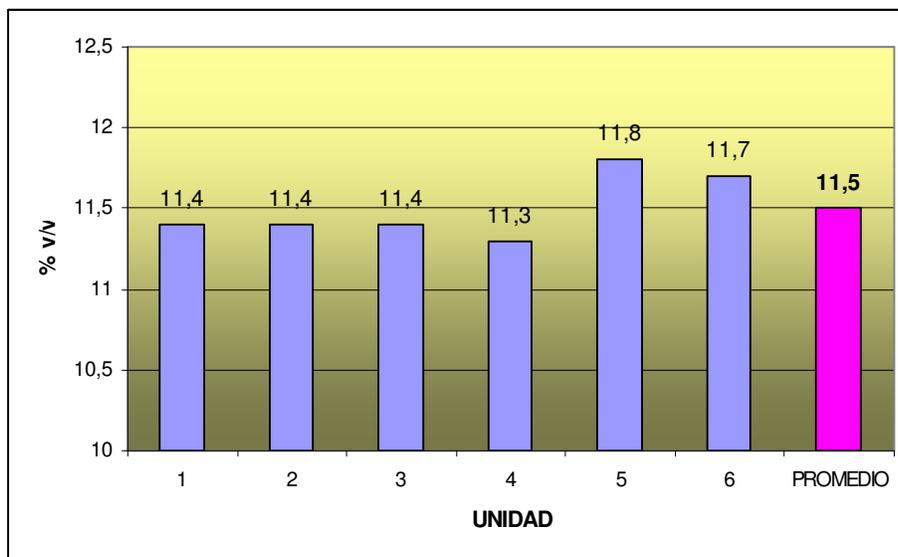


**FIGURA No. 18**  
**TEMPERATURA**

Este parámetro no se encuentra regulado por la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, ni por la Legislación Ambiental Secundaria. Como se puede observar, el valor promedio es de aproximadamente 370°C.

### 7.3 OXÍGENO

En la **Fig.19** se representa el promedio del porcentaje de oxígeno (2000-2004) emitido en los gases de escape de cada unidad, así como el promedio de la Central.

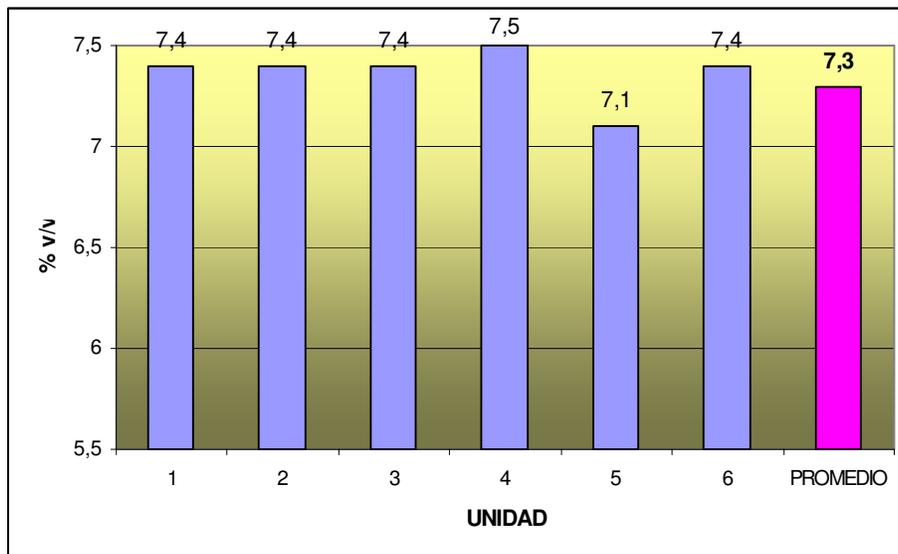


**FIGURA No. 19**  
**OXÍGENO**

Este parámetro no se encuentra regulado por la Dirección del Distrito Metropolitano de Quito, ni por la Legislación Ambiental Secundaria. El porcentaje de oxígeno es importante porque permite conocer el exceso de aire empelado en la combustión, siendo en este caso de aproximadamente 11,5%

#### 7.4 DIÓXIDO DE CARBONO

En la **Fig.20** se representa el promedio del porcentaje de CO<sub>2</sub> (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.

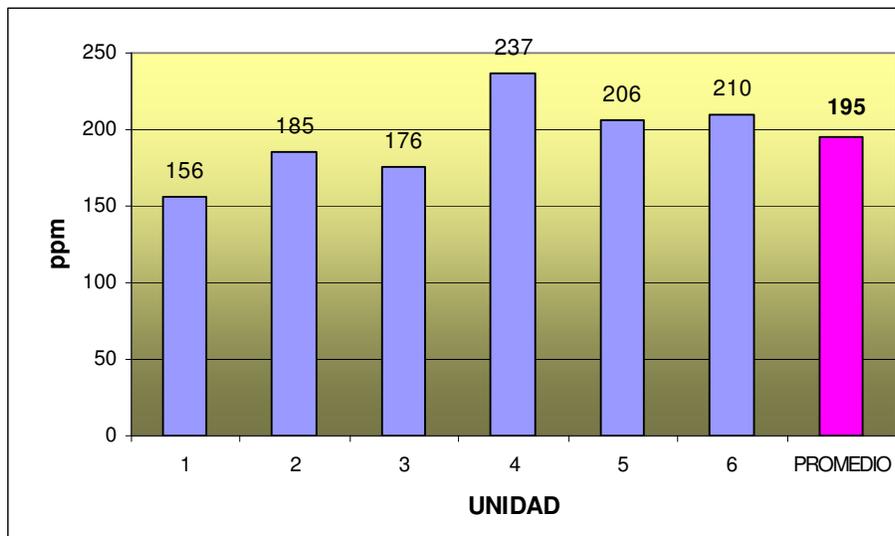


**FIGURA No. 20**  
**DIÓXIDO DE CARBONO**

Este parámetro no se encuentra regulado por la Dirección del Distrito Metropolitano de Quito, ni por la Legislación Ambiental Secundaria.

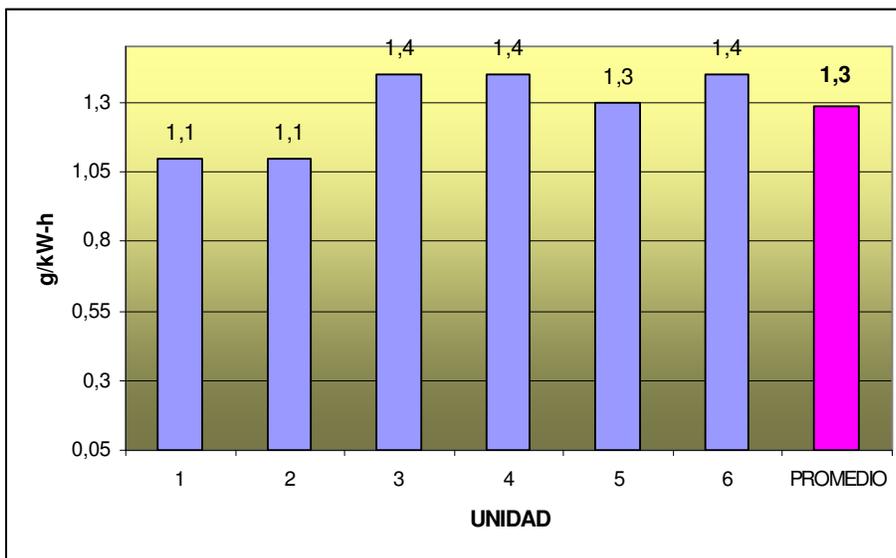
#### 7.5 MONÓXIDO DE CARBONO

En la **Fig.21** se representa el promedio en partes por millón de CO (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.



**FIGURA No. 21**  
**MONÓXIDO DE CARBONO**

Este parámetro si se encuentra controlado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, siendo el límite máximo permitido de  $8 \text{ g/kW-h}^3$ . Como se observa en la **Fig.22**, las emisiones de CO de la Central Térmica Guangopolo cumplen con este criterio.

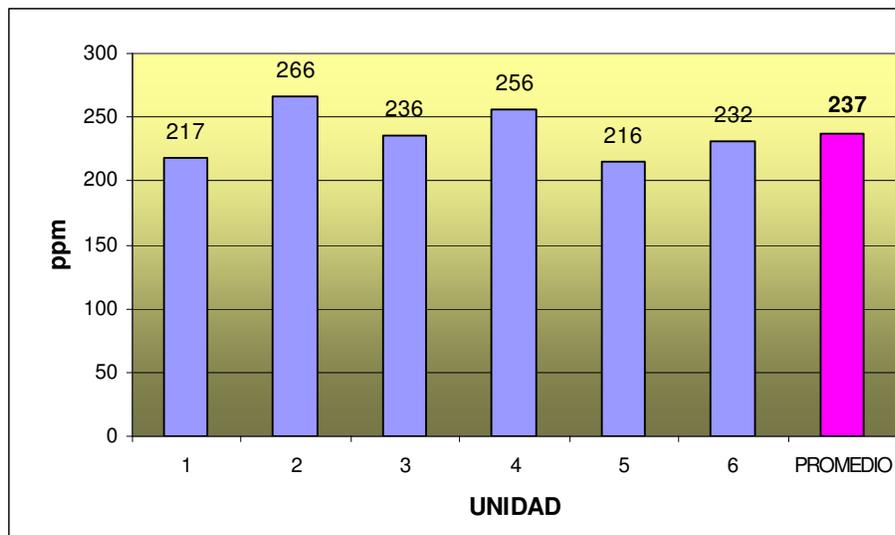


**FIGURA No. 23**  
**MONÓXIDO DE CARBONO-UNIDADES NORMA DMMA**

<sup>3</sup> La transformación de unidades de ppm de CO, NOx y PM a g/kW-h se presentan en el **Anexo 2**.

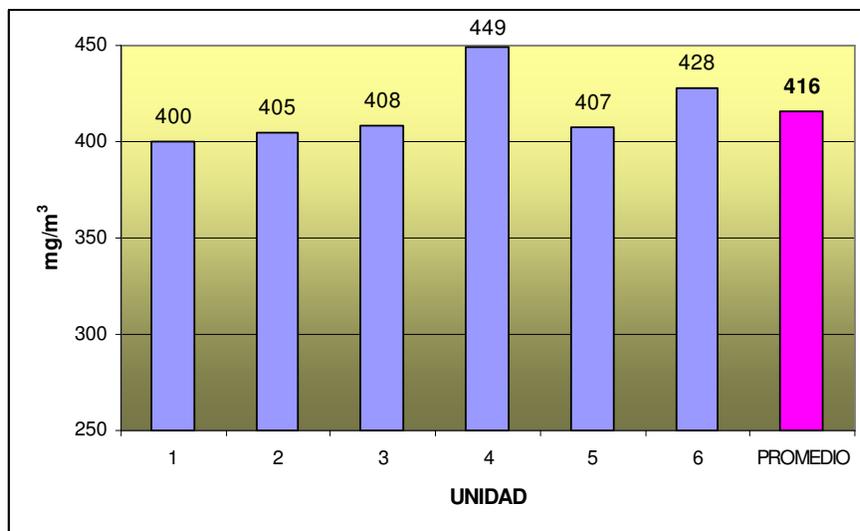
## 7.6 DIÓXIDO DE AZUFRE

En la **Fig.23** se representa el promedio en partes por millón de SO<sub>2</sub> (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.



**FIGURA No. 23**  
**DIÓXIDO DE AZUFRE**

Este parámetro se encuentra regulado en la Legislación Ambiental Secundaria, siendo el límite máximo permitido de 1500 mg/m<sup>3</sup><sup>4</sup>. Como se observa en la **Fig.24**, las emisiones de SO<sub>2</sub> de la Central Térmica Guangopolo cumplen con este criterio.

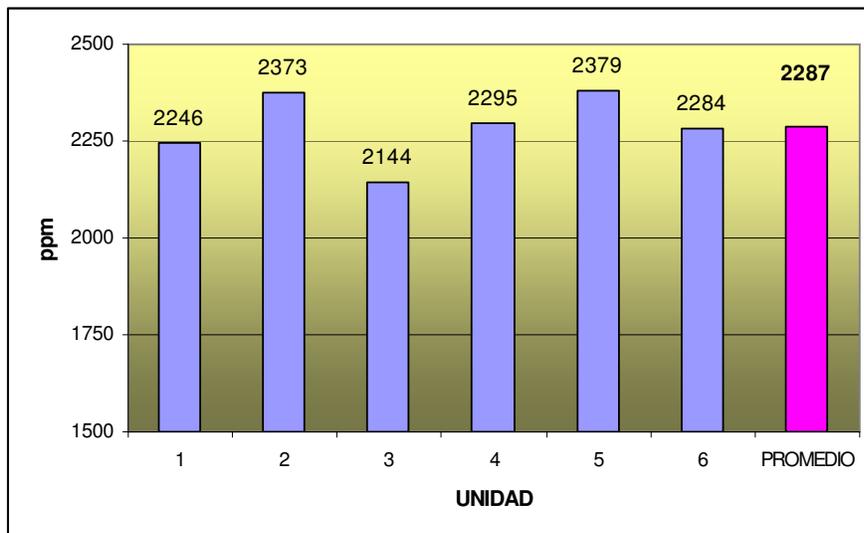


**FIGURA No. 24**  
**DIÓXIDO DE AZUFRE-NORMA TULAS**

<sup>4</sup> La transformación de unidades de ppm de SO<sub>2</sub> a mg/m<sup>3</sup> se presentan en el **Anexo 3**.

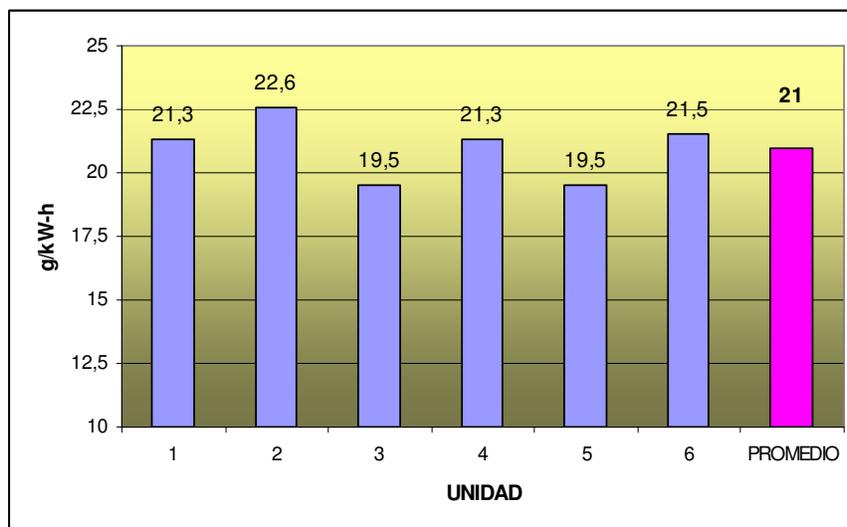
## 7.7 ÓXIDOS DE NITRÓGENO

En la **Fig.25** se representa el promedio en partes por millón de NO<sub>x</sub> (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.



**FIGURA No. 25**  
**ÓXIDOS DE NITRÓGENO**

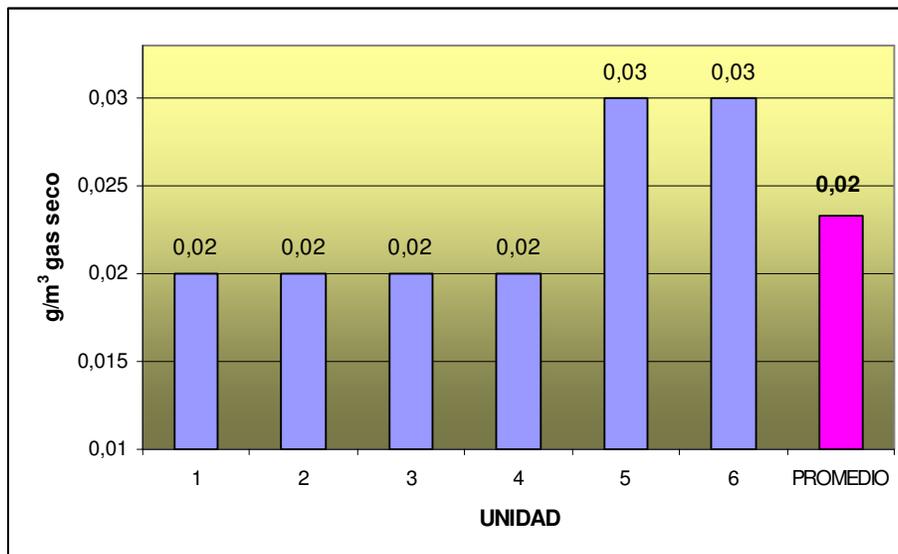
Este parámetro si se encuentra controlado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, siendo el límite máximo permitido de 6,4 g/kW-h. Como se observa en la **Fig.26**, ninguna de las unidades cumple esta disposición.



**FIGURA No. 26**  
**ÓXIDOS DE NITRÓGENO – UNIDADES NORMA DMMA**

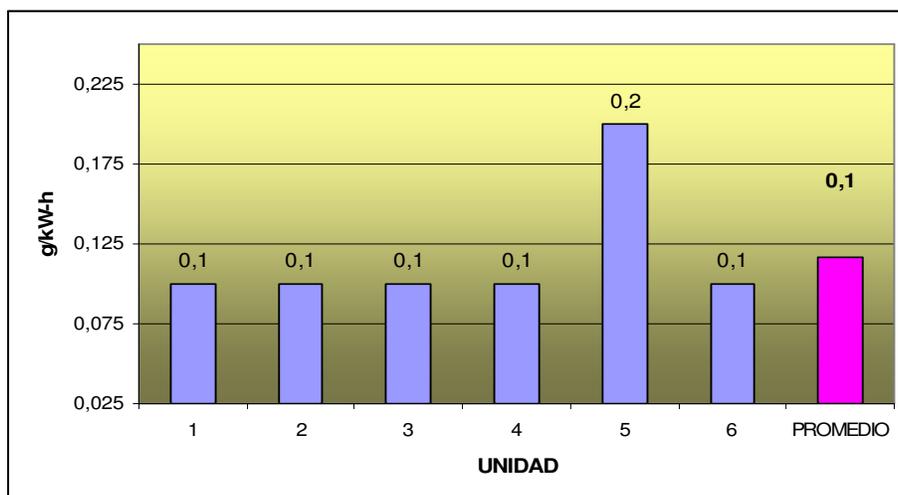
## 7.8 MATERIAL PARTICULADO

En la **Fig.27** se representa el promedio de material particulado (2000-2004) que emite cada unidad, así como el promedio de la Central.



**FIGURA No. 27**  
**MATERIAL PARTICULADO**

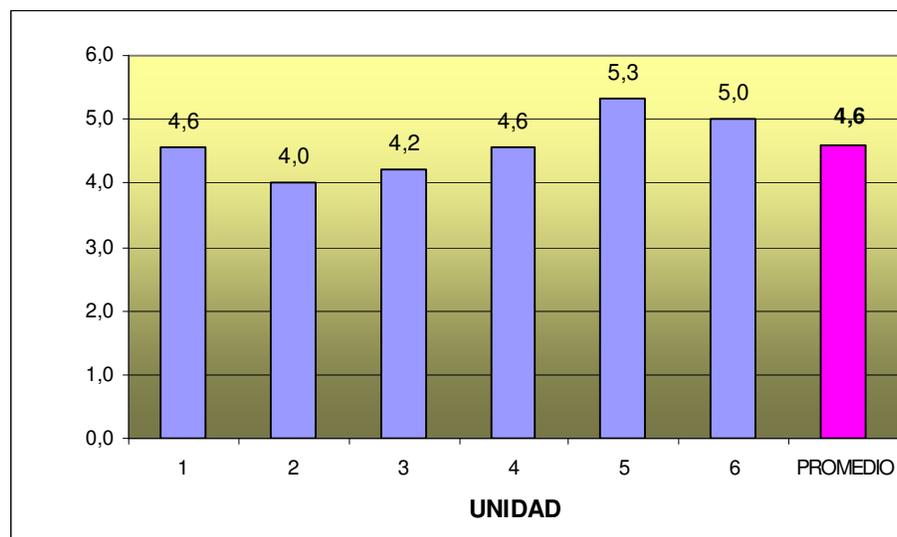
Este parámetro si se encuentra controlado por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, siendo el límite máximo permitido de 0,4 g/kW-h. Como se observa en la **Fig.28**, las emisiones de material particulado de la Central Térmica Guangopolo cumplen con este criterio.



**FIGURA No. 28**  
**MATERIAL PARTICULADO – UNIDAD NORMA DMMA**

## 7.9 NÚMERO DE HUMO

En la **Fig.29** se representa el promedio del número de humo (2000-2004) de cada unidad, así como el promedio de la Central.



**FIGURA No. 29**  
**NÚMERO DE HUMO**

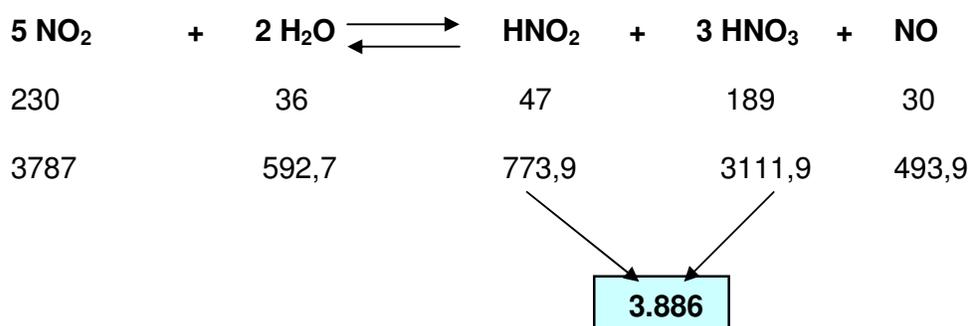
Una combustión cuyo número de humo se encuentre entre 0 y 4 es calificada como buena, entre 5 y 7 indica leves problemas; y entre 7-9 señala problemas serios de combustión.

## 8. GENERACIÓN DE LLUVIA ÁCIDA Y OZONO POR ACTIVIDAD DE LA CENTRAL TÉRMICA GUANGOPOLO

A fin de tener una aproximación de los daños ambientales que podrían generarse como consecuencia de las emisiones de NOx de la Central Térmica Guangopolo, se ha realizado un cálculo de la cantidad de lluvia ácida y ozono que serían producidos.

### 8.1 LLUVIA ÁCIDA

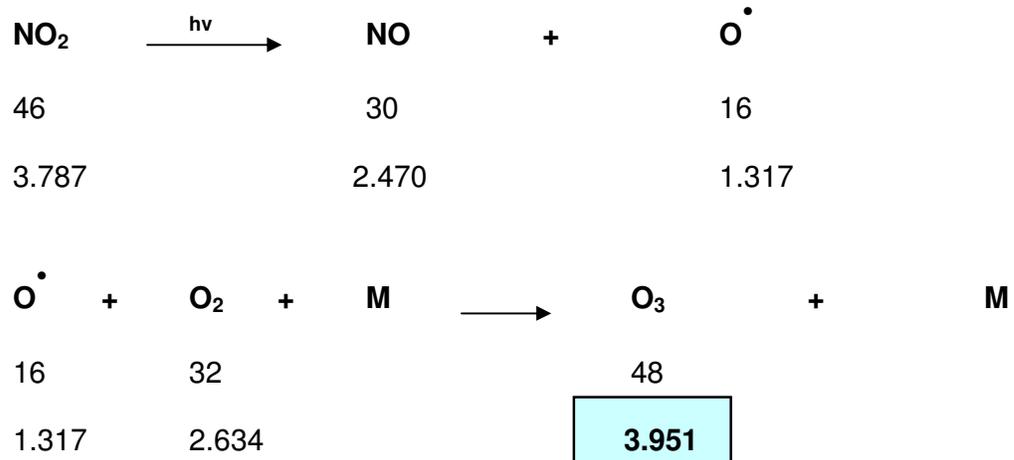
En el año 2004, la Central Térmica Guangopolo generó 3787 toneladas de NOx (*Anexo 4*). Si suponemos que toda esta cantidad reaccionó con vapor de agua presente en la atmósfera en suficiente cantidad para reaccionar con la totalidad de óxidos de nitrógeno tenemos que:



**Se generarían 3.886 toneladas de ácidos por año**

## 8.2 OZONO TROPOSFÉRICO

Suponiendo que existiese ausencia de vapor de agua, y todo el NO<sub>x</sub> actuara como precursor de ozono, diríamos que:



**Se generarían 3.951 toneladas de ozono por año**

## 9. CARACTERIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE Y DETERMINACIÓN DE NO<sub>x</sub> PROVENIENTES DEL MISMO

La Central Térmica Guangopolo utilizó para la generación de electricidad Búnker (tipo Fuel Oil #4), hasta el 2003, año a partir del cual fue sustituido por crudo residual de la refinería de Shushufindi, a fin de conseguir una reducción en los costos de operación.

Se han realizado varios análisis del mismo, así como del diesel que se emplea en el arranque y parada de las unidades.

En el **Anexo 5** se encuentra el detalle de todos los análisis efectuados en los combustibles, y se presentan en las **Tablas 10 y 11**; los valores representativos para cada caso.

TABLA No.10

**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL  
CRUDO RESIDUAL DE SHUSHUFINDI**

PARÀMETRO	UNIDAD	VALOR
Gravedad Específica	60/60°F	0,967
API	60°F	15
Viscosidad Cinemática 50°C	cSt	820
Viscosidad Cinemática 100°C	cSt	66
Contenido de Agua	P-A	A
Contenido de Carbón	%	87
Contenido de Azufre	%	1,3
Contenido de Nitrógeno	%	<b>0,4</b>
Punto de Inflamación	°C	150
Punto de Ecurrimiento	°C	17
Poder Calórico Superior	kcal/kg	10347
Poder Calórico Inferior	kcal/kg	9830
Carbón Residual	%	6
<b>METALES</b>		
Sodio	ppm	32
Potasio	ppm	11
Magnesio	ppm	0,5
Manganeso	ppm	0,2
Níquel	ppm	72
Aluminio	ppm	20,2
Vanadio	ppm	116,2
Calcio	ppm	35
Hierro	ppm	144
Sílice	ppm	37
Plomo	ppm	1,25
Zinc	ppm	6,5

**TABLA No.11**  
**CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL DIESEL**

PARÀMETRO	UNIDAD	VALOR
Gravedad Específica	60/60°F	0,954
API	60°F	17
Contenido de Agua	P-A	<b>A</b>
Contenido de Azufre	%	0,3
Contenido de Nitrógeno	%	0,05
Punto de Inflamación	°C	94
Poder Calórico Inferior	kcal/kg	11411
<b>METALES</b>		
Sodio	ppm	2,5
Potasio	ppm	0,4
Magnesio	ppm	0,1
Manganeso	ppm	<0,01
Níquel	ppm	0,1
Vanadio	ppm	0,2

A fin de conocer la influencia del nitrógeno contenido en los combustibles en la generación de los NO<sub>x</sub>, se realizó el cálculo presentado en el **Anexo 6**, que indica que el **12%** de óxidos de nitrógeno se deben a la composición propia del combustible.

## **10. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS PARA LA REDUCCIÓN DE NO<sub>x</sub>**

Se pueden reducir la emisión de contaminantes, atacando el problema en forma previa a que se produzca (*medidas primarias*); o luego de que su generación (*medidas secundarias*).

### **10.1 MEDIDAS PRIMARIAS:**

#### **10.1.1 HOMOGENIZACIÓN DEL COMBUSTIBLE**

El crudo residual contiene una gran cantidad de impurezas, incluyendo partículas pesadas de carbono, conocidas como asfaltenos, mismos que son causa de la formación de lodos y de combustión incompleta. Esto obliga a sobrecargas en las purificadoras y luego es necesaria su disposición final, con todos los problemas que ello conlleva.

Mediante la homogenización se busca romper los asfaltenos, presentes en combustibles pesados. Durante la operación normal de un molino a una velocidad 1500 a 2000 rpm es posible disminuir el tamaño de las partículas de unas 120 hasta las 5 micras. El resultado es una mejor atomización del combustible, lo que se traduce en una mejor distribución de las temperaturas en el interior de la cámara de combustión, además de una combustión más completa, con la consecuente disminución en residuos, tanto en forma de sedimento como en emisión de partículas; así como también en la formación de puntos calientes.

Existen varios tipos de equipos que emplean diferentes principios para conseguir la homogenización del combustible, entre ellos podemos mencionar los siguientes:

- Homogenizadores de tipo molino (“rotor-stator”), que físicamente rompe el combustible a su paso por la unidad.
- Homogenizadores por ultrasonido, que emplean transductores de ultrasonido de alta potencia.
- Homogenizadores de alta presión, que consta de una bomba que eleva la presión del fluido, haciéndolo pasar a través de una válvula homogenizadora, que lo pulveriza, físicamente.

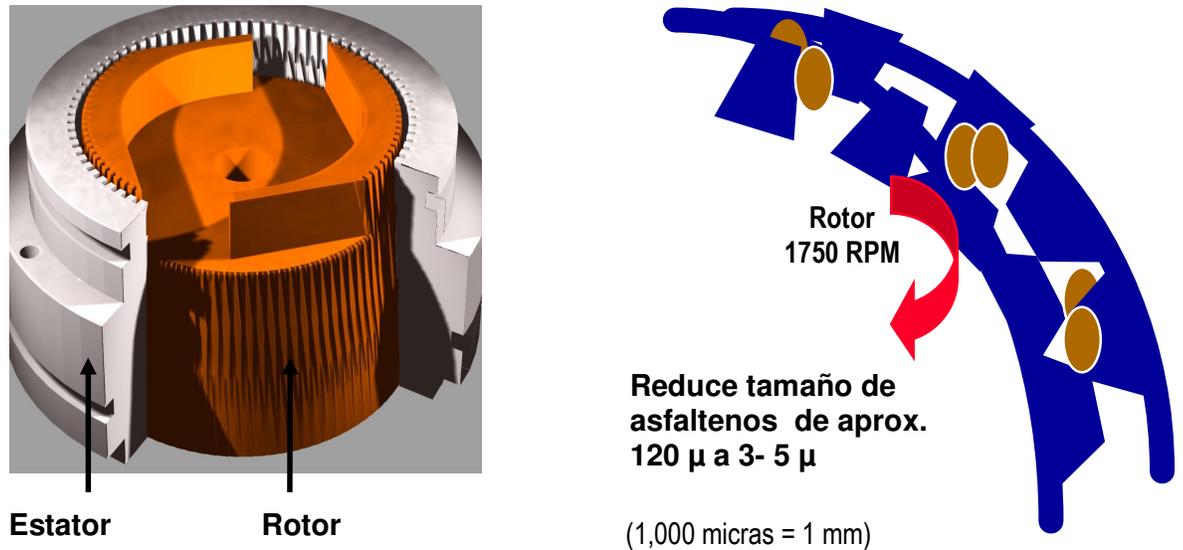
Los homogenizadores tipo molino son los que se ofrecen comercialmente con mayor facilidad, en la **Fig.30** se puede apreciar un esquema del mismo:



FUENTE: Compañía Ashland

**FIGURA No. 30**  
**HOMOGENIZADOR FUEL MILL™**

El homogenizador consiste en un rotor concéntricamente ubicado dentro de un estator, como se aprecia en la **Fig. 31**:



FUENTE: "Fuel Managment-Gerenciamento de Combustiveis Na Area Maritima" Río de Janeiro-Brasil, 2004 CD-ROM

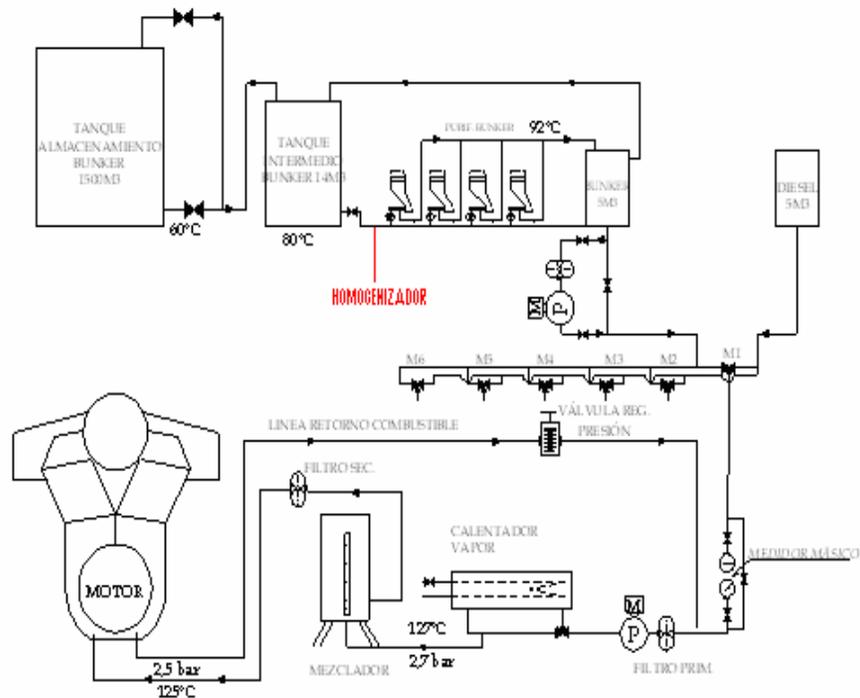
**FIGURA No. 31**  
**ROTOR-ESTATOR**

- **REDUCCIÓN**

El porcentaje de reducción en la generación de g NO<sub>x</sub>/kW-h que se obtiene aplicando esta tecnología es de aproximadamente **5%**.<sup>17</sup> (Mulder,2004)

- **COMPATIBILIDAD**

El equipo deberá estar ubicado antes de los purificadores, siguiendo el esquema representado en la **Fig.32**:



**FIGURA No.32**  
**INSTALACIONES DE TANQUES DE COMBUSTIBLES**  
**EN LA C/T GUANGOPOLO – UBICACIÓN DE HOMOGENIZADOR**

- **CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

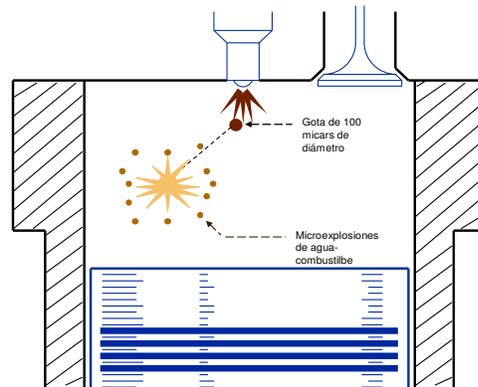
Se espera una reducción en el consumo de combustible debido a una mejora de la combustión.

- **AFECTACIÓN AL RENDIMIENTO**

De igual manera se esperaría un mayor rendimiento por la producción de una combustión más completa.

### 10.1.2 EMULSIFICACIÓN

Consiste en formar una emulsión, mediante la formación de gotas de combustible con un núcleo de agua, como se observa en la **Fig 33** Al incrementarse la presión en la cámara de combustión (1587 psi), el agua estalla rompiendo el combustible en partículas más pequeñas, incrementando la superficie del combustible y por lo tanto mejorando la vaporización y la mezcla con oxígeno debido a la simplificación de las cadenas moleculares.<sup>18</sup>



FUENTE: "Fuel Managment-Gerenciamento de Combustiveis Na Area Maritima" Río de Janeiro-Brasil, 2004 CD-ROM

**FIGURA No. 33**  
**INYECCIÓN DE COMBUSTIBLE**  
**EN LA CÁMARA DE COMBUSTIÓN**

La formación de una emulsión estable de agua y combustible, se ha comprobado exitosa por varias razones, según la experiencia de la Compañía Ashland:

- El agua, por su alta capacidad calorífica, es capaz de disipar parte del calor generado en la combustión, consiguiendo que la temperatura de la llama disminuya.
- Además, al ser inyectada la emulsión, ocurren micro-explosiones de las gotas de combustible con núcleo acuoso. Como consecuencia de esto, la combustión se da de forma más completa y uniforme.

#### - **REDUCCIÓN**

A través del procedimiento físico, se producen reducciones de **1%** en NOx por cada 1% w/w de agua adicionado a la emulsión con el fuel oil, pudiendo alcanzarse disminuciones de hasta 50%.<sup>20</sup>

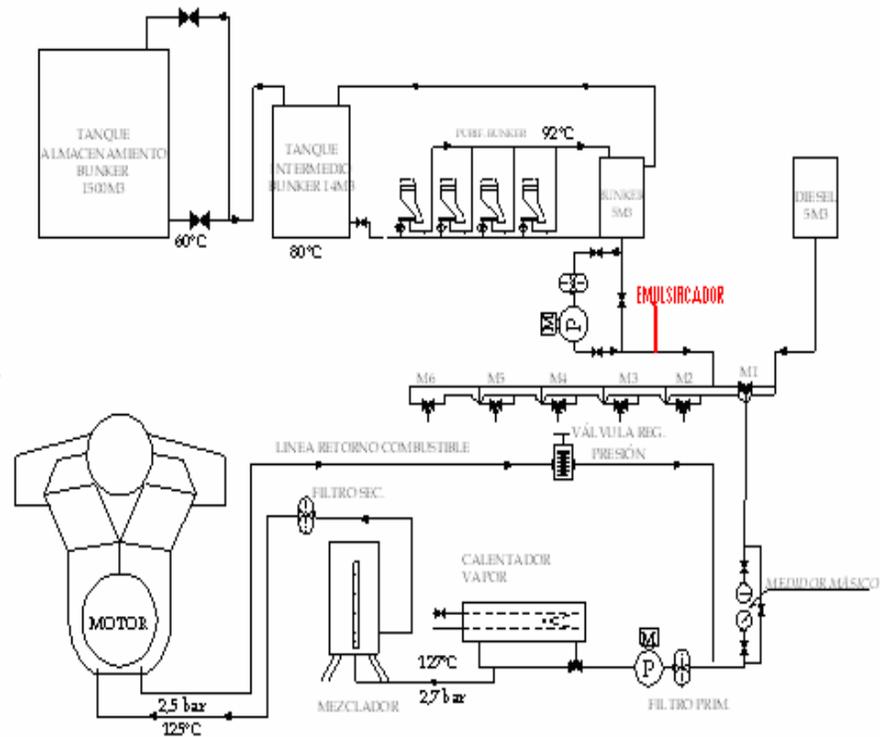
En la práctica, se aplican emulsiones de 25-30% w/w, estables y asimilables en el intervalo de carga del motor, con lo que se consigue de un **20-35%** de reducción en emisiones de NOx.<sup>21</sup>

#### - **COMPATIBILIDAD**

Un molino de combustible permitiría emulsificar agua con crudo residual en la Central Guangopolo.

Ashland, compañía fabricante de estos equipos, manifiesta que el equipo necesario sería de fácil instalación, y recomienda que su ubicación sea en la

línea de distribución de combustible a los motores, como se puede observar en la **Fig.34**:



**FIGURA No.34**  
**INSTALACIONES DE TANQUES DE COMBUSTIBLES**  
**EN LA C/T GUANGOPOLO – UBICACIÓN DE EMULSIFICADOR**

#### - CONSUMO DE COMBUSTIBLE

No existe disminución en el consumo de combustible.<sup>22</sup> (California Energy Comisión, 2001)

#### - AFECTACIÓN AL RENDIMIENTO

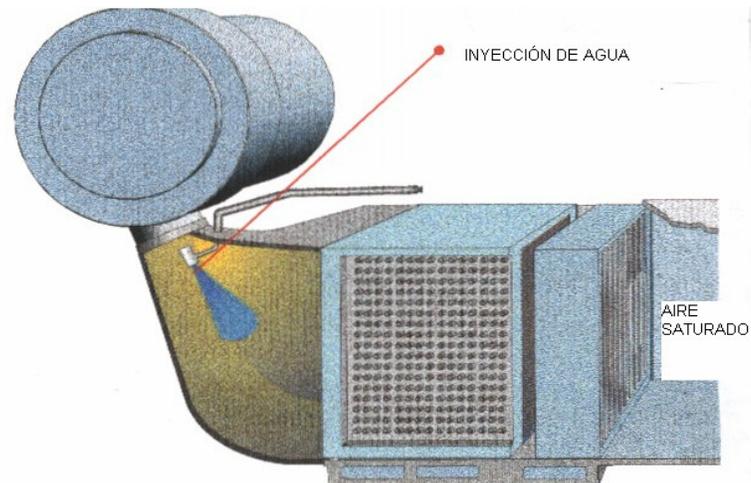
En el lado negativo, el rendimiento del motor disminuye ligeramente, aproximadamente 1% por cada 6%w/w de agua adicionado.<sup>17</sup>

### 10.1.3 HUMIDIFICACIÓN

Se persigue conseguir una reducción de los NOx mediante la adición de agua en forma de vapor al aire de admisión en el turbocargador. Se busca aprovechar el efecto que tiene el agua sobre la disminución de las temperaturas máximas de combustión por alimentación de aire húmedo.

La temperatura de la corriente de aire tiene mucha influencia en la cantidad de agua que puede ser arrastrada, será necesario usar temperaturas de entrada de aire altas, entre 70 y 90°C.

Este pretratamiento del aire se ha estado probando con éxito en motores HAM (humid air motor) para navíos de S.E.M.T. Pielstick, utilizando una torre de humidificación instalada después del turbocargador, donde se evapora el agua de mar que viene calentada por aprovechamiento del calor generado en el proceso, como pueden ser las corrientes calientes de gases de escape. El aire puede llegar a saturarse en humedad a la salida del compresor del turbocargador. Wärtsilä propone un sistema compacto de saturación de aire de combustión (CASS) (**Fig.35**), para humidificar el aire después del paso por el turbocargador, por medio de boquillas que atomizan el agua en tamaño de unas pocas micras de diámetro.<sup>23</sup>



FUENTE: WARTSILA NOx Reduction-Wet Techonology

**FIGURA No.35**  
**SISTEMA DE SATURACIÓN DEL AIRE DE COMBUSTIÓN**

- **REDUCCIÓN**

El porcentaje de reducción de g NOx/kW-h esperado es de **45-65%**.<sup>23</sup>

- **COMPATIBILIDAD**

A fin de tener una idea si esta alternativa podría ser aplicable en la Central Térmica Guangopolo se realizó una prueba aplicando vapor proveniente de la línea de vapor de las purificadoras de aceite hacia el filtro de aire, como se observa en la **Fig. 36**:



**FIGURA No.36**  
**FILTRO DE AIRE**

Se obtuvieron los resultados expresados en la **Tabla 12:**

**TABLA No.12**  
**MONITOREO DE EMISIONES GASEOSAS**  
**PRUEBA DE HUMIDIFICACIÓN # 1**

PARÁMETRO	ANTES	DESPUES
Temperatura °C	334,4	325,1
Oxígeno %	11,59	11,63
CO <sub>2</sub> %	7,46	7,43
CO ppm	244	210
NO <sub>x</sub> ppm	<b>2153</b>	<b>2133</b>
SO <sub>2</sub> ppm	422	383

Prueba realizada en el Motor No.1 el 25 de mayo/2005  
Porcentaje de reducción obtenido: 1%

En vista de que no se obtuvieron buenos resultados debido a la falta de homogeneidad del ingreso de vapor, se realizó una nueva toma proveniente de la línea de vapor de los calderos que estén en funcionamiento, y se obtuvieron los resultados señalados en las **Tabla 13,14 y 15:**

**TABLA No.13**  
**MONITOREO DE EMISIONES GASEOSAS**  
**PRUEBA DE HUMIDIFICACIÓN # 2**

PARÁMETRO	ANTES	DESPUÉS
Temperatura °C	324.9	328.8
Oxígeno %	11.55	11.42
CO <sub>2</sub> %	7.49	7.59
CO ppm	221	222
NOx ppm	<b>2144</b>	<b>2002</b>
SO <sub>2</sub> ppm	385	384

Prueba realizada en el Motor No.1 el 26 de mayo/2005  
 Porcentaje de reducción obtenido: 7 %

**TABLA No.14**  
**MONITOREO DE EMISIONES GASEOSAS**  
**PRUEBA DE HUMIDIFICACIÓN # 3**

PARÁMETRO	ANTES	DESPUÉS
Temperatura °C	325.9	328.7
Oxígeno %	11.72	11.55
CO <sub>2</sub> %	7.35	7.49
CO ppm	263	252
NOx ppm	<b>2139</b>	<b>2016</b>
SO <sub>2</sub> ppm	359	392

Prueba realizada en el Motor No.1 el 30 de mayo/2005  
 Porcentaje de reducción obtenido: 6%

**TABLA No.15**  
**MONITOREO DE EMISIONES GASEOSAS**  
**PRUEBA DE HUMIDIFICACIÓN # 4**

PARÁMETRO	ANTES	DESPUÉS
Temperatura °C	330.5	332.0
Oxígeno %	11.38	11.37
CO <sub>2</sub> %	4.62	7.45
CO ppm	282	280
NOx ppm	<b>2106</b>	<b>1958</b>
SO <sub>2</sub> ppm	432	434

Prueba realizada en el Motor No.1 el 08 de junio/2005  
 Porcentaje de reducción obtenido: 3%

Se puede apreciar una reducción, a pesar de que después del enfriador del turbocargador existe una purga de agua por donde la mayoría del vapor condensado se elimina, estimándose que la disminución se debe tan solo a la pequeña cantidad que logra ingresar, **Fig.37 y 38:**



**FIGURA No.37**  
**TUBERÍA DE INGRESO DE AIRE AL TURBOCARGADOR**



ENFRIADOR

PURGA DE AGUA

**FIGURA No.38**  
**PURGA DE AGUA**

Sin embargo existe incertidumbre respecto a si podemos considerar esta reducción como representativa y real, puesto que el porcentaje de variación en la cantidad de NOx generados en un mismo día es variable, como se aprecia en la

**Tabla 16:**

**TABLA No.16**  
**VARIACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE NOx**

	02/01/2006 ppm NOx	%*	04/01/2006 ppm NOx	%*	06/01/2006 ppm NOx	%*
08:00	2330		2328		2353	
10:00	2412	3,5	2378	2,1	2433	3,4
14:00	2356	1,8	2363	1,5	2370	0,7
16:00	2356	1,1	2387	2,5	2405	2,2

\* PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PRIMER VALOR DEL DÍA

Se ha pensado entonces en realizar una instalación en la tubería posterior a la purga, pero al tratarse de vapor no sería posible conocer la cantidad exacta que ingresaría por lo que se ha estimado conveniente inyectar agua mediante una bomba dosificadora que permita controlar exactamente la cantidad de agua que va a ingresar.

- **CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

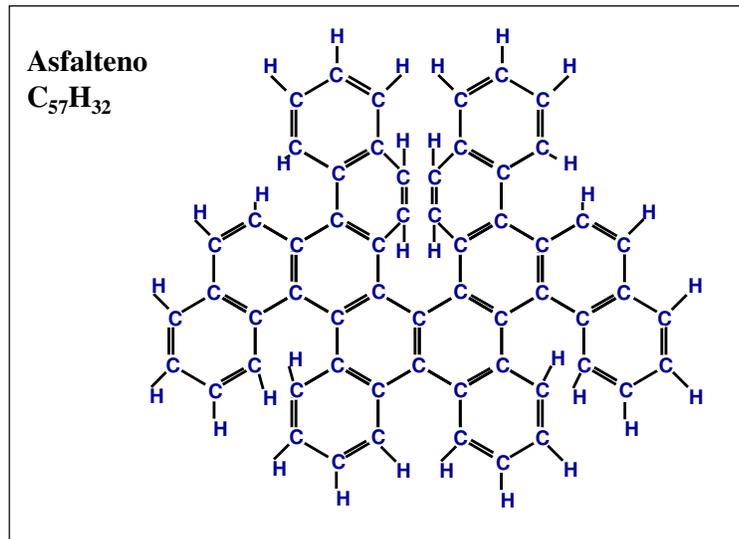
No se ha reportado cambios significativos en el consumo de combustible.<sup>23</sup>

- **AFECTACIÓN AL RENDIMIENTO**

Se debería esperar una disminución del rendimiento térmico del motor.

#### **10.1.4 ADITIVACIÓN**

Los asfaltenos son las fracciones más pesadas y polares que se encuentran en el crudo. Durante el proceso de refinación, los asfaltenos terminarán en un gran porcentaje en las fracciones residuales. Son moléculas muy complejas que consisten en cadenas poliaromáticas, insolubles en n-heptano o n-pentano y solubles en benceno o tolueno, **Fig 39**. Su presencia causa algunos problemas como depósitos en las líneas de conducción, problemas de los tanques de almacenamiento, combustión pobre y demoras en la ignición si su contenido sobrepasa el 6%.<sup>24</sup> (BYCOSIN, 2004)

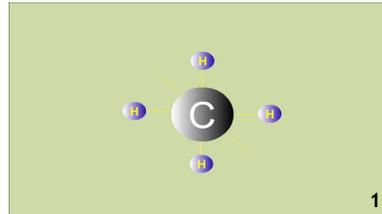


**FIGURA No.39**  
**ESTRUCTURA MOLECULAR TÍPICA DE ASFALTENOS**

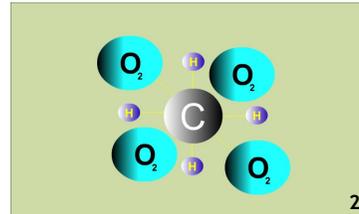
Los aditivos producen los siguientes efectos<sup>24</sup>:

- Dispersión de los sedimentos y lodos y prevención de la formación de los mismos
- Permite la mezcla de diferentes combustibles, sin floculación de asfaltenos
- Reduce la corrosión de los tanques
- Disminuye la necesidad de limpieza y mantenimiento de los tanques
- Dispersa aglomeraciones de asfaltenos
- Mejora la estabilidad del combustible
- Mejora la atomización del combustible

Se añaden pequeñas cantidades de aditivo, que funciona como catalizador de la reacción, teniendo como efecto fundamental un mejor aprovechamiento del combustible y una operación más limpia, como se esquematiza en la **Fig 40**:



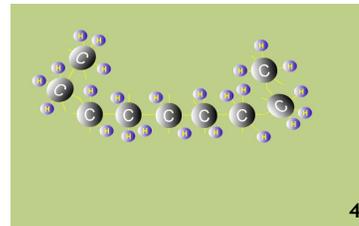
Molécula de Metano



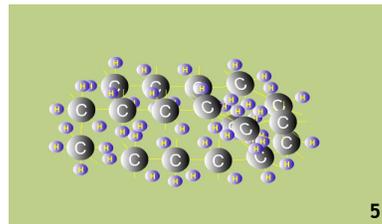
El oxígeno tiene fácil acceso debido a su estructura simple.



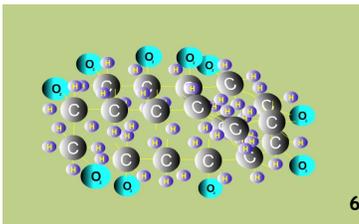
Por ello, el metano se combustiona casi completamente, causando casi cero contaminación.



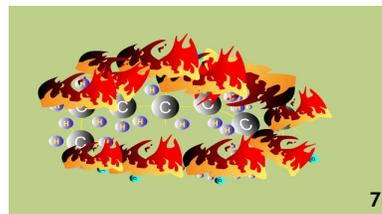
Los combustibles pesados forman estructuras más complejas.



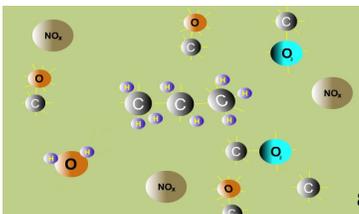
Estas moléculas se asocian formando complejas redes



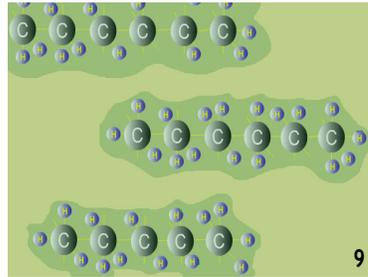
Esto dificulta que el oxígeno ingrese.



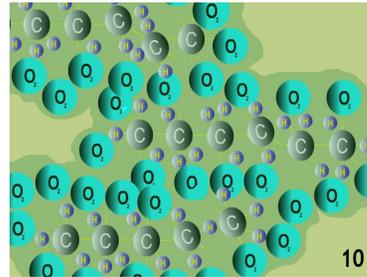
Por ello, no se produce una combustión completa



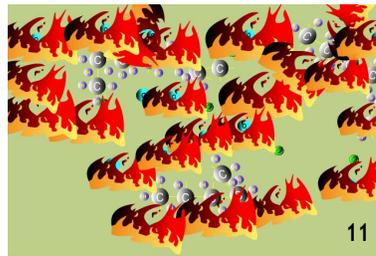
Como resultado, se emiten contaminantes a la atmósfera.



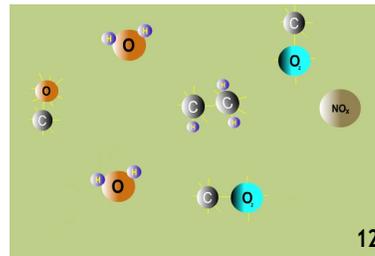
Con el aditivo, se cataliza a las moléculas para que se disocien.



En este proceso, los hidrocarburos reaccionan con el oxígeno.



Con ello se consigue una combustión más completa.



Como resultado se disminuye la contaminación y aumenta la eficiencia.

FUENTE: "GREEN PLUS FUEL CATALYST" A product of biofriendly corporation  
2004 CD-ROOM

#### **FIGURA No.40 COMBUSTIÓN CON ADITIVACIÓN**

#### **- REDUCCIÓN**

Se han observado reducciones del orden de 7% en NOx.<sup>17</sup> Respecto al total de contaminantes, se ha encontrado hasta 25-40% de disminución.<sup>25</sup>

- **COMPATIBILIDAD**

No existe mayor grado de dificultad para su implementación. La adición del aditivo se debería realizar en el tanque intermedio, luego del proceso de purificación para dar lugar a que el aditivo se mezcle mejor con el combustible.

- **CONSUMO DE COMBUSTIBLE**

Los proveedores de este producto aseguran una reducción en el consumo de combustible del 3 al 10%.<sup>25</sup>

- **AFECTACIÓN AL RENDIMIENTO**

Se esperaría una mejora en el rendimiento del combustible al mejorar la combustión, en el orden del 3 al 7%.<sup>25</sup>

- **PRUEBAS REALIZADAS**

En la C/T Guangopolo se realizaron pruebas empleando aditivos en dos ocasiones, a fin de evaluar su real beneficio en estas instalaciones. En las **Tablas No. 17,18,19 y 20** se detallan las características y resultados obtenidos.

**TABLA No.17**  
**DATOS DE LAS PRUEBAS DE ADITIVACIÓN**

	PRUEBA No.1	PRUEBA No.2
COMPAÑÍA	PROCOMSERV	BIOFRIENDLY
ADITIVO	PETROLABS PL-129	Green Plus
FECHA	Noviembre, 2000	Septiembre,2003
UNIDAD	6	1-2-3-4-5-6
DURACIÓN	10 días	5 días
DOSIS	1:6000	1:2000
	1:3000	
COMBUSTIBLE	Búnker	Crudo residual (94%) + Diesel (6%)

**TABLA No.18**  
**MONITOREOS DE CAMPO DE LA PRUEBA No. 1**

PARÁMETRO	UNIDAD	SIN ADITIVACIÓN	DOSIS 1:6000	DOSIS 1:3000
		Flujo de gas seco	m <sup>3</sup> /h	44805,5
Temperatura	°C	370,3	289,2	287,2
Oxígeno	%	12,5	12,0	12,2
CO <sub>2</sub>	%	6,4	6,8	6,6
CO	ppm	184	136	129
NOx	ppm	<b>2218,0</b>	<b>2080,0</b>	<b>2049,0</b>
Material particulado	g/m <sup>3</sup> gas seco	0,053	0,028	0,027
# humo	-	6	2	2

FUENTE: Informe de Aditivación de Proconserv, Noviembre 2000

**TABLA No.19**  
**MONITOREOS DE CAMPO DE LA PRUEBA No. 2**

PARAMETRO	UNIDAD	GENERADORES											
		#1		#2		#3		#4		#5		#6	
		S	AD										
Flujo de gas seco	m <sup>3</sup> /h	21325	20339	23012	22415	20970	19664	20037	19438	21526	22087	20552	22394
Temperatura	°C	399.5	382.2	389.6	391.9	400.0	405.1	406.9	411.2	313.8	325.2	402.4	407.1
Oxígeno	%	10.54	10.69	11.10	11.13	11.08	10.88	10.87	10.92	11.20	10.98	11.12	10.79
CO <sub>2</sub>	%	8.30	8.27	7.85	7.83	7.87	8.03	8.03	8.00	7.77	7.95	7.84	8.10
CO	ppm	184	196	89	139	129	162	156	201	53	50	139	264
NOx	ppm	<b>2731</b>	<b>2704</b>	<b>2394</b>	<b>2280</b>	<b>2453</b>	<b>2481</b>	<b>2648</b>	<b>2522</b>	<b>2447</b>	<b>2449</b>	<b>2400</b>	<b>2457</b>
Material particulado	g/m <sup>3</sup> gas seco	0.025	0.027	0.019	0.026	0.020	0.026	0.033	0.034	0.023	0.030	0.021	0.019
# humo	-	5	6	4	6	4	5	7	7	5	7	4	4

**S= sin aditivo AD= con aditivo**

FUENTE: Informe de Resultados de Aditivación, Memorando No.1926. Octubre,2003

**TABLA No.20**  
**RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE ADITIVACIÓN**

PROCOMSERV	REDUCCIÓN	DOSIS	
	6,3%	1:6000	
	7,6%	1:3000	
BIOFRIENDLY	REDUCCIÓN		
	UNIDAD 1	UNIDAD 2	UNIDAD 4
	1%	5%	5%
	INCREMENTO		
	UNIDAD 3	UNIDAD 5	UNIDAD 6
	1%	0,1%	2%

Como resultado de las pruebas realizadas, se puede concluir que debido al corto tiempo en que se llevaron a cabo, y a la variabilidad de los resultados; los datos obtenidos no son representativos del empleo de esta alternativa.

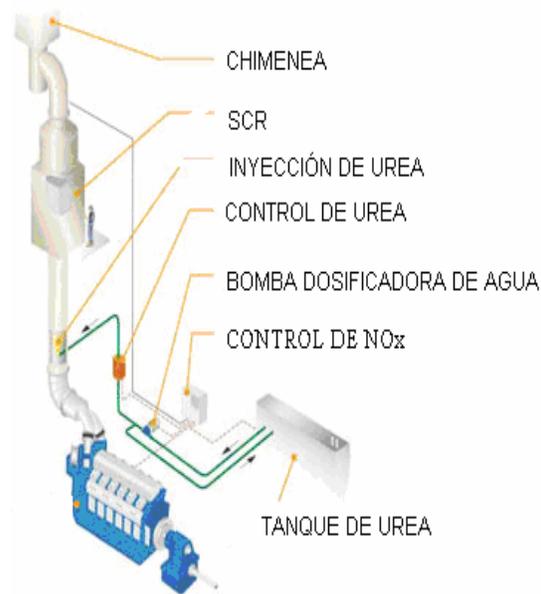
## 10.2 MEDIDAS SECUNDARIAS

### 10.2.1 REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA

La reducción catalítica selectiva (SCR) con urea surge como la mejor tecnología disponible en la actualidad para la disminución de los niveles de NOx en efluentes gaseosos de fuentes fijas.<sup>25</sup>

Básicamente consiste en un reactor que contiene algunas capas de catalizador, un sistema de almacenamiento y dosificación de un agente reductor y un sistema de control. El parámetro para controlar la cantidad de urea a inyectar es la carga del motor, y la cantidad de NOx que se desea reducir. A fin de conseguir

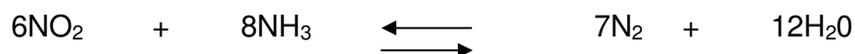
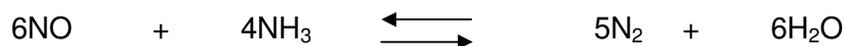
un control más eficiente es recomendable determinar la cantidad de reductor a añadir en base a un analizador de NO<sub>x</sub> acoplado al sistema. El tamaño del tanque de urea dependerá de la carga con que opere el motor y la facilidad de reposición de este químico a nivel local. En la **Fig. 41** se esquematiza el sistema de reducción catalítica selectiva.



**FIGURA No.41**  
**REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA**

La aplicación de esta tecnología requiere de la inyección de amoníaco o urea, como agente reductor, antes del paso de la corriente gaseosa por el catalizador, que puede ser de óxido de titanio o vanadio. La temperatura óptima de operación está entre 300 y 400°C.<sup>26</sup>

La reducción del NO en presencia de amoníaco se produce conforme se detalla a continuación:



### - REDUCCIÓN

Con este sistema se alcanza un **70-95%** de reducción.<sup>22</sup> En base a la información conseguida por algunos fabricantes, se presenta la **Tabla 21**:

**TABLA No.21**  
**REDUCCIÓN DE NO<sub>x</sub> CON SCR**

COMPAÑÍA	GARANTÍA DE REDUCCIÓN (%)
Cleanair	75
Miratech	86
Jhonson Matthey	90 aprox.
Wartsila	82

### - COMPATIBILIDAD

Esta tecnología es la que ha sido mayormente utilizada en motores de cuatro tiempos de velocidad media.<sup>21</sup>

Su instalación en la Central Guangopolo no representaría mayor complejidad si se cuenta con un equipo de ingenieros especializados en el tema.

### - CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Sin contrapresión de escape adicional, no existen efectos en el consumo de combustible.<sup>22</sup>

#### - **AFECTACIÓN AL RENDIMIENTO**

En caso de no utilizar un soplador para regular la presión del turbocargador la potencia baja aproximadamente en un 7-8%.<sup>27</sup> (Fraase William,2004)

### **10.3 OTRAS ALTERNATIVAS**

Se han desarrollado una variedad de metodologías que persiguen la eliminación de óxidos de nitrógeno, sin embargo aún se encuentran en etapa experimental o bien su implementación requiere inversiones inviables, por lo cuál a continuación solo se las menciona brevemente.

#### **10.3.1 ABSORCIÓN EN HÚMEDO**

Es un proceso de control conjunto de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>. Dado que la solubilidad de NO en agua es limitada, el proceso será efectivo solamente si en primer lugar lo convertimos en NO<sub>2</sub>, para luego ser absorbido en un medio básico, donde se neutraliza el ácido nítrico generado.<sup>28</sup>

Se puede utilizar permanganato de potasio, una mezcla de sulfito de sodio/sulfato de hierro, ozono (ThermalNO<sub>x</sub>) o peróxido de hidrógeno como agente oxidante.

Se pueden alcanzar reducciones de NOx de hasta 90%, con la desventaja de requerir costos considerables de inversión.<sup>28</sup>

### **10.3.2 ADSORCIÓN EN SECO**

Es un método que generalmente se aplica para el control dual de SOx y NOx. Se puede utilizar carbón activado y la inyección de amoníaco, para convertir por reducción los óxidos de nitrógeno a nitrógeno molecular y los de azufre a ácido sulfúrico por oxidación.<sup>28</sup>

Una segunda vía para la adsorción en seco tiene lugar por medio del óxido de cobre. Este catalizador convierte en primera instancia el SO<sub>2</sub> a sulfato de cobre, y entonces ambos, el óxido de cobre y el sulfato de cobre catalizan selectivamente la transformación de los NOx a amoníaco.<sup>28</sup>

El carbón tiene una alta tasa y capacidad de adsorción, comparado con otros materiales. No obstante la regeneración podría constituir un problema. Podría presentarse otra dificultad con los riesgos potenciales de incendio y explosión con dicho material, ya que el O<sub>2</sub> esta usualmente presente en los gases de la chimenea. El óxido de manganeso y los óxidos férricos alcalinizados muestran un potencial técnico. No obstante la atracción del sorbente es un importante obstáculo tecnológico. La técnica no parece ser muy prometedora en la actualidad.<sup>13</sup>

Con esta tecnología se puede conseguir la remoción de hasta un 70% de NO<sub>x</sub> junto a un 90% de SO<sub>x</sub>.<sup>28</sup>

#### **10.3.4 IRRADIACIÓN**

Se convierten los óxidos de nitrógeno y azufre a nitratos y sulfatos por irradiación con haces de electrones. Si se inyecta amoníaco, el resultado son nitrato y sulfato de amonio, fertilizantes.<sup>29</sup>

El proceso comprende varias etapas que incluyen remoción de partículas, humectación del gas de combustión y un enfriamiento por debajo de los 100°C, para pasar a inyectar el amoníaco. Entonces el haz de electrones choca con la corriente produciéndose compuestos de nitrato y posteriormente de sulfato. Finalmente las partículas sólidas de fertilizante se recogen por filtración.<sup>28</sup>

#### **10.3.5 REDUCCIÓN SELECTIVA NO CATALÍTICA (SNCR)**

Este método se basa también en la reducción de los NO<sub>x</sub> a nitrógeno molecular, con urea o amoníaco.

Los inconvenientes del método son la dificultad del control térmico, se requiere entre 900-1000°C, lo cual constituye un aspecto importante ya que por debajo del intervalo óptimo de temperaturas el amoníaco no reaccionará del todo y acabará emitiéndose junto a los NO<sub>x</sub> no reducidos a la atmósfera. Si estamos por encima, en cambio, el amoníaco puede ser oxidado a NO, generándose una carga extra del contaminante que se quiere reducir.

Se han conseguido reducciones entre 70-80% en NOx.<sup>5</sup>

### 10.3.6 CAMBIO DE COMBUSTIBLE

Actualmente la Central Guangopolo opera con un crudo residual proveniente de la refinería de Shushufndi.

En caso de utilizar únicamente diesel como combustible, no se conseguiría una notable disminución en la concentración de contaminantes, como quedó demostrado en una prueba realizada en el Motor No. 5, cuyos resultados se muestran en **Tabla 22**, por lo tanto no constituyó una opción con buenos resultados.

**TABLA No.22**  
**MONITOREO DE EMISIONES GASEOSAS**  
**PRUEBA CON DIESEL**

PARÁMETRO	VALOR
Temperatura °C	322.4
Oxígeno %	11.61
CO <sub>2</sub> %	7.44
CO ppm	97
NOx ppm	<b>2142</b>
SO <sub>2</sub> ppm	64

Prueba realizada en el Motor No.5 el 08 de agosto/2005

### 10.3.7 RECIRCULACIÓN DE GASES DE ESCAPE

Consiste en recircular los gases de escape, previo su enfriamiento y mezcla con aire fresco. La reducción de NO<sub>x</sub> se consigue por un incremento en la capacidad térmica del aire del turbocargador (reduce el pico de combustión). También por una reducción en la concentración O<sub>2</sub>; y por una reducción en la velocidad de combustión.<sup>21</sup> Se añade NO a la mezcla de la reacción y cambia el equilibrio en la dirección contraria.<sup>28</sup>



Es una técnica que ha dado buenos resultados con incineradores, pero no con motores de combustión interna, debido a las pobres condiciones de combustión.<sup>21</sup>

Se basa en la dilución del oxígeno de la corriente de aire, con los productos de la reacción. Además, en el medio donde tendrá lugar la combustión estará presente cierta cantidad de NO<sub>x</sub>. La presencia de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, compuestos con altas capacidades caloríficas (25% mayor que N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>) contribuyen, por otro lado, a la disminución de la temperatura de la cámara de combustión. Todos estos efectos se suman para desplazar el equilibrio de formación de los óxidos de nitrógeno hacia los reactivos, consiguiendo que las emisiones de contaminante se reduzcan.<sup>30</sup>

Esta tecnología es ampliamente utilizada en autos y camiones, pero a nivel de motores de combustión interna para generación eléctrica aún existen varios

interrogantes por resolver. Con una recirculación de un 20% se puede alcanzar reducciones del orden de 50% en NO<sub>x</sub>, con muy pequeños efectos perjudiciales sobre el consumo de combustible.<sup>31</sup>

A relaciones de recirculación elevadas pueden producirse problemas en la combustión, incrementándose el consumo de combustible y los niveles de hidrocarburo sin quemar y monóxido de carbono en los gases de escape.<sup>21</sup>

Debido al costo potencialmente elevado de nuevos equipos: conductos, ventiladores, reguladores de tiro y controles, este proceso es más apropiado para diseños nuevos que para retroajuste.<sup>21</sup>

Si no se consigue la presión de escape adecuada para no producir turbulencia será necesario instalar una bomba de vacío adicional, aumentando el costo de esta instalación.<sup>31</sup>

### **10.3.8 INYECCIÓN DIRECTA DE AGUA**

Es otra vía para aprovechar las posibilidades que ofrece el agua para disminuir las temperaturas pico de llama. Ya no existen las limitaciones para la cantidad utilizada impuestas por la capacidad de la bomba de inyección del combustible o la estabilidad de la emulsión. El agua se inyecta mediante su propio inyector y por separado a la cámara de combustión, lo que puede ser aprovechado para, optimizando los tiempos de inyección de combustible y agua, disminuir las emisiones de NO<sub>x</sub>. El porcentaje de reducción alcanzado es de 50%.<sup>23</sup>

No es aplicable a instalaciones existentes ya que se requiere de cambios mayores en el diseño, en las bombas de inyección e inyectores por sistemas duales agua-combustible.

### **10.3.9 TIEMPO DE ENCENDIDO**

Normalmente la ignición ocurre a 15-20 grados antes de que el pistón alcance el punto muerto superior. Retardar el tiempo de encendido reduce el tiempo de producción de altas temperaturas, trayendo como consecuencia una disminución en la generación de NOx.<sup>32</sup> (Godish Thad,1991)

La reducción potencial es limitada, de 2-3%, la compensación es la disminución de consumo de combustible.<sup>31</sup>

La cantidad de esta reducción dependerá del motor, el sistema de válvulas y el combustible. Un retraso excesivo del tiempo puede causar una inestabilidad de combustión o un mal encendido.<sup>5</sup>

## 11. ANÁLISIS FINANCIERO

En el siguiente capítulo, se presenta un detalle del costo de implementación y operación de cada alternativa. Posteriormente se revisa el incremento en el costo de la generación de energía.

Los siguientes anexos permitirán entender el origen de los datos empleados en la realización de los cálculos:

- Toneladas de NOx producidas en el año 2004: 3787 **Anexo 4**
- MW-h generados en el año 2004: 181755.69 **Anexo 7**
- Precio de Venta Energía: \$0,0698 USD/kW-h **Anexo 8**
- Combustible utilizado en el año 2004: 39183 tons **Anexo 9**
- Costo de agua desmineralizada: \$ 1,23/ton **Anexo 10**

### 11.1 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN Y OPERACIÓN

#### 11.1.1 HOMOGENIZACIÓN

Alternativa mediante la cual se busca reducir el tamaño de las partículas del combustible para mejorar su atomización y la distribución de la temperatura en la cámara de combustión.

#### - COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

En caso de aplicar esta medida sería necesario la adquisición de los elementos que se indican en la **Tabla 23**:

**TABLA No.23**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE HOMOGENIZACIÓN**

DESCRIPCIÓN	VALOR USD\$
Fuel Mill MC-SR modelo FM220	30.220,00
Control eléctrico con relays	3.475,00
Certificación prueba hidráulica	400,00
Embalaje	233,00
Transporte y seguro	1.502,56
Impuestos y Desaduanización	6.515,41
<b>TOTAL</b>	<b>42.346,07</b>

FUENTE: ASHLAND Impuestos y desaduanización,  
Departamento de Planificación e Importaciones Termopichincha.  
(Anexo No.11)

- **COSTO DE OPERACIÓN**

Podemos considerar al costo de operación como despreciable puesto que no requiere de ningún insumo.

**11.1.2 EMULSIFICACIÓN**

A través de la emulsificación se forman gotas de combustible que posean un núcleo de agua.

- **COSTO DE IMPLEMENTACIÓN**

Para la implementación de la emulsificación, el equipo a adquirir sería igual al presentado en la homogenización. Es necesario además, instalar un módulo que regule y controle el ingreso de agua; siendo entonces el costo total, el señalado en la **Tabla No. 24:**

**TABLA No.24**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE EMULSIFICACIÓN**

DESCRIPCIÓN	VALOR USD\$
<b>Fuel Mill MC-CI modelo FM220</b>	<b>42.346,07</b>
Modulo para agua	79.000,00
Control automático	21.800,00
Embalaje	590,00
Transporte y seguro	2.479,15
Impuestos y Desaduanización	18.887,99
<b>TOTAL</b>	<b>165.103,21</b>

FUENTE: ASHLAND Impuestos y desaduanización,  
Departamento de Planificación e Importaciones Termopichincha.  
(Anexo No.12)

**- COSTO DE OPERACIÓN**

En la **Tabla 25**, se presentan valores considerando diferentes porcentajes de adición de agua, hasta un porcentaje máximo de 24 en consideración al límite permitido por el Departamento Técnico para la pérdida de rendimiento.

**TABLA No. 25**  
**COSTO DE OPERACIÓN DE LA EMULSIFICACIÓN**

%AGUA	% PÉRDIDA DE RENDIMIENTO	DESCRIPCIÓN	VALOR US\$
24	4	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	507.244,38
		Agua <sup>b</sup>	11.566,82
		<b>TOTAL</b>	<b>518.811,20</b>
18	3	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	380.433,28
		Agua <sup>b</sup>	8.675,12
		<b>TOTAL</b>	<b>389.108,40</b>
12	2	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	253.622,19
		Agua <sup>b</sup>	5.783,41
		<b>TOTAL</b>	<b>259.405,60</b>
6	1	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	126811,09
		Agua <sup>b</sup>	2.891,71
		<b>TOTAL</b>	<b>129.702,8</b>

- a La pérdida de rendimiento fue calculado en base a la energía generada en el año 2004, y al precio de venta actual. Anexo 7y 8.
- b El porcentaje de agua fue calculado en base al total de combustible empleado el año 2004. Anexo 9.

### 11.1.3 HUMIDIFICACIÓN

Esta alternativa persigue la adición de vapor de agua al aire de admisión.

#### - COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Este sistema tiene un gran potencial de aplicación para la reducción de los óxidos de nitrógeno a costos moderados, siempre que se vayan optimizando sistemas compactos y fáciles de instalar. En las pruebas realizadas no fue necesario realizar ninguna inversión, sin embargo en el caso de llevar a cabo la adición de agua se requeriría el material indicado en la **Tabla 26**:

**TABLA No. 26**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE HUMIDIFICACIÓN**

DESCRIPCIÓN	VALOR US\$
Bomba dosificadora diafragma, capacidad 236 l/h 150 psi (6 unidades)	37.453,92
Inyector	2.500,00
Tubería	1.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>40.953,92</b>

FUENTE: EQUAPETQUIM-2005 (*Anexo No.13*)

#### - COSTO DE OPERACIÓN

Para las pruebas realizadas no se necesitó aumentar la cantidad de agua consumida por la operación normal, sin embargo en el caso de añadir agua para los seis motores, se tendría un costo expresado en la **Tabla 27**, en donde se ha considerado que al utilizarse el mismo principio que para la emulsificación, también se tendría igual pérdida de rendimiento.

**TABLA No. 27**  
**COSTO DE OPERACIÓN DE LA HUMIDIFICACIÓN**

<b>%AGUA</b>	<b>% RENDIMIENTO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR US\$</b>
24	4	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	507.244,38
		Agua <sup>b</sup>	11.566,82
		<b>TOTAL</b>	<b>518.811,20</b>
18	3	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	380.433,28
		Agua <sup>b</sup>	8.675,12
		<b>TOTAL</b>	<b>389.108,40</b>
12	2	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	253.622,19
		Agua <sup>b</sup>	5.783,41
		<b>TOTAL</b>	<b>259.405,60</b>
6	1	Pérdida de rendimiento <sup>a</sup>	126.811,09
		Agua <sup>b</sup>	2.891,71
		<b>TOTAL</b>	<b>129.702,8</b>

#### 11.1.4 ADITIVACIÓN DEL COMBUSTIBLE

El empleo de aditivos permite un mejor aprovechamiento del combustible y por ende, una combustión más limpia; sin embargo los experimentos indican que no es una alternativa viable para eliminar los NOx.

#### - COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

El costo de los materiales necesarios se detalla en la **Tabla 28**:

**TABLA No.28**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE ADITIVACIÓN**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR US\$</b>
Bomba dosificadora de diafragma con motor neumático (30 gpd)	386,40
Tubería	500,00
<b>TOTAL</b>	<b>886,40</b>

FUENTE: EQUAPETQUIM-2005(**Anexo No.14**)

## - COSTO DE OPERACIÓN

El valor que a continuación se presenta en la **Tabla 29**, está calculado en base a un costo de aditivo de \$38.15 USD/galón (Green Plus, de la Compañía BIOFRIENDLY), con una relación de dosificación aditivo-combustible de 1:2000; en operación de las seis unidades por 24 horas por ocho meses; y por 3 horas durante cuatro meses (horas pico, de 18:00 a 22:00 hr, se resta una hora porque para el arranque y parada que toman aproximadamente ese tiempo se emplea diesel).

**TABLA No.29**  
**COSTO DE ADITIVACIÓN**

DESCRIPCIÓN	VALOR US\$/AÑO
Aditivo operación continua	197.769,60
Aditivo horas pico	12.360,60
<b>TOTAL</b>	<b>210.130,20</b>

FUENTE: QUALCO-2003

### 11.1.5 REDUCCIÓN CATALÍTICA SELECTIVA

Esta alternativa permite la reducción de los NO<sub>x</sub> a N<sub>2</sub> mediante la inyección de un agente reductor como úrea o amoníaco, previo su paso por un catalizador.

## - COSTO DE IMPLEMENTACIÓN

Las desventajas de la aplicación de este método son los costos elevados de inversión y moderadamente altos de operación. Se cuenta con algunos valores de referencia, que a se indican a continuación en la **Tabla 30**:

**TABLA No. 30**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SCR**

COMPAÑÍA	COSTO (millones \$USD)
Cleanair	3,3-3,5
Miratech	0,88
Jonson Matthey	1,74
Wartsila	1,32

FUENTE: Cotizaciones enviadas por las respectivas Compañías.

Para los cálculos posteriores, se ha tomado como referencia la oferta de Wartsila, puesto que cuentan con representación en Ecuador, lo cuál podría facilitar los trámites de adquisición. En la **Tabla 31**, se desglosa el costo de implementación en diferentes componentes:

**TABLA No. 31**  
**COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DE SCR-WARSILA**

RUBRO	COSTO (\$USD)
Catalizadores (6) <sup>a</sup>	992.958,00
Unidad de aire comprimido <sup>a</sup>	42.944,00
Estructuras para instalación de equipo <sup>b</sup>	5.000,00
Conexiones de agua/electricidad <sup>b</sup>	2.000,00
Tanque de urea <sup>b</sup>	3.000,00
Aislamientos para equipos <sup>b</sup>	5.000,00
Diseño para integración del equipo en instalaciones existentes <sup>b</sup>	3.000,00
Transporte y seguro <sup>c</sup>	22.511,16
Impuestos y Desaduanización <sup>c</sup>	241.523,71
<b>TOTAL</b>	<b>1.317.936,87</b>

FUENTE: a) Cotización Wartsila Mayo/2005, b) Vicepresidencia Técnica Termopichincha  
c) Departamento de Importaciones Termopichincha (**Anexo No.15**)

## - COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La vida útil estimada de los catalizadores es de 3 a 5 años, dependiendo del tipo de combustible. El valor de reposición sería de aproximadamente \$35.000 USD (referencia de MIRATECH).

Se utiliza urea en lugar de amonio ya que este es inflamable, tóxico y tiene un fuerte olor. En contraste, la urea es inofensiva y de fácil manejo.<sup>30</sup>

En la **Tabla 32** se detallan los costos de mantenimiento, de acuerdo a lo indicado por las diferentes Compañías contactadas.

**TABLA No.32**  
**COSTO DE OPERACIÓN DE SCR**

COMPAÑÍA	COSTO ANUAL
Cleanair	Urea (32%): 200 kg/h por motor 1.200 kg/h total Operación continua: \$2`280.960,00 Horas Pico: \$190.080,00 <b>TOTAL: \$2`471.040,00</b>
Miratech	Urea: 115 l/h por motor 690 l/h total Operación continua: \$1`757.479,7 Horas Pico: \$ 146.456,6 <b>TOTAL: \$1`903.936,3</b>
Jhonson Matthey	Urea (32,5%): 222 l/h por motor 1332 l/h total Operación continua: \$3`392.699,9 Horas Pico: \$282.725,0 <b>TOTAL: \$ 3`675.424,9</b>
Wartsila	Urea (40%): 217 l/h por motor 1.302 l/h total Operación continua: \$3`316.287,7 Horas Pico: \$276.357,3 <b>TOTAL: \$ 3`592.645,1</b>

FUENTE: El precio del kg. de urea es de \$ 0,33 USD al 46% de concentración de acuerdo a empresa comercializadora Quimitec-2005. (**Anexo No.16**)

## 11.2 INCREMENTO EN EL COSTO kW-h

En la **Tabla 33** se presenta el costo que tendría cada kW-h con la implementación de las diferentes alternativas. En el **Anexo 17** se detallan los cálculos.

**TABLA No. 33**  
**COSTO DE kW-h**

<b>ALTERNATIVA</b>	<b>COSTO (\$USD/kW-h)</b>
Sin tratamiento	0,0507
Homogenización	0,0508
Emulsificación	0,0530
Humidificación	0,0529
Aditivación	0,0519
Reducción Catalítica Selectiva	0,0712

## 12. RESULTADOS

Una vez que se ha realizado el análisis de las alternativas, tanto financiera como tecnológicamente, en la **Tabla 34** se presenta un esquema integrado de los beneficios que cada una representa. Se ha resaltado con rojo el valor más conveniente en cada columna, y con azul el más perjudicial.

Por otro lado, el superíndice 1, representa un porcentaje de reducción conservador esperado para las diferentes tecnologías, mientras que para SCR si se realizan los cálculos en base de lo ofrecido por el proveedor.

**TABLA No. 34**  
**COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA LA REDUCCIÓN DE NO<sub>x</sub>**

ALTERNATIVA	REDUCCIÓN (%)	TONS NO <sub>x</sub> REDUCIDAS	IMPLEMENTACIÓN (\$USD)	OPERACIÓN ANUAL (\$USD)	TON/NO <sub>x</sub> REDUCIDA (\$USD)	PRECIO kW-h (\$USD)
HOMOGENIZACIÓN	2 <sup>1</sup>	76	42.346,07	0	54	0,0508
EMULSIFICACIÓN	18 <sup>1</sup>	682	165.103,21	389.108,4	577	0,0538
HUMIDIFICACIÓN	18 <sup>1</sup>	682	40.953,92	389.108,4	580	0,0529
ADITIVACIÓN	3 <sup>1</sup>	114	886,4	210.130,2	1850	0,0519
SCR	82	3.105	1.317.936,87	3.592.645,1	1199	0,0712

### 13. CONCLUSIONES

En base a todo lo anteriormente expuesto se puede concluir que la alternativa tecnológica que ofrece el mayor nivel de reducción es la reducción catalítica selectiva, opción con la cual la Central Guangopolo cumpliría con las regulaciones ambientales tanto nacionales como locales. Esta tecnología ha sido ampliamente probada a nivel mundial, y existen varias compañías que podrían proveer e instalar estos equipos ofreciendo garantías de cumplimiento.

A pesar de que nuestro país cuenta con recursos hidrológicos suficientes como para satisfacer la demanda de energía, la realidad es que por diversos problemas e inconvenientes de índole político, proyectos hidroeléctricos de mediana y gran capacidad no han tenido el impulso necesario para su ejecución, por lo que las termoeléctricas como la Central Guangopolo se mantienen en operación y de continuarse en esta línea, con seguridad lo harán por algunos años más, siendo entonces recomendable invertir en una solución definitiva como la reducción catalítica selectiva. La desventaja de esta opción radica en los elevados costos que se requieren tanto para su implementación como para su mantenimiento, incrementándose el costo de la energía, con lo cual la C/T Guangopolo no sería tan competitiva.

La homogenización, emulsificación, humidificación y aditivación son alternativas económicamente viables, que ofrecen un nivel importante de reducción, pero que de ninguna manera serían suficientes para cumplir la normativa ambiental actual.

La aditivación no ha tenido resultados satisfactorios en las pruebas que se han realizado en la Central, y tampoco hemos recibido buenas referencias de Centrales similares en donde han sido empleados, razón por la cual no se recomendaría su implementación para conseguir reducciones de NOx.

Por el costo y beneficios de la emulsificación en combinación con la homogenización, se debería adquirir dos molinos que permitan en algo controlar nuestras emisiones. Esto podría constituirse en un paso inicial importante, luego de lo cual, y conforme se desarrolle el escenario energético de nuestro país, se podría continuar con la implementación del SCR, puesto que su valor tanto de implementación y mantenimiento disminuyen si el nivel a reducir es menor, aproximadamente entre 10-15% menos por cada 1000 ppm de NOx reducidos previamente.<sup>27</sup> Por otro lado, se debería continuar evaluando los beneficios y desventajas de la humidificación.

Finalmente se puede concluir que Termopichincha cuenta con opciones que le permitirán demostrar su compromiso con el medio ambiente, con sus trabajadores y con la comunidad; en armonía con su razón de ser: la generación de energía eléctrica en las mejores condiciones técnicas, económicas y operativas para el desarrollo del Ecuador.

## 14. RECOMENDACIONES

Sería pertinente presentar al Municipio del Distrito Metropolitano de Quito la solicitud de revisión de los límites máximos permisibles para generadores, puesto que la actual regulación no fue pensada para grandes instalaciones como las de la Central Guangopolo, sino para generadores a pequeña escala; y fueron tomadas de regulaciones de otros países sin considerar la realidad local. Es importante indicar que el límite establecido por el Banco Mundial es de 17g/kW-h, para motores de combustión interna, más del doble del valor establecido en la normativa del DMQ.

En caso de que la Compañía eligiese la implementación de SCR, sería recomendable considerar la aplicación para calificar como proyecto MDL para las toneladas reducidas por debajo del valor norma.

Es también recomendable que se realice un análisis de dispersión, a fin de determinar con exactitud a que área contaminan las emisiones de la Central Guangopolo, en consideración a la ubicación geográfica de la Central respecto a la zona central del Distrito Metropolitano de Quito.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Automóvil Club Argentino “*El motor diesel y su historia*” [http://  
http://www.aca.org.ar/interes/tecnicas/t155.htm](http://www.aca.org.ar/interes/tecnicas/t155.htm)
2. Román Roberto “*Motores de Combustión Interna*” [http://tamarugo.cec.uchile.cl/~roroman/cap\\_10/cap\\_10.htm](http://tamarugo.cec.uchile.cl/~roroman/cap_10/cap_10.htm) (1998)
3. Moreno Daniel, Pérez Carles. “*Motor Diesel*” [http://  
www.xtec.es/iesegara/motor/diesel.html#El motor diesel](http://www.xtec.es/iesegara/motor/diesel.html#El%20motor%20diesel)
4. Turbondina GARRET “*Turborcargador*” <http://www.turbodina.com.at>
5. US- Environmental Protection Agency. Boletín Técnico “*Óxidos de Nitrógeno (NOx) ¿Por qué y cómo se controlan?*” Clean Air Technology Center. Noviembre,1999
6. Patronato para el monitoreo de la Calidad del Aire de Salamanca, A.C, “*Óxidos de Nitrógeno*” , <http://www.prodigyweb.net.mx/reDMMAs/nox.htm>
7. De Nevers, Noel, “*Ingeniería de Control de la Contaminación del Aire*”, McGraw-Hill, INC., USA, 1997
8. Bullaude, Andrés “*Calidad del Aire en el Gran Mendoza*” Monografía. Mendoza, Argentina-2002.
9. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. “*Óxidos de Nitrógeno*” <http://www.atsdr.cdc.gov/es/>
10. US-Environmental Protection Agency “*NOx – How Nitrogen Oxides Affect the Way We Live and Breathe*” <http://www.epa.gov/air/urbanair/nox/index.html>, 1998
11. “*El Ozono en la Contaminación*” <http://www.escolar.com/article-php-sid=1.html>
12. Ciencias de la Tierra y el Ambiente “*Contaminación de la Atmósfera*” <http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/10CAtm1/330Smog.htm>
13. Wark Kenneth y Warner Cecil “*Contaminación del Aire*”. Editorial Limusa S.A. México 1997
14. LENNTECH “*FAQ- La polución del aire*” [http://www.lenntech.com/espanol/FAQ-  
polucion-del-aire.htm](http://www.lenntech.com/espanol/FAQ-polucion-del-aire.htm), 1998
15. CORPAIRE- REMMAQ “*Informe Anual 2004*” Quito-Ecuador,2005
16. Ordóñez, Renán “*Quito bajo un Cielo Gris*” Revista Criterios. Junio del 2005

17. Mulder, Eric "*Methods for Reducing NO<sub>x</sub> in Large Stationary Diesel Engines*" 2004
18. Burak Stephen, "*Improving Heavy Fuel Oil Usage by Homogenization*". Ashland Specialty Chemical Company Drew Marine Division
19. PECS-IECONTSA-ECUADOR "*Combustible Plus Emulsified Fuel*"
20. The Motor Ship "*Fuel Mill cuts sludge or NO<sub>x</sub>, article in the Motor Ships*", January 1999
21. Det Norske Veritas Norwegian Research Council "*Technologies for reduction of pollution from ships*" Report No.99-2033 Revision No.1, 1999
22. California Energy Commission "*Emission Reduction Technology Assessment for diesel backup generators in California*" 2001
23. Verhelst André "*Efficiency and Environmental Trends in Diesel Power Generation*" Chevron-Texaco
24. BYCOSIN "*Fuel Oil Additives*" September, 2004
25. Petunchi, Juan "*Reducción Selectiva de NO<sub>x</sub> con Hidrocarburos*". Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica- INCAPE. Santa Fé-Argentina.
26. Wärtsilä "*Compact SCR*" <http://www.wartsila.com>
27. Fraase William, KTI. Visita a la C/T Guangopolo.
28. Alley Roberts & Associates Inc. "*Manual de Control de Calidad de Aire*" Mc Graw Hill México 2000 Litográfica Ingramex
29. "*Electron Guns Clean Up SO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub>*" 1983
30. Vaccaro Rita, Trozzi Carlo "*Methodologies for estimating future air pollutant emissions from ships*" Techne report MEET RF 98b
31. Matson Navigation Company Inc. "*Research on exhaust emissions reduction technologies from large marine diesel engines*" Prepared by Ramaini Srinivasan.
32. Godish Thad. "*Air quality*". Lewis Publishers. Michigan.USA.1991
33. Agencia Europea de Medio Ambiente "*El Medio Ambiente en Europa: 2da. Evaluación*" <http://reports.es.eea.eu.int/92-828-3351-8/es/page005.html>
34. Aviación ULM "*Motor Alternativo y Motor de Pistón. Definición y Tipos*" <http://www.aviacionulm.com/definicionytipos.html>
35. Buena Salud "*Calentamiento Global*" <http://www.buenaslud.com>

36. BIOFRIENDLY “*Green Plus Fuel Catalyst* .- *A product of Biofriendly Corporation*”
37. Conseil Interantional Des Machines a Combustion. “*Available NOx Emission Reduction Techniques-Cost-Benefits and Field Experience*” Congress 2001. Hamburg.
38. Ciencias de la Tierra y el Ambiente “*Contaminación del Agua*”  
<http://www.esi.unav.es/asignaturas/ecologia/Hipertexto/11CAgu/150Eutro.htm>
39. Chow Pangtay Susana “*Petroquímica & Sociedad*”  
<http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/html/petroqui.html> (México 1998)
40. Flagan, Richard C., Seinfeld, John H., “*Fundamentals of Air Pollution Engineering*”, Prentice Hall, New Jersey, 1998
41. Hill, John W., Kolb, Doris K., “*Química para el Nuevo Milenio*”, Pearson-Prentice Hall Hispanoamérica, México, 1999
42. Janicke D., Pitterman R., Borrmann R. “*Process design to minimize the trade-off between efficiency and NOx emissions in medium speed 4-stroke diesel engines*” Proceeding of the 22th CIMAC International Congress on Combustion Engines. Copenhagen. 18-21 May 1998
43. Mananhan, Stanley E., “*Environmental Chemistry*”, Lewis Publishers, Boca Raton (Fl), 2000
44. Raiswell, R.W., Brimblecombe, P., et. al., “*Química Ambiental*”, Ediciones Omega, Barcelona, 1983
45. Roberts Alley E. & Associates Inc., “*Manual de Control de Calidad del Aire*”, McGraw-Hill, México, 2000
46. Tecnológico de Monterrey. Guía para realizar citas bibliográficas según MLA. “Análisis de la Información: Individuo y Sociedad”  
<http://humanidades.mty.itesm.mx/Analisis/Citas.jsp?citas=MLA-espanol.html.2004>
47. World Bank Goup “*Thermal Power Generations for New Plants*” Pollution Prevention and Abatmente Handbook, 1998
48. Zhou P.L. Thorp I “*Marine diesel emissions & their control*” Department of Marine Technology. Univesrity of New Castle upon Tyne. United Kingdom. 1997

## GLOSARIO

*Absorción:* proceso físico de transferencia de materia mediante el cuál el componente de una mezcla gaseosa se separa por solubilidad en un líquido.

*Aditivos:* elementos naturales o químicos que se añaden a un producto para añadir o potenciar alguna de sus características. Se utilizan en los lubricantes, combustibles, líquidos refrigerantes, etc.

*Adsorción:* proceso mediante el cuál se fija algún componente de una mezcla gaseosa o líquida por su afinidad a la superficie de un sólido.

*Agente oxidante:* es la sustancia que se reduce (gana  $e^-$ ) provocando la oxidación.

*Agente reductor:* Es la sustancia que se oxida (pierde  $e^-$ ) provocando la reducción.

*Agua cruda:* agua tal como se receipta de la fuente principal, no ha recibido ningún tipo de tratamiento.

*Agua desmineralizada:* agua a la cual se le quitan los minerales y las sales. Se utiliza cuando se requiere agua con bajo contenido en sal o baja conductividad.

*Amoníaco:* compuesto químico cuya molécula consiste en un átomo de nitrógeno y tres de hidrógeno. En disolución acuosa se puede comportar como una base y formarse el ión amonio,  $NH_4^+$ . Es un gas incoloro de olor muy penetrante. Ocurre naturalmente y es también manufacturado. Se disuelve fácilmente en el agua y se evapora rápidamente.

*Antracita:* es el carbón de mejor calidad. Procede de la transformación de la hulla, contiene hasta un 95% de carbono.

*Asfaltenos:* partículas carbonosas densas, fruto de combinaciones químicas de las impurezas que de forma natural tiene el petróleo con átomos de carbono. Impurifican los aceites combustibles ya que son causantes de depósitos y combustiones incompletas, pero su separación resulta inviable económicamente.

*Atomización:* pulverización, normalmente referida a un líquido. División en partes sumamente pequeñas.

*Biela:* pieza que se encuentra sujeta por uno de sus extremos a un émbolo y por el otro a un cigüeñal, siendo capaz de esta manera de transformar un movimiento alternativo en un movimiento de rotación.

*Bifenilios policlorados*: compuestos químicos orgánicos clorados de muy alta estabilidad, no corrosivos y de muy baja inflamabilidad.

*Catalizador*: agente o sustancia capaz de modificar la cinética de una reacción, acelerándola o retrasándola, resultando inalterados el catalizador y el resultado final de la transformación.

*Central termoeléctrica*: instalación donde se realiza el proceso de conversión de la energía térmica de un proceso de combustión en energía eléctrica para su uso en el sistema nacional o por parte autogeneradores. La conversión energética se realiza según tecnologías disponibles caso de calderos generadores de vapor, turbinas a gas o motores de combustión interna.

*Cigüeña*: es un eje con codos y contrapesos presente en ciertas máquinas que transforma el movimiento rectilíneo en rotatorio y viceversa.

*Combustión*: proceso de oxidación rápida o quema de una sustancia con evolución simultánea de calor y, por lo general, luz. En el caso de combustibles comunes, el proceso es una de combinación química con el oxígeno atmosférico para producir productos principales como el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, y el agua, juntos otros que puede ser generado por los componentes menores del combustible.

*Chimenea*: ducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de productos de combustión generados en la fuente fija.

*Emulsión*: líquido integrado por dos sustancias no miscibles como pueden ser el agua y un aceite, una de las cuales se halla dispersada en la otra en forma de pequeñas gotas.

*Energía calórica*: también denominada energía térmica, y se refiere a la energía liberada en forma de calor obtenida de la naturaleza, mediante combustión, mediante electricidad, por rozamiento, por un proceso de fisión nuclear o como residuo de otros procesos mecánicos o químicos.

*Estratósfera*: capa de la atmósfera situada encima de la tropósfera que se extiende a unos 11-50 Km de la superficie terrestre. Esta encima de la tropósfera y por debajo de la mesosfera.

*Heliofanía*: determinación para un lugar y día determinados de la cantidad de horas con brillo solar.

*Intercambio iónico*: es una reacción química reversible que tiene lugar cuando un ión de una disolución se intercambia por otro ión de igual signo que se encuentra unido a una

partícula sólida inmóvil. Por sus propiedades como disolvente y su utilización en diversos procesos industriales, el agua acostumbra a tener muchas impurezas y contaminantes. Las sales metálicas se disuelven en el agua separándose en iones, cuya presencia puede ser indeseable para los usos habituales del agua

*pH*: se define al potencial de hidrógeno como el logaritmo negativo de la actividad de los iones hidrógeno.

*PPA*: power purchasment agreement , acuerdo de compra-venta de energía.

*Potencia eléctrica*: es la energía eléctrica generada, transferida o usada en una unidad de tiempo.

*Punto muerto superior*: es la posición que tiene el pistón con respecto al eje central del cigüeñal. Se dice que esta en el PMS cuando se encuentra a la máxima distancia del eje de giro del cigüeñal, esta es la posición de desplazamiento máximo, en sentido ascendente que puede alcanzar el pistón.

*Punto muerto inferior*: se dice que el pistón está en el punto muerto inferior PMI cuando en su desplazamiento se encuentra a la mínima distancia del eje de giro del cigüeñal. En este caso, es la posición de desplazamiento mínimo que puede alcanzar el pistón.

*Refinación*: proceso de purificación de una sustancia.

Relación de compresión: El factor de compresión o tasa de compresión, es determinada por la relación entre los volúmenes del cilindro con el émbolo en el PMI y en el PMS.

*Rotor*: parte giratoria de una máquina.

*Saturación*: aplicado al aire- máxima capacidad de un aire de disolver agua en estado vapor , en condiciones dadas de presión y temperatura. A contenidos superiores el agua que constituye la humedad del aire condensa.

*Subestación eléctrica*: instalación industrial empleada para la transformación del voltaje de la corriente eléctrica. Se ubican en las inmediaciones de las centrales eléctricas para elevar el voltaje a la salida de sus generadores y en las cercanías de las poblaciones para bajarlo de nuevo.

*Turbocargador*: es básicamente una bomba de aire diseñada para operar utilizando la energía de los gases de escape originariamente desperdiciadas por los motores no turbocargados. Estos gases hacen girar el rotor de la turbina (caliente) acoplado a través de un eje al rotor del compresor (frio), que al girar aspira un gran volumen de aire filtrado y lo pasa comprimido al motor.

*Transformador:* dispositivo electromagnético que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de una corriente alterna de forma tal que su producto permanezca constante.

*Tropósfera:* es la capa inferior de la atmósfera terrestre, comprendida desde la superficie hasta una altitud de 7 a 17 Km.

*Urea:* compuesto químico cristalino, incoloro, de fórmula  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , con un punto de fusión de  $132.7^\circ\text{C}$ . Es soluble en agua y alcohol, y ligeramente en éter. Debido a su alto contenido en nitrógeno, la urea preparada comercialmente se utiliza en la fabricación de fertilizantes agrícolas. La urea se utiliza también como estabilizador en explosivos de nitrocelulosa y es un componente básico de resinas preparadas sintéticamente.

*Viscosidad:* es la medida de la fluidez a determinadas temperaturas. Si la viscosidad es demasiado baja un lubricante no soporta las cargas entre las piezas y desaparece del medio sin cumplir su objetivo de evitar el contacto metal-metal. Si la viscosidad es demasiado alta el lubricante no es capaz de llegar a todos los intersticios en donde es requerido. Se expresa comúnmente con dos sistemas de unidades SAYBOLT (SUS) o en el sistema métrico CENTISTOKES (CST).

*Voltaje y amperaje:* la electricidad es un flujo de electrones. Amperaje es la cantidad de este flujo, Voltaje es la presión que tiene este flujo.

# **ANEXOS**