	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# **SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA COMBUSTIÓN EN UN HORNO TIPO TÚNEL DE CURADO DE CERÁMICA A GAS NATURAL CON AIRE ENRIQUECIDO CON OXÍGENO.**

SANTIAGO SIERRA RODRIGUEZ

TECNOLOGIA ELECTROMECHANICA

Asesor

BERNARDO HERRERA MUNERA M.Sc.

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**08/10/2015**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RESUMEN

---

En este trabajo se realizó la simulación numérica de la combustión en un horno tipo túnel de curado de cerámica a gas natural con aire enriquecido con oxígeno, con el fin de determinar el efecto de la adición de oxígeno en el consumo de gas natural y distribución de temperaturas a lo largo del horno. Para realizar la simulación se utilizó el software Ansys Fluent versión 14.5. Una vez realizado el modelado del horno con base en planos existentes, se determinaron los modelos Eddy Dissipation para la combustión,  $k - \epsilon$  Realizable y Ordenadas Discretas para la simulación del flujo turbulento y la radiación. Se ingresaron condiciones de frontera a cada caso de enriquecimiento mientras que el factor de aireación se mantuvo constante en 1,05 según datos experimentales obtenidos y compartidos por el grupo de materiales avanzados y energía del ITM. Como variable de control, se mantuvo la temperatura cerca de un set point de 1226°C, manteniendo un margen de error de 100°C que representa la ausencia de una carga. Como resultado de la simulación se obtuvo una disminución de consumo del gas natural con los niveles de enriquecimiento con oxígeno. Un 25% de enriquecimiento representó un 6% de disminución de consumo de combustible, 30% de enriquecimiento representó un 13% de disminución y un 40% denotó 22% de disminución. Así mismo al usar aire enriquecido en cada quemador se pudo notar una relativa uniformidad en la distribución de temperatura a lo largo del horno.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## RECONOCIMIENTOS

---

Mi mas sinceros agradecimientos a mi asesor, el profesor Bernardo Herrera Múnera, por brindarme una asesoría continua y estar dispuesto a cualquier inquietud, a la profesora Karen Paola Cagua por resolver todas mis dudas de forma precisa y oportuna ,al grupo de Ciencias Térmicas por permitir acrecentar mis conocimientos y la confianza brindada y finalmente Al instituto Tecnológico Metropolitano ITM, por darme la oportunidad de recibir un acompañamiento con altos estándares de calidad y proveerme de las instalaciones y software necesarios para el desarrollo de mi proyecto de grado.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	5
MARCO TEORICO .....	7
METODOLOGIA.....	9
RESULTADOS.....	11
CONCLUSIONES,RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	14
REFERENCIAS .....	15

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## Generalidades

Se ha establecido el uso racional de la energía como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental, entre otros para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno y la competitividad de la economía colombiana. En este contexto en el afán por implementar tecnologías como la combustión con aire enriquecido que potencien el uso racional de la energía en procesos de calentamiento industriales (Colombia, 2001).

En aras de mejorar los índices de eficiencia energética en el sector industrial, en este trabajo se realizó la simulación de un sistema de combustión adicionando oxígeno extra al aire con el fin de determinar el efecto de esta adición en el consumo de gas natural, las emisiones y la distribución de temperaturas en un horno túnel de curado de piezas cerámicas. El oxígeno favorece la combustión de todos los combustibles, lo que permite mejorar el control de la zona de encendido, aumentar la estabilidad del horno y reducir las emisiones de NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub> estipuladas en la resolución 0909 de 2008 tal como muestra la Tabla 1.

*Tabla 1 Estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para actividades industriales a condiciones de referencia (25 °C y 760 mm Hg) con oxígeno de referencia del 11%*

Contaminante	Flujo del contaminante (kg/h)	Estándares de emisión admisibles de contaminantes (mg/m <sup>3</sup> )	
		Actividades industriales existentes	Actividades industriales nuevas
Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> )	TODOS	550	500
Óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> )	TODOS	550	500

(Ministerio de ambiente, 2008)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### **Planteamiento del problema**

Las empresas con procesos de alta temperatura son de gran importancia social y económica. Dado que estas empresas son intensivas en el consumo de energía térmica, su competitividad se ve afectada por la baja eficiencia de los sistemas de combustión. Por lo tanto, se propone la simulación de la combustión con aire enriquecido para determinar teóricamente su efecto sobre la eficiencia energética en un proceso de curado de cerámicos.

### **Objetivo general**

Simular la combustión con aire enriquecido con oxígeno en un horno tipo túnel que funciona a gas natural.

### **Objetivos específicos**

Realizar la geometría y mallado del horno tipo túnel.

Simular la combustión de un horno tipo túnel que funciona a gas Natural a diferentes concentraciones de oxígeno en el aire.

### **Organización de la tesis**

Se da contexto sobre el curado de cerámica, como se lleva a cabo y en que tipo de maquinaria se realiza, seguidamente se explica qué es un horno túnel, cuales son sus dimensiones, sus cantidades de producción en (kg/día) y las partes mas relevantes del horno tanto para la producción de elementos cerámicos como para el desarrollo de la simulación.

El proceso de cocción y la relevancia que tiene el tiempo sobre la calidad de los elementos cerámicos son temas a tratar ya que los costos aumentan y es allí donde se vuelve importante la implementación de nuevas metodologías y estudios que aseguren unas propiedades concretas al material: la insolubilidad y la solidez que garantizan el mantenimiento de la forma, la resistencia mecánica, la porosidad entre otras.

Dando pie a mostrar que es la combustión con aire enriquecido, como surgió y los diferentes sectores donde ha sido acogida esta practica con la cual se obtuvieron aumentos significativos en la productividad con bajos costos de inversión.

Se explica detalladamente que es una simulación numérica y la metodología empleada para su realización. Desde el modelado, el mallado y la elección de los diferentes modelos de combustión, mostrando por medio de tablas los diferentes niveles de enriquecimiento utilizados en cada quemador y presentando por medio de figuras los resultados obtenidos.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### **Curado de cerámica**

En la industria cerámica, se entiende por curado al proceso físico químico de calentamiento, de acuerdo con un plan pre-establecido, de las piezas crudas moldeadas, seguido de un enfriamiento bien definido. En él, las arcillas se transforman en silicatos de aluminio cristalinos sin hidratar. Este proceso se lleva a cabo en un horno tipo túnel. Un Horno túnel para curado de cerámica consiste de las siguientes partes: galería de cocción, es recta con una sección relativamente pequeña y una longitud que puede alcanzar los 130 metros, está provista de puertas a los lados. Quemadores inferiores y quemadores superiores, Pueden ser de fuel o de gas natural, se encuentran dispuestos a los lados de la galería de cocción en zigzag, su llama pasa a través de un espacio entre material refractario que sostiene el material que se cuece. El principal combustible de un horno túnel es gas cuando su producción son elementos cerámicos, su producción oscila entre los 8000 y 50000 kg de producto cocido por día, su temperatura de cocción máxima oscila entre los 1250°C, su longitud puede variar entre los 35 y 130 m. Este horno está dotado de una puerta de entrada plegable y un empuje automático mediante empujador hidráulico. En la zona de precalentamiento y cocción posee cámaras de combustión independientes y dotadas de regulación de temperatura de arriba a abajo mediante juntas de refractario maniobrables desde el exterior. (Universidad de Oviedo).

Si la cocción se hace lentamente, se mejora la calidad, pero con ello aumentan los costos. Industrialmente se estudian las curvas de temperatura-tiempo de cada horno para conseguir el equilibrio del sistema. Mediante el aporte de calor se produce un proceso de transformaciones físico-químicas que modifican la estructura química y cristalina de las arcillas de forma irreversible. (Universidad de Oviedo) Es la operación fundamental del proceso tecnológico, ya que da origen al material cerámico, transformando las materias primas de la pasta en nuevos compuestos cristalinos y vítreos que confieren al producto cocido unas propiedades concretas: la insolubilidad y la solidez que garantizan el mantenimiento de la forma, la resistencia mecánica, la porosidad, la impermeabilidad, la resistencia química, etc. (Paucar, 2010) .

### **Combustión con aire enriquecido**

La Combustión con aire enriquecido surgió debido a los requerimientos de altas temperaturas de procesos que tradicionalmente empleaban grandes bancos recuperadores de calor; y se consolidó gracias a la disminución de los costos asociados a la producción de O<sub>2</sub> ( (Baukal, 2003) (R.chen, 2005) (North American Mfg Co, 1997)). Esta técnica de combustión se ha hecho económicamente viable en procesos de alta temperatura (P.B. Sunderland, 2003), como la fusión de vidrio ( (T. Boushaki, 2007) (V.Anne, Bennett, Cheng, & Robert, 2008)) de acero (Kim, Kim, Lee, & Young, 2007) y de aluminio (Nieckele, Naccache, & Gomes, 2004), donde se obtuvieron aumentos

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

significativos en la productividad con bajos costos de inversión, convirtiéndolos en potenciales aplicaciones de la combustión con aire enriquecido (Fabiani, Bimbi, Pizzichini, & Santarossa, 1996) la cual consiste en aumentar la concentración de oxígeno en el aire atmosférico hasta llegar a niveles de hasta el 100%. Los métodos de obtención de aire enriquecido con oxígeno más aplicados hasta el momento son la adsorción por presiones oscilantes en tamices moleculares y la destilación criogénica. (Cacua Madero & Munera Herrera, 2013)

### **Simulación de la combustión con aire enriquecido**

Para simular la combustión con aire enriquecido en un horno de túnel para curado de cerámica, es necesario de disponer de modelos adecuado para la combustión, la turbulencia y la radiación, los cuales, al acoplarse en un software de Dinámica de Fluidos Computacional, permitirán obtener perfiles de temperatura, especies químicas y transferencia de calor representativos del fenómeno real. A continuación se describen los fundamentos de los modelos usados para el presente trabajo.

### **Modelo de combustión**

Para la combustión e interacción entre química y turbulencia, se usa el modelo Eddy Dissipation (B.F. Magnussen, 1977), donde la tasa neta de producción de una especie debido a una reacción está dada por el menor valor arrojado entre dos expresiones, cada una de las cuales considera que la reacción química está gobernada por el tiempo de mezclado en los torbellinos más grandes, de tal manera que la combustión procede en cualquier lugar donde haya mezclado turbulento.

### **Modelo de turbulencia**

Se selecciona el modelo k- $\epsilon$  realizable con las constantes por defecto ( $C1\epsilon = 1,44$ ,  $C2 = 1,9$ ,  $\sigma_k = 1,0$ ,  $\sigma_\epsilon = 1,2$  y  $C_\mu = 0,09$ ) propuesto por (Tsan, Liou, Shabbir, Yang, & Zhu, 1995), debido a que ofrece una mejor predicción de la tasa de esparcimiento generada por chorros redondos. Este modelo se basa en la solución de las ecuaciones de transporte para la energía cinética turbulenta k y la tasa de disipación viscosa  $\epsilon$ , adicionalmente emplea una fórmula para la viscosidad de Eddy y plantea una ecuación para  $\epsilon$  basada en la ecuación dinámica de fluctuación de vórtices.

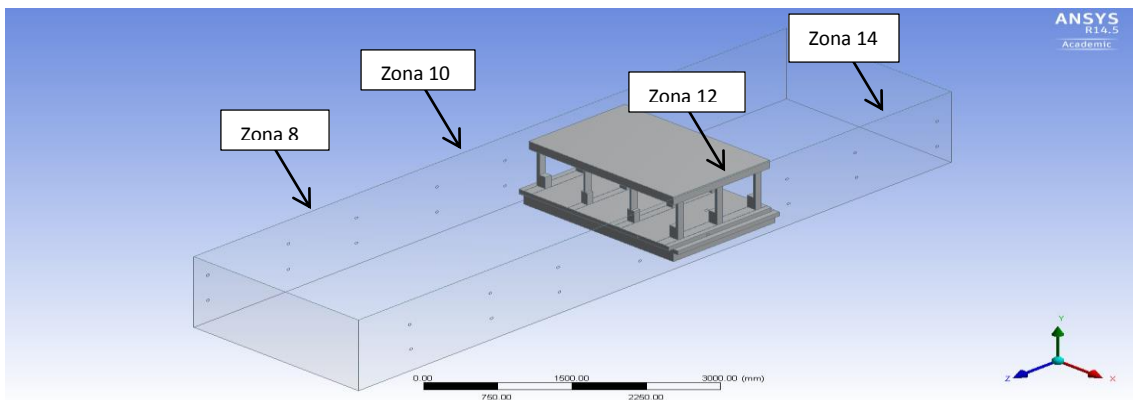
### **Modelo de radiación**

El modelo Ordenadas Discretas (Raithby & Chui, 1990) se selecciona para la transferencia de calor por radiación desde las paredes, este modelo resuelve la ecuación de transferencia radiante para un número finito de ángulos sólidos discretos y convierte dicha ecuación en ecuaciones de transporte para la intensidad de radiación, de tal forma que habrá tantas ecuaciones de transporte como direcciones de ángulo sólido que se hayan discretizado. Debido a la influencia del vapor de agua y el CO<sub>2</sub> sobre los patrones de radiación, se hace necesaria la incorporación del modelo de suma ponderada de gases (Grises Smith, Shen, & Friedman J, (1982); Denison & Webb, (1993))



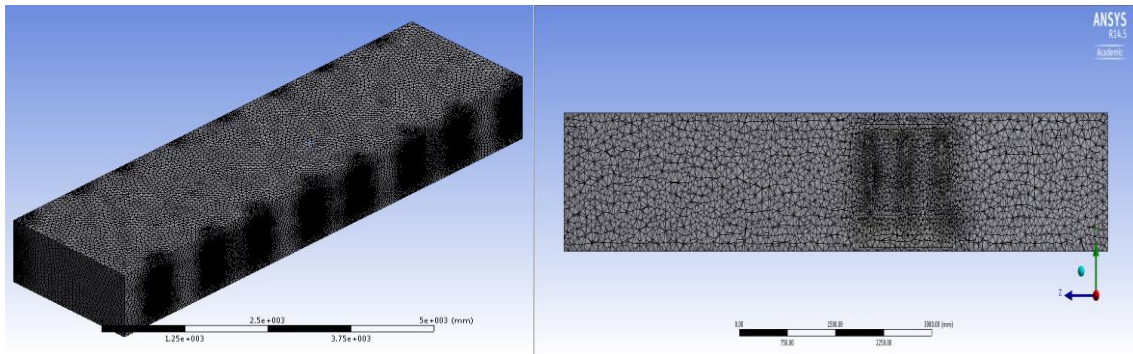
### 3. METODOLOGÍA

La simulación numérica del horno de curado fue realizada en el software ANSYS FLUENT 14.5. El primer paso fue la construcción de la geometría del horno con los quemadores de gas y el carro de soporte de las piezas, cuyas dimensiones y distribución se realizaron con base en planos existentes y sólo se modelaron las zonas 8, 10, 12 y 14 del horno debido a pruebas experimentales realizadas por el grupo de materiales avanzados y energía del ITM. Esta geometría se muestra en la Figura 1



**Figura 1 Geometría del horno túnel**

Se realizó el mallado de la geometría, garantizando un alto grado de detalle de dicha malla en las zonas cercanas a los quemadores y al carro, como se muestra en la Figura 2



**Figura 2 Mallado del horno**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Tabla 2 se muestra el número de elementos, la relación de aspecto y oblicuidad de la malla.

*Tabla 2 Características del mallado*

NUMERO DE ELEMENTOS	RELACION DE ASPECTO	OBLICUIDAD
1,818217	12,5	0,96

Se realizó la simulación de la combustión con diferentes condiciones de aire enriquecido. Los modelos de simulación de los fenómenos fluido dinámicos y térmicos se muestran en la Tabla 3

*Tabla 3 Modelos de simulación*

Fenómeno	Modelo
Turbulencia	k-ε estándar
Combustión de pre mezcla	Eddy Dissipation
Radiación	Ordenadas discretas
Mecanismo de reacción	Metano-aire de dos pasos

Las condiciones de frontera correspondientes a cada enriquecimiento se presentan en la Tabla 4  
Nota: en cada caso de enriquecimiento el factor de aireación se mantuvo constante en 1,05.

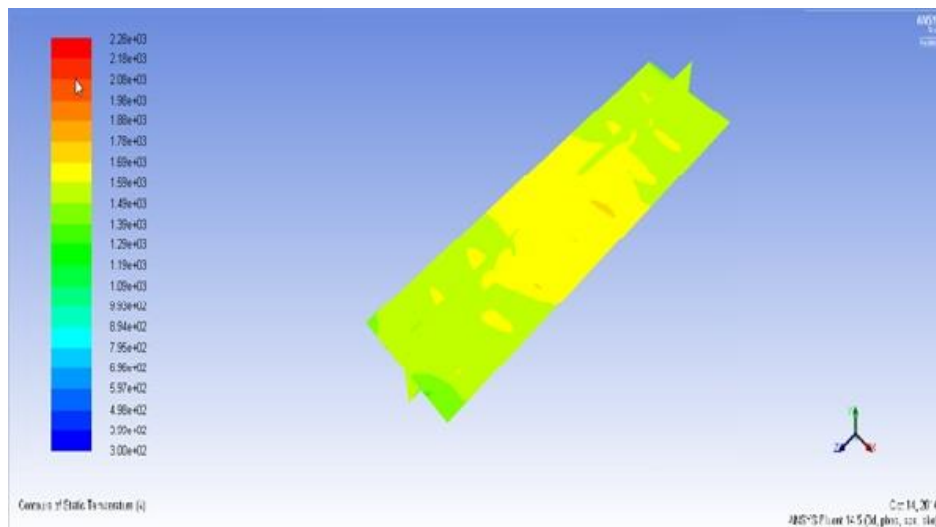
*Tabla 4 condiciones de frontera para la simulación con distintos niveles de enriquecimiento*

Nivel de enriquecimiento	Zona	8	10	12	14
25%	Flujo por quemador (kg/s)	0,008	0,009	0,011	0,008
	CH <sub>4</sub> (% peso)	0,062	0,062	0,062	0,062
	O <sub>2</sub> (% peso)	0,259	0,259	0,259	0,259
30%	Flujo por quemador (kg/s)	0,007	0,008	0,009	0,007
	CH <sub>4</sub> (% peso)	0,073	0,073	0,073	0,073
	O <sub>2</sub> (% peso)	0,31	0,31	0,31	0,31
40%	Flujo por quemador (kg/s)	0,005	0,006	0,006	0,005
	CH <sub>4</sub> (% peso)	0,093	0,093	0,093	0,093
	O <sub>2</sub> (% peso)	0,4	0,4	0,4	0,4

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

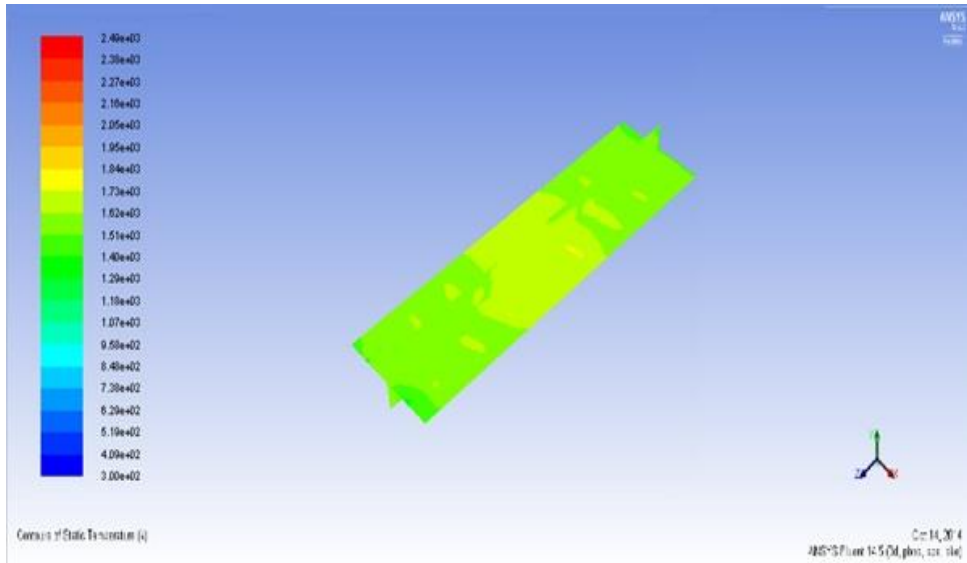
## 4. RESULTADOS

En la Figura 3 y **Error! Reference source not found.** se presentan los contornos de temperatura y fracción molar en los planos medios longitudinales para cada una de las condiciones de enriquecimiento del aire. En general se visualizan tendencias semejantes en ambas variables, lo cual se debe al hecho del proceso iterativo que se realizó para mantener la temperatura cercana a un *set point* de 1226 °C aumentando 100 °C para conservar el margen de operatividad que en condiciones reales impondría una carga y diferentes pérdidas de calor en el horno. Este resultado se logró en cada caso, reduciendo el flujo de gas natural al aumentar el porcentaje de oxígeno en el aire de combustión (Ceng, 2013), los perfiles de temperatura resultantes en el eje longitudinal del horno se muestran en la **Error! Reference source not found.**. Con base en estos resultados se concluyó que operando con un enriquecimiento del 25% de oxígeno, el flujo de gas natural se podría disminuir hasta un 6%, con respecto a la operación con aire atmosférico, conservando las temperaturas en valores cercanos y relacionados. Los porcentajes de disminución de consumo con 30 y 40% de enriquecimiento de oxígeno, alcanzaron valores de 13 y 22%, respectivamente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la simulación consideró aire enriquecido con oxígeno en cada uno de los quemadores, lo cual explica la temperatura relativamente uniforme a lo largo de horno.

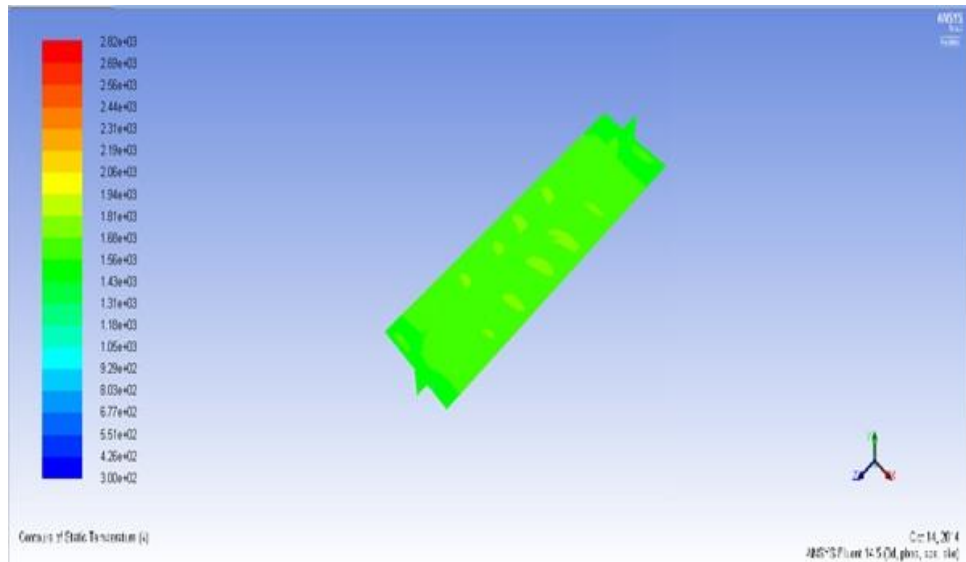


**Figura 3 Contornos de temperatura (°C) a diferentes porcentajes de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

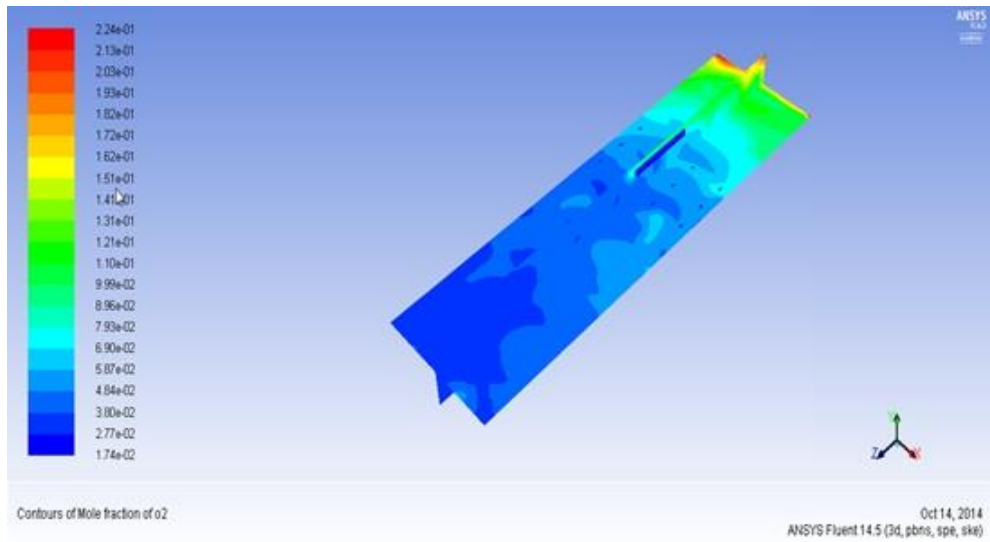


**Contorno de temperatura (°C) a 30% de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**

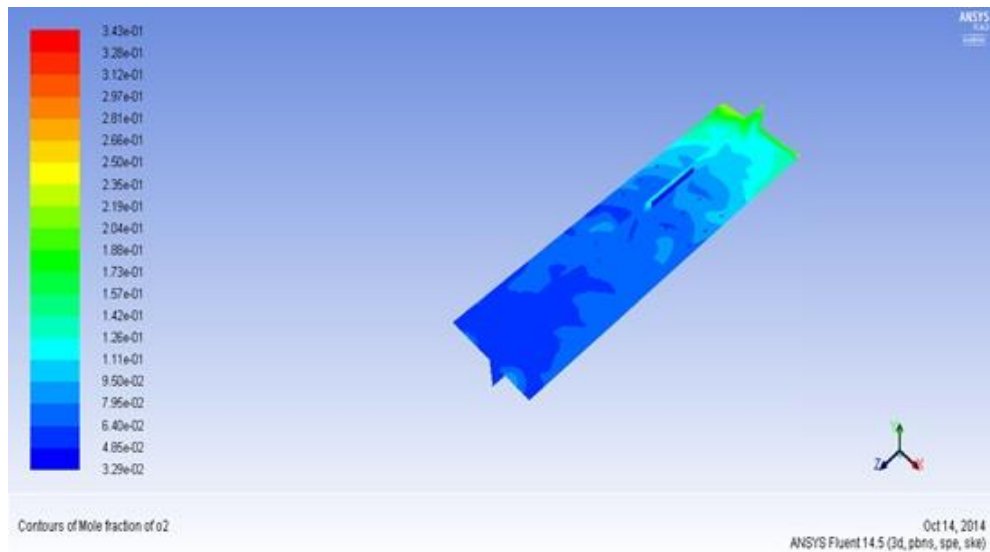


**Contorno de temperatura (°C) a 40% de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**

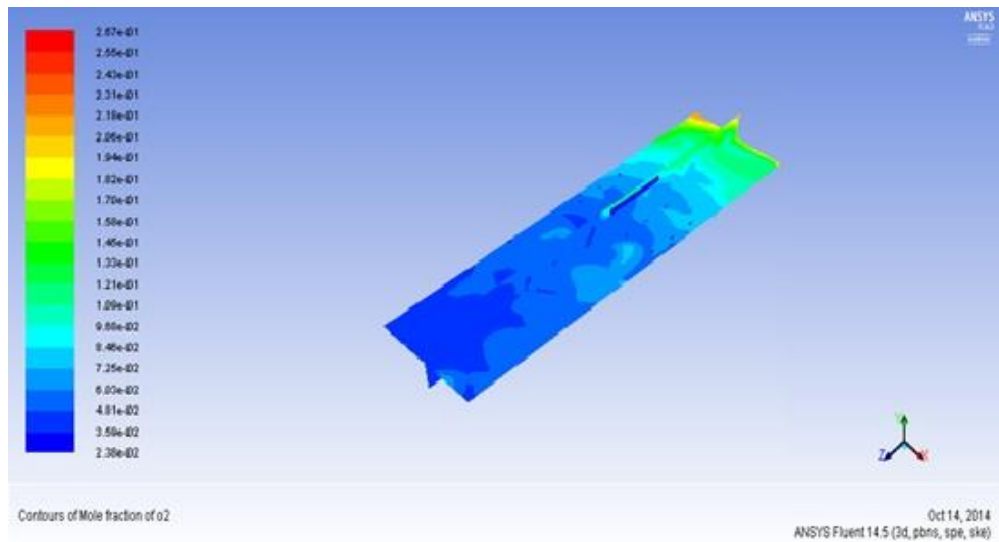
	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



**Figura 4 Contornos de fracción molar de O<sub>2</sub> con distintos niveles de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**

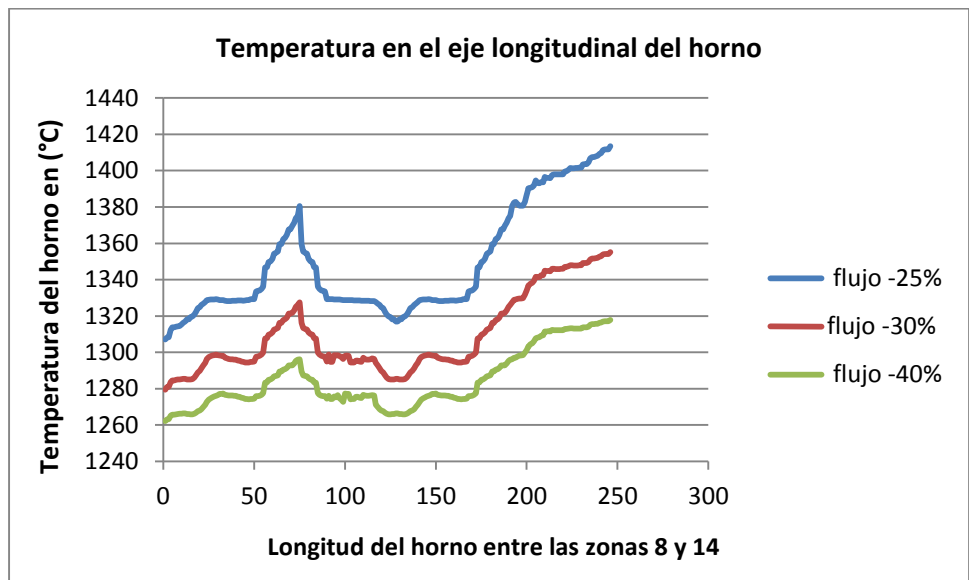


**Contorno de fracción molar de O<sub>2</sub> a 30% de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**



**Contorno de fracción molar de O<sub>2</sub> a 40% de enriquecimiento de oxígeno en el aire de combustión**

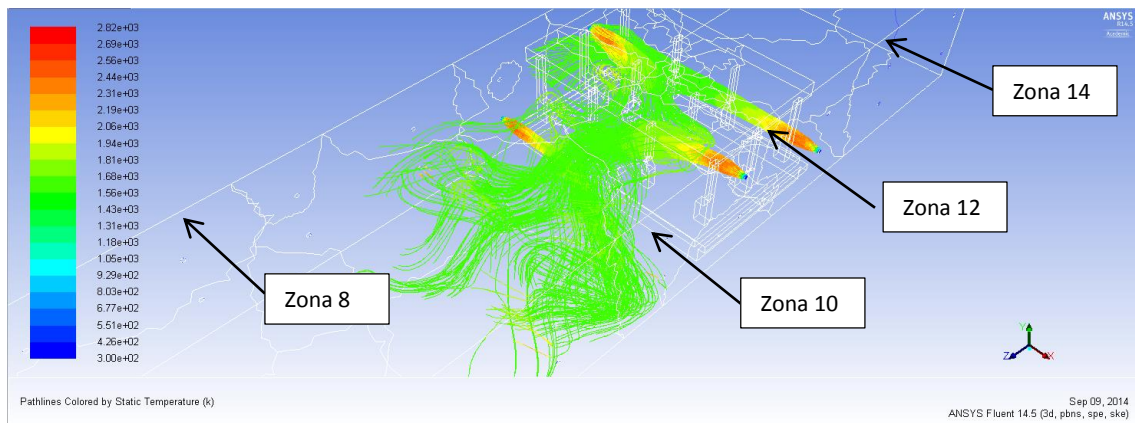
La Figura 5 muestra la temperatura en el eje longitudinal del horno asumiendo las temperaturas del horno desde la zona 8 a la 14 de izquierda a derecha.



**Figura 5 Temperatura en el Eje longitudinal del horno**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En la Figura 6 se muestra el efecto de la corriente de gases que circulan desde la zona 14 hacia la zona 8 para un enriquecimiento de 40% de oxígeno en el aire de combustión por efecto del sistema de evacuación de humos y precalentamiento de carga, se observa que esta corriente tiene una tendencia a desviar los gases de combustión en los quemadores en la dirección contraria al avance de la carga. Por otra parte, en la **Error! Reference source not found.** se observa que la concentración de O<sub>2</sub> en todos los enriquecimientos es uniforme y cercana al 3%, a pesar de la aireación cercana al punto estequiometrico con la que se simuló la combustión, lo cual muestra el efecto diluyente de esta corriente de gases.



**Figura 6 Efecto de la corriente de gases que circulan**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

Luego de realizar la simulación de un trayecto del horno de curado de cerámica con varios niveles de enriquecimiento del aire con oxígeno en los sistemas de combustión se encontró una disminución del consumo de gas natural usando niveles de enriquecimiento tal y como lo muestra la Tabla 5, sin alterar significativamente las condiciones fluido dinámicas y la temperatura de proceso. Los perfiles de temperatura se mostraron uniformes cuando el enriquecimiento es aplicado en todas las zonas del horno.

*Tabla 5 Niveles de enriquecimiento y su respectiva reducción de gas natural*

Niveles de enriquecimiento	Reducción de gas natural (%)
25%	6%
30%	13%
40%	22%

Se concluyó que la corriente de gases de evacuación que atraviesa el horno en contra de la corriente de gases, influye sobre la trayectoria de los gases de combustión generados en los quemadores, provocando una desviación de estos en dirección contraria a la del avance de los carros con la carga, a su vez, estos gases de evacuación influyen sobre la concentración final de O<sub>2</sub> en el horno.

Se recomienda un análisis más a fondo a la hora de realizar una simulación numérica de un objeto que pueda tener muchos elementos con el fin de facilitar a la persona que modele dicho objeto la realización del mallado y que sea posible para este alcanzar los valores predeterminados para una malla de alta calidad.

Como trabajo a futuro podría establecerse una carga en el horno pero simulando condiciones en busca de materiales que otorguen mayor transferencia de calor al proceso por medio de los carros que transportan la cerámica y aprovechar esta transferencia de calor para optimizar o disminuir el consumo de combustible.



	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## REFERENCIAS

---

- B.F. Magnussen, B. H. (1977). On mathematical modeling of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion. *Symposium (International) on Combustion*, 719-729.
- Baukal, C. E. (2003). *Industrial Burners Handbook*. CRC Press.
- Cacua Madero, K. P., & Munera Herrera, B. A. (2013). Revisión de la combustión con aire enriquecido con oxígeno como estrategia para incrementar la eficiencia energética. *Revista javeriana*, 463-482.
- Ceng, C. (20 de 03 de 2013). *Globe Thesis*. Recuperado el 25 de 10 de 2014, de <http://www.globethesis.com/?t=2231330392957517>
- Colombia, E. C. (3 de octubre de 2001). *alcaldia de bogota*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4449>
- Fabiani, C., Bimbi, L., Pizzichini, M., & Santarossa, L. (1996). Performance of a hollow fibre membrane unit in oxygen-enriched air production. *Gas Separation & Purification*, 75-79.
- Kim, H. K., Kim, Y., Lee, S. M., & Young, A. K. (2007). NO reduction in 0.03–0.2 MW oxy-fuel combustor using flue gas recirculation technology. *Proceedings of the Combustion Institute*, 3377-3384.
- Ministerio de ambiente, V. y. (5 de junio de 2008). *alcaldiabogota*. Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=31425>
- Nieckele, A. O., Naccache, M. F., & Gomes, M. S. (2004). Numerical Modeling of an Industrial Aluminum Melting Furnace. *Journal of Energy Resources Technology*, 72-81.
- North American Mfg Co. (1997). En *North American Combustion Handbook, Volume II* (pág. 457).
- P.B. Sunderland, D. U. (2003). sooting limits of diffusion flames with oxygen enriched air and diluted fuel.
- Paucar, C. (14 de 10 de 2010). *unalmed.com*. Recuperado el 12 de 10 de 2014, de <http://www.unalmed.edu.co/~cgpaucar/firing.pdf>
- R.chen, R. A. (2005). Scalar dissipation rate at extinction and the effects of oxygen-enriched combustion. En *Combustion And Flame* (págs. 62-71).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Raithby, G. D., & Chui, E. H. (1990). A Finite-Volume Method for Predicting a Radiant Heat Transfer in Enclosures With Participating Media. *J. Heat Transfer*, 415-423.

T. Boushaki, J. S. (2007). The behaviour of lifted oxy-fuel flames in burners with separated jets. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 8-18.

Tsan, H. S., Liou, W. W., Shabbir, A., Yang, Z., & Zhu, J. (1995). A new k- $\epsilon$  eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows. *Computers & Fluids*, 227-238.

Universidad de oviedo. (s.f.). *Ceramicas leccion 7 coccion*. Recuperado el 08 de 05 de 2015, de <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion7.COCCION.pdf>

V.Anne, B., Bennett, Z., Cheng, P., & Robert, W. (2008). Computational and experimental study of oxygen-enhanced axisymmetric laminar methane flames. En *Combustion Theory and Modelling* (págs. 497-527).

