

ANÁLISIS ISOCINÉTICO Y CORRECCIÓN A CONDICIONES DE REFERENCIA EN HORNO A CIELO ABIERTO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

ISOKINETIC ANALYSIS AND CORRECTION TO REFERENCE CONDITIONS IN OPEN KILN IN THE MUNICIPALITY OF OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

MSc. Gustavo Guerrero Gómez^a, MSc. Edwin Espinel Blanco^b, Phd. Torcoroma Velasquez Perez^c

^aUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación GITYD Calle 2 No 13 A 12, Ocaña, Colombia, gguerrero@ufps.edu.co

^bUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación GITYD Calle 9 No 37-01 Apto 302, Ocaña, Colombia, eespinelb@ufps.edu.co

^cUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de investigación GITYD Calle 19 # 7-102, Ocaña, Colombia, tvelasquezp@ufps.edu.co

Fecha de recepción: 05-15-2017

Fecha de aprobación: 22-06-2017

Resumen: Se realizó un muestreo isocinético al horno a cielo abierto de la ladrillera el recreo 2, empleando el método del analizador experimental siguiendo los pasos estipulados según la normatividad vigente establecida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, en el que se determinó la concentración de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno, por último se hizo la comparación con la normatividad ambiental Colombiana, de lo que se estableció que las emisiones de óxido nítrico medidas en la ladrillera monitoreada cumple con la norma.

Palabras clave: analizador experimental, contaminación atmosférica, control, fuentes fijas.

Abstract: An open-pit isokinetic sampling of brickyard recess 2 was performed using the experimental analyzer method following the stipulated steps according to current regulations established by the ministry of environment, housing and territorial development in the protocol for control and monitoring of atmospheric pollution generated by fixed sources, in which the concentration of oxygen, carbon monoxide, carbon dioxide and nitrogen oxide was determined. Finally, a comparison was made with Colombian environmental regulations, which was

established that the nitric oxide emissions measured in the monitored brickwork complies with the standard.

Keywords: experimental analyzer, atmospheric pollution, control, fixed sources.

1. INTRODUCCIÓN

En el municipio de Ocaña departamento de Norte de Santander se ha desarrollado una industria cerámica importante en producción, pero muy empírica desde el punto de vista tecnológico. Actualmente, la gran mayoría de las ladrilleras realizan un trabajo completamente artesanal.

La falta de controles en los procesos de combustión, los altos índices de emisiones, la no generación de nuevos productos y en general la falta de tecnología que mejore sus procesos de producción, tienen a la industria cerámica de la región en una gran crisis (Guerrero 2017). La competencia se torna compleja y los organismos de gobierno exigen con mayor rigor el cumplimiento de normativas en cuanto a la emisión de material particulado al ambiente.

De igual forma, numerosos procesos generales se han diseñado y utilizado para el reciclado de los residuos industriales, con un gran número de pasos y etapas alternativas debido a la gran diversidad de composiciones y propiedades que se encuentran al estudiar un residuo determinado (Quaranta, 2009) y se han realizado estudios de reutilización de cenizas volantes, escorias y barros (Francis, 2002), materiales refractarios (Allaire C. 1993), vidrios y cerámicos (Barbieri 1999), cenizas de biomasa (Souza 1999) y estériles de explotación minera (Skarkynska 1999).

El mundo entero vive un problema agudo de contaminación como consecuencia del consumo de combustibles fósiles para la producción de energía en fuentes fijas o de tipo móvil y al poco control de los procesos de combustión. La emisión de sustancias como monóxido y dióxido de carbono, hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre causan los efectos ambientales como es el smog, lluvia ácida, efecto invernadero y debilitamiento de la capa de ozono (Pérez 2012).

Este trabajo tiene como objetivo identificar el problema que vive la industria cerámica del municipio de Ocaña que inicia con la medición de las emisiones productos de la combustión en el horno a cielo abierto de la ladrillera el recreo 2 y finalmente se hizo una comparación de resultados con la normativa ambiental colombiana.

2. METODOLOGÍA

En el municipio de Ocaña se encuentran 30 empresas del sector cerámico con una producción aproximadamente de 1.027.600 productos/mes dedicadas exclusivamente a la producción de materiales para la construcción como ladrillos, bloque y teja, que de acuerdo con la clasificación hecha en el Artículo 20 de la Ley 905 de 2004, el 96,67 % son empresas pequeñas que realizan la quema de carbón sobre parrilla fija con una cantidad de 416.280 productos

correspondiente al 40,51 % de la producción mensual total en el municipio de Ocaña mientras que el 3,34 % corresponden a empresas grandes que utilizan hornos continuos con una producción de 611.320 productos correspondiente al 59,49 % de la producción según plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Ocaña (2016).

Para el estudio de medición de gases contaminantes se escogió el horno a cielo abierto de la ladrillera el recreo 2, la ladrillera está ubicada en el municipio de Ocaña, departamento Norte de Santander, Colombia, a una altitud de 1.227 metros sobre el nivel del mar, bajo las coordenadas N 1073980 y W 1402088 con una temperatura promedio de 21°C. El horno de sección transversal circular tiene un diámetro interior de 2,12 metros y una altura de 4,52 metros con espesor de pared de 0,24 metros; la cantidad de ladrillos por quema es de 4.300 y tiene un consumo de carbón de 1.500 kg por cada cocción, (Ver figura 1).



Figura 1. Horno ladrillera el recreo 2
Fuente: Elaboración propia

El proceso de producción en la ladrillera se realiza de forma artesanal. El cargue del ladrillo en el horno y combustible se hace a

medida que se carga el horno con ladrillos de forma ordenada, el cargue de combustible se esparce hasta una altura de 3 a 5 cm sobre cada capa armada (Cosude 2011). y se depositará en los espacios que quedan entre los ladrillos, (Ver figura 2)



Figura 2. Cargue del ladrillo y combustible
Fuente: Elaboración propia

En el proceso de cocción, al terminar de cargar el horno se sella la puerta de cargue y descargue de productos a través de una pared de ladrillos, (Ver figura 3). Se da inicio a la combustión inyectándole aire por medio de un ventilador, hasta que se halla quemado todo el carbón mineral. Luego se abre la puerta del horno y se deja un periodo de enfriamiento para poder sacar el ladrillo.



Figura 3. Sellado de la puerta de cargue y descargue de productos
Fuente: Elaboración propia

El método empleado para evaluación de mediciones de emisiones de contaminantes fue el del analizador experimental y se hizo siguiendo los pasos estipulados según la normatividad vigente establecida por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial en el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas (2010), en el que el número de pruebas o corridas para la ejecución del método fue de 3 corridas y por cada corrida se realizaron 4 mediciones con intervalo de tiempo de 15 minutos.

Los puntos de medición establecidos para realizar las mediciones en el horno se hicieron en la parte superior por donde salen los gases producto de la combustión, (Ver figura 4), ya que este no posee chimenea.



Figura 4. Medición de emisiones de gases en la ladrillera el recreo 2
Fuente: Elaboración propia

Los resultados de las mediciones de los diferentes contaminantes fueron corregidos a condiciones de referencia a 25°C y presión de 760 mm. Hg, de acuerdo con lo establecido en el artículo 86 de la resolución 909 del 5 de junio de 2008 emanada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, por medio de la siguiente ecuación:

$$C_{CR} = C_{CL} * \left(\frac{T_{CL} * P_{CR}}{T_{CR} * P_{CL}} \right) \quad (1)$$

Dónde:

C_{CR} = Concentración del contaminante a condiciones de referencia $\left(\frac{mg}{m^3} \right)$

C_{CL} = Concentración del contaminante a condiciones locales $\left(\frac{mg}{m^3} \right)$

T_{CL} = Temperatura de los gases a la salida del ducto (°K)

T_{CR} = Temperatura a condiciones de referencia (°K)

$T_{CR} = 298,00 \text{ °K}$

P_{CL} = Presión de los gases a la salida del ducto (mm Hg)

P_{CR} = Presión a condiciones de referencia (mm Hg)

$P_{CR} = 760,00 \text{ mm Hg}$

Para la corrección a condiciones de referencia del óxido nítrico se utilizó la siguiente expresión:

$$C_{CL} = C_{CL_{p.p.m.}} * \frac{P.M.}{24,45} \quad (2)$$

Donde:

C_{CL} = Concentración de óxidos de nitrógeno a condiciones locales $\left(\frac{mg}{m^3} \right)$

$C_{CL\ p.p.m}$ = Concentración de óxidos de nitrógeno a condiciones locales (p. p. m.)

$$C_{CL\ p.p.m} = 17,52\ p.p.m.$$

P. M. =Peso molecular de óxidos de nitrógeno (g)

$$P. M. = 30,00\ g$$

Una vez obtenida la corrección a condiciones de referencia se procedió a hacer la corrección a condiciones de oxígeno de referencia del 18%, de acuerdo con lo establecido en el artículo 88 de la resolución 909 emanada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, por medio de la siguiente ecuación:

$$C_{CR(O_2\ ref)} = C_{CR(X\ \%)} * \left(\frac{21,00 - \% O_2\ ref}{21,00 - X\ \%} \right) \quad (3)$$

Donde:

$C_{CR(O_2\ ref)}$ = Concentración del contaminante a condiciones de referencia $\left(\frac{mg}{m^3} \right)$

$C_{CR(X\ \%)}$ = Concentración del contaminante a condiciones de referencia $\left(\frac{mg}{m^3} \right)$

$$C_{CR(X\ \%)} = 26,49 \frac{mg}{m^3}$$

X % = Oxígeno medido a la salida de los gases (%)

$$X\ \% = 12,42\ \%$$

3. RESULTADOS

La medición de gases en el horno de la ladrillera el recreo 2 se realizó el día 28 de mayo del 2017, y las mediciones de emisiones de gases para la primera corrida se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Emisiones de contaminantes en la ladrillera el recreo 2

| Medición contaminantes | | | | |
|------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| # de mediciones | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Hora | 9:00 A.M. | 9:15 A.M. | 9:30 A.M. | 9:45 A.M. |
| Contaminante | | | | |
| O ₂ (%) | 13,23 | 8,67 | 15,10 | 12,47 |
| CO (%) | 3,18 | 5,58 | 2,63 | 0,00 |
| CO ₂ (%) | 7,93 | 12,32 | 7,82 | 0,00 |
| NO (p.p.m.) | 26,73 | 25,40 | 18,83 | 73,27 |

| | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| T (°C) | 67,97 | 67,73 | 69,07 | 56,80 |
|--------|-------|-------|-------|-------|

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta los resultados que fueron obtenidos en la medición de gases practicados en el horno seleccionado para la muestra. En el que se hizo un promedio de las concentraciones de los contaminantes regulados por la Resolución 909 de 2008. La concentración de gases emitidos en la ladrillera seleccionada en condiciones locales se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Caracterización de los gases por análisis de combustión en la ladrillera

| Ladrillera | Contaminante | | | |
|-------------|--------------------|--------|---------------------|--------------------|
| | O ₂ (%) | CO (%) | CO ₂ (%) | N ₂ (%) |
| El recreo 2 | 12,42 | 3,01 | 7,52 | 77,05 |

Fuente: Elaboración propia

La concentración de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y nitrógeno emitido en la ladrillera seleccionada se muestra en la figura 5.

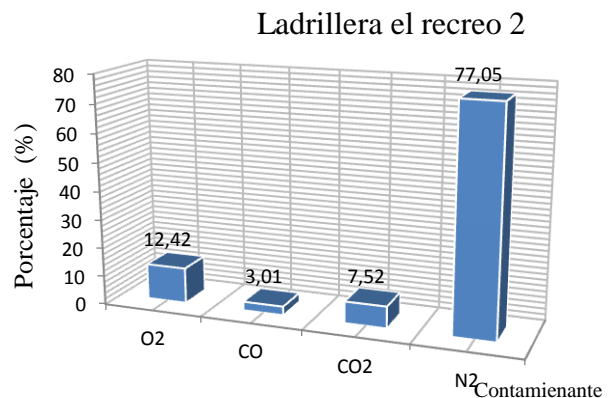


Figura 5. Concentración de gases en el horno

Fuente: Elaboración propia

La concentración de óxidos de nitrógeno a condiciones locales en $\frac{mg}{m^3}$ es:

$$C_{CL} = 17,52 * \frac{30,00}{24,45}$$

$$C_{CL} = 21,50 \frac{mg}{m^3}$$

La corrección de óxidos de nitrógeno contaminante a condiciones de referencia teniendo en cuenta que la presión barométrica en la ciudad de Ocaña es de $93,20 * 10^3$ Pa o 699,06 mm Hg (Jácome 2015) , la presión de los gases a la salida del horno es de 701,99 mm Hg y la temperatura de los gases en la parte superior del horno es de 66,15 °C es:

$$C_{CR} = 21,50 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{339,15 \text{ °K} * 760,00 \text{ mm Hg}}{298,00 \text{ °K} * 701,99 \text{ mm Hg}} \right)$$

$$C_{CR} = 26,49 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

La corrección a condiciones de referencia con oxígeno de referencia del 18% es:

$$C_{CR(O_2 \text{ ref})} = 26,49 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3} * \left(\frac{21,00 - 18,00}{21,00 - 12,42} \right)$$

$$C_{CR(O_2 \text{ ref})} = 9,27 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

La concentración de óxido de nitrógeno C_{CL} en partes por millón (p.p.m.) emitido en la ladrillera seleccionada es de 17,52 p.p.m.

Los resultados de la corrección de oxígeno de referencia del 18% del óxido nítrico en la ladrillera seleccionada y el estándar de emisión admisible según la resolución 909 de 2008 para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla pueden verse en la tabla 3.

Tabla 3. Corrección de oxígeno de referencia del 18% del óxido nítrico en las ladrilleras

| Ladrillera | Concentración | | Norma ($\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$) |
|-------------|----------------------|---|---|
| | C_{CL} (p.p.m.) | $C_{CR(O_2 \text{ ref})}$ ($\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$) | |
| El recreo 2 | 17,52 | 9,27 | 550,00 |

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES.

La mayor temperatura de los gases a la salida del horno de la ladrillera fue de 66,15 °C por debajo de los 250 °C establecidos para hornos discontinuos según lo establece el artículo 30 de la resolución 909 y la resolución 802 de 2014 emanada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

El resultado de las concentraciones de gases emitido a la salida del horno fue oxígeno con un porcentaje de 12,42 %, monóxido de carbono con un porcentaje de 3,01 %, dióxido de carbono con un porcentaje de 7,52 % y nitrógeno con un porcentaje de 77,02 % y la corrección de óxidos de nitrógeno contaminante a condiciones de referencia fue de 17,52 p. p. m.

Los resultados de la corrección de oxígeno de referencia $C_{CR(O_2 \text{ ref})}$ del 18% del óxido nítrico en la ladrillera seleccionada es de $9,27 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$ y el estándar de emisión admisible según la resolución 909 de 2008 para las industrias existentes de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla es de $550 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$.

En general se evidenció que la ladrillera seleccionada cumple con los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para emisión por fuentes fijas.

La industria cerámica de la provincia de Ocaña no posee el capital necesario para implementar sistemas de control de adquisición de temperatura y de inyección de carbón pulverizado o de tecnología que minimice el impacto ambiental debido a que el 96,67 % de las empresas son pequeñas.

Uno de los grandes problemas para crecer y darle sostenibilidad al mercado de los

carbones del interior del país y de exportación es la informalidad de la minería por lo cual se enfatiza la importancia de trabajar en pos de la consolidación de la actividad minera con visión empresarial.

Los hornos utilizados actualmente en el sector ladrillero en la provincia de Ocaña son hornos artesanales a cielo abierto y contruidos de ladrillo común, para reducir el consumo de energía y disminuir la emisión de gases al ambiente se pueden realizar una serie de innovaciones o mejoras que se pueden aplicar fácilmente y tienen bajo costo de implementación, tales como revocar el interior y exterior de la cámara de cocción debido a que estos se agrietan frecuentemente como consecuencia de la dilatación que sufren las paredes del horno, otra mejora a implementar es que debido al calentamiento de las paredes del horno se puede colocar una primera capa de ladrillos refractarios que servirán de aislamiento térmico.

Además de los cambios constructivos, es posible introducir cambios operativos, la aplicación más difícil, pero más eficiente. Uno de ellos es cambiar el diseño del horno que conduzca a la reutilización de los gases de escape para ellos sería dirigirlos hacia el interior de otro horno ya preparado y cargado, causando que los gases pasan a través del interior del horno antes de ir a la chimenea, reduciendo la acción de la flotabilidad de los gases calientes, el tiempo de residencia del fluido en el interior del horno, mejore la combustión del carbón y disminuya las emisiones emitidas a la atmosfera. Así, los gases calientes harían intercambio de calor entre sí, proporcionando un precalentamiento de la siguiente carga de productos. La producción de los hornos será de forma secuencial y en ciclos, elevando su temperatura y logrando que el gradiente de temperatura sea vertical. Este cambio requiere sólo unas pocas obras

en la ladrillera. Para este fin Los gases calientes pueden ser recuperados y podrían ser utilizados en el secado del material o incluso para calentar otros productos que se encuentran en un horno contiguo. Otro aspecto en la adecuación en los hornos es la construcción de la chimenea la cual mejoraría el tiro en el horno y facilitará el oxígeno para que la combustión sea completa.

El suministro de carbón de alto contenido de cenizas y porcentaje de humedad inducen una pérdida en la cantidad de combustible suministrada en el horno. Por lo tanto, una medida para mitigar la pérdida indirecta atribuible al suministro de carbón es implementar un procedimiento de calidad y requisitos mínimos para la compra del carbón. Como complemento a estas medidas en las ladrilleras a cielo abierto se debe implementar una molienda propia del carbón que conduzca a una granulometría adecuada reduciendo de esta manera las perdidas atribuibles de inquemados al secado de este, una mejor combustión y una reducción en las emisiones al ambiente.

En ladrilleras a cielo abierto debido a que no se cuenta con un control y ajuste del proceso de combustión por lo que se presenta un exceso de aire que genera un aumento en el consumo de combustible, pérdidas térmicas en el horno y un aumento de emisiones al ambiente, es posible mitigar el efecto del exceso de aire de combustión implementando un sistema de inyección de aire para el proceso de cocción por medio de un ventilador de tiro inducido que permitan mejorar el proceso de combustión, ya que disminuiría las emisiones emitidas al ambiente, se reduciría la cantidad de combustible empleado y se homogenizaría todo el calor en el interior del horno. Las ladrilleras no cuentan con sistemas de monitoreo continuo en el proceso de cocción

a través de sensores de adquisición y monitoreo a través de termopares en diferentes posiciones en el horno que permitan el registro y/o visualización de datos temperatura de cocción mejorando las condiciones de dosificación manual, así como registrar curvas típicas para cada uno de los productos, niveles de cocción y coloración deseada. Esta medida permitiría adicionalmente rastrear problemas y dificultades particulares del horno en cada producto. En general para todas las ladrilleras para que disminuyan el exceso de aire es importante reducir las infiltraciones de aire en el horno mediante la aplicación de un estuco en las superficies exteriores, puertas de cargue y paredes exteriores e implementar un equipo de adquisición de temperatura, quema y suministro de combustible en el tiempo.

5. FINANCIACIÓN

Los autores del presente trabajo expresan su agradecimiento a la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña por su valioso apoyo en la financiación de este proyecto que hace parte del proyecto Eficiencia energética y uso racional de la energía en la producción de materiales cerámicos en la provincia de Ocaña.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía Municipal De Ocaña. (2016). Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT. Ocaña.

Allaire C. (1993) Use of red mud for the production of aluminum reduction cell pot lining refractories, Am. Ceram. Soc. Bull, 72: 59-64.

Barbieri L., Lancellotti I., Manfredini T., Queralt I., Rincón J., Romero M. (1999) Glasses and glass-ceramics from coal fly ashes. Fuel 78: 271-276.

Cosude, (2011). Programa de eficiencia energética en ladrilleras artesanales de América Latina para mitigar el cambio climático. Cosude, Agencia Suiza para el desarrollo y cooperación, Nemocón.

Francis A., Rawlings R., Sweeney R., Boccaccini A. (2002) Processing of coal ash into glass ceramic products by powder technology and sintering, Glass Technol, 43 : 58-62.

Guerrero, G. (2017). Hornos de combustión: alternativas de reducción de emisiones e incremento de rentabilidad. Universidad de Santander Bucaramanga.

Jacome Manzano, S. A. (2015). Evaluación Termodinámica del Proceso de Cocción y Análisis de Gases en Hornos a Cielo Abierto y Hoffman en Ocaña. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2008). Resolución 909 Bogotá D.C.

Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas Bogotá D.C.

Pérez, S. & Cañizares H. (2012). Diagnóstico de los Procesos de Combustión Ejecutados en la Industria Cerámica en el Área Metropolitana de San José de Cucuta. Universidad Francisco de Paula Santander Cucuta.

Quaranta, N. (2009). Inclusión de residuos industriales en la producción de materiales cerámicos. II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla.

Skarkynska K. (1995) Engineering- part 1: properties of mine stone; reuse of coal mining wastes in civil, Waste Management, 15: 3-42.

Souza M. F., Yamamoto J. (1999) Mullite synthesised from aluminium hydroxide and silica from rice hull, Cerâmica, 45: 34-38.