

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS DE FUENTES FIJAS EN LA  
INDUSTRIA LADRILLERA DE GRAN ESCALA EN EL AREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**Ing Químico. CESAR ADOLFO RODRIGUEZ SOTOMONTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA-ESPECIALIZACIÓN DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2006**

**INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS DE FUENTES FIJAS EN LA  
INDUSTRIA LADRILLERA DE GRAN ESCALA EN EL AREA  
METROPOLITANA DE BUCARAMANGA**

**Ing Químico. CESAR ADOLFO RODRIGUEZ SOTOMONTE**

**Monografía de Grado para optar el título de  
Especialista en Química Ambiental**

Director del Proyecto:

**Ing Químico. JUAN CARLOS CASTRO ORTIZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE QUÍMICA-ESPECIALIZACIÓN DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2006**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
<b>1. FUNDAMENTOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES Y PASOS TÉCNICOS PARA DESARROLLAR UN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS</b>	<b>14</b>
1.1 IDENTIFICAR EL PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES	14
1.2 DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DEL INVENTARIO DE EMISIONES.	15
1.2.1 Tipos de Contaminantes	15
1.2.2 Tipos de Fuentes	16
1.2.3 Año Base	19
1.2.4 Características Relacionadas con el Tiempo	19
1.2.5 Características Espaciales	20
1.2.6 Resolución de Especies	20
1.2.7 Aseguramiento de la Calidad	20
1.2.8 Manejo de Datos	21
1.2.9 Proyecciones	22
1.2.10 Estimación de la Incertidumbre	22
1.3 DETERMINAR LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO Y SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES.	23
1.4 RECOPIRAR DATOS RELACIONADOS CON LAS EMISIONES Y DATOS DE ACTIVIDAD.	23
1.5 CALCULAR LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES.	24
1.6 APLICAR LA MODELACIÓN NECESARIA.	24
1.7 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.	24
1.8 DOCUMENTAR RESULTADOS.	24

<b>2. TÉCNICAS BÁSICAS DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA</b>	<b>25</b>
2.1 MUESTREO EN LA FUENTE	25
2.1.1 Muestreo Isocinético	26
2.2 FACTORES DE EMISION	26
2.3 BALANCE DE MASA	27
<b>3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLO</b>	<b>28</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO	28
3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO	30
<b>4. DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES</b>	<b>31</b>
4.1. PROPÓSITO DEL INVENTARIO DE EMISIONES	31
4.2. CARACTERÍSTICAS DEL INVENTARIO	31
4.2.1 Contaminantes a Inventariar	31
4.2.2 Tipos de Fuentes y Nivel de Detalle	32
4.2.3 Año Base y Características de Tiempo	33
4.2.4 Características Espaciales	34
4.3 DETERMINAR LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO Y SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES	34
4.4 RECOPIACIÓN DE DATOS	35
4.5 CALCULO DE LAS EMISIONES.	38
4.5.1 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera ERGO	40
4.5.2 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera Bautista Cáceres	41
4.5.3 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera RUGO	41
4.5.4 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera Ladrillos y Tubos	42
<b>5. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>43</b>
5.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA.	51

<b>CONCLUSIONES</b>	53
<b>RECOMENDACIONES</b>	54
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	55
<b>ANEXOS</b>	56

## LISTA DE TABLAS

Tabla No.1. Contaminantes Asociados por Etapa	38
Tabla No. 2. Calidad del Factor de Emisión.	39
Tabla No 3. Factores de Emisión	39
Tabla No. 4. Emisiones Ladrillera ERGO	40
Tabla No. 5. Emisiones Ladrillera Bautista Cáceres	40
Tabla No. 6. Emisiones Ladrillera RUGO	41
Tabla No. 7. Emisiones Ladrillera Ladrillos y Tubos	41
Tabla No. 8. Consolidado de las Emisiones de las Empresas Evaluadas	42
Tabla No.9. Comparación de la Emisión con el Decreto 02/82	51

## LISTA DE GRAFICAS

Grafica No 1. Diagrama de Flujo de la Elaboración de Ladrillo	30
Gráfica No 2. Emisiones Totales de Material Particulado	43
Gráfica No.3. Emisiones Totales de Dióxido de carbono	44
Gráfica No. 4. Emisiones Totales de Monóxido de Carbono	45
Gráfica No 5. Emisiones Totales de Dióxido de Azufre	46
Gráfica No.6. Emisiones Totales de Dióxido de Nitrógeno	47
Gráfica No.7 Emisiones de Material Particulado en la Etapa de Cocción	48
Gráfica No.8 Emisiones de Dióxido de Carbono en la Etapa de Cocción	48
Gráfica No.9 Emisiones de Monóxido de Carbono en la Etapa de Cocción	49
Gráfica No.10 Emisiones de Dióxido de Azufre en la Etapa de Cocción	50
Gráfica No.11 Emisiones de Dióxido de Azufre en la Etapa de Cocción	51

## RESUMEN

TITULO: INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFERICAS DE FUENTES FIJAS EN LA INDUSTRIA LADRILLERA DE GRAN ESCALA EN EL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. \*

AUTOR: CESAR ADOLFO RODRÍGUEZ SOTOMONTE\*\*

PALABRAS CLAVES: Inventario de Emisiones, Contaminación Atmosférica, Isocinético, Contaminantes Criterio.

### DESCRIPCIÓN:

Se llevo a cabo la cuantificación de los contaminantes atmosféricos criterio generados por la industria ladrillera ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga a fin de evaluar el impacto de esta actividad industrial sobre la calidad del aire y determinar si cada una de estas empresas cumple con lo establecido en la normatividad ambiental vigente.

Esta cuantificación se realizo por medio de muestreos isocinéticos en las chimeneas de descarga de los hornos de cocción de ladrillo y factores de emisión para las demás etapas del proceso productivo. Los resultados obtenidos fueron: Material Particulado 3538.8 t/año, Dióxido de Carbono 35188.5 t/año, Dióxido de Azufre 112.1 t/año, Dióxido de Nitrógeno 12 t/año y Monóxido de Carbono 95.9 t/año.

De acuerdo a lo anterior, se pudo concluir que la industria de fabricación de ladrillo ubicada en el área metropolitana es una actividad que genera altas cargas de contaminantes atmosféricos; no obstante, esta actividad cumple con los limites de emisión establecidos en el decreto 02/82 del ministerio de salud.

---

\* MONOGRAFÍA

\*\* FACULTAD DE CIENCIAS  
ESPECIALIZACION DE QUIMICA AMBIENTAL  
ING. JUAN CARLOS CASTRO

## SUMMARY

ATMOSPHERIC EMISSION INVENTORY OF STATIONARY POLLUTION SOURCES OF HEAVY BRICK MANUFACTURE INDUSTRY IN THE BUCARAMANGA METROPOLITAN AREA.\*

AUTHOR: CESAR ADOLFO RODRÍGUEZ SOTOMONTE\*\*

KEY WORDS: atmospheric pollution, criterion pollutants, emission inventory, isokinetic.

### DESCRIPTION:

A quantification of the criterion pollutants generated by the heavy brick manufacture industry that is located in the Bucaramanga metropolitan area, was done by using the methodology propounded by the mexican emission inventory handbooks, in order to evaluate the impact of this industrial activity on the air quality and to determine compliance with environmental regulation.

This quantification was done by isokinetic sampling the kiln discharge duct and by using emission factors in the remining process stages. The obtained results are: particulate matter 3538.8 t/year, carbon dioxide 35188.5 t/year, sulfur dioxide 112.1 t/year, nitrogen dioxide 12 t/year, carbon monoxide 95.9 t/year.

According with the obtained results, it can be concluded that brick manufacture industry located in the Bucaramanga metropolitan area generates high amounts of atmospheric pollutants; however, this activity is within emission limits stated by Decree 02/82 of Colombian Health Department.

---

\* MONOGRAPH

\*\* FACULTY OF SCIENCES

SPECIALIZED GRADUATE PROGRAM IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY

Eng. JUAN CARLOS CASTRO

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la contaminación atmosférica se ha convertido en tema de gran interés a nivel mundial debido a su incidencia en el deterioro de la salud de la población; dicho problema es proporcional a la concentración de contaminantes presentes en el aire, siendo las zonas urbanas las más afectadas por el aumento de la población y la concentración de ésta.

En el caso del Área Metropolitana de Bucaramanga, el crecimiento urbanístico e industrial generado en las últimas décadas va de la mano con el aumento de la contaminación del aire, lo cuál representa una amenaza real para la salud en nuestra región; es por esto que el mejoramiento de la calidad del aire se ha convertido en uno de los objetivos principales de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB.

De acuerdo a lo anterior, la CDMB requiere planes detallados para recopilar información en una forma adecuada para de esta manera utilizar herramientas como modelos de simulación que permitan realizar un análisis del estado de la calidad del aire a nivel metropolitano; además, actualmente se desconoce con precisión el aporte de contaminantes atmosféricos generados por el sector industrial del área metropolitana lo cual impide determinar en forma precisa su impacto en el deterioro de la calidad del aire.

El Inventario de Emisiones Atmosféricas es un componente clave para cada programa de control de la contaminación atmosférica. Antes de desarrollar las estrategias para el control de emisiones, las entidades encargadas del medio ambiente deben recopilar datos sobre descarga de emisiones para determinar los tipos de fuentes de emisión, cantidades, características temporales y espaciales de las fuentes, procesos y prácticas de control que usan las fuentes en la región.

Un inventario de emisiones es una colección de tasas de emisiones para diferentes tipos de fuentes ubicadas en una región geográfica específica. Las tasas de emisiones se expresan en términos de masa de emisiones por unidad de tiempo (como kilogramos de contaminante por día) y se calculan empleando varias técnicas. Los tipos de fuentes en la región pueden incluir fuentes puntuales grandes, vehículos automotores, fuentes de área y fuentes naturales. Las tasas de emisiones en el inventario se pueden exhibir en hojas de trabajo y se pueden almacenar en bases de datos electrónicas.

El inventario de emisiones debe estar completo, para que sea útil para las personas que planean la calidad atmosférica, es decir, debe incluir toda la masa de contaminantes descargados de todas las fuentes del área. También debe identificar las fuentes específicas o categorías de fuente que emiten

contaminantes. El inventario de emisiones también debe demostrar la importancia comparativa de emisiones para cada categoría, para así poder desarrollar estrategias de control apropiadas. En los casos en que el número de fuentes individuales es grande, el inventario de emisiones reportará emisiones de estas fuentes por categoría en lugar de por fuente individual.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Conocer la cantidad de contaminantes atmosféricos emitidos por la industria ladrillera de gran escala del Area Metropolitana de Bucaramanga, mediante un inventario de fuentes fijas.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estimar cuantitativamente las emisiones totales anuales de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas del sector ladrillero en el área metropolitana de Bucaramanga.
- Establecer los factores de emisión de la actividad de fabricación de ladrillo.
- Determinar la aplicabilidad de la metodología propuesta en otros sectores industriales.
- Generar información para la propuesta de programas de mejoramiento de la calidad del aire.

# **1. FUNDAMENTOS DEL INVENTARIO DE EMISIONES Y PASOS TÉCNICOS PARA DESARROLLAR UN INVENTARIO DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS**

## **1.1. IDENTIFICAR EL PROPÓSITO DE UN INVENTARIO DE EMISIONES**

Como primer paso técnico en el desarrollo de un inventario resulta fundamental el identificar su propósito o uso final. El propósito global ayudará a determinar muchos de los pasos siguientes; además, si el propósito no se identifica con claridad es posible que el inventario terminado no cumpla con las necesidades requeridas. Por ejemplo, los datos necesarios para desarrollar un inventario para modelado son significativamente diferentes de aquellos para otros tipos de inventarios. También deben considerarse los usos futuros del inventario así como su empleo a una mayor escala geográfica.

La definición del propósito del inventario es crucial para el éxito de su desarrollo y es importante que no se pase por alto en la prisa por iniciar las actividades, a la larga la naturaleza general de un inventario de emisiones así como la mayor parte de sus características son determinadas por su propósito.

El propósito que se debe lograr con un inventario de emisiones definirá tanto sus características como los pasos subsecuentes para la recopilación de datos y un modelado potencial; por este motivo es crítico llegar a un acuerdo sobre todos los usos potenciales del inventario e identificar el propósito del inventario antes de iniciar cualquier actividad importante. De otra manera, es probable que parte del trabajo realizado carezca de valor para el inventario.

Existen muchos propósitos diferentes para un inventario los que varían dependiendo de las necesidades y las circunstancias específicas. Por ejemplo, el propósito de un inventario para una sola planta manufacturera es muy diferente al propósito de un inventario regional a gran escala.

El inventario para la planta manufacturera puede usarse para determinar el grado de cumplimiento con regulaciones específicas, mientras que el inventario regional para modelado puede hacerse para soportar una evaluación de la calidad del aire debida al impacto de varias fuentes, algunas de las razones más comunes para desarrollar inventarios incluyen:

- Estimar los impactos en la calidad del aire a través de estudios de modelado.
- Determinar la aplicabilidad de las licencias ambientales y otros requerimientos regulatorios.

- Determinar el grado de cumplimiento de una fuente con las condiciones de una licencia ambiental o permiso de emisión.
- Estimar los cambios en las emisiones de la fuente para las aplicaciones de la licencia.
- Rastrear los niveles de emisión de contaminantes en el tiempo.
- Identificar las contribuciones de la emisión por categoría de fuente o por fuente específica.

A largo plazo, todas las razones anteriores para desarrollar inventarios de emisiones contribuirán con el proceso de gestión de la calidad del aire; además, el propósito de un inventario de emisiones debe referirse a las necesidades presentes y futuras de la calidad del aire.

La determinación de los propósitos de un inventario de emisiones no tiene que requerir de un gran esfuerzo y cantidad de tiempo, un esfuerzo razonable invertido al principio del proceso para identificar el uso y establecer el propósito del inventario, ayudará a asegurar el desarrollo de datos y de información más útil. Una vez que los propósitos han sido identificados de manera explícita, es mucho más probable que el inventario resultante satisfaga cada uno de los usos esperados del conjunto de datos.

## 1.2. DEFINIR LAS CARACTERÍSTICAS NECESARIAS DEL INVENTARIO DE EMISIONES.

Cada inventario de emisiones tiene varias características que describen su naturaleza fundamental (tipos de contaminantes, tipos de fuentes, características de tiempo, características espaciales, etc.). Algunos inventarios pueden requerir el desarrollo de actividades para sólo algunas de estas características, mientras que otros pueden necesitarlas para todas lo cual será determinado por el propósito del inventario.

### 1.2.1. Tipos de Contaminantes

En general, un contaminante del aire puede definirse como cualquier sustancia que al ser liberada en la atmósfera altera la composición natural del aire y puede ocasionar efectos adversos en los seres humanos, los animales, la vegetación o los materiales. Los propósitos que se establezcan para un inventario de emisiones van a determinar los contaminantes que deben ser incluidos. Por ejemplo, un inventario de contaminantes criterio incluiría, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>2</sub>) y material particulado (PM). En cambio, un inventario de ozono se enfocaría en sus precursores es decir, GOT, CO y NOx.

Finalmente, un inventario de visibilidad incluiría las emisiones de SO<sub>x</sub>, de NO<sub>x</sub>, de partículas finas (de diámetro aerodinámico inferior a 2.5 micrómetros - PM<sub>2.5</sub> y de amoníaco (NH<sub>3</sub>).

Una vez que se ha determinado cuales son los contaminantes que deben ser incluidos en el inventario es importante definir claramente a cada uno de ellos. Esto es importante para que todos los datos recopilados sean consistentes y den resultados exactos sobre la emisión del contaminante deseado; aunque, existe una “terminología convencional para los contaminantes” se recomienda que todos sean claramente definidos por escrito al inicio del inventario con el fin de reducir confusiones respecto a los contaminantes por inventariar. Por otra parte, muchos contaminantes se definen por sus nombres químicos los que con frecuencia pueden tener sinónimos y nombres comerciales. A menudo los fabricantes dan nombres comerciales a las mezclas buscando así ocultar información protegida por derechos de marca, por lo que los mismos componentes pueden tener varios nombres comerciales.

#### 1.2.2 Tipos de Fuentes:

La contaminación del aire proviene de una compleja mezcla de miles de fuentes que van desde las chimeneas industriales y vehículos de motor hasta el uso individual de limpiadores y pinturas en nuestros hogares, incluso la vida animal y vegetal puede desempeñar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. En general, para los propósitos de un inventario de emisiones las fuentes de emisión se agrupan en cuatro tipos diferentes:

- Fuentes puntuales
- Fuentes de área
- Vehículos automotores
- Fuentes naturales.

**Fuentes Puntuales:** Antes de comenzar a desarrollar un inventario de fuentes puntuales, deben tomarse dos importantes decisiones. Primero, se debe definir claramente lo que es una “fuente puntual” (Ej. debe establecerse una delimitación entre fuentes puntuales y de área). Segundo, se debe determinar el nivel de detalle deseado.

#### Delimitación de Fuentes Puntuales y Fuentes de Área

La división de fuentes emisoras en puntuales y de área es arbitraria pero necesaria para permitir la recopilación eficiente de la información que se requiere para apoyar los programas de calidad del aire. Esta división tiene implicaciones

importantes, tanto para el desarrollo de los programas regulatorios, como para el tipo de información necesaria para apoyarlos.

Es deseable contar con información detallada sobre cada “punto” en el que se descargan emisiones a la atmósfera. Aunque esto permitiría entender de forma detallada las características de cada fuente emisora, no existe manera práctica de recopilar dicha información. Si se tratan todas las plantas como fuentes puntuales se puede aumentar la exactitud del inventario pero se requerirán muchos más recursos para recopilar y mantener el inventario de fuentes puntuales. Un enfoque alternativo consiste en recopilar información en una base más simple agregando todas las fuentes que estén relacionadas (ej., todos los automóviles, todas las panaderías) dentro de una sola “fuentes de área”.

Las fuentes puntuales para un inventario de emisiones en la industria colombiana se pueden incluir las actividades, obras o servicios incluidas en la resolución 619 del 7 de julio de 1997, estas actividades deben tramitar ante las autoridades ambientales un permiso de emisiones atmosféricas; además, anualmente deben presentar estimaciones de sus emisiones (se consideran todas las demás como fuentes de área).

Nivel de Detalle: Por lo general, la información sobre fuentes puntuales se recopila por medio de encuestas o visitas a los establecimientos. Las fuentes puntuales se pueden inventariar a los siguientes tres niveles de detalle:

- Nivel de planta, que se refiere a una planta o una instalación que podría contener varias actividades emisoras de contaminantes
- Nivel puntual o de chimenea en donde ocurren las emisiones al aire ambiente.
- Nivel de proceso, que representa las operaciones de la unidad de emisión en una categoría de fuente.

Siempre que sea posible, las emisiones deben inventariarse a nivel de proceso a fin de apoyar las actividades de calidad del aire tales como el desarrollo de regulaciones, el cumplimiento, rastreo y otorgamiento de permisos; además, otra razón igualmente importante para recopilar datos a este nivel de detalle es que se obtendrá la información requerida para verificar las estimaciones de las emisiones en toda la planta que fueron proporcionadas por los operadores de la instalación. Sin embargo, las limitaciones en los recursos pueden hacer que las emisiones se inventaríen a nivel de planta o a nivel puntual o de chimenea.

Fuentes de Área: Las fuentes de área representan las emisiones de las fuentes que son demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera

eficiente en un inventario de fuentes puntuales. Sin embargo, en conjunto las fuentes de área son emisoras significativas de contaminantes del aire los que deben incluirse en un inventario de emisiones para asegurar que esté completo. Por ejemplo, con frecuencia las estaciones de servicio y las panaderías se tratan como fuentes de área. Por lo general estas instalaciones no se incluyen en los inventarios de fuentes puntuales debido al enorme esfuerzo que se requeriría para recopilar los datos y estimar las emisiones de cada planta individual. Las fuentes móviles que no circulan por carreteras a menudo se incluyen en las fuentes de área estacionarias sobre todo debido a que los métodos usados para estimar las emisiones de fuentes de área y fuentes móviles que no circulan por carreteras son muy similares. En contraste, la metodología de inventario aplicada a los vehículos automotores es muy diferente.

**Vehículos Automotores:** Los vehículos automotores que circulan por carreteras son aquellos como los automóviles, los camiones y autobuses diseñados para operar en carreteras públicas. En la mayor parte de las áreas urbanas los vehículos automotores contribuyen en gran medida a las emisiones de GOT, CO, NOx, SOx, partículas, compuestos tóxicos del aire y especies que reducen la visibilidad. Debido a la gran magnitud de sus emisiones y a las consideraciones especiales que se requieren para hacer estimaciones de dichas emisiones, los vehículos automotores se tratan separadamente de otras fuentes de área.

**Fuentes Naturales:** Además de las actividades humanas, los fenómenos naturales y la vida, tanto animal como vegetal pueden desempeñar un papel importante en el problema de la contaminación del aire. En algunas áreas en las que las emisiones de fuentes naturales pueden ser significativas para el inventario global es importante comprender cual es su contribución dado que por lo general, la instrumentación de estrategias de control no puede reducirlas con facilidad. A continuación se describen dos fuentes naturales de importancia que a menudo se consideran en los inventarios de emisiones al aire.

- **Emisiones Biogénicas.** Un gran número de investigadores han establecido que la vegetación (ej. hierba, cultivos, arbustos, bosques, etc.) emiten cantidades significativas de hidrocarburos a la atmósfera. Varios estudios han demostrado que las emisiones biogénicas pueden compararse, o rebasar, las emisiones de hidrocarburos no metano de fuentes antropogénicas en ciertas áreas.
- **Emisiones de Suelos.** El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es producido de manera natural en los suelos por desnitrificación y por nitrificación; además, los fertilizantes nitrogenados comerciales constituyen una fuente adicional de nitrógeno, incrementando así las emisiones de  $N_2O$  del suelo. La tasa de emisiones de NOx de los suelos también dependen de otras variables como el tipo de suelo, la humedad, la temperatura, la estación, el tipo de cultivo y otras prácticas

agrícolas. Se estima que las emisiones de NO<sub>x</sub> de los suelos representan hasta el 16 por ciento de la cantidad global de NO<sub>x</sub> en la troposfera.

### 1.2.2. Año Base

El año base de un inventario identifica el año para el cual se estiman las emisiones y determina la posición del inventario en el tiempo. Esto da una marca fija para comparar los inventarios previos y los subsecuentes, es importante establecer un año base de manera que todas las estimaciones de emisiones tengan una base común y representen las actividades que ocurren durante el mismo periodo de tiempo.

Se puede usar cualquier año como base de un inventario pero en general, esto lo determina el propósito establecido del inventario; por ejemplo, si se desea ver los efectos de las estrategias de control instrumentadas recientemente el año base será algún año previo a la instrumentación de dichas estrategias. Para haber una comparación de los niveles actuales de emisión con los niveles históricos se puede usar un año base en el pasado. El año base también podría ser determinado por varios requerimientos regulatorios, la razón principal para esto es que los inventarios de emisiones de diferentes regiones se pueden comparar fácilmente entre sí y con la normatividad actual.

Sin embargo, la disponibilidad de datos puede determinar cual es el año base de un inventario; por ejemplo, podría desearse hacer un inventario para 2004 pero si las estadísticas que se van a usar como datos de actividad sólo se han recopilado hasta 2003 es probable que este sea un mejor año base que 2004.

### 1.2.4. Características Relacionadas con el Tiempo

Hay dos características principales relacionadas con el tiempo que deben considerarse para cada inventario: el periodo de tiempo y la variabilidad temporal. El periodo de tiempo se refiere al lapso representado por el inventario. Las emisiones del inventario se presentarán en unidades de masa del contaminante por periodo de tiempo del inventario (Ej. Kg de CO/año). Para muchos inventarios a gran escala, el periodo de tiempo será, por lo general, de un año. Sin embargo, en algunas aplicaciones especializadas se pueden requerir periodos más cortos, ya sean días, meses u horas.

La variabilidad temporal describe la variabilidad de las emisiones en el tiempo. Si las emisiones son constantes en el tiempo, esta variabilidad no es de gran interés. Sin embargo, la mayor parte de las emisiones cambian con el tiempo. Dependiendo de los requerimientos del inventario asociados con su propósito puede ser necesario describir las variaciones de las emisiones en base estacional,

mensual o diaria. Incluso, algunos inventarios especializados pueden requerir emisiones en base horaria o periodos más cortos.

### 1.2.5 Características Espaciales

En cualquier inventario hay dos características espaciales principales, el dominio del inventario y la resolución espacial. El dominio del inventario representa el área para la cual se van a inventariar las fuentes de contaminantes del aire. Con frecuencia, el dominio del inventario corresponde a las fronteras políticas, geográficas o de las entidades responsables de la calidad del aire, dependiendo de la aplicación del inventario; además, puede ser necesario tratar aquellas fuentes externas al dominio definido del inventario si estas tienen influencia sobre la calidad del aire de la zona a evaluar por transporte meteorológico.

La resolución espacial indica con que especificidad como debe definirse la localización geográfica de las fuentes de contaminación. A veces los inventarios básicos dan solamente los totales de contaminantes para todo el dominio del inventario; sin embargo, los inventarios más complejos, en particular aquellos asociados con modelado de la calidad del aire, requieren con frecuencia una descripción más detallada de la distribución de las emisiones. En general la resolución de las fuentes de área, naturales y vehiculares dentro del dominio de un inventario se hace usando las celdas de una cuadrícula.

### 1.2.6 Resolución de Especies

La resolución de especies se refiere a la división de un contaminante del inventario (Ej., GOT) en sus componentes químicos individuales (Ej., tolueno, benceno, etc.) o en grupos específicos (Ej., parafinas, compuestos aromáticos, etc.). La necesidad de una resolución de especies, así como la metodología específica, están determinadas por el propósito del inventario.

La resolución de especies se hace sobre todo usando perfiles de especiación que describen la fracción de cada especie química individual, muchos inventarios no incluyen una resolución de especies detallada. Otras aplicaciones especializadas sí las requieren.

### 1.2.7 Aseguramiento de la Calidad

El aseguramiento de la calidad (AC) es un elemento indispensable de cualquier inventario de emisiones, sin importar el tipo de inventario que se trate se necesita el AC; sin embargo, la cantidad y enfoque del AC es variable y depende del propósito específico del inventario. Por ejemplo, un inventario detallado para modelado a gran escala por lo general requiere mucho más AC que un inventario

de reporte a nivel planta; además, si un tipo de fuente en particular ya ha sido identificado de manera preliminar como una gran fuente de contaminantes, se podrían dirigir más recursos de AC a este tipo de fuente que a otros que sean menores.

El AC debe llevarse a cabo durante todo el desarrollo del inventario y no como una ocurrencia de última hora. Algunos ejemplos de actividades de AC incluyen:

- El uso de una lista de verificación de las categorías de fuente confirma que todas las categorías de fuente necesarias han sido incluidas en el inventario.
- Revisar los resultados de los muestreos y los datos de actividad buscando aquellos valores que estén fuera de lugar, antes de calcular las emisiones.
- Confirmar que todos los cálculos de emisión se han hecho de manera apropiada.
- Comparar los resultados del inventario con los de otros inventarios en regiones similares.

Hay también muchas otras actividades de AC no enlistadas anteriormente que pueden ayudar a garantizar un inventario de emisiones de alta calidad. Aunque los resultados de un inventario pueden afectar la manera en que se lleve a cabo el AC durante el desarrollo del inventario, los recursos necesarios para este deben identificarse desde el principio.

#### 1.2.8 Manejo de Datos

Otra característica esencial de un inventario de emisiones es el manejo de datos requerido. Con el uso tan extendido de las computadoras y con el aumento en los requerimientos de datos, en la actualidad virtualmente todos los datos de un inventario se manejan de manera electrónica, se debe analizar si el manejo de datos se hace usando una aplicación de tipo hoja de cálculo o una de base de datos, las primeras tienden a ser más fáciles de usar pero las bases de datos son mucho más poderosas.

El método de transferencia de la información relativa al inventario y de cualquier requerimiento de confidencialidad de los datos también debe establecerse al principio del proceso de desarrollo del inventario. El propósito del inventario ayudará a determinar el tipo de manejo de datos requerido. Por ejemplo, un inventario usado alimentar un modelo de calidad del aire puede requerir un manejo de datos diferente al manejo de datos para un inventario diseñado para el cumplimiento regulatorio. Por lo demás, los usos esperados para el inventario en el futuro también pueden influir en el tipo de manejo de datos seleccionado.

### 1.2.9 Proyecciones

Las proyecciones predicen un inventario para un año base, hacia delante o hacia atrás en el tiempo. El uso de las proyecciones se determina principalmente por el propósito del inventario.

Las proyecciones se usan sobre todo para rastrear las tendencias pasadas y futuras de las emisiones debido al crecimiento de la actividad y a las estrategias de control instrumentadas. También se usan las proyecciones en los análisis teóricos de diversas estrategias de control propuestas para futura instrumentación; por ejemplo, las proyecciones podrían usarse para estimar las futuras emisiones de los vehículos automotores con base en el crecimiento esperado de la población. De manera semejante, las proyecciones se pueden usar para rastrear la reducción estimada en las emisiones debidas a la propuesta de introducción de combustibles reformulados con menor contenido azufre.

Por lo general, las proyecciones de crecimiento de las emisiones se basan en las proyecciones de crecimiento de otros sustitutos (Ej., población, actividad económica, etc.). Las proyecciones de control; por otro lado, se basan a menudo en las reducciones estimadas por las estrategias de control.

### 1.2.10 Estimación de la Incertidumbre

La característica final de un inventario de emisiones es la estimación de la incertidumbre, lo cual es una valiosa herramienta para evaluar la exactitud de un inventario de emisiones.

La incertidumbre puede estimarse cuantitativa o cualitativamente; sin embargo, las estimaciones cuantitativas son poco frecuentes y existen varias razones, en primer lugar, no existe un método acordado para hacer estimaciones cuantitativas de la incertidumbre, el cálculo de estimaciones cuantitativas de la incertidumbre puede ser un proceso muy complejo desde el punto de vista estadístico y por último, a menudo se requiere un gran número de suposiciones para hacer estimaciones cuantitativas de la incertidumbre.

En general, cuando se hacen estimaciones de la incertidumbre éstas son de naturaleza más bien cualitativa. Éstas pueden centrarse en las metodologías, en los datos de actividad, en los datos relacionados con las emisiones, en las suposiciones subyacentes o en otros componentes del desarrollo de inventarios. Por ejemplo, la suposición de que las emisiones de las operaciones de recubrimiento de superficies se limitan sólo a los solventes contenidos en el recubrimiento aplicado (sin considera los solventes de la preparación y/o de la limpieza de la superficie) ciertamente llevará a subestimar las emisiones de GOT en el inventario. De manera similar, la suposición de que todas las fuentes puntuales usan el mismo combustible y operan con el mismo calendario va a

generar incertidumbre en el inventario, aunque no está claro si ésta resultaría en una sobre o en una subestimación.

Aunque en las estimaciones cualitativas no se calcula estadísticamente la incertidumbre de un inventario de emisiones son valiosas debido a que señalan las debilidades potenciales en el inventario.

### 1.3 DETERMINAR LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO Y SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES.

Una vez que se han establecido las características que se requieren es necesario determinar las fuentes de datos relacionados con las emisiones, así como seleccionar las técnicas y métodos más adecuados para estimarlas.

Por lo general estos dos pasos están interrelacionados y en algunos casos, la disponibilidad de los datos determinará qué métodos de estimación son factibles, en otros casos, una cierta técnica que se desee usar determinará el tipo de datos que deben recopilarse.

### 1.4 RECOPIRAR DATOS RELACIONADOS CON LAS EMISIONES Y DATOS DE ACTIVIDAD.

Después de identificar las fuentes de datos y las metodologías de estimación se deben recopilar los datos relevantes. Estos datos se pueden capturar de varias maneras, en el caso de pequeños inventarios la mejor forma es por medio de visitas a las plantas o establecimientos a inventariar pues esto puede ser una forma de disminuir la incertidumbre en la información; sin embargo, para inventarios regionales a gran escala esto puede resultar un trabajo largo y tedioso, motivo por el cual se suele enviar encuestas a los establecimientos para recopilar la información. Los datos relacionados con las emisiones incluyen factores de emisión, datos de muestreos en la fuente y parámetros de los modelos de factores de emisión, es posible que algunos de los datos relacionados con las emisiones ya existan mientras que otros necesiten desarrollarse para usarlos en un inventario específico.

Por lo general los datos de actividad incluyen información sobre las horas de operación, el consumo de combustibles y otras medidas de la actividad de los procesos para fuentes identificadas. Debido a que tanto los datos relacionados con las emisiones como los datos de actividad son necesarios para estimar las emisiones, con frecuencia estos dos pasos se ejecutan de manera simultánea.

### 1.5 CALCULAR LAS ESTIMACIONES DE EMISIONES.

Una vez que se han recopilado todos los datos necesarios se hacen los cálculos de emisión específicos. Estos cálculos se realizan conforme a la técnica o metodología de estimación de emisiones seleccionada.

### 1.6 APLICAR LA MODELACIÓN NECESARIA.

Después de que se han calculado las emisiones de ser necesario se aplica la modelación del inventario. Esta modelación puede incluir la distribución espacial y temporal, la resolución de las especies y las proyecciones de las emisiones.

### 1.7 ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

El aseguramiento de la calidad debe hacerse a lo largo de todo este proceso. En particular, se debe empezar con la recopilación de los datos relacionados con las emisiones y con los datos de actividad, continuar durante los cálculos de emisiones y durante el proceso completo de modelado.

### 1.8 DOCUMENTAR RESULTADOS.

El último paso del desarrollo de un inventario de emisiones es la documentación de resultados. Además de los resultados reales del inventario la documentación también debe incluir las metodologías, datos y suposiciones que se usaron en el proceso de desarrollo. En general, se debe proporcionar información suficiente para permitir que otras partes interesadas reproduzcan y analicen los resultados. La documentación del inventario sirve como una referencia importante para los futuros inventarios.

## 2. TÉCNICAS BÁSICAS DE EMISIÓN ATMOSFÉRICA

Las técnicas básicas de estimación de emisiones que se presentan aquí, se identificaron al examinar los métodos para hacer inventarios que actualmente se utilizan en México, que a su vez están basados en técnicas aplicadas en Europa, Asia y EU, las cuales son:

- **Muestreo en la Fuente:** son mediciones directas de la concentración de contaminantes en un volumen conocido de gas y de la tasa de flujo del gas en la chimenea. Son utilizadas con mayor frecuencia para fuentes de emisiones de combustión.
- **Factores de Emisión:** son relaciones entre la cantidad de un contaminante emitido y una sola unidad de actividad. La actividad puede, consistir en datos basados en procesos (Ej. producción, horas de operación, área superficial) o en datos basados en censos (Ej. población, número de empleados).
- **Balance de Masa:** se usan mediciones de todos los componentes, de un proceso, excepto el aire para determinar las emisiones al aire. Es utilizado con mayor frecuencia para fuentes de evaporación de solventes cuando no hay datos disponibles para apoyar los otros enfoques.

### 2.1 MUESTREO EN LA FUENTE

Debido a la complejidad técnica del muestreo en la fuente, se requiere de tiempo y equipos especializados para obtener datos de emisiones con altos grados de exactitud y válidos para numerosos contaminantes de una fuente. En consecuencia, el costo de realizar un muestreo de este tipo en una planta puede ser muy alto; sin embargo, si se aplica correctamente, este método puede proporcionar una mejor estimación de las emisiones de una fuente que los factores de emisión o los balances de masa.

El uso de datos de muestreo en la fuente reduce el número de suposiciones relacionadas con la aplicabilidad de factores de emisión, las eficiencias del equipo de control de contaminación atmosférica, las variaciones del equipo o las características del combustible que son aplicadas a tipos similares de fuentes de emisión.

Los datos de un muestreo en la fuente deben usarse para estimar emisiones sólo si los datos se obtuvieron en condiciones representativas de la operación normal del proceso; además, estos datos de emisión pueden extrapolarse para estimar

las emisiones anuales de una fuente si la operación del proceso no varía de manera significativa.

2.1.1 Muestreo Isocinético: es la medición en chimenea mas usado, básicamente se trata de extraer de una chimenea a condiciones isocinéticas; es decir, evitando que se presente separación mecánica debido a la inercia de las partículas, por lo tanto debe hacerse a unas condiciones de velocidad y temperatura iguales a las presentadas en el ducto. Este trabajo de campo se combina con trabajo de laboratorio, para obtener resultados que son comparados con las normas establecidas en la normatividad ambiental.

Principio de funcionamiento: La corriente de gas es succionada a través de la boquilla (Nozzle), conducida por la sonda (Probe) hacia la caja caliente (hot box) donde las partículas pasan a través de un filtro , en donde son removidas de la corriente gaseosa, luego el gas caliente pasa a una caja fría (cold Box) en donde se encuentran 4 percutores; los dos primeros contienen cada uno 100 mililitros de agua destilada, el tercero se encuentra vacío y el ultimo contiene 200 gramos de silica gel. Estos percutores se encuentran sumergidos en hielo el cual por diferencia de temperaturas causa condensación.

El equipo cuenta con un cordón umbilical el cual conduce el gas que sale de la caja fría hacia la consola, que contiene en su interior un manómetro para determinar la caída de presión a través de un orificio y otro que marca la diferencia de presión del tubo de pitot en S, colocado junto con la boquilla en el interior de la chimenea; la succión para que el equipo funcione la realiza una bomba de vacío. El muestreador contiene un medidor de gas seco en el cual se registra el volumen de aire succionado.

## 2.2 FACTORES DE EMISION

Los factores de emisión se usan a menudo para calcular las emisiones cuando los datos de monitoreo de chimeneas específicos del sitio no están disponibles o no se pueden realizar. Un factor de emisión es una relación entre la cantidad de contaminante emitido a la atmósfera con una unidad de actividad, estos se pueden clasificar en dos tipos, los basados en procesos y los basados en censos.

Por lo general, los primeros se usan para desarrollar estimaciones de emisiones de fuentes puntuales y a menudo se combinan con los datos de actividad recopilados de una encuesta o de un balance de materiales. Los factores de emisión basados en censos, por otro lado, se usan mucho para hacer estimaciones de emisiones de fuentes de área.

Puesto que con frecuencia no se requiere ni es económicamente factible hacer un muestreo en cada fuente emisora, se han realizado varios programas de muestreo de fuentes para medir las tasas de emisión de ciertos dispositivos o procesos que

se sabe que son fuentes de emisiones al aire, los resultados de muestreos de “fuentes representativas” se usan para desarrollar factores de emisión basados en procesos para dispositivos o procesos similares, estos factores se expresan en la forma general de masa de contaminante emitido por unidad de proceso. Entre las unidades de proceso más comunes se encuentran el consumo de energía, el rendimiento de materiales, las unidades de producción, el calendario de operación, el número de dispositivos o las características de éstos.

### 2.3 BALANCE DE MASA

El balance de masa es un método utilizado comúnmente para estimar las emisiones de muchas categorías de fuentes, este puede usarse en los casos en que no hay datos disponibles de muestreos en la fuente, factores de emisión u otros métodos desarrollados. De hecho, para algunas fuentes, un balance de materiales es el único método práctico para estimar las emisiones con exactitud.

El uso de un balance de materiales implica el análisis de un proceso para determinar si las emisiones pueden ser estimadas solamente con el conocimiento de los parámetros específicos de operación y de las composiciones de los materiales. Si bien el balance de materiales es una herramienta valiosa para estimar las emisiones de muchas fuentes su aplicación requiere que se conozca alguna medida del material que está siendo “balanceado” en cada punto a lo largo del proceso. El uso del balance de materiales es muy adecuado en los casos en que pueden hacerse mediciones exactas de todos los componentes, excepto las emisiones al aire. Si no se cuenta con esta información y, por lo tanto debe suponerse, se podrían generar serios errores.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LADRILLO**

Una vez se conoce con detalle cada una de las Técnicas de estimación básicas que se usan para calcular las emisiones en fuentes puntuales se debe conocer toda la información relacionada con el proceso de elaboración del ladrillo tal como diagrama de flujo, materia primas, puntos de emisión, sistemas de control y demás aspectos importantes a fin de establecer cual de los métodos anteriormente mencionado es el más adecuado para determinar las emisiones generadas.

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO**

El proceso de fabricación de ladrillo se basa en una serie de etapas que se detallan a continuación:

- Almacenamiento de materias primas

Consiste en almacenamientos en pilas, cubiertas o al aire libre de la arcilla y de otro tipo de materiales que se usan en la elaboración del ladrillo como aditivos para mejorar el producto final.

- Molienda y mezclado

El proceso de molienda puede llevarse a cabo de dos formas: por vía seca o por vía húmeda. En el caso de molienda seca se utilizan molinos de martillos o desintegradoras de cuchillas y en la molienda húmeda se utilizan laminadores y molinos de rulos. La arcilla, una vez molida, puede ser mezclada con distintos aditivos (arena, carbonato de bario, etc.) según los requerimientos de calidad del producto final.

Durante el almacenamiento de la materia prima y la molienda se generan emisiones difusas de partículas.

- Conformado

El conformado incluye tanto el amasado como el moldeo. En el amasado se regula el contenido de agua de la mezcla de arcilla mediante la adición de agua o vapor. En el caso de que se realice con vapor producido por una caldera, ésta se considerará como instalación auxiliar del proceso.

El moldeo del ladrillo se realiza por extrusión, etapa en la cual la pasta de arcilla húmeda se hace pasar a través de un molde perforado empujado por una hélice giratoria, esta arcilla extrusionada adquiere el perfil de la boquilla incorporada, pudiéndose modificar en función del tipo de pieza a producir.

- Secado

El objetivo del secado es la reducción del contenido de humedad de las piezas antes de su cocción, este puede realizarse de dos formas:

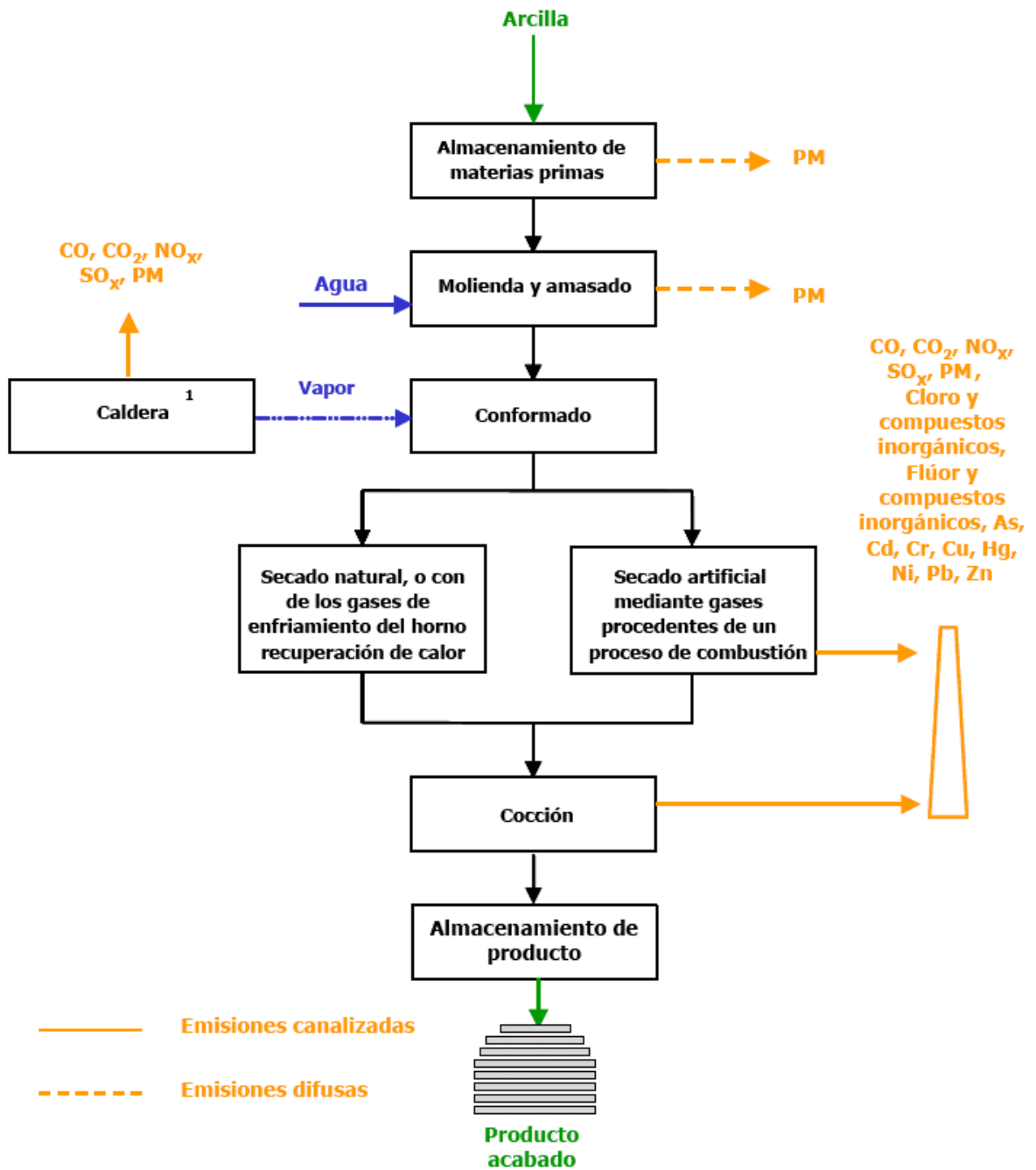
Secado Natural: este se realiza almacenando el ladrillo conformado bajo techo el cual por acción del viento y del sol va reduciendo la humedad.

Secado Artificial: el secado artificial emplea fuentes de calor de diversos orígenes, se suelen emplear los gases de combustión del horno de cocción, en cuyo caso la emisión de contaminantes asociada es análoga a la de un proceso de secado natural debido a que no tiene lugar un proceso de combustión adicional. Otra posible fuente de calor son los gases procedentes de la combustión en quemadores de gas, carbón, biomasa u otros combustibles, en cuyo caso hay que considerar la emisión de contaminantes asociados al proceso de combustión.

- Cocción. Es la etapa en que se retira toda la humedad del ladrillo la cual se puede llevar a cabo en dos tipos de hornos:
- Túnel. El material se deposita en vagonetas que se desplazan a lo largo del horno, distinguiéndose tres zonas: precalentamiento, cocción y enfriamiento.
- Hoffmann. El material a cocer se mantiene estático, y es el fuego el que se desplaza a lo largo de las distintas cámaras hasta conseguir unas condiciones de temperatura adecuadas.

En esta etapa se producen los contaminantes típicos asociados a los procesos de combustión y de descomposición de la materia prima.

### 3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO PRODUCTIVO



Grafica No 1. Diagrama de Flujo de la Elaboración de Ladrillo

## 4. DESARROLLO DEL INVENTARIO DE EMISIONES

### 4.1. PROPÓSITO DEL INVENTARIO DE EMISIONES

El propósito de este inventario es cuantificar las emisiones de Material Particulado(MP), Monóxido de Carbono(CO), Dióxido de Carbono(CO<sub>2</sub>), Óxidos de Azufre(SO<sub>x</sub>) y Óxido de Nitrógeno(NO<sub>x</sub>) generados por la industria ladrillera de gran escala ubicada en el Área Metropolitana de Bucaramanga, a fin de establecer el cumplimiento de este sector industrial con la normatividad ambiental vigente.

### 4.2. CARACTERÍSTICAS DEL INVENTARIO

Una vez conocido el propósito del inventario de emisiones es importante definir las características que describen la naturaleza del inventario y de esta forma establecer las actividades del mismo.

#### 4.2.1. Contaminantes a Inventariar

- Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro e insípido producido por la combustión incompleta de combustibles como gas, gasolina, kerosene, carbón, petróleo o madera. Es más liviano que el aire y es poco soluble en agua. Algunas fuentes comunes de emisión de CO a nivel industrial son las fundiciones, los hornos de carbón y las refinerías.

El monóxido de carbono disminuye la cantidad de oxígeno disponible para las células, lo cual dificulta la función celular. La exposición a corto plazo a ciertos niveles de CO podría producir dolores de cabeza leves y dificultad para respirar. La exposición durante períodos más prolongados produce dolores de cabeza, náuseas, irritabilidad, aumento del ritmo respiratorio, dolor en el pecho, alteración del juicio y desvanecimientos.

- Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

toman las siguientes formas: óxido nítrico (NO), el cual es un gas incoloro; dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>), un gas marrón rojizo o naranja oscuro; trióxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), un gas incoloro; tetróxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), un gas incoloro; pentóxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), el cual es incoloro y suele conocerse como "gas hilarante".

Los óxidos de nitrógeno se producen de muchas fuentes, como la combustión de combustibles en hornos y los motores de combustión interna, la detonación de

explosivos, la soldadura y el humo del tabaco. Los gases de escape diesel pueden contener óxido nítrico. Las formas más comunes de óxidos de nitrógeno en la atmósfera son el óxido nítrico y el dióxido de nitrógeno. El dióxido de nitrógeno, el cual confiere el color marrón a la niebla tóxica o smog, se detecta a concentraciones bajas por su aroma o sabor. Los síntomas de la exposición son tos, dificultad para respirar, dolor en el pecho, acumulación de líquido en los pulmones, latidos irregulares del corazón e irritación ocular.

No se considera que el NO cause efectos adversos sobre la salud en concentraciones ambientales; sin embargo, la exposición al NO<sub>2</sub> puede ocasionar irritación del tracto respiratorio y, si la exposición se prolonga, puede causar decrementos en la función pulmonar. La convención general que se sigue consiste en reportar las distinciones de los contaminantes siempre que esto sea posible pero reportar los NOx totales en base al peso molecular del NO<sub>2</sub>.

- Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>)

Óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) es un término general que se refiere al dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y otros óxidos de este elemento. El SO<sub>2</sub> es un gas incoloro de olor fuerte que se forma en la combustión de combustibles fósiles que contienen azufre, estos son compuestos irritantes del sistema respiratorio que pueden ocasionar una respuesta similar al asma o bien agravar una condición asmática preexistente. Los síntomas de una exposición a altas concentraciones ambientales pueden incluir tos, goteo de la nariz y falta de aliento.

Cualquier actividad industrial que use carbón, Fuel oil o cualquier combustible con alto contenido de azufre pueden ser una fuente importante de SO<sub>2</sub>. La convención general consiste en reportar las distinciones de los contaminantes siempre que esto sea posible pero reportar los SO<sub>x</sub> totales con base en el peso molecular del SO<sub>2</sub>.

Los óxidos de azufre contribuyen al problema de la deposición ácida. Este es un término muy amplio que se refiere a las formas en las que los compuestos ácidos de la atmósfera se depositan en la superficie de la tierra. Puede incluir la deposición húmeda a través de la lluvia ácida, la niebla y la nieve, así como la deposición seca de partículas ácidas (aerosoles).

- Material Particulado (MP)

El término partículas se refiere a cualquier sustancia en fase sólida o líquida que se encuentre en el aire, este puede ser hollín, polvos, aerosoles, humos o neblinas. El material particulado se clasifica en partículas primarias y partículas secundarias, las cuales se subdividen en partículas suspendidas totales (PST), partículas suspendidas PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

Las partículas primarias incluyen a los materiales sólidos o líquidos emitidos directamente del proceso (o de la chimenea) que se espera que se conviertan en partículas a la temperatura y presión ambiente. Las partículas secundarias son aerosoles que se forman en el aire a partir de gases por medio de reacciones químicas atmosféricas.

La subdivisión de las partículas primarias y secundarias en PST, PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub> esta referido al tamaño de las partículas. Las PST incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a 100 µm, debido a que las partículas con más de 100µm tienden a depositarse rápidamente y no deben considerarse como emisiones al aire. El término PM<sub>10</sub> se refiere a las emisiones de partículas de diámetro aerodinámico inferior o igual a 10 µm y de manera similar PM<sub>2.5</sub> se refiere a las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 2.5 µm. El pequeño tamaño de las PM<sub>10</sub> ó las PM<sub>2.5</sub> les permite entrar fácilmente en los alvéolos pulmonares donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Las partículas pueden causar tos, jadeos y cambios, tanto en la función respiratoria, como en el pulmón mismo. Se cree que el aumento en los niveles de partículas es responsable del incremento en las tasas de mortalidad y de morbilidad en individuos con condiciones cardiovasculares y/o respiratorias preexistentes; sin embargo, ha sido difícil establecer los niveles en los que se presentan efectos adversos debido a la presencia de otros compuestos químicos que podrían ser responsables de algunos de los efectos observados. Además, las emisiones de PM<sub>2.5</sub> también son un problema para la visibilidad.

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas incoloro e inodoro que existe naturalmente en la atmósfera de la tierra. También se emiten cantidades significativas por la combustión de combustibles fósiles. La segunda fuente más importante de emisiones globales de CO<sub>2</sub> ocurre por cambios en el uso del suelo y de los bosques. Los bosques y otra vegetación absorben CO<sub>2</sub> durante su crecimiento. Por lo tanto, la pérdida de área forestal (i. e., deforestación) está llevando a una reducción de la incorporación del CO<sub>2</sub> en años futuros. O, en otras palabras, a un aumento neto del CO<sub>2</sub> atmosférico. Los cultivos o las quemas y/o los desmontes con fines agrícolas también pueden aumentar la liberación o el almacenamiento natural de CO<sub>2</sub> de los suelos.

#### 4.2.2. Tipos de Fuentes y Nivel de Detalle

Tal como se menciono anteriormente a nivel industrial la clasificación del tipo de fuente sea puntual o de área es arbitraria, para este trabajo se considero como fuentes puntuales las actividades enmarcadas en la resolución 619 del 7 de julio de 1997, la cual establece las actividades que requieren tramitar el permiso de

emisiones atmosféricas. Para el caso de la industria ladrillera es toda aquella que tenga una capacidad de producción mayor o igual a 5 t/día.

Tal como lo indican las metodologías evaluadas, el nivel de detalle de la evaluación de emisiones se realizara a nivel de proceso, debido a que de esta forma se podrá estimar el total de las emisiones generadas en la planta a fin de comparar la emisión con los límites permisibles en la normatividad ambiental actual.

#### 4.2.3. Año Base y Características de Tiempo

El año base escogido para el inventario será el 2005 pues se cuenta con la mayor cantidad de información para este año que en anteriores; además, los estudios isocinéticos y mediciones en la fuente se realizaron en este año.

Las características del tiempo están relacionadas con el periodo de tiempo y la variabilidad temporal, para el primer caso se tomara como periodo de tiempo el año base, es decir la masa de contaminante en el tiempo inventariado (Ej. Ton CO/año). En el caso de la variabilidad temporal no es de mucho interés puesto que este es un proceso continuo de 24 horas al día durante todo el año en la etapa de cocción y de 8 horas para las demás etapas de producción; por lo cual estas emisiones se consideran constantes a través del tiempo.

#### 4.2.4. Características Espaciales

Las características espaciales son el dominio y la resolución espacial, tal como se ha indicado con anterioridad el dominio de este trabajo será el Área Metropolitana de Bucaramanga la cual esta compuesta de los municipios de Bucaramanga, Floridablanca y Girón.

No es necesario definir una resolución espacial puesto que es un inventario básico en el cual solo se reportaran los totales de los contaminantes para el dominio del inventario; además, el número de establecimientos a inventariar es significativamente menor comparada con el área del dominio.

### 4.3. DETERMINAR LAS FUENTES DE DATOS PARA EL INVENTARIO Y SELECCIONAR LAS TÉCNICAS Y MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES

Una vez determinado el dominio se puede establecer las fuentes de datos a inventariar, en el Área Metropolitana de Bucaramanga hay cuatro industrias ladrilleras las cuales cumplen con la condición de producción establecidas en la

resolución 619/97 dos en el municipio de Bucaramanga y dos en el municipio de Girón en su orden estas son:

- Ladrillera Ladrillos y Tubos
- Ladrillera Bautista Cáceres
- Ladrillera RUGO
- Ladrillera ERGO

Los métodos mas adecuados para la estimación de emisiones de acuerdo a lo anteriormente descrito en la descripción del proceso son los factores de emisión y la medición en la fuente.

Los factores de emisión se utilizaran para calcular los contaminantes emitidos en las etapas de almacenamiento, molienda, y conformado del ladrillo, las cuales son emisiones fugitivas que no tienen forma de ser monitoreadas y el monitoreo en la fuente se realizara a las chimeneas de los hornos donde se realiza la cocción del ladrillo.

#### 4.4. RECOPIACIÓN DE DATOS

Ya identificadas las fuentes de datos se procede a la captura de la información esta se realizó por medio de visitas a las empresas anteriormente mencionadas tal como lo recomienda la metodología de los inventarios desarrollados en México.

La elaboración de ladrillo en el Área Metropolitana de Bucaramanga de las cuatro empresas a inventariar se desarrollan de una forma muy similar, variando únicamente en la capacidad de producción, número de equipos utilizados en el proceso y secado del ladrillo. A continuación se presenta una breve descripción de los procesos en cada una de las plantas.

**Ladrillera Ergo:** el proceso de fabricación de esta empresa comienza con la extracción de la materia prima (Arcilla) la cual se hace en los predios contiguos de donde se encuentra ubicada la planta, esta arcilla es apilada a la intemperie dentro de la planta y mensualmente se apilan aproximadamente 3300 t/mes. Esta arcilla es llevada por medio de maquinaria pesada al la tolva dosificadora a fin de iniciar la etapa de molienda en seco, durante esta se recibe la arcilla proveniente de la dosificadora la cual por medio de una banda transportadora es llevada a una serie de equipos llamados laminadores para reducir su tamaño, en esta ladrillera cuentan con 3 laminadores, el primer laminador tiene como fin retirar de la arcilla las rocas que allí se encuentren para continuar con la reducción de tamaño en los siguientes dos laminadores.

Una vez lograda la granulometría requerida se inicia con la etapa de conformado del ladrillo, esta se realiza en una equipo de amasado en donde se mezcla con agua hasta lograr una masa uniforme con una humedad del 20% en peso. Esta masa se lleva a la maquina extrusora donde se retira el exceso de aire y por medio de presión es empujada a través de los moldes los cuales dan la forma final al ladrillo.

Ya conformados los ladrillos son almacenados bajo techo para iniciar con la etapa de secado en la cual se retira el exceso de humedad por acción de la temperatura ambiente (Secado Natural), ya reducida la humedad se inicia con la etapa de cocción del ladrillo, esta se realiza en un horno tipo Hoffman cuyo principio de operación es el desplazamiento de fuego a lo largo de su trayectoria para evitar de esa manera que los ladrillos sean los removidos durante la cocción, se usa como combustible carbón mineral pulverizado (2 t/día) que es suministrado neumáticamente por un equipo llamado carbojet. La producción mensual estimada en la Ladrillera ERGO es de 2800 t/mes lo que equivale a una producción promedio de 330000 piezas de ladrillo.

**Ladrillera Bautista Cáceres (B&C):** el comienzo del proceso se inicia con la extracción de la arcilla la cual se realiza en el lote donde se encuentra ubicada la planta, esta arcilla es apilada a la intemperie dentro de la planta y mensualmente se apilan aproximadamente 2000 t/mes. Esta arcilla es trasportada por medio de maquinaria pesada a la tolva dosificadora en donde inicia la etapa de molienda en seco, durante esta etapa la arcilla es llevada por medio de bandas trasportadoras a un equipo desintegrador en donde se realiza la extracción del material no deseable (Rocas) y la reducción de tamaño de la arcilla a la especificaciones necesarias en un solo paso para así iniciar la etapa de conformado.

La arcilla obtenida en la etapa de molienda se almacena en una tolva dosificadora la cual se encarga de alimentar el mezclador en donde se agrega agua para formar una pasta homogénea con una humedad de 20% en peso. Esta masa se lleva a un laminador final en donde se hace una última reducción de tamaño a la materia prima antes de pasar a la extrusora para finalmente dar la forma deseada al ladrillo.

Una vez conformado el ladrillo, se almacena bajo techo para iniciar la etapa de secado natural en donde se reduce la humedad para luego pasar a la etapa de cocción. El ladrillo es llevado al horno tipo Hoffman el cual usa como combustible una mezcla de carbón mineral pulverizado y tamo de café (3.3 ton/día) el cual se suministra por un sistema carbojet. La producción mensual de la planta esta estimada en 1900 t/mes lo que equivale aproximadamente a 250000 piezas de ladrillo en un mes.

**Ladrillera Rugo:** la extracción de la arcilla se realiza en predios ubicados a 1.5 Km de donde se encuentra ubicada la planta, esta arcilla se almacena a la

intemperie dentro de la planta y mensualmente se apilan aproximadamente 3500 t/mes. Esta arcilla es llevada por medio de maquinaria pesada al la tolva dosificadora a fin de iniciar la etapa de molienda en seco, por medio de una banda transportadora es llevada a dos laminadores, los cuales son los encargados de retirar de la arcilla las rocas que allí se encuentren y reducir de tamaño los terrones de arcilla para continuar con el proceso.

Una vez lograda la granulometría requerida se inicia con la etapa de conformado del ladrillo, esta se realiza en una equipo de amasado en donde se mezcla con agua hasta lograr una masa uniforme con una humedad del 20% en peso. Esta masa se lleva a la maquina extrusora donde se da la la forma final al ladrillo.

Ya conformados los ladrillos son almacenados bajo techo para iniciar con la etapa de secado en la cual se retira el exceso de humedad por acción de la temperatura ambiente (Secado Natural), ya reducida la humedad se inicia con la etapa de cocción del ladrillo, esta se realiza en un horno tipo Hoffman el cual usa como combustible carbón mineral pulverizado (3.5 ton/día) el cual se suministra por un sistema carbojet. La producción mensual de la planta esta estimada en 3000 t/mes lo que equivale aproximadamente a 350000 piezas de ladrillo en un mes.

**Ladrillera Ladrillos Y Tubos (L&T):** la extracción de la arcilla se realiza en predios vecinos de donde se encuentra ubicada la planta, esta es almacena a la intemperie en dos pilas las cuales suman una cantidad de 4800 t/mes. Esta empresa cuenta con dos líneas de producción de ladrillo las cuales cuentan con los mismos equipos en cada una de ellas. Al igual que las demás plantas esta se lleva a una tolva dosificadora en donde inicia el proceso de molienda este se realiza por medio de dos laminadores en serie donde el primero se encarga de retirar la piedras contenidas en la arcilla y el segundo de reducir la materia prima al tamaño deseado.

Encontrándose ya la arcilla a la granulometría deseada se transporta a una tolva dosificadora la cual por medio de una banda transportadora se alimenta el mezclador en donde se mezcla con agua para formar la pasta que se lleva a la extrusora para finalmente dar la forma deseada al ladrillo.

Ya conformado el ladrillo, se almacena bajo techo para iniciar la etapa de secado, a diferencia de las demás plantas, esta ladrillera cuenta con 2 cuartos de secado artificial que trabajan 20 horas diarias y usan como combustible una mezcla de carbón mineral pulverizado y cascarilla de café (3 t/día) por lo cual es importante considerar la emisión generada durante esta etapa. Ya reducida la humedad del ladrillo se pasa a la etapa de cocción esta se realiza en 2 hornos tipo Hoffman los cuales usan como combustible carbón mineral pulverizado (12 t/día). La producción mensual estimada en la planta es de 4500 t/mes lo que equivale aproximadamente a 900000 piezas de ladrillo en un mes.

#### 4.5. CALCULO DE LAS EMISIONES.

Ya conocido en detalle el proceso de fabricación de ladrillo en cada una de las plantas se procede a la estimación de las emisiones. Como se mencionó anteriormente los la estimación se realizara por medio de factores de emisión y medición directa en la fuente, en la tabla No.1 se puede observar los contaminantes asociados a cada una de las etapas de producción.

Tabla No.1. Contaminantes Asociados por Etapa.

ETAPA		MP	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
Almacenamiento		X	-	-	-	-
Molienda		X	-	-	-	-
Conformado		X	-	-	-	-
Secado	Natural	-	-	-	-	-
	Artificial	X	X	X	X	X
Cocción		X	X	X	X	X

- No Existen Emisiones

En este caso la estimación de las emisiones de las etapas de almacenamiento, molienda y conformado que se llevó a cabo mediante el empleo de factores de emisión representativos del sector y las emisiones de las etapas de Cocción y secado artificial mediante medición directa.

las principales fuentes bibliográficas consultadas para la selección de los factores de emisión han sido:

- EPA: Environmental Protection Agency U.S.
- CORINAIR. Inventario de Emisiones Atmosféricas realizado por la European Environmental Agency.

**Factores De Emisión Del Corinair:** en el capítulo B3319 de la Guía para inventarios de emisión de EMEP/CORINAIR (EMEP/ CORINAIR Emission Inventory Guidebook), dedicado a la fabricación de ladrillos y azulejos, se dan dos grupos de factores de emisión expresados en unidades distintas.

**Factores De Emisión De La EPA:** la EPA dispone de dos fuentes de factores de emisión específicos para el sector de fabricación de elementos cerámicos de construcción:

Capítulo 11.3 **AP-42** (Compilation of Air Pollutant Emission Factors, AP-42, Fifth Edition, Volume I: Stationary Point and Area Sources). En este documento se describe el sector de fabricación de ladrillos y otros elementos de construcción obtenidos a partir de arcilla. Asimismo, se incluyen los códigos SCC (Source Classification Code) que identifican cada una de las etapas del proceso productivo.

- Programa **FIRE**. En esta base de datos se incluyen los factores que aparecen en el Capítulo 11 del AP-42 para horno túnel y otros factores para horno Hoffmann. La búsqueda se puede realizar por contaminante o por código SCC de la etapa del proceso productivo.

Todos los factores propuestos en estas fuentes están expresados en kg/ t de producción y cada factor de emisión lleva asociado un índice de calidad que representa la capacidad que posee el factor de emisión para aproximarse a las tasas medias de emisión de una determinada fuente y que siempre está referido a las condiciones de operación y medida en las que ha sido determinado el factor.

Tabla No. 2. Calidad del Factor de Emisión.

Tipo de Factor	Calidad del Factor
A	Excelente
B	Medio-Alto
C	Medio
D	Medio-Bajo
E	Bajo
U	Sin Datos

Fuente EPA. Environmental Protection Agency

Factores de Emisión seleccionados

En la tabla No.3 se podaran observar los factores de emisión seleccionados para calcular las emisiones de material particulado generado durante la fabricación del ladrillo así como la fuente y calidad del factor.

Tabla No 3. Factores de Emisión

ETAPA	FACTOR DE EMISIÓN (Kg/t)	CALIDAD	FUENTE
Almacenamiento(Intemperie)	17	C	EPA
Molienda (Seco)	4.25	E	EPA
Conformado	0.035	B	EPA

Las emisiones generadas en la etapa de cocción y secado artificial se estimaran con mediciones en situ para el caso de material particulado se realizó una evaluación isocinética con un equipo marca APEX de referencia AC 572, el cual cumple con los requerimientos exigidos en el decreto 02 de 1982 y las emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> y CO se realizó con un analizador de gases de combustión Green Liner 4000. Los cálculos de los monitoreos y las planillas de campo se encuentran en los anexos de este documento.

#### 4.5.1 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera ERGO

**Tabla No. 4. Emisiones Ladrillera ERGO**

ETAPA	PRODUCCIÓN <sup>1</sup>	FACTOR EMISIÓN <sup>2</sup>	MP <sup>*</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>*</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	CO <sup>*</sup>
Almacenamiento	3300 <sup>3</sup>	17	673,2	-	-	-	-
Molienda	2800	4,25	142,8	-	-	-	-
Conformado	2800	0,035	1,176	-	-	-	-
Secado Natural	2800	-	-	-	-	-	-
Cocción(Medición Directa)	2800	-	5,537	9918,9	10,2	0	6,9
TOTAL			822,7	9918,9	10,2	0	6,9

1. Las unidades de Producción están dadas en toneladas mensuales (t/mes).
  2. Las unidades del factor de Emisión son Kg de contaminante por tonelada de ladrillo producida (Kg/Ton).
  3. el valor de la producción en el almacenamiento es diferente pues esta en base Kg de material particulado por tonelada de materia prima apilada (Kg/ton)
- \* Las emisiones están dadas en tonelada de contaminante por año (ton/año).

#### 4.5.2 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera Bautista Cáceres

**Tabla No. 5. Emisiones Ladrillera Bautista Cáceres**

ETAPA	PRODUCCIÓN <sup>1</sup>	FACTOR EMISIÓN <sup>2</sup>	MP <sup>*</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>*</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	CO <sup>*</sup>
Almacenamiento	2000	17	408	-	-	-	-
Molienda	1900	4,25	96,9	-	-	-	-
Conformado	1900	0,035	0,798	-	-	-	-
Secado Natural	1900	-	-	-	-	-	-
Cocción(Medición Directa)	1900	-	11,5	13044,2	15,9	0,2	17,7
TOTAL			517,1	13044,2	15,9	0,2	17,7

1. Las unidades de Producción están dadas en toneladas mensuales (t/mes).
  2. Las unidades del factor de Emisión son Kg de contaminante por tonelada de ladrillo producida (Kg/Ton).
  3. el valor de la producción en el almacenamiento es diferente pues esta en base Kg de material particulado por tonelada de materia prima apilada (Kg/ton)
- \* Las emisiones están dadas en tonelada de contaminante por año (ton/año).

#### 4.5.3 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera RUGO

**Tabla No. 6. Emisiones Ladrillera RUGO**

ETAPA	PRODUCCIÓN <sup>1</sup>	FACTOR EMISIÓN <sup>2</sup>	MP <sup>*</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>*</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	CO <sup>*</sup>
Almacenamiento	3500	17	714	-	-	-	-
Molienda	3000	4,25	153	-	-	-	-
Conformado	3000	0,035	1,26	-	-	-	-
Secado Natural	3000	-	-	-	-	-	-
Cocción(Medición Directa)	3000	-	12,3	2573,6	2,248	8,2	18,1
TOTAL			880,5	2573,7	2,24	8,2	18,1

1. Las unidades de Producción están dadas en toneladas mensuales (t/mes).
1. Las unidades del factor de Emisión son Kg de contaminante por tonelada de ladrillo producida (Kg/Ton).
2. el valor de la producción en el almacenamiento es diferente pues esta en base Kg de material particulado por tonelada de materia prima apilada (Kg/ton)
- \* Las emisiones están dadas en tonelada de contaminante por año (ton/año).

#### 4.5.4 Calculo de Emisiones Atmosféricas Ladrillera Ladrillos y Tubos

**Tabla No. 7. Emisiones Ladrillera Ladrillos y Tubos**

ETAPA	PRODUCCIÓN <sup>1</sup>	FACTOR EMISIÓN <sup>2</sup>	MP <sup>*</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>*</sup>	SO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>*</sup>	CO <sup>*</sup>
Almacenamiento	4800.0	17.0	979.2	-	-	-	-
Molienda	4500.0	4.3	229.5	-	-	-	-
Conformado	4500.0	0.0	1.9	-	-	-	-
Secado Artificial 1	60.0 <sup>4</sup>		52.6	1079.4	10.4	1.6	2.7
Secado Artificial 2	30.0 <sup>4</sup>	-	26.3	420.0	5.5	1.1	1.5
Cocción Horno 1	4500.0	-	11.6	4288.3	31.4	0.5	24.9
Cocción Horno 2	4500.0		17.1	3864.1	36.4	0.3	24.2
TOTAL			1318.3	9651.8	83.7	3.5	53.3

1. Las unidades de Producción están dadas en toneladas mensuales (t/mes).
2. Las unidades del factor de Emisión son Kg de contaminante por tonelada de ladrillo producida (Kg/Ton).
3. el valor de la producción en el almacenamiento es diferente pues el factor de emisión esta en base Kg de material particulado por tonelada de materia prima apilada (Kg/ton).
4. Consumo de Combustible por cada una de las hornillas en el secado.
  - Las emisiones están dadas en tonelada de contaminante por año (ton/año).

**Tabla No. 8. Consolidado de las Emisiones de las Empresas Evaluadas.**

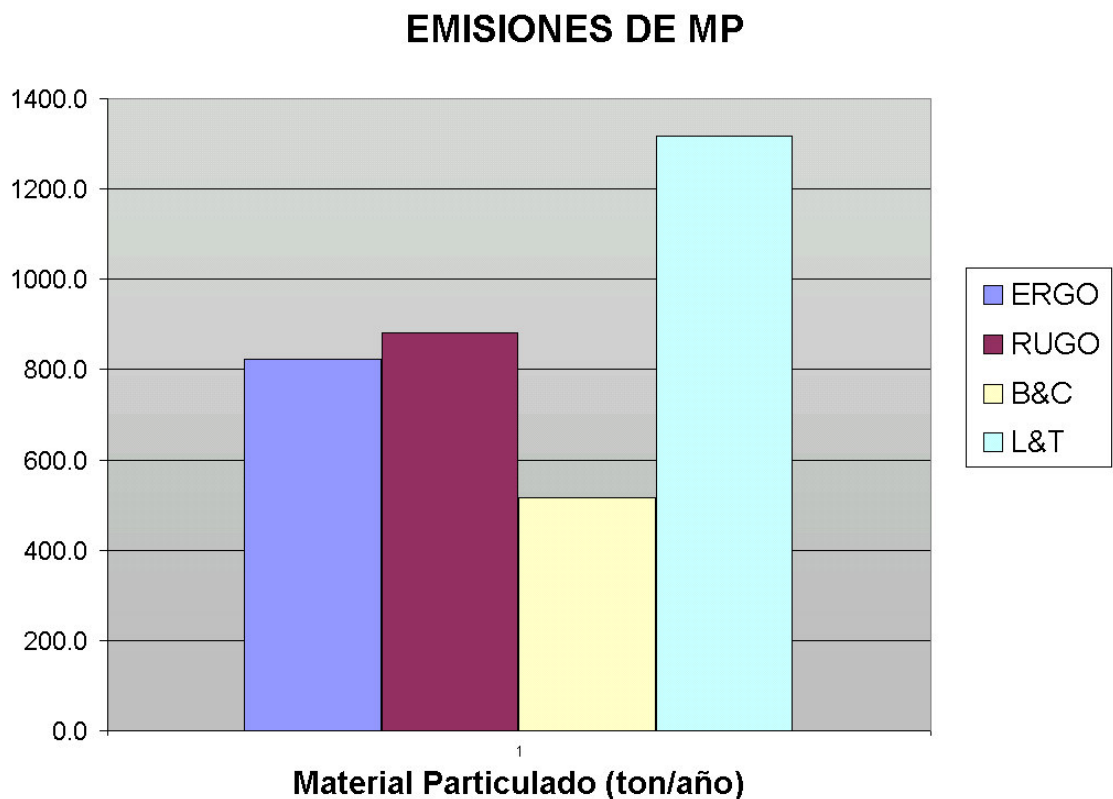
<b>EMPRESA</b>	<b>MP</b>	<b>CO2</b>	<b>SOX</b>	<b>NOX</b>	<b>CO</b>
ERGO	822.7	9918.9	10.2	0.0	6.9
RUGO	880.6	2573.7	2.2	8.2	18.0
Bautista Cáceres	517.2	13044.2	16.0	0.2	17.7
Ladrillos y Tubos	1318.3	9651.8	83.7	3.5	53.3
<b>TOTAL</b>	<b>3538.8</b>	<b>35188.5</b>	<b>112.1</b>	<b>12.0</b>	<b>95.9</b>

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El principal fin de un inventario de emisiones es reportar el total de las emisiones de los contaminantes evaluados, en las gráficas 2,3,4,5 y 6 se pueden observar las emisiones totales de cada contaminante en cada una de las empresas inventariadas.

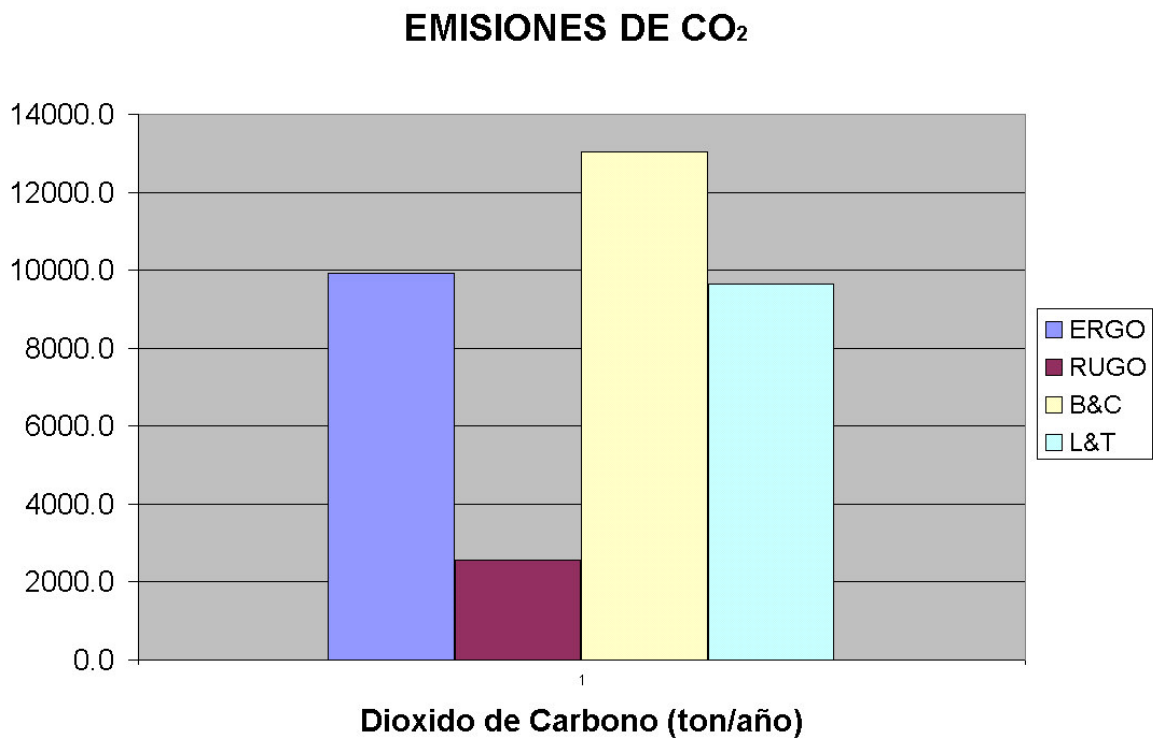
A continuación se hace una breve descripción de cada una de ellas.

**Gráfica No.2:** Se puede observar que las emisiones totales de material particulado están estrechamente relacionados con la capacidad de producción; sin embargo, esto es lo esperado pues en este proceso la etapa con mayor emisión de este contaminante es el almacenamiento la cual se calculó con un factor de emisión.



Gráfica No 2. Emisiones Totales de Material Particulado

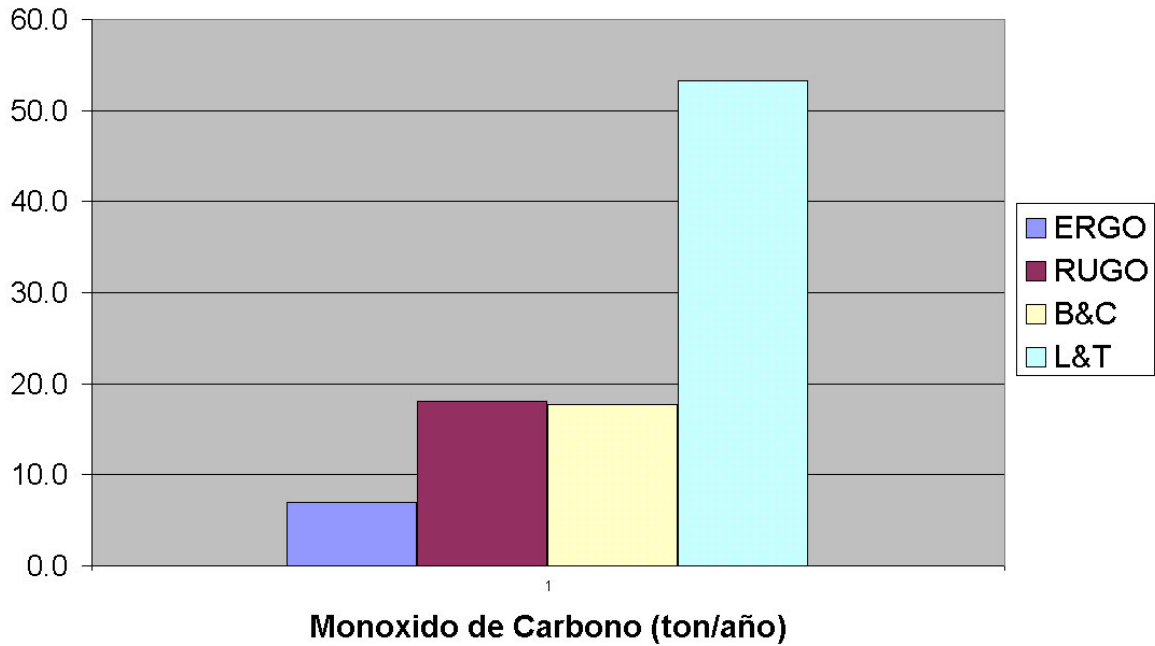
**Gráfica No.3:** Las emisiones CO<sub>2</sub> no concuerdan con los resultados esperados, pues este contaminante esta estrechamente relacionado con el consumo de combustible, por lo cual se esperaría que la empresa Ladrillos y Tubos (L&T) reportara la emisión mas alta; sin embargo, la diferencia de las emisiones pueden deberse a una mala combustión o a la variación en las composiciones de la arcilla pues arcillas con alto contenido en carbonatos de calcio contribuirían en la formación de este contaminante



Gráfica No.3 Emisiones Totales de Dióxido de carbono.

**Gráfica No.4:** Las emisiones de monóxido de carbono se generan por la combustión incompleta del carbón mineral, se puede observar en la gráfica que la empresa Ladrillos y Tubos se presenta la mayor cantidad de emisiones de este contaminante; no obstante, hay que tener presente que el consumo de carbón en esta empresa es muy alta comparada con las otras ladrilleras.

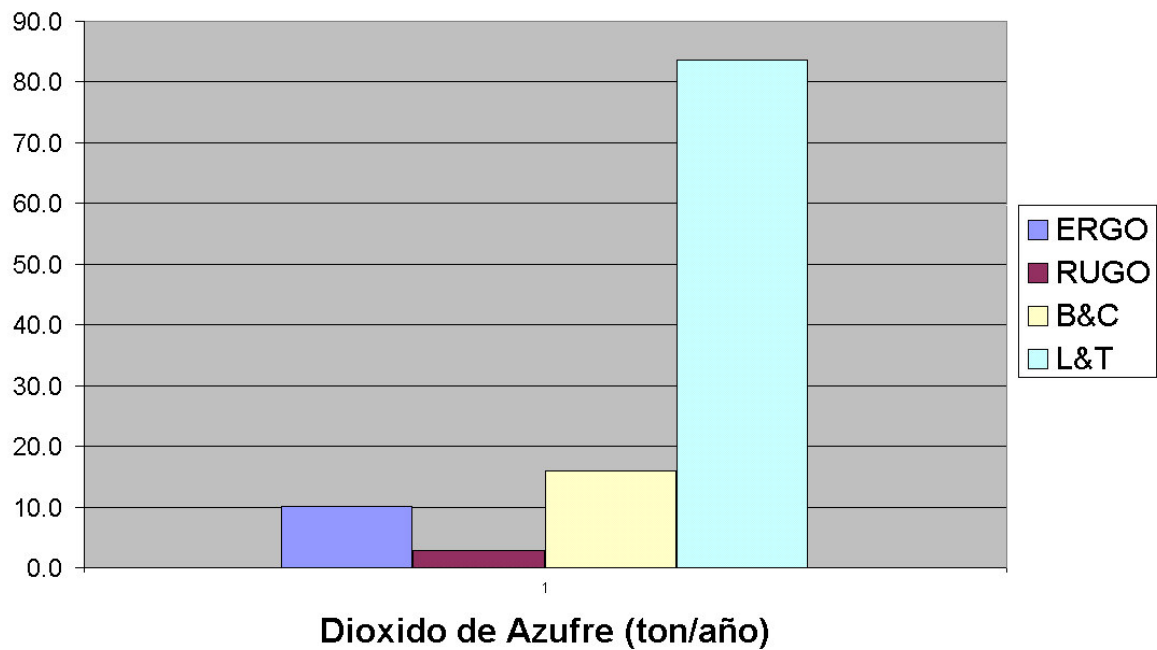
### Emisiones CO



Gráfica No. 4. Emisiones Totales de Monóxido de Carbono

**Gráfica No. 5:** Las emisiones de SO<sub>2</sub> están relacionadas con la cantidad de azufre contenido en el Carbón Mineral. En los análisis realizados al combustible muestran que la composición de los carbones utilizados en las diferentes es muy similar y se encuentran entre 0.5-0.8%. Como se puede observar la empresa ladrillos y tubos es la mayor aportante de óxidos de azufre tal como se esperaba por ser la empresa que mas combustible utiliza en su proceso; sin embargo, al igual que con las emisiones de CO<sub>2</sub> estas pueden variar debido a la cantidad de sulfato de calcio contenida en la composición de la arcilla.

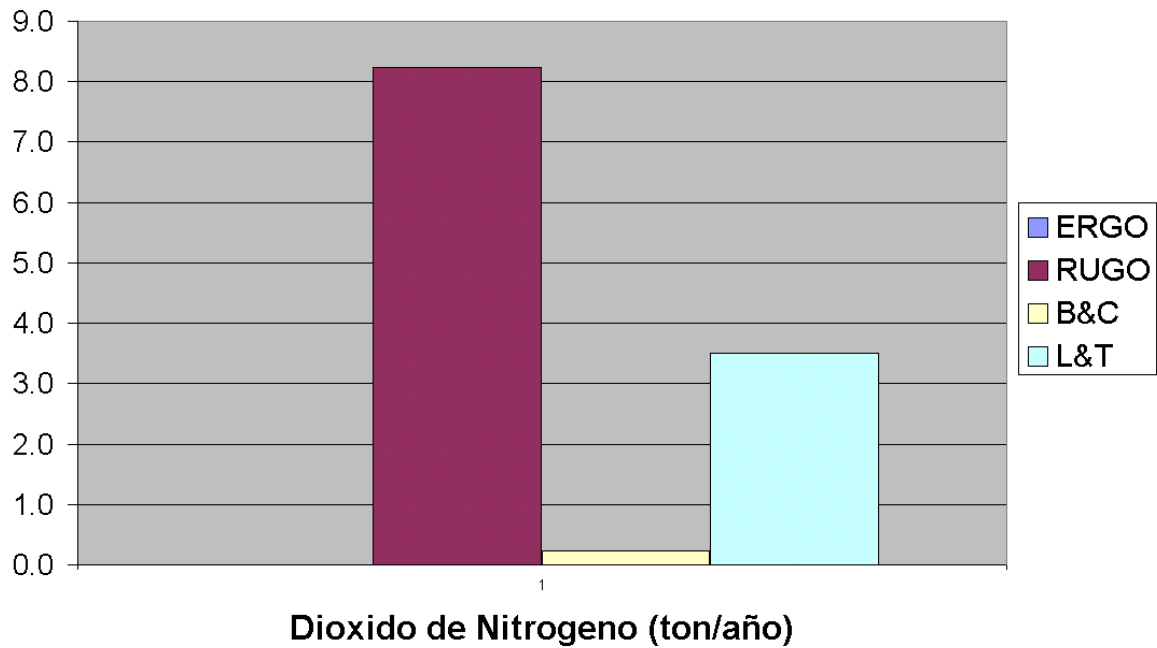
### Emisiones de SO<sub>2</sub>



Gráfica No 5. Emisiones Totales de Dióxido de Azufre.

**Gráfica No.6:** Las emisiones de Dióxido de Nitrógeno, están fuertemente relacionados a la temperatura y al exceso de aire. Como se puede observar en los anexos de este trabajo la temperatura de los gases y el exceso de aire, es mayor en la ladrillera RUGO la cual reporta la mayor emisión de NO<sub>2</sub> y así sucesivamente hasta llegar a la ladrillera ERGO donde la concentración de este contaminante no se pudo detectar.

## Emisiones de NO<sub>2</sub>



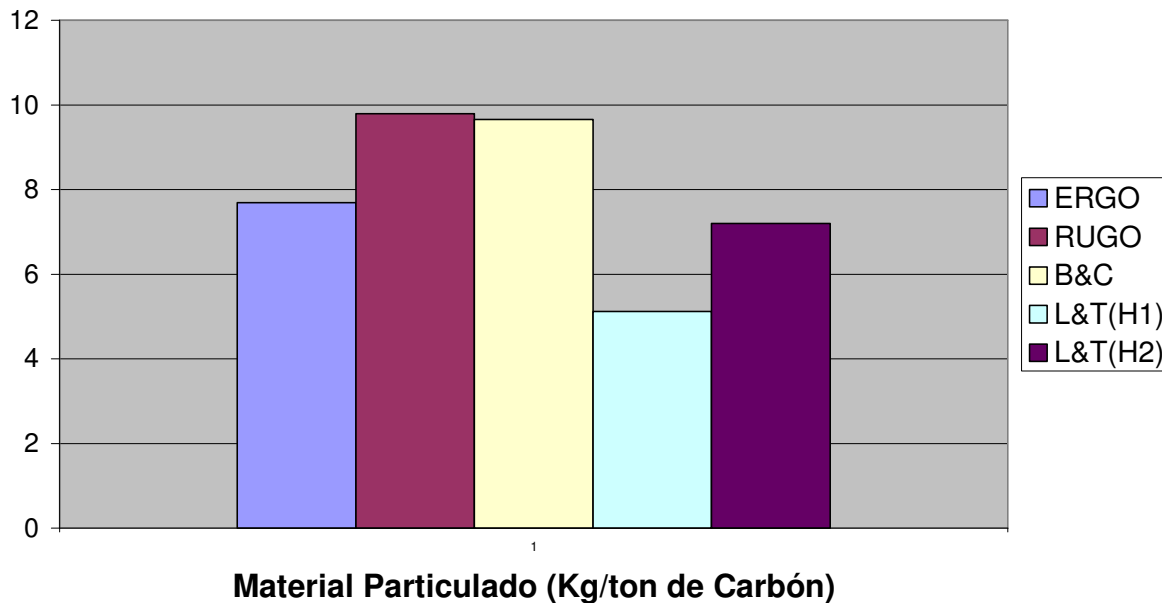
Gráfica No.6. Emisiones Totales de Dióxido de Nitrógeno.

Tal como se observó en las gráficas anteriores la empresa Ladrillos y Tubos es la mayor aportante de contaminantes de las cuatro industrias; sin embargo, esto es fácilmente explicable pues esta empresa es la de mayor producción.

A fin de realizar una comparación de las emisiones entre las cuatro empresas evaluadas en las gráficas 7, 8, 9, 10, y 11 se reportan las emisiones generadas en la etapa de cocción del ladrillo en base al combustible utilizado.

**Gráfica No.7:** en la gráfica se puede observar que las emisiones de material particulado son más altas en la empresa RUGO; sin embargo, las emisiones de este contaminante en todas las empresas es bastante similar.

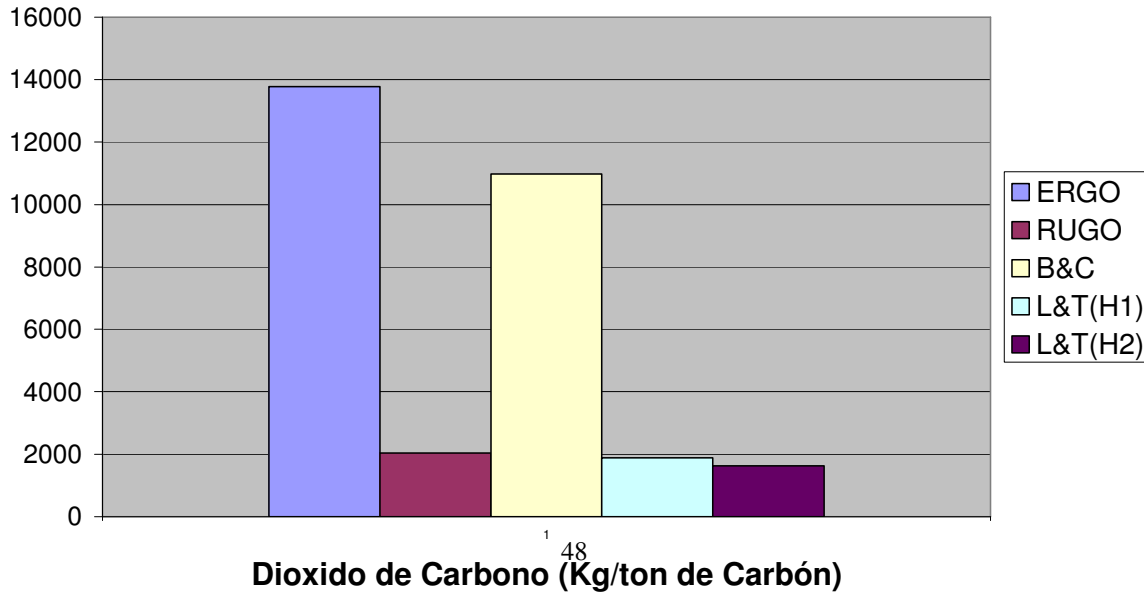
### Emisiones de MP



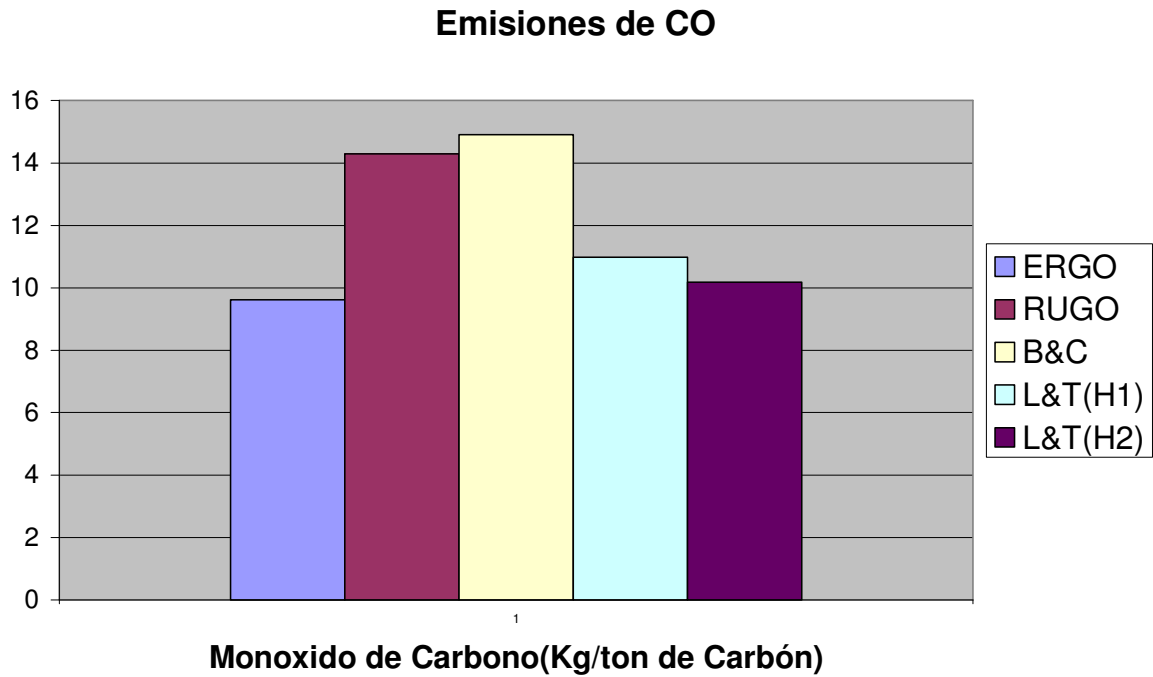
Gráfica No.7 Emisiones de Material Particulado en la Etapa de Cocción.

**Gráfica No.8:** Se observa en la gráfica que existe una gran diferencia en las emisiones de este contaminante entre las empresas evaluadas, tal como se explico anteriormente puede existir dos motivos por los cuales son tan marcadas las diferencias en la emisión.

Gráfica No.8 Emisiones de Dióxido de Carbono en la Etapa de Cocción



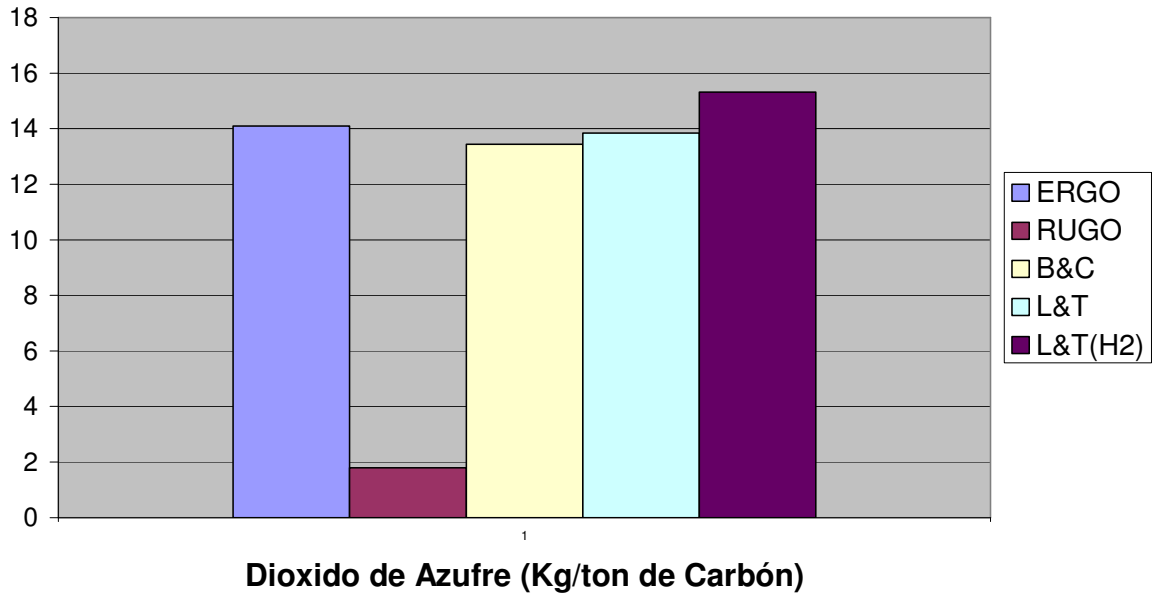
**Gráfica No.9:** Se observa en la grafica que la empresa que más aporta CO por tonelada de combustible es la empresa Bautista Cáceres (B&C); no obstante, estas emisiones son bastantes similares en las cuatro empresas evaluadas.



Gráfica No.9 Emisiones de Monóxido de Carbono en la Etapa de Cocción

**Gráfica No. 10:** se puede observar en la grafica que las emisiones de SO<sub>2</sub> en la mayoría de las empresas son bastante similares; sin embargo, la ladrillera ERGO presenta una emisión de SO<sub>2</sub> bastante baja lo que no es normal pues los porcentajes de azufre en el combustible son muy similares.

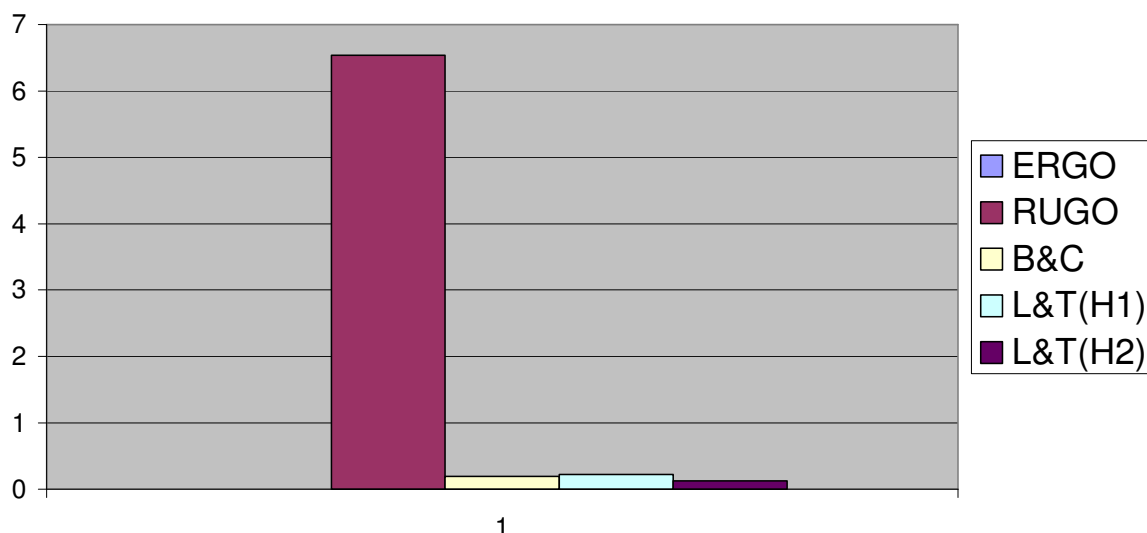
### Emisiones de SO2



Gráfica No.10 Emisiones de Dióxido de Azufre en la Etapa de Cocción.

**Gráfica No. 11:** Como se puede observar en la grafica las emisiones de NO<sub>2</sub> son similares para la mayoría de las plantas evaluadas a excepción de la Ladrillera RUGO la cual presenta una gran emisión de Dióxido de Nitrógeno. Como se menciono anteriormente la diferencia en las emisiones pudo generarse por la variación de la temperatura horno.

### Emisiones de NO<sub>2</sub>



### Emisiones de Dioxido de Nitrogeno (Kg/ton de Carbón)

Gráfica No.11 Emisiones de Dióxido de Azufre en la Etapa de Cocción.

#### 5.1 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LA NORMATIVIDAD AMBIENTAL COLOMBIANA.

Actualmente los límites de emisión de material particulado se encuentran establecidos en el Decreto 02 del 11 de enero de 1982 del Ministerio de Salud de Colombia. Aplicando el artículo 70 del mencionado decreto (Normas de Emisión para Otras Industrias) se comparo si la emisión de material particulado de cada una de las empresas evaluadas cumple con lo establecido en la ley ambiental Colombiana.

En cuanto a las emisiones de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO y CO<sub>2</sub> a la fecha en Colombia no existe ninguna norma que contemple límites de emisión para estos contaminantes.

Tabla No.9. Comparación de la Emisión con el Decreto 02/82.

EMPRESA	PRODUCCIÓN (Kg/H)	EMISIÓN (Kg/h)	NORMA* (Kg/h)
ERGO	3,889	17,068	24,355
RUGO	4,167	19,018	26,395
Bautista Cáceres	2,639	12,463	17,404
Ladrillos y Tubos	6,250	38,710	37,151

Como se puede apreciar en la tabla la única empresa que no cumple con lo establecido en el decreto 02/82 es la empresa Ladrillos y Tubos, esto es a debido a las emisiones extras de material particulado generadas en la etapa de secado artificial.

## CONCLUSIONES

1. La industria ladrillera a gran escala ubicada en el Area Metropolitana de Bucaramanga es un sector una alta generación de contaminantes atmosféricos en las etapas de combustión y manejo de materiales que involucrados en los procesos de fabricación.
2. Comparadas las emisiones de material particulado de este sector industrial con los límites de emisión establecidos en la normatividad ambiental colombiana, se observa que la mayoría de estas empresas se encuentran 30% por debajo del límite permitido a pesar de no contar con equipos de control contaminación atmosférica.
3. Existe una debilidad en la normatividad ambiental colombiana pues no existen normas que limiten las emisiones de gases de combustión ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ ), lo cual impide determinar el impacto generado por estas industrias.
4. La metodología aplica “Manual de Inventarios Desarrollados en México” es una metodología practica para la elaboración de estos tipos de estudios, lo cual facilitara la elaboración de otros inventarios a escalas mayores.
5. La información consignada en este documento facilitara la elaboración de estrategias de control para reducir el impacto generado por este tipo de industrias.

## RECOMENDACIONES

1. Extender este tipo de estudios a otros sectores industriales o generar un inventario regional de emisiones a fin de hacer comparaciones de la actuación en materia de medio ambiente de cada sector industrial para facilitar la gestión ambiental realizada por las autoridades ambientales y la industria en general.
2. Hacer de este inventario un proceso continuo desarrollándolo en ciclos periódicos a fin de mantener esta herramienta a lo largo del tiempo mejorándolo continuamente.
3. Realizar un análisis mas profundo a las emisiones de material particulado; a fin, de establecer su granulometría y composición haciendo hincapié en las trazas de algunos compuestos de interés.
4. Aumentar los recursos económicos y humanos para extender estos estudios y elevar la confiabilidad de los resultados.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ROBERT, E.** Manual de Control de la Calidad del Aire. McGraw Hill, México, 2001.
2. **RADIAN INTERNATIONAL LLC.** Manuales del Programa de Inventarios de Emisiones de México. México, 1997.
3. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY.** Mineral Products Industry. <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/>.
4. **EUROPEAN ENVIROMENT AGENCY.** CORINAIR Emission Inventory Guidebook. <http://reports.eea.eu.int/EMEPCORINAIR4/en>.
5. **CODE OF FEDERAL REGULATIONS. 40/PART 60.** Published by the Office of the Federal Register National Archives and Records Administration. July 1, 1.993
6. **Ministerio del Medio Ambiente.** Decreto 948 de 1995. Bogotá, Junio 5 de 1995.
7. **Ministerio de Salud de Colombia.** Decreto 02 de 1982. Bogotá, Enero 11 de 1982.
8. **Ministerio del Medio Ambiente.** Resolución 619 de 1997. Bogotá, 7 de Julio de 1997.

# **ANEXO 1**

## MEDICIONES LADRILLERA ERGO

### 1. DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA

A continuación se relaciona la fuente fija de emisión atmosférica de la empresa LADRILLERA ERGO, en la cual se realizó evaluación isocinética de material particulado.

#### Descripción de la Chimenea.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Altura ducto de descarga	Metros	17
Diámetro interno del ducto	Metros	0.95
Longitud del Niple	Metros	0.33
Horas de trabajo por día	Horas/día	24
Consumo de combustible	Toneladas/día	2
<b>Combustible utilizado</b>		<b>Carbón Mineral</b>

#### Caracterización del Combustible.

CARACTERÍSTICAS	CARBON
Análisis de Humedad	2.23 %
Análisis de Cenizas	7.67 %
Análisis de Material Volátil	34.88 %
Carbono Fijo	55.22 %
Análisis de Azufre	0.58 %
<b>Poder calorífico (Kcal/Kg)</b>	<b>7430.78</b>

## 2. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO.

Los resultados promedio de los análisis de gases y el peso molecular del gas seco en las emisiones de la fuente evaluada se presentan a continuación.

### Análisis de Gases de Combustión.

TEST	ANÁLISIS ORSAT			
	% CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>
1	10.25	110	7.98	<b>81,759</b>
2	10.24	111	7.68	<b>82,0689</b>
3	10.25	116	7.56	<b>82,1784</b>
Promedio	10.24	112.33	7.74	82,0021

### Calculo del Peso Molecular Promedio del Gas.

CONTAMINANTE	%	PM (Kg/Kmol)	FRACCIÓN
% CO <sub>2</sub>	10,25	44,00	4,51
% CO	0,01	28,00	0,00
% O <sub>2</sub>	7,74	32,00	2,48
% N <sub>2</sub>	82,00	28,00	22,96
<b>PM (Kg/Kmol)</b>			<b>29,94</b>

### 3. MUESTREO ISOCINÉTICO

PUNTO TRANSVERSAL	T (min)	VOL (m <sup>3</sup> )	ΔP (mm. Agua)	ΔH (mm. Agua)	TEMPERATURA DEL MEDIDOR T <sub>m</sub> (°C)		PRESION BOMBA VACIO (pulg. Agua) (-)	Pg (mm. Agua) (-)	TEMP. GASES CHIMENEA T <sub>s</sub> (°C)	TEMP. EN ULTIMO IMPINGER (°C)
					ENTRADA	SALIDA				
	0	34.477								
1	5	34.550	0.6	30.06	30	30	5	1	86	19
2	5	34.634	0.6	30.06	30	30	5	1.4	86	15
3	5	34.717	0.6	30.06	30	30	5	1.4	87	14
4	5	34.800	0.6	30.06	30	30	5	1.4	87	14
5	5	34.887	0.7	35.07	30	30	6	1.6	87	14
6	5	34.984	0.7	35.07	30	30	6	1.6	85	14
7	5	35.081	0.7	35.07	30	30	6	1.6	85	14
8	5	35.181	0.7	35.07	30	30	6	1.8	86	15
9	5	32.272	0.6	30.06	30	30	5	1.6	87	15
10	5	35.360	0.6	30.06	30	30	5	1.4	87	15
11	5	35.435	0.6	30.06	30	30	4	1.2	87	15
12	5	35.503	0.6	30.06	30	30	4	1	83	15
<b>PROMEDIO</b>			<b>0.633</b>		<b>30</b>	<b>30</b>		<b>1.42</b>	<b>86.08</b>	<b>14..91</b>
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>1.026</b>		<b>PRO</b>	<b>30°C</b>					

T<sub>m</sub> = 303 °K

T<sub>s</sub> = 359.1 °K

- PRESION BAROMETRICA: 680mm de Hg.
- DIAMETRO DE LA BOQUILLA: 12 mm
- CONSTANTE ISOCINETICA (k): 50.10
- LONGITUD DE LA SONDA: 6 pies
- LECTURA INICIAL MEDIDOR GAS SECO: 34.477 m<sup>3</sup>
- TASA DE FUGAS: 0,0 m<sup>3</sup>/ minuto

## Datos de Laboratorio para el Muestreo Isocinético

PARAMETRO	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Peso inicial filtro (pi)	g	0.258
Peso final filtro (pf)	g	0.289
Peso partículas en filtro (Mf)	g	0.031
Peso partículas de lavado (Ml)	g	0.070
Volumen Isopropanol de lavado (Viso)	ml	85
Contenido cenizas en isopropanol (Ci)	g/ml	
Peso cenizas en lavado (Mp)	g	
Peso total de partículas (Mn)	g	0.101
Volumen inicial en impactadores ( Vi)	ml	200
Volumen final en impactadores ( Vf)	ml	232
Agua recogida en impactadores (Vf- Vi)	ml	32
Silica inicial en impactadores (Wi)	g	235.6
Silica final en impactadores (Wf)	g	239.3
Agua recogida en silica (Wf-Wi)	g	3.7
Pb	mm. Hg.	680
Pg	mm. H2O	1.42
$\Delta H$	mm. H2O	31.73
Vm	M <sup>3</sup>	1.026
Tm	°K	303
Md	Lb/lbmol	29.94
Cp		0.85
Qm	m <sup>3</sup> /min	20
Kp		34.97
$\Delta P$	mm. H2O	.633
Ts	°C	86.08
Ts	°K	359.1
$\phi n$ utilizado	mm.	12
As	M <sup>2</sup>	.7088
$\theta$	min.	60
Bwm	%	0

### Calculo del Muestreo Isocinético

a) **Presión absoluta en chimenea (Ps).**

$$P_s = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 680 - \frac{1,42}{13,6} = 679,89 \text{ mm.Hg.}$$

b) **Presión absoluta en el medidor (Pm).**

$$P_m = P_b + \frac{\Delta H}{13,6} = 680 + \frac{31,73}{13,6} = 682,33 \text{ mm.Hg.}$$

c) **Volumen de gases medido en condiciones estándar (Vmst).**

$$V_{mst} = K_3 \times Y \times \frac{vm \times \left( P_b + \frac{\Delta H @}{13,6} \right)}{T_m}$$
$$V_{mst} = 0,3858 \times 1,006 \times \frac{1,026 \times \left( 680 + \frac{31,73}{13,6} \right)}{303}$$
$$V_{mst} = 0,8967 \text{ m}^3$$

d) **Volumen del vapor de agua recogida en impactadores y sílica gel en condiciones estándar (Vwst).**

$$V_{wst} = K_2 \times (W_T)$$
$$V_{wst} = 0,001335 \times (35,7) = 0,0477 \text{ m}^3$$

e) **Contenido de humedad en los gases de chimenea (Bws).**

$$B_{ws} = \left( \frac{V_{wst}}{V_{wst} + V_{mst}} \right) \times 100 = \left( \frac{0,0477}{0,0477 + 0,8967} \right) \times 100 = 5,05 \%$$

f) **Peso molecular del gas seco (Md).**

$M_d = 29,94 \text{ Kg/Kmol}$  (Se determinó por medio del Analizador Electroquímico)

**g) Peso molecular gas en condiciones de chimenea ( $M_s$ ).**

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} = 29,94 \times (1 - 0,0505) + 18 \times 0,0505$$

$$M_s = 29,34 \frac{\text{lb}}{\text{lbmol}}$$

**h) Velocidad del gas en la chimenea ( $V_s$ ).**

$$V_s = K_p \times C_p \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{P_s \times M_s}} = 34,97 \times 0,85 \sqrt{\frac{0,633 \times 359,1}{679,89 \times 29,33}} = 3,17 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

**i) Porcentaje de Isocinetismo ( $I\%$ ).**

$$I\% = \frac{k_4 \times T_s \times V_{mst}}{\theta \times V_s \times P_s \times A_n \times [1 - B_{ws}]}$$

$$I\% = \frac{4,320 \times 359,1 \times 0,8967}{60 \times 3,17 \times 679,89 \times \frac{\pi}{4} \left[ \frac{12}{1000} \right]^2 \times [1 - 0,0505]} = 100,07 \%$$

**j) Caudal de gases en condiciones de chimenea ( $Q_s$ ).**

$\phi_s$ : diámetro chimenea = 95 centímetros.

$$A_s = \phi^2 \times \frac{\pi}{4} = \left[ \frac{95}{100} \right]^2 \times \frac{3,1416}{4} = 0,7088 \text{m}^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 3,17 \times 0,7088 \times 60 = 134,95 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

**a) Caudal de gases húmedos en condiciones estándar ( $Q_{sts}$ ).**

Condiciones estándar: 293 °K y 760 mm Hg. (20 °C y 29,92 Pulg Hg.).

$$Q_{sts} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760} = 134.95 \times \frac{293}{359.1} \times \frac{679.89}{760} = 98.51 \frac{m^3}{min}$$

**l) Caudal de gases secos en condiciones estándar (Qstd).**

$$Q_{std} = \left[ \frac{100 - B_{ws}}{100} \right] \times Q_{sts} = \left[ \frac{100 - 0.0505}{100} \right] \times 98.51 = 93.53 \frac{m^3}{min}$$

**m) Caudal gases secos en condiciones de referencia (Qcrd).**

Para pasar de condiciones estándar (20 °C = 293 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg.) a condiciones de referencia (25 ° C = 298 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg) es necesario encontrar un factor de conversión.

$$\text{Factor} = \frac{298}{293} = 1,017$$

$$Q_{crd} = Q_{std} \times 1,017 = 93.53 \times 1,017 = 95.12 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{crd} = 95.12 \frac{m^3}{min} \times 60 = 5707.49 \frac{m^3}{hr}$$

**n) Volumen seco de gases muestreados y a condiciones de referencia (Vmcr).**

$$V_{mcr} = V_{mst} \times 1,017 = 0,8967 \times 1,017 = 0,912 m^3$$

**o) Concentración partículas en condiciones estándar (Cst).**

El peso total de partículas recogidas Mn se calcula con la expresión:

$$M_n = M_f + M_l - M_p$$

Donde:

Mf = Es el peso de partículas recogidas en el filtro,

Ml = Es el peso de partículas recogidas en lavado de sonda y material de vidrio,

Mp = Es el peso de cenizas en el solvente blanco de lavado.

Mp resulta de multiplicar el contenido de cenizas en el solvente de lavado por el volumen utilizado en el lavado. El contenido de cenizas (Cc) reportado por el laboratorio fue de 0,0000 g/ml en 100,0 ml y el volumen de lavado (Vl) fue de 85ml.

$$M_p = C_c \times V_l$$

$$M_p = 0,0000 \frac{g}{ml} \times 85ml = 0,000 g$$

$$M_n = 0,031 + 0,07 + 0,000 = 0,101 g$$

$$C_{st} = \frac{M_n}{V_{mst}} = \frac{0,101}{0,8967} = 0,1126 \frac{g}{m^3}$$

**p) Concentración seca de partículas en condiciones de referencia (C<sub>crd</sub>).**

$$C_{crd} = \frac{M_n}{V_{mcr}} = \frac{0,101}{0,9120} = 0,1107 \frac{g}{m^3}$$

$$C_{crd} = 0,1107 \frac{g}{m^3} \times \frac{1000mg}{g} = 110,748 \frac{mg}{m^3}$$

**q) Emisión total partículas condiciones de referencia y base seca (PTS).**

$$PTS = \frac{Q_{crd} \times C_{crd} \times 60}{1000} = \frac{95,12 \times 0,1107 \times 60}{1000} = 0,6371 \frac{kg}{hr}$$

#### 4. Análisis de los Gases de Combustión.

Para el cálculo de las emisiones de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se debe realizar un cambio en las unidades de ppm a mg/m<sup>3</sup>.

Factores para el cambio de Unidades

De	a	Multiplicar por
ppm NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,05
ppm SO <sub>2</sub>		2,86
ppm CO		1,25
ppm N <sub>2</sub> O		1,96
ppm CH <sub>4</sub>		0,71

#### Concentración de Dióxido de Azufre en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de SO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 72 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{205.92(mg / m^3) * 5707.48(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 10.154\ ton / h$$

### **Concentración de Dióxido de Nitrógeno en Base Seca.**

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de NO<sub>2</sub> en base seca. Las emisiones de este contaminante registraron un valor de 0 ppm, lo cual no indica que no exista esta emisión si que su concertación se encuentra por debajo del limite de detección del equipo.

### **Concentración de Monóxido de Carbono Base Seca.**

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 112.33 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{140.412(mg / m^3) * 5707.48(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 6.924\ ton / h$$

### **Concentración de Dióxido de Carbono Base Seca.**

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio un porcentaje de 10.24% con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{\%CO_2 * 44(Kg / Kmol) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{10.24 * 44(Kg / Kmol) * 5707.48(m^3 / h) * (8640\ h)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)} = 99818.88\ ton / año$$

## **ANEXO 2**

## MEDICIONES LADRILLERA BAUTISTA CACERES

### 1. DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA

A continuación se relaciona la fuente fija de emisión atmosférica de la empresa LADRILLERA BAUTISTA CACERES, en la cual se realizó evaluación isocinética de material particulado.

#### Descripción de la Chimenea.

CARACTERISTICAS	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Altura ducto de descarga	Metros	16
Diámetro interno del ducto	Metros	0.97
Longitud del Niple	Metros	0.12
Horas de trabajo por día	Horas/día	24
Consumo de combustible	Toneladas/día	3.3
<b>Combustible utilizado</b>		<b>Carbón Mineral+Tamo de Café</b>

#### Caracterización del Combustible.

CARACTERÍSTICAS	CARBON+TAMO
Análisis de Humedad	5.14 %
Análisis de Cenizas	9.13 %
Análisis de Material Volátil	41.37 %
Carbono Fijo	44.36 %
Análisis de Azufre	0.586 %
<b>Poder calorífico (Kcal/Kg)</b>	<b>5892.76</b>

## 2. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO.

Los resultados promedio de los análisis de gases y el peso molecular del gas seco en las emisiones de la fuente evaluada se presentan a continuación.

### Análisis de Gases de Combustión.

TEST	ANÁLISIS ORSAT			
	% CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>
1	6,27	170	8,25	<b>85,463</b>
2	7,49	174	8,26	<b>84,2326</b>
3	7,65	175	8,24	<b>84,0925</b>
Promedio	7,14	174	8,25	84,6

### Calculo del Peso Molecular Promedio del Gas.

CONTAMINANTE	%	PM (Kg/Kmol)	FRACCIÓN
% CO <sub>2</sub>	7,14	44,00	3,14
% CO	0,02	28,00	0,00
% O <sub>2</sub>	8,25	32,00	2,64
% N <sub>2</sub>	84,60	28,00	23,69
<b>PM (Kg/Kmol)</b>			<b>29,47</b>

### 3. MUESTREO ISOCINÉTICO

PUNTO TRANSVERSAL	T (min)	VOL (m <sup>3</sup> )	ΔP (mm. Agua)	ΔH (mm. Agua)	TEMPERATURA DEL MEDIDOR T <sub>m</sub> (°C)		PRESION BOMBA VACIO (pulg. Agua) (-)	Pg (mm. Agua) (-)	TEMP. GASES CHIMENEA T <sub>s</sub> (°C)	TEMP. EN ULTIMO IMPINGER (°C)	
					ENTRADA	SALIDA					
	0	31.880									
1	5	31.934	2	31.2	32	32	3	1.4	72	14	
2	5	32.012	1.8	28.08	32	32	3	1	74	13	
3	5	32.099	2.1	37.44	32	32	3	1.4	74	13	
4	5	32.187	2	31.2	32	32	5	1.8	74	13	
5	5	32.276	2	31.2	32	32	4.8	1.8	73	13	
6	5	32.359	2	31.2	32	32	4	1.8	73	13	
7	5	32.448	2	31.2	32	32	4.8	1.8	73	15	
8	5	32.537	1.8	28.08	32	32	4.6	1.8	74	15	
9	5	32.617	2	31.2	32	32	5	1.8	73	15	
10	5	32.694	2	31.2	32	32	5	1.8	75	15	
11	5	32.778	2	31.2	32	32	5	1.6	75	15	
12	5	32.866	2	31.2	32	32	4.8	1.4	75	15	
<b>PROMEDIO</b>		<b>0.986</b>	<b>2</b>	<b>31.2</b>	<b>32</b>	<b>32</b>		<b>1.61</b>	<b>73.75</b>	<b>14.1</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>			<b>PRO</b>	<b>32°C</b>						
					T <sub>m</sub> = 305 °K						
							T <sub>s</sub> = 346.1 °K				

- PRESION BAROMETRICA: 680mm de Hg.
- DIAMETRO DE LA BOQUILLA: 9 mm
- CONSTANTE ISOCINETICA (k): 15.6
- LONGITUD DE LA SONDA: 6 pies
- LECTURA INICIAL MEDIDOR GAS SECO: 31.880 m<sup>3</sup>
- TASA DE FUGAS: 0,0 m<sup>3</sup>/ minuto

## Datos de Laboratorio para el Muestreo Isocinético

PARAMETRO	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Peso inicial filtro (pi)	g	0.259
Peso final filtro (pf)	g	0.285
Peso partículas en filtro (Mf)	g	0.026
Peso partículas de lavado (Ml)	g	0.080
Volumen Isopropanol de lavado (Viso)	ml	85
Contenido cenizas en isopropanol (Ci)	g/ml	0
Peso cenizas en lavado (Mp)	g	0
Peso total de partículas (Mn)	g	0.105
Volumen inicial en impactadores ( Vi)	ml	200
Volumen final en impactadores ( Vf)	ml	234
Agua recogida en impactadores (Vf-	ml	34
Silica inicial en impactadores (Wi)	g	240.1
Silica final en impactadores (Wf)	g	246.35
Agua recogida en silica (Wf-Wi)	g	6.25
Pb	mm. Hg.	680
Pg	mm. H2O	1.61
$\Delta H$	mm. H2O	31.2
Vm	M <sup>3</sup>	.986
Tm	°K	305
Md	Lb/lbmol	29.48
Cp		.85
Qm	m <sup>3</sup> /min	20
Kp		34.97
$\Delta P$	mm. H2O	2
Ts	°C	73.75
Ts	°K	346.75
$\phi n$ utilizado	mm.	9
As	M <sup>2</sup>	0.7390
$\theta$	min.	60
Bwm	%	0

### Calculo del Muestreo Isocinético

a) **Presión absoluta en chimenea (Ps).**

$$P_s = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 680 - \frac{1,61}{13,6} = 679,88 \text{ mm.Hg.}$$

b) **Presión absoluta en el medidor (Pm).**

$$P_m = P_b + \frac{\Delta H}{13,6} = 680 + \frac{31,2}{13,6} = 679,88 \text{ mm.Hg.}$$

c) **Volumen de gases medido en condiciones estándar (Vmst).**

$$V_{mst} = K_3 \times Y \times \frac{vm \times \left( P_b + \frac{\Delta H @}{13,6} \right)}{T_m}$$
$$V_{mst} = 0,3858 \times 1,006 \times \frac{1,026 \times \left( 680 + \frac{31,2}{13,6} \right)}{305}$$
$$V_{mst} = 0,8561 \text{ m}^3$$

d) **Volumen del vapor de agua recogida en impactadores y sílica gel en condiciones estándar (Vwst).**

$$V_{wst} = K_2 \times (W_T)$$
$$V_{wst} = 0,001335 \times (40,25) = 0,0537 \text{ m}^3$$

e) **Contenido de humedad en los gases de chimenea (Bws).**

$$B_{ws} = \left( \frac{V_{wst}}{V_{wst} + V_{mst}} \right) \times 100 = \left( \frac{0,0537}{0,0537 + 0,8561} \right) \times 100 = 5.9\%$$

**f) Peso molecular del gas seco (Md).**

$M_d = 29,48 \text{ Kg/Kmol}$  (Se determinó por medio del Analizador Electroquímico)

**g) Peso molecular gas en condiciones de chimenea (Ms).**

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} = 29,48 \times (1 - 0,059) + 18 \times 0,059$$

$$M_s = 28.80 \frac{lb}{lbmol}$$

**h) Velocidad del gas en la chimenea (Vs).**

$$V_s = K_p \times C_p \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{P_s \times M_s}} = 34.97 \times 0,85 \sqrt{\frac{2 \times 346.75}{679.88 \times 28.8}} = 5.59 \frac{m}{seg}$$

**i) Porcentaje de Isocinetismo (I%).**

$$I\% = \frac{k_4 \times T_s \times V_{mst}}{\theta \times V_s \times P_s \times A_n \times [1 - B_{ws}]}$$

$$I\% = \frac{4,320 \times 346.75 \times 0,8561}{60 \times 5.59 \times 679.88 \times \frac{\pi}{4} \left[ \frac{9}{1000} \right]^2 \times [1 - 0,059]} = 93.88\%$$

**j) Caudal de gases en condiciones de chimenea (Qs).**

$\varphi_s$ : diámetro chimenea = 97 centímetros.

$$A_s = \phi^2 \times \frac{\pi}{4} = \left[ \frac{97}{100} \right]^2 \times \frac{3,1416}{4} = 0,739 m^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 5.59 \times 07390 \times 60 = 248.0251 \frac{m^3}{min}$$

**b) Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Qsts).**

Condiciones estándar: 293 °K y 760 mm Hg. (20 °C y 29,92 Pulg. Hg.).

$$Q_{sts} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760} = 248.0251 \times \frac{293}{346.75} \times \frac{679.88}{760} = 187.485 \frac{m^3}{min}$$

**l) Caudal de gases secos en condiciones estándar (Qstd).**

$$Q_{std} = \left[ \frac{100 - B_{ws}}{100} \right] \times Q_{sts} = \left[ \frac{100 - 0.059}{100} \right] \times 187.485 = 176.412 \frac{m^3}{min}$$

**m) Caudal gases secos en condiciones de referencia (Qcrd).**

Para pasar de condiciones estándar (20 °C = 293 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg.) a condiciones de referencia (25 ° C = 298 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg) es necesario encontrar un factor de conversión.

$$\text{Factor} = \frac{298}{293} = 1,017$$

$$Q_{crd} = Q_{std} \times 1,017 = 176.412 \times 1,017 = 179.41 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{crd} = 179.41 \frac{m^3}{min} \times 60 = 10764.65 \frac{m^3}{hr}$$

n) **Volumen seco de gases muestreados y a condiciones de referencia (Vmcr).**

$$V_{mcr} = V_{mst} \times 1,017 = 0,8561 \times 1,017 = 0,8706 \text{ m}^3$$

o) **Concentración partículas en condiciones estándar (Cst).**

El peso total de partículas recogidas Mn se calcula con la expresión:

$$M_n = M_f + M_l - M_p$$

Donde:

Mf = Es el peso de partículas recogidas en el filtro,

Ml = Es el peso de partículas recogidas en lavado de sonda y material de vidrio,

Mp = Es el peso de cenizas en el solvente blanco de lavado.

Mp resulta de multiplicar el contenido de cenizas en el solvente de lavado por el volumen utilizado en el lavado. El contenido de cenizas (Cc) reportado por el laboratorio fue de 0,0000 g/ml en 100,0 ml y el volumen de lavado (Vl) fue de 85ml.

$$M_p = C_c \times V_l$$

$$M_p = 0,0000 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 85 \text{ ml} = 0,000 \text{ g}$$

$$M_n = 0,026 + 0,08 + 0,000 = 0,106 \text{ g}$$

$$C_{st} = \frac{M_n}{V_{mst}} = \frac{0,106}{0,8561} = 0,1238 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

p) **Concentración seca de partículas en condiciones de referencia (Ccrd).**

$$C_{crd} = \frac{M_n}{V_{mcr}} = \frac{0,106}{0,8706} = 0,1218 \frac{\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$C_{crd} = 0,1218 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \times \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}} = 121,7520 \frac{\text{mg}}{\text{m}^3}$$

q) **Emisión total partículas condiciones de referencia y base seca (PTS).**

$$PTS = \frac{Q_{crd} \times C_{crd} \times 60}{1000} = \frac{179.41 \times 0.1218 \times 60}{1000} = 1.3106 \frac{kg}{hr}$$

#### 4. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

Para el calculo de las emisiones de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se debe realizar un cambio en las unidades de ppm a mg/m<sup>3</sup>.

Factores para el cambio de Unidades

De	a	Multiplicar por
ppm NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,05
ppm SO <sub>2</sub>		2,86
ppm CO		1,25
ppm N <sub>2</sub> O		1,96
ppm CH <sub>4</sub>		0,71

### Concentración de Dióxido de Azufre en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de SO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 60 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg/m^3) * Q_R(m^3/h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{171.6(mg/m^3) * 10764.65(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 15.95\ ton/h$$

### Concentración de Dióxido de Nitrógeno en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de NO<sub>2</sub> en base seca. Las emisiones de este contaminante registraron un valor de de 1.2 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg/m^3) * Q_R(m^3/h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{2.46(mg/m^3) * 10764.65(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 0.228\ ton/h$$

### Concentración de Monóxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 152.31 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{190.38(mg / m^3) * 5707.48(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 17.70\ ton / h$$

### Concentración de Dióxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio un porcentaje de 7.14% con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{\%CO_2 * 44(Kg / Kmol) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{7.14 * 44(Kg / Kmol) * 5707.48(m^3 / h) * (8640\ h)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)} = 13044.17\ ton / año$$

# **ANEXO 3**

## MEDICIONES LADRILLERA RUGO

### 1. DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA

A continuación se relaciona la fuente fija de emisión atmosférica de la empresa LADRILLERA RUGO, en la cual se realizó evaluación isocinética de material particulado.

#### Descripción de la Chimenea.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Altura ducto de descarga	Metros	17
Diámetro interno del ducto	Metros	0.9
Longitud del Niple	Metros	0.10
Horas de trabajo por día	Horas/día	24
Consumo de combustible	Toneladas/día	3.5
<b>Combustible utilizado</b>		<b>Carbón Mineral</b>

#### Caracterización del Combustible.

CARACTERÍSTICAS	CARBON+TAMO
Análisis de Humedad	0.7%
Análisis de Cenizas	5.3%
Análisis de Material Volátil	38.6%
Carbono Fijo	55.4%
Análisis de Azufre	0.84%
<b>Poder calorífico (Kcal/Kg)</b>	<b>7.949</b>

## 2. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO.

Los resultados promedio de los análisis de gases y el peso molecular del gas seco en las emisiones de la fuente evaluada se presentan a continuación.

### Análisis de Gases de Combustión.

TEST	ANÁLISIS ORSAT			
	% CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>
1	9	2077	16,6	<b>74,1923</b>
2	9	2077	16,5	<b>74,2923</b>
3	9	2076	16,5	<b>74,2924</b>
Promedio	9	2076,667	16,53333	74,259

### Calculo del Peso Molecular Promedio del Gas.

CONTAMINANTE	%	PM (Kg/Kmol)	FRACCIÓN
% CO <sub>2</sub>	9,00	44,00	3,96
% CO	0,21	28,00	0,06
% O <sub>2</sub>	16,53	32,00	5,29
% N <sub>2</sub>	74,26	28,00	20,79
<b>PM (Kg/Kmol)</b>			<b>30,2</b>

### 3. MUESTREO ISOCINÉTICO

PUNTO TRANSVERSAL	T (min)	VOL (m <sup>3</sup> )	ΔP (mm. Agua)	ΔH (mm. Agua)	TEMPERATURA DEL MEDIDOR T <sub>m</sub> (°C)		PRESION BOMBA VACIO (pulg. Agua) (-)	Pg (mm. Agua) (-)	TEMP. GASES CHIMENEA T <sub>s</sub> (°C)	TEMP. EN ULTIMO IMPINGER (°C)
					ENTRADA	SALIDA				
	0	13.206								
1	5	13.290	4.0	28.9	31	31	3	5.8	122	26
2	5	13.374	4.0	28.9	31	31	3	6.4	123	24
3	5	13.457	4.1	29.6	31	31	3	7.8	124	23
4	5	13.540	4.2	30.3	31	31	3	9.0	124	23
5	5	13.623	4.2	30.3	31	31	3	9.4	123	22
6	5	13.706	4.4	31.8	31	31	3	8.8	122	22
7	5	13.790	4.0	28.9	31	32	3	7.4	119	22
8	5	13.875	4.1	29.6	31	32	3	7.4	120	23
9	5	13.957	4.2	30.3	31	32	3	8.2	121	22
10	5	14.041	4.2	30.3	31	32	3	7.8	122	22
11	5	14.124	4.4	31.8	32	32	3	8.4	120	22
12	5	14.208	4.4	31.8	32	32	3	8.4	117	22
<b>PROMEDIO</b>			<b>4.2</b>	<b>30.2</b>	<b>31.2</b>	<b>31.5</b>		<b>7.9</b>	<b>121.4</b>	<b>14.1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>1.002</b>		<b>PRO</b>	<b>31.4°C</b>					

T<sub>m</sub> = 304.4 °K

T<sub>s</sub> = 394.4 °K

- PRESION BAROMETRICA: 680mm de Hg.
- DIAMETRO DE LA BOQUILLA: 7.9375 mm
- CONSTANTE ISOCINETICA (k): 7.22
- LONGITUD DE LA SONDA: 6 pies
- LECTURA INICIAL MEDIDOR GAS SECO: 13.206 m<sup>3</sup>
- TASA DE FUGAS: 0,0 m<sup>3</sup>/minuto

## Datos de Laboratorio para el Muestreo Isocinético

PARAMETRO	UNIDADES	HORNO HOFFMAN
Peso inicial filtro (pi)	g	0.25767
Peso final filtro (pf)	g	0.40891
Peso partículas en filtro (Mf)	g	0.15124
Peso partículas de lavado (Ml)	g	0.0042
Volumen Isopropanol de lavado (Viso)	ml	85,0
Contenido cenizas en isopropanol (Ci)	g/ml	0,0000
Peso cenizas en lavado (Mp)	g	0,0000
Peso total de partículas (Mn)	g	0.15544
Volumen inicial en impactadores ( Vi)	ml	200,0
Volumen final en impactadores ( Vf)	ml	231,0
Agua recogida en impactadores (Vf-	ml	31,0
Silica inicial en impactadores (Wi)	g	207,4
Silica final en impactadores (Wf)	g	217.6
Agua recogida en silica (Wf-Wi)	g	10.2
Pb	mm. Hg.	675
Pg	mm. H2O	7.9
ΔH	mm. H2O	30.2
Vm	M <sup>3</sup>	1.002
Tm	°K	304,4
Md	Lb/lbmol	30.27
Cp		0,85
Qm	m <sup>3</sup> /min	20
Kp		34,97
ΔP	mm. H2O	4.2
Ts	°C	121.4
Ts	°K	394.4
φn utilizado	mm.	7,9375
As	M <sup>2</sup>	0.64
θ	min.	60
Bwm	%	0,0

### Calculo del Muestreo Isocinético

a) **Presión absoluta en chimenea (Ps).**

$$P_s = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 675 + \frac{7.9}{13,6} = 675.58 \text{ mm.Hg.}$$

b) **Presión absoluta en el medidor (Pm).**

$$P_m = P_b + \frac{\Delta H}{13,6} = 675 + \frac{30.2}{13,6} = 677.2 \text{ mm.Hg.}$$

c) **Volumen de gases medido en condiciones estándar (Vmst).**

$$V_{mst} = K_3 \times Y \times \frac{vm \times \left( P_b + \frac{\Delta H @}{13,6} \right)}{T_m}$$
$$V_{mst} = 0,3858 \times 1,004 \times \frac{1.002 \times \left( 675 + \frac{30.2}{13,6} \right)}{304.4}$$
$$V_{mst} = 0,863 \text{ m}^3$$

d) **Volumen del vapor de agua recogida en impactadores y sílica gel en condiciones estándar (Vwst).**

$$V_{wst} = K_2 \times (W_T)$$
$$V_{wst} = 0,001335 \times (41.2) = 0.055 \text{ m}^3$$

e) **Contenido de humedad en los gases de chimenea (Bws).**

$$B_{ws} = \left( \frac{V_{wst}}{V_{wst} + V_{mst}} \right) \times 100 = \left( \frac{0,055}{0,055 + 0,863} \right) \times 100 = 6\%$$

f) **Peso molecular del gas seco (Md).**

$M_d = 30.27 \text{ Kg/Kmol}$  (Se determinó por medio del Analizador Electroquímico)

**g) Peso molecular gas en condiciones de chimenea ( $M_s$ ).**

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} = 30.27 \times (1 - 0,06) + 18 \times 0,06$$

$$M_s = 29.53 \frac{lb}{lbmol}$$

**h) Velocidad del gas en la chimenea ( $V_s$ ).**

$$V_s = K_p \times C_p \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{P_s \times M_s}} = 34.97 \times 0,85 \sqrt{\frac{4.2 \times 394.4}{675.58 \times 29.53}} = 8.56 \frac{m}{seg}$$

**i) Porcentaje de Isocinetismo ( $I\%$ ).**

$$I\% = \frac{k_4 \times T_s \times V_{mst}}{\theta \times V_s \times P_s \times A_n \times [1 - B_{ws}]}$$

$$I\% = \frac{4,320 \times 394.4 \times 0,863}{60 \times 8.56 \times 675.58 \times \frac{\pi}{4} \left[ \frac{7.9375}{1000} \right]^2 \times [1 - 0,06]} = 91.05\%$$

**j) Caudal de gases en condiciones de chimenea ( $Q_s$ ).**

$\varphi_s$ : diámetro chimenea = 90 centímetros.

$$A_s = \varphi^2 \times \frac{\pi}{4} = \left[ \frac{90}{100} \right]^2 \times \frac{3,1416}{4} = 0,636 m^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 8.56 \times 0.636 \times 60 = 326.65 \frac{m^3}{min}$$

**c) Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Q<sub>sts</sub>).**

Condiciones estándar: 293 °K y 760 mm Hg. (20 °C y 29,92 Pulg Hg.).

$$Q_{sts} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760} = 326.65 \times \frac{293}{394.4} \times \frac{675.58}{760} = 215.71 \frac{m^3}{min}$$

**l) Caudal de gases secos en condiciones estándar (Q<sub>std</sub>).**

$$Q_{std} = \left[ \frac{100 - B_{ws}}{100} \right] \times Q_{sts} = \left[ \frac{100 - 0.06}{100} \right] \times 215.71 = 202.76 \frac{m^3}{min}$$

**m) Caudal gases secos en condiciones de referencia (Q<sub>crd</sub>).**

Para pasar de condiciones estándar (20 °C = 293 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg.) a condiciones de referencia (25 ° C = 298 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg) es necesario encontrar un factor de conversión.

$$\text{Factor} = \frac{298}{293} = 1,017$$

$$Q_{crd} = Q_{std} \times 1,017 = 206.76 \times 1,017 = 179.41 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{crd} = 206.21 \frac{m^3}{min} \times 60 = 12372.6 \frac{m^3}{hr}$$

**n) Volumen seco de gases muestreados y a condiciones de referencia (V<sub>mcr</sub>).**

$$V_{mcr} = V_{mst} \times 1,017 = 0,863 \times 1,017 = 0,8776 m^3$$

**o) Concentración partículas en condiciones estándar (C<sub>st</sub>).**

El peso total de partículas recogidas Mn se calcula con la expresión:

$$M_n = M_f + M_l - M_p$$

Donde:

Mf = Es el peso de partículas recogidas en el filtro,  
 Ml = Es el peso de partículas recogidas en lavado de sonda y material de vidrio,  
 Mp = Es el peso de cenizas en el solvente blanco de lavado.

Mp resulta de multiplicar el contenido de cenizas en el solvente de lavado por el volumen utilizado en el lavado. El contenido de cenizas (Cc) reportado por el laboratorio fue de 0,0000 g/ml en 100,0 ml y el volumen de lavado (Vl) fue de 85ml.

$$M_p = C_c \times V_l$$

$$M_p = 0,0000 \frac{g}{ml} \times 85ml = 0,000 g$$

$$M_n = 0,15124 + 0,0042 + 0,000 = 0,15544 g$$

$$C_{st} = \frac{M_n}{V_{mst}} = \frac{0,15544}{0,863} = 0,1801 \frac{g}{m^3}$$

**p) Concentración seca de partículas en condiciones de referencia (Ccrd).**

$$C_{crd} = \frac{M_n}{V_{mcr}} = \frac{0,15544}{0,8776} = 0,1771 \frac{g}{m^3}$$

$$C_{crd} = 0,1771 \frac{g}{m^3} \times \frac{1000mg}{g} = 177,12 \frac{mg}{m^3}$$

**q) Emisión total partículas condiciones de referencia y base seca (PTS).**

$$PTS = \frac{Q_{crd} \times C_{crd} \times 60}{1000} = \frac{206,21 \times 0,1771 \times 60}{1000} = 2,19 \frac{kg}{hr}$$

#### 4. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

Para el cálculo de las emisiones de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se debe realizar un cambio en las unidades de ppm a mg/m<sup>3</sup>.

Factores para el cambio de Unidades

De	a	Multiplicar por
ppm NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,05
ppm SO <sub>2</sub>		2,86
ppm CO		1,25
ppm N <sub>2</sub> O		1,96
ppm CH <sub>4</sub>		0,71

#### Concentración de Dióxido de Azufre en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de SO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 9 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones \left( \frac{ton}{año} \right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas de Funcionamiento en el año)}{10^9}$$

$$Emisiones \left( \frac{ton}{año} \right) = \frac{25.74(mg / m^3) * 10764.65(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 2.24 ton / h$$

### Concentración de Dióxido de Nitrógeno en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de NO<sub>2</sub> en base seca. Las emisiones de este contaminante registraron un valor de de 47 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{96.35(mg / m^3) * 10764.65(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 8.41\ ton / h$$

### Concentración de Monóxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio la concentración de 2077 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{2596.25(mg / m^3) * 5707.48(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 226.78\ ton / h$$

### Concentración de Dióxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea del Horno Hoffman dio un porcentaje de 1.5% con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{\%CO_2 * 44(Kg / Kmol) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{1.5 * 44(Kg / Kmol) * 5707.48(m^3 / h) * (8640\ h)}{10^5 * 22.4(Kmol / m^3)} = 3149.7\ ton / año$$

# **ANEXO 4**

## MEDICIONES LADRILLERA LADRILLOS Y TUBOS

### 1. DESCRIPCIÓN DE LA CHIMENEA

A continuación se relaciona la fuente fija de emisión atmosférica de la empresa LADRILLERA LADRILLOS Y TUBOS, en la cual se realizó evaluación isocinética de material particulado.

#### Descripción de la Chimenea.

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	HORNO HOFFMAN 1	HORNO HOFFMAN 2
Altura ducto de descarga	Metros	17	17
Diámetro interno del ducto	Metros	1	1
Longitud del Niple	Metros	19.5	19.5
Horas de trabajo por día	Horas/día	24	24
Consumo de combustible	Toneladas/día	6.3	6.7
<b>Combustible utilizado</b>		<b>Carbón Mineral</b>	<b>Carbón Mineral</b>

#### Caracterización del Combustible.

CARACTERÍSTICAS	CARBON+TAMO
Análisis de Cenizas	12.8%
Poder calorífico (Kcal/Kg)	6347

## 2. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN Y DETERMINACIÓN DEL PESO MOLECULAR DEL GAS SECO.

Los resultados promedio de los análisis de gases y el peso molecular del gas seco en las emisiones de la fuente evaluada se presentan a continuación.

### Análisis de Gases de Combustión.

TEST	ANÁLISIS ORSAT HORNO HOFFMAN 1			
	% CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>
1	1,47	131	7,76	<b>90,7569</b>
2	1,59	139	7,76	<b>90,6361</b>
3	1,23	121	7,76	<b>90,9979</b>
Promedio	1,43	130,3333	7,76	90,79697

### Calculo del Peso Molecular Promedio del Gas.

CONTAMINANTE	%	PM (Kg/Kmol)	FRACCIÓN
% CO <sub>2</sub>	1,43	44,00	0,63
% CO	0,01	28,00	0,00
% O <sub>2</sub>	7,76	32,00	2,48
% N <sub>2</sub>	90,80	28,00	25,42
<b>PM (Kg/Kmol)</b>			<b>28,54</b>

### Análisis de Gases de Combustión.

TEST	ANÁLISIS ORSAT HORNO HOFFMAN 2			
	% CO <sub>2</sub>	CO (ppm)	% O <sub>2</sub>	% N <sub>2</sub>
1	1,38	128	7,48	<b>91,1272</b>
2	1,38	127	7,48	<b>91,1273</b>
3	1,38	126	7,48	<b>91,1274</b>
Promedio	1,38	127	7,48	91,1273

### Calculo del Peso Molecular Promedio del Gas.

CONTAMINANTE	%	PM	FRACCIÓN
--------------	---	----	----------

		(Kg/Kmol)	
% CO <sub>2</sub>	1,38	44,00	0,61
% CO	0,01	28,00	0,00
% O <sub>2</sub>	7,48	32,00	2,39
% N <sub>2</sub>	91,13	28,00	25,52
<b>PM (Kg/Kmol)</b>			<b>28,52</b>

### 3. MUESTREO ISOCINÉTICO

#### HORNO HOFFMAN 1.

PUNTO TRANSVERSAL	T (min)	VOL (m <sup>3</sup> )	ΔP (mm. Agua)	ΔH (mm. Agua)	TEMPERATURA DEL MEDIDOR T <sub>m</sub> (°C)		PRESION BOMBA VACIO (pulg. Agua) (-)	Pg (mm. Agua) (-)	TEMP. GASES CHIMENEA T <sub>s</sub> (°C)	TEMP. EN ULTIMO IMPINGER (°C)
					ENTRADA	SALIDA				
	0	27.998								
1	5	28.129	5.1	37.08	34	34	3.4	4.0	107	20
2	5	28.253	5.2	37.80	34	34	3.4	3.6	110	22
3	5	28.336	5.0	36.35	34	34	3.4	4.0	111	20
4	5	28.430	5.2	37.80	33	33	3.4	3.6	110	16
5	5	28.530	5.0	36.35	33	33	3.4	4.0	110	16
6	5	28.604	5.0	36.35	33	33	3.4	3.8	110	16
7	5	28.700	5.0	36.35	33	33	3.4	3.8	107	16
8	5	28.785	5.2	37.80	33	33	3.4	3.8	110	16
9	5	28.870	4.8	34.90	33	33	3.4	4.0	110	16
10	5	28.972	5.2	37.80	33	33	3.4	3.6	111	17
11	5	29.080	4.6	33.44	34	34	3.8	3.6	111	17
12	5	29.160	5.0	36.35	34	34	3.8	3.6	109	17
<b>PROMEDIO</b>			<b>5</b>	<b>36.56</b>	<b>33.9</b>	<b>33.9</b>		<b>3.8</b>	<b>109.6</b>	<b>14.1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>1.162</b>		<b>PRO</b>	<b>31.4°C</b>					

$$T_m = 304.4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_s = 394.4 \text{ } ^\circ\text{K}$$

- PRESION BAROMETRICA: 680mm de Hg.
- DIAMETRO DE LA BOQUILLA: 7.9375 mm
- CONSTANTE ISOCINETICA (k): 7.27
- LONGITUD DE LA SONDA: 6 pies
- LECTURA INICIAL MEDIDOR GAS SECO: 27.998 m<sup>3</sup>
- TASA DE FUGAS: 0,0 m<sup>3</sup>/minuto

## HORNO HOFFMAN 2.

PUNTO TRANSVERSAL	T (min)	VOL (m <sup>3</sup> )	ΔP (mm. Agua)	ΔH (mm. Agua)	TEMPERATURA DEL MEDIDOR T <sub>m</sub> (°C)		PRESION BOMBA VACIO (pulg. Agua) (-)	Pg (mm. Agua) (-)	TEMP. GASES CHIMENEA T <sub>s</sub> (°C)	TEMP. EN ULTIMO IMPINGER (°C)	
					ENTRADA	SALIDA					
	0	31.886									
1	5	31.978	4.2	34.63	33	33	3.4	3.4	81	19	
2	5	32.067	3.8	29.91	33	33	3.4	3.4	81	20	
3	5	32.148	4.2	33.05	33	33	3.4	3.2	82	18	
4	5	32.223	4.0	31.48	33	33	3.4	3.2	82	20	
5	5	32.314	4.2	33.05	33	33	3.4	3.2	82	19	
6	5	32.394	4.2	33.05	33	33	3.4	3.6	81	19	
7	5	32.486	4.0	31.48	33	33	3.4	3.2	81	19	
8	5	32.578	4.2	34.63	33	33	3.4	3.2	82	19	
9	5	32.660	3.8	29.91	33	33	3.8	3.3	81	19	
10	5	32.753	4.0	31.48	33	33	3.8	3.4	81	20	
11	5	32.840	4.2	33.05	32	33	3.8	3.6	81	19	
12	5	32.932	4.2	34.63	32	33	3.8	3.5	81	19	
<b>PROMEDIO</b>			<b>4.1</b>	<b>32.53</b>	<b>33</b>	<b>33</b>		<b>3.4</b>	<b>81.3</b>	<b>19.1</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>1.05</b>		<b>PRO</b>	<b>33°C</b>						
							<b>T<sub>m</sub> = 306 °K</b>				
								<b>T<sub>s</sub> = 354 °K</b>			

- PRESION BAROMETRICA: 680mm de Hg.
- DIAMETRO DE LA BOQUILLA: 7.9375 mm
- CONSTANTE ISOCINETICA (k): 7.87
- LONGITUD DE LA SONDA: 6 pies
- LECTURA INICIAL MEDIDOR GAS SECO: 31.886 m<sup>3</sup>
- TASA DE FUGAS: 0,0 m<sup>3</sup> / minuto

### Datos de Laboratorio para el Muestreo Isocinético

PARAMETRO	UNIDADES	HORNO HOFFMAN 1	HORNO HOFFMAN 2
Peso inicial filtro (pi)	g	0.2590	0.2590
Peso final filtro (pf)	g	0,2762	0,2791
Peso partículas en filtro (Mf)	g	0.0172	0.0201
Peso partículas de lavado (MI)	g	0,0621	0,0931
Volumen Isopropanol de lavado	ml	85,0	85,0
Contenido cenizas en isopropanol (CI)	g/ml	0,0000	0,0000
Peso cenizas en lavado (Mp)	g	0,0000	0,0000
Peso total de partículas (Mn)	g	0.0793	0,1132
Volumen inicial en	ml	200	200
Volumen final en impactadores (Vf)	ml	234	237
Agua recogida en impactadores	ml	34	37
Silica inicial en impactadores	g	238	246
Silica final en impactadores (Wf)	g	243	252
Agua recogida en silica (Wf-Wi)	g	5	6
Pb	mm. Hg.	680	680
Pg	mm. H <sub>2</sub> O	3.8	3.4
$\Delta H$	mm. H <sub>2</sub> O	36.53	32.53
Vm	M <sup>3</sup>	1.162	1.05
Tm	°K	306.9	306
Md	Lb/lbmol	28.53	28.49
Cp		0.85	0.85
Qm	m <sup>3</sup> /min	20	20
Kp		34.97	34.97
$\Delta P$	mm. H <sub>2</sub> O	5.0	4.1
Ts	°C	109.66	81.3
Ts	°K	382.66	354.3
$\phi_n$ utilizado	mm.	7.9375	7.9375
As	M <sup>2</sup>	0.7854	0.7854
$\theta$	min.	60	60
Bwm	%	0	0,0

## Calculo del Muestreo Isocinético

### a) Presión absoluta en chimenea (Ps).

$$P_s = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 680 + \frac{3,8}{13,6} = 680,28 \text{ mm.Hg.}$$

$$P_s = P_b + \frac{P_g}{13,6} = 680 + \frac{3,4}{13,6} = 680,25 \text{ mm.Hg.}$$

### b) Presión absoluta en el medidor (Pm).

$$P_m = P_b + \frac{\Delta H}{13,6} = 680 + \frac{36,53}{13,6} = 682,69 \text{ mm.Hg.}$$

$$P_m = P_b + \frac{\Delta H}{13,6} = 680 + \frac{32,53}{13,6} = 682,39 \text{ mm.Hg.}$$

### c) Volumen de gases medido en condiciones estándar (Vmst).

$$V_{mst} = K_3 \times Y \times \frac{vm \times \left( P_b + \frac{\Delta H @}{13,6} \right)}{T_m}$$

$$V_{mst} = 0,3858 \times 1,039 \times \frac{1,162 \times \left( 680 + \frac{36,53}{13,6} \right)}{306,9} = 1,0361 m^3$$

$$V_{mst} = 0,3858 \times 1,039 \times \frac{1,05 \times \left( 680 + \frac{36,53}{13,6} \right)}{306} = 0,9386 m^3$$

### d) Volumen del vapor de agua recogida en impactadores y sílica gel en condiciones estándar (Vwst).

$$V_{wst} = K_2 \times (W_T)$$

$$V_{wst} = 0,001335 \times (39) = 0,0521 m^3$$

$$V_{wst} = 0,001335 \times (43) = 0.0574 \text{ m}^3$$

**e) Contenido de humedad en los gases de chimenea (Bws).**

$$B_{ws} = \left( \frac{V_{wst}}{V_{wst} + V_{mst}} \right) \times 100 = \left( \frac{0,0521}{0,0521 + 1.0361} \right) \times 100 = 4.78 \%$$

$$B_{ws} = \left( \frac{V_{wst}}{V_{wst} + V_{mst}} \right) \times 100 = \left( \frac{0,0574}{0,0574 + 0.9386} \right) \times 100 = 5.76 \%$$

**f) Peso molecular del gas seco (Md).**

$M_d = 28.53 \text{ Kg/Kmol}$  (Se determinó por medio del Analizador Electroquímico)

$M_d = 28.49 \text{ Kg/Kmol}$  (Se determinó por medio del Analizador Electroquímico)

**g) Peso molecular gas en condiciones de chimenea (Ms).**

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} = 28.53 \times (1 - 0,0478) + 18 \times 0,0478 = 28.03$$

$$M_s = M_d \times (1 - B_{ws}) + 18 \times B_{ws} = 28.49 \times (1 - 0,0576) + 18 \times 0,0576 = 27.88$$

**h) Velocidad del gas en la chimenea (Vs).**

$$V_s = K_p \times C_p \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{P_s \times M_s}} = 34.97 \times 0,85 \sqrt{\frac{5 \times 382.66}{680.23 \times 28.03}} = 9.41 \frac{m}{seg}$$

$$V_s = K_p \times C_p \sqrt{\frac{\Delta P \times T_s}{P_s \times M_s}} = 34.97 \times 0,85 \sqrt{\frac{4.1 \times 354}{680.25 \times 27.88}} = 8.2256 \frac{m}{seg}$$

**i) Porcentaje de Isocinetismo (I%).**

$$I\% = \frac{k_4 \times T_s \times V_{mst}}{\theta \times V_s \times P_s \times A_n \times [1 - B_{ws}]}$$

$$I\% = \frac{4,320 \times 382.66 \times 1.0361}{60 \times 9.41 \times 680.23 \times \frac{\pi}{4} \left[ \frac{7.9375}{1000} \right]^2 \times [1 - 0,0478]} = 94.58 \%$$

$$I\% = \frac{4,320 \times 354 \times 0,9386}{60 \times 8.2256 \times 680.25 \times \frac{\pi}{4} \left[ \frac{7.9375}{1000} \right]^2 \times [1 - 0,0576]} = 91.76\%$$

**j) Caudal de gases en condiciones de chimenea (Qs).**

$\varphi_s$ : diámetro chimenea = 90 centímetros.

$$A_s = \varphi^2 \times \frac{\pi}{4} = \left[ \frac{100}{100} \right]^2 \times \frac{3,1416}{4} = 0,7854 m^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 9.41 \times 0.7854 \times 60 = 443.734 \frac{m^3}{min}$$

$$A_s = \varphi^2 \times \frac{\pi}{4} = \left[ \frac{100}{100} \right]^2 \times \frac{3,1416}{4} = 0,7854 m^2$$

$$Q_s = V_s \times A_s \times 60 = 8.2256 \times 0.7854 \times 60 = 381.62 \frac{m^3}{min}$$

**d) Caudal de gases húmedos en condiciones estándar (Qsts).**

Condiciones estándar: 293 °K y 760 mm Hg. (20 °C y 29,92 Pulg Hg.).

$$Q_{sts} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760} = 443.73 \times \frac{293}{382.66} \times \frac{680.23}{760} = 304.1241 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{sts} = Q_s \times \frac{293}{T_s} \times \frac{P_s}{760} = 381.62 \times \frac{293}{354} \times \frac{680.25}{760} = 286.92 \frac{m^3}{min}$$

**l) Caudal de gases secos en condiciones estándar (Qstd).**

$$Q_{std} = \left[ \frac{100 - B_{ws}}{100} \right] \times Q_{sts} = \left[ \frac{100 - 0.0478}{100} \right] \times 304.12 = 289.57 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{std} = \left[ \frac{100 - B_{ws}}{100} \right] \times Q_{sts} = \left[ \frac{100 - 0.0576}{100} \right] \times 286.92 = 270.38 \frac{m^3}{min}$$

**m) Caudal gases secos en condiciones de referencia (Qcrd).**

Para pasar de condiciones estándar (20 °C = 293 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg.) a condiciones de referencia (25 ° C = 298 °K y 760 mm Hg. = 29,92 Pulg. Hg) es necesario encontrar un factor de conversión.

$$\text{Factor} = \frac{298}{293} = 1,017$$

$$Q_{crd} = Q_{std} \times 1,017 = 289.57 \times 1,017 = 294.49 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{crd} = 294.49 \frac{m^3}{min} \times 60 = 17669.75 \frac{m^3}{hr}$$

$$Q_{crd} = Q_{std} \times 1,017 = 270.38 \times 1,017 = 274.98 \frac{m^3}{min}$$

$$Q_{crd} = 274.98 \frac{m^3}{min} \times 60 = 16498.86 \frac{m^3}{hr}$$

**n) Volumen seco de gases muestreados y a condiciones de referencia (Vmcr).**

$$V_{mcr} = V_{mst} \times 1,017 = 1.0361 \times 1,017 = 1.0537 m^3$$

$$V_{mcr} = V_{mst} \times 1,017 = 0.9386 \times 1,017 = 0.9546 m^3$$

**o) Concentración partículas en condiciones estándar (Cst).**

El peso total de partículas recogidas Mn se calcula con la expresión:

$$M_n = M_f + M_l - M_p$$

Donde:

Mf = Es el peso de partículas recogidas en el filtro,

Ml = Es el peso de partículas recogidas en lavado de sonda y material de vidrio,

Mp = Es el peso de cenizas en el solvente blanco de lavado.

Mp resulta de multiplicar el contenido de cenizas en el solvente de lavado por el volumen utilizado en el lavado. El contenido de cenizas (Cc) reportado por el laboratorio fue de 0,0000 g/ml en 100,0 ml y el volumen de lavado (Vi) fue de 85ml.

$$M_p = C_c \times V_i$$

$$M_p = 0,0000 \frac{g}{ml} \times 85ml = 0,000 g$$

$$M_n = 0,0172 + 0,0621 + 0,000 = 0,0793 g$$

$$M_n = 0,0172 + 0,0621 + 0,000 = 0,0793 g$$

$$C_{st} = \frac{M_n}{V_{mst}} = \frac{0,0793}{1,0361} = 0,0765 \frac{g}{m^3}$$

$$C_{st} = \frac{M_n}{V_{mst}} = \frac{0,1132}{0,9386} = 0,1206 \frac{g}{m^3}$$

**p) Concentración seca de partículas en condiciones de referencia (C<sub>crd</sub>).**

$$C_{crd} = \frac{M_n}{V_{mcr}} = \frac{0,0765}{1,0537} = 0,0753 \frac{g}{m^3}$$

$$C_{crd} = 0,0753 \frac{g}{m^3} \times \frac{1000mg}{g} = 75,3 \frac{mg}{m^3}$$

$$C_{crd} = \frac{M_n}{V_{mcr}} = \frac{0,1132}{0,9546} = 0,1185 \frac{g}{m^3}$$

$$C_{crd} = 0,1185 \frac{g}{m^3} \times \frac{1000mg}{g} = 118,5 \frac{mg}{m^3}$$

**q) Emisión total partículas condiciones de referencia y base seca (PTS).**

$$PTS = \frac{Q_{crd} \times C_{crd} \times 60}{1000} = \frac{294,45 \times 0,0753 \times 60}{1000} = 1,3298 \frac{kg}{hr}$$

$$PTS = \frac{Q_{crd} \times C_{crd} \times 60}{1000} = \frac{274,98 \times 0,1185 \times 60}{1000} = 1,9566 \frac{kg}{hr}$$

#### 4. ANÁLISIS DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

Para el cálculo de las emisiones de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y CO se debe realizar un cambio en las unidades de ppm a mg/m<sup>3</sup>.

Factores para el cambio de Unidades

De	a	Multiplicar por
ppm NO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,05
ppm SO <sub>2</sub>		2,86
ppm CO		1,25
ppm N <sub>2</sub> O		1,96
ppm CH <sub>4</sub>		0,71

#### Concentración de Dióxido de Azufre en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de SO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea de los Hornos Hoffman1 y Hoffman2 dio la concentración de 72 ppm y 83.3 ppm. Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg / m^3) * Q_R(m^3 / h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{205.9(mg / m^3) * 17669.75(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 31.4\ ton/h$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{283.3(mg / m^3) * 16498.86(m^3 / h) * (8640h)}{10^9} = 36.4\ ton/h$$

### Concentración de Dióxido de Nitrógeno en Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de NO<sub>2</sub> en base seca. Las emisiones de este contaminante registraron un valor de de 1.7 ppm y 1 ppm. Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg/m^3) * Q_R(m^3/h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{3.4(mg/m^3) * 17669.75(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 0.5\ ton/h$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{2.1(mg/m^3) * 16498.86(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 0.3\ ton/h$$

### Concentración de Monóxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea de los Hornos Hoffman dio una concentración de 130.3 y 127 ppm (partes por millón). Se convierte ppm a mg/m<sup>3</sup> y con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{C(mg/m^3) * Q_R(m^3/h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^9}$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{162.9(mg/m^3) * 5707.48(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 24.9\ ton/h$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{158.8(mg/m^3) * 5707.48(m^3/h) * (8640h)}{10^9} = 24.2\ ton/h$$

### Concentración de Dióxido de Carbono Base Seca.

El analizador electrónico Greenline 4000 determina la concentración de CO<sub>2</sub> en base seca. A continuación se desarrollan los cálculos realizados para el Horno.

El promedio de las mediciones realizadas en los gases de chimenea de los Hornos Hoffman dio un porcentaje de 1.4% con la siguiente ecuación se determina la emisión en ton/año.

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{\%CO_2 * 44(Kg/Kmol) * Q_R(m^3/h) * (Horas\ de\ Funcionamiento\ en\ el\ año)}{10^5 * 22.4(Kmol/m^3)}$$

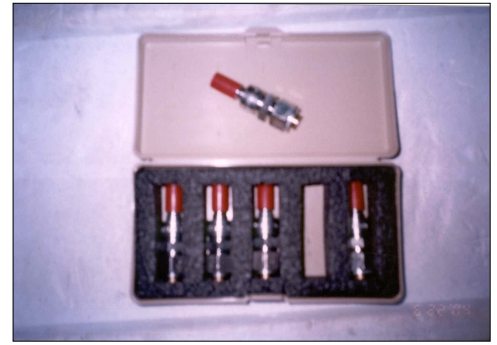
$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{1.4 * 44(Kg/Kmol) * 17669(m^3/h) * (8640\ h)}{10^5 * 22.4(Kmol/m^3)} = 4288.3\ ton/año$$

$$Emisiones\left(\frac{ton}{año}\right) = \frac{1.4 * 44(Kg/Kmol) * 16498.86(m^3/h) * (8640\ h)}{10^5 * 22.4(Kmol/m^3)} = 3864.1\ ton/año$$

# **ANEXO 5**



No 1. Consola Apex 572



No 2. Set de cinco orificios críticos empleados en la calibración



No 3. Puerto de muestreo



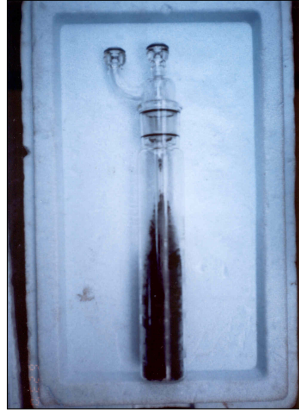
No 4. Preparativos de Muestreo



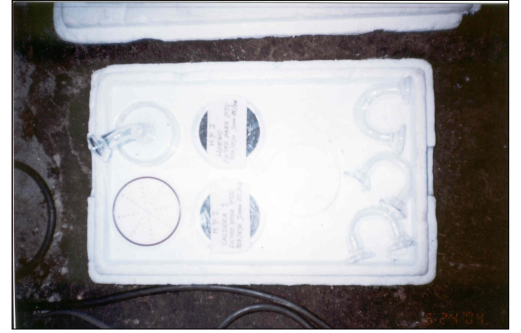
No 5. Chimenea Horno Hoffman



No 6. Vista de la planta



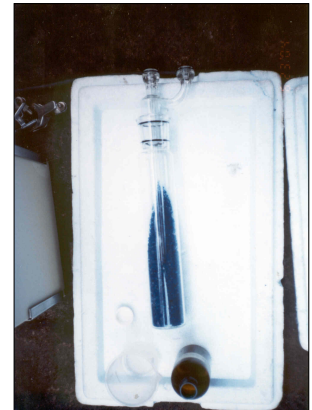
No 7. Impactador de silica gel después del muestreo



No 8. Filtros con material recolectado



No 9. Determinación peso inicial silica gel en muestreo preliminar



No 10. Impactador con silica gel fresca