

MEDICIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS EN HORNOS A CIELO ABIERTO EN EL MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER
MEASUREMENT OF ATMOSPHERIC EMISSIONS IN OPEN KILNS IN THE MUNICIPALITY OF OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

MSc. Gustavo Guerrero Gómez^a, MSc. Edwin Espinel Blanco^b, MSc. Eder Norberto Florez Solano^c

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

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

^cUniversidad Francisco de Paula Santander Ocaña, Grupo de Investigación INGAP, Vía Acolsure Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia, enflorezs@ufpso.edu.co

Fecha de recepción: 04-04-2017

Fecha de aprobación: 10-06-2017

Resumen: Se hizo una relación de las empresas ladrilleras dedicadas a la producción de materiales cerámicos en el municipio de Ocaña, identificando tipo de horno, capacidad y producción. Luego se seleccionó una muestra de siete empresas ladrilleras, a las que se les practicó un muestreo isocinético donde se determinó la concentración de emisiones reguladas por la resolución 909 de junio de 2008 (porcentajes de oxígeno, monóxido de carbono, dióxido de carbono y óxido de nitrógeno), finalmente se hace un análisis del cumplimiento de los requisitos establecidos en la normativa ambiental vigente para emisión por fuentes fijas en las ladrilleras a los hornos en mención, de lo que se establece que las empresas seleccionadas cumplen con los requisitos establecidos en la normatividad ambiental Colombiana.

Palabras clave: fuentes fijas de emisión, hornos, muestreo isocinético, normatividad ambiental.

Abstract: It was made a list of the brick companies dedicated to the production of ceramic materials in the municipality of Ocaña, identifying type of furnace, capacity and production. Then, a sample of seven kilns was selected from the brick factories, which were subjected to isokinetic sampling using the experimental analyzer method, where the concentration of emissions regulated by resolution 909 of June 2008 (percentages of oxygen, Carbon monoxide, carbon dioxide and nitrogen oxide). Finally, an analysis was made of the compliance with the requirements established in the current environmental regulations for emission by fixed sources

in the brick kilns to the mentioned furnaces, of what was established that the selected companies comply with the requirements established in Colombian environmental regulations.

Keywords: fixed emission sources, furnaces, isokinetic sampling, environmental regulations.

1. INTRODUCCIÓN

El sector cerámico en Colombia no cuenta con tecnificación en sus procesos de producción, conduciendo a que su proceso de combustión sea deficiente y genere problemas ambientales y de salud por sus emisiones contaminantes, así como ocasionando costos innecesarios para las empresas. Un inadecuado proceso de combustión requiere la utilización de mayores cantidades de combustibles y expone a las empresas al pago de multas al no acatar las normas ambientales vigentes (Guerrero 2017).

En la actualidad, la industria de la arcilla del municipio de Ocaña debe cumplir con las exigencias de ley establecidas por las entidades ambientales, las cuales vienen creando y aplicando medidas más estrictas en lo referente al control de las emisiones atmosféricas emitidas desde sus procesos, como por ejemplo lo estipulado en la resolución 909 del 5 de junio de 2008 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas de octubre de 2010, por mencionar algunas de interés. Adicionalmente no se cuenta con un plan de reciclaje como técnica de reaprovechamiento o recuperación de volver el residuo sólido un beneficio del bien, artículo, elemento o parte del mismo. (Quaranta, 2009). De manera específica se han realizado estudios de reutilización de cenizas volantes, escorias y barros (Vieira, 2006), materiales refractarios (Allaire C.

1993), vidrios y cerámicos (Romero, 1999) y estériles de explotación minera (Roth, 2003).

Las impurezas del carbón y el uso de procedimientos y tecnologías no apropiadas durante su combustión son las causantes de productos residuales que contaminan el aire; entre estos se incluye el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el material particulado, causantes de fenómenos ambientales como efecto invernadero, cambio climático y lluvias ácidas, los cuales representan un gran riesgo para la naturaleza y el entorno humano afectando la salud (Pérez 2012).

Este trabajo tiene como objetivo identificar el problema que vive la industria cerámica del municipio de Ocaña por el cual se realizó la medición de las emisiones productos de la combustión a una muestra seleccionadas de siete ladrilleras y finalmente se hizo una comparación de resultados con la normativa ambiental colombiana.

2. METODOLOGÍA

La población objeto del trabajo está constituida por 30 chircales activos que se encuentran en el municipio de Ocaña, departamento Norte de Santander, el área de estudio comprende el Municipio de Ocaña con una extensión aproximada de 7.74

Km², los chircales activos ubicados en diferentes zonas del casco urbano de la ciudad producen aproximadamente 1.027.600 productos/mes, los cuales se caracterizan por emplear procesos manuales y rudimentarios en las diferentes etapas para la fabricación de estas piezas de mampostería.

Para caracterizar el sector cerámico en el municipio de Ocaña se consultó la información existente sobre la producción de materiales cerámicos (tipo de ladrilleras, ubicación, método de explotación, tipos de hornos utilizados, capacidad de los hornos, producción de productos, etc.), que se obtiene del plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Ocaña (2016) y la unidad Técnica Ambiental UTA de la alcaldía municipal de Ocaña, (Ver tabla 1). Así como la realización de visitas de campo, en el que se observó el estado actual de funcionamiento de los hornos ubicados en el municipio de Ocaña.

Tabla 1. Inventario de las empresas de dedicadas a la explotación y transformación de arcilla en el municipio Ocaña

Nº	Nombre del Chircal	Tipo de Horno	Total	Capacidad (Ladrillo-teja)	Producto final de transformación	Cantidad de Producto Transformado Mensual
1	Bolivar	Cuadrado y circular	4	4.000 – 9.000 – 12.000	Ladrillo	20.000
2	La palma	Cuadrado	3	5.000 – 6.000	Ladrillo	10.000
3	Sánchez	Cuadrado	3	10.000 – 15.000	Ladrillo	15.000
4	Los espineles	Circular	1	4.000	Ladrillo	12.000
5	Bética	Cuadrado	2	6.000	Ladrillo	10.000
6	Los Lemus	Cuadrado	4	8.000 – 10.000	Ladrillo	20.000
7	Los Sánchez	Cuadrado	5	5.000 – 6.000	Ladrillo	10.000
8	La pradera	Cuadrado	6	8.000	Ladrillo	16.000
9	Los raros	Cuadrado	2	8.000 – 10.000	Ladrillo	16.000
10	Pasos abajo del terminal	Cuadrado	2	4.000 – 8.000	Ladrillo	8.000
11	Los raros	Cuadrado	2	5.000 – 7.000	Ladrillo	12.000
12	Granito de oro	Cuadrado	1	9.000	Ladrillo	9.000
13	Las violetas	Cuadrado	1	3.000	Teja	3.000
14	El Recreo 2	Circular	1	4.300	Ladrillo	8.600
15	Los mellos	Cuadrado	2	7.000 -9.000	Ladrillo	16.000
16	El Recreo	Cuadrado	3	6.000 – 15.000	Ladrillo	21.000
17	Los Guayabos	Circular	2	5.000	Ladrillo	10.000
18	Estanco	Cuadrado y circular	4	7.000 – 4.000 – 11.000	Ladrillo	15.000
19	Estanco 1	Cuadrado	4	7.000-12.000 – 16.000	ladrillo	28.000
20	Estanco 2	Cuadrado	3	9.000 – 10.000	Ladrillo	19.000
21	Estanco 3	Circular	3	6.000 – 10.000- 16.000	Ladrillo	26.000
22	Ocaña	Hoffman	1	986 Apiles	Bloque de mampostería	611.320
23	El Bosque	Cuadrado y circular	2	10.000	Ladrillo	10.000
24	San Antonio	Cuadrado	1	10.000 – 20.000	Ladrillo, teja y baldosa	20.000
25	El Libano	Cuadrado	2	4.000 – 5.000	Ladrillo	10.000
26	Los Pinos	Cuadrado	3	4.000	Ladrillo	12.000
27	San Fernando	Cuadrado y circular	4	5.000 – 10.000	Ladrillo	10.000
28	Villa Venecia	Cuadrado	2	8.000 – 12.000	Ladrillo	32.000
28	El tejear	Circular	2	3.000 – 5.000	Ladrillo	5.000
30	Buenavista	Circular	3	6.000-7000	Ladrillo y teja	13.000

Fuente: Alcaldía Municipal de Ocaña, Plan Basico de Ordenamiento Territorial PBOT, Ocana, 2016.

Los hornos utilizados actualmente en el sector cerámico en el municipio de Ocaña son hornos artesanales a cielo abierto de diferentes geometrías y construidos de ladrillo común, excepto el horno continuo tipo Hoffman de la ladrillera Ocaña, teniendo en cuenta lo anterior se realizó medición de gases contaminantes en 7 empresas ladrilleras artesanales.

La medición de gases contaminantes se hizo siguiendo los pasos estipulados según la normatividad vigente en la legislación Colombiana, según 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).El número de pruebas o corridas para la ejecución del método de

evaluación de emisiones contaminantes en fuentes fijas aplicando el método del Analizador instrumental es de 3 corridas y para cada corrida se hicieron 4 mediciones con intervalo de tiempo de 15 minutos. Se realizaron mediciones en 8 empresas para un total de 24 corridas.

Los puntos de medición establecidos para los hornos artesanales las mediciones se hicieron en la parte superior.

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 los resultados de las mediciones de los diferentes contaminantes se corrigieron a condiciones de referencia a 25°C y presión de 760 mm. Hg, 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)

$T_{CR} = 298,00$ °K

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

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

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

Para realizar la corrección a condiciones locales en $\frac{mg}{m^3}$ del óxido de Nitrógeno 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

El artículo 88 de la resolución 909 emanada por el ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial establece realizar la corrección a condiciones de oxígeno de referencia del 18%, por medio de la siguiente ecuación:

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

Donde:

$C_{CR(O_2 \text{ ref})}$ = 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 2.

Tabla 2. Emisiones de gases 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 un análisis comparativo de los resultados que fueron obtenidos en la medición de gases practicados en las 7 ladrilleras seleccionadas. Se hizo un promedio de las concentraciones de los contaminantes regulados por la Resolución 909 de 2008 y luego se muestra un análisis comparativo de las ladrilleras.

La concentración de gases emitidos en las ladrilleras seleccionadas en condiciones locales se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Caracterización de los gases por análisis de combustión en las ladrilleras

Ladrillera	Contaminante			
	O ₂ (%)	CO (%)	CO ₂ (%)	N ₂ (%)
El recreo 2	12,42	3,01	7,52	77,05
Espineles	10,38	3,27	10,50	75,85
Pasos abajo del terminal	10,35	3,93	9,94	75,78
La palma	10,78	3,35	9,82	76,05
El tejear	10,47	4,39	9,69	75,45
Los mellos	10,62	3,30	9,72	76,36
Bética	10,33	3,42	9,31	76,94

Fuente: Elaboración propia

La concentración de oxígeno emitido en las ladrilleras seleccionadas se muestra en la figura 1.

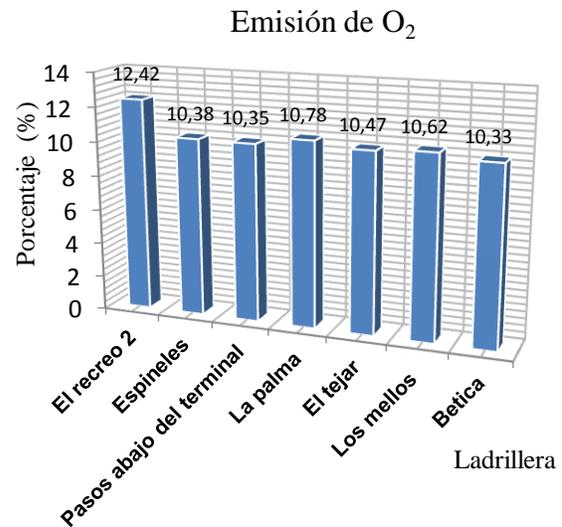


Figura 1. Concentración de oxígeno emitido
 Fuente: Elaboración propia

La concentración de monóxido de carbono emitido en las ladrilleras seleccionadas se muestra en la figura 2.

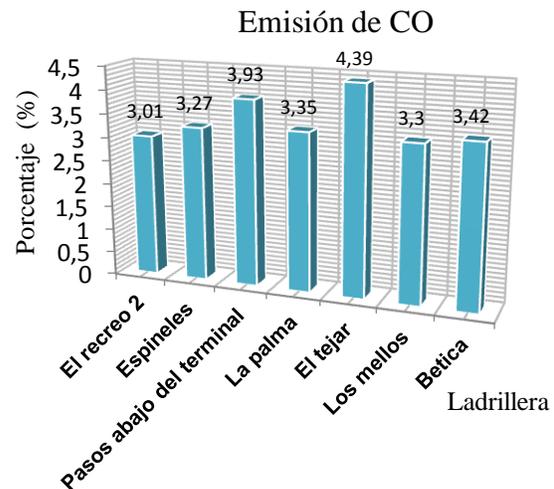


Figura 2. Concentración de monóxido de carbono emitido
 Fuente: Elaboración propia

La concentración de dióxido de carbono emitido en las ladrilleras seleccionadas se muestra en la figura 3.

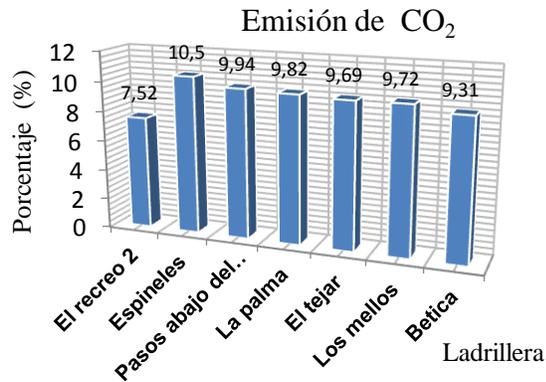


Figura 3. Concentración de dióxido de carbono emitido
Fuente: Elaboración propia

La concentración de nitrógeno emitido en las ladrilleras seleccionadas se muestra en la figura 4.

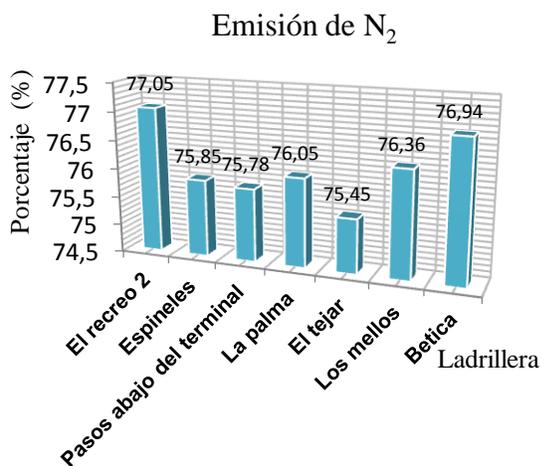


Figura 4. Concentración de nitrógeno emitido
Fuente: Elaboración propia

La concentración de óxido de nitrógeno en partes por millón (p.p.m.) emitido en las ladrilleras seleccionadas se muestra en la figura 5.

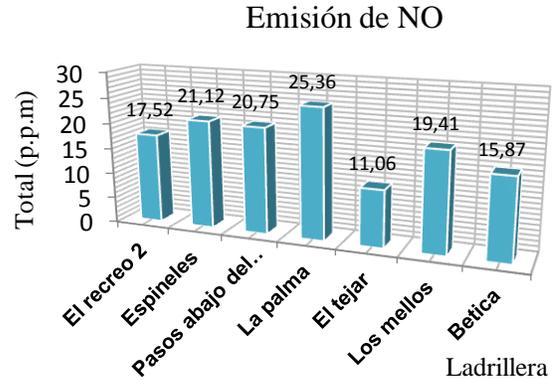


Figura 5. Concentración de óxido de nitrógeno emitido en partes por millón
Fuente: Elaboración propia

Para la corrección a condiciones de referencia del óxido nítrico se indican para la ladrillera el recreo 2 a condiciones locales es:

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

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

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 ducto es de 701,99 mm Hg y la temperatura de los gases a la salida de la chimenea es de 66,15 °C. Por lo tanto, la corrección de óxidos de nitrógeno contaminante a condiciones de referencia es:

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

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

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

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

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

Los resultados de la corrección de oxígeno de referencia del 18% del óxido nítrico en las 8 ladrilleras seleccionadas 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 4 y figura 6.

Tabla 4. 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
Espineles	21,12	10,55	550,00
Pasos abajo del terminal	20,75	8,81	550,00
La palma	25,36	11,06	550,00
El tejar	11,06	4,80	550,00
Los mellos	19,41	8,58	550,00
Bética	15,87	6,64	550,00

Fuente: Elaboración propia

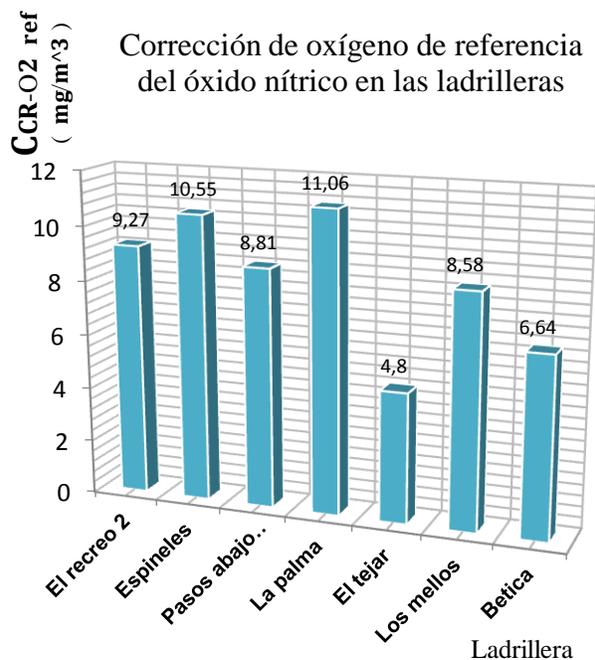


Figura 6. Corrección de oxígeno de referencia del 18% del óxido nítrico en las ladrilleras

Fuente: Elaboración propia

4. CONCLUSIONES.

La mayor temperatura de los gases a la salida de los hornos en las industrias seleccionadas se presentó en la ladrillera los Espineles con un valor de 123,16 °C y el menor valor en la ladrillera el tejar con un valor de 58,34 °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 mayor valor en la concentración de oxígeno emitido en las ladrilleras seleccionadas se presentó en la ladrillera el recreo 2 con un porcentaje de 12,42 % y el mínimo se presentó en la ladrillera betica con un valor de 10,33 % mientras que el promedio en las ladrilleras seleccionadas fue de 10,76 %.

El mayor valor en la concentración de monóxido de carbono emitido en las ladrilleras seleccionadas se presentó en la ladrillera el tejar con un porcentaje de 4,39 % y el mínimo se presentó en la ladrillera el recreo 2 con un valor de 3,01 % mientras que el promedio en las ladrilleras seleccionadas fue de 3,52 %.

El mayor valor en la concentración de dióxido de carbono emitido en las ladrilleras seleccionadas se presentó en la ladrillera los espineles con un porcentaje de 10,50 % y el mínimo se presentó en la ladrillera el recreo 2 con un valor de 7,52 % mientras que el promedio en las ladrilleras seleccionadas fue de 9,50 %.

El mayor valor en la concentración de nitrógeno emitido en las ladrilleras seleccionadas se presentó en la ladrillera el recreo 2 con un porcentaje de 77,02 % y el

mínimo se presentó en la ladrillera el tejar con un valor de 75,45 % mientras que el promedio en las ladrilleras seleccionadas fue de 76,21 %.

El mayor valor en la concentración de óxido de nitrógeno emitido en las ladrilleras seleccionadas se presentó en la ladrillera la palma con un valor de 25,36 p.p.m. y el mínimo se presentó en la ladrillera el tejar con un valor de 11,06 p.p.m., mientras que el promedio en las ladrilleras seleccionadas fue de 18,72 p.p.m.

En general se evidenció que la ladrillera el tejar presentó los valores más bajos en los parámetros establecidos por la normativa ambiental vigente para emisión por fuentes fijas.

El 100% de las ladrilleras muestreadas en la provincia de Ocaña presenta bajos índices de emisión de óxidos de nitrógeno y la temperatura de los gases de combustión están por debajo del valor establecido para emisión por fuentes fijas exigido en la resolución 909 de 2008 del ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial y tampoco cuentan con una chimenea adecuada para el monitoreo de los gases contaminantes emitidos a la atmosfera.

El exceso de aire en las ladrilleras artesanales a cielo abierto es elevado por lo cual la combustión del carbón no es completa en los hornos con lo que se ve afectada notoriamente la eficiencia de la combustión.

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.

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

- Alcaldia Municipal De Ocaña. (2016). Plan Basico 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.
- 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 Analisis 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, Bogota D.C.
- Ministerio De Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Protocolo para el Control y Vigilancia de la Contaminación Atmosférica Generada por Fuentes Fijas,» Bogota D.C.
- Pérez, S. & Cañizares H. (2012). Diagnóstico de los Procesos de

- Combustión Ejecutados en la Industria Cérica en el Área Metropolitana de San Jose de Cucuta. , Cucuta: Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.
- Quaranta, N. (2009). Inclusión de residuos industriales en la producción de materiales cerámicos.II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos Barranquilla.
- Romero M., Rincón J. M. (1999) Surface and bulk crystallisation of glass-ceramic in the Na₂O-CaO-ZnO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂ system derived from goethite waste, J. Am. Ceram. Soc., 82: 1313-1317.
- Roth L., Eklund M. (2003) Environmental evaluation of reuse of by-products as road construction materials in Sweden, Waste Management, 23: 107–116.
- Vieira C., Andrade P., Maciel G., Vernilli F., Monteiro S. (2006) Incorporation of fine steel sludge waste into red ceramic, Materials Science and Engineering A, 427: 142-147.