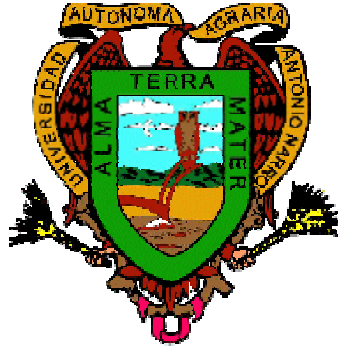


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO  
NARRO  
“UNIDAD LAGUNA”**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



POR:

**MARÍA DEL CARMEN PACHECO HERNÁNDEZ**

**TESIS  
PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE  
CONTROL EN HORNO DE FUSIÓN DE PLANTA  
FUNDIDORA.**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA

OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**“UNIDAD LAGUNA”**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TESIS**

**PROPUESTA DE INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE CONTROL EN HORNO  
DE FUSIÓN DE PLANTA FUNDIDORA.**

**PRESENTA**

**MARÍA DEL CARMEN PACHECO HERNÁNDEZ**

**PRESIDENTE DEL JURADO**

**DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**"UNIDAD LAGUNA"**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**MARÍA DEL CARMEN PACHECO HERNÁNDEZ**

Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**APROBADA POR:**

**ASESOR PRINCIPAL**

  
**DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO**

**ASESOR**

  
**ING. JOEL LIMONES AVITIA**

**ASESOR**

  
**MC. ALFREDO OGAZ**

**ASESOR**

  
**ING. RUBI MUÑOZ SOTO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

  
**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO**



**Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**"UNIDAD LAGUNA"**

**DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**MARÍA DEL CARMEN PACHECO HERNÁNDEZ**

Elaborada bajo la supervisión del comité de asesoría y aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**APROBADA POR:**

**PRESIDENTE DE JURADO**

**DR. JOSE LUIS REYES CARRILLO**

**VOCAL**

**ING. JOEL ZIMONES AVITIA**

**VOCAL**

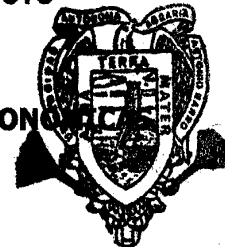
**MC. ALFREDO OGAZ**

**VOCAL**

**ING. RUBÉN MUÑOZ SOTO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO**



**Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DEL 2009**

## *AGRADECIMIENTOS*

### *A DIOS*

No tengo palabras Dios para agradecerte todo lo que me has regalado, te agradezco señor por darme la vida, por haberme dado la capacidad y la fortaleza para poder terminar mi carrera, por no abandonarme en los momentos de desconsuelo y debilidad, por ser mi fortaleza cuando mas lo necesite. Además de agradecerte por haberme dado la oportunidad de tener unos padres maravillosos que me han ayudado cuando lo necesite. Mil gracias mas por haberme dado la dicha de ser madre de una hermosa niña la cual es mi nuevo motivo de vida, gracias a ti Dios.

### *A MI “ALMA TERRA MATER”*

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, por haberme dado la oportunidad de formarme como una profesionista dándome las herramientas necesarias para ser capaz de afrontar la vida mediante mi preparación profesional.

### *A MIS ASESORES:*

Al M. C. José Luis Reyes Carrillo gracias por haberme apoyado en la realización de mi tesis, asesorándome y aconsejándome, muchas gracias además por haberme concedido el privilegio de su amistad y por todos sus conocimientos que me brindo.

Al Ing. Joel Limones Avitia, ante todo muchas gracias por su amistad, por su apoyo incondicional y la dedicación tan especial que tuvo hacia la elaboración de mi tesis, por compartir sus conocimientos y experiencias sobre la carrera. Por escucharme y aconsejarme en los momentos de alegría y tristeza.

Al M.C. Alfredo Ogaz gracias por su apoyo en la realización de mi tesis, también por la amistad y la confianza, por los conocimientos que me brindo.

A la Ing. Rubí Muñoz Soto, gracias por el apoyo que me brindo durante mi estancia en la universidad, así mismo por el apoyo que recibí para la elaboración de mi tesis.

## *DEDICATORIA*

### *A DIOS.*

*A Dios por haberme dado la vida, por haberme permitido realizar una de mis metas propuestas en mi vida, espero y me permita realizar todas, el saber que cuando lo necesite estuvo a mi lado, para darme fortaleza y consuelo, por permitirme afrontar mis problemas de una manera positiva. Por darme la oportunidad de contar con mis padres aun, por haberme mandado a esa personita tan especial que llena de luz mi vida.*

### *A MIS PADRES.*

*A mi padre Sr. Benito Pacheco Martínez y a mi madre Sra. María del Carmen Hernández Gutiérrez les estoy eternamente agradecida por el apoyo incondicional durante toda mi vida y en especial en mi carrera. Les dedico este trabajo con todo mi amor y mi cariño ya que son el ejemplo de mi vida, por que me han inculcado buenos principios y por haberme dado un regalo muy valioso en mi vida... mis estudios, es la mejor herencia que pudieron dejarme, gracias mis viejitos lindos, los amo con toda mi alma.*

### *A MIS HERMANOS.*

*Ing. Claudia Jeimie, Miriam, Manuel Eduardo y José Benito, gracias por ser mis hermanos y apoyarme cuando los necesite, además por regalarme momentos de alegría, los amo.*

*En especial a mi hermanito Manuel Eduardo que en paz descanse, gracias Nano por los momentos de alegría que me diste, por apoyarme cuando te necesite, por ser mi amigo, mi compañero y mi hermanito, siempre te recordare y te amare, donde quiera que estés hermanito.*

### *A MI HIJA*

*Nahomi del Carmen Reyes Pacheco no encuentro las palabras precisas para agradecerte hija por haber llegado a mi vida, tu eres lo mas importante y mi motivo de alegría, tu presencia vino a iluminar mi vida, a motivarme y a darme mas fuerza para poder terminar mi carrera y así en un*

*futuro poder ofrecerte una vida llena de comodidades. Te Amo mi niña hermosa, Dios te cuide y te bendiga por siempre mi bebe.*

### ***A MI ESPOSO.***

*Ing. Emmanuel Reyes Ramírez, te agradezco infinitamente mi amor por haberme dedicado todo este tiempo, por apoyarme en mi carrera, moral y económicamente, por darme momentos de alegrías y por compartir los momentos difíciles que nos tocaron, gracias por ser parte de mi vida, Te Amo.*

### ***A MIS SOBRINOS***

*Ana Karen Ángel Pacheco, gracias mi niña por haber llegado a iluminar nuestras vidas, te quiero muchísimo, dios te bendiga y te cuide mi niña.*

*A los nuevos bebes que se integraron a la familia, que nos traerán felicidad y serán un rayito de luz en estos momentos de oscuridad que nos toco vivir.*

### ***A MIS CUÑADOS***

*A mi cuñada, gracias por tu amistad, por darnos una nueva esperanza de vida, que me alienta a seguir adelante, te quiero mucho.*

*A mi cuñado y compadre Ing. José Luis Ángel Estudillo gracias por tu amistad y tus consejos, por el apoyo incondicional hacia mi familia en momentos difíciles.*

### ***A TODOS MIS AMIGOS.***

*Les agradezco infinitamente por ser parte de mi vida, por compartir conmigo estos años, por apoyarme y escucharme en los momentos de tristeza cuando mas los necesite los quiero hasta siempre.*

# ÍNDICE

	Página
<b>DEDICATORIA</b> .....	i
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	ii
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	iv
<b>ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS</b> .....	v
<b>RESUMEN</b> .....	vi
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
I.1. Planteamiento del problema.....	2
<b>II. JUSTIFICACIÓN</b> .....	4
<b>III. OBJETIVOS</b> .....	4
III. 1 General.....	4
III. 2 Especifico.....	4
<b>IV. REVISIÓN DE LITERATURA.</b>	5
IV.1 Evaluación de emisiones a partir de cálculo/estimación.....	5
IV.2 Industria de fundición de metales.....	6
IV.3 Descripción del proceso productivo.....	6
IV.4. Emisiones Atmosféricas: Identificación de Contaminantes.....	12
IV.5. Evaluación de Emisiones a partir de Cálculo/Estimación.....	16
IV.6. Factores de Emisión de Instalaciones Auxiliares en Procesos de Combustión.....	17
IV. 7 Criterios de selección particulares a las fundiciones. ....	18
IV. 8 Control de la contaminación en las operaciones de fundición.....	19
IV. 9 Métodos para el Control de la Contaminación.....	20
<b>V. MATERIALES</b> .....	23
V. 1 Cálculo y diseño fluidodinámico de un filtro de mangas.....	26
V. 2. Determinación y cálculo de las emisiones PM10.....	30
<b>VI. RESULTADOS</b> .....	31
<b>VII. CONCLUSIÓN</b> .....	32
<b>VIII. RECOMENDACIONES</b> .....	33
<b>IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	35



## ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADRO		PAG.
1	Procesos y residuos de un proceso productivo de hierro dulce.....	6
2	Contaminantes recogidos en sublista sectorial del Documento Guía para realización del Inventario Europeo de Emisiones y Fuentes Responsables (EPER).....	15
3	Evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión.	16
5	Valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmósfera.....	17
5	Tamaño de polvos y humos metálicos.....	25
6	Diámetro de partículas ( $\mu$ ).....	26
7	Ventajas y desventajas de equipos de control.....	
FIGURAS		
1	Diagrama general del proceso de Fundición.....	8
2	Diagrama de flujo de emisiones atmosféricas.....	12
3	Diagrama típico de una casa de sacos	18
4	Diagrama típico de un ciclón colector.....	19
5	Diagrama de disposición típica de campana/dispositivo.....	25

## RESUMEN

La industria de acero es una de las más importantes en los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo. En los últimos, esta industria, a menudo, constituye la piedra angular de todo el sector industrial. Su impacto económico tiene gran importancia, como fuente de trabajo, y como proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias: construcción, maquinaria y equipos, y fabricación de vehículos de transporte y ferrocarriles. Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de aguas servidas y emisiones atmosféricas. Si no es manejada adecuadamente, puede causar mucha degradación de la tierra, del agua y del aire (Greenberg 2001).

El objetivo de este trabajo es la propuesta para la instalación de un equipo de control con la finalidad de disminuir las emisiones contaminantes, así como el reconocimiento de los diferentes equipos de control que se pudieran proponer para controlar las emisiones contaminantes que son generadas durante el proceso de fundición del hierro gris. Además de hacer una propuesta para la solución mas apta para controlar la contaminación atmosférica, para que con esto podamos definir el equipo más adecuado para cualquier otro proceso donde se emitan gases, humos, partículas que contaminen el aire.

La propuesta de instalación de un equipo de control de emisiones contaminantes a la atmósfera, específicamente para el control de partículas sólidas, provenientes de la actividad de fusión de metal, se pretende que se lleve a cabo en la empresa denominada Fundición Auxiliar Metalúrgica, S. A. de C. V., ubicada en la ciudad de Gómez Palacio Durango, en el Parque Industrial Lagunero de esa ciudad. La empresa tiene como principal actividad la elaboración de piezas automotrices en Hierro gris, para lo cual realiza actividades de fundición de chatarra de acero y fierro.

El equipo de control de acuerdo a los cálculos que se hicieron debe presentar las siguientes características:

Debido a que se tiene un área de filtrado de 1000 pies<sup>2</sup> lo que es igual a 92.9 m<sup>2</sup>. Si las mangas tienen un diámetro de 8 pulgadas y 19 pies de longitud se ocuparían 52.78 bolsas y si el diámetro de la manga es de 18 pulgadas y 19 pies de longitud se necesitarían solo 35.09 bolsas, estas bolsas son las que detendrán las partículas a una velocidad constante, estas mangas estarán dentro de la casa de sacos. Que es el equipo que se selecciono debido a que cuenta con muchas características favorables que nos permitirán lograr la reducción de los contaminantes que se emiten a la atmósfera.

Una casa de sacos fue la sugerida debido a que es el equipo mas adecuado para retener los contaminantes mediante sus procesos de filtración, ya que para depurar el aire sigue un proceso muy completo que logra controlar hasta un 99% de los contaminantes y esta realiza un proceso muy eficiente ya que consta de un gran número de sacos cilíndricos de paño que se cierran en la parte de arriba como una media gigantesca, con la punta hacia arriba. Estos se cuelgan de un soporte. Los extremos inferiores se deslizan sobre manguitos cilíndricos que se proyectan hacia arriba desde una placa que se encuentra abajo, y se sujetan a ellos por medio de abrazaderas. El gas sucio fluye hacia el espacio que esta debajo de esta placa y hacia arriba para entrar a los sacos. El gas fluye hacia afuera a través de estos últimos. Dejando detrás sus sólidos. Entonces el gas limpio fluye hacia el espacio de afuera de los sacos y se lleva por ductos hacia la chimenea de escape o hacia al algún proceso adicional

**Palabras Clave:** Equipo de control. Contaminación atmosférica, casa de sacos.

## INTRODUCCIÓN

La industria del acero es una de las más importantes en los países desarrollados y de aquellos que están en vías de desarrollo. En los últimos años, esta industria, a menudo, constituye la piedra angular de todo el sector industrial. Su impacto económico tiene gran importancia, como fuente de trabajo, y como proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias: construcción, maquinaria y equipos, y fabricación de vehículos de transporte y ferrocarriles. Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de emisiones atmosféricas. Las cuales si no son manejadas adecuadamente, pueden causar mucha degradación de la tierra, del agua y del aire (Greenberg 2001).

Existen muchas alternativas para la planificación e implementación de los proyectos, generalmente, el proceso de fabricación de hierro y acero que se utiliza depende de las materias primas que están disponibles, y sus propiedades minerales, químicas y físicas pueden variar grandemente; de las materias primas utilizadas para el proceso de reducción en el horno y de los combustibles utilizados en los hornos, calderas y centrales térmicas. La naturaleza de los productos finales también afecta el diseño de la planta. Una mini fábrica de acero que hace reducción directa del mineral y emplea un horno eléctrico basado en gas natural y electricidad, causará un impacto ambiental mucho menor (Novais 2003).

Existe una amplia selección de procesos y equipos para controlar la contaminación. El mejor método de control y el equipo idóneo, dependerán del volumen y composición de los contaminantes que deben ser recuperados o descargados al medio ambiente (Greenberg 2001).

La fundición es el proceso de producción de un objeto metal por vaciado de un metal fundido dentro de un molde y que luego es enfriado y solidificado. Desde tiempos antiguos el hombre a producido objetos de metal fundido para propósitos artísticos o prácticos. Con el crecimiento de la sociedad industrial, la necesidad de fundición de metales ha sido muy importante. El metal fundido es

un componente importante de la mayoría de maquinarias modernas, vehículos de transporte, utensilios de cocina, materiales de construcción, y objetos artísticos y de entretenimiento. También está presente en otras aplicaciones industriales tales como herramientas de trabajo, maquinarias de manufactura, equipos de transporte, materiales eléctricos y electrónicos, objetos de aviación, etc. La mejor razón de su uso es que puede ser producida económicamente en cualquier forma y tamaño. El tipo más común de molde de fundición es hecho de arena y arcilla, en donde el diseño forma una cavidad en la cual se vaciará el material fundido. Los moldes deben ser fuertes, resistentes a la presión del metal derretido, y suficientemente permeable para permitir el escape de aire y otros gases desde la cavidad de los moldes. El material del molde también debe resistir la fusión con el metal (Fundación Entorno, 1999).

La fundición es una de las profesiones más antiguas. La producción de diseños para ser usados en fundición requiere cuidado, precisión y técnica. El proceso de fundición tradicional ha sido reemplazado por una fundición mecanizada. Con la crisis energética en años recientes, la racionalización de líneas de producción automáticas y mecánicas han reducido el costo del producto y han elevado su calidad siendo un paso esencial en el desarrollo de la fundición (Ribeiro, 2001).

## **I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los tiempos que estamos viviendo donde el medio ambiente se ha vuelto una prioridad muy importante para el hombre, ya que nos encontramos en una época en que el planeta esta saturado de contaminantes que perjudican nuestro ambiente, es necesario ahora que todas las empresas tengan y utilizan tecnología limpia. Como se sabe en un proceso de fundición de hierro gris y nodular se desprenden gases que perjudican al medio ambiente por lo cual estas emisiones deben de ser capturados mediante un equipo adecuado que controle este tipo de emisiones, lo que permitirá la salida de un gas limpio que no perjudique al medio ambiente.

En la actualidad toda empresa que emita gases humos o partículas a la

atmósfera debe contar con equipos para el control de las emisiones resultantes de la operación de producción, lo anterior con la finalidad de dar cumplimiento a lo dispuesto en la Legislación Ambiental Mexicana vigente, la cual establece que todas las emisiones a la atmósfera deben ser canalizadas y controladas.

Para la selección del equipo más apropiada para el control de las emisiones a la atmósfera provenientes de los hornos de fusión, se tomo en consideración, primeramente el tamaño de partículas existentes en los gases de emisiones.

El equipo de control debe contar con ciertas características que ayuden a la disminución de las emisiones a la atmósfera, de manera que se cumpla con la normatividad ambiental en materia de control de partículas y gases a la atmósfera, y por lo tanto en la disminución de las emisiones.

## **II.- JUSTIFICACIÓN**

La propuesta de instalación de un equipo de control de emisiones provenientes de un horno de fusión eléctrico en una fundidora, tiene el propósito el controlar la contaminación por humos, gases y partículas que se desprenden al momento de la fundición del metal en el equipo.

## **III.- OBJETIVOS**

### **III.1.- General**

Implementar un equipo de control en un horno de fusión de hierro gris, para reducir la contaminación atmosférica generada durante el proceso de fundición.

### **III.2.- Específicos.**

- ✓ Reconocer los diferentes equipos de control que se pudieran proponer para controlar las emisiones contaminantes que son generadas durante el proceso de fundición del hierro gris.
- ✓ Proponer la solución mas apta para controlar la contaminación atmosférica en el proceso de fusión.
- ✓ Definir el equipo más adecuado para cualquier otro proceso donde se emitan gases, humos, partículas que contaminen el aire.

## **IV.- REVISIÓN DE LITERATURA.**

Las emisiones contaminantes a la atmósfera provenientes de equipos de combustión, deben evaluarse con la finalidad de conocer la concentración de los contaminantes presentes en dichas emisiones, existen varios métodos de medición de entre los que se pueden mencionar; medición directa, cálculos matemáticos, factores de emisión y balances de materiales (De Nevers, 1998)

### **IV.1.- Evaluación de emisiones a partir de cálculo/estimación.**

Para realizar o llevar a cabo la evaluación de emisiones a partir del método cálculo/ estimación se deben tomar en cuenta los siguientes pasos ya que son muy importantes en la obtención de los resultados.

Todos los datos de emisiones deberán ir identificados con letra C (calculado), o E (estimado), las cuales indican su método de determinación, expresados en kg/año y con tres dígitos significativos. En los casos en que el dato notificado sea la suma de emisiones procedentes de más de una de una fuente existente en el complejo, se pueden utilizar diferentes métodos de determinación de emisiones en las distintas fuentes, se asignará un único código ("C", o "E") que corresponderá al método utilizado para determinar la mayor contribución al dato de emisión notificado (Ley IPPC, 2002)

#### **Calculado**

Dato de emisión con base en cálculos realizados utilizando métodos de estimación aceptados nacional o internacionalmente y factores de emisión, representativos del sector industrial. Un dato es calculado cuando:

- ✓ Cálculos utilizando datos de actividad (como consumo de gasolina o diesel, tasas de producción, etc.)y factores de emisión.
- ✓ Métodos de cálculo más complicados utilizando variables como la temperatura, radiación global, etc.
- ✓ Cálculos basados en balances de masas.
- ✓ Métodos de cálculo de emisiones (Ley IPPC, 2002)



Estimado

Dato de emisión basado en estimaciones no normalizadas, deducidos de las mejores hipótesis o de opiniones autorizadas. Un dato es estimado cuando:

- ✓ Opiniones autorizadas, no basadas en referencias disponibles publicadas.
- ✓ Suposiciones, en caso de ausencia de metodologías reconocida de estimación de emisiones o de guías de buenas prácticas (Wark y Warner., 1996).

#### **IV.2.- Industria de fundición de metales**

El tamaño de las empresas dedicadas a la fundición de metales va desde pequeños talleres hasta grandes plantas manufactureras que producen miles de toneladas de piezas fundidas cada día. La generación de residuos está directamente relacionada con el tipo de material usado (hierro fundido, acero, bronce o aluminio) y depende del tipo de moldes y machos usados, así como de la tecnología empleada (Greenberg 2001).

Cuadro No. 1 Procesos y residuos de un proceso productivo de hierro dulce.

Proceso	Residuos
Elaboración de moldes y machos	Arena usada
Fusión	Residuos de barrido y de los machos
Colada	Polvo y lodos
Limpieza	Polvo y humos

#### **IV.3.- Descripción del proceso productivo.**

En la fundición de hierro se fabrican piezas de hierro gris, hierro nodular. Su receptor mayoritario es el sector de automoción. En la fundición de acero se fabrican piezas de acero al carbón, de baja aleación, inoxidable, refractario, al magnesio, fundición blanca y otras aleaciones. La recepción de su producción

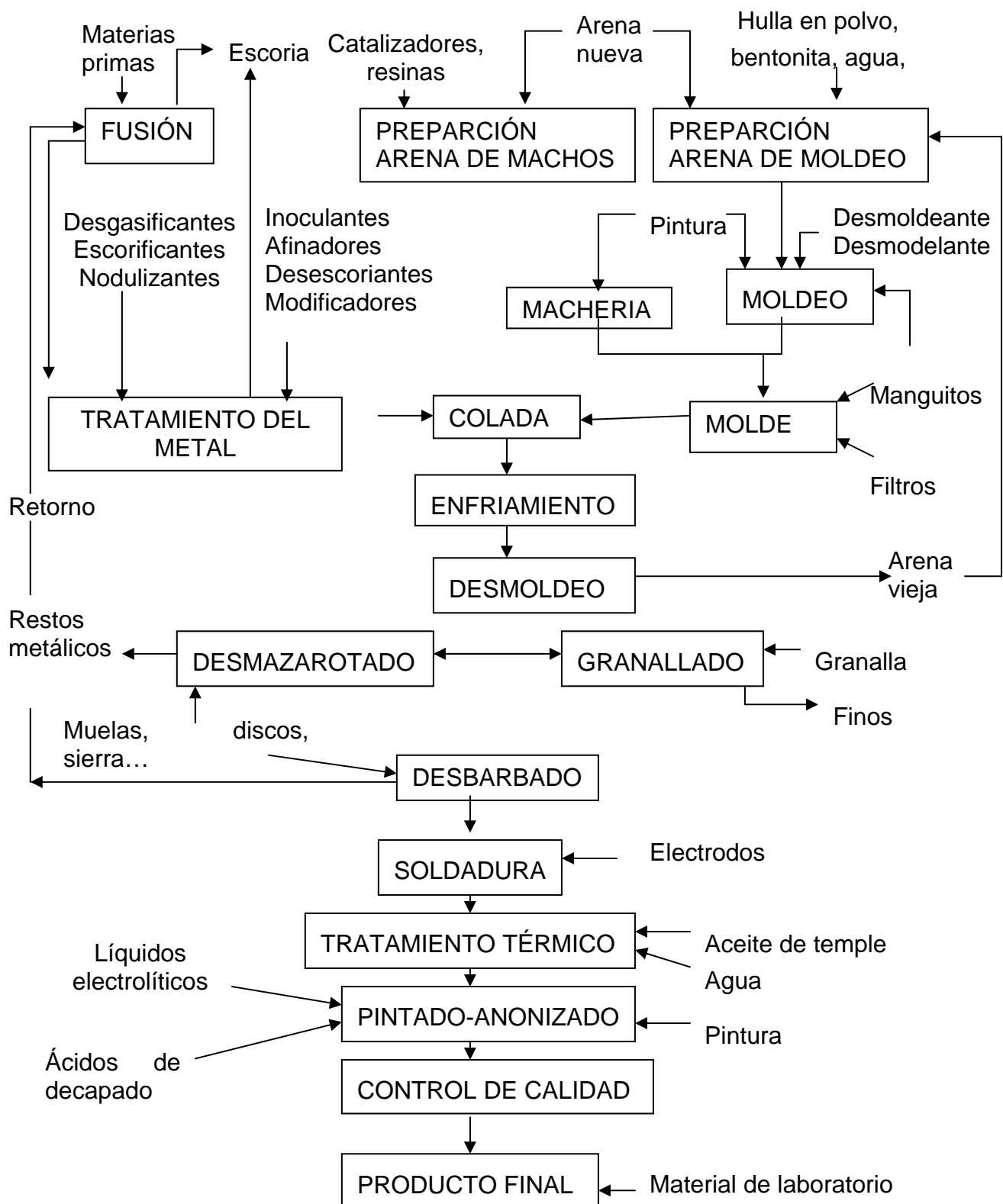
se reparte de manera más equitativa entre diferentes sectores: maquinaria de obras públicas y canteras, y la valvulería de accesorios de tubería, seguidos de la industria del ferrocarril y de la construcción y cemento. La fundición de hierro y acero se distinguen dependiendo de carbono de la aleación: Fundición de hierro (carbono >2%) y Fundición de acero (carbono <2%) (Comisión Europea, 2000).

La fundición férrea en la consta de forma general de una serie de operaciones básicas.

1. Almacenamiento y manipulación de las materias primas.
2. Fusión de las materias primas (carga, fusión, recarga, refino, desescoriado).
3. Preparación de arena de machos y de moldeo.
4. Producción de moldes y machos.
5. Transferencia del metal fundido caliente en los moldes (colada de moldes).
6. Enfriamiento de los moldes y desmoldeo.
7. Acabados (limpieza de las piezas como desmazarotado, desbaratado, granallado; tratamiento de calor como el recocida; y otras operaciones de acabado (Ribeiro, 2001).

No todas las fundiciones férreas desarrollan la totalidad de los procesos enumerados. El modo operativo individual de cada una de ellas suele ser diferente al resto, pues el tipo de tecnología empleada vendrá impuesto por las características del producto fabricado – composición química, tamaño de las piezas, fabricación seriada o bajo pedido, etc. – así como por los requisitos del cliente y los factores económicos que afectan a la producción. Se presenta a continuación un diagrama de flujo con las principales entradas de materias primas y de combustibles a proceso. Así como las principales salidas, tanto en lo que a emisiones atmosféricas como al tipo de acero producido se refiere (IHOBE. 2002).

Figura 1. Diagrama general del proceso de Fundición.



Se describen a continuación y de manera breve las principales etapas del proceso de fundición:

#### **IV. 3.1.- Proceso de fusión y tratamiento del metal fundido.**

El horno de fusión se carga inicialmente con las materias primas que se van a fundir; de procedencia externa (lingote, chatarra de acero, ferroaleaciones, fundentes y combustible) y de procedencia interna (piezas defectuosas, etc.). Las operaciones que se incluyen en un proceso básico de fusión son: la carga, la fusión, y la recarga; el refinado, operación durante la cual se ajusta la composición química para conseguir las especificaciones de producto; lanzas de oxígeno (para el caso de hornos de arco eléctrico), el desescoriado, y el colado en moldes del metal fundido (Hauschnik, 1996)

#### **IV. 3.2.- Arenería – producción de moldes y machos**

Durante la manipulación de arena (Arenería), la arena vieja procedente de la operación de desmoldeo se devuelve al área de preparación de arena de moldeo donde es limpiada, tamizada y reutilizada. Esta arena vieja regenerada, junto con otras materias primas (arena nueva, catalizadores, resinas, hulla, bentonita, agua) sirve para producir los moldes. En el área de preparación de arena para machos se utiliza arena nueva, catalizadores y resinas para la producción de los machos. Los machos se hacen de arena y un aglomerante; deben ser lo suficientemente resistentes para insertarlos en un molde. Los machos dan forma a las superficies interiores de una pieza moldeada que no pueden ser formadas por la superficie de la cavidad del molde. El fabricante de patrones entrega cajas de machos que son llenadas con arena especialmente aglomerada para producir machos con dimensiones precisas. Los machos se colocan en el molde y éste se cierra. A continuación, se vierte metal fundido en la cavidad del molde y se le deja solidificarse dentro del espacio definido por el molde de arena y los machos. En el área de moldeo y machería, se elaboran los moldes y machos, fundamentalmente de arena, con las huellas de las piezas que se van a fabricar. Cuando estas piezas tienen orificios internos se utilizan machos, para obtener el orificio sin necesidad de un mecanizado posterior. Las fundiciones de precisión con frecuencia usan el proceso de fundición a la cera perdida para hacer los moldes. En este proceso, los moldes se hacen construyendo una cáscara compuesta de capas alternativas de

suspensiones refractarias y estucos, como sílice fundida, alrededor de un patrón de cera. Las cáscaras de cerámica se colocan al fuego para remover el patrón de cera y precalentar las cáscaras para la colada (Guía EPER 2001)

Otro proceso de elaboración de moldes en arena que está encontrando aceptación comercial utiliza un patrón de espuma de poliestireno embutido en arena tradicional suelta sin aglomerante. El patrón de espuma dejado en el molde de arena es descompuesto por el metal fundido, por lo tanto el proceso es llamado "moldeo con patrón evaporante" o "proceso de espuma perdida" (EPA, 2001).

#### **IV. 3.3 Colada, enfriamiento de moldes y desmoldeo.**

##### **IV. 3.3.1.- Colada**

Una vez que el metal fundido ha sido tratado para conseguir las propiedades deseadas, es transferido al área de colada en cucharas revestidas con refractarios. Se retira la escoria de la superficie del baño y se vierte el metal en moldes. Cuando el metal vertido se ha solidificado y enfriado, se saca la pieza fundida fuera del molde y se retiran los tubos verticales y las puertas. Los humos provenientes del metal en el área de colada normalmente son extraídos hacia un dispositivo de recolección de polvo, como una cámara de bolsas. Una vez que el metal fundido ha sido colado a los moldes se procede a su enfriamiento. Tanto en el caso de fundición de hierro como de acero, los castings una vez enfriados se sitúan en una parrilla vibratoria en la que se tiene lugar el desmoldeo. Esta operación trata de separar la pieza de la arena. Se trata de separarla de la caja de moldeo y de hacer desaparecer la mayor parte de la arena, tanto en la superficie como en el interior (procedente de los machos) (Greenberg 2001).

##### **IV. 3.4.- Operaciones de acabado**

Tras el desmoldeo siempre queda una capa de arena calcinada recubriendo la pieza, así como restos de machos en el interior de las cavidades. De esta

manera se procede a la eliminación de la arena con el granallado. Tras el granallado se procede al desbarbado de las piezas. Entre las operaciones de acabados pueden considerarse también el mecanizado de las piezas, la recuperación por soldadura de los defectos superficiales, y el tratamiento térmico como el recocido (Goodger, 1997)

#### **IV. 3.4.1.- Limpieza**

Después del enfriamiento, se retiran los tubos verticales y los burletes de la pieza fundida utilizando sierras de banda, discos de corte abrasivos. La rebaba en la junta se retira con cinceladores. El contorneado de las áreas de corte y de la junta se hace con esmeriladora. La pieza fundida puede ser reparada mediante soldadura para eliminar defectos (Goodger, 1997).

Después de la limpieza mecánica, la pieza fundida es limpiada a chorro para retirar la arena, rebabas metálicas u óxido. Para limpiar piezas de hierro, generalmente se usa perdigones de acero y algunas veces una combinación de perdigones y arenisca. En el pasado, se usaba abrasivos maleables y de arenisca de hierro templado (Novais, 2003).

Los componentes de las piezas fundidas que requieren características superficiales especiales (como resistencia al deterioro o una apariencia atractiva) pueden ser revestidos. El prerequisite más importante de cualquier proceso de revestimiento es la limpieza de la superficie. El proceso de limpieza debe dejar la superficie en una condición que sea compatible con el proceso de revestimiento (Greenberg 2001).

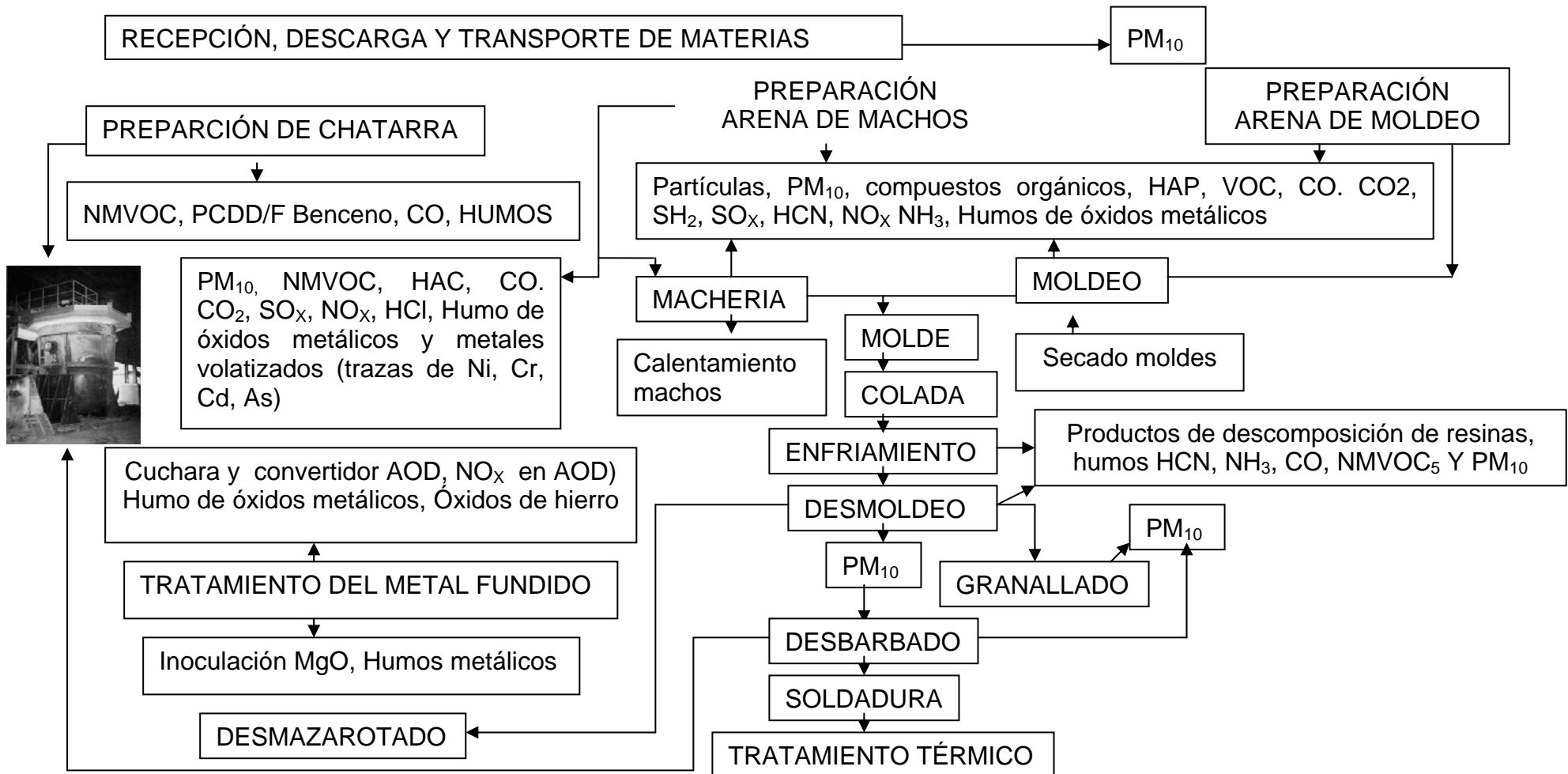
#### **IV. 3.4.2.- Revestimiento**

Las piezas fundidas son revestidas usando soluciones de enchapado, baños de metales fundidos, aleaciones, metales en polvo, metales volatilizados o sales de metales, revestimientos de fosfatos, porcelana y revestimiento orgánicos (Greenberg 2001).

#### IV.4.- Emisiones Atmosféricas: Identificación de Contaminantes.

Las principales emisiones atmosféricas se describen a continuación:

Figura 2. Diagrama de flujo de emisiones atmosféricas.



La mayor cantidad de emisiones se produce en las etapas de Fusión, Arenería y producción de machos y moldes. Se describen a continuación y de manera breve las emisiones en estas etapas (CE, 2002).

#### **IV.4.1.- Proceso de Fusión y Tratamiento del Metal Fundido.**

##### **IV.4.1.1.- Horno Eléctrico de Arco (HEA)**

Los humos, gases, vapores, emisiones y partículas que se desprenden cuando inicia el proceso de fundición, durante y después el tratamiento del metal fundido son, el Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ), el Monóxido de Carbono (CO), Óxidos Nitrosos ( $\text{NO}_x$ ), Materia en Partículas de  $10 \mu$  o menores ( $\text{PM}_{10}$ ), Partículas sólidas que contienen óxidos minerales y metálicos, compuestos orgánicos gaseosos, elementos traza (Ni, Cr, Cd, As) (Wark y Warner, 1996).

Los hornos de inducción se han convertido gradualmente en los hornos más usados para la fundición de hierro y, crecientemente, para aleaciones no ferrosas. Estos hornos tienen un excelente control metalúrgico y están relativamente libres de contaminación. Los hornos de inducción están disponibles en capacidades que van desde unas cuantas libras hasta 75 toneladas. Los hornos de inducción sin núcleo tienen una capacidad típica de 5 toneladas a 10 toneladas. En un horno sin núcleo, el crisol está completamente rodeado por una bobina de cobre refrigerada con agua. Los hornos de inducción de canal se usan comúnmente como hornos de conservación (CE, 2002).

Los hornos de inducción son hornos eléctricos de corriente alterna. El conductor principal es una bobina, que genera una corriente secundaria mediante inducción electromagnética. La sílice ( $\text{SiO}_2$ ), que está clasificada como un ácido, la alúmina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), clasificada como neutra y la magnesia (MgO), clasificada como material básico, se usan generalmente como refractarios. La sílice se usa frecuentemente en la fundición de hierro debido a su bajo costo y porque no reacciona fácilmente con la escoria ácida producida cuando se funde hierro con alto contenido de silicio. Los hornos de reverbero y



de crisol son usados ampliamente para la fundición en lotes de metales no ferrosos como aluminio, cobre, zinc y magnesio. En un horno de crisol, el metal fundido es mantenido en una estructura con forma de marmita (crisol). Los calentadores eléctricos o a combustible fuera de esta estructura generan el calor que pasa a través de ella hasta el metal fundido. En muchas operaciones de fundición de metal, se acumula escoria en el revestimiento de la superficie metálica, mientras que en el fondo se acumulan lodo pesado no fundido. Ambos reducen la vida útil del crisol y deben ser retirados para ser reciclados o tratados como residuos (Hauschnik, 1996)

#### **IV.4.2.- Arenería – Producción de Moldes y Machos.**

Las mayores emisiones en las operaciones de producción de moldes y machos son de  $PM_{10}$  y proceden de la regeneración de arena, preparación de arena, mezcla de la arena con aditivos y aglomerantes, y de la conformación de moldes y machos. Las emisiones de VOC y demás contaminantes gaseosos ( $CO$ ,  $CO_2$ ,  $HCN$ ,  $SH_2$ ,  $NH_3$ , Benceno, HAP,  $SO_x$ ,  $NO_x$ ) proceden del uso de los aglomerados orgánicos y catalizadores, y de procesos de calentamiento durante la fase de producción de los moldes y los machos. Las emisiones se producen principalmente durante el calentamiento o vulcanizado de los moldes y machos o durante la extracción de los machos de sus cajas (EPA, 2001).

#### **IV.4.3.- Colada en Moldes, Enfriamiento y Desmoldeo.**

Los productos de combustión generados durante la colada en los moldes son el  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $NO_x$ ,  $SO_x$  producto del precalentamiento de cucharas de colada; Emisiones gaseosas [VOC, Benceno, HAP (Hidrocarburos aromáticos policíclicos) de volatización y degradación térmica, compuestos químicos de aglomerantes o negros de fundición, vaporización de modelos desechables, olores,  $PM_{10}$  de desmoldeo (CE, 2002).

**Cuadro No. 2 Contaminantes recogidos en sublista sectorial del Documento Guía para realización del Inventario Europeo de Emisiones y Fuentes Responsables (EPER).**

PM<sub>10</sub> | HCl | HAP | C<sub>6</sub>H<sub>6</sub> | HCN | PCDD/f | Zn | As | Ni | Cr | Cu | Cd | SO<sub>x</sub> | NO<sub>x</sub> | VOC | CO<sub>2</sub> | CO | NH<sub>3</sub>

Proceso		Contaminantes																
		PM <sub>10</sub>	HCl	HAP	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	HCN	PCDD/f	Zn	As	Cr	Cu	Cd	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	VOC	CO <sub>2</sub>	CO	NH <sub>3</sub>
Horno de Fusión	Inducción	✓					X	X	X	X	X	X						
Refino (convertidor y cuchara)	AOD	✓	X					✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	✓	
Refino (inoculación)		✓						✓	✓	✓	✓	✓						
Machería		✓			✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
Manipulación de arena	producción de moldes	✓		✓	✓	✓							✓	✓	✓	✓	✓	✓
Secado de moldes		✓													✓	✓		
Colada y enfriamiento		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓
Desmoldeo		✓		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓		✓				✓
Granallado, desmazarotado, desbarbado.		✓																

Se dispone de factor de emisión ✓

No se dispone de factor de emisión X

#### IV.5.- Evaluación de Emisiones a partir de Cálculo/Estimación.

La evaluación de las emisiones tiene como propiedad la utilización de las medidas que las fundiciones hayan podido realizar. En ausencia de medidas, se recurre a la evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión (cálculo) (Novais, 2003)

Los factores de emisión son los datos que expresan la cantidad emitida de una sustancia por tonelada de metal producido, unidad de combustible consumido, etc. Los factores utilizados en este sector son los que se detallan a continuación:

Cuadro No. 3. Evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión.

Operación		FE (factor de emisión)
Combustión industrial	Gas industrial	Kg contaminante/ Nm <sup>3</sup>
		Kg contaminante/termia
		Kg contaminante/kWh
Fusión, refinado y operaciones auxiliares		Kg /t Metal líquido producto
		Kg /t Metal cargado
		Kg /t Materia prima cargada
		Kg / t Metal inoculado
		Kg /t Abrasivo utilizado
		Kg/t Arena manipulada

##### IV.5.1.- Cálculo de PM<sub>10</sub>

Se propone a continuación el método de evaluación de las emisiones a partir de factores de emisión (cálculo) para PM<sub>10</sub> (Rubro Fundiciones, 2001)

EL CÁLCULO DE PM<sub>10</sub> (Horno de Arco Eléctrico: HEA en Fundición):

- ✓  $PM_{10} = 0,58 \times PS$  (sin depuración)
- ✓  $PM_{10} = 0,76 \times PS$  (después de Filtro de mangas)

#### IV.6.- Factores de emisión de instalaciones auxiliares en procesos de combustión.

En el siguiente cuadro se presentan los valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmósfera mediante la aplicación de los factores de emisión.

Cuadro No. 4 Valores aplicables para la determinación y cálculo de las emisiones a la atmósfera.

Contaminante	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	PM <sub>10</sub>		
Etapa de proceso	g/GJ	g/GJ	Kg/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ	g/GJ		
Instalaciones auxiliares										
Calderas y quemadores (<50 MW)										
Gas Aire	1,4	1,0	55,8	5	62	Desp	1	Incont.	Desp.	
natural Oxígeno	Desp.	Desp.	56,1	Desp.	Desp.	Desp.	Desp.	Incont.	Desp.	
Turbinas gas										
Gas natural	4	10	55,8	4	160	Desp.	4	Incont.	0,9	
Motores estacionarios										
Gas natural	4,7	136	55,8	47	1200	Desp.		Incont.	Desp.	

g/GJ: gramo contaminante por Giga Julio de combustible contenido.

Desp. : Despreciable.

Incont. : Incontrolado

Factores de emisión del CO<sub>2</sub> suponiendo un valor de oxidación de referencia de 0,99 para todos los combustibles sólidos y 0,995 para todos los demás combustibles (Hauschnik, 1996)

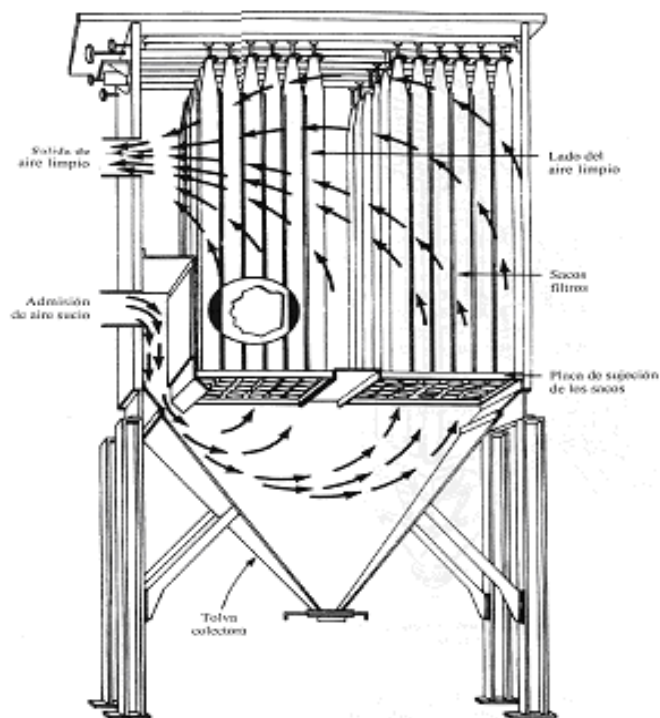
#### IV. 7 Criterios de selección particulares a las fundiciones.

En las fundiciones, los agentes contaminantes del aire para la mayoría de las actividades, son las partículas que por su naturaleza, se pueden dividir, en polvos, gases y humos. Por esta razón, los colectores de polvo se pueden considerar como los componentes principales del equipo de purificación del aire (De Nevers, 1998)

Tipos de equipos de control, entre los cuales se encuentran los siguientes:

Casa de Sacos.

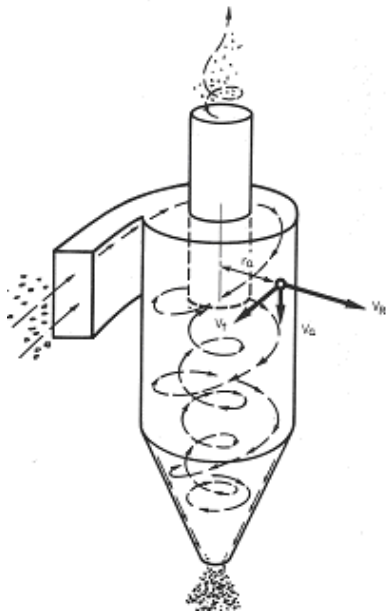
Figura 3.- Diagrama típico de una casa de sacos



Dibujo No. 1: En este diagrama llamado casa de sacos también llamado filtro de sacudida y desinflado, consta de un gran número de sacos cilíndricos de paño que se cierran en la parte de arriba como una media gigantesca, con la punta hacia arriba. Estos se cuelgan de un soporte. Los extremos inferiores se deslizan sobre manguitos cilíndricos que se proyectan hacia arriba desde una placa que se encuentra abajo, y se sujetan a ellos por medio de abrazaderas. El gas sucio fluye hacia el espacio que está debajo de esta placa y hacia arriba para entrar a los sacos. El gas fluye hacia afuera a través de estos últimos. Dejando detrás sus sólidos. Entonces el gas limpio fluye hacia el espacio de afuera de los sacos y se lleva por ductos hacia la chimenea de escape o hacia al algún proceso adicional (De Nevers, 1998)

## Ciclón colector

Figura 4.- Diagrama típico de un ciclón colector.



Dibujo No. 2. El flujo del gas es forzado en un espiral hacia abajo debido a los ciclones forma simplemente y la entrada tangencial. La fuerza y la inercia centrífugas causan las partículas al movimiento hacia fuera, chocan con la pared externa, y después resbalan hacia abajo hacia el fondo del dispositivo. Cerca del fondo del ciclón, el gas invierte su espiral hacia abajo y se mueve hacia arriba en un espiral interno más pequeño. El gas limpiado sale de la tapa a través de un vórtex-buscador, el tubo, y las partículas salen del fondo del ciclón a través de una pipa sellada por una válvula de aleta por resorte o una válvula rotatoria (Benítez, 1993)

### **IV. 8.- Control de la contaminación en las operaciones de fundición.**

Las operaciones de fundición tienen una gran variedad de fuentes de contaminantes que se puedan controlar por el proceso de extracción y de ventilación. Algunos contaminantes, debido a su misma naturaleza, se pueden controlar simple y económicamente. Otros requieren de grandes inversiones de capital (De Nevers, 1998).

#### **IV. 8.1.- Hornos de inducción eléctricos.**

Los hornos de inducción eléctricos se han utilizado por años, sobre todo para fundir metal en las industrias de materiales no ferrosos.

La cantidad depende de la condición del material de la carga. Por lo tanto la

extracción de los gases generados, y el manejo para el controlar la emisión durante y después de la operación de carga debe ser considerable. El tipo de extractor requerido es determinado por las condiciones locales y el volumen generado de gases.

La inoculación del metal en el horno requiere una cierta atención. En el proceso nodular de la inoculación del hierro, por ejemplo, donde, entre otros ingredientes, el magnesio se coloca en la olla de inoculación y el metal se vierte sobre este, hay una posibilidad definida de emisión excesiva de humos, especialmente si la operación no se realiza correctamente. Como en todos los diseños, el equipo se debe incluir cuanto sea posible, con las operaciones implicadas.

Para la selección del equipo de control de emisiones a la atmósfera más conveniente y su posterior propuesta a la empresa, se llevaron a cabo los siguientes cálculos:

- 1.- Determinación de la cantidad de material particulado emitido, durante la operación de fusión del metal.
- 2.- Determinación de la velocidad de extracción de los gases, humos y partículas generadas en la operación de fusión del metal.
- 3.- En base a los cálculos anteriores, realizar la propuesta del equipo más adecuado para el control de las emisiones a la atmósfera, proveniente de las operaciones de fusión del metal, en la empresa.

#### **IV. 9.- METODOS PARA EL CONTROL DE LA CONTAMINACION**

Los métodos que se requieren para controlar la contaminación se basan en tecnologías que permiten tratar los gases y las partículas que se desprenden durante cualquier proceso productivo.

## **IV. 9. 1.- Tecnologías de tratamientos de gases y material particulado**

### **IV.9.1.1.- Tecnologías de tratamiento de gases**

Existen cuatro tecnologías básicas que se emplean en el tratamiento de emisiones gaseosas: absorción, adsorción, incineración y condensación. La elección de la tecnología de control depende de los contaminantes que se deben remover, la eficiencia de remoción, las características del flujo contaminante y especificaciones de terreno. Normalmente, se mezclan dos o más tecnologías de remoción de gases en un sólo equipo, siendo las principales tecnologías de remoción absorción y adsorción, y las tecnologías de condensación e incineración son usadas principalmente como pretratamientos (Robaina *et al.*, 2003).

### **IV.9.1.2.- Tecnologías y equipos para tratamiento de material particulado.**

#### **IV.9.1.2.1.- Ciclones y separadores inerciales**

Separadores inerciales son ampliamente utilizados para recoger partículas gruesas y de tamaño mediano. Su construcción es simple y la ausencia de partes móviles implica que su costo y mantenimiento son más bajos que otros equipos. El principio general de los separadores inerciales, es el cambio de dirección al cual el flujo de gases es forzado. Como los gases cambian de dirección, la inercia de las partículas causa que sigan en la dirección original, separándose del flujo de gases (Robaina *et al.*, 2003).

En la práctica, suele ser bastante más interesante utilizar un arreglo de varios ciclones de diámetro reducido. Este tipo de equipos reciben el nombre de “Multiciclón” y puede recuperar con buena eficiencia partículas relativamente pequeñas (4 mm y mayores). Estos equipos pueden utilizarse como preseparadores de otros equipos captadores para mejorar el funcionamiento de estos últimos, o bien en el caso de fundiciones se pueden utilizar como medio de control de las emisiones de las plantas de arenas (CONAMA, 1995).



#### **IV.9.1.2.2.- Removedores húmedos**

Generalmente se utilizan para captar partículas inferiores a 5  $\mu\text{m}$  (las duchas captan sólo partículas gruesas). Son aptos para trabajar con gases y partículas explosivas o combustibles y/o de alta temperatura y humedad. Para alta eficiencia con partículas pequeñas se requiere alta energía, lo que implica altas caídas de presión. En forma parcial son capaces de remover gases, por lo que puede existir un problema de corrosión, y necesitar materiales especiales. En el caso de las fundiciones, son poco utilizados porque al captar las partículas genera un problema de residuos líquidos, que eventualmente puede llegar a ser peligroso (Robaina *et al.*, 2003).

#### **IV.9.1.2.3.- Precipitadores electrostáticos**

Un precipitador electrostático es un equipo de control de material particulado, que utiliza fuerzas eléctricas para mover las partículas fuera del flujo de gases y llevarlas a un colector. Los precipitadores electrostáticos tienen eficiencias de 99,9% en remoción de partículas del orden de 1 a 10  $\mu\text{m}$ . Sin embargo, para partículas de gran tamaño (20 - 30 [ $\mu\text{m}$ ]) la eficiencia baja, por lo que se requiere de preferencia tener un equipo de pretratamiento, tal como un ciclón o multiciclón (CONAMA, 1995)

En general, los precipitadores electrostáticos son utilizados para tratar altos caudales de gases, con altas concentraciones de material particulado, ya que el costo de mantención es elevado y sólo con un alto nivel de funcionamiento supera a otras alternativas más económicas e igual de eficientes (lavadores húmedos). En el caso de fundiciones, no se justifica debido a la característica de proceso "batch" en que funcionan (Robaina *et al.*, 2003)

#### **IV.9.1.2.4.- Filtros de mangas**

Son los sistemas de mayor uso actualmente en la mediana y grande industria, debido principalmente a la eficiencia de recolección, y a la simplicidad de funcionamiento. Las partículas de polvo forman una capa porosa en la

superficie de la tela, siendo éste el principal medio filtrante. La selección o verificación de un filtro de mangas, en cuanto a la superficie del medio filtrante, se basa en la “velocidad de filtración”. Esta velocidad, también es conocida como “razón Aire-Tela (A/C)” (CONAMA, 1995).

Una consideración especial debe observarse con respecto al punto de rocío del flujo de gases, el cual se ve influenciado por la presencia de SO<sub>3</sub> en el flujo, ya que se produce la condensación en las mangas y éstas se tapan no permitiendo el filtrado. Además esta condición de condensación produce corrosión en los metales y más aún si hay presencia de SO<sub>3</sub> el cual con presencia de humedad se transforma en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ácido sulfúrico), por lo que también perjudicará por ataque ácido a la mayor parte de los materiales usados en las mangas. Por otra parte debe considerarse el eventual peligro de explosión si se trabaja con gases combustibles (ricos en hidrocarburos) o explosivos (CO proveniente de atmósferas reductoras en fundiciones) (Robaina et al 2003).

## **V.- MATERIALES Y MÉTODOS**

La propuesta de instalación de un equipo de control de emisiones contaminantes a la atmósfera, específicamente para el control de partículas sólidas, provenientes de la actividad de fusión de metal, se pretende que se lleve a cabo en la empresa denominada Fundición Auxiliar Metalúrgica, S. A. de C. V., ubicada en la ciudad de Gómez Palacio Durango, en el Parque Industrial Lagunero de esa ciudad. La empresa tiene como principal actividad la elaboración de piezas automotrices en Hierro gris, para lo cual realiza actividades de fundición de chatarra de acero y fierro.

De acuerdo a los procesos existentes en la empresa se pretende controlar las emisiones provenientes del horno de fusión del acero dulce, ya que se pudo observar que dicho equipo es el que produce la mayor cantidad de emisiones a la atmósfera. Estas emisiones están constituidas principalmente por partículas sólidas y gases.

El equipo de control que se propone, tiene como finalidad el controlar las emisiones a la atmósfera provenientes de la operación de fusión de la chatarra de acero y fierro, la fusión de los materiales se lleva a cabo en los equipos denominados hornos de inducción eléctricos, con que cuenta la empresa, en estos equipo es donde se lleva a cabo la operación de fusión del metal.

En la actualidad la empresa no cuenta con un equipo para el control de las emisiones resultantes de la operación de fusión del metal, por lo que con la finalidad de dar cumplimiento a lo dispuesto en la Legislación Ambiental vigente, la cual establece que todas las emisiones a la atmósfera deben ser canalizadas y controladas.

Aunque el control de la contaminación atmosférica hacia el interior de la empresa es necesario e importante, y da lugar a que las mismas descargadas puedan contaminar la atmósfera fuera de la planta. Las fuentes de los contaminantes, sin embargo, tienen una relación directa con la selección del equipo para la prevención y control de la contaminación atmosférica.

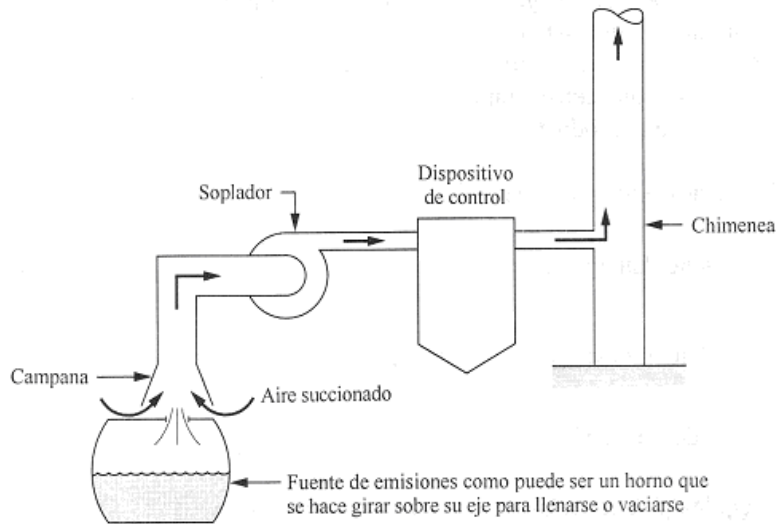
Para la selección del equipo más apropiada para el control de las emisiones a la atmósfera provenientes de los hornos de fusión en la empresa Fundición Auxiliar Metalúrgica, se tomo en consideración, primeramente el tamaño de partículas existentes en los gases de emisiones, para lo que sé consultó la grafica No. 1, de esta gráfica se determina que el tamaño de polvos y humos metálicos de fundición cuentan con diámetros de entre 0.1 y 100 micras.

El equipo de control debe contar con ciertas características que ayuden a la disminución de las emisiones a la atmósfera, de manera que se cumpla con la normatividad ambiental en materia de control de partículas y gases a la atmósfera, y por lo tanto en la disminución de las emisiones.

Para la instalación de los equipos de control, además deberá de instalarse los siguientes equipos auxiliares, una campana de extracción, la cual estará colocada sobre el equipo, esta campana tiene como objetivo el captar los vapores, gases, humos y partículas generados, estos pasaran por una tubería

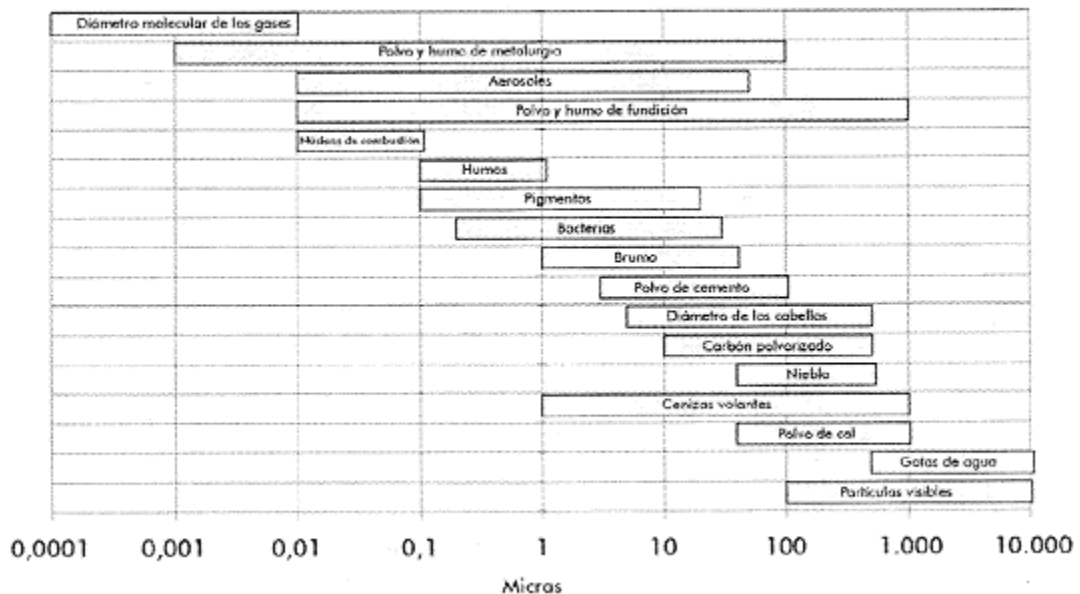
la cual conducirá las emisiones hacia la casa de sacos y/o el ciclón colector, donde mediante el filtrado quedarán atrapados, los vapores, gases, humos y partículas, para que al momento de salir el aire mediante una chimenea, el aire salga libre de dichos contaminantes. Tal como se puede observar en el siguiente diagrama.

Figura No. 5 Diagrama de disposición típica de campana/dispositivo.



Dibujo No. 3.- En el cuadro anterior se puede observar una disposición típica de campana/dispositivo de control/chimenea para una fuente de emisiones que no se puede conectar por medio de un sistema cerrado de ductos hasta el dispositivo de control. En este diagrama de flujo, el ventilador se encuentra entre la fuente de emisiones y el dispositivo de control; también se puede colocar entre el dispositivo de control y la chimenea (De Nevers, 1998)

Cuadro No.5. Tamaño de polvos y humos metálicos.



Una vez obtenido este dato de tamaño de partícula, se consulta el cuadro No. 6 de la cual determina, que el equipo más recomendado para este tipo de contaminantes y del diámetro que tiene estos, el equipo más recomendado para el control de las emisiones, se puede considerar que en primer lugar es: La casa de sacos.

Cuadro No. 6 Diámetro de partículas ( $\mu$ ).



## V.1.- Cálculo y diseño fluidodinámico de un filtro de mangas.

### V.1.1.- Cálculo.

Los dos parámetros fundamentales a considerar en el diseño de un filtro de mangas son la velocidad del gas y la pérdida de carga (Caída de presión). La velocidad del gas debe considerarse bastante reducida, por lo que se considera flujo laminar.

La velocidad, a la que los gases pasan por la tela del filtro debe ser baja, normalmente entre 0.005 y 0.03 m/s, para evitar una excesiva compactación de la torta de sólidos con la consiguiente elevación de la pérdida de carga, o para impedir la rotura local del lecho filtrante que permitiría el paso de partículas grandes a través de filtro.

Para mantener una velocidad constante, es evidente que se debe aumentar la presión a medida que se aumenta el espesor de la torta, de las partículas retenidas en la manga o filtro. Para realizar la función del aumento de la presión se deberá de disponer de un ventilador o soplador, el cual se encargara de impulsar el gas.

Normalmente la resistencia del material filtrante es despreciable en comparación con la de la torta, de modo que el volumen del gas procesado resulta proporcional a la raíz cuadrada del tiempo de filtración.

A la hora de determinar la capacidad de un filtro de mangas se debe de tener en cuenta, entre otros parámetros, los siguientes:

- La cantidad de gas a tratar.

#### **V.1.2.- Factores para el diseño.**

Con la finalidad de determinar la capacidad del filtro de mangas, que se pretende proponer para su instalación en la empresa, se deben tomar en consideración y desarrollar los siguientes parámetros:

- ✓ La velocidad del gas. Para la determinación de este parámetro, se debe considerar lo siguiente; En general los filtros tiene caídas de presión del orden de 2 a 6 pulgadas de agua (H<sub>2</sub>O), lo cual nos da un valor nominal de velocidad de entre del gas al equipo de filtrado de 1 a 8 pies<sup>3</sup>/min. (pie<sup>2</sup> de superficie de telas). En el caso de polvos muy finos o cargas pesadas de polvo, este gasto no debe sobrepasar de 3 pies<sup>3</sup>/min. (pie<sup>2</sup> de superficie de telas).
- ✓ Caída de presión. La caída de presión es la resistencia que ofrece el medio filtrante al paso del gas contaminado por este, así la caída de presión es equivalente a la velocidad de entrada del gas al equipo. Una caída de presión máxima permisible corresponderá a una velocidad de entrada al equipo dentro de la gama de 20 a 70 pies/seg. Por lo tanto los equipos suelen diseñarse para una velocidad de entrada de 50 pies/seg.

La caída de presión no debe de exceder de 6 pulgadas de agua (H<sub>2</sub>O), con cargas de polvo hasta de 2 Lb. de polvo/Lb. de gas, equivalentes a 0.9072 Kg de polvo/ Kg de gas, pero en la mayoría de las aplicaciones, las cargas de polvo de entrada son menores que 40 gr. de polvo /pie<sup>3</sup> de gas. (Perry, 1986)

Una vez determinado los parámetros anteriores se aplicara la siguiente formula: (Nevers)

$$V_{prom} = Q / A$$

Donde:

- $V_{prom}$ . = Velocidad promedio del gas a la entrada del equipo.
- $Q$  = Flujo del gas conteniendo el contaminante de interés (partículas).
- $A$  = Área de filtración (equivale al área que contiene las mangas o filtros).

Para la presente propuesta de instalación de un filtro de mangas (casa de filtros), se tomaron en cuenta los valores indicados en los párrafos anteriores, por lo que los valores para el diseño del equipo de control son los siguientes:

$$V_{prom} = 50 \text{ pies} / \text{seg} \text{ (Equivalentes a } 3000 \text{ pies} / \text{min)}$$

$$Q = 3 \text{ pies}^3 / \text{min}.$$

$A$  = variable a definir.

Sustituyendo valores en la formula anterior y despejando la variable a definir, obtenemos el siguiente valor:

$$A = \frac{V_{prom}}{Q} = \frac{3000 \text{ pies} / \text{min}}{3 \text{ pies}^3 / \text{min}} = 1000 \text{ pies}^2$$

Por lo tanto el área de filtrado es;  $A = 1000 \text{ pies}^2 = 92.9 \text{ m}^2$

Por otro lado las bolsas se fabrican con material de fieltro tela, de 1/16 a 1/8 de pulgada de espesor, y con diámetros de 8 a 18 pulgadas y con longitudes hasta

de 19 pies. (Perry,1986)

Una vez determinada el área total de filtrado, el siguiente paso será el de determinar la cantidad de bolsas con que debe de contar al filtro de mangas, para lo cual se debe considera el área de la bolsa o manga, y esta se calcula mediante la multiplicación del diámetro por la longitud de la bolsa (Nevers, 1998).

Para la presente propuesta de equipo, se realizan los cálculos tomando los valores máximos y mínimos de diámetro de las mangas o filtros, descritos anteriormente, los cuales son los de 8 y 18 pulgadas de diámetro y considerando la misma longitud, 19 pies, por lo que posteriormente determinamos el número de mangas o filtros con que debe de contar el equipo de filtrado, por lo que la cantidad de número de bolsas o mangas serán los siguientes:

**a).- Mangas con Diámetro de 8 pulgadas y 19 pies de longitud;**

Área de la manga o filtro = Diámetro de manga x longitud de la manga

Donde:                    19 pies = 5.79 metros.

8 pulgadas = 0.2032 metros

$$\text{Área de la manga o filtro} = (0.2032 \text{ M})(5.79 \text{ M}) 1.176 \text{ M}^2$$

Número de mangas o filtros con que debe de contar el equipo de filtrado serán:

$$\text{Número de mangas} = \frac{\text{Área del equipo}}{\text{Área de manga}} = \frac{92.2 \text{ M}^2}{1.76 \text{ M}^2} = 52.78 \text{ Bolsas}$$

Número de mangas = 52.78 bolsas

**b).- Mangas con Diámetro de 18 pulgadas y 19 pies de longitud;**



Área de la manga o filtro = Diámetro de manga x longitud de la manga

Donde: 19 pies = 5.79 metros.

18 pulgadas = 0.4572 metros

Área de la manga o filtro =  $(0.4572 \text{ M})(5.79 \text{ M}) = 2.647 \text{ M}^2$

Número de mangas o filtros con que debe de contar el equipo de filtrado serán:

$$\text{Número de mangas} = \frac{\text{Área del equipo}}{\text{Área de manga}} = \frac{92.2 \text{ M}^2}{2.647 \text{ M}^2} = 35.09 \text{ Bolsas}$$

Número de mangas = 35.09 bolsas

## V. 2. Determinación y cálculo de las emisiones PM<sub>10</sub>.

### V.2.1.- Evaluación de PM<sub>10</sub>

$$\text{El caudal másico } M(\text{Kg Ps/h}) = \frac{(P_{S1} \times C_{S1} + P_{S2} \times C_{S2} + P_{S3} \times C_{S3})}{(3 \times 10^6)}$$

- $P_{S1} = 4 \text{ mg/Nm}^3$ ;  $P_{S2} = 6 \text{ mg/Nm}^3$ ;  $P_{S3} = 5 \text{ mg/Nm}^3$
- $C_{S1} = 60,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ;  $C_{S2} = 62,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ;  $C_{S3} = 59,000 \text{ Nm}^3/\text{h}$
- Número de horas de funcionamiento : 2080 Hr/año
- Producción: 2080 toneladas metal líquido/año.

$$M(\text{Kg Ps/h}) = \frac{[(4 \times 60000 + 6 \times 62000 + 5 \times 59000)]}{(3 \times 10^6)} = 0.3 \text{ Kg Ps/h}$$

$$M'(\text{Kg Ps/h}) = M \text{ Kg Ps/h} \times \text{horas de funcionamiento} = 624 \text{ Kg Ps/h}$$

## VI.- RESULTADOS

El equipo de control, propuesto debe presentar las siguientes características, lo anterior de acuerdo a los cálculos realizados:

Se determino que el área de filtrado debe ser de 1000 pies<sup>2</sup> lo que es igual a 92.9 m<sup>2</sup>. Considerando que las mangas tienen un diámetro estándar de 8 pulgadas y 19 pies de longitud se ocuparía un número de 52.78 bolsas, y si el diámetro de la manga es de 18 pulgadas y de 19 pies de longitud, se necesitarían solo 35.09 bolsas. Estas bolsas son las que detendrán las partículas contenidas en el gas que entra al equipo de control, la velocidad del gas será constante, dichas mangas se colocaran dentro del equipo de control denominado casa de sacos. La casa de sacos o mangas es el equipo que se selecciono para su instalación en la empresa, debido a que cuenta con características favorables que nos permitirán lograr la reducción de los contaminantes que se emiten a la atmósfera.

En el cuadro siguiente se muestra por que es más factible usar la casa de sacos que un ciclón colector.

Cuadro No. 7 Ventajas y desventajas de equipos de control.

. En este cuadro se describen las características de los equipos de control, ventajas y las desventajas que presentan.

Equipo de control	Ventajas	Desventajas
Ciclón colector	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Bajos costos de capital.</li><li>✓ Falta de partes móviles, por lo tanto, pocos requerimientos de mantenimiento y bajos costos de operación</li><li>✓ Caída de presión relativamente baja, comparada con la cantidad de partículas removidas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Eficiencias de recolección de partículas suspendidas totales relativamente bajas, particularmente para partículas menores de 10 µm.</li><li>✓ No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes.</li><li>✓ Las unidades de alta</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Las limitaciones de temperatura y presión dependen únicamente de los materiales de construcción.</li> <li>✓ Colección y disposición en seco.</li> <li>✓ Requisitos espaciales relativamente pequeños (Pérez <i>et al.</i>, 1994).</li> </ul>	<p>eficiencia pueden tener altas caídas de presión (Pérez <i>et al.</i>, 1994).</p>
Filtro de bolsas	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Eficiencia de recolección que asciende a un 99%</li> <li>✓ Apropiado para operaciones totalmente automáticas.</li> <li>✓ Utiliza una tela de tejido plano más o menos delgada como medio de filtración.</li> <li>✓ Se utiliza algodón satinado, por su bajo costo.</li> <li>✓ Se disponen de una gran variedad de telas que se utilizan como filtros (Perry, 1986).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Filtra solo los polvos y deja pasar los gases.</li> <li>✓ Cuando los gases cargados de polvo pasan inicialmente por la tela, la eficiencia de separación es reducida hasta que se han captado las suficientes partículas.</li> <li>✓ Pero se limita la utilización de algodón para aplicaciones a bajas temperaturas (Perry, 1986).</li> </ul>

## VII. CONCLUSIONES

La propuesta de un equipo de control que se hizo para la empresa Fundición Auxiliar Metalúrgica, S. A. de .C. V., se dio, debido principalmente a que en esta empresa se lleva a cabo la fundición de hierro gris y éste durante y después de llegar a su punto de fusión emite gases, humos y partículas que no tienen ningún control de contaminación, así que por tal motivo se propone que se instale un equipo de control que logre captar todos estos contaminantes que son emitidos libremente a la atmósfera y de esta forma evitar que se siga contaminando mas el entorno ecológico de la empresa.

La casa de sacos es el equipo sugerido, debido a que es el equipo mas adecuado para retener los contaminantes, principalmente partículas sólidas, mediante el procesos de filtración, ya que estos equipos pueden depurar el aire hasta un 99% de los contaminantes presentes en los gases y esta realiza un

proceso muy eficiente, ya que consta de un gran número de sacos o mangas cilíndricos. El gas sucio fluye hacia el interior de la casa de sacos para posteriormente entrar a los sacos o mangas. El gas fluye hacia afuera del equipo a través de estos. Dejando en los sacos o mangas los sólidos contenidos en el gas. Entonces el gas limpio fluye hacia el exterior del equipo de control de los contaminantes y es llevado por ductos hacia la chimenea de descarga a la atmósfera o hacia algún otro proceso adicional.

La entrada de polvo no debe de exceder de 6 pulgadas de agua (H<sub>2</sub>O), con cargas de polvo hasta de 2 Lb. de polvo/Lb. de gas, equivalentes a 0.9072 Kg de polvo/ Kg de gas, con el calculo siguiente se determino que la entrada de polvo es menor a lo antes descrito. Por lo cual se determina que el equipo propuesto es el adecuado para que se instale y controle las emisiones que se generan en el proceso productivo.

Cálculo para la determinación de la cantidad de polvo admitido:

$$\frac{624 \text{ Kg Ps/h}}{3600 \text{ s}} = 0.173 \text{ Kg de polvo/Kg de gas}$$

## VIII. RECOMENDACIONES

Después de la propuesta se hará la instalación por lo cual es o son necesarios los planes de monitoreo para la planta y el equipo. En general, los planes para las fundiciones de hierro y acero dulce se deben contemplar los siguientes aspectos:

- ✓ Emisiones de partículas, dióxido de azufre, monóxido de carbono,
- ✓ Parámetros del proceso que comprueban la operación adecuada de los equipos de mitigación de la contaminación atmosférica
- ✓ La calidad del aire del lugar de trabajo, según el tipo de planta y proceso: dióxido de azufre y óxidos de nitrógeno
- ✓ La calidad del aire ambiental, a favor del viento, alrededor de las plantas

para verificar la presencia de contaminantes y partículas

- ✓ Cumplimiento de los procedimientos de seguridad y de control de la contaminación

Los resultados de las actividades descritas anteriormente, deben concordar con las normas Mexicanas, para las emisiones y efluentes de los gases provenientes de actividades de fundición en base a los reglamentos nacionales; en caso de que estos no existan, se deben usar lineamientos de países más avanzados en el tema. Las agencias gubernamentales que tienen la responsabilidad de monitorear la operación de los equipos de control de la contaminación, la calidad del aire, implementan las normas, y vigilan las actividades de eliminación de desperdicios, deben disponer de equipos necesarios y autoridad para hacerlo. Puede ser necesario dar capacitación especial. La evaluación ambiental debe incluir una valorización de la capacidad local en este respecto y recomendar la incorporación en el proyecto, de los elementos apropiados de asistencia.

## IX.- REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Benítez, J. 1993. Process engineering and design for air pollution control. Prentice Hall. New Jersey.
2. Comisión Europea. 2000. Dirección General de Medio Ambiente. Decisión EPER.
3. CONAMA. 1995. Estudio del Plan Maestro sobre Manejo de Residuos Sólidos Industriales en la Región Metropolitana. Agencia de cooperación internacional de Japón (JICA), Comisión nacional de medio ambiente.
4. De Never N. 1998. Ingeniería de Control de la contaminación del Aire. "Ideas Generales en el Control de la Contaminación del Aire. McGraw Hill. México.
5. Environmental Protection Agency, Air CHIEF 2001. Compilation of Air Polltant Emission Factor – AP 42.
6. Guía EPER. 2001. Sectorial – Industria del Vidrio. Ministerio del Medio Ambiente. Paraninfo. España
7. 4. Rubro Fundiciones. 1998. Guía para el control de la contaminación industrial. Paraninfo. España.
8. Goodger E.M. 1997. Alternative Fuels. McGraw Hill
9. Greenberg J. H., 2001 Emisiones de las fundiciones de Hierro. McGraw Hill
10. Hauschnik P. Lahmeyer., 1996. Taller de planificación "La gestión ambiental en las fundiciones". Universidad de Antioquía - PROPEL Colombia
11. IHOBE. 2002. Diagnósticos Ambientales Sectoriales. Paraninfo. España
12. Ley 16/2002. 2002. Prevención y Control Integrados de la Contaminación – Ley IPPC.
13. Novais O. T. M. 2003. Areia de Fundição: Uma Questão Ambiental
14. Ribeiro, C. H. 2001. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFSC Brasil.
15. Pérez, F., D. Ramírez, y J. Ramírez,. (1994). Diseño óptimo de colectores ciclónicos. Revista Ainsa. Numero 26, Medellín. Páginas

12-25.

16. Perry R H., (1986). Biblioteca del Ingeniero Químico. Equipos de Recolección. McGraw Hill. México. Páginas 100-107.
17. Robaina A. C. y Sevilla M. D. 2003. "Epidemiología de las enfermedades relacionadas con la ocupación", Rev Cubana Med Gen Integr. Paginas 5-10.
18. Suárez L. L. 1996. Mejores técnicas disponibles y medio ambiente en la industria primaria de los metales no férreos. Ministerio de obras públicas, transportes y medio ambiente, Dirección general de política ambiental.
19. Wark, K. y Warner, C., (1996). Contaminación del aire. Limusa. México.