

# Metodología para la determinación de un Factor de Emisión de Material Particulado (FEPM) en Chircales de la Sabana de Bogotá

María Roa, Néstor Y. Rojas

Departamento de Ingeniería Ambiental. Departamento de Ingeniería Química  
Universidad de los Andes. Bogotá. Colombia.

## Resumen

Se realizaron diferentes mediciones de material particulado, durante el periodo de cocción de un chircal de la vereda de Patio Bonito en el municipio de Nemocón, Cundinamarca. Con las diferentes muestras se obtuvo un estimado de la emisión total del horno, y también se calculó el factor de emisión correspondiente. A partir de la exploración y las observaciones pertinentes de este tipo de hornos, se propuso una metodología más precisa para la medición y la determinación de un factor de emisión de material particulado para chircales. Los resultados del análisis muestran que la emisión calculada del horno se encuentra dentro del rango de valores obtenido en otros estudios, sin embargo estos resultados se podrían perfeccionar aplicando una metodología más precisa.

Palabras clave: chircal, material particulado, contaminación atmosférica, factor de emisión, combustión.

Keywords: artisanal brick kilns, particulate matter, air pollution, emission factor, combustión.

## 1 Introducción

Tanto en Colombia como en otros países en vía de desarrollo, la industria ladrillera tradicional es una fuente importante de la contaminación del aire, y por lo tanto, directa responsable de problemas de calidad del ambiente [17]. Se ha demostrado que las ladrilleras o chircales que se encuentran en la Sabana de Bogotá registran altas emisiones de material particulado [PM], cuya magnitud es difícil de determinar.

En Colombia no se cuenta con un factor de emisión de material particulado (FEMP) que se acomode a los hornos artesanales de cocción de ladrillo, debido a la dificultad técnica y a la escasez de recursos económicos que se requieren para tal fin. Algunas ciudades latinoamericanas han desarrollado inventarios de emisiones adoptando los factores de emisión (FE) de otros países; es el caso actual de Colombia, que usa el

factor de emisión de la EPA (*US Environmental Protection Agency*)<sup>1</sup>, el cual se obtuvo con base en tecnologías diferentes y no se ajusta apropiadamente al funcionamiento de las ladrilleras nacionales tradicionales. Por esta razón, es necesario determinar un FE propio de los chircales, que permita estimar el volumen total de las partículas generadas en la actividad ladrillera tradicional.

Así lo afirma CONPES<sup>2</sup> en sus lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire: “El diseño, seguimiento, evaluación económica y ajuste de las políticas y estrategias nacionales y locales de prevención y control de la contaminación del aire deberá basarse en información cuantitativa sobre sus costos y beneficios sociales. Para ello se requiere contar con redes de monitoreo de calidad del aire, laboratorios, inventarios de emisiones, (...) adecuados a las realidades ambientales, económicas e institucionales de cada localidad.” [5]

Las acciones que Colombia ha desarrollado sobre el control de la contaminación del aire datan desde 1967 cuando se instalaron las primeras redes de monitoreo. En 1979, el Congreso Nacional aprobó el Código Nacional Sanitario y fue en 1982 cuando se adoptaron los estándares de calidad por medio del Decreto 02 de 1982, el cual estipula lineamientos sobre calidad ambiental, normas básicas de las emisiones a la atmósfera especificando límites y restricciones. Sin embargo, no se tiene en consideración contaminantes como material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> [5].

Así como es imprescindible cuantificar las emisiones de contaminantes, es necesario contar con parámetros de FE propios de tecnologías y tipos de industria del país.

## 2 Antecedentes

La industria ladrillera está clasificada en pequeña, grande y mediana según la tecnología y la capacidad de producción con que se cuenta. De acuerdo con la corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), se realizó un inventario dentro de su jurisdicción por parte de la Corporación para la Investigación Socioeconómica y Tecnológica de Colombia - CINSET<sup>3</sup> en un Programa de Sensibilización Sanitario Ambiental para la PYME<sup>4</sup>, donde se estableció que la industria ladrillera está presente en todas la regionales de Cundinamarca [27].

Se evaluó un total de 477 industrias de las cuales un 5,9% (26) corresponde a ladrilleras grandes, un 6,1% (29) a medianas ladrilleras, un 11,1% (53) a pequeñas ladrilleras y el 77% (367) a chircales mecanizados y artesanales, encontrándose la mayor

---

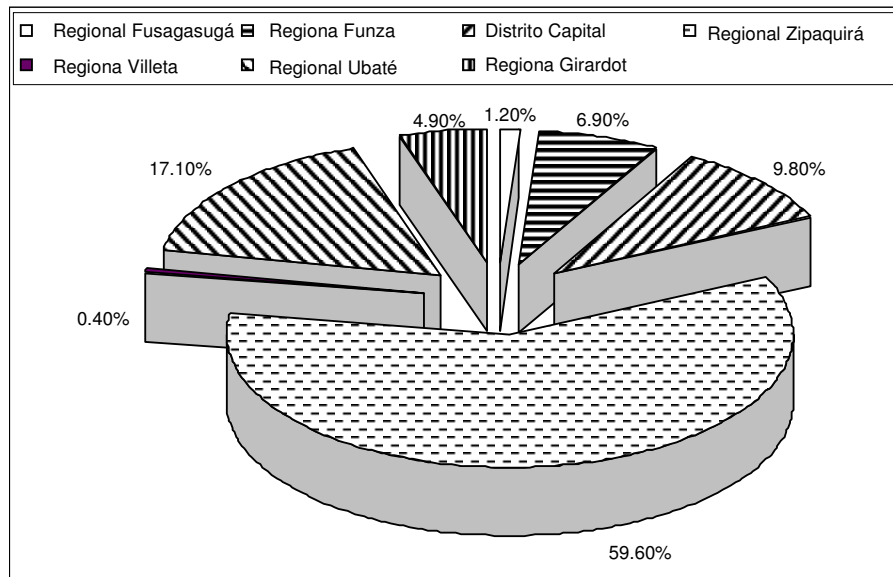
<sup>1</sup> US Environmental Protection Agency / Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos

<sup>2</sup> Concejo Nacional de Política Económica y Social - Lineamientos para la formulación para la política de prevención y control de la contaminación del aire., Bogotá, D.C., Marzo 14 de 2005/CONPES.

<sup>3</sup> CINSET es una entidad sin ánimo de lucro, constituida en el año 1987, que realiza proyectos en áreas ambientales, sociales, económicas y tecnológicas para la promoción de las MIPYME.

<sup>4</sup> Tomado de Guía Ambiental 2 “Pequeñas Ladrilleras”; Programa de Sensibilización Sanitario Ambiental para la PYME del Área de Jurisdicción de la CAR; CINSET, Centro de Documentación del DAMA, Numero bibliográfico CG 0169, [VEGA,2005].

cantidad de este último tipo de hornos en la Regional de Zipaquirá, particularmente en el municipio de Nemocón con un total de 146 chircales (CINSET).



**Figura 1:** Distribución de las 245 pequeñas (chircales) y medianas industrias ladrilleras inventariadas en el área de jurisdicción de la CAR.

La Figura 1 evidencia una amplia distribución de la industria ladrillera en Cundinamarca, un 59,60% corresponde a la Regional de Zipaquirá de la cual hace parte la industria del municipio de Nemocón, el cual constituye una fuente substancial de contaminación, condiciones similares encontradas en el Valle de Sogamoso, sector que cuenta con la más importante actividad de manufactura de ladrillo del país y una de las zonas más contaminadas de Colombia, en el cual el 80% de las emisiones de material particulado corresponde a ladrilleras artesanales [17].

Actualmente, dentro del marco de la Jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional se cuenta con un Proyecto de Ordenamiento Ambiental de la Minería del Carbón y Materiales de Arrastre, dirigido a promover y apoyar un proceso de ordenamiento de los chircales de Nemocón y Cogua [8].

### 3 Descripción del Proceso de Cocción en la Manufactura del Ladrillo

Las industrias ladrilleras se clasifican según su nivel tecnológico y su capacidad de producción. La tecnología de las ladrilleras está directamente relacionada con el tipo de horno manejado; los chircales manejan hornos de fuego dormido, árabe o colmena. Las empresas pequeñas emplean varios hornos colmena, las empresas medianas utilizan

hornos continuos tipo Hoffman y las grandes tienen hornos de túnel, de rodillos o Hoffman.

Industria	Moldeo	Secado	Cocción	Capacidad Instalada (Ton/mes)
Chircal Artesanal	*Manual o por extrusora sin vacío	Natural	Hornos de fuego dormido	<125
Chircal Mecanizado	Extrusora sin vacío	Natural	Horno árabe u horno de colmena	Entre 125 y 300

**Tabla 1.** Clasificación de la industria ladrillera artesanal según su nivel tecnológico y capacidad de producción

Fuente: Guía Ambiental Pequeñas Ladrilleras - Programa de Sensibilización Sanitario Ambiental para la PYME del Área de Jurisdicción de la CAR; CINSET.

La cocción del ladrillo se lleva a cabo en diferentes tipos de hornos, pero este estudio se centró en la industria artesanal que cuenta con hornos de fuego dormido. Estos hornos constan de una bóveda semicircular recubierta de piedra o de ladrillo, tienen una capacidad de producción de 15.000 a 20.000 ladrillos, su fuente de energía es el carbón, se caracterizan por su forma irregular, bajo aprovechamiento del calor e ineficiencia en la quema del combustible. Los ladrillos son dispuestos dentro del horno en capas horizontales donde cada capa es dividida por una cama de carbón que facilita la cocción a medida que se va quemando. En la cocción los bloques deben llegar a un estado de vitrificación<sup>5</sup>.

La ausencia de chimeneas en este tipo de hornos afecta directamente a las personas que se encuentran en las vecindades por sus altas emisiones heterogéneas. Las principales características de estos hornos que los diferencian de las ladrilleras son: su tecnología, su tamaño, sus procesos de producción y la participación de mano de obra no calificada.

### 3.1 Generación de material particulado en el proceso de combustión

El proceso de combustión determina diferentes factores dentro de la producción como la calidad del producto y las emisiones del horno. La configuración de los ladrillos dentro del horno, dificulta la presencia de oxígeno, ocasionando una combustión incompleta y deficiente a temperaturas que no son suficientemente altas para quemar todo el carbón [17], impidiendo también que los bloques alcancen un estado de

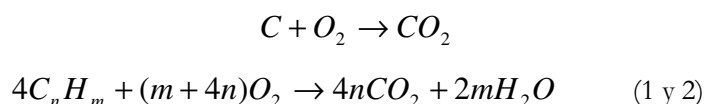
<sup>5</sup> Proceso cerámico por el cual los materiales silicoaluminos se sintetizan formando una capa superficial dura, brillante y generalmente transparente. La sinterización es la reacción entre partículas sólidas, para dar un producto menos poroso. Muchos óxidos son formadores de vidrio, los más comunes son el B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> y P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> que con frecuencia vitrifican por enfriamiento. (Oportunidades de producción más limpia en el sector ladrillero, Pág. 28)

vitrificación, obteniendo ladrillos de baja calidad y quebradizos. La combustión debe efectuarse a temperaturas superiores a 816 °C para que se destruyan todos los vapores orgánicos y aerosoles.

Para una combustión eficiente se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Mezcla íntima combustible – oxígeno
- Suministro de suficiente aire para quemar todo el combustible
- Una temperatura apta para iniciar la combustión (precalentamiento)
- El tiempo necesario para que la combustión sea completa
- La calidad del combustible

En el proceso se debe formar  $CO_2$  y  $H_2O$  idealmente como productos (Ver ecuaciones<sup>6</sup> 1 y 2).



Si las reacciones en cadena son interferidas, o si no hay suficiente oxígeno, se generarán productos intermedios generalmente dañinos.

La fracción no combustible de carbón genera principalmente ceniza y su composición depende de las condiciones de combustión y de las propiedades iniciales del combustible. Entre más incompleta la combustión mayor será la generación de material particulado. Las partículas generadas están compuestas por cenizas e inquemados (Hollín). La presencia de humo (partículas en suspensión) es un indicador de qué tan eficiente es la combustión, notorias emisiones representan una combustión incompleta (Hesketh, 1979).

Las emisiones de material particulado dependen principalmente de la configuración del horno, de la práctica de combustión, del contenido de ceniza y de azufre en el carbón. Generalmente las emisiones de PM se acrecientan durante el inicio del proceso (mientras se consigue una temperatura de combustión óptima) y cuando hay una muy alta cantidad de combustible frente a la cantidad de aire que estequiométricamente debe ser suministrado.

---

<sup>6</sup> Jaramillo, 2001.

## 4 Metodología

Cualquier medición de contaminación del aire comprende dos grandes problemas. El primero es obtener una muestra representativa y adecuada y el segundo es determinar correctamente la concentración del contaminante de interés [4]. La metodología de medición que se planteó busca obtener muestras representativas.

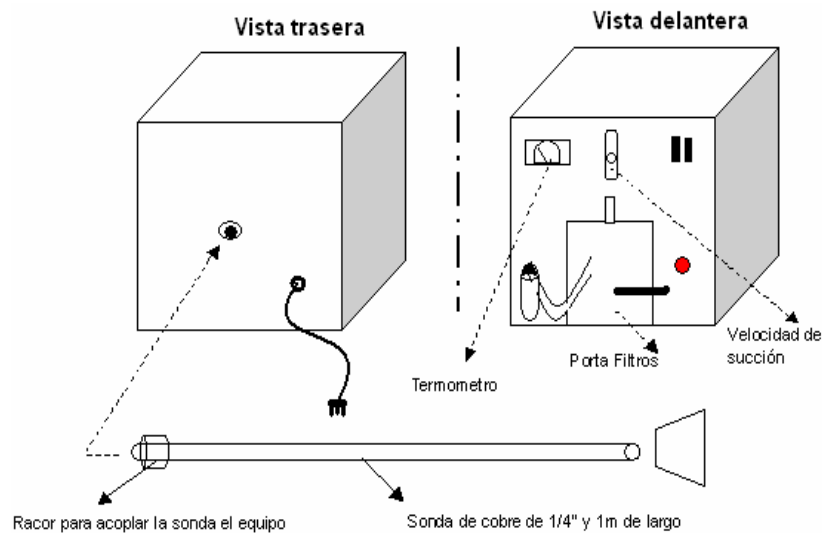
Este estudio está basado en observaciones y en mediciones de concentración de masa por medio de recolección de material particulado por filtración. Para llegar a determinar una metodología específica se desarrollaron dos etapas; en la Etapa 1 se llevó a cabo un procedimiento de exploración de campo, con el fin de apreciar, investigar y captar ciertos comportamientos del horno estudiado, para esto se desarrollaron campañas donde se efectuaron mediciones y un seguimiento fotográfico. La etapa 2 se basó en analizar los resultados obtenidos en la exploración inicial para finalmente proponer una metodología precisa de medición.

### 4.1 Equipo empleado para la medición de material particulado

Existen diferentes métodos para medir material particulado que dependen del tipo de información de interés: la distribución de tamaños, la concentración másica y la composición química. En este proyecto se empleó un medidor puntual de material particulado, fabricado por el profesor Néstor Y. Rojas del departamento de Ingeniería Química de la Universidad de los Andes.

El equipo consta de (Ver Fig. 2.1 y Fig. 2.2):

- Una Sonda de cobre  $\Phi=1/4''$  y 1m de largo
- Bomba de succión de gases de escape
- Trampa de muestreo o sistema de porta filtros
- Rotámetro, termostato
- Además se acopló al final de la sonda un cono de tal manera que se pudiera obtener la mayor muestra posible.



**Figura 2:** Equipo utilizado para medir material particulado

El procedimiento radicó en recoger las partículas en una superficie de filtración (Filtros de 47mm de diámetro Whatman Glass Microfibre Filtres 934-AH) por medio de una bomba de succión de gases. La obtención de masa se determinó pesando el filtro antes y después del muestreo.

La concentración se halla de la siguiente manera (ver ecuación 3):

$$C = \frac{(P_i - P_0)}{F * t} \frac{[masa]}{[volúmen]} \quad (3)$$

Dónde:

$C$ : Concentración

$P_i$ : Peso filtro acondicionado antes de muestreo

$P_0$ : Peso filtro acondicionado después de muestreo

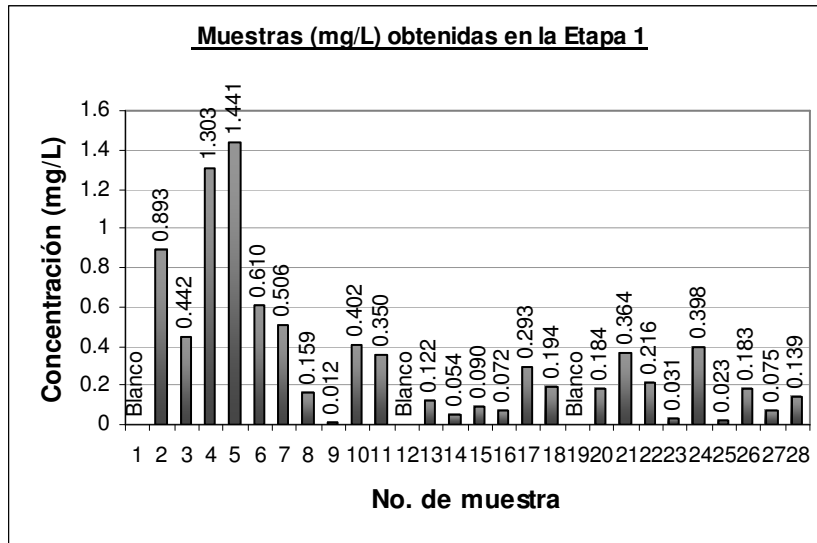
$F$ : Caudal de Flujo corregido

$t$ : Tiempo de muestreo

La calibración es un aspecto fundamental referente al equipo, ésta acredita la precisión de una medición al ajustar la relación entre un estándar de concentración conocida y el resultado de un proceso de medición. El equipo de medición de material particulado no cuenta con una calibración formal, y por esto realizadas las mediciones se estimaron todas las posibles pérdidas que se pudieron haber presentado en el equipo.

## 5. Resultados

A partir de mediciones en puntos escogidos aleatoriamente en el horno se obtuvo un registro de diferentes concentraciones que mostró la variación de la emisión y de la concentración punto a punto y momento a momento. La Fig. 3 presenta las muestras obtenidas en la etapa 1 (concentración (mg/L)).



**Figura 3:** Muestras obtenidas en la Etapa 1

Generalmente en las chimeneas, la velocidad y la concentración son muy variables, el comportamiento del tipo de horno que se estudió se ajusta a estas condiciones de tal manera que se debieron hacer y promediar muchas mediciones separadas para lograr acercarse a una muestra representativa. En la Etapa 1 se tomaron 25 muestras distribuidas en 10 puntos diferentes sobre el horno.

Se realizaron tres exploraciones fotográficas en días diferentes que constaron de registros fotográficos en diferentes sectores del horno durante intervalos de tiempo determinados, se llevaron a cabo en la campaña 2 (C2), 3 (C3) y 4 (C4). Para facilitar el manejo de la información obtenida de las fotos se realizó una sectorización de las diferentes secciones.

A partir de la segmentación del horno se realizó una exploración de las fotos, se observó una a una y se calificó el tipo de emisión que se presentaba, siendo 0= emisión visible nula, 1= emisión visible baja, 2= emisión visible media y 3= emisión visible alta. Con esto se obtuvo una distribución de la emisión en cada sección del horno.



**Tabla 2.** Porcentaje de emisión en cada sección alrededor del horno

Tipo de Emisión Visible	SECCIÓN 1		S 2	S 3	S 4	
	SECTOR					
	1	2	3	4	5	6
<b>Nula</b>	19%	97%	55%	55%	0%	48%
<b>Baja</b>	35%	0%	29%	29%	10%	39%
<b>Media</b>	13%	0%	16%	16%	52%	13%
<b>Alta</b>	32%	3%	0%	0%	39%	0%
<b>%Emisión total</b>	81%	3%	45%	45%	100%	52%

### 5.1 Análisis de los Datos Obtenidos

Con las muestras obtenidas se asumió un rango para clasificar la tasa de salida (mg/min) en emisión alta, media y baja. En cada campaña y en cada muestreo se registraron observaciones con respecto al flujo que se evidenciaba, estas observaciones cualitativas fueron de ayuda para realizar la categorización de las muestras. La tabla 3 muestra los rangos de los datos clasificados según la emisión.

**Tabla 3.** Clasificación de las muestras obtenidas

Tipo de Emisión	Alta	$\overline{E}_{alta}$	Media	$\overline{E}_{media}$	Baja	$\overline{E}_{baja}$
<b>Rango de tasa de salida mg/min</b>	2,1 - 5,99		1,2 - 2,099		0,0099 - 1,199	
		<b>4,2</b>		<b>1,7</b>		<b>0,5</b>
<b>Rango de concentración mg/L</b>	0,6 - 1,5		0,2 - 0,599		0,01 - 0,199	

Una vez obtenidos los valores para tasa de salida alta, media y baja y el porcentaje de emisión visible alta, media, baja y nula en cada sector del horno, se estimó un número de puntos correspondiente a cada sector. Con un número aproximado de puntos en cada sección y con un rango de emisión (alto, medio y bajo) se llegó a una emisión parcial sobre el horno aplicando la ecuación 4:

$$E_{TOTAL1} = \sum_i (x_i * a_i * \bar{E}_1 + y_i * a_i * \bar{E}_2 + z_i * a_i * \bar{E}_3) \quad (4)$$

Dónde:

$i$  = sector

$a_i$  = Número de puntos del sector

$x_i$  = Fracción de emisión visible baja en el sector  $i$

$y_i$  = Fracción de emisión visible media en el sector  $i$

$z_i$  = Fracción de emisión visible alta en el sector  $i$

$\bar{E}_1$  = Emisión promedio baja = 0,493 mg/min

$\bar{E}_2$  = Emisión promedio media = 1,647 mg/min

$\bar{E}_3$  = Emisión promedio alta = 4,242 mg/min

**Tabla 4.** Cálculo de la emisión de cada sector del horno

Tipo de emisión	E[mg/min]	SECCIÓN 1				2	3	4
		SECTOR						
		1	2	3	4	5	6	
<b>No. Puntos de emisión</b>		<b>106</b>	<b>109</b>	<b>42</b>	<b>78</b>	<b>20</b>	<b>127</b>	
<b>E. nula</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
<b>E. Baja</b>	0,5	18,6	0,0	6,0	11,1	1,0	24,3	
<b>E. media</b>	1,7	22,5	0,0	11,2	20,72	17,0	27,0	
<b>E. Alta</b>	4,2	145,1	14,9	0,0	0,0	32,8	0,0	
<b>Total (mg/min)</b>	<b>≈352</b>	<b>≈186</b>	<b>≈15</b>	<b>≈17</b>	<b>≈32</b>	<b>≈51</b>	<b>≈51</b>	

**Tabla 5.** Emisión del Horno

	Emisión / hornada		Emisión/S	
<b>Tiempo de hornada</b>	≈10.145	g/hornada	≈0,006	g/s
<b>20días</b>	≈10	Kg/hornada		

Según los datos y las observaciones realizadas en la Etapa 1, se encontró una emisión del horno aproximada equivalente a 0,006 g/s de PM.

Los resultados anteriormente presentados se obtuvieron a partir de una serie de supuestos los cuales involucran una desviación sobre los valores adquiridos, por lo tanto se consideraron todos aquellos aspectos que implicaron resultados imprecisos.

Durante las mediciones se observó que las muestras que se tomaban en cada punto no representaban la emisión total del orificio. En cada muestreo se evidenció una fuga de humo debido al área irregular del punto de emisión, esto implicó pérdidas significativas en cada muestra y por lo tanto un desvío importante en los datos obtenidos.

Asumiendo diferentes porcentajes de muestreo se obtuvo un rango de emisión del horno de (0,006 – 0,06g/s).

El muestreo que se realizó fue no isocinético, debido a que la velocidad de muestreo fue diferente a la del flujo de salida del horno. Hay diversas razones por las que la concentración medida pudo diferir de la concentración verdadera.

Se encontraron posibles pérdidas por sedimentación de partículas en la sonda, que comprenden un diámetro  $\Phi_p \geq 15\mu\text{m}$ . También se estimó que se pudieron haber presentado pérdidas por impactación en la sonda, correspondientes a partículas no respirables  $\Phi_p \geq 15\mu\text{m}$ .

## 6 Cálculo del Factor de Emisión

El Factor de emisión se calculó según las unidades que estipula el AP-42 lb de contaminante / toneladas de combustible. Para esto se tomó la emisión del horno en 20 días de cocción (duración de una hornada) y este resultado se dividió en 11 toneladas de carbón, cantidad de carbón asumido para un horno de este tipo.

Se tomó la tasa de emisión más alta del rango que se obtuvo que fue de  $\approx 0,06\text{g/s}$ . El factor de emisión que se obtuvo para este horno fue:  $\approx \underline{\underline{21 \text{ lb PM /Ton}}}$

## 7 Propuesta de la Metodología de Medición

A partir del procedimiento exploratorio se planteó una metodología de medición precisa dirigida a conseguir un muestreo representativo y confiable que se ajuste al comportamiento del horno estudiado.

Para obtener muestras confiables; se debe tratar en lo posible de estandarizar cada etapa o proceso del muestreo. Se deben perfeccionar y mejorar los procedimientos de la etapa de exploración, asimismo el sesgo de error se debe disminuir, esto se puede lograr sistematizando al máximo los procesos que intervienen en la medición.

Partiendo de las observaciones logradas en la Etapa 1 se propusieron las siguientes pautas para las mediciones:

1. En primera instancia, antes de las mediciones se debe estudiar, conocer y realizar la sectorización precisa del horno, para ubicar más fácilmente los puntos que se van a muestrear.
2. Es importante hacer una programación o planeación de una agenda para las campañas. Teniendo en cuenta que la cocción dura aproximadamente 20 días. A medida que se tomen más muestras, más precisos serán los resultados, por esto es

conveniente tomar el mayor número de muestras posible durante toda la etapa de cocción. Se recomienda medir día por medio desde el día en que el horno se enciende hasta el día 20 donde aproximadamente el horno ya se está apagando.

3. Para sistematizar los procesos se debe procurar realizar todas las campañas bajo condiciones similares, por esto es conveniente optar por un horario fijo para realizar los muestreos.

4. En cada campaña se deben hacer las mediciones en mínimo 2 puntos de cada sector, las mediciones que se realicen deben ser homogéneas con respecto a cada sector:

- El mismo número de muestras
- El mismo número de puntos medidos.

5. En cada punto se deben tomar tres muestras. Debido a la variación de las emisiones a cada instante, al tomar varias muestras sobre el mismo punto se cuenta con un rango de emisión que abarca a grandes rasgos el comportamiento del punto.

Como en la etapa de exploración las mediciones se complementaron con un registro fotográfico de los sectores ya definidos, se deben determinar los puntos desde donde se efectuará el seguimiento fotográfico de cada sector del horno.

Para el seguimiento fotográfico se sugieren los siguientes parámetros:

1. En el reconocimiento del sitio de medición que se mencionó anteriormente se debe incluir la selección de los puntos desde donde se va a realizar el seguimiento fotográfico. Para esto es necesario escoger puntos de tal manera que cubran todos y cada uno de los sectores del horno que fueron marcados y seleccionados previamente y también se debe tener en cuenta que los puestos estén a una distancia adecuada para distinguir y visualizar mejor las emisiones del horno.

2. El objetivo del registro fotográfico es complementar la información captada en las mediciones, para esto es necesario captar la variación de las emisiones del horno en el tiempo. En la Etapa 1 se realizó un seguimiento fotográfico con un intervalo de 15 minutos durante 2 horas y media, esta exploración fue de gran ayuda, sin embargo se consideró que el intervalo de tiempo se podría disminuir para registrar un comportamiento más continuo y captar más fácilmente los cambios que se presenten. Para esto se sugiere realizar el seguimiento en intervalos de tiempo de máximo 10 minutos (entre menor sea el tiempo entre foto y foto más completa es la información para cada sector).

3. Al igual que se observó que el intervalo entre foto y foto era muy amplio también se consideró que se debe ampliar el tiempo del registro fotográfico a mínimo 3 horas.

## 8 Conclusiones

La metodología propuesta puede ser bastante útil para llegar a resultados con menos incertidumbre ya que ofrece traducir el comportamiento de los chircales a cifras y términos más cuantificables. Sin embargo, la metodología también tiene restricciones ligadas a las condiciones artesanales de los hornos que limitan la obtención de resultados fieles.

De la etapa de exploración del horno, se obtuvo un rango bastante amplio de emisión de 0,006 a 0,06 g/s de material particulado. Este rango tan amplio se traduce a incertidumbres y pérdidas que se presentaron en todo el proceso de muestreo y es este sesgo el que la metodología propuesta pretende minimizar. A partir de la emisión estimada se obtuvo un factor de emisión de 20,780 lb PM/Ton de carbón. Este factor de emisión está atado a las mismas incertidumbres con las que se calculó el rango de emisión del horno.

La tasa de emisión obtenida está dentro de un rango razonable, pero igualmente se cuenta con una alta incertidumbre debido a las pérdidas calculadas, tanto en el muestreo como en la sonda. Se estimaron posibles pérdidas por impactación y por sedimentación. A pesar de esto se obtuvo que estas pérdidas corresponden a partículas gruesas no respirables, es decir partículas cuyo diámetro es mayor a 15 $\mu$ m.

## Referencias

- [1] Calderón Arteaga, Christian Hugo. *Producción y comercialización del ladrillo en Colombia*. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín
- [2] Cecil F. Warner, Kenneth Wark. *Air pollution, its Origin and Control*. Universidad de Purdue. 2002.
- [3] Corporación Autónoma Regional, CAR. *Plan de Acción Trienal (PAT)*. 2004-2006.
- [4] De Nevers, Noel. *Ingeniería de control de la contaminación del aire*. 2000.
- [5] Documento CONPES 3344. *Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire*. Mayo, 2005.
- [6] ECOCARBÓN. *Base de datos para normalización de reservas y recursos de carbón departamento de Cundinamarca - Zona Norte*. 1997.
- [7] Emission Factor for AP-42 section 1.2 ANTHRACITE COAL COMBUSTION.
- [8] EPA - AP-42 Capítulo 11.3 *Brick and Structural Clay Manufacturing*
- [9] EPA; Module 3: Characteristics of Particles Collection Mechanisms <http://www.epa.gov/eogapti1/module3/collect/collect.htm>. Fecha de consulta: Agosto 12/2005.

- [10] EPA; [www.EPA.com](http://www.EPA.com). Fecha de consulta: Agosto 12/2005.
- [11] EPA-CMB8.2 *Users Manual*. 2004
- [12] Guía Ambiental Pequeñas Ladrilleras. *Programa de Sensibilización Sanitario Ambiental Para la Pyme*. Área de Jurisdicción de la CAR; CINSET.
- [13] Guía para Empresarios. *Oportunidades de Producción más Limpia en la Industria Ladrillera*. Centro de Documentación de la CAR, CINSET y ACOPI. Seccional Bogotá. Referencia Bibliográfica LB 14.07
- [14] <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/bgdocs/b01s02.pdf>. Fecha de consulta Marzo 11/2005.
- [15] INVENTARIO MINERO NACIONAL; <http://www.ingemin.gov.co/web/subdirecciones/geoamenazas/parque/web/informes/Capitulo5.htm>. Fecha de consulta: Septiembre 24/2005.
- [16] INVIAS; [www.invias.gov.co/info/mapas/mapas.asp](http://www.invias.gov.co/info/mapas/mapas.asp). Fecha de consulta: Agosto 13/2005.
- [17] Jaramillo Espinosa Fernando. Proyecto de Tesis de Maestría. *Bases para la investigación de la contaminación Atmosférica en el Valle de Sogamoso: El caso del material particulado generado en la fabricación artesanal de ladrillo y cal*. 2001.
- [18] Manzi, Verónica. Proyecto de Tesis de Maestría de Ing. Ambiental y Civil. Universidad de los Andes Bogota-Colombia. *Estimación de los Factores de Emisión de las Fuentes Móviles de la ciudad de Bogotá*. 2000.
- [19] Ministerio de trabajo y asuntos sociales de España - Instituto Nacional de seguridad e Higiene en el trabajo NTP 609: Agentes biológicos: equipos de muestreo (I) [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_609.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_609.htm). Fecha de consulta Marzo 11/2005.
- [20] Moreno Contreras; Gonzalo Guillermo. Proyecto de Tesis de maestría de Ingeniería Mecánica Universidad de los Andes Bogota-Colombia. *Estudio de un sistema incinerador de combustible sólido seco y construcción de un prototipo*. 2004.
- [21] NATIONAL GEOGRAPHIC;. [www.nationalgeographic.com](http://www.nationalgeographic.com). Fecha de consulta: Agosto 13/2005.
- [22] Receptor-dispersion model for emission factors
- [23] Reist, Parker C. *Aerosol Science and Technology*. Segunda Edición, 1993.
- [24] Ruiz Ramos, Cristhian Fabián. Proyecto de Tesis de pre-grado de Ingeniería Mecánica Universidad de los Andes Bogota-Colombia. *Evaluación del desempeño de un motor Diesel operando con mezclas de Diesel-Biodiesel*. 2005.
- [25] Tony Helda, Qi Yinga, Michael J. Kleemana,, James J. Schauerb, Matthew P. Fraserc. *A comparison of the UCD/CIT air quality model and the CMBsource-receptor model for primary airborne particulate matter*.

- 
- [26] Trabajo Infantil en la minería artesanal de la arcilla. *Diagnostico sociocultural y Económico del Municipio de Nemocón en Cundinamarca*. MINERCOL – IPEC – Oficina Internacional del Trabajo (OIT-IPEC, 2001).
- [27] Vega Camilo - Proyecto de Tesis de pregrado en Ingeniería Ambiental. *Determinación de la Emisiones de fuentes fijas - Chircales - en el municipio de Nemocón. Cundinamarca*. 2005.
- [28] Vlad Isakov; Todd Sax; Akula Venkatram; David Pankratz. *Near-Field Dispersion Modeling for Regulatory Applications*; et al *Journal of the Air & Waste Management Association*; Apr 2004; 54, 4; Wilson Applied Science & Technology Abstracts pg. 473.
- [29] William F. Christensen. *Chemical mass balance analysis of air quality data when unknown pollution sources are present. Atmospheric Environment*. 38 4305 4317, 2004.