

# ANÁLISIS DE EMISIONES CONTAMINANTES DE LA COMBUSTIÓN DE METANO EN QUEMADORES DE BAJO NO<sub>x</sub>

Jacqueline Lozano Navarrete (1), Juan Antonio Ramírez Vázquez (2)

1 Licenciatura en Ingeniería Ambiental, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: jacqueline.lozano.n@gmail.com

2 Departamento de Ciencias Ambientales, División Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: juan.ramirez@ugto.mx

## Resumen

Los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) son algunos de los gases producto de la combustión, especialmente a altas temperaturas. Estos representan un factor importante en la contaminación atmosférica, siendo generadores de diversos daños a la salud de cualquier organismo y al medio ambiente. Se han desarrollado diversas tecnologías con el fin de disminuir dicho problema, siendo una de éstas los quemadores de bajo NO<sub>x</sub>. En este proyecto se presenta el análisis del comportamiento de la temperatura y velocidad encontradas en una cámara de combustión (quemador de bajo NO<sub>x</sub>). Utilizando un software para realizar simulaciones numéricas de las ecuaciones Unsteady Reynolds Average Navier-Stokes (URANS), utilizando números grandes de Reynolds, aplicando modelos de turbulencia. La temperatura máxima obtenida fue de 1890 K en la zona interna de corriente de retorno. También se encontraron altas temperaturas en la zona secundaria (1410-1810 K); las temperaturas menores se situaron en la zona primaria y zona de quemado (617-1090 K). La velocidad máxima presentada en la reacción de combustión fue de 33.9 m/s y sin la existencia de reacción se presentó una velocidad máxima de 9.58 m/s.

## Abstract

Nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) are among the combustion product gases, especially at high temperatures. These represent an important factor in air pollution, being generators of various health damage of any organism and the environment. Various technologies have been developed in order to reduce this problem, one of these low NO<sub>x</sub> burners. In this project the analysis of the behavior of the temperature and velocity found in a combustion chamber (low NO<sub>x</sub> burner) is presented. Using software to perform numerical simulations of the equations Unsteady Reynolds Average Navier-Stokes (URANS), using large Reynolds numbers, using models of turbulence. The maximum temperature of 1890 K was obtained in the inner area of return current. High temperatures were also found in the secondary zone (1410-1810 K); they stood lower temperatures in the primary zone and burning zone (617-1090 K). The maximum speed presented in the combustion reaction was 33.9 m/s, without chemical reaction showed a maximum speed of 9.58 m/s.

## Palabras Clave

URANS; Temperatura; Velocidad; Modelo; Turbulencia;

## INTRODUCCIÓN

Actualmente es complicado realizar experimentos con diferentes quemadores debido a que no se cuenta con éstos equipos, en lugar de ello, se utilizan las simulaciones numéricas. En el presente trabajo se utilizaron las URANS (Unsteady Reynolds Average Navier Stokes Equations) [1].

### Formación de óxidos de nitrógeno en la combustión

Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son una de las principales fuentes de contaminación en cualquier sistema de combustión [2]. El término  $\text{NO}_x$  se refiere en general a todos los óxidos de nitrógeno. Sin embargo, el monóxido de nitrógeno ( $\text{NO}$ ), el dióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ), y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) son las únicas especies con concentración significativa en procesos de combustión [3].

Los factores principales que determinan el proceso de formación de  $\text{NO}_x$  son la temperatura en la zona de combustión activa (ZCA), la densidad de flujo de calor reflejado en ZCA, y el exceso de coeficiente de aire y tiempo de residencia de productos de combustión en ZCA.

Los  $\text{NO}_x$  formados por la oxidación del nitrógeno del combustible se llaman " $\text{NO}_x$  de combustible". Los  $\text{NO}_x$  formados por el nitrógeno del aire a altas temperaturas asociadas con la combustión se denominan " $\text{NO}_x$  térmicos". Los  $\text{NO}_x$  que se forman en el frente de la flama se denominan " $\text{NO}_x$  rápidos" [4].

### Quemadores de bajo $\text{NO}_x$

Los quemadores de bajo  $\text{NO}_x$  son equipos que hacen compatible una baja emisión de ese contaminante con buenos resultados de rendimientos y comportamiento de la flama [2]. Además se tiene un estricto control del nivel de oxígeno, limitando la formación de  $\text{NO}_x$  a partir del combustible.

En las instalaciones clásicas de combustión, la mezcla de combustible y aire/oxígeno se inyecta en el mismo lugar, a diferencia de los quemadores de bajo  $\text{NO}_x$  (LNB) donde se modifica la entrada de combustible y aire para retrasar la mezcla. Ahí

se reduce tanto la cantidad de oxígeno disponible en las zonas más críticas para la formación de  $\text{NO}_x$ , como la temperatura pico de la flama. Los LNB reducen, por tanto, la formación de  $\text{NO}_x$  del combustible y  $\text{NO}_x$  térmico, manteniendo una elevada eficiencia de combustión [5].

El presente trabajo tuvo como objetivo realizar un análisis de las emisiones contaminantes generadas a partir de metano ( $\text{CH}_4$ ) en un quemador de bajo  $\text{NO}_x$



IMAGEN 1: Llama de quemador de bajo  $\text{NO}_x$

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en la Universidad de Guanajuato de la División Ciencias de la vida en el Campus Irapuato-Salamanca durante el periodo del 8 de junio al 10 de julio de 2015.

Se realizó un análisis numérico usando FLUENT 6.3.26 para llevar a cabo la simulación del comportamiento de temperatura y velocidad encontradas en un quemador abierto (ver imagen 2).

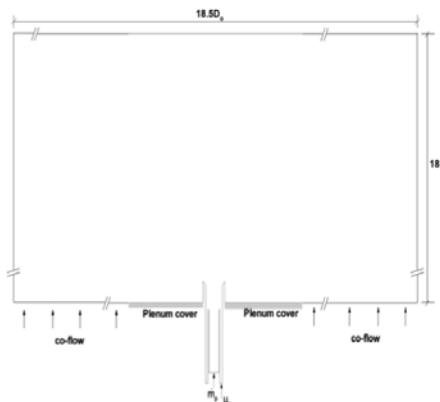


IMAGEN 2: Dominio numérico

Para las simulaciones numéricas se consideraron condiciones de axisimetría con intervalos de tiempo constantes.

El modelo de turbulencia que se utilizó fue el k-epsilon estándar. Se utilizó la ecuación de energía acoplada al modelo de especies de transporte donde se consideraron las especies químicas CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O y N<sub>2</sub>.

Lo anterior se hizo para simular la reacción química de combustión. Las propiedades se consideraron constantes, principalmente la viscosidad de 1.72e-05 kg/m-s y la conductividad térmica de 0.0454 w/m-k.

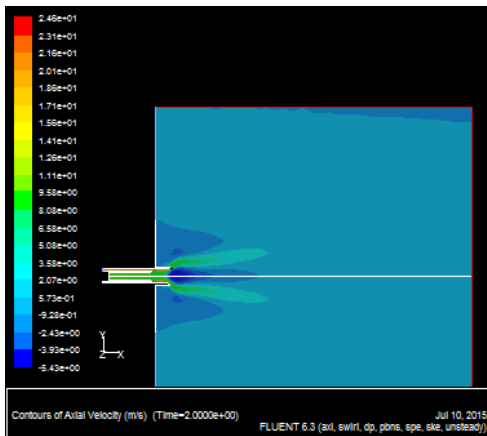


IMAGEN 3: Comportamiento de la velocidad sin reacción química

Para definir las condiciones de operación se utilizó una presión manométrica de 1 atm (101325 Pa), en cuanto a las condiciones de contorno, se estableció en la velocidad externa una velocidad axial de 20 m/s, una velocidad de remolino de 60 m/s, especificando un método de turbulencia de intensidad y diámetro hidráulico con una intensidad de turbulencia de 5% y un diámetro hidráulico de 0.006 m.

En cuanto a la velocidad interna se utilizó una tasa de flujo másico de 0.002 kg/s, una intensidad de turbulencia de 10% y el mismo diámetro hidráulico anterior y por último para la “velooptional” se consideró una velocidad de 1.5 m/s, una intensidad de turbulencia de 1% y un diámetro hidráulico de 0.5 m.

Para la resolución, en el campo de discretización de los controles de solución, se mantuvieron las opciones de momento, turbulencia, energía y

velocidad de remolino en “First Order Upwind”, así como el método simple en “Pressure-Velocity Coupling”.

Se iteró la solución hasta que los valores del residuo se situaron por debajo del valor umbral de 10<sup>-3</sup>, manteniendo ese valor en el campo de criterios de convergencia tanto para la ecuación de continuidad como para los componentes de la ecuación de momento, de la turbulencia y de las especies. Dejando los residuos de la energía en 10<sup>-6</sup>.

Para el análisis de resultados primero se calculó el campo fluido producido sin la existencia de reacción química (ver imagen 3).

Enseguida se realizó el análisis numérico del comportamiento de la temperatura y velocidad con la existencia de reacción química.

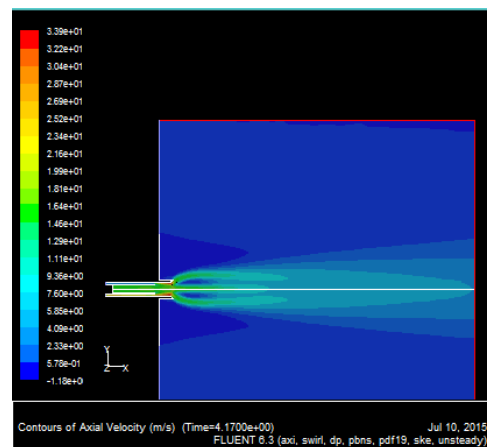


IMAGEN 4: Comportamiento de la velocidad en la cámara de combustión

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La imagen 3 muestra la velocidad axial encontrada en el quemador, se observó una velocidad máxima de 9.58 m/s a la entrada de ésta.

En el comportamiento de la velocidad de los productos de la reacción, se observó un máximo de velocidad (33.9 m/s) justo antes de que el gas entrara en contacto con la cámara de combustión. Al encontrar la chispa de ignición, la velocidad presentó una tendencia de decaimiento. Por otra parte, es predecible esta disminución de la

velocidad debido al cambio del área transversal de la tubería y de la presión, como lo describe la ecuación de la continuidad.

Se pudo observar la máxima temperatura en el quemador (1890 K) en la zona interna de corriente de retorno. Así mismo, se encontraron altas temperaturas (1410-1810 K) en la zona secundaria. En la zona primaria así como en la zona de quemado, se encontraron temperaturas similares, encontrándose estas entre los 617 y 1090 K.

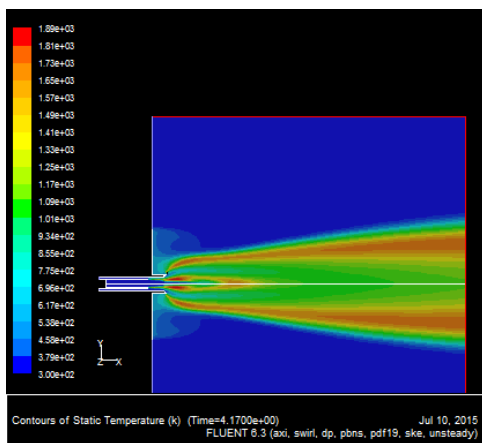


IMAGEN 5: Comportamiento de la temperatura en la cámara de combustión

Al igual que con la velocidad, se observa un decaimiento de la temperatura conforme la llama se aleja de la entrada del gas. Esto se puede explicar entendiendo el comportamiento de las partículas dentro de un volumen (dispersión molecular), el cual, en el caso de los gases, pierde concentración conforme se ocupa un espacio determinado. Y en este caso reflejándose en una disminución de la velocidad.

La realización de esta investigación ayudará al estudio y diseño de quemadores de bajo NO<sub>x</sub>.

## CONCLUSIONES

La diferencia de velocidades presentadas en el quemador fue muy grande debido a la presencia de reacción química, lo cual indica que mientras se presente dicha reacción, la velocidad será mucho mayor.

Actualmente la tecnología de los quemadores de bajo NO<sub>x</sub> representa una alternativa viable para contribuir en la mitigación y en el control de agentes y partículas contaminantes de fácil dispersión atmosférica. La correcta elección de las condiciones de operación, así como el diseño apropiado de éstos quemadores garantiza una mayor eficiencia en la disminución de los contaminantes a partir de la combustión.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se llevó a cabo gracias al apoyo del Dr. Juan Antonio Ramírez Vázquez ya que sin su colaboración no había sido posible la realización del proyecto de investigación. Así como también a la Universidad de Guanajuato por darme la oportunidad de ampliar mis conocimientos en este campo de investigación.

## REFERENCIAS

- [1] Ramírez, J. & Cortés, C. (2010). Comparison of Different URANS Schemes for the Simulation of Complex Swirling Flows. *Numerical Heat Transfer, Part B: Fundamentals: An International Journal of Computation and Methodology*, 58(2), 98-120.
- [2] Syred N., A review of oscillation mechanisms and the role of the precessing vortex core (PVC) in swirl combustion systems, 2006, *Progress in Energy and Combustion Science*, 32, pp 93-161.
- [3] M. Legrand, J. Nogueira, A. Lecuona, S. Nauri, and P. A. Rodriguez, Atmospheric Low Swirl Burner Flow Characterization with Stereo PIV, *Experiments in Fluids*, vol. 48, pp. 901-913, 2010.
- [4] Jarquín-López, G., Polupan, G., Jiménez-García, J., Pysmenny, Y. (2011). Metodología de cálculo de NO<sub>x</sub> en generadores de vapor que queman gas natural. *Científica*, 15(2), 93-100.
- [5] Ramírez, J., Cortés, C., Carrón, A., Carmona, M. & Legrand M. (2012). Prediction of Flow Instabilities in an Atmospheric Low Swirl Burner Using URANS Models, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology*, 62(6), 479-498.