



MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

INSTITUTO SUPERIOR MINERO METALÚRGICO DE MOA  
"Dr. Antonio Núñez Jiménez"

FACULTAD DE METALÚRGIA - ELECTROMECAÁNICA

DEPARTAMENTO DE METALURGIA

---

# **Tésis en opción al título de Ingeniero Metalúrgico**

**Título:** Inventario de emisión para los contaminantes del aire, emitidos por fuentes puntuales de la empresa "Cmdte Ernesto Che Guevara".

**Autora:** Surelis Domínguez Oro

**Tutores:** Dr. Carlos Izaguirre Bonilla

Ms.C Liban Montes de Oca González

Lic. Ariel Díaz Puig

Moa, 2008

" Año 50 de la Revolución "

Yo: **Surelis Domínguez Oro**, autora de este trabajo de diploma y los tutores Dr.C Carlos Izaguirre Bonilla, Msc Liban Montes de Oca y Lic Ariel Díaz Puig, declaramos la propiedad intelectual de este al servicio del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa para que disponga de su uso cuando estime conveniente.

---

**Diplomante. Surelis Domínguez Oro**

---

**Dr. C Carlos Izaguirre Bonilla**

---

**Msc. Liban Montes de Oca González**

---

**Lic. Ariel Díaz Puig**

*Es tan vana la esperanza de que se llegará sin trabajo y sin molestia a la posesión del saber y la experiencia, cuya unión produce la sabiduría, como contar con una cosecha donde no se ha sembrado ningún grano.*

*Benjamín Franklin.*

*A mis tutores por la ayuda brindada para la realización del trabajo.*

*A Frank Ernesto Revé por estar siempre a mi lado brindándome su apoyo y comprensión.*

*A todos los que sirvieron de empuje en la culminación de la tesis.*

*A la Revolución Cubana por haberme dado la oportunidad de formarme como profesional.*

*A todos:*

*Eterno Agradecimiento.*

*En especial a mis padres Victoria Oro y Jorge Domínguez, por enseñarme a caminar por el sendero del saber, la honestidad y la sinceridad. Aportando todo su empeño para lograr exitosamente mis metas.*

*A mi hermana, por apoyarme siempre en el desarrollo de mi carrera.*

*A mí querida abuela que aunque no se encuentra hoy a mi lado anhelaba este triunfo.*

*A todos mis familiares, que siempre se han preocupado por mi formación.*

## RESUMEN

El actual estado del medio ambiente atmosférico a nivel mundial figura como una de las principales preocupaciones de los seres humanos. Revertir esta situación precisa, entre muchas cosas, el control de las emisiones de estos contaminantes en la fuente de origen.

Los inventarios de emisiones son un primer paso para cuantificar y/o evaluar el impacto de la exposición a un determinado contaminante del aire. Estos en función del objetivo final para que ha sido diseñado puede proveer la mayoría de los datos necesarios para ser usados para modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

En el presente trabajo se aborda como desarrollar un inventario de emisiones para la industria del Níquel específicamente para la empresa productora “Cmdte. Ernesto Che Guevara”. Para ello se realizó una revisión bibliográfica donde se encontró que no se reportan factores de emisión ni datos de actividad para este tipo de instalaciones. Por ello se desarrolló una metodología que permitió llevar a cabo un inventario de emisiones de los contaminantes de criterio para las fuentes puntuales fijas de dicha empresa de manera tal que el mismo puede ser comparado de manera consistente con otros inventarios.

## **SUMMARY**

The current state of the atmospheric environment at world level figures like one of the main concerns of the human beings. To revert this situation is precise, between many things, the control of the emissions of these pollutants in the origin source.

The inventories of emissions are a first step to quantify and/or to evaluate the impact from the exhibition to a certain pollutant of the air. These, in function of the final objective so that it has been designed it can provide most of the necessary data to be used by models of dispersion of atmospheric pollutants.

In the present paper is about as to develop an inventory of emissions specifically for the industry of the Nickel "Cmdte Ernesto Che Guevara". For this was carried out it a bibliographical revision where it was found emission factors and activity data are not reported for this type of facilities. For it was developed it a methodology that allowed to carry out an inventory of emissions of the approach pollutants for the fixed punctual sources of this company so that the same one can be compared in a consistent way with other inventories.

**ÍNDICE**

CONTENIDO	PAG.
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	6
I.1 Introducción.....	6
I.2 Antecedentes y revisión bibliográfica.....	6
I.2.1 Investigaciones a nivel mundial.....	6
I.2.2 Investigaciones nacionales.....	12
I.2.3 Investigaciones en la región de Moa.....	14
I.3 Conclusiones del capítulo I.....	15
CAPÍTULO II. MÉTODOS Y MATERIALES.....	16
II.1 Introducción.....	16
II.2 Propuesta de la metodología para la realización del inventario.....	16
II.2.1 La planeación del Inventario.....	17
II.2.2 Identificación de la Fuentes de emisión de contaminantes .....	18
II.2.3 Estimación de las emisiones.....	19
II.2.4 Cuantificación de la incertidumbre.....	20
II.2.5 Conformación de la base de datos.....	21
II.3 Materiales y métodos empleados para la determinación de la concentración de los contaminantes gaseosos.....	22
II.4 Equipos y métodos empleados para la determinación de material particulado (MP).....	25
II.5 Equipos y métodos empleados para las mediciones de caudal.....	28
II.6 Conclusiones de capítulo II.....	30
CAPITULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	31
III.1 Introducción.....	31
III.2 Planeación del Inventario.....	31
III.2.1 Objetivo final del inventario.....	31
III.2.2 Contaminantes atmosféricos a tener en cuenta en la realización del inventario.....	31
III.2.3 Tipos de fuentes y categorías a evaluar.....	31



III.2.4 Alcance geográfico y temporal del inventario.....	32
III.3 Identificación de la Fuentes de emisión de contaminantes.....	32
III.4 Estimación de las emisiones y cuantificación de la incertidumbre por planta.....	38
III.4.1.1 Planta de Secaderos.....	38
III.4.1.2 Planta de Silos y Molinos.....	39
III.4.1.3 Planta de Hornos de Reducción.....	40
III.4.1.4 Planta de Lixiviación y Lavado.....	41
III.4.1.5 Planta de Recuperación de Amoniaco.....	41
III.4.1.6 Planta de Calcinación.....	41
III.4.1.7 Planta de Sinter.....	42
III.4.1.8 Central Termoeléctrica.....	43
III.5 Discusión de los resultados generales de la empresa que se ofrecen en la base de datos.....	44
III.6 Análisis e interpretación de los resultados por contaminantes emitidos.....	45
III.7 Análisis e interpretación de los resultados por fuentes emisoras.....	51
III.8 Conclusiones del capítulo III.....	55
Conclusiones.....	56
Recomendaciones.....	57
Referencias Bibliográficas.....	58

## INTRODUCCIÓN

Desde el descubrimiento del fuego, el hombre ha contaminado la atmósfera con gases perniciosos y polvo. Luego con el uso del carbón como combustible en el siglo XIX este problema comenzó a ser una preocupación general; debido a que el aumento del consumo de los combustibles por las industrias, por las grandes concentraciones humanas en las áreas urbanas y por la aparición del motor de combustión interna, ha empeorado el problema año tras año; y pese a las muchas reuniones, conferencias y acuerdos que se han celebrado a nivel internacional, regional y local este continúa su curso.

Es cierto que los fenómenos naturales como: ciclones, erosiones volcánicas, tormentas, han causado devastaciones de grandes zonas y regiones con pérdidas de miles de vidas en las últimas décadas, pero no menos cierto, es que el factor antropogénico (la actividad humana) con la emisión de millones de gases tóxicos a la atmósfera afectan en gran escala la calidad del aire. De ahí que un componente necesario en el diseño y la aplicación de cualquier programa para controlar la contaminación del aire es la información sobre las principales fuentes de contaminantes atmosféricos, así como la influencia específica de cada uno de los sectores en el aporte de contaminantes a la atmósfera.

Teniendo en cuenta que la atmósfera, de acuerdo a lo establecido por la Ley No.81 "Ley de Medio Ambiente", es catalogada como una esfera específica de protección del medio ambiente, las empresas tienen la obligación de proteger la calidad del aire. En el caso de Cuba no existe una normativa que regule las emisiones hacia la atmósfera de gases contaminantes, no obstante se ha comenzado a trabajar sobre la base de llevar un control de las mismas. Muestra de ello lo es la creación de la norma cubana NC:242:2005 para realizar inventarios de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera, así como gases de efecto invernadero, como una muestra de la preocupación del país por la protección del medio ambiente atmosférico. Además de insertar dentro de nuestro propio sistema de derecho, normas jurídicas de carácter ambiental así como la creación de un marco institucional que responda, aplique y haga cumplir eficazmente lo dispuesto por estas. Instituciones como el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Agencia de Medio Ambiente, en

*SURELIS DOMÍNGUEZ ORO.*

coordinación con otras instituciones y organismos subordinados a estos y más específicamente el Centro de Contaminación Atmosférica (CECONT).

Los inventarios de emisiones son un primer paso para cuantificar y/o evaluar el impacto de la exposición a un determinado contaminante del aire. Estos en función del objetivo final para el que ha sido diseñado puede proveer la mayoría de los datos necesarios para ser usados para modelos de dispersión de contaminantes atmosféricos.

Las emisiones hacia la atmósfera pueden ser liberadas por dos tipos de fuentes causantes de la contaminación atmosférica, las fuentes antropogénicas y las naturales (Smith, 2004).

Las fuentes antropogénicas incluyen:

- **Fuentes puntuales:** Son fuentes estacionarias de gran tamaño, tales como plantas industriales, cuyas emisiones superan una cantidad determinada de un contaminante.
- **Fuentes de área:** Estas son fuentes demasiado pequeñas para ser registradas individualmente, tales como gasolineras, uso de solventes y aplicación de fertilizantes.
- **Fuentes móviles:** Todo tipo de vehículo o equipo con motor de gasolina o diesel, como automóviles, tractores, aviones, barcos.

Las fuentes naturales incluyen: Erupción de volcanes, tormentas de viento, descomposición de plantas y animales y el rocío formado por el rompimiento de las olas del mar etc (Ver Anexo 1).

La contaminación de origen industrial incluida dentro de las fuentes antropogénicas se caracteriza por la gran cantidad de contaminantes producidos en las distintas fases de los procesos industriales y por la variedad de los mismos.

Estos contaminantes se encuentran en el aire en forma de gases y partículas que pueden ser clasificados como contaminantes primarios, que son aquellos que se emiten a la atmósfera directamente de la fuente y mantienen la misma forma química.

Mientras que los contaminantes secundarios experimentan cambio químico cuando llegan a la atmósfera (Kenneth, 2004).

También se clasifican en contaminantes de criterio o no criterio, siendo de mayor importancia los contaminantes de criterio, identificados así por ser los más comunes y perjudiciales para el bienestar de los seres humanos. Estos incluyen a los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), material particulado (MP), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), monóxido de carbono (CO), incluso el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Causando alteraciones macroecológicas en la atmósfera, además de provocar grandes afectaciones a la salud. (Ver Anexo 1).

El territorio de Moa esta clasificado (Cuesta, 2004) como una ciudad con una calidad del aire bastante mala, dado en gran medida por el impacto que sobre el medioambiente atmosférico han tenido las diferentes empresa procesadoras de níquel en el territorio.

La Empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara; es protagonista principal de este impacto negativo sobre la calidad del aire en este territorio, produciendo gran cantidad de contaminantes atmosféricos, principalmente emisiones de material particulado (polvos metalúrgicos), anhídrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), oxidantes fotoquímicos, óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).

Aunque las emisiones de esta empresa han sido objeto de estudio por varios autores (Basto y Álvarez, 1995; Hurtado y Fernández, 1998; Izaguirre, 2004), un inventario de las mismas usando una metodología que permita comparar estos resultados de manera consistente con otros inventarios no se ha realizado hasta el momento, lo que nos permite plantear la siguiente situación problemática.

**Situación problemática:** Debido a que la empresa no tiene disponible un inventario de emisiones documentado que permita a los directivos de la misma un control más eficiente de estos contaminantes, se plantea una nueva necesidad de investigación.

**Problema científico:** No disponibilidad de un inventario de los contaminantes atmosféricos de criterio para los procesos industriales de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”, empleado para modelos de dispersión de contaminantes.

**Hipótesis:** Si se realiza un inventario de los contaminantes atmosféricos de criterio para los procesos industriales de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”, se puede obtener una base de datos, que puede ser usada para el diseño de modelos de dispersión de contaminantes, de tal forma que permitan trazar estrategias para la mitigación del impacto provocado por dichos contaminantes.

**Objeto de estudio:** Las emisiones hacia la atmósfera de los contaminantes de criterio de los procesos industriales de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”.

**Campo de acción:** El inventario de emisiones de los contaminantes de criterios emitidos por las fuentes puntuales fijas de los procesos industriales de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”.

**Objetivo general:** Realizar un inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos de criterio expulsados a la atmósfera, por los diferentes procesos metalúrgicos de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”, que provea los datos necesarios para ser usado para modelos de dispersión.

**Objetivos específicos:**

- Definir una metodología apropiada, según las condiciones de Cuba y de las fuentes de emisión, para la realización del inventario de emisiones.
- Establecer una base de datos que permita la gestión y actualización de los datos de emisión.
- Estimar la incertidumbre que influye en la exactitud de la estimación de los factores de emisión y en los datos de actividad de las diferentes fuentes seleccionadas.

La metodología de esta investigación asume como principal criterio metodológico la concepción dialéctico materialista y en ella se procede a la triangulación de métodos, fuentes y teorías; la propia triangulación es uno de los criterios de validación.

Dentro de los métodos de la investigación científica, los que fundamentalmente se han utilizado son los siguiente**Teóricos:**

El análisis y crítica de fuentes, a través de los procedimientos del pensamiento lógico: análisis y síntesis, inducción y deducción, el histórico –lógico y el hipotético–deductivo.

El enfoque sistémico, para estudiar integralmente todos y cada uno de los procesos que se ejecutan en la producción de Níquel utilizados en la tecnología CARON y buscar los nexos entre ellos para la comprensión eficaz del flujo tecnológico de la empresa y así determinar las principales fuentes de emisión.

La modelación, para modelar el conjunto de etapas y para la obtención de los factores de emisión, así como para la estimación de las emisiones para cada contaminante específico.

El hermenéutico, en la búsqueda de significados profundos y en la comparación de textos de diferentes orígenes y paradigmas.

### **Empíricos:**

La observación científica, permitió constatar el tratamiento que se le da a las emisiones de los contaminantes evaluados dentro del estudio en las diferentes plantas dentro del proceso productivo de la empresa.

El criterio de expertos, para determinar los datos de actividades de las diferentes etapas del proceso productivo y los valores de las incertidumbres asociadas a los mismos.

La medición como método fundamental para determinar los datos necesarios usados en el cálculo de los factores de emisión y la estimación de las emisiones de los contaminantes emitidos hacia la atmósfera a través de las fuentes fijas de emisión.

Los métodos estadísticos se utilizaron para estimar la incertidumbre de los factores de emisión partiendo de los datos medidos.

## **CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO**

### **I.1 Introducción**

Los inventarios de emisiones son importantes para la protección de la atmósfera, ya que son una herramienta fundamental para evaluar la calidad del aire en relación a las diferentes actividades tanto antropogénicas como naturales, generadoras de contaminantes atmosféricos. Dada su importancia el objetivo de este capítulo es:

#### **Objetivo del capítulo:**

- Establecer los fundamentos teóricos y metodológicos que permitan la realización de un inventario de emisiones en la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”.

### **I.2 Antecedentes y revisión bibliográfica**

La revisión bibliográfica realizada se encaminó en función de dos aspectos fundamentales: los estudios que describen los diferentes aspectos teóricos y las investigaciones, guías y manuales que aportan las bases metodológicas para esta investigación. Para ellos se presentan los resultados en tres niveles diferentes atendiendo a su alcance, los estudios llevados a cabo por instituciones internacionales, los realizados por instituciones nacionales y los realizados en el territorio de Moa. Esto permitió conformar el estado del arte de la temática e identificar las posibilidades concretas para la realización de este tipo de estudios en nuestro país y específicamente en Moa.

#### **I.2.1 Investigaciones a nivel mundial.**

Diferentes autores (Rodsievich, 1983; Richard W. Bouble et al, 1994; Wark. Murria et al, 1996; Schwela, 1996; K. y Warner F. C., 1997; OMS, 1997) coinciden en señalar que la contaminación atmosférica es uno de los problemas más acuciantes que enfrenta la humanidad en la actualidad, el cambio de la composición del aire y el considerable aumento a partir del siglo XIX así como el impacto que esta contaminación a traído sobre la salud, los ecosistemas y los recursos económicos.

En Europa, Ginebra en 1979 se adoptó “La Convención de la contaminación transfronteriza de Rango Largo” (LRTAP). Informando de datos de emisión al cuerpo ejecutivo de la convención, por lo que requería con respecto a las estrategias y políticas, la aplicación de protocolos bajo esta convención, incluyendo el protocolo Helsinki (1985) y Oslo (1994) sobre las emisiones de Azufre, Sofía (1988) sobre los compuestos de nitrógeno NO<sub>x</sub>, Ginebra (1991) para los Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC), y los protocolos de Aarhus en metales pesados y contaminantes orgánicos persistentes.

En el documento (Emisiones e Inventario de las Emisiones, 1985); brindó una importante información ya que en el se describe el inventario de emisiones para Miembros de los Estado (España y Portugal unidos a la Comunidad Europea) presentado al Consejo de Administración Ambiental (CEC). Donde el objetivo del mismo era coleccionar datos de fuentes de emisiones en un orden a producir una base de datos, para el uso y estudio de problemas de contaminación del aire. Los contaminantes tratados fueron: SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC y partículas. En la metodología que se describe se reconocen diez categorías de fuentes principales las cuales son:

- La calefacción.
- Las refinerías de aceite y plantas petroquímicas.
- Los procesos industriales.
- El uso de solventes.
- El transporte.
- La agricultura.
- La naturaleza.
- La calefacción doméstica.
- La planta de combustión industrial.
- Plantas de energía.

Sin embargo la metodología propuesta a opinión del autor carece de profundidad en aspectos tales como los métodos para la estimación de las emisiones, el tratamiento de la incertidumbre y los datos necesarios para que sea utilizado por modelos de dispersión.



En el Manual de Recursos Técnico de la Referencia Bibliográfica para la evaluación del riesgo para tóxicos del aire (Air Toxics Risk Assessment Reference Library Technical Resource Manual, 2004) se presentan los programas y herramientas técnicas que la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA) usa para evaluar las consecuencias de los químicos que son liberados hacia la atmósfera por diferentes tipos de fuentes y cual es el efecto potencial sobre las personas y el medio ambiente. En los capítulos 4 y 7 se abordan temas relacionados con las metodologías y las definiciones más importantes utilizadas en los inventarios de emisiones. La metodología descrita cuenta con 8 pasos para la realización de los inventarios con el objetivo de evaluar el riesgo por inhalación de contaminantes atmosféricos los cuales se exponen a continuación: la planeación del inventario, la búsqueda de la información, la estimación de las emisiones, la compilación de los datos obtenidos en una base de datos, aumento y actualización sistemática de los datos, el control de la calidad de los datos, la documentación del inventario, y el acceso a los datos al personal interesado.

Los principales aspectos que se identificaron en este documento y que sirvieron para el desarrollo de nuestro trabajo son la identificación y clasificación de los diferentes contaminantes y las diferentes fuentes de emisión, los métodos utilizados para la estimación de las emisiones y los aspectos a tener en cuenta cuando el objetivo del inventario es ser usado para modelos de dispersión. Se debe aclarar que aunque esta información fue de vital importancia, en la metodología no se aborda de manera precisa aspectos esenciales como los pasos y fórmulas para el cálculo de las emisiones, el manejo y control de la incertidumbre ni se tienen en cuenta la nomenclatura para identificar las categorías para las diferentes fuentes de emisión.

Por otro lado en Europa en 1986 es creado un proyecto llamado CORINAIR empleado para recoger y organizar información sobre las emisiones en el aire, pertinentes a la deposición ácida. Este es aplicado para 12 Miembros de Estado de la Comunidad Europea, cubriendo tres contaminantes  $SO_2$ ,  $NO_x$  y VOC reconociendo 8 sectores de categorías de fuentes principales:

- La combustión.
- Las refinerías de aceite.
- La evaporación de solventes.
- La combustión industrial.
- Los procesos domésticos.
- El transporte.
- La naturaleza.
- Los misceláneos.

Aunque brinda una lista detallada de los factores de emisión de diferentes fuentes tanto antropogénica como naturales, en el mismo no se contemplan factores de emisión para los procesos de producción de Níquel.

El proyecto de Mando de Mayores Contaminantes del Aire (MAPA, 1990); se realizó para cubrir contaminantes entre los que se encuentran el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y compuestos orgánicos volátiles (VOC), incluyendo las emisiones naturales. Este inventario cuantificó puntos de fuentes de emisiones en un área de nueve sectores de fuentes principales de 17 países de Europa; donde entre las categorías de las fuentes principales se encuentran:

- La combustión no industrial.
- Las industrias.
- La agricultura e industria alimenticia.
- La evaporación de solventes orgánicos.
- La naturaleza.
- Los misceláneos.
- Las plantas de energía.
- El transporte.

En 1991 se realiza una actualización de CORINAIR disponible a 12 Miembros de la Comunidad Europea, 3 Estados Bálticos y 9 Países Europeos Centrales y Orientales. Produciendo una nomenclatura más desarrollada, extendiendo la lista de contaminantes a siete: el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), el amoníaco (NH<sub>3</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y el anhídrido carbónico.

El proyecto (EMEP/CORINAIR, 2002); destaca la necesidad de tener la información cuantitativa sobre las emisiones y sus fuentes para contribuir a su disminución. Estas estimaciones son reunidas en inventarios o bases de datos en que normalmente también contienen los datos de apoyo en función de la finalidad del inventario. Plantea la existencia de requisitos internacionales para los inventarios de emisiones, pero no hace mención de al menos uno de ellos.

Investigaciones realizadas en México muestran los antecedentes del inventario de emisiones el cual se remonta al año de 1988, con el implemento del Sistema Nacional del Inventario de Emisiones de Fuentes Fijas, así como el estudio encaminado a cuantificar las emisiones en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Siendo reforzados a tal punto que, actualmente se tiene información relacionada con las emisiones de fuentes fijas para las principales zonas urbanas del país y algunos corredores industriales. Pero no se hace mención de cual fue la metodología utilizada para lograr el éxito en esta actualización de los inventarios, así como cuales fueron las categorías de fuentes evaluadas.

En Canadá existe un inventario nacional de contaminantes atmosféricos de criterio. Este es mantenido por el departamento federal de medio ambiente, Environment Canadá, y con el apoyo de dependencias federales, provinciales y regionales. El mismo abarca contaminantes entre los que se encuentran el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), material particulado ( $\text{PM}_{10}$ ), material particulado ( $\text{PM}_{2.5}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ), óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y partículas suspendidas. Este inventario fue estructurado en torno a diez categorías de fuentes principales que incluyen:

- Consumo de combustibles.
- Procesos industriales.
- Utilización de solventes.
- Almacenamiento y transporte.
- Eliminación y reciclaje de residuos.
- Vehículos en carreteras.
- Motores.
- Vehículos no carreteros.

- Fuentes naturales.
- Fuentes abiertas.

En Italia se desarrolló un inventario aplicado al sector de la agricultura, donde la recopilación de los inventarios se hizo a través de la colección, elaboración y difusión de datos. Las emisiones se caracterizaron por ser de metano, óxidos nitrosos, amoniaco, y anhídrido carbónico, en el mismo se incluyeron cinco categorías de fuentes. En el estudio se señala que la colección y disponibilidad de datos en tiempo son las principales dificultades enfrentadas por Italia que hace imposible la realización del inventario dentro del tiempo fijado.

Según (Environmental Economics, 2001); existen dos métodos de estimación de emisiones. El método de Nivel 1 (más simple) donde se utilizan datos del país y factores por defecto de las Guías del Panel Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos (IPCC), u otras metodologías reconocidas y el método de Nivel 2 (más complejo). Normalmente basados en modelos que se aplican a partir de datos del país y factores calculados también a partir de datos y resultados de investigaciones realizadas en el mismo. Enfatizando también la importancia de los inventarios de emisiones atmosféricas debido a que son esenciales para reducir la contaminación del aire.

Las Guías Revisadas del IPCC de 1996 (IPCC, OECD, IEA, 1997) para Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero son las aprobadas por la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para este objetivo, y fueron las utilizadas para la ejecución de este proyecto. En estos resultados, se introdujo también la aplicación de las Guías de Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbres en la Preparación de Inventarios Nacionales de Gases de Invernadero (IPCC, 2000) y se introdujeron elementos de las Guías de Buenas Prácticas en Uso, Cambio de Uso de la Tierra y Silvicultura (IPCC, 2003).

El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2002); considera que las emisiones de contaminantes a la atmósfera no sólo tienen efectos a nivel local en la salud de las personas o en el estado de sus pertenencias (como el deterioro de

los monumentos arquitectónicos), sino también a nivel regional, como es la afectación de los bosques y ecosistemas acuáticos debido a las lluvias ácidas (como ocurrió en el norte de Europa y está sucediendo actualmente en China) o, incluso, a nivel mundial, como el cambio climático y la reducción del espesor de la capa de ozono estratosférico que ya afecta severamente la Antártida y otras regiones del mundo.

(Pérez, 2005); investiga las principales tendencias de las emisiones de gases de efecto invernadero en España y su incremento en un 40% hasta el año 2004, donde desde la década de los noventa correspondía a emisiones del 15%. Actualmente España ocupa el penúltimo lugar de toda la Unión Europea respecto al cumplimiento de las obligaciones adquiridas por el protocolo de Kyoto.

### **1.2.2 Investigaciones nacionales.**

En el caso de Cuba, por sus características de país socialista, el fenómeno de la contaminación atmosférica está presente, pero con matices bien diferentes al resto del mundo, debido a la política social y ambiental del gobierno. Según documentos elaborados por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba (CITMA), como organismo rector de la actividad ambiental y, particularmente, en los informes anuales sobre la situación ambiental cubana, tiene particular importancia la calidad del aire, (Fernández, 2000).

Investigaciones realizadas por (Lozada, 2000); abordan la calidad de la atmósfera en nuestro país, donde durante el 2002 se ha continuado el monitoreo de los principales contaminantes gaseosos a nivel regional, ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_2$ ) que son los precursores de la acides de la atmósfera; provocando diferentes efectos nocivos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y sobre la diversidad biológica. Menciona zonas donde la calidad del aire se encuentra seriamente comprometida sin que existan en la actualidad posibilidades reales para su evaluación y control sistemático. Ellas son Moa, Mariel, Nuevitas, Nicaro, Santa Cruz del Norte y la propia ciudad de La Habana.

(López y Fernández, 2002); determinan las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero en Cuba en los años 2000 y 2002. Abordando la importancia de el conocimiento de las emisiones de contaminantes a la atmósfera para la organización de las actividades de mitigación, con el objetivo de proteger la salud humana, la

atmósfera y otros componentes del medio ambiente como los suelos, las aguas y la vegetación que son afectados indirectamente por la deposición de contaminantes desde la atmósfera. El principal aporte de este trabajo a nuestra investigación fue las bases metodológicas, pues el mismo se basa en las metodologías más actualizadas y establecidas para la estimación de las emisiones de gases de invernadero. Estas metodologías son utilizadas al preparar el inventario de modo que los resultados nacionales puedan ser comparados de una forma consistente. La introducción de estas metodologías, mejora notablemente los resultados obtenidos. Es la opinión del autor que aunque el objetivo del inventario desarrollado en este trabajo estaba enfocado hacia los gases de invernadero el mismo es un precedente importante y sienta las bases para mantener una nomenclatura consistente con estudios nacionales en cuanto a la clasificación de las categorías las cuales son:

- Energía.
- Procesos Industriales.
- Solventes y Uso de Otros Productos.
- Agricultura.
- Cambio del Uso de la Tierra y Silvicultura.
- Desperdicios.

La metodología propuesta en este trabajo plantea las base para el desarrollo de la que se usará en la presente investigación incluyendo otros aspectos declarados en otras metodologías reconocidas, con el fin de complementar y tratar de adaptar la metodología propuesta a las condiciones propias de nuestra investigación.

La Norma Cubana NC: 242. 2005 le aportó a la autora, los datos tecnológicos que se han de tener en cuenta para la realización de un inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera generado por fuentes puntuales industriales, teniendo además por objetivo habilitar a los especialistas y técnicos de una herramienta práctica para la obtención de los datos tecnológicos necesarios para la realización de un inventario de contaminantes a la atmósfera.

La norma Cubana NC: 93-02-202:1987. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios: Concentraciones máximas admisibles, altura mínima de expulsión y zonas de

protección sanitarias, establece los requisitos higiénicos sanitarios, las concentraciones máximas admisibles de sustancias químicas contaminantes del aire y los radios mínimos admisibles de las zonas de protección en torno a las empresas industriales y otras fuentes contaminantes del aire. También establece las metodologías de cálculo de la dispersión de las sustancias contaminantes del aire expulsadas por chimeneas, las alturas mínimas admisibles de chimeneas y de las zonas de protección sanitarias en torno a las empresas industriales y otras fuentes de contaminantes del aire. Además se establece el volumen de información requerido para la ejecución de los cálculos de dispersión y del control de la contaminación atmosférica por las industrias.

### **I.2.3 Investigaciones en la región de Moa.**

(Basto y Álvarez, 1995); en su trabajo cuantifican la cantidad de metales pesados que se emiten a la atmósfera en forma de aerosoles mediante los ductos y chimeneas de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara” sin referirse a los gases atmosféricos que son expulsados por las mismas. Valoran las fuentes contaminantes así como su influencia en la ruptura del equilibrio ecológico, la naturaleza y el medio. Aplicando el método de la toma de muestras en los ductos y chimeneas en cada una de las plantas que emiten material particulado al espacio; siendo analizado por medio de un equipo de absorción atómica, seguidamente de un proceso de disolución. Cuantificando finalmente los metales pesados emitidos a la atmósfera.

El trabajo realizado por los autores (Hurtado y Fernández, 1998); fue de gran ayuda para el desarrollo de la investigación pues en el se investigan el control y monitoreo de las emisiones gaseosas de la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara” del municipio de Moa; refiriéndose a los diferentes contaminantes de criterio emitidos por la fábrica, clasificando los tipos de medición de elementos contaminantes; enfatizando además en una serie de metodologías y normas que existen a escala internacional para realizar mediciones de la calidad del aire, no obstante en el mismo sólo se tratan las mediciones de las emisiones sin tener en cuenta los factores de emisión para las diferentes fuentes, calculados por metodologías que permitan comparar estos resultados de manera consistente con otros estudios nacionales.

(Cesigma, 2004); hacen énfasis en la realización de un inventario de fuentes contaminantes por plantas y áreas de trabajo en la empresa “Cmdte Ernesto Che Guevara”, así como un inventario de los focos de emisión de contaminantes, y los principales impactos ambientales detectados, además de las medidas propuestas para su control.

### **I.3 Conclusiones del capítulo I.**

- Se identificaron los principales aspectos teóricos a tener en cuenta para la realización de los inventarios de emisiones.
- En la literatura consultada no se encontraron datos de factores de emisión ni datos de actividad, que permitieran estimar las emisiones de los procesos que se llevan a cabo en la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, por lo que es necesario desarrollar una metodología que posibilite la estimación de las emisiones partiendo del cálculo de los factores de emisión, usando mediciones realizadas en los ductos de salida de gases y los datos de actividad reportados por las plantas; y a su vez poder cuantificar la incertidumbre para cada uno de los parámetros antes mencionados.



## **CAPÍTULO II. MÉTODOS Y MATERIALES**

### **II.1 Introducción.**

El desarrollo y el éxito de toda investigación esta basada en la fiabilidad de los resultados, herramienta fundamental para su validación. La adecuada selección de los métodos y materiales merece una especial atención. De ahí que el objetivo de este capítulo sea:

#### **Objetivo del capítulo:**

- Definir una metodología para la realización del inventario.
- Caracterizar los principales materiales y métodos utilizados en la realización del trabajo.

### **II.2 Propuesta de la metodología para la realización del inventario.**

Aunque las metodologías revisadas en la literatura aportaron el diseño básico para la realización de un inventario desde el punto de vista de estructura y formulación básica para el cálculo de los principales aspectos a tener en cuenta en los inventarios, no se pudo encontrar una que respondiera de manera coherente con el objetivo principal de este inventario y se adaptara a las condiciones específicas de los procesos metalúrgicos en los que se enmarca esta investigación, atendiendo a:

- No se aportan los datos de factores de emisión ni de actividad para los procesos identificados en la tecnología CARON para la producción de Níquel.
- No se describen los métodos para cuantificar la incertidumbre tanto para los factores de emisión como para los datos de actividad.
- No se tienen en cuenta los datos necesarios para ser usados por el modelo de dispersión declarado en la Norma Cubana NC: 93-02-202:1987.

Por lo que el presente documento pretende ser una guía para la realización del inventario de emisiones para los contaminantes de criterio, emitidos por fuentes puntuales fijas en las diferentes actividades relacionadas con la producción de Níquel, específicamente para el proceso CARON.

Este material servirá como referencia y apoyo a las autoridades competentes y a los principales tomadores de decisiones como una herramienta importante que facilite la interpretación de los resultados obtenidos así como su accesibilidad y actualización.

La metodología propuesta cuenta con los siguientes pasos:

1. Planeación del inventario.
2. Identificación de las fuentes de emisión de contaminantes
3. Estimación de las emisiones.
4. Cuantificación de la incertidumbre.
5. Conformación de la base de datos.

### **II.2.1 La planeación del inventario.**

Este es el primer paso para la preparación del inventario y quizás la actividad más importante para asegurar un proceso eficaz donde se minimicen la ocurrencia de posible errores y se tracen las estrategias mas efectivas y económicas.

Para realizar el plan se deben tener en cuenta diferentes pasos los cuales se citan a continuación:

1. Definir el objetivo final del inventario.  
El objetivo del inventario estará en función de las necesidades o requerimientos de información de las emisiones, ya sea para ser usado por modelos de dispersión de contaminantes para trazar estrategias de control o minimización del impacto sobre el medio ambiente atmosférico o como parte de un estudio de emisiones de gases de invernadero donde se contemple también los potenciales de emisión y de absorción.
2. Los contaminantes atmosféricos que se tendrán en cuenta para el inventario.  
Los tipos de contaminantes a tener en cuenta en los inventarios serán definidos por los responsables de la realización del inventario y explicitados en el objetivo del mismo, no obstante los tipos de contaminantes atmosféricos existentes están descritos en la diferentes bibliografía sobre esta temática se recomienda (Ver Anexo 3).
3. Los tipos de fuentes y las categorías que serán evaluadas.

Los tipos de fuentes se pueden clasificar por las dimensiones de la fuente de emisión, por su estado de movimiento, por el origen de la fuente y por la localización

- a. Por dimensiones de la fuente de emisión se clasifican en: puntuales, lineales y areales.
- b. Por su estado de movimiento en fuentes fijas y móviles.
- c. Por el origen de la fuente: naturales y antropogénicas.
- d. Por la localización: exteriores e interiores.

La nomenclatura para categorías de fuentes principales están dada en las Guías Revisadas del IPCC, estas han sido agrupadas en las siguientes seis categorías principales de fuentes que son las utilizadas en el inventario nacional para gases de invernadero y que constituyen módulos dentro de la monografía del inventario.

- Energía.
- Procesos Industriales.
- Solventes y Uso de Otros Productos.
- Agricultura.
- Cambio del Uso de la Tierra y Silvicultura.
- Desperdicios.

#### 4. El alcance geográfico y temporal del inventario.

En este acápite se definirá la localización del inventario ya sea si se realiza para una empresa, un territorio o si es de alcance nacional. Además se tendrá en cuenta la duración del inventario pudiendo ser mensual, trimestral, semestral o anual.

#### **II.2.2 Identificación de la Fuentes de emisión de contaminantes.**

Una vez que las fuentes han sido categorizadas y se ha definido el objetivo y alcance del inventario se procederá a realizar una caracterización detallada de las mismas, en los diferentes procesos de la empresa. Haciendo los análisis pertinentes sobre las emisiones por fuente así como datos de los contaminantes y de actividad necesarios para complementar el objetivo final propuesto para el inventario. La información se recopilará según los datos establecidos en la Norma Cubana NC: 242 del 2005.

### **II.2.3 Estimación de las emisiones.**

Para cada una de las fuentes estudiadas, se utilizarán los mejores métodos de estimación que permiten los datos disponibles a nuestro alcance. En sentido general, los métodos utilizados pueden subdividirse en dos grupos (López y Fernández, 2002):

1. El método de Nivel 1 (más simple) donde se utilizan datos y factores por defecto de las Guías del IPCC u otras metodologías reconocidas.
2. Métodos de Nivel 2 (más complejos). Normalmente basados en modelos que se aplican a partir de datos del país y factores calculados también a partir de datos y resultados de investigaciones realizadas en el mismo.

La metodología general de cálculo utilizada para estimar las emisiones en cada proceso que se evalúa comprende, por lo general, el producto de datos de actividad por ejemplo cantidad de material producido o consumido y un factor de emisión asociado por unidad de consumo o producción de acuerdo con la siguiente expresión:

$$E_{ij} = A_j \times EF_{ij} \times \alpha \quad (2.1)$$

Donde

$E_{ij}$ : La emisión del proceso en Giga gramos (Gg) del gas i en el sector j.

$A_j$ : Dato de actividad del proceso en el sector j (Toneladas producidas diarias, mensuales o anuales).

$EF_{ij}$ : Factor de emisión asociado con el gas i por unidad de actividad en el sector j (Kilogramos del gas/toneladas de actividad del sector).

$\alpha$ : factor de conversión.

Para la obtención de los datos en esta ecuación, por las características propias de los procesos en las diferentes plantas y por no existir reportados datos de actividad y factores de emisión por defecto en la bibliografía internacional consultada ni tampoco existir en el país. Fue necesario para estas fuentes, que se calcularán los factores de emisión, adaptados a las condiciones de cada proceso en particular.

#### **II.2.4 Cuantificación de la incertidumbre.**

Para la cuantificación de la incertidumbre se aplicara la metodología establecida por el IPCC, en las Guías de Buenas Prácticas y Manejo de Incertidumbres (IPCC, 2000): GBP (IPCC, 2000), en este documento se orienta sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.

Las estimaciones de incertidumbre constituyen un elemento esencial de un inventario exhaustivo de emisiones y absorciones de gases. Se les debe obtener tanto para el nivel nacional como para la estimación de la tendencia, así como para tales componentes como los factores de emisión, los datos de la actividad y otros parámetros de estimación correspondientes a cada categoría. Por lo tanto, esta orientación concibe un abordaje estructurado para estimar la incertidumbre del inventario Incluyendo métodos destinados a:

- Determinar las incertidumbres en las variables individuales utilizadas en el inventario (p. ej., las estimaciones de emisiones procedentes de categorías específicas, factores de emisión, datos de la actividad);
- Identificar fuentes significativas de incertidumbre en el inventario, para ayudar a priorizar la recopilación de datos y los esfuerzos destinados a mejorar el inventario.

En la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones (1995) se distinguen dos métodos principales para cuantificar las fuentes de incertidumbre: El Método de Evaluación Tipo A está basado en un análisis estadístico de una serie de mediciones, mientras el Método de Evaluación Tipo B comprende todas las demás maneras de estimar la incertidumbre.

En nuestro caso para estimar la incertidumbre de los factores de emisión se utilizará el método tipo A, que consiste en calcular la incertidumbre de una magnitud de entrada  $X_i$  obtenida a partir de observaciones repetidas bajo condiciones de repetibilidad, se estima con base en la dispersión de los resultados individuales.

Si  $X_i$  se determina por  $n$  mediciones independientes, resultando en valores  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , el mejor estimado  $X_i$  es la media de los resultados individuales:

$$X_i = \bar{q} = \frac{1}{n} * \sum_{f=2}^n q_f \quad (2.2)$$

La dispersión de los resultados de la medición  $q_1, q_2, \dots, q_n$ , para la magnitud de entrada  $X_j$  se expresa por su desviación estándar experimental:

$$s(q) = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{f=2}^n (q_f - \bar{q})^2} \quad (2.3)$$

La incertidumbre estándar  $u(x_i)$  de  $X_i$  se obtiene fundamentalmente mediante el cálculo de la desviación estándar experimental de la media:

$$u(x_i) = s(\bar{q}) = \frac{s(q)}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

Así que resulta para la incertidumbre estándar de  $X_i$ :

$$u(x_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} * \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2} \quad (2.5)$$

Para la incertidumbre de los datos de la actividad, se tomarán los valores dados por cada planta en función de sus métodos de estimación.

### **II.2.5 Conformación de la base de datos.**

Para la conformación de la base de datos se preparó una hoja de cálculo de Microsoft Excel, donde se incluyen los datos recopilados, las graficas, las fórmulas para la estimación de las emisiones y la cuantificación de la incertidumbre según planteado en la metodología.

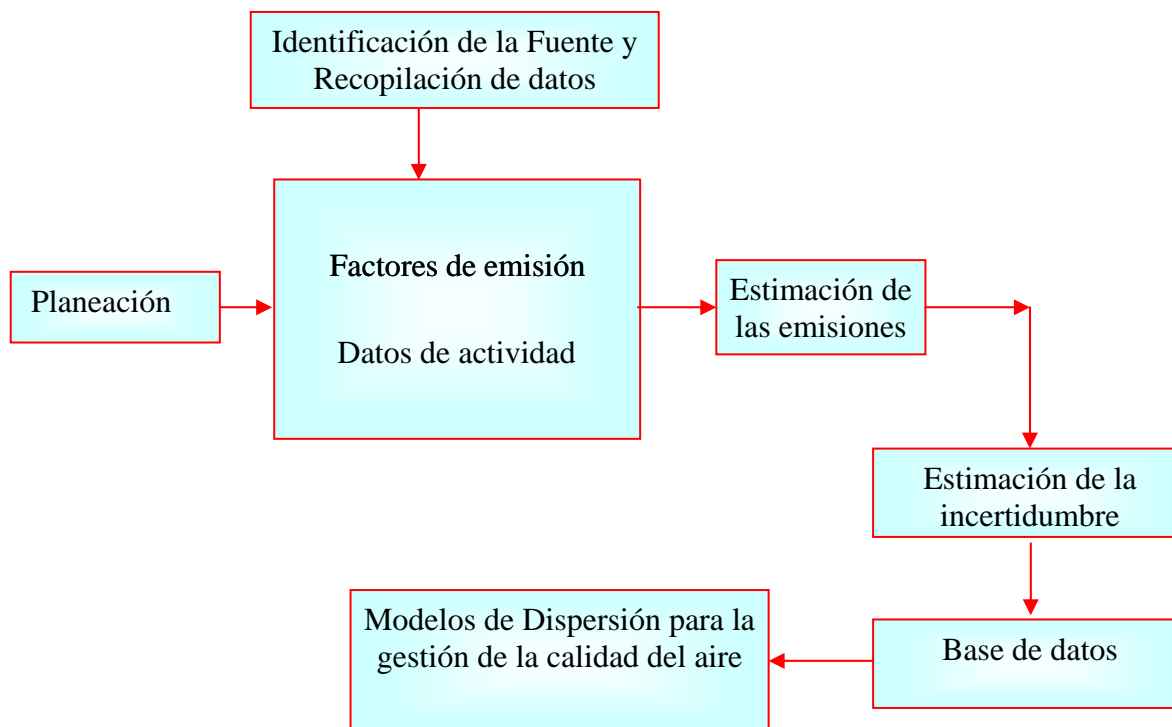


Fig.II.1 Diagrama de la metodología propuesta.

### II.3 Materiales y métodos empleados para la determinación de la concentración de los contaminantes gaseosos.

Los gases determinados son  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$ , emitidos por los diferentes procesos de la empresa. Para la determinación de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  se siguió el procedimiento descrito en los métodos 6C, 7E, 10 y 3A respectivamente, sugeridos por la EPA, para el análisis instrumental de estos gases en fuentes de emisión estacionarias.

Para ello se empleó un analizador de gases de combustión, Testo GMBH marca Testo 300M, modelo 05630310, número de serie: 00467782. Referencia 05630310. El equipo incluye certificado de calibración del Laboratorio de calibración de Testo GmbH en Lenzkirch. La trazabilidad de los instrumentos utilizados en el laboratorio para las calibraciones, contienen los estándares internacionales del Sistema Internacional de Unidades. La empresa AENOR certifica al proveedor habitual de la firma Air Liquid España S.A, suministradores de los balones a Testo, con el número **EN-160-295**. Certificado de calibración 1 número 11003. Modelo de las sondas de gases es 06009532/102. (Ver Anexo 4).

Para la determinación de NH<sub>3</sub> se siguió el procedimiento descrito en la Norma de Empresa NEIB 61-01-01 la cual se basa en la valoración del amoniaco absorbido en una solución de ácido bórico con una solución de HCL de concentración exactamente conocida.

Para esto se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Absorbedores.
- Buretas de (0 a 10) mL.
- Eyector (Bomba de vacío) (2).
- Mangueras plásticas o de goma con sus llaves de paso.
- Pipetas de 5 mL.
- Reómetro.
- Solución de H<sub>2</sub> BO<sub>3</sub> al 4 %.
- Solución de HCL.
- Al 0,0588 N, para bajas concentraciones de NH<sub>3</sub>.
- Al 0,588 N, para altas concentraciones de NH<sub>3</sub>.
- Termómetro de (0 a 100) °C.
- Tubo muestreador de gases.

Para la obtención de los resultados se emplearon las fórmulas que se muestran a continuación:

**Volumen de gas muestreado.**

$$V_0 = \frac{K * t * 273}{\beta \left( \beta + \frac{P_e}{273} + T_g \right)} \quad \text{en [L}_N\text{]} \quad (2.6)$$

Donde:

*K*: Gasto volumétrico, en L/min.

*t*: Tiempo de muestreo, en min.

*β*: Presión barométrica, preestablecida, en mm de Hg.

*P<sub>e</sub>*: Presión estática, en mm de Hg.

273: Temperatura termodinámica, en °K.



$T_g$  : Temperatura de los gases, en °C.

**Concentración de gases en cada absorbedor ( $C_1 NH_3$  y  $C_2 NH_3$ ).**

$$(C_1 y C_2)NH_3 = \frac{H_2BO_3 * 17.03 * 0.0588(AbsHCL * 1000)}{V_0 * Alicuota} \text{ en [g/m}^3\text{N]} \quad (2.7)$$

Donde:

$H_2BO_3$ : Cantidad de Ácido Bórico utilizado en el absorbedor, en mL.

17.03: Masa atómica del  $NH_3$ .

0.0588: Normalidad del HCl utilizado en la valoración, en mL.

$AbsHCL$ : Cantidad de HCL absorbido en la valoración, en mL.

$V_0$ : Volumen de gases muestreados, en  $L_N$ .

$Alicuota$ : Cantidad de mL pipeteados.

**Concentración total.**

$$C_T NH_3 = C_1 NH_3 + C_2 NH_3 \text{ en g/m}^3\text{N} \quad (2.8)$$

Para las determinaciones de  $CO_2$  a la salida de las torres de absorción de la Planta de Recuperación de Amoniacó se empleó el método ORSAT, el cual consiste en un análisis volumétrico restringido a la medición de volúmenes de gases. Un volumen medido de una mezcla de gases, a presión y temperatura conocidas, se somete a la acción de reactivos químicos selectivos absorbentes para separar en procesos sucesivos los distintos constituyentes, cuyas cantidades se determinan al ser eliminados de la mezcla, por la disminución de volumen.

El equipo (Ver Anexo 6) se compone de una bureta con camisa de agua de 100 ml de capacidad, conectada mediante un tubo capilar múltiple a varios recipientes de absorción, que contienen sucesivamente diferentes soluciones absorbentes, y un horno de combustión que contiene un tubo de cuarzo, una resistencia eléctrica y un reostato de regulación. La bureta y el frasco del nivel con el cual está unido, contienen agua débilmente acidulada y coloreada con un indicador naranja de metilo. La muestra de gas se lleva al aparato pasando por una llave de tres vías.

El análisis de los gases se realiza de acuerdo con la ley de Amagat que establece que en una mezcla gaseosa, la suma de los volúmenes de los componentes es igual al volumen total de la mezcla. Por otra parte existen reactivos químicos que absorben selectivamente, por un proceso de quimisorción, los componentes de la mezcla.

Para ello se utilizaron los siguientes equipos y reactivos:

- Un frasco toma muestras.
- Solución acuosa de potasa cáustica al 30% (para la absorción de dióxido de carbono).
- Solución de cloruro cuproso amoniacal (para determinación del monóxido de carbono).

#### **II.4 Materiales y métodos empleados para la determinación de material particulado (MP).**

Para la determinación de material particulado fue aplicado el método 17 sugerido por la EPA, “Determinación de material particulado de fuentes estacionarias de emisiones”. Este método no incluye todas las especificaciones como equipos, suministros y procedimientos esenciales para su aplicación. Algún material está incorporado por la referencia de otros métodos.

Este método es basado en la captación cuantitativa de material particulado (PM) en el interior del ducto, el cual es colectado en un filtro de fibras de vidrio, mantenido a la temperatura de los gases. La masa de (MP) se determina gravimétricamente luego de eliminada el agua no combinada.

Para ello se empleó un muestreador isocinético marca TCR TECORA, modelo isostack Basic, número de serie 508288A y certificado de calibración P- 508288A. Suministrado por RAVEBO SUPPLY B.V. En este equipo se usó como medio filtrante dedales de fibra de vidrio con dimensiones de 30x100 mm de la marca Schleicher and Schuel. Lote EJ0505 - 1(Ver Anexo 7).

Las fórmulas utilizadas por el equipo, para determinar los diferentes parámetros son las siguientes:

**Cálculo de la velocidad del gas.**

$$V(m/s) = K_{pt} * \sqrt{\frac{2 * P_n}{T_n}} * \sqrt{\frac{T_a}{P_a} * \frac{1}{r_\omega * 0.804 + [\rho_n (1 - r_\omega)]}} * \sqrt{\Delta P^{pt}} \quad (2.9)$$

Donde:

$K_{pt}$ : Coeficiente del Tubo de Pitot (1÷4).

$P_n$ : Presión media al nivel del mar (101,3 KPa).

$T_n$ : Temperatura absoluta (273°K).

$T_a$ : Temperatura en el punto de medición (°K).

$P_a$ : Presión absoluta en el punto de medición (KPa).

$r_\omega$ : Fracción volumétrica del vapor de agua.

$\rho_n$ : Densidad del gas en condiciones estándar seco (Kg/m<sup>3</sup>).

$\Delta P^{pt}$ : Diferencia de presión del Tubo de Pitot (Pa).

**Cálculo del caudal.**

$$Q'Va = \overline{v'a} * A * 3600 = m^3 / h$$

$$Q'Vn = Q'Va * \frac{Tn}{Pn} * \frac{Pa}{Ta} = m^3 / h$$

$$QVn = Q'Vn * (1 - rw) = m^3 / h \quad (2.10)$$

Donde:

$Q'Va$ : Flujo de gas seco en condiciones actuales. (m<sup>3</sup>/s).

$\overline{v'a}$ : Velocidad del gas (m/s).

$A$ : Área de la sección del ducto (m<sup>2</sup>).

$Q'Vn$ : Flujo de gas húmedo en condiciones normales (m<sup>3</sup>/h).

$Tn$ : Temperatura absoluta (273 °K).

$Pn$ : Presión media al nivel del mar (KPa).

$Pa$ : Presión absoluta en el punto de medición (KPa).

$T_a$  : Temperatura en el punto de medición (°K).

$QV_n$  : Flujo de gas seco en condiciones normales (m<sup>3</sup>/h).

$r_w$  : Fracción volumétrica de vapor de agua.

**Cálculo del volumen muestreado.**

$$V_g = \text{encoder} - \text{impulso} * \text{volumen} - \text{resolución} * \overline{C_{gi}} * 10^{-3} = m^3$$

$$V_{gn} = V_g * \frac{T_n}{P_n} * \frac{P_{am}}{T_g} = m^3$$

$$V_{dn} = \frac{qV_{dn}}{60} * E_{td} * 10^{-3} = m^3$$

$$V'_{ga} = (V_{gn} + V_{gdn}) * \frac{1}{1 - r_w} * \frac{P_n}{T_n} * \frac{T_a}{P_a} = m^3 \tag{2.11}$$

Donde:

$V_g$  : Volumen total de gas (m<sup>3</sup>).

$C_{gi}$  : Constante de calibración del gas (1÷4).

$V_{gn}$  : Volumen de gas muestreado en condiciones normales (m<sup>3</sup>).

$T_n$  : Temperatura absoluta (273 °K).

$P_n$  : Presión media al nivel del mar (KPa).

$P_{am}$  : Presión ambiental (KPa).

$T_g$  : Temperatura absoluta del gas (°K).

$V_{dn}$  : Volumen de gas seco muestreado en condiciones normales (m<sup>3</sup>).

$qV_{dn}$  : Flujo de gas seco muestreado en condiciones normales (m<sup>3</sup>).

$E_{td}$  : Total muestreado en un lapso de tiempo (h, min o seg).

$V'_{ga}$  : Volumen de gas húmedo medido (m<sup>3</sup>).

$V_{gdn}$  : Volumen total de gas seco muestreado en condiciones normales (m<sup>3</sup>).

$r_w$  : Fracción volumétrica del vapor de agua.

$T_a$  : Temperatura en el punto de medición (°K).

$P_a$  : Presión absoluta en el punto de medición (KPa).

**Evaluación de las condiciones isocinéticas.**

$$\overline{q'Va} = \frac{V'ga}{ETt} * 60 * 10^{-3} = l / \text{min} \tag{2.12}$$

$$\overline{v'N} = Kd * \overline{q'Va} * \frac{1}{dN1^2} = m / \text{seg}$$

Donde:

$q'Va$ : Flujo de gas muestreado en condiciones normales (l/min).

$V'ga$ : Volumen de gas húmedo medido (m<sup>3</sup>).

$ETt$ : Lapso de tiempo total (h, min o seg).

$v'N$ : Velocidad del gas de la boquilla (m/s).

$dN1$ : Diámetro interior de la boquilla (mm).

**Relación isocinética.**

$$\begin{aligned} v'N / v'a &= \frac{\overline{v'N}}{\overline{v'a}} \\ DI &= \frac{\overline{v'N} - \overline{v'a}}{\overline{v'a}} * 100 = \% \end{aligned} \tag{2.13}$$

Donde:

$v'N$ : Velocidad del gas de la boquilla (m/s).

$v'a$ : Velocidad estática del gas (m/s).

Para el análisis de los datos obtenidos se utilizó el software ISOBASIC versión 1.3 suministrado por TCR TECORA con el mismo equipo empleado para hacer la medición.

**II.5 Equipos y métodos empleados para las mediciones de caudal.**

Para las mediciones de caudal se utilizó el método 2 sugerido por la EPA, “Determinación de velocidad de los gases y la proporción del flujo volumétrico mediante un Tubo Pitot”.

Este método plantea que la velocidad promedio en un ducto es determinada a partir de la determinación de la densidad del gas y de la presión dinámica con un Tubo Pitot a lo largo de la sección del ducto.

En el mismo se establecen los números de los puntos de muestreo en la sección del ducto, en relación con el diámetro del mismo y la posición de las puertas de muestreo con respecto a las perturbaciones del flujo debido al trazado de la línea.

Este método no incluye todas las especificaciones, como equipos, suministros y procedimientos esenciales a su actuación. Algún material está incorporado por la referencia de otros métodos.

Es aplicable para la determinación y medida de velocidad y la proporción de flujo volumétrico de un flujo de gas. No está aplicable para medir directamente en flujos de gases ciclónicos o revueltos.

El equipamiento empleado fue un micromanómetro digital AIR FLOW, modelo PVM100 y utilizado un Tubo Pitot S, número de serie 117193, y certificado de calibración 1A 117193D, suministrado por la firma AIR FLOW Developments Limited.

Para la obtención de los resultados se emplearon las fórmulas que se muestran a continuación:

**Presión dinámica.**

$$P_d = \bar{X} * Fm * FT \quad \text{en mm de H}_2\text{O} \quad (2.14)$$

Donde:

$\bar{X}$  : Media aritmética de las lecturas de las presiones en el ducto.

$Fm$  : Factor (o ángulo) del micromanómetro.

$FT$  : Factor del Tubo Pitot.

**Presión estática.**

$$P_e = X * Fm \quad \text{en mm de Hg} \quad (2.15)$$

Donde:

$X$  : Lectura de la presión en el centro del ducto.

**Densidad del gas.**

$$\rho = \left[ 1.293 * \left( \frac{273}{B} \right) * B \pm \left( \frac{P_e}{273} \right) + T \right] \quad \text{en kg/m}^3 \quad (2.16)$$

Donde:

1.293 : Densidad del aire, en kg/m<sup>3</sup>.

273 : Temperatura termodinámica, en °K.

*B* : Presión barométrica, pre establecida, en mm de Hg.

*Pe* : Presión estática1, en mm de Hg.

*T* : Temperatura de los gases, °C.

**Velocidad de los gases.**

$$V = \sqrt{\frac{g(2) * Pd\rho'}{\rho}} \text{ en m/s} \tag{2.17}$$

Donde:

*g* : Constante de gravedad.

2 . Factor.

*Pd* : Presión dinámica, en mm de H<sub>2</sub>O.

$\rho$  : Densidad del gas, en kg/m<sup>3</sup>.

$\rho'$  : Densidad del agua (1 kg/m<sup>3</sup>).

**II.6 Conclusiones de capítulo II.**

- Se estableció una metodología para el desarrollo del inventario de emisiones, en función de las características propias del estudio realizado definiendo los métodos para estimar los factores de emisión y las emisiones para cada contaminante en cada planta, así como para el cálculo de la incertidumbre según corresponda en cada caso.
- Se definieron los materiales y métodos necesarios para determinación de los factores de emisión para los diferentes contaminantes a tener en cuenta en la presente investigación.

## **CAPÍTULO III. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

### **III.1 Introducción.**

Todo trabajo investigativo conlleva a la obtención de resultados, que son analizados e interpretados según la naturaleza de la investigación y el alcance de la misma, debido a esto el objetivo de este capítulo es:

#### **Objetivo del capítulo:**

- Obtener el inventario de las emisiones de los contaminantes de criterio para las diferentes fuentes puntuales fijas en cada una de las plantas de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, utilizando la metodología propuesta para el estudio.

### **III.2 Planeación del Inventario.**

#### **III.2.1 Objetivo final del inventario.**

Obtener un inventario de las emisiones de los contaminantes de criterio para las fuentes puntuales fijas de la Empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, que permita la recopilación de los datos esenciales para ser usados por el modelo de dispersión de contaminantes establecido en la Norma Cubana NC: 93-02-202 Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios.

#### **III.2.2 Contaminantes atmosféricos a tener en cuenta en la realización del inventario.**

El inventario abarca los contaminantes atmosféricos de criterio que incluye el monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxido de nitrógeno (NO), material particulado (MP), amoníaco (NH<sub>3</sub>) y también se tendrá en cuenta el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) debido a la relevancia que tiene en las emisiones de la empresa y su impacto en el calentamiento global (gas de efecto invernadero).

#### **III.2.3 Tipos de fuentes y categorías a evaluar.**

Las fuentes a evaluar en el inventario por su dimensión son del tipo fuentes puntuales, por su estado de movimiento son fuentes fijas, por su origen son clasificadas como fuentes antropogénicas y por su localización son fuentes exteriores. Estas se



encuentran ubicadas según las categorías de fuentes de la nomenclatura del inventario nacional de emisiones como procesos industriales.

#### **III.2.4 Alcance geográfico y temporal del inventario.**

El inventario comprende sólo las fuentes dentro de la empresa Cmdte. Ernesto Che Guevara, con una duración temporal de 1 mes.

#### **III.3 Identificación de la Fuentes de emisión de contaminantes.**

En el inventario se recogen las emisiones de las fuentes puntuales fijas de emisión para los contaminantes atmosféricos de criterio y el dióxido de carbono, las cuales están ubicadas en las diferentes plantas de la empresa según se describe más adelante.

##### ***Fuente perteneciente a la Planta de Secaderos.***

En la planta de secaderos el mineral es suministrado procedente del área de trituración primaria, este al entrar al secadero posee una humedad 36 - 37 % y es descargado del mismo con 4.5 %. El objetivo fundamental de la planta es secar el mineral, para ello cada secadero posee una cámara de combustión dotada de un quemador de petróleo al que se le suministra aire de combustión, aire secundario o gases procedentes de la planta de hornos. Los gases con una temperatura de 800-850 °C entran al tambor secador y de forma concurrente es alimentado el mineral. Los gases generados en la combustión junto al material particulado arrastrado por el flujo de gases, son enviados a un sistema de captación de polvo formado por un grupo de ciclones y electrofiltros, donde el polvo recuperado es incorporado al proceso, y el resto de los gases son enviados a la atmósfera por medio de la chimenea.

En la estimación de los gases para esta planta influyen diferentes parámetros los cuales no son controlados en el proceso de manera sistemática como son, la calidad de la combustión afectando fundamentalmente las emisiones de CO, CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> y las características del combustible utilizado, fundamentalmente en cuanto al porcentaje de azufre y al valor calórico, afectando el volumen de gases.

También influyen las características del mineral alimentado, fundamentalmente la humedad y la cantidad de este, debido a que entre mas húmedo se encuentre el

mineral es necesario suministrar mayor cantidad de energía y con ello se produce mayor consumo de combustible generándose mayor volumen de gases.

En cuanto a las emisiones de material particulado influye desde el punto de vista operativo el control de la cantidad de mineral en los Silos, ya que si estos se encuentran llenos se baja la carga de los secaderos, disminuyendo consigo el volumen de gases generados, mientras que si se encuentran a un nivel bajo la carga en los secaderos aumenta y se genera mayor volumen de gases.

Tiene gran influencia las características del mineral alimentado debido a que cuando se alimentan minerales limoníticos se produce mayor arrastre de polvo. El estado técnico de los sistemas de limpieza de gases también influye, ya que en dependencia de la eficiencia de operación de los mismos depende la cantidad de mineral que se va a la atmósfera.

***Fuente perteneciente a la Planta de Molinos.***

Luego de ser secado el mineral, es transportado hasta las tolvas de alimentación del sistema de molienda. En el transportador se le adiciona hasta un 3.5 % de petróleo aditivo para ser utilizado como agente reductor en los Hornos de Reducción. En los molinos de bola es donde se efectúa la disminución de tamaño de las partículas las cuales al ser descargadas del molino mediante barrido con aire poseen una granulometría de 0,074  $\mu\text{m}$  aproximadamente el 85–87%. Provocando que el principal contaminante emitido por esta fuente sea el Material Particulado.

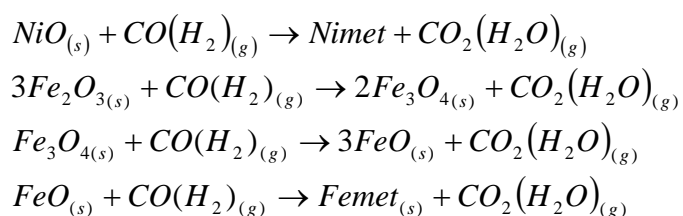
Aunque la planta consta de equipos de limpieza de gases, siempre existen emisiones de este contaminante, ya que los equipos destinados para la limpieza de gases no trabajan con la mayor eficiencia, dejando escapar gran parte de este a la atmósfera por medio de la chimenea.

Los parámetros fundamentales que influyen en la estimación de los factores de emisión y las emisiones en esta planta se encuentra el estado técnico de los sistemas de limpieza de gases, ya el desgaste paulatino de las diferentes partes de este sistema hacen que con el tiempo haya un aumento de las emisiones y una vez que se le da mantenimiento o reparación los niveles de emisión vuelven a sus valores normales, también influye el nivel de mineral en los Silos pues cuando estos están

lentos se disminuye la molienda y trae aparejado una disminución de las emisiones de la planta.

***Fuente perteneciente a la Planta de Hornos de Reducción.***

El mineral almacenado en los silos es bombeado a las tolvas de los hornos para ser dosificado a través de un sistema de pesaje automático al interior de cada horno una vez dentro del horno es sometido al proceso de reducción, el que se logra estableciendo un perfil de temperatura dentro del mismo y una concentración determinada de gases reductores (CO – H<sub>2</sub>), para ello el horno dispone de 9 cámaras de combustión con quemadores de alta presión para la combustión incompleta del petróleo, el cual permite además de lograr el perfil de temperatura enriquecer la atmósfera reductora. Dando lugar a la formación de reacciones de reducción a pesar del corto tiempo de retención de mineral en el horno (90 min).

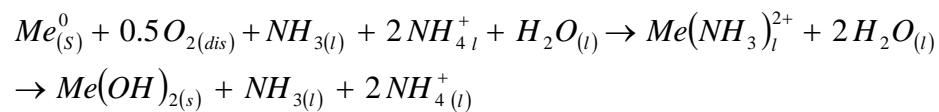


Los gases que salen del horno pasan a un sistema de limpieza de gases formado por un grupo de 6 ciclones en cada horno y electrofiltros, donde el polvo recuperado se incorpora nuevamente al proceso y los que no se pueden recuperar son expulsados a la atmósfera por una chimenea, y parte de ellos son conducidos a través de un ducto hacia la planta de secaderos aprovechando su calor residual.

En esta planta los factores que influyen en mayor grado para la estimación de las emisiones de gases son la disponibilidad de cámaras de combustión ya que entre mayor cantidad de cámaras se encuentran en operación mayor será el volumen de gases generados. Las características del combustible alimentado. Características del mineral a reducir debido a que si es un mineral limonítico requiere menor consumo de energía para su reducción mientras que si es mineral serpentínico es necesario mayor energía para poder reducirlo, lo que trae consigo mayor generación de gases. En cuanto al polvo tiene gran influencia el estado técnico del sistema de limpieza de gases.

***Fuente perteneciente a la Planta de Lixiviación y Lavado.***

La pulpa del mineral reducido desde los tanques de contacto pasa por tres sistemas paralelos de tres etapas de lixiviación a contracorriente. La lixiviación se realiza con licor carbonato-amoniaco en los espesadores por medio de la aereación de la pulpa. El objetivo de la misma es lixiviar o extraer la mayor cantidad de Ni del mineral reducido utilizando para ello el licor amoniaco, exigiéndose la menor cantidad de pérdidas de Níquel y amoniaco durante el proceso. Como resultado tienen lugar variadas reacciones donde la principal es:



Después de la tercera etapa de lixiviación, la pulpa de mineral se dirige a dos sistemas paralelos de lavado de cinco etapas cada uno. El lavado también se realiza a contracorriente en los espesadores con el licor de carbonato - amoniaco. El sistema de tanques y aereadores provoca emisiones de NH<sub>3</sub> siendo este el contaminante fundamental en esta planta.

La estimación de las emisiones de NH<sub>3</sub> para esta planta está en función del balance del licor de la planta debido a que cuando la planta tiene licores muy diluidos es necesario reducir el agua de las torres de absorción, mientras que si el licor se encuentra en estado mas puro se aumenta el volumen de agua en las torres para evitar así menores emisiones de amoniaco. El estado de empaquetadura de las torres también tiene gran influencia debido a que mientras mas deteriorada se encuentran es menor la transferencia de masa dejando escapar mayor contenido de amoniaco a la atmósfera.

***Fuente perteneciente a la Planta de Recuperación de Amoniaco.***

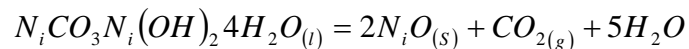
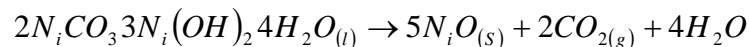
La planta de Recuperación de Amoniaco, tiene la función de recuperar el amoniaco y el dióxido de carbono tanto de los licores como de las colas recibidas de la planta de lixiviación y lavado, obteniéndose al mismo tiempo la cola como desecho, y como producto la pulpa de carbonato básico de níquel y los licores de alta concentración de

amoníaco y dióxido de carbono. Esta planta se caracteriza por expulsar a la atmósfera gases contaminantes, como CO<sub>2</sub> y residuos de NH<sub>3</sub>, de este último principalmente.

Para la estimación de las emisiones en la planta existen dos factores fundamentales, la temperatura ya que mientras mas elevada se encuentra es menor la transferencia de masa provocando mayor escape de amoníaco a la atmósfera. Por otra parte influye también el estado de la empaquetadura.

***Fuente perteneciente a la Planta de Calcinación.***

En la planta el carbonato básico de Níquel obtenido en la planta de recuperación de amoníaco, es sedimentado y filtrado para luego ser alimentado al horno de calcinación por medio del sinfín de carga. En la medida que el carbonato va descendiendo se produce una variación en su composición producto de la temperatura del horno y de los gases de la combustión ocurriendo la descomposición del carbonato básico de Níquel como se muestra en las reacciones siguientes:



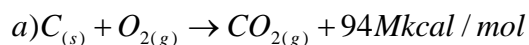
Formándose el Oxido de Níquel como producto final de calcinación, este es arrastrado por los gases y recuperado por una batería de ciclones, la parte que no es colectada pasa a un sistema de electrofiltros, el polvo recuperado en estos equipos es recirculado al horno y los gases producto de la combustión, CO<sub>2</sub> son expulsados a la atmósfera.

Para la estimación de emisiones de gases tiene gran influencia el contenido de azufre en la pulpa de carbonato que se alimenta, mientras mayor es, mayor cantidad de SO<sub>2</sub> será generado. La calidad de la combustión es otro de los factores a tener en cuenta así como las características del combustible alimentado. En la estimación de emisiones de polvo el factor de mayor influencia es el estado técnico del sistema de limpieza de gases.

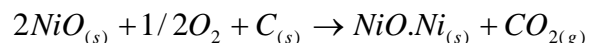
***Fuente perteneciente a la Planta de Sinter***

En esta planta el óxido de níquel que se destina para la producción de sinter de Níquel es transportado desde el área de calcinación a través del transportador vibrátil hacia la tolva de óxido en la sección de preparación de mezcla en el área de sinter.

El sinter de Níquel se produce a partir de una mezcla que se realiza con el óxido de níquel, carbón antracita, fino de retorno, polvillo y agua. La mezcla una vez dosificada es alimentada a la máquina de sinter dando lugar a la ocurrencia de una serie de transformaciones físico-químicas principalmente por la combustión del carbón antracita.



Ocurriendo también la reacción del proceso en general.

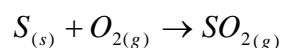
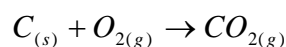


Esta planta emite principalmente CO<sub>2</sub> acompañado por polvillo de Níquel que no es retenido por los sistemas de limpieza de gases.

En la estimación de emisiones de gases influye fundamentalmente la calidad del carbón utilizado, debido a que mientras mayor contenido de azufre presente, en mayor grado será el volumen de SO<sub>2</sub> generado a la atmósfera. Para el material particulado tiene mayor influencia el estado técnico de los filtros de manga.

***Fuente perteneciente a la Central Termoeléctrica.***

Esta planta es la encargada de generar la energía eléctrica para el consumo de algunos equipos principales de la empresa. La generación de electricidad se produce combustionando fuel-oil en cámaras de combustión de las calderas, con altos contenidos de azufre (1-3%). Por lo que las principales emisiones de esta planta son los gases producto de la combustión donde tiene gran significación el CO<sub>2</sub> ya que se emite en mayor grado, seguido del SO<sub>2</sub>.



La estimación de las emisiones de gases en esta planta está en dependencia de las características del combustible utilizado, así como de la carga de vapor que se esté generando.

### III.4 Estimación de las emisiones y cuantificación de la incertidumbre por planta.

#### III.4.1.1 Planta de Secaderos.

En la literatura consultada no se encontraron valores por defecto recomendados para los factores de emisión de este tipo de procesos por lo que fue necesario realizar una campaña de medición para calcularlos y posteriormente estimar las mediciones de la planta, este es un método del Nivel 2.

Para las mediciones de las concentraciones de los gases y polvo y la estimación de las emisiones se procedió según la metodología y los materiales expuestos en el Capítulo II. En la Tabla III.1 se muestran los valores de los factores de emisión obtenidos, los datos de actividad, las emisiones estimadas y la incertidumbre.

**Tabla III.1 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Secaderos.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Secadero	CO <sub>2</sub>	184,67	283333,33	52323,17	Para el FE: <b>9,33</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>24,33</b>
	MP	4,39	283333,33	1243,84	Para el FE: <b>12,43</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>27,43</b>
	CO	0,25	283333,33	70,83	Para el FE: <b>40,82</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>55,82</b>
	NOx	0,16	283333,33	45,33	Para el FE: <b>7,82</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>22,82</b>
SO <sub>2</sub>	0,10	283333,33	28,33	Para el FE: <b>12,41</b>	
				Para datos de Actividad: <b>15,0</b>	
				Para las Emisiones: <b>27,41</b>	

Para la determinación de la incertidumbre de los factores de emisión se utilizó el método Tipo A, descrito en la metodología. Los datos de actividad fueron reportados por la planta junto con el valor de la incertidumbre para las emisiones, por lo que está fuera de nuestro alcance reportar el método utilizado.

**III.4.1.2 Planta de Silos y Molinos.**

El método seleccionado fue el mismo que se utilizó en la planta de secaderos, para la determinación de los factores de emisión FE, los datos de la actividad A, la estimación de las emisiones E y la incertidumbre asociada a cada uno de ellos. Estos valores se muestran en la Tabla III.2.

**Tabla III.2 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Silos y Molinos.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Silos y Molinos	MP	0,45	283333,33	127,50	Para el FE: <b>16,81</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>26,81</b>

**III.4.1.3 Planta de Hornos de Reducción.**

En el caso de la Planta de hornos de reducción el método aplicado para estimar los factores de emisión es una unión entre los métodos de nivel 1 y nivel 2. Por un lado se calculó el factor de emisión utilizando las mediciones de los gases que se envían a Secadero, método de nivel 1, y por otro lado se tomó un valor de factor de emisión por defecto de las emisiones totales generadas en los hornos, método de nivel 2. Los cálculos de las emisiones se realizaron en función de las toneladas de mineral reducido.



**Tabla III.3 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Hornos de Reducción.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Hornos de Reducción	CO <sub>2</sub>	60,15	275000	16541,25	Para el FE: <b>15,10 + 10,0 = 25,10</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>35,10</b>
	MP	0,19	275000	52,25	Para el FE: <b>28,18 + 10,0=38,18</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>48,18</b>
	CO	14,44	275000	3971,00	Para el FE: <b>16,36 + 10,0=26,36</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>36,36</b>
	NO <sub>x</sub>	0,01	275000	2,75	Para el FE: <b>16,51 + 10,0 = 26,51</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>36,51</b>
SO <sub>2</sub>	0,24	275000	66,00	Para el FE: <b>22,76 + 10,0 = 32,76</b>	
				Para datos de Actividad: <b>10,0</b>	
				Para las Emisiones: <b>42,76</b>	

La incertidumbre estimada para el factor de emisión es la suma de dos componentes, la estimada partiendo de los datos obtenidos en las mediciones más la incertidumbre del factor de emisión suministrado por la planta como se muestra en la Tabla III.3. Para los datos de actividad se estima una incertidumbre dada por la planta de ±10%.

**III.4.1.4 Planta de Lixiviación y Lavado.**

Los cálculos para el amoniaco en esta planta fueron efectuados en función de las toneladas de mineral lixiviado y lavado. Los factores de emisión fueron calculados utilizando la metodología descrita en el capítulo anterior para este gas.

**Tabla III.4 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Lixiviación y Lavado.**

Planta	Contaminantes	FE (g/Kg)	A(Kg)	E(Gg)	Incertidumbre %
Lixiviación y Lavado	NH <sub>3</sub>	33,07	2583330	85430,72	Para el FE: <b>17,30</b>
					Para datos de Actividad: <b>10</b>
					Para las Emisiones: <b>27,30</b>

La incertidumbre estimada para el factor de emisión es de  $\pm 17,30\%$  La incertidumbre de los datos de actividad se estima según los datos reportados por la planta con un valor de  $\pm 10\%$ .

**III.4.1.5 Planta de Recuperación de Amoniaco.**

La metodología utiliza como datos de actividad las toneladas de mineral destilado. Para esta fuente se calculó un factor de emisión de 153,7 kg de CO<sub>2</sub>/t de mineral destilado y 5,14 kg de NH<sub>3</sub>/t de mineral destilado. En la Tabla III.5 se exponen los resultados obtenidos en la estimación de esas emisiones.

**Tabla III.5 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Recuperación de Amoniaco.**

Planta	Contaminantes	FE (g/Kg)	A(Kg)	E(Gg)	Incertidumbre %
Recuperación de Amoniaco.	CO <sub>2</sub>	153,70	2250000	345825,40	Para el FE: <b>13,28</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>23,28</b>
	NH <sub>3</sub>	5,14	2250000	11574,14	Para el FE: <b>25,29</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>25,29</b>

La incertidumbre en el factor de emisión es de  $\pm 13,28\%$  para el CO<sub>2</sub> y de  $25,29\%$  para el NH<sub>3</sub> a partir de las mediciones obtenidas. La incertidumbre de los datos de actividad de  $\pm 10\%$ .

**III.4.1.6 Planta de Calcinación.**

En esta planta para la estimación de las emisiones de los diferentes contaminantes se tomó como parámetro de actividad las toneladas de mineral calcinado y los valores de los factores de emisión fueron calculados partiendo de los datos de mediciones directas de los gases emitidos a la atmósfera. Este es un método de nivel 2.

**Tabla III.6 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Calcinación.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Calcinación	CO <sub>2</sub>	2213,32	2166,66	4795,50	Para el FE: <b>2,43</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>17,43</b>
	MP	2,63	2166,66	5,69	Para el FE: <b>38,84</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>53,84</b>
	CO	28,79	2166,66	62,36	Para el FE: <b>25,43</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>40,43</b>
	NO <sub>x</sub>	4,98	2166,66	10,78	Para el FE: <b>20,47</b>
					Para datos de Actividad: <b>15,0</b>
					Para las Emisiones: <b>35,47</b>
SO <sub>2</sub>	199,85	2166,66	433,01	Para el FE: <b>5,14</b>	
				Para datos de Actividad: <b>15,0</b>	
				Para las Emisiones: <b>20,14</b>	

Como estuvieron disponibles los datos de las mediciones realizadas para los diferentes contaminantes, la incertidumbre del factor de emisión para cada uno de ellos se determinó utilizando un método de Tipo A, los resultados son mostrados en la tabla III.6. La incertidumbre en los datos de producción de mineral Calcinado es de alrededor del 15 %.

**III.4.1.7 Planta de Sinter.**

En esta planta se utilizó para la estimación de las emisiones un método de nivel 2, calculando los factores de emisión de los contaminantes (CO<sub>2</sub>, CO, MP y SO<sub>2</sub>) de los datos obtenidos en las mediciones en función las toneladas de mineral sinterizado.

**Tabla III.7 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Planta de Sinter.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Sinter	CO <sub>2</sub>	2931,14	2000	5862,27	Para el FE: <b>8,24</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>18,24</b>
	CO	48,47	2000	96,94	Para el FE: <b>18,83</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>28,83</b>
	MP	8,89	2000	17,78	Para el FE: <b>18,66</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>28,66</b>
	SO <sub>2</sub>	5,45	2000	10,89	Para el FE: <b>10,76</b>
					Para datos de Actividad: <b>10,0</b>
					Para las Emisiones: <b>20,76</b>

La incertidumbre estimada en el factor de emisión es de  $\pm 8,24\%$  para el CO<sub>2</sub>, de  $\pm 18,83\%$  para el CO,  $\pm 18,66\%$  para el MP y  $\pm 10,76\%$  para el SO<sub>2</sub> estimada utilizando un método de Tipo A, en función de los datos medidos. La incertidumbre de los datos de actividad se estima según los datos reportados por la planta como  $\pm 10\%$ .

**III.4.1.8 Central Termoeléctrica.**

Se estiman aquí, las emisiones de CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub> y SO<sub>2</sub> calculando los factores de emisión, utilizando las mediciones realizadas en la planta, método de nivel 2, y tomando como parámetro de actividad las toneladas de vapor generado.

**Tabla III.8 Datos de factores de emisión, actividad, emisiones estimadas e incertidumbres de cada contaminante para la Central Termoeléctrica.**

Planta	Contaminantes	FE (Kg/tn)	A(tn)	E(Gg)	Incertidumbre %
Central Termoeléctrica	CO <sub>2</sub>	231,10	216000	49916,82	Para el FE: <b>0,72</b>
					Para datos de Actividad: <b>5,0</b>
					Para las Emisiones: <b>5,72</b>
	SO <sub>2</sub>	3,52	216000	760,99	Para el FE: <b>6,04</b>
					Para datos de Actividad: <b>5,0</b>
					Para las Emisiones: <b>11,04</b>
	NO <sub>x</sub>	0,22	216000	47,31	Para el FE: <b>1,07</b>
					Para datos de Actividad: <b>5,0</b>
					Para las Emisiones: <b>6,07</b>
	CO	0,03	216000	6,08	Para el FE: <b>30,71</b>
					Para datos de Actividad: <b>5,0</b>
					Para las Emisiones: <b>35,71</b>

La incertidumbre general en los datos de actividad es una combinación tanto de errores sistemáticos como aleatorios. Dado que en Cuba se cuenta con un buen sistema de colección de datos relacionados con la energía, se da una incertidumbre general muy baja de  $\pm 5\%$ ).

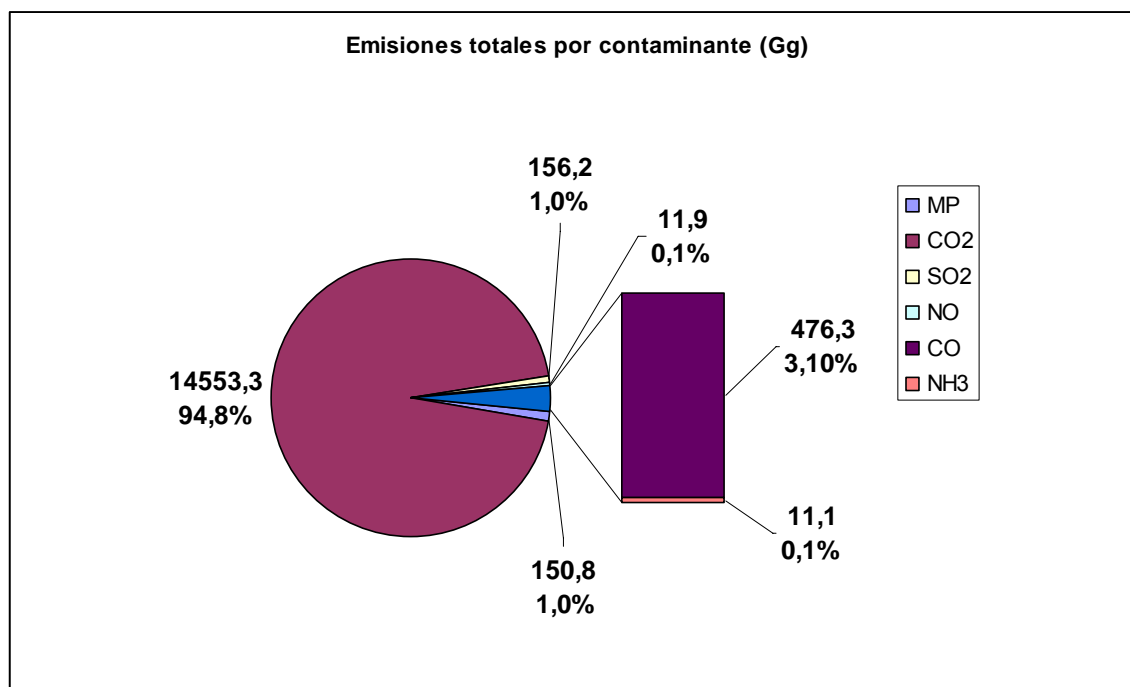
**III.5 Discusión de los resultados generales de la empresa que se ofrecen en la base de datos.**

Al analizar los datos correspondientes a la Tabla III.9 muestra los contaminantes emitidos por cada fuente puntual, entre los que se encuentran el CO<sub>2</sub>, MP, CO, SO<sub>2</sub>, NO, y NH<sub>3</sub>, siendo el CO<sub>2</sub> el que se emite en mayor grado con un valor de 94,8%, y la fuente emisiva ubicada en la planta de Secaderos es la principal emisora, seguida de la Central Termoeléctrica. El segundo contaminante que se emite en gran medida es el CO con un valor de 3,1%, donde la fuente emisiva perteneciente a la planta de Hornos de Reducción es la principal causante de estos altos valores de emisión.

La Figura III.1 muestra la tasa de emisión estimada para cada contaminante evaluado, por fuente emisiva.

**Tabla III.9 Tasa de emisión estimada para cada contaminante evaluado por fuente en (Gg).**

Fuentes Emisoras	MP	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO	CO	NH <sub>3</sub>
Secaderos	142,0	5980,3	3,2	5,0	8,2	0,0
Hornos de Reducción	5,9	1861,2	7,4	0,2	447,0	0,0
Calcinación	0,8	703,5	63,6	1,6	9,2	0,0
Sínter	2,1	674,7	1,3	0,0	11,3	0,0
CTE	0,0	5294,7	80,8	5,0	0,6	0,0
Recuperación	0,0	38,9	0,0	0,0	0,0	1,3
Lixiviación	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,8
<b>Total</b>	<b>150,8</b>	<b>14553,3</b>	<b>156,2</b>	<b>11,9</b>	<b>476,3</b>	<b>11,1</b>
%	1,0	94,8	1,0	0,1	3,1	0,1



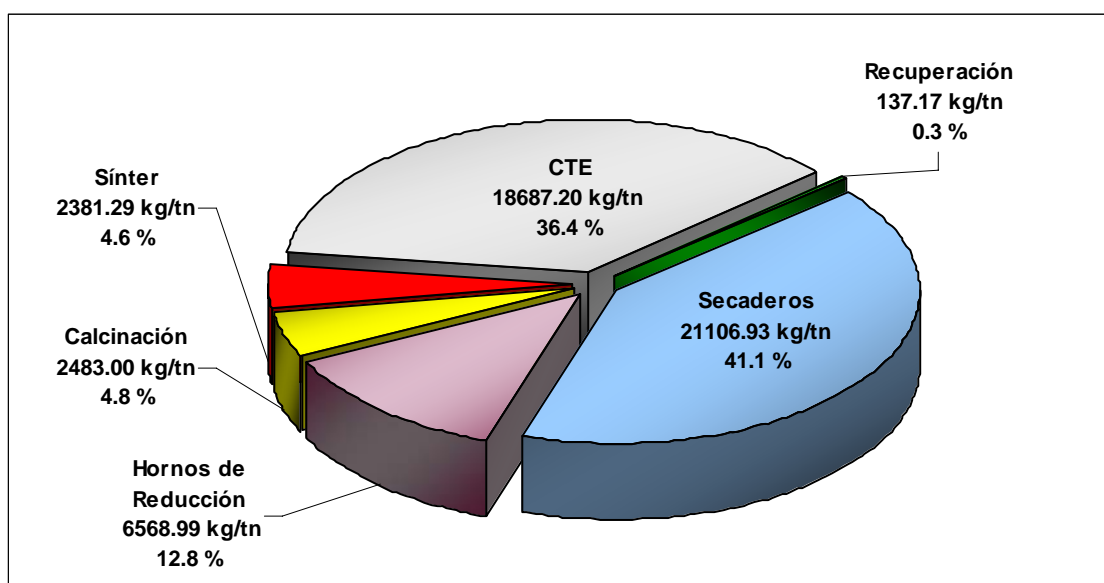
**Fig. III.1 Tasa de emisión estimada para los contaminantes evaluados.**

**III.6 Análisis e interpretación de los resultados por contaminantes emitidos.**

Los contaminantes expulsados a la atmósfera, así como las tasas de emisión están en estrecha relación con el tipo de proceso que tiene lugar en cada fuente, además de la

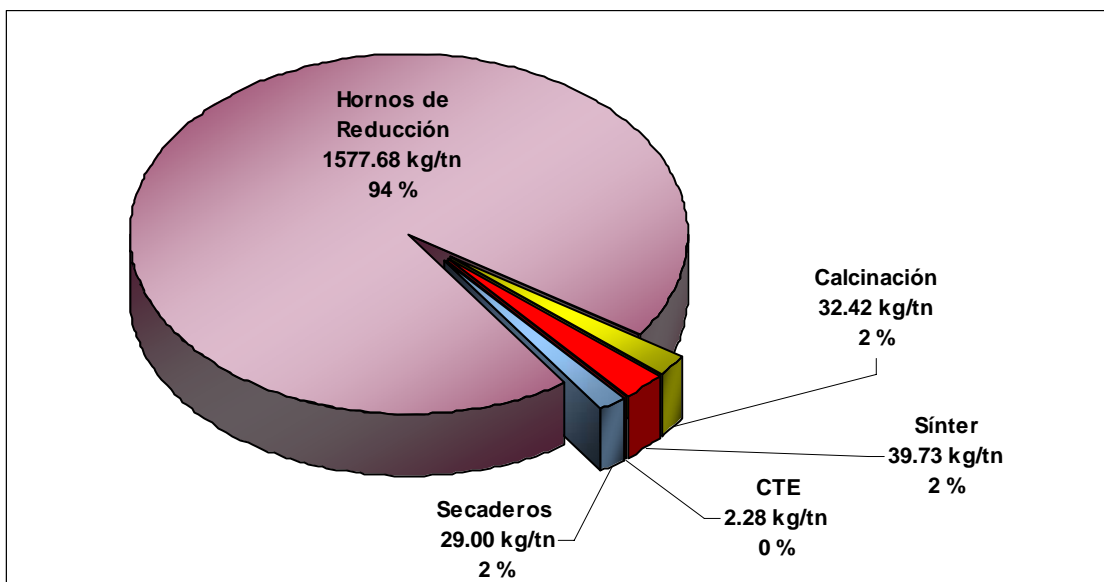
presencia o no de sistemas de tratamiento de los efluentes gaseosos y su estado técnico.

Para las emisiones de CO<sub>2</sub> la fuente que más emite es la perteneciente a la Planta de Secaderos, con un valor de 41.1% por tn de Níquel secado; seguida de la Central Termoeléctrica con un valor de 36.4%. Esto se debe a que ambas fuentes son las mayores consumidoras de combustible. Además Secaderos consume parte del CO<sub>2</sub> generado en los Hornos de Reducción, incrementando así el volumen de este gas. La Fig III.2 muestra las emisiones de CO<sub>2</sub> por fuentes.



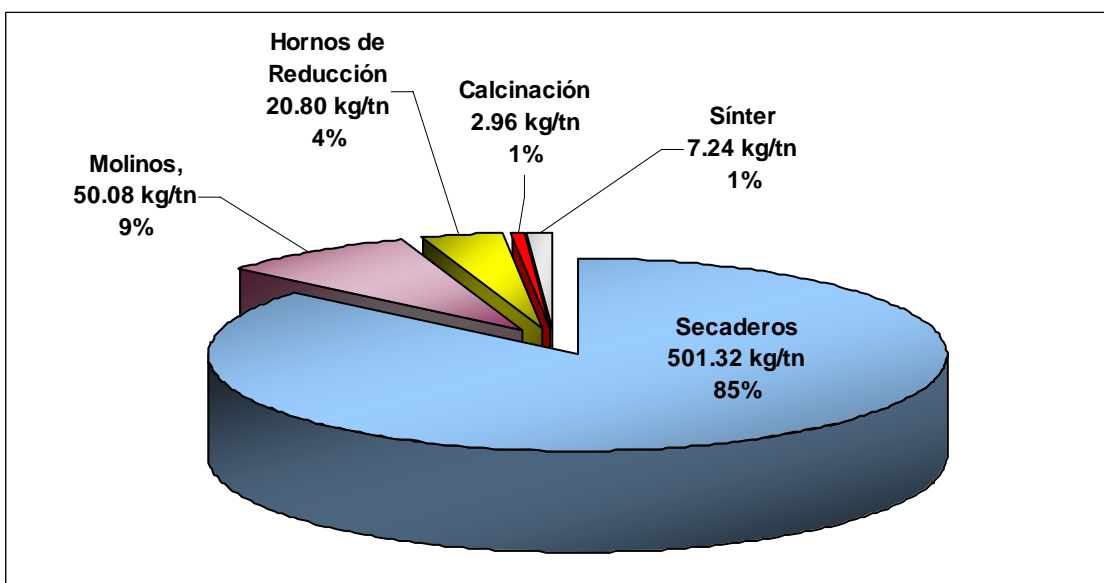
**Fig. III.2 Emisiones de CO<sub>2</sub> para las diferentes fuentes de emisión.**

El CO es el segundo contaminante que se expulsa en mayor grado a la atmósfera en este caso la fuente ubicada en la Planta de Hornos de Reducción es la de mayor responsabilidad, emitiendo un 94% por tn de Níquel reducido. La Fig III.3 muestra las emisiones de CO por fuentes.



**Fig. III.3 Emisiones de CO para las diferentes fuentes de emisión.**

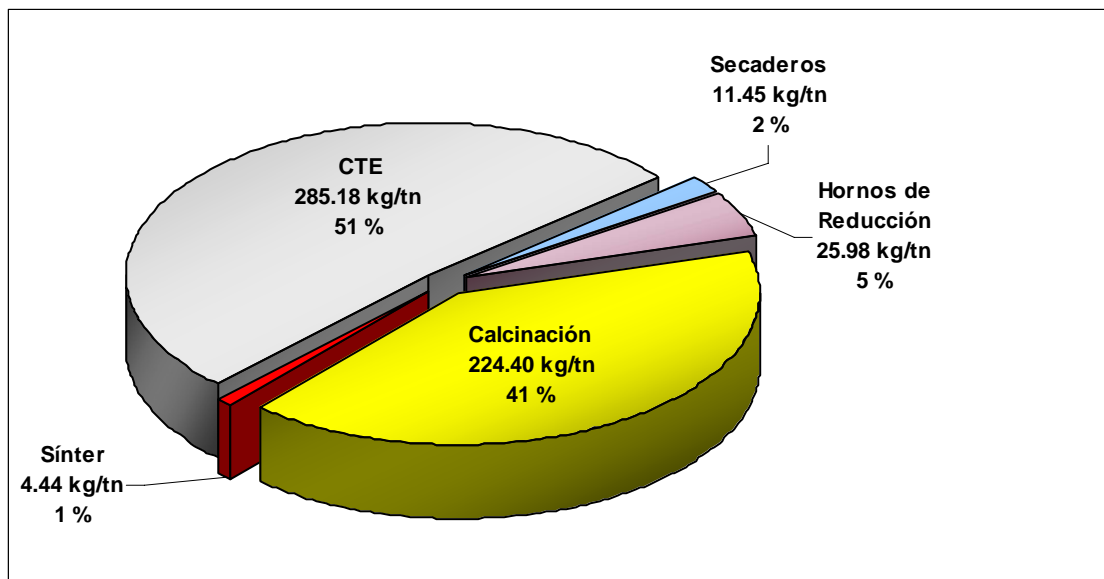
En el caso de emisiones de MP la fuente ubicada en la Planta de Secaderos es la que mayor influencia tiene en la contaminación del medio, presentando un valor de 85% por tn de Níquel seco, seguida por la fuente de la sección de Molinos que expulsa el 9%. Estos valores dependen en gran medida de la eficiencia operativa de los equipos de limpieza de gases. En la Fig III.4 se muestran las emisiones de MP por fuentes.



**Fig. III.4 Emisiones de MP para las diferentes fuentes de emisión.**

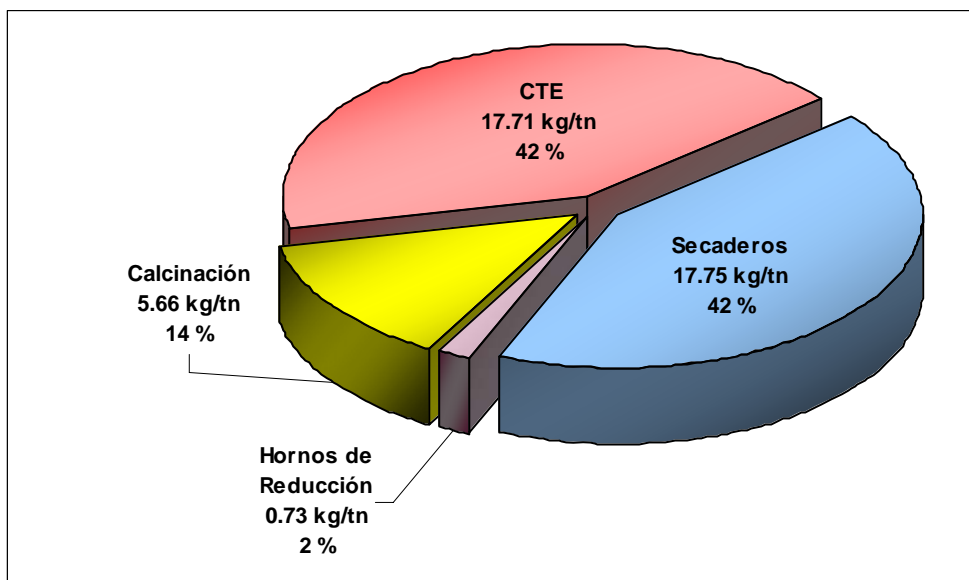


Al analizar los valores correspondientes a las emisiones de SO<sub>2</sub> la fuente que emite en mayor escala es la perteneciente a la Central Termoeléctrica con un valor de 51% por tn de vapor generado, seguida de esta se encuentra la fuente ubicada en la Planta de Calcificación con 41%. Esto se muestra en la Fig III.5.



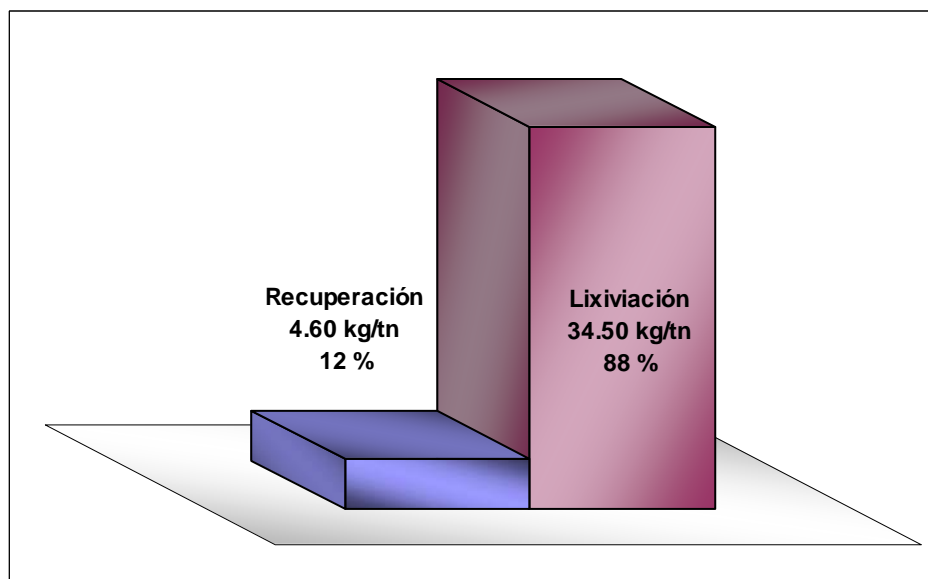
**Fig. III.5 Emisiones de SO<sub>2</sub> para las diferentes fuentes de emisión.**

Al analizar las emisiones de NO, las principales fuentes emisoras son las pertenecientes a las plantas de Secaderos y Central Termoeléctrica con valores de 42% por tn de Níquel producido respectivamente. En la Fíg III.6 se muestran los valores de emisión de NO por fuentes.



**Fig. III.6 Emisiones de NO para las diferentes fuentes de emisión.**

Para las emisiones de NH<sub>3</sub> las únicas fuentes emisoras de este contaminante son las ubicadas en las plantas de Lixiviación y Recuperación de Amoniaco con valores correspondientes a 88% y 12% por tn de Níquel lixiviado y destilado respectivamente. Estas se muestran en en la Fig III.7.



**Fig. III.7 Emisiones de NH<sub>3</sub> para las diferentes fuentes de emisión.**

Al realizar una comparación general de las emisiones por contaminantes para cada fuente se muestra que el contaminante que más afecta y que se emite en mayor escala es el CO<sub>2</sub>, debido a que la mayor parte de los procesos efectuados en la empresa para la producción de Ni y Co son pirometalúrgicos, lo que significa que son grandes consumidores de combustible, lo que provoca la elevada tasa de emisión de CO<sub>2</sub> como producto de la combustión. En la Fig III.8 se muestran las emisiones de cada uno de los contaminantes por fuentes.

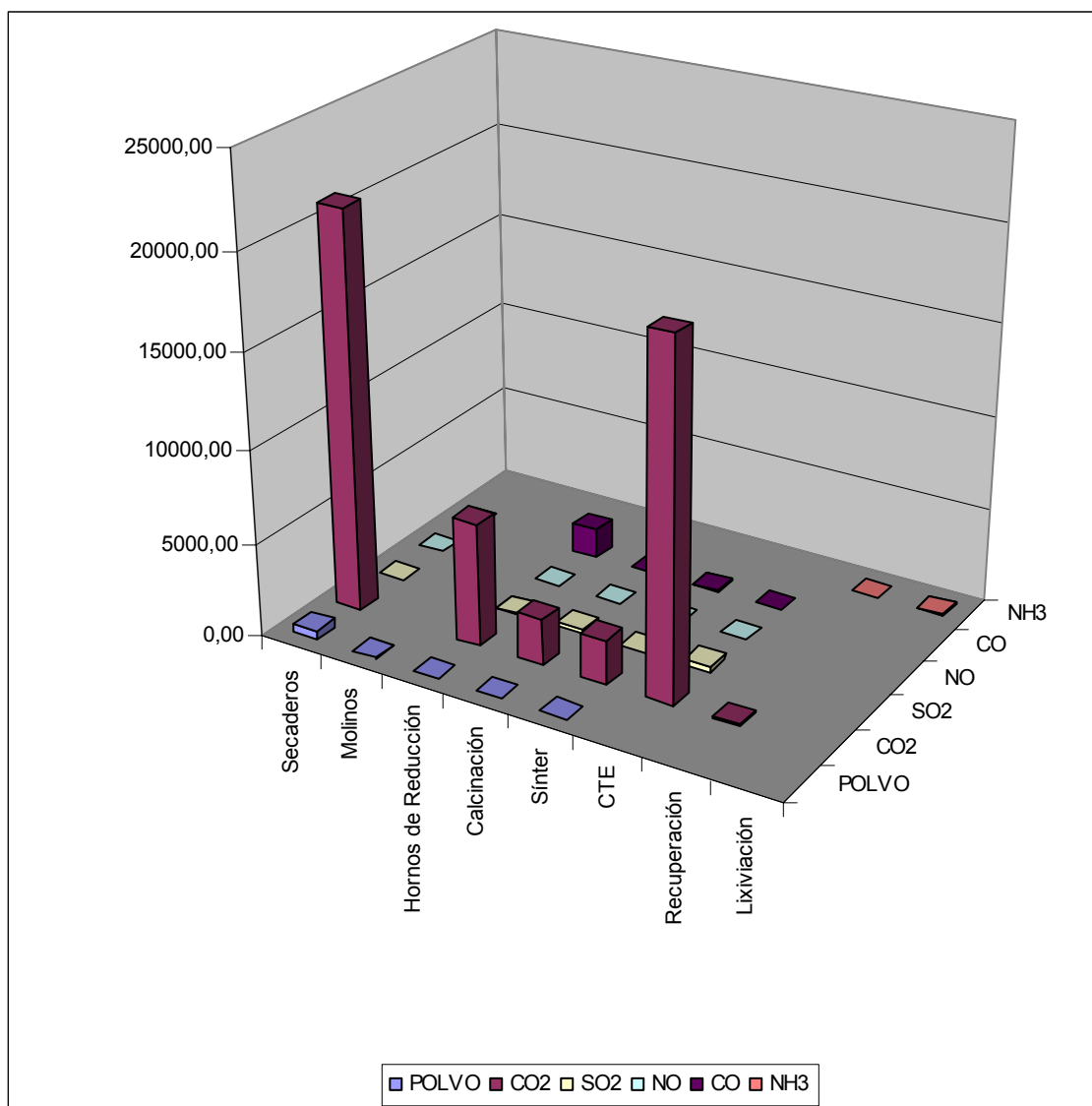
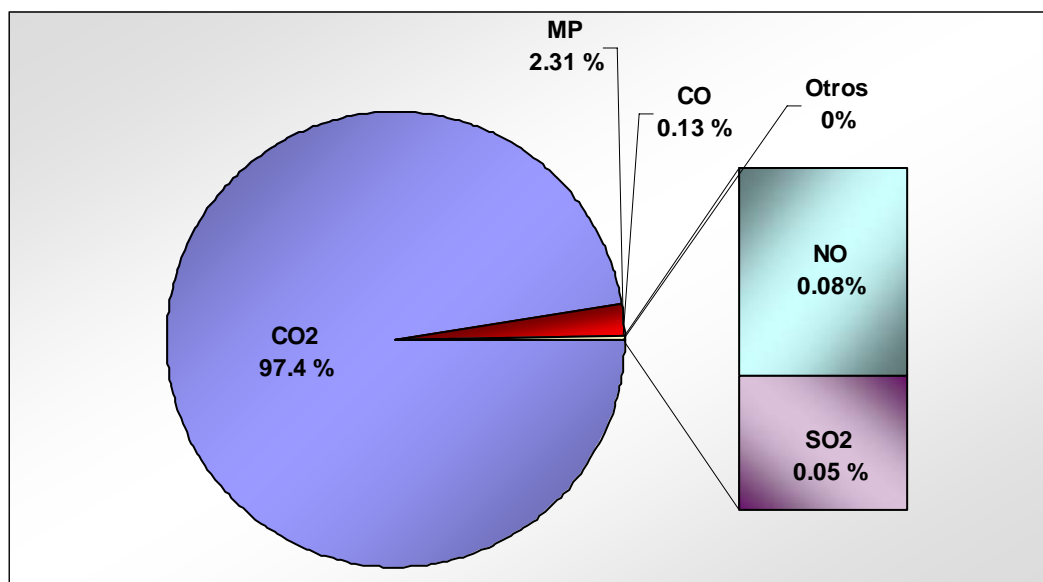


Fig. III.8 Comparación general de las emisiones por contaminantes y por fuente.

### III.7 Análisis e interpretación de los resultados por fuentes emisoras.

Al analizar los datos correspondientes a la Planta de Secaderos (Ver Anexo 16), se determinaron los contaminantes emitidos por la misma, tales como CO<sub>2</sub>, MP, CO, NO, y SO<sub>2</sub> donde el CO<sub>2</sub> es el más elevado con un valor promedio de 184.67 kg/tn de Níquel producido, seguido del MP con 4.39 kg/tn de Níquel producido.

La Fig III.9 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Preparación de Mineral.

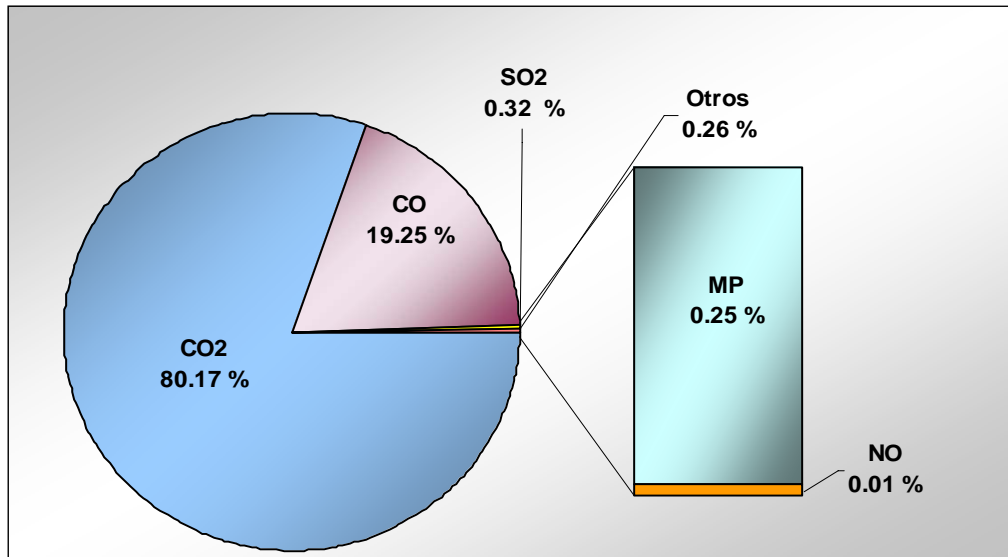


**Fig. III.9 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Secaderos.**

Teniendo en cuenta los valores de emisión de la sección de Molinos y Silos (Ver Anexo 17), el contaminante emitido por la misma es el material particulado (MP) con un valor de 0.45 kg/tn de Níquel producido.

Al analizar la tasa de emisión correspondiente a la fuente ubicada en la Planta de Hornos de Reducción (Ver Anexo 18), se determinaron los contaminantes emitidos por esta entre los que se encuentran CO<sub>2</sub>, MP, CO, NO, y SO<sub>2</sub>, siendo el CO<sub>2</sub> el más elevado con un valor promedio de 60.15kg/tn de mineral reducido.

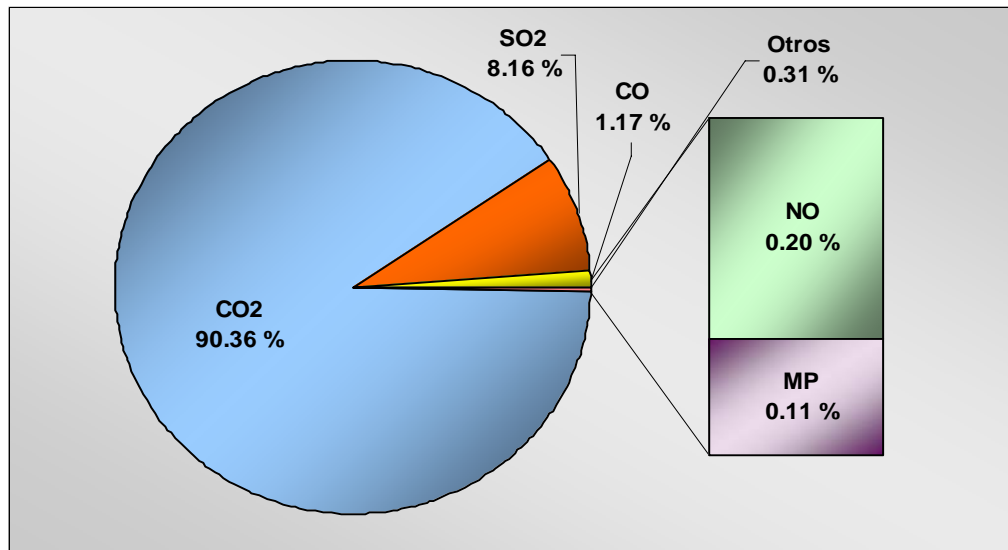
La Fig III.10 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Hornos de Reducción.



**Fig. III.10 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Hornos de Reducción.**

Teniendo en cuenta la tasa de emisión de la fuente ubicada en la Planta de Calcinación (Ver Anexo 19), muestra los contaminantes emitidos por la misma, tales como CO<sub>2</sub>, MP, CO, NO, y SO<sub>2</sub>, siendo el CO<sub>2</sub> y el SO<sub>2</sub> los de mayor envergadura con valores promedios correspondiente a 2213,32 y 199.85 kg/tn de Níquel producido.

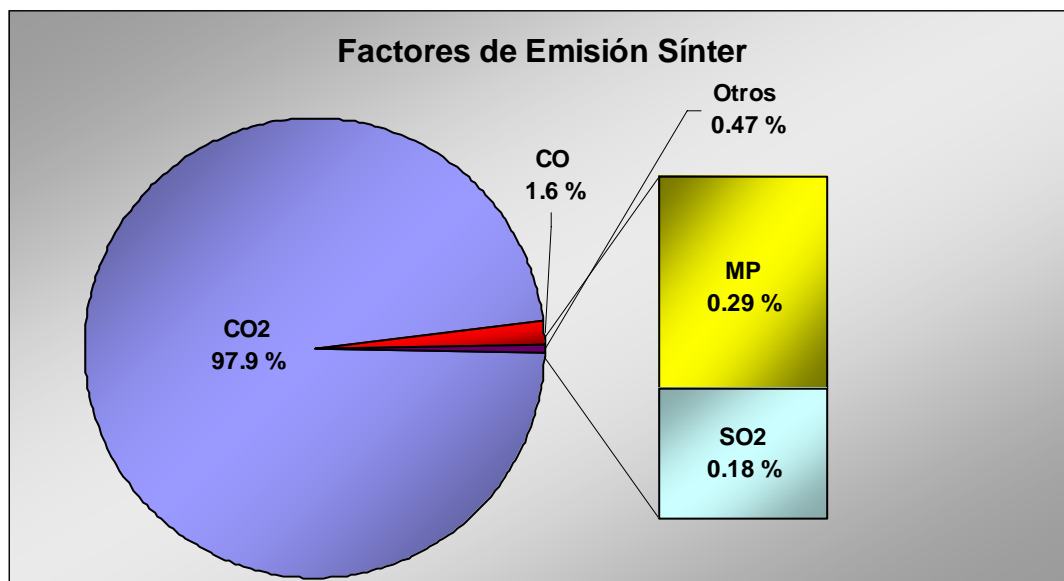
La Fig III.11 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Calcinación.



**Fig. III.11 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Calcinación.**

Al analizar los datos correspondientes a la fuente perteneciente a la Planta de Sinter (Ver Anexo 20), muestra los contaminantes emitidos por la misma, tales como CO<sub>2</sub>, MP, CO, y SO<sub>2</sub>, siendo el CO<sub>2</sub> y CO los de valores más elevados de 2931,14 y 48,47kg/tn de óxido de níquel sinterizado.

La Fig III.12 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Sinter.

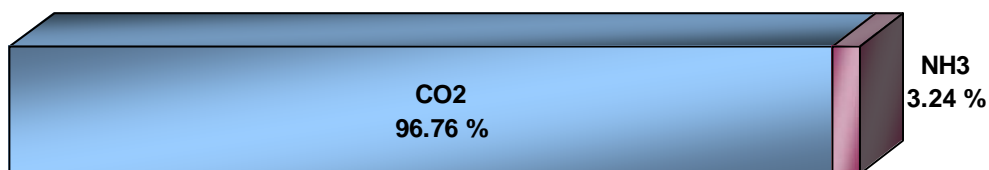


**Fig. III.12 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Sinter.**

Teniendo en cuenta la tasa de emisión de la Planta de Lixiviación y Lavado (Ver Anexo 21), el contaminante emitido por la misma es el amoniaco, con un valor promedio de 0.03kg/kg de níquel lixiviado y lavado.

Al analizar los datos de emisión correspondientes a la Planta de Recuperación de amoniaco (Ver Anexo 22), los contaminantes emitidos por la misma son CO<sub>2</sub> y NH<sub>3</sub>, siendo el CO<sub>2</sub> mayor con un valor de 0.15kg/kg de níquel destilado, mientras que de NH<sub>3</sub> solo se emite un promedio de 0.01.

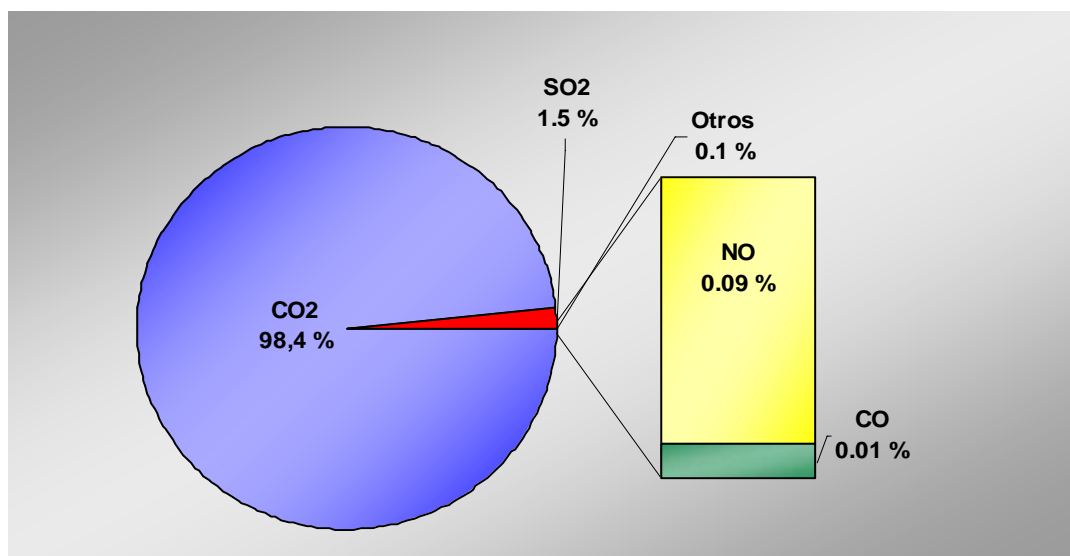
La Fig III.13 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Recuperación de amoniaco.



**Fig. III.13 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta de Recuperación de Amoniaco.**

Al analizar la tasa de emisión de la Planta Termoeléctrica (Ver Anexo 23), los contaminantes emitidos por esta son CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NOy CO donde el CO<sub>2</sub> tiene un valor promedio de 231.10kg/tn de vapor generado siendo así el mayor contaminante generado por la planta.

La Fig III.14 muestra la tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta Termoeléctrica.



**Fig. III.14 Tasa de emisión de la fuente perteneciente a la Planta Termoeléctrica.**  
SURELIS DOMÍNGUEZ ORO

**III.8 Conclusiones del capítulo III.**

- Se obtuvo el inventario de las emisiones de los contaminantes de criterio emitidos hacia la atmósfera por las fuentes puntuales fijas de la empresa “Cmdte. Ernesto Che Guevara”.
- Se aplicó la metodología propuesta para cada planta de la empresa, obteniéndose la estimación de las emisiones para cada fuente de emisión y para cada contaminante.



### CONCLUSIONES

- Se obtuvo un inventario de las emisiones de los contaminantes de criterio para todas las fuentes puntuales de la empresa “Comdte Ernesto Che Guevara”, evaluado para un periodo de un mes, para ser usado por el modelo de dispersión declarado en la Norma Cubana NC:93-02-202:1987. Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios.
- Se propuso una metodología para la realización del inventario de emisiones, de forma tal que el mismo pueda ser comparado de manera que se adapte a las condiciones específicas del proceso CARON y sea consistente con otros inventarios nacionales e internacionales.
- Se confeccionó una base de datos utilizando el programa Microsoft Excel, donde se incorporan datos de las emisiones y de las fuentes de emisión, así como los gráficos donde se representan los principales resultados del inventario.
- Se estimó la incertidumbre por factor de emisión y datos de actividad en cada planta estudiada, obteniéndose el mayor valor de incertidumbre para el CO, dentro de los contaminantes estudiados.
- El contaminante de mayor emisión dentro de la empresa es el CO<sub>2</sub> con un valor de 14553,3 Gg/mes representando el 94,8% del total de las emisiones de la empresa.

### RECOMENDACIONES

- Realizar un inventario de emisiones donde se pueda incorporar un estudio más detallado del material particulado incluyendo las fracciones con partículas de 10  $\mu\text{m}$  y 2.5  $\mu\text{m}$  y la composición de los metales presentes como el Ni, Co, Cr, Mg, Fe.
- Incluir en el inventario otros contaminantes como el metano y los compuestos orgánicos volátiles.
- Contemplar en futuros inventarios otros tipos de fuentes, como fuentes móviles y areales que están presentes en la empresa, así como también las emisiones difusas.
- Incluir en futuros inventarios datos para modelos de dispersión de contaminantes más avanzados que contemplen datos de topografía compleja, de elevación del penacho y datos meteorológicos para el cálculo de la turbulencia atmosférica.
- Mejorar la incertidumbre del CO tratando de utilizar métodos de estimación de las emisiones cada vez más exactos para este contaminante.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. *Amoniaco*, disponible en <http://es.wikipedia.org/wiki/amon%C3%ADaco>, junio, 2008.
2. *Aumento de la comparabilidad de los inventarios de emisiones en Canadá, EUA, y México*, disponible en <http://www.cec.org>, octubre, 2001.
3. *Calidad del aire*, disponible en <http://www.montevideo.gub.uy/ambiente>, junio, 2008.
4. CASALS BLET, I; A. PIERRE CONDE; R. BASTO CAMPOS; J. ALVAREZ BREFF. *Evaluación preliminar de los metales pesados en las emisiones a la atmósfera mediante los ductos chimeneas de la empresa “Cmdte. Ernesto Ché Guevara”*. [Informe Técnico]. Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM. Moa. 1995. 29p.
5. *Cuba. Ley 81 del Medio Ambiente. Gaceta Oficial de la República de Cuba*, La Habana: 1999.
6. *Descripción de los marcos metodológicos, normativos y de temas e indicadores ambientales*, disponible en <http://www.mambiente.munimadrid.es>
7. *Documento de orientación sectorial para la medición, calculo y estimación de emisiones de sustancias EPER*, disponible en <http://www.tesisexarxa.net>, junio, 2007.
8. ECO, U. *Como se hace una tesis*. España Edit. Gedisa, 1991. 188p.
9. *Estudio del impacto ambiental del proyecto de expansión a 50.0 KT de Ni y Co de la empresa Minero – Metalúrgica “Cmdte. Ernesto Ché Guevara”*. Punta Gorda, Moa, Holguín. T: III. 2004. p 325–335.
10. G, M, GORDÓN. y I. L. PEISÁJOV. *Captación de polvos y purificación de gases en la metalurgia de metales no ferrosos*. Moscú. Edit. Mir, 1981. 391p.
11. GUERRA DEBÍN, J. y SEVILLA. PEREDA ELIDA. *Introducción al análisis estadístico para procesos*. Edit. Pueblo y Educación, 1986. 185p.

12. HURTADO FREYRE, G. y F. MARESMÁ EULICER. *Algunas consideraciones acerca del control y monitoreo de las emisiones gaseosas de la empresa "Comdte. Ernesto Ché Guevara" de Moa*. Tecnológica, VOL. II, 1998, (1): p 30–32.
13. ISAGUIRRE BONILLA, C. *Influencia del amoníaco, ruido y polvo en el medio ambiente laboral de plantas de la empresa "Comdte Ernesto Ché Guevara"*. Tesis de Doctorado. Facultad de Metalurgia y Electromecánica del ISMM. Moa. 2004. 32p.
14. K.V, PASKANG. y N.N RODSIEVICH. *Protección y transformación de la naturaleza*. Ciudad de La Habana. Edit. Pueblo y Educación, 1983. p148–158.
15. KENNETH L. MITCHELL; PH .D. ROY; L. SMITH, PH .D; DEIRDRE MURPHY, PH.D. *Air Toxics Risk Assessment Reference Library*. VOL. II, 2004. 21p.
16. LÓPEZ, C. M, (1998): *Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero*.
17. LOZADA CASANOVA, E. *Situación ambiental cubana*. La Habana. Edit. CITMA, 2002. p16–17.
18. *Manuales del programa de inventario de emisiones en México*. Volumen II, disponible en <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/technic3.pdf>, marzo, 2008.
19. *Metodología para la actualización del inventario de emisiones no intencionales*, disponible en <http://www.nip.gub.uy/docu/plan/11.pdf>, mayo, 2008.
20. NC: 93-02-202. *Atmósfera. Requisitos higiénicos sanitarios*.
21. NC: 111: 2004. *Calidad del aire – reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos*.
22. NC: 242: 2005. *Guía de los datos tecnológicos para inventario de emisiones de los contaminantes atmosféricos desde fuentes industriales estacionarias*.
23. Norma ISO 690-2: 1997. *Information and documentation-bibliographic referents par 2: electronic documents or parts térréo*.
24. NMX-CH-140-IMNC-2002 *Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones equivalente a Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAP, IUPAC, OIML (1995)*.

25. *Panorama Ambiental de Cuba 2000*, disponible en <http://panorama.ama.cu>, marzo, 2008.
26. PÉREZ ROVIERA, D. et al. *Sumideros forestales sostenibles en España*. Mapfre Seguridad, tercer trimestre, 2005, (99): 37– 49.
27. *Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático*, disponible en <http://www.pnuma.org>, mayo, 2008.
28. *Protocolo de Kyoto*, disponible en <http://www.esmas.com> , abril, 2008.
29. *¿Qué es el inventario de emisiones de contaminantes a la atmósfera?* disponible en <http://www.munimadrid.es>, junio, 2008.
30. *Revised 1996 IPCC for Nacional Greenhouse Gas Inventories*, disponible en <http://www.ipcc.nggip.iges.or.jp/public/gl/spanish.html>
31. WARK, KENNETH. y F. WARNER CECIL. *Contaminación del aire. Origen y control*. T.I. Universidad de Purdue. 1996. p22–25.

**ANEXO 1**

**Tabla 1. Categoría de emisiones naturales.**

Categorías	Ejemplo de emisiones	Fuentes
<b>Geológicas</b>	Sulfuro, Ácidos clorhídricos	Gases volcánicos, Tormentas de viento
<b>Biogénicas</b>	Amoníaco, Metano VOCs	Desechos de animales, Descomposición de las plantas y animales.
<b>Marinas</b>	Amoníaco, Cloruros, Sulfatos, Óxidos nitrosos	Rocío formado por el rompimiento de las olas

**ANEXO 2**

**Tabla 2. Principales afectaciones a la salud y al medio ambiente causadas por los contaminantes a inventariar.**

Contaminantes	Efectos a la salud y al medio ambiente.
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	Causa efectos sobre la salud en dependencia de la concentración y tiempo de exposición. En los seres humanos afecta el suministro de oxígeno en el torrente sanguíneo. La exposición este puede exacerbar las enfermedades del corazón y del pulmón.
<b>Óxidos de Azufre (SO<sub>2</sub>)</b>	Perjudican el sistema respiratorio, especialmente de las personas que sufren de asma y bronquitis crónica. Empeorando sus efectos cuando es combinado con partículas o humedad del aire; conocido como <b>efecto sinérgico</b> . Los óxidos de azufre también son responsables de la formación de lluvias ácidas que puede perjudicar lagos, la vida acuática, materiales de construcción y la vida silvestre.
<b>Material Particulado (MP)</b>	Contribuye a aumentar las enfermedades respiratorias como la bronquitis y exacerbar los efectos de otras enfermedades cardiovasculares y en general disminuir la esperanza de vida de adultos mayores y enfermos. Así mismo, afecta la visibilidad y velocidad de deterioro de muchos materiales hechos por el hombre.
<b>Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>)</b>	Aunque el óxido nítrico es relativamente inofensivo, el dióxido de nitrógeno puede causar daños en el sistema respiratorio porque es capaz de penetrar las regiones más profundas de los pulmones. Contribuyendo también a la formación de lluvias ácidas.
<b>Amoniaco (NH<sub>3</sub>)</b>	Reduce la visibilidad. Inhalación: Produce irritación de la garganta, edema <a href="#">pulmonar</a> , daño vías respiratorias, y ojos. En concentraciones elevadas puede causar la muerte <a href="#">pulmonar</a> . Contacto con la piel: El amoníaco gaseoso puede producir irritación de la <a href="#">piel</a> , sobre todo si la piel se encuentra húmeda. Puede llegar a producir quemaduras y ampollas en la piel al cabo de unos pocos segundos de exposición con concentraciones <a href="#">atmosféricas</a> superiores a 300 ppm. Ingestión: A concentraciones elevadas produce irritación de garganta, a medida que aumenta la concentración puede llegar a producir edema pulmonar, o producir la muerte cuando supera las 5000 <a href="#">ppm</a> .
<b>Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)</b>	Es el principal causante del efecto invernadero.

**ANEXO 3**

**Tabla 3. Contaminantes atmosféricos.**

<b>Contaminantes atmosféricos</b>	<b>Características.</b>
<b>Monóxido de Carbono (CO)</b>	Es un gas incoloro e inodoro que en concentraciones altas puede ser letal. En la naturaleza se forma mediante la oxidación del metano. La principal fuente antropogénica es la quema incompleta de combustibles como la gasolina.
<b>Ozono (O3)</b>	Es considerado como un contaminante criterio y secundario. Se forma mediante la reacción química del dióxido de nitrógeno (NO2) y compuestos orgánicos volátiles (COV) en presencia de la luz solar.
<b>Óxidos de Azufre (SOx)</b>	Son gases incoloros que se forman al quemar azufre. El dióxido de azufre (SO2) es el contaminante criterio que indica la concentración de óxidos de azufre en el aire. La fuente primaria de óxidos de azufre es la quema de combustibles fósiles, en particular el carbón.
<b>Material Particulado (MP)</b>	Se encuentra dentro de la denominación de partículas totales en suspensión (PTS). En la naturaleza, el material particulado se forma por muchos procesos, tales como el viento, polinización de plantas e incendios forestales. Las principales fuentes antropogénicas de pequeñas partículas incluyen la quema de combustibles sólidos como la madera y el carbón, las actividades agrícolas como la fertilización y almacenamiento de granos y la industria de la construcción.
<b>Óxidos de Nitrógeno (NOx)</b>	Los óxidos de nitrógeno (comúnmente referidos como NOx) son un grupo de gases conformado por el nitrógeno y oxígeno. Los óxidos de nitrógeno incluyen compuestos como óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO2). El término NOx se refiere a la combinación de estas dos sustancias. Las fuentes más comunes de óxidos de nitrógeno en la naturaleza son la descomposición bacteriana de nitratos orgánicos, incendios forestales y de pastos, y la actividad volcánica. Las fuentes principales de emisión antropogénica son los escapes de los vehículos y la quema de combustibles fósiles.
<b>Plomo (Pb)</b>	El plomo es una sustancia natural que abunda en el ambiente. La fuente primaria de contaminación del aire por plomo ha sido el uso de combustibles con plomo en automóviles. Como un aditivo en la gasolina, el plomo desacelera el proceso de combustión en los motores. El plomo es un contaminante importante del aire porque es tóxico para los humanos.
<b>Dióxido de Carbono (CO2)</b>	La mayor parte del CO2 se produce en la respiración de las biocenosis y, sobre todo, en las combustiones de productos fósiles (petróleo y carbón), el CO2 es un componente del aire es utilizado por los vegetales en la fotosíntesis.

**ANEXO 4**



**Fig. 1: Analizador de gas testo 300 M/XL.**

ANEXO 5



Datos técnicos						
Datos técnicos para ambos instrumentos testo 300 M-I y testo 300 XL-I						
Parámetros	Rango	Exactitud	Resolución	Tiempo respuesta	Proceso de medición	Estándar/Opcional
O2	0... +25 Vol.% O2	±0.8% del valor de fondo de escala (0... +25 Vol.% O2)	0.1 Vol.% O2 (0... +25 Vol.% O2)	195 20 s	Célula de medición electromecánica	Estándar
CO2	0... CO2max Vol.% CO2		0.1 Vol.% CO2	125 20 s	Cálculo a partir de O2	Estándar
CO (con H2 compensación)	0... +10000 ppm CO	±5% del v.m. (+200.1... +10000 ppm CO) ±10 ppm CO (0... +200 ppm CO)	1 ppm CO (0... +10000 ppm CO)	190 40 s	Célula de medición electromecánica	Estándar
NO	0... +3000 ppm NO	±5% del v.m. (+100.1... +3000 ppm NO) ±5 ppm NO (0... +100 ppm NO)	1 ppm NO (0... +3000 ppm NO)	190 40 s	Célula de medición electromecánica	Opcional No se puede utilizar simultáneamente las células de medición de NO y SO2
SO2	0... +5000 ppm SO2	±5% del v.m. (+200.1... +5000 ppm SO2) ±10 ppm SO2 (0... +200 ppm SO2)	1 ppm SO2 (0... +5000 ppm SO2)	190 40 s	Célula de medición electromecánica	Opcional
Temperatura	-40... +1200 °C	±0.5% del v.m. (+101... +1200 °C) ±0.5 °C (0... +100 °C)	0.1 °C (0... +1000 °C) 1 °C (+1001... +1200 °C)	Ver datos de sonda	Termopar tipo K NiCr-Ni a DIN	Estándar
Presión diferencial	-80... +80 hPa	±0.5% del v.m. (+20.1... +80 hPa) ±0.1 hPa (0... +20 hPa)	0.01 hPa (-80... +80 hPa)	195 2 s	Sensor DMS	Opcional
Medición de velocidad, caudal mássico, caudal	0... +40 m/s	Ver presión diferencial	0.1 m/s (0... +40 m/s)	195 2 s	Cálculo a partir de presión diferencial (tubo de Pitot), temperatura, densidad y concentración del gas	Opcional
Punto de rocío en gases de combustión*	0... +99.9 °C td		0.1 °C td (0... +99.9 °C td)	20 s	Cálculo a partir de O2, temperatura y combustible	Opcional
Rendimiento	0... +120 %		0.1 % (0... +120 %)	20 s	Cálculo a partir de O2, temperatura y combustible	Estándar
λ. Exceso de aire	+1... +20		0.01 (+1... +20)	20 s	Cálculo a partir de O2, temperatura y combustible	Estándar

<sup>2</sup> Cuando se calibra la aplicación con gas patrón     
 <sup>3</sup> Para evitar la absorción debe usarse una unidad preparadora de gases     
 \* Errores debido a la unidad limpiadora (ej. unidad de desulfurización de gases) o retirada de humedad

Medidas	250x85x65 mm	Tipo de pila	4 pilas AA	Datos técnicos adicionales para testo 300 M-I/XL-I:	Garantía para testo 300 M-I y testo 300 XL-I:
Peso	700 g	Voltaje	115/230 V / 50/60 Hz	Memoria: 20 bloques de datos (testo 300 M-I)	Analizadores: 2 años (excepto partes activas y células de medición)
Temp. almacenamiento	-20... +50 °C	Impresora	Impresora Testo	Memoria: 100 bloques de datos (testo 300 XL-I)	Células de medición CO/NO/SO2: 2 años
Temp. funcionamiento	+4... +45 °C	Garantía	2 años	Caudal de la bomba: aprox. 0.8 l/min	Célula de medición O2: 2 años
Material/Caja	ABS	Memoria	20	Presión positiva máx. en la entrada de gases de comb.: 30 hPa (300 mm columna de agua)	Sondas: 1 año (excepto filtroce)
				Presión negativa máx. en la entrada de gases de comb.: 90 hPa (900 mm columna de agua)	Pila recargable: 1 año
				Visualizador: Visualizador gráfico 128 x 100 pixels	Accesorios: 1/2 año
				Alimentación: Via alimentador, pilas o pilas recargables sustituibles	Impresora: 1 año (excepto mecanismo de impresión)
				Número de células de medición: máx 3 (CO2, CO estándar, NO o SO2 opcional)	Secador de gases compacto: 1 año (excepto filtro de partículas)

Datos técnicos adicionales sólo para testo 300 XL-I	
Medición de CO ambiente (con sonda CO)	Medición de fugas de gas para combustibles gaseosos
Rango: 0 a 500 ppm	(con sonda de detección de fugas de gas):
Exactitud: ±5 ppm (0 a 100 ppm)	1er límite de alarma: 200 ppm CH4
±5 % de la lectura (superior a 100 ppm)	2º límite de alarma: 10000 ppm CH4
Resolución: 1 ppm	Señal: Visualizador óptico (LED) para 1er y 2º límite de alarma, alarma acústica buzzer
Tiempo de respuesta t90: Aprox. 35 s	Tiempo de respuesta t90: inferior a 2 s.

Vol. % O2
Vol. % CO2
ppm CO
ppm NO
ppm SO2
°C
hPa
ΔP
m/s
λ
REN

Fig. 2: Datos técnicos del analizador de gas testo.

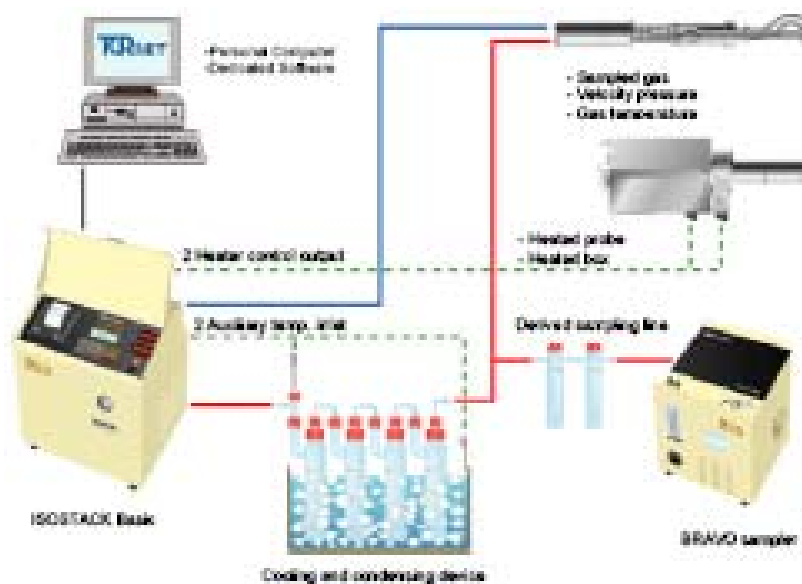


**ANEXO 6**



**Fig. 3: Equipo Orsat para determinación de CO<sub>2</sub>.**

**ANEXO 7**



**Fig.4: Equipo TCR TECORA para la determinación de material particulado.**

**ANEXO 8**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Secaderos).**

Año de puesta en marcha:	1986
Operación anual (horas/año):	8736
Producción (diaria, <u>mensual</u> , anual):	283333.33
Altura de la fuente (m):	140
Diámetro interior (m):	6
Diámetro exterior (m):	6.5
Dispositivo de control de las emisiones (Sí/No)	Si
Temperatura de la mezcla gaseosa emitida [° C]	78.79
Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]	12.34
Tasa de emisión (m3/unidad de producción)	1256371.18
Flujo máximo del gas emitido (N m <sup>3</sup> /s)	263.97
Eficiencia del control (%)	99.6
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
Latitud (X): 221168.50	Longitud (Y): 703334.00 (48m)
Otros comentarios:	

**ANEXO 9**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Silos- Molienda).**

Año de puesta en marcha:	1986
Operación anual (horas/año):	8736
Producción (diaria, <u>mensual</u> , anual):	283333.33
Altura de la fuente (m):	80
Diámetro interior (m):	3
Diámetro exterior (m):	3.2
Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)	Si
Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]	38.89
Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]	13.94
Tasa de emisión (m3/unidad de producción)	354464.50
Flujo máximo del gas emitido (N m <sup>3</sup> /s)	83.99
Eficiencia del control (%)	99.6
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
Latitud (X): 221433.05	Longitud (Y): 703516.40
Otros comentarios:	

**ANEXO 10**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Hornos- Reducción).**

<b>Año de puesta en marcha:</b>	1986
<b>Operación anual (horas/año):</b>	8736
<b>Producción (diaria, <u>mensual</u>, anual):</b>	275000
<b>Altura de la fuente (m):</b>	120
<b>Diámetro interior (m):</b>	5
<b>Diámetro exterior (m):</b>	5.5
<b>Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)</b>	Si
<b>Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]</b>	221.71
<b>Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]</b>	3,81
<b>Tasa de emisión (m3/unidad de producción)</b>	86693.01
<b>Flujo máximo del gas emitido (N m<sup>3</sup>/s)</b>	13.14
<b>Eficiencia del control (%)</b>	99.6
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
<b>Latitud (X):</b> 221368.55	<b>Longitud (Y):</b> 703307.00 (44.5m)
<b>Otros comentarios:</b>	

**ANEXO 11**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (CTE).**

<b>Año de puesta en marcha:</b>	1986
<b>Operación anual (horas/año):</b>	8736
<b>Producción (diaria, <u>mensual</u>, anual):</b>	216000
<b>Altura de la fuente (m):</b>	140
<b>Diámetro interior (m):</b>	4.2
<b>Diámetro exterior (m):</b>	4.7
<b>Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)</b>	No
<b>Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]</b>	220.47
<b>Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]</b>	7.77
<b>Tasa de emisión (m3/unidad de producción)</b>	387787,40
<b>Flujo máximo del gas emitido (N m<sup>3</sup>/s)</b>	62.2
<b>Eficiencia del control (%)</b>	
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
<b>Latitud (X):</b> 221393.00	<b>Longitud (Y):</b> 703580.00 (42.60m)
<b>Otros comentarios:</b>	

**ANEXO 12**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Calcinación).**

<b>Año de puesta en marcha:</b>	1986
<b>Operación anual (horas/año):</b>	8736
<b>Producción (diaria, mensual, anual):</b>	2166.66
<b>Altura de la fuente (m):</b>	140
<b>Diámetro interior (m):</b>	4.2
<b>Diámetro exterior (m):</b>	4.7
<b>Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)</b>	Si
<b>Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]</b>	213.50
<b>Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]</b>	2.74
<b>Tasa de emisión (m3/unidad de producción)</b>	137011.05
<b>Flujo máximo del gas emitido (N m<sup>3</sup>/s)</b>	21.27
<b>Eficiencia del control (%)</b>	99.8
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
<b>Latitud (X): 221875.00</b>	<b>Longitud (Y): 703580.00 (25.50m)</b>
<b>Otros comentarios:</b>	

**ANEXO 13**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Sinter).**

Año de puesta en marcha:	1986
Operación anual (horas/año):	8736
Producción (diaria, <u>mensual</u> , anual):	2000
Altura de la fuente (m):	85
Diámetro interior (m):	3
Diámetro exterior (m):	3.2
Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)	Si
Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]	59.78
Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]	15.83
Tasa de emisión (m3/unidad de producción)	402469.95
Flujo máximo del gas emitido (N m <sup>3</sup> /s)	91.78
Eficiencia del control (%)	99.8
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
Latitud (X): 221758.50	Longitud (Y): 703725.95 (25m)
Otros comentarios:	

**ANEXO 14**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN**

**DE2 Información estática para cada fuente puntual (Lixiviación).**

<b>Año de puesta en marcha:</b>	1986
<b>Operación anual (horas/año):</b>	8736
<b>Producción (diaria, <u>mensual</u>, anual):</b>	2583.33
<b>Altura de la fuente (m):</b>	25.28
<b>Diámetro interior (m):</b>	1.6
<b>Diámetro exterior (m):</b>	1.8
<b>Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)</b>	Si
<b>Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]</b>	30.91
<b>Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]</b>	11.86
<b>Tasa de emisión (m3/unidad de producción)</b>	85428.80
<b>Flujo máximo del gas emitido (N m<sup>3</sup>/s)</b>	20.76
<b>Eficiencia del control (%)</b>	
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
<b>Latitud (X):</b> 221861.50 221838.90	<b>Longitud (Y):</b> 703280.00 703306.00 (24m)
<b>Otros comentarios:</b>	



**ANEXO 15**

**PLANILLAS PARA LA CAPTACIÓN DE DATOS DE EMISIÓN  
DE2 Información estática para cada fuente puntual (Recuperación de NH<sub>3</sub>).**

Año de puesta en marcha:	1986
Operación anual (horas/año):	8736
Producción (diaria, mensual, anual):	
Altura de la fuente (m):	25.2
Diámetro interior (m):	0.4
Diámetro exterior (m):	0.6
Dispositivo de control de las emisiones (Si/No)	Si
Temperatura de la mezcla gaseosa emitida[°C]	29.60
Velocidad de salida de la mezcla gaseosa emitida [m/s]	38.78
Tasa de emisión (m <sup>3</sup> /unidad de producción)	16753.67
Flujo máximo del gas emitido (N m <sup>3</sup> /s)	4.20
Eficiencia del control (%)	
<b>Información de edificaciones</b>	
Si la altura de la fuente es 2.5 veces menor que la edificación más próxima, por favor añadir la información sobre las edificaciones.	
<b>Coordenadas (geográficas / planas) de la fuente</b>	
<b>Latitud (X):</b> 221840.50 221822.50	<b>Longitud (Y):</b> 703466.00 703482.00 (32.15m)
<b>Otros comentarios:</b>	

**ANEXO 16**

**Tabla 4. Emisiones de contaminantes en la Planta de Secaderos.**

<b>Contaminantes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>MP</b>	<b>CO</b>	<b>NO</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>
1	133,71	6,71	0,95	0,13	0,16
2	151,36	3,23	0,01	0,14	0,15
3	142,52	6,41	0,01	0,15	0,06
4	98,76	3,18	0,50	0,12	0,10
5	101,59	2,49	0,04	0,13	0,09
6	198,68	5,34	0,04	0,12	0,10
7	179,65	2,20	0,01	0,11	0,04
8	212,85	2,04	0,79	0,13	0,17
9	233,67	3,03	0,01	0,22	0,05
10	217,58	5,45	0,01	0,20	0,06
11	273,28	7,26	0,01	0,21	0,12
12	268,69	5,36	0,62	0,21	0,10
<b>Promedio</b>	184,67	4,39	0,25	0,16	0,10
<b>Desv Estándar</b>	59,68	1,89	0,36	0,04	0,04
<b>Varianza</b>	3561,33	3,56	0,13	0,00	0,00
<b>Intervalo de Conf</b>	37,92	1,20	0,23	0,03	0,03
<b>Incertidumbre</b>	17,23	0,55	0,10	0,01	0,01
<b>% incertidumbre</b>	9,33	12,43	40,82	7,82	12,41

**ANEXO 17**

**Tabla 5. Emisiones de contaminantes en la Planta de Molinos.**

<b>Contaminantes</b>	<b>MP</b>
<b>Unidad de Medida.</b>	<b>kg/tn</b>
1	0,34
2	0,32
3	0,55
4	0,59
5	0,47
6	0,44
7	0,29
8	0,13
9	0,15
10	0,33
11	0,83
12	1,03
<b>Promedio</b>	0,45
<b>Desv Estándar</b>	0,26
<b>Varianza</b>	0,07
<b>Intervalo de Conf</b>	0,17
<b>Incertidumbre</b>	0,08
<b>% incertidumbre</b>	16,81

**ANEXO 18**

**Tabla 6. Emisiones de contaminantes en la Planta de Hornos de Reducción.**

<b>Contaminantes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>MP</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>
1	77,34	11,87	0,22	0,22	0,01
2	97,27	25,56	0,13	0,11	0,01
3	69,91	18,39	0,38	0,46	0,01
4	70,83	19,16	0,37	0,17	0,01
5	128,47	31,19	0,68	0,67	0,02
6	60,25	14,13	0,32	0,18	0,01
7	47,93	10,98	0,26	0,13	0,01
8	44,71	9,52	0,24	0,08	0,00
9	56,61	10,14	0,10	0,11	0,01
10	33,43	8,21	0,07	0,03	0,00
11	4,56	1,02	0,01	0,03	0,00
12	47,64	10,53	0,06	0,13	0,01
<b>Promedio</b>	60,15	14,44	0,24	0,19	0,01
<b>Desv Estándar</b>	31,46	8,19	0,19	0,19	0,00
<b>Varianza</b>	989,76	67,00	0,04	0,03	0,00
<b>Intervalo de Conf</b>	19,99	5,20	0,12	0,12	0,00
<b>Incertidumbre</b>	9,08	2,36	0,05	0,05	0,00
<b>% Incertidumbre</b>	15,10	16,36	22,76	28,18	16,51

**ANEXO 19**

**Tabla 7. Emisiones de contaminantes en la Planta de Calcinación.**

<b>Contaminantes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>MP</b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>
1	1973,88	147,32	18,17	6,52	9,36
2	1826,13	138,12	52,81	6,18	0,11
3	2231,97	172,34	49,16	1,60	0,17
4	2340,95	168,06	22,47	1,38	0,30
5	2245,94	204,21	22,20	9,67	0,47
6	2400,15	236,57	15,00	1,55	1,80
7	2261,64	214,06	0,00	9,25	1,16
8	2026,69	195,63	82,49	2,09	0,61
9	2420,00	239,49	38,27	1,41	0,87
10	2207,34	220,76	0,00	2,48	1,43
11	2206,61	225,58	0,26	8,46	5,62
12	2418,49	236,08	44,60	9,14	9,65
<b>Promedio</b>	2213,32	199,85	28,79	4,98	2,63
<b>Desv Estándar</b>	186,33	35,56	25,36	3,53	3,54
<b>Varianza</b>	34719,56	1264,38	643,06	12,46	12,50
<b>Intervalo de Conf</b>	118,39	22,59	16,11	2,24	2,25
<b>Incertidumbre</b>	53,79	10,26	7,32	1,02	1,02
<b>% Incertidumbre</b>	2,43	5,14	25,43	20,47	38,84

**ANEXO 20**

**Tabla 8. Emisiones de contaminantes en la Planta de Sinter.**

<b>Contaminantes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>CO</b>	<b>MP</b>	<b>SO<sub>2</sub></b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>
1	3736,49	87,53	3,01	6,79
2	3182,17	8,55	7,96	6,17
3	3643,63	101,87	4,31	7,07
4	2938,24	66,69	3,70	4,63
5	1939,84	66,66	3,29	3,45
6	2843,57	36,73	3,25	3,06
7	2020,63	66,48	8,03	4,70
8	1975,35	51,60	10,03	4,54
9	3405,30	53,34	13,77	10,29
10	4518,73	2,54	15,86	3,48
11	3033,53	12,23	19,82	4,78
12	1936,17	27,43	13,65	6,38
<b>Promedio</b>	2931,14	48,47	8,89	5,45
<b>Desv Estándar</b>	836,55	31,62	5,75	2,03
<b>Varianza</b>	699810,90	999,56	33,01	4,12
<b>Intervalo de Conf</b>	531,52	20,09	3,65	1,29
<b>Incertidumbre</b>	241,49	9,13	1,66	0,59
<b>% Incertidumbre</b>	8,24	18,83	18,66	10,76

**ANEXO 21**

**Tabla 9. Emisiones de contaminantes en la Planta de Lixiviación y Lavado.**

<b>Contaminantes</b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>g/Kg</b>
1	30,71
2	33,61
3	22,26
4	77,96
5	48,43
6	49,09
7	45,94
8	33,99
9	17,33
10	14,83
11	9,93
12	12,82
<b>Promedio</b>	33,08
<b>Desv Estándar</b>	19,82
<b>Varianza</b>	392,98
<b>Intervalo de Conf</b>	12,60
<b>Incertidumbre</b>	5,72
<b>% Incertidumbre</b>	17,30

**ANEXO 22**

**Tabla 10. Emisiones de contaminantes en la Planta de Recuperación de Amoniaco.**

<b>Contaminante</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>NH<sub>3</sub></b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>g/Kg</b>	<b>g/Kg</b>
1	182,32	2,55
2	147,80	2,22
3	208,88	6,89
4	312,13	1,72
5	168,75	3,33
6	153,52	16,67
7	23,79	0,86
8	85,39	1,85
9	188,75	6,19
10	122,22	6,57
11	140,06	3,16
12	110,81	9,72
<b>Promedio</b>	153,70	5,14
<b>Desv Estándar</b>	70,72	4,51
<b>Varianza</b>	5001,47	20,31
<b>Intervalo de Conf</b>	44,93	2,86
<b>Incertidumbre</b>	20,42	1,30
<b>% Incertidumbre</b>	13,28	25,29

**ANEXO 23**

**Tabla 11. Emisiones de contaminantes en la Central Termoeléctrica.**

<b>Contaminantes</b>	<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>CO</b>
<b>Unidad de Medida</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>	<b>kg/tn</b>
1	222,12	3,50	0,21	0,01
2	223,60	2,85	0,21	0,01
3	226,77	3,44	0,21	0,01
4	235,86	2,23	0,22	0,01
5	229,68	4,62	0,21	0,02
6	228,53	3,47	0,21	0,02
7	230,38	3,64	0,21	0,02
8	230,22	3,09	0,21	0,02
9	232,61	4,35	0,22	0,02
10	235,27	3,63	0,22	0,01
11	235,14	4,64	0,23	0,09
12	242,99	2,81	0,24	0,09
<b>Promedio</b>	231,10	3,52	0,22	0,03
<b>Desv Estándar</b>	5,76	0,74	0,01	0,03
<b>Varianza</b>	33,23	0,54	6,58E-05	0,00
<b>Intervalo de Conf</b>	3,66	0,47	0,01	0,02
<b>Incertidumbre</b>	1,66	0,21	0,00	0,01
<b>% Incertidumbre</b>	0,72	6,04	1,07	30,71

**ANEXO 24****GLOSARIO**

**Acidificación:** Fenómeno consistente en la aparición de un desequilibrio en el suelo que ocasiona la pérdida de cationes (principalmente  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ), produciendo la consiguiente disminución del pH. La acidificación se debe generalmente a pérdida por lavado, exportación de las cosechas y adición de productos ácidos.

**Ambiente:** Conjunto de elementos o condiciones naturales y artificiales que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás seres vivos.

**Antropogénico:** Generado u originado por la actividad humana.

**Área protegida:** Área natural seleccionada especialmente para preservar y conservar ecosistemas, diversidades biológicas y genéticas.

**Biodegradable:** Descomposición en sustancias inorgánicas por la acción de microorganismos, sufren las cosas y sustancias.

**Biodiversidad:** Totalidad de ecosistemas, especies y genes de una región o país.

**Biosfera:** Es la parte de la tierra y su atmósfera donde persiste la vida.

**Cambio climático global:** Conjunto de cambios que se manifiestan en los patrones climáticos a nivel mundial, como resultado de las alteraciones que ocasionan las actividades humanas.

**Compuesto Orgánico:** Son sustancias que están compuestas de varios elementos, pero el principal es una cadena de átomos de carbono que está tanto en los seres vivos como en los minerales.

**Conservación:** Es la protección y aplicación de los recursos de la tierra y mantenimiento de la diversidad de especies y ecosistemas.

**Contaminación:** Son las modificaciones o alteraciones dañinas que sufren las condiciones ambientales por la presencia de elementos o agentes (físicos, biológicos, químicos) nocivos.

**Contaminantes:** Son sustancia, materias que en cualquiera de sus estados físicos puede provocar en la atmósfera, flora, fauna, agua... alteraciones que modifiquen su composición, y funciones.

**CITMA:** Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba.

**CMNUCC:** Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

**Degradación:** Proceso de transformación de un sistema a un nivel más inferior.

**Derecho Ambiental:** Leyes que rigen la protección, defensa, conservación y mejoramiento del sistema ambiental.

**Desarrollo Sostenible:** Es un proceso de cambio social encaminado a promover una mejor calidad de vida, unas relaciones armónicas que contribuyan a un aprovechamiento adecuado de los recursos naturales.

**Desechos Peligrosos:** Cualquier material o sustancia de cualquier tipo (sólido, líquido, gaseoso) que resulte peligroso su exposición a los seres humanos.

**Desertificación:** Es el proceso que conlleva a la transformación de tierra fértiles en áridas, ya sea por procesos naturales o antropogénicos.

**Desequilibrio Ecológico:** Es una situación de desajuste o alteración de las relaciones de interdependencia entre los componentes naturales que conforman el ambiente.

**Diversidad biológica:** Es la variedad de formas de vida y de adaptaciones de los organismos al ambiente que encontramos en la biosfera. Se suele llamar también biodiversidad y constituye la gran riqueza de la vida del planeta.

**Ecosistema:** Son zonas de vida, totalidad de plantas, animales, microorganismos en interacción con su medio ambiente y entre si.

**Efecto invernadero:** Es la alteración de temperatura terrestre como consecuencia de los gases (Monóxido de carbono, vapor de agua, óxido nitroso....) que al ascender a la troposfera absorben la energía solar.

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental.

**Equilibrio ecológico:** Es una relación de interdependencia entre los elementos que integran el ambiente y que permite la existencia y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**Erosión:** Se denomina **erosión** al proceso de sustracción o desgaste de la roca del suelo intacto (roca madre), por acción de procesos geológicos exógenos como las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento, o los cambios de temperatura.

**Emisiones:** Liberación (emisión o expulsión) de contaminantes en este caso gases de invernadero o sus precursores hacia la atmósfera en un área y un período de tiempo especificados.

**Especie:** Grupo de organismos con características genéticas similares, que se pueden reproducir entre sí y dar una descendencia fértil.

**Extinción:** pérdida o desaparición total de ejemplares de una especie en todo el planeta.

**Factor de Emisión:** Un coeficiente que relaciona los datos de actividad con las emisiones reales. Es la tasa de emisión por unidad de actividad.

**Fuente de contaminación de la atmósfera:** Lugar, objeto o proceso, en o mediante el cual se emana, origina o expulsa a la atmósfera una sustancia química, agente biológico o factor físico contaminante.

**Gases de Invernadero:** Aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, tanto naturales como antrópicos, que absorben y reemiten radiación infrarroja son transparentes a la radiación de onda corta proveniente del sol, pero absorben y reemiten, en alto grado, la irradiación de onda larga proveniente de la superficie de la Tierra. Su acción es similar a la de los vidrios en un invernadero.

**Impacto ambiental:** Modificación que sufre el ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

**Incertidumbre:** Error total del método de medición.

**Inventario de emisiones:** El inventario de emisiones es un instrumento estratégico de gestión ambiental, ya que permite identificar a los sectores que generan emisiones contaminantes y a las fuentes en las cuales deben aplicarse medidas de control.

**IPCC:** Siglas en inglés del Panel Intergubernamental de Expertos sobre los Cambios Climáticos. Establecido por el PNUMA para proporcionar asesoramiento a los



tomadores de decisiones, acerca de los resultados de las investigaciones sobre cambio climático.

**Lluvia ácida:** Lluvia cuyo pH es menor que 5.6.

**Material Particulado (Mp):** Es toda materia acarreada por el gas (hollín, ceniza u óxidos) recolectada en los filtros, condensador y boquillas.

**Medio Ambiente:** La suma de todas las condiciones externas que afectan la vida, desarrollo y supervivencia de un organismo.

**Muestreo Isocinético:** Es la extracción de un volumen de por lo menos 1,25 metros cúbicos de muestra gaseosa (que equivale aproximadamente 1 hora de muestreo continuo) desde el interior de un tramo recto de la chimenea. El muestreo debe realizarse asegurando de que en cada punto de muestreo, la velocidad en la boquilla de succión posee la misma velocidad de los gases que ascienden por el interior de la chimenea en dicho punto.

**Orsat:** Métodos de análisis de oxígeno y dióxido de carbono basados en la absorción de éstos en soluciones químicas.

**Oxidantes Fotoquímicos:** Sustancias producidas en la atmósfera mediante un proceso fotoquímico es decir que requiere luz, y que poseen un alto poder de oxidación. Las más estudiadas son el ozono y el PAN (nitrato de peroxiacetilo).

**Partícula:** Fragmento orgánico o inorgánico, cuyo tamaño oscila entre  $10^{-3}$  y  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$  de radio y que condiciona, según su calibre, diversos procesos meteorológicos.

**Población:** Conjunto de organismos de la misma especie que comparten un mismo espacio común.

**Preservación:** Medidas para mantener las condiciones que propicien la evolución y continuidad de los ecosistemas y hábitats naturales, así como para conservar las poblaciones viables de especies en sus entornos naturales y los componentes de la biodiversidad fuera de sus hábitats naturales.

**PNUMA:** Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

**Protocolo de Kyoto:** Acuerdo internacional que entró en vigor el 16 de febrero de 2005, y su objetivo es conseguir reducir un 5,2% las emisiones de gases de efecto invernadero globales sobre los niveles de 1990 para el periodo 2008-2012.

**Recurso natural:** Elemento natural susceptible de ser aprovechado en beneficio del hombre.

**Residuos:** No es más que cualquier tipo de material que esté generado por la actividad humana y que está destinado a ser desechado.

**Solventes:** Son compuestos orgánicos basados en el elemento químico Carbono. Ellos producen efectos similares a los del alcohol o los anestésicos. Estos efectos se producen a través de la inhalación de sus vapores.

**Sumidero:** Cualquier proceso, actividad o mecanismo que absorbe un contaminante de la atmósfera en este contexto un gas de efecto invernadero, un aerosol o un precursor de un gas de efecto invernadero de la atmósfera.

**Tóxico:** Sustancias que pueden causar perturbación o daño sobre una especie animal o vegetal.