

# Quemadores de bajo NOx para Calderas

**En el presente artículo se analizan las alternativas existentes, para reducir las emisiones de NOx en calderas industriales y de esa manera dejar de ser considerados “grandes emisores”.**

## Introducción

El Decreto N°58 establece que las calderas industriales, cuyas emisiones superen las 8 ton por año de NOx, serán consideradas “grandes emisoras” de este contaminante.

## Decreto Supremo N°58

Los artículos N°43 al N°46 establecen que las fuentes estacionarias denominadas Mayores Emisores deben reducir a partir del 1 de Mayo en un 33 % las emisiones de NOx registradas en el año 1997 % y un 50 % en el año 2010.

Los Mayores Emisores son aquellas fuentes estacionarias que concentran el 80 % de las emisiones de NOx de este sector en el año 1997.

## Factores de Emisión

La Conama entrego en el año 2009 un documento, basado en la EPA42, en el que se entregan los factores de emisión o emisiones esperadas para distintos tipos de procesos y combustibles.

En el caso de las calderas industriales, los factores de emisión y las resultantes emisiones esperadas de NOx son las siguientes:

<b>Combustible</b>	<b>Factor de Emisión NOx (Kg/Kg)</b>	<b>Emisión NOx (mg/Nm3 – ppm)</b>
LPG	0.00441	340 – 165
Gas Natural	0.00226	175 – 85
Petróleo Diesel	0.00283	250 – 120
Petróleo Residual	0.00676	600 – 290
Carbón	0.00375	540 – 260
Biomasa	0.00075	270 – 130

Tabla N°1: Factores de emisión y emisiones de NOx por combustible.

Las emisiones de NOx, expresadas en mg/Nm3 y ppm, consideran un contenido de O2 de 3 % y productos de la combustión secos.

## ARTÍCULO TÉCNICO

Quemadores de bajo de NOx para Calderas

---

La tabla N°2 presentada a continuación muestra las ton/año generadas para una producción de 1 ton/h de vapor, para los mismos combustibles considerados en la tabla N°1.

<b>Combustible</b>	<b>Emisión Anual NOx por ton/h vapor (ton año NOx por ton vapor/h)</b>	<b>Máxima Producción vapor para <u>no</u> ser Gran Emisor de NOx (ton/h)</b>
LPG	2.7	3.0
Gas Natural	1.1	7.0
Petróleo Diesel	1.4	5.7
Petróleo Residual	3.8	2.1
Carbón	3.6	2.2
Biomasa	1.4	5.7

### **Formación de NOx**

Dado que en artículos anteriores, escritos para Revista Induambiente, hemos analizado en detalle los mecanismos de formación de los NOx, nos remitiremos a señalar, que la generación de este contaminante, tiene relación con reacción producida entre el nitrógeno y el oxígeno en zonas de alta temperatura.

El nitrógeno que participa en la formación del NOx proviene del combustible (especialmente en el caso del petróleo residual) y el aire de combustión, que también aporta el oxígeno que participa de la reacción.

Los factores que favorecen la formación del NOx son por lo tanto los siguientes:

- a. Temperatura en la que se produce la combustión.
- b. Presencia de O<sub>2</sub> en zonas de alta temperatura (donde se produce la combustión).
- c. Nitrógeno ligado al combustible

El nitrógeno ligado al combustible, cobra una gran importancia en la generación de NOx, en el caso del petróleo.

A modo de ejemplo, el petróleo liviano posee entre 0,015 y 0,05 % de nitrógeno, en cambio el petróleo residual contiene entre 0,25 y 0,5 %, lo que se traduce en producciones de NOx de 10 ppm y 200 a 300 ppm respectivamente.

Resulta evidente señalar que combustibles como el gas natural, que contienen nitrógeno molecular y no poseen átomos de nitrógeno ligados, formarán solo NOx térmico.

## ARTÍCULO TÉCNICO

### Quemadores de bajo de NOx para Calderas

---

Por otro lado durante el proceso de combustión se generan principalmente (95 – 98 %) de óxidos de nitrógeno (NO), los que posteriormente se transforman en dióxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en la atmósfera.

Al hablar de NOx se hace referencia al NO<sub>2</sub> por lo tanto las emisiones de NO son convertidas a NO<sub>2</sub>, para efectos de poder realizar comparaciones.

### Quemadores de Bajo NOx

Los quemadores de “bajo NOx” consideran en su diseño características particulares, que les permiten reducir las condiciones que favorecen la formación de este contaminante.

Los mecanismos existentes para reducir la formación de NOx, tienen relación con reducir la temperatura de la llama, reducir los tiempos de residencia en zonas de alta temperatura y por último evitar atmósferas oxidantes (zonas pobres en combustible).

### Quemadores con Recirculación de Gases

Este tipo de quemadores permiten recircular una fracción (15 – 20 %) de los productos de la combustión “fríos” (200 – 250 °) descargados por una caldera.



Figura N°1: Caldera/Quemador con recirculación externa de gases

## **ARTÍCULO TÉCNICO**

Quemadores de bajo de NOx para Calderas

---

La mezcla de estos productos de estos gases con los productos de la combustión generados en la cámara de combustión, permiten enfriar la llama y con ello reducir la formación de NOx térmico.

La recirculación de productos de la combustión ha demostrado ser el método más efectivo para reducir la formación de NOx térmico, sin afectar la estabilidad de la llama o favorecer la emisión de otros contaminantes (monóxido de carbono, material particulado, etc.)

En la figura N°1 es posible observar una caldera con sistema de recirculación de gases, desde la chimenea al quemador.

En la figura N°2 se muestra en forma referencial (dependerá del quemador y la caldera), la relación existente entre la recirculación de gases y la reducción en las emisiones de NOx, para gas natural y petróleo Diesel.

Figura N°2: Influencia de la recirculación de gases en la reducción en las emisiones de NOx.

### **Quemadores con Combustión en Etapas**

Los quemadores de Bajo NOx, que emplean el mecanismo de combustión en etapas, consideran que el mejor ambiente para minimizar la formación del NOx del combustible, es aquel que posee una zona primaria rica en combustible (muy poco O<sub>2</sub>) donde exista una elevada temperatura y el tiempo de residencia

## ARTÍCULO TÉCNICO

### Quemadores de bajo de NOx para Calderas

---

en ella sea suficiente (0.5 seg) para minimizar el número de átomos de nitrógeno liberados para formar NOx con el oxígeno.

De esta manera se consigue transformar el nitrógeno del combustible en nitrógeno molecular.

Una vez que las reacciones para formar NOx han alcanzado un mínimo, suavemente se debe aportar el aire requerido para completar la combustión aguas abajo en el hogar, sin incrementar importantemente el NOx térmico.

Este mecanismo para reducir la formación de NOx recibe el nombre de “combustión en etapas” y contribuye además para reducir la formación NOx térmico.

Este mecanismo aprovecha el efecto de las zonas ricas/pobres en combustible en la formación de NOx.

Una reducción en la formación de NOx del combustible de hasta 55 % es posible de ser alcanzada mediante la combustión en etapas.

### Quemadores de cabezal poroso radiante

Este tipo de quemadores de pre-mezcla permiten obtener emisiones de NOx inferiores a 10 ppm al usar solo gas natural (no son adecuados para combustibles líquidos).

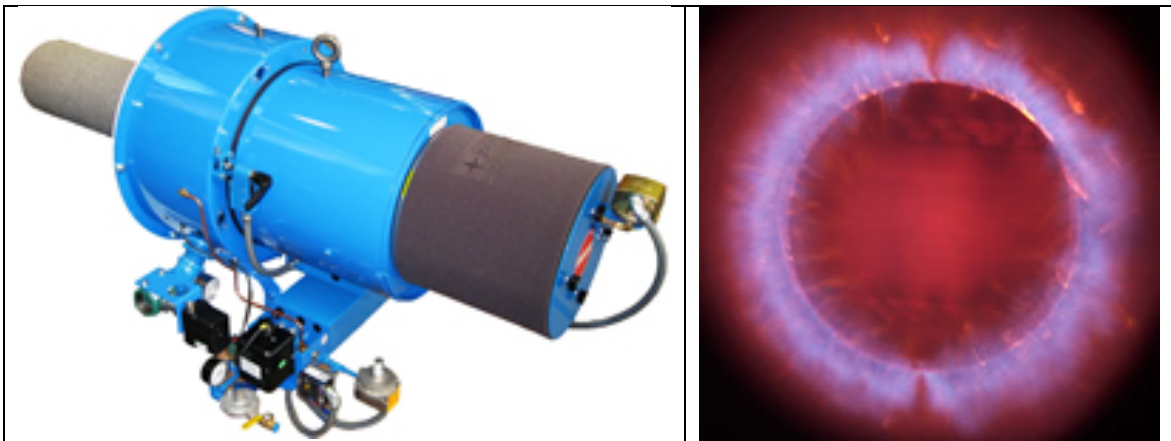


Figura N°3: Quemador de cabezal radiante

La baja temperatura de combustión reducen el NOx térmico y la pre-mezcla reducen el NOx Prompt, por lo que es posible obtener emisiones totales de NOx inferiores a 10 ppm @ 3 % de O2, al utilizar gas natural como combustible.

## **ARTÍCULO TÉCNICO**

Quemadores de bajo de NOx para Calderas

---

### **Factores de Diseño Desfavorables de una Caldera**

Finalmente deseamos mencionar algunos factores, que no tienen relación con los quemadores, sino que corresponden a características de las calderas, que favorecen la formación de NOx:

- a. Elevada carga térmica en la cámara de combustión (1.8 MW/m<sup>3</sup>), que tiene relación con un bajo volumen o superficie de transferencia de calor.
- b. Elevada cantidad de material refractario en la cámara de combustión (por ejemplo: calderas de fondo seco o semi-seco)
- c. Utilización de precalentadores de aire, para recuperar calor de los productos de la combustión en lugar economizadores.

### **Comentarios**

La utilización de quemadores con recirculación, no demasiado sofisticados, hace posible obtener emisiones de NOx de 30 ppm al utilizar GN como combustible, lo que permite que calderas de hasta 19.5 ton/h, no sean consideradas un “gran emisor”.

**Arnulfo Oelker Behn**  
**THERMAL ENGINEERING LTDA. - [aoelker@thermal.cl](mailto:aoelker@thermal.cl)**