

Departamento de Ingeniería Mecánica  
Universidad de Concepción  
Concepción, Chile

Profesor patrocinante:  
Oscar Farias

Profesor Co-patrocinante:  
Philippe Nkendakumana

## **ANÁLISIS DE LA FORMACIÓN DE NO<sub>x</sub> EN LA COMBUSTIÓN DE PETRÓLEO**



**PAULA ANDREA TARTARI BARRIGA**

Tesis requerida para obtener el grado de

Magister en Ciencias de la Ingeniería

Agosto 2001, Concepción, Chile

## SUMARIO

El objetivo del presente trabajo es lograr predecir, a través de un modelo simplificado, la formación de NO<sub>x</sub> en una caldera de agua caliente utilizando petróleo liviano. Esto ha sido logrado mediante el análisis de los tres diferentes mecanismos de formación de NO<sub>x</sub>, centrándose principalmente el estudio en el análisis del mecanismo del combustible.

En una primera etapa se revisan los aspectos generales acerca de la formación de NO<sub>x</sub>, tales como los efectos que produce el incremento de las emisiones sobre el medio ambiente y la salud, y las investigaciones desarrolladas relacionadas con el tema en el Laboratorio de Termodinámica de la Universidad de Lieja.

Luego se lleva a cabo una investigación de los mecanismos de formación de NO<sub>x</sub>: térmico, del combustible y espontáneo. Se presenta un detallado estudio bibliográfico sobre la cinética química asociada a cada mecanismo y, en particular, sobre las reacciones químicas que rigen la formación de NO<sub>x</sub> de origen térmico. A través de un análisis variacional se estudia la influencia de ciertos parámetros necesarios en el desarrollo de un modelo del NO<sub>x</sub> térmico tales como: temperatura, concentración de oxígeno y tiempo de residencia. Luego estos valores han sido obtenidos mediante expresiones encontradas en literatura, pero no se posee aún una confiabilidad absoluta sobre estos parámetros debido a la complejidad que presentan los gradientes, tanto de temperatura como de concentración de especies, producidos en una llama de difusión turbulenta. Finalmente, de un modelo encontrado en literatura y obtención de parámetros de entrada correspondientes se puede predecir teóricamente la formación de NO<sub>x</sub> de origen térmico.

El NO<sub>x</sub> generado a partir del combustible es analizado experimentalmente añadiendo un compuesto químico denominado piridina (C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>N) para simular el aumento de la concentración de nitrógeno presente en el combustible. Los parámetros analizados son: composición del combustible, exceso de aire global y potencia del quemador. Los resultados muestran un incremento lineal de las emisiones, hasta en 42 ppm (≈42%), cuando se aumenta el nitrógeno del combustible desde 0.017 a 0.052% en peso. En el

rango investigado las emisiones de NOx del combustible se muestran independientes del cambio de temperatura de la llama producido por la variación del exceso de aire, y no se observa una influencia significativa de los dos niveles de potencia ensayado. El rendimiento de conversión del nitrógeno del combustible a NOx es del orden del 85% para alta potencia y varía de 72 a 92% para baja potencia. Se muestra que este rendimiento es independiente, en el rango investigado de nitrógeno añadido, de la cantidad de nitrógeno presente en el combustible. En el ensayo a alta potencia del quemador, se observa una clara independencia del rendimiento de conversión con respecto al exceso de aire. La dispersión observada en el ensayo a baja potencia no permite establecer una tendencia definida. De los resultados obtenidos se pueden encontrar correlaciones capaces de predecir la formación de NOx en la caldera de agua caliente producidos por el mecanismo del combustible en función de la cantidad de nitrógeno en el combustible a utilizar, para diferentes condiciones de operación utilizadas (exceso de aire y potencia del quemador).

Debido a la complejidad del mecanismo de formación espontáneo, no se encontró en la literatura un modelo simplificado que permita analizarlo.

Por lo tanto como se mide la cantidad total de NOx en la chimenea (NOx térmico+NOx del combustible+NOx espontáneo), y se conocen los porcentajes de NOx producidos por mecanismos térmico y del combustible analizados en el presente trabajo, es posible obtener por diferencia la cantidad de NOx espontáneo producido para diferentes condiciones de operación de la caldera.

Aunque quedan aún incertidumbres en la exactitud de la predicción de NOx térmico debido a la obtención de ciertos parámetros de entrada, el mecanismo de formación de NOx del combustible ha sido analizado, obteniéndose correlaciones que nos permiten ahora predecir la formación de NOx producidas a través de este mecanismo en función de la cantidad de nitrógeno, exceso de aire y potencia del quemador.