

TRABAJO DE DIPLOMA.

INGENIERÍA INDUSTRIAL

Título:
“Aplicación del Programa de Monitoreo Ambiental para Cementos Cienfuegos S.A”.

Autora:
Diana Silvia CLEMENTE SOLER.

Tutores:
MSc.,Ing.: Henry RICARDO CABRERA.
Universidad de Cienfuegos
MSc.,Ing.: José Luis ROMERO CABRERA.
Cementos Cienfuegos S.A.

CIENFUEGOS, JUNIO, 2011.



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la terminación de los estudios en la Especialidad de Ingeniería Industrial, autorizando a que el mismo sea utilizado por las organizaciones e instituciones para los fines que estime conveniente. No podrá este trabajo ser presentado a eventos, ni publicado sin la aprobación del centro.

Firma del AUTOR

Los que abajo firmamos, certificamos que el presente trabajo ha sido revisado según acuerdo de la Dirección de nuestro centro y que el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Información Científico Técnica

Nombre, Apellidos y Firma

Computación

Nombre, Apellidos y Firma

Firma del TUTOR



Cementos Cienfuegos S.A.

Guabairo, Cienfuegos, 16 de junio 2011

A: Comité Académico
Facultad de Ciencias Económicas Empresariales.
Universidad de Cienfuegos
“Carlos Rafael Rodríguez”

Estimado;

Hago constar que el trabajo de diploma: “Aplicación del Programa de Monitoreo Ambiental para Cementos Cienfuegos S.A.”, realizada por la estudiante *Diana Silvia Clemente Soler*, de la carrera Ingeniería Industrial ha sido elaborada en estrecha vinculación con la dirección de esta empresa y tutorado por los *MSc.,Ing.: José Luis Romero Cabrera* y *MSc.,Ing.: Henry Ricardo Cabrera*. El mismo ha cumplido el objetivo de aplicar un Programa de Monitoreo Ambiental que profundiza en el estudio del comportamiento de la dispersión de los contaminantes emitidos por nuestros sistemas tecnológicos y establece una nueva concepción en el tratamiento de la información que se recibe de las mediciones de la red de monitoreo (diseñada en este trabajo) que facilita la toma de decisiones para mitigar los posibles impactos ambientales con una visión adecuada en aras de favorecer la sostenibilidad de la producción industrial.

El trabajo representa una valiosa contribución a la demostración de ante la autoridad reguladora del CITMA de los esfuerzos de la Dirección General en el cumplimiento nuestra estrategia ambiental y la visión de mantener el liderazgo en la fabricación del cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba.

Para que así conste firma la presente.

Lic.: Vicente Humberto Vélez Isla.
Director General.



Dedicatoria.



Cuando hayas cortado el último árbol, contaminado el último río y pescado el último pez, te darás cuenta de que el dinero no se puede comer.

Dedicatoria.

Hace alrededor de 6 años comenzó mi sueño por entrar a la universidad... ¿Recuerdan?... Cuando aún no tenía muchas probabilidades de obtener una carrera todos ustedes hicieron posible ese sueño, con su apoyo absoluto en todos los sentidos, dándome ánimos y fuerzas desde el principio de esta interminable batalla cuando comencé a prepararme con mucho esfuerzo para las pruebas de ingreso, cuando creía que no podía con los cálculos, físicas, estadísticas y las materias, hasta estos últimos momentos que son de felicidad para todos; siempre me dijeron presente. Es por eso que les dedico esta tesis a todos ustedes que junto a mí también hoy se gradúan de Ingenieros. Gracias por ayudarme a obtener tal conquista.

Quiero explicarles a los protagonistas de mi vida a quiénes les dedico esta tesis que no tengo orden de prioridad solo que unos van después de otros porque no hay forma de ponerlos a todos en el mismo lugar.

A mis padres:

Papi "mi Clemen": por su optimismo y esperanza de tener a una ingeniera en casa que me ayudaron seguir adelante venciendo obstáculos casi imposibles. ¡Gracias por creer en mí, Clemen! ... te admiro.

Mami: por su fe infinita y ternura que siempre trataré de llevarlas dentro de mí. Gracias ma, por aguantar mis malcriadeces y quererme sin condición ... te adoro.

A mi gran musa "Mi nana", que aunque nos separen miles y miles de kilómetros nunca hemos estado distanciadas pues siempre va a existir esa conexión entre nosotras y esa telepatía que nos alimenta y llena de amor nuestros corazones, gracias mi hermanita por hacerme todo más fácil y por el apoyo espiritual que me brindaste ... te idolatro.

Al amor de vida, mi otra mitad por darme fuerzas constantemente para vencer obstáculos y hacerme creer que siempre se puede lograr lo que desea el corazón, gracias "mi Conde" por formar parte de mi vida ... te amo.

Agradecimientos.



Bien podría la naturaleza ser nuestro Dios... tiene el poder de destruir y dar vida, mas no de defenderse de su creación -el hombre-.

Agradecimientos.

Quiero agradecerle a mi abuelita Sara por su constante fe y sus promesas para aprobar las pruebas, gracias mi abue linda.

Quiero agradecer a mis tutores que fueron un eslabón muy importante para lograr esta conquista:

Un agradecimiento muy especial es para mi tutor y amigo José Luis “el Coquito de todos” que a pesar de conocerlo hace muy poco tiempo me brindó sin beneficio alguno todos sus conocimientos, tiempo y cariño; además debo admitir que sin él no hubiese completado este sueño, muchas gracias por tu grandísima ayuda y transparencia... Coquito.

A mi tutor Henry por aportar sus conocimientos y gran ayuda, quiero agradecerle también porque gracias a él pude entrar a Cementos Cienfuegos S.A para comenzar en esta dura batalla, de no ser por su perseverancia no hubiese podido hacer esta tesis en un lugar tan maravilloso, gracias profe.

A mis suegros Mariela y Luis por apoyarme con sus consejos en aquellos días donde todo era gris y pensaba que no podía seguir, además quiero agradecerles por compartir a su niño conmigo...gracias de todo corazón.

A mi cuñado más querido “Helduchi” por brindarme su apoyo y su preocupación constante ...gracias cuñi.

Quiero agradecerles a mis verdaderas amigas Elibeth (más bien mi hermanita) y Yailé (mi gran amiga y comadre) por aportar todo lo que estuvo es sus manos en el momento preciso, gracias mis niñas.

A Liosky por ayudarme siempre que le fue posible y en el momento que más lo necesitaba, gracias mi primi.

A mi único amigo masculino “el Loyce” por sus consejos y ayuda cuando los necesité... de verdad RaKa Mara ... muchas gracias, ves que si tengo un pedacito de mi corazón para ti.

A mis padrinos Loymer y Wilfre que siempre estuvieron al tanto de todo, para ayudarme a resolver las situaciones más complicadas... los quiero.

Quiero un agradecimiento bien grande y especial para mi piquete (Sahylí, Diancy, Oxana, Laura, Yenly y Héctor) que dejaron una huella bien profunda en mi corazón, sin ellos no hubiese aprobado los cursos, reído de lo lindo, aun así siempre había un chiste para los momentos más tensos y quiero que todos sepan que nunca los olvidaré, fueron lo mejor en estos 5 años de universidad, chicos....!!!

- *A ti Sahylí porque nunca tuviste un “no” para mí, siempre fuiste la más dispuesta a ayudarme y por eso te quiero mi loquita.*
- *A Diancity que siendo solo una estudiante es toda una profesional, gracias mi amiga por tu paciencia y tu ayuda incondicional, te deseo lo mejor del mundo.*
 - *A mi desquiciada Oxanita, tan ingenua y auténtica, siempre capaz de sorprendernos con alguna idea fantástica.*
- *A Laury que así calladita como todos la ven es una chica con mucha determinación y realista, eres admirable amiga.*
- *A Yenly que a pesar de nuestros encontronazos supo aprender a lidiar conmigo, incluso a quererme, gracias chusmita.*
- *A mi Hecti loquito que siempre fuiste capaz de mantenernos contentas aun cuando el momento no era para reír, además de compartir las fugas conmigo... te quiero chichón.*

A todos los padres de ustedes mi piquete que siempre estuvieron haciendo todo lo posible porque nosotros saliéramos adelante.

Un agradecimiento muy especial a Reina por prestarnos su humilde morada sin límites, ni condiciones, gracias Reinita.

A Cuquito y Deisita por abrirme las puertas de su casa en cualquier momento y siempre alentarme con buenos consejos.

Quiero agradecer a Cementos Cienfuegos S.A por abrirme sus puertas para poder realizar este sueño.

En fin a todos los que hicieron posible de una forma u otra que llegara al final.

... Gracias...

Resumen.



Quién no quiera entender las reglas de la naturaleza no sólo es un necio, es alguien que reniega de su propia especie... que es el símbolo más claro de la naturaleza.

Resumen:

La presente investigación fue realizada en las instalaciones de Cementos Cienfuegos S.A. con el objetivo de diseñar e implementar un programa de monitoreo de las variables de concentración de polvo en aire, tasa de deposición y concentración de metales pesados, para la valoración de la calidad del aire a partir de índices establecidos en la norma NC ISO 111:2004. Este programa incluye también el monitoreo de los parámetros de los residuales líquidos a la salida de los sistemas de tratamiento instalados en los sistemas tecnológicos según la norma NC 27/1999.

Para la ubicación de los puntos de muestreo fueron escogidas las áreas de mayor concentración de polvo obtenidas a partir de la ejecución de los programas de dispersión de contaminantes (DISPER y SCREEN) utilizando los términos fuentes de los principales focos emisores con alcance territorial y global. Un aspecto significativo en este trabajo es la utilización de la concentración de metales pesados de cobre, plomo y zinc como trazadores característicos de los materiales de proceso, para discernir la contaminación asociada a las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. de la contaminación global.

Los resultados de la ejecución del programa demostraron que las concentraciones de polvo, metales pesados, así como los parámetros de los residuales, se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles (ICA <1 e ICR<1), por lo que los impactos ambientales de emisiones y descargas procedentes de las instalaciones tecnológicas de Cementos Cienfuegos S.A son inferiores a los provocados por la contaminación global.

En el caso de las tasas de emisiones de CO₂ (0.89 ton CO₂/ton clinker) se encuentra en el límite inferior de los valores establecidos en la bibliografía para este tipo de industria (0.8 -1.2 ton CO₂/ton de clinker).

Summary:

This research was conducted in Cementos Cienfuegos SA with the objective of designing and implementing a monitoring program of the variables of dust concentration in air, deposition rate and concentration of heavy metals, for the assessment of air quality from the standard in NC ISO 111: 2004. This program also includes monitoring the parameters of the liquid waste out of treatment systems installed on technological systems according to the NC 27:1999.

For the location of the sampling sites were chosen in areas of higher dust concentration obtained from the implementation of programs pollutant dispersion (DISPER and SCREEN) using the source terms of the major emission sources to regional and global scope. A significant aspect of this work is the use of heavy metal concentrations of copper, lead and zinc as tracer's characteristic of the process materials to discern the pollution associated with the operations of Cementos Cienfuegos SA global pollution.

The results of program implementation showed that the concentrations of dust, heavy metals, and the parameters of the residuals are below the maximum acceptable values (ICA <1 and ICR <1), so that environmental impacts emissions and discharges from technological facilities Cementos Cienfuegos SA are lower than those caused by global pollution.

In the case of CO₂ emission rates (0.89 ton clinker CO₂/ton) is at the lower limit values established in the literature for this type of industry (0.8 -1.2 CO₂/ton ton of clinker).

Índice.



La naturaleza es lo más hermoso que Dios creó, la maldad de la humanidad es lo más estúpido que estamos fabricando.

Índice

Introducción:	8
Capítulo I: Revisión Teórica-Referencial (Actualidad).....	14
I.1. Introducción	14
I.2. Generalidades sobre la Contaminación Atmosférica y de Residuales.	15
I.2.1. Ciclo de la contaminación atmosférica.....	16
I.2.2. Integración en un contexto global de los estudios de contaminación atmosférica.	17
I.2.3. La Contaminación atmosférica y los Contaminantes atmosféricos.....	21
I.2.4. La atmósfera como sistema receptor de las emisiones de contaminantes.....	24
I.2.5. La chimenea, elemento emisor en fuentes puntuales.	26
I.3. Documentos Normativos.	27
I.3.1. Parámetros de control.	29
I.4. Modelos de estimación.....	30
I.5. Monitoreo Ambiental. Generalidades.....	33
I.5.1. Evaluación.....	35
I.5.2. Parámetros de Control.....	36
Conclusiones Parciales del capítulo.....	37
Capítulo II: Diseño del Programa de Monitoreo.....	38
II.1. Caracterización de la Cementos Cienfuegos S.A.....	38
II.1.1. Ubicación, extensión y límites.	39
II.1.2. Filosofía Empresarial.	40
II.2. Descripción del Proceso Productivo.	45
II.2.1. Composición química de las Materias Primas.	46
Focos contaminantes potenciales y latentes de la Fábrica.	47
II.3. Programa de Monitoreo.....	49
II.3.1. Bases de diseño.	51
II.4. Determinación de la ubicación de los nuevos puntos de muestreo.	57
II.4.1. Monitoreo de polvo.	57
II.4.2. Monitoreo de gases.	62
II.4.3. Monitoreo de residuales.	63
Conclusiones Parciales.....	65

Capítulo III: Aplicación del Programa de Monitoreo Ambiental. Resultados.	66
III.1 Consideraciones Generales.	66
III.2. Aplicación del programa a los resultados de las mediciones ambientales del 2009-2010.	72
III.2.1 Monitoreo de las operaciones portuarias asociadas a la descarga y la carga de petcoke y clínker respectivamente.	72
III.2.2 Red de Monitoreo de las emisiones en el territorio.	76
III.2.3 Residuales.	80
III.3 Resultados parciales del nuevo programa de monitoreo. Análisis de las mediciones.	80
III.4 Evaluación de las emisiones gaseosas.	82
Conclusiones parciales.	85

Conclusiones Generales.

Recomendaciones.

Anexos

Introducción.



Todo lo que el ser humano añade a la naturaleza, está de más, incluido el mismo.



Introducción:

El medio ambiente atmosférico en los emplazamientos de las industrias del cemento está sometido a una fuerte carga contaminante producida por la emisión y/o remoción de partículas debido a las diferentes operaciones de estos tipos de instalaciones. Esto puede ocasionar un serio impacto ambiental, especialmente cuando se trata de partículas de un diámetro inferior a 10 μm , lo que permite que ellas puedan ser inhaladas y provocar importantes daños a la salud al introducirse en las vías respiratorias. La magnitud de estos efectos en la salud dependerá de la composición química del material particulado de que se trate. La sola generación de polvo puede provocar importantes impactos ambientales al facilitar la erosión y dificultar el crecimiento de la vegetación.

Cementos Cienfuegos S.A. ha dedicado cuantiosos recursos al mejoramiento de los sistemas de limpieza y tratamiento de residuales con el objetivo de minimizar dichos impactos ambientales derivados de sus operaciones, que ha alcanzado la cifra cercana a los 50 MMUSD, estas mejoras tecnológicas fueron dirigidas fundamentalmente a la instalación de sistemas electrostáticos de filtrado de aire, filtros de mangas, ciclones separadores, aumento de la hermeticidad de los sistemas de transporte neumático de material y al cambio de combustible por uno de menor contenido de azufre y metales pesados.

Todas estas acciones están dirigidas a dar cumplimiento a los requisitos de las licencias ambientales otorgadas para la operación, así como las normas de calidad del aire y las aguas residuales. La verificación del cumplimiento de estas regulaciones se realiza mediante el monitoreo constante de la carga contaminante en los puntos de muestreo distribuidos en la provincia de Cienfuegos.

El Programa de Monitoreo Ambiental (PMA) busca asesorar permanentemente a Cementos Cienfuegos SA, sobre las cuestiones que afectan al entorno de sus instalaciones y a la región del emplazamiento, permitiendo una evaluación periódica, integrada y permanente de la dinámica de las variables ambientales, tanto a nivel de medio ambiente natural como medio socioeconómico y cultural, con el fin de suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones orientadas al control de las emisiones y descargas al medio ambiente.



Hasta la fecha se ha estado ejecutando un programa de monitoreo por el CEAC (Centro de Estudios Ambientales del Centro) desde el año 2004, cuyo resultados no son representativos para una evaluación de los posibles impactos ambientales derivados de las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. ya que en su diseño no fueron considerados los siguientes elementos.

- No fue realizada previamente la caracterización de las materias primas, productos intermedios, combustibles y productos finales desde el punto de vista de posibles trazadores de contaminación como los metales pesados.
- No se realizaron estudios teóricos preliminares de dispersión atmosféricos de contaminantes considerando los términos fuentes de las emisiones.
- Independientemente de los criterios iniciales para la ubicación de los puntos de muestreo, las estadísticas de los resultados de las mediciones realizadas hasta la fecha evidencian que no fueron consideradas variables tan vitales como la ubicación de las fuentes con mayor potencial de contaminación, en condiciones de dispersión mucho más favorables para impactar en dichos puntos.
- El programa que se venía ejecutando no consideraba el control de los efluentes de los sistemas de residuales.
- Las mediciones de los puntos ubicados en el puerto incluía mediciones no relacionadas con nuestras variables de impactos y que no tenían ningún valor de estimación.
- Con los resultados obtenidos no se podía valorar el aporte de las emisiones a la contaminación territorial, aunque podían utilizarse las concentraciones de trazadores naturales característicos en las emisiones emitidas para determinar la posible influencia en el aporte global.
- En los informes de los resultados del monitoreo se implicaba explícitamente a CCSA de impactos ambientales que no tenían relación con las emisiones como en el caso de los metales pesados y la contaminación de la Bahía de Cienfuegos.

Dentro de esta problemática se enmarca este trabajo que tiene como ***Problema de Investigación: ¿Cómo verificar el cumplimiento de los requisitos de las normas de calidad del aire y los residuales líquidos y la efectividad de las acciones de mitigación de los impactos ambientales ejecutadas?***

**Objetivo general.**

Aplicar un Programa de Monitoreo Ambiental que tenga en cuenta las variables meteorológicas y del término fuente, y utilice los trazadores presentes en las materias primas para discriminar la influencia no asociadas a las operaciones de las instalaciones de Cementos Cienfuegos S.A.

Objetivos específicos.

- Establecer los indicadores de calidad del aire y residuales para valorar los posibles impactos ambientales de las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A.
- Realizar la caracterización de los términos fuentes de Cementos Cienfuegos S.A., con potencial de impacto a nivel territorial.
- Realizar las corridas de los programas de dispersión para determinar las zonas potenciales de deposición.
- Diseñar el Programa de Monitoreo Ambiental.
- Ejecutar el Programa de Monitoreo Ambiental.

Hipótesis.

La aplicación del Programa de Monitoreo Ambiental propuesto facilita una mejor estimación del grado de cumplimiento de los índices de calidad del aire y de descarga de residuales producto de las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A..

Variable independiente.

- Programa de Monitoreo Ambiental.

VARIABLES DEPENDIENTES.

- ICA. *Índice de calidad del aire.*
- ICR. *Índice de calidad del residual.*



Conceptualización de variables.

- ICA. *Índice de calidad del aire*: Es la relación entre el valor de la concentración del material i y su valor de concentración máxima admisible.
- ICR. *Índice de calidad del residual*. Es la relación que existe entre el parámetro i medido en el residual y su valor de admisible.

Operalización de variables.

- ICA. *Índice de calidad del aire*:
$$ICA = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{CMA_i}$$

Donde:

C_i = concentración medida del contaminante i [mg] en 1 kg de polvo colectado. [mg/kg]

$$C_i = \frac{P_i}{m_T}$$

P_i = Contenido en peso medido (espectrometría) del contaminante i en la muestra [mg]

m_T = Peso total de la muestra colectada [kg]

CMA_i = Concentración máxima admisible (normado) del contaminante i [mg/kg]

- ICR. *Índice de calidad del residual*:
$$ICR = \sum_{i=1}^n \frac{PR_i}{VMA_i}$$

Donde:

PR_i = parámetro i medida en el residual.

i = (DBO, DQO, pH, conductividad, nitrito, nitratos, sólidos totales, sólidos en suspensión).

VMA_i = valor máximo admisible del parámetro i en el residual

Valor práctico de la investigación.

El programa constituye una herramienta para valorar los posibles impactos ambientales en régimen normal de operación de Cementos Cienfuegos S.A. sobre la base del cumplimiento de las normas de calidad del aire y descarga de residuales a aguas



superficiales, por otra parte podrán ser verificadas la eficacia de las medidas de mitigación que se ejecuten ante eventos de averías en las instalaciones.

Este programa constituye un requisito obligatorio de la Licencia Ambiental para la operación, emitida por el órgano regulador estatal (CITMA).

La nueva concepción del programa elimina las deficiencias técnicas de los programas anteriores, haciendo más objetiva la valoración de los impactos ambientales, ya que permite discriminar los efectos asociados a otros focos contaminantes presentes en el territorio del emplazamiento utilizando para ello la caracterización de las materias primas, productos intermedio y combustibles en base a metales pesados.

Viabilidad.

Las mediciones de las variables independientes son contratadas al Laboratorio Ambiental de Cienfuegos (CEAC), perteneciente al CITMA, que cuenta con el equipamiento y el personal calificado para realizar la toma de muestra y los análisis químicos y espectrométrico, los resultados son entregados a Cementos Cienfuegos S.A (según el contrato firmado) con la frecuencia que establece el programa.

Fiabilidad.

El Laboratorio del CEAC, cuenta con un sistema de calidad certificado por la NC ISO 17025 (requisitos de calidad de ensayos de laboratorio) que garantiza la calidad de los resultados.

Tipo de investigación.

Descriptiva porque a partir del análisis del comportamiento de las emisiones de contaminantes utilizando modelos estadísticos se estiman las zonas más representativas para medir los parámetros de contaminación y poder determinar los ICA y ICR, que permitan verificar el grado de cumplimiento de la normativa y la eficacia de las medidas de mitigación, para contribuir a la preservación del medio ambiente



Estructura del trabajo.

- Capítulo I: Revisión bibliográfica (actualidad).

Se realizará una revisión documental sobre los programas de monitoreo que se realizan en instalaciones similares, así como los programas y los modelos de pronósticos que se utilizan para evaluar la dispersión de contaminantes de la atmósfera.

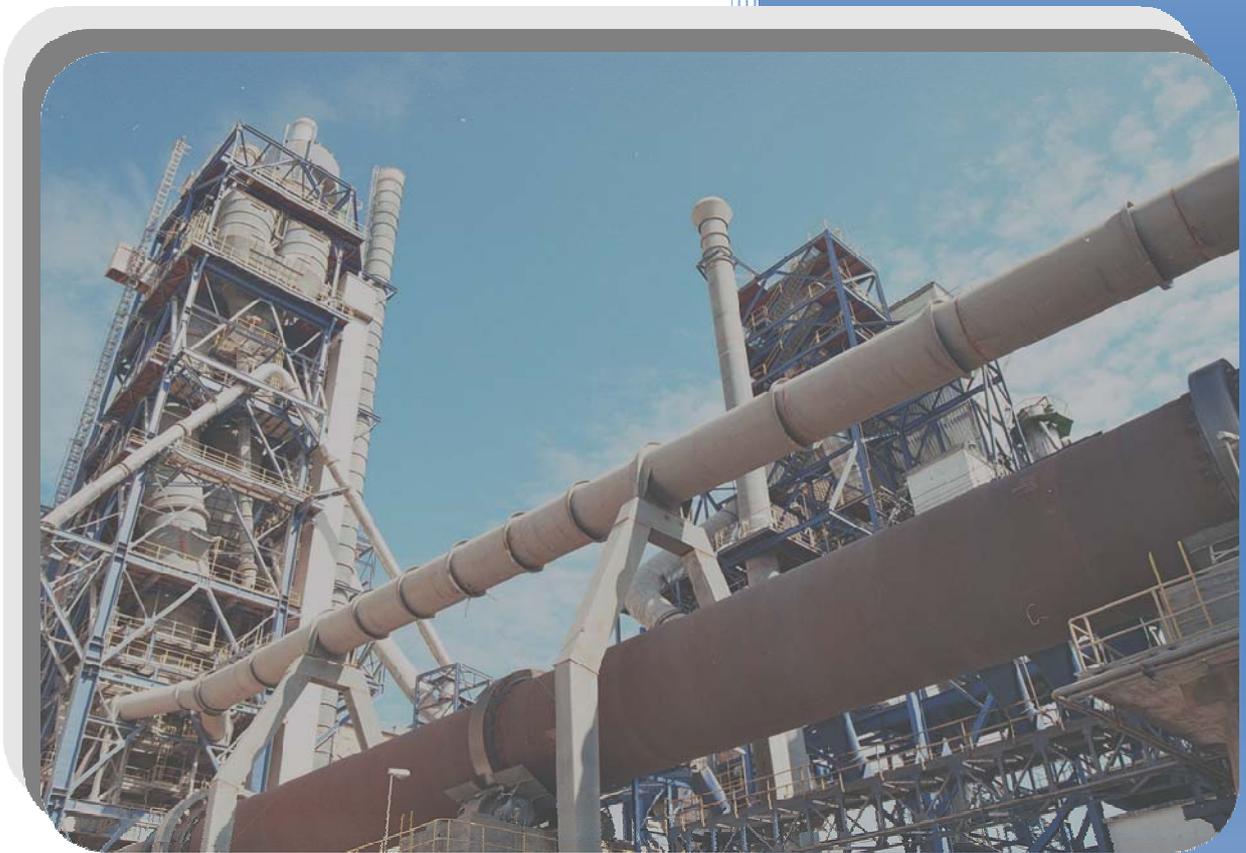
- Capítulo II: Diseño del Programa.

Se determinará los términos fuentes y se realizarán evaluaciones ambientales utilizando software validados así como se determinarán los posibles trazadores a utilizar en la evaluación de la contaminación y finalmente se propondrá el programa.

- Capítulo III: Aplicación y resultados.

Se ejecutará el programa y se analizarán los resultados.

Capítulo I.



Es increíble que la naturaleza pida a gritos ayuda, pero más increíble es que nadie la escuche.



Capítulo I: Revisión Teórica-Referencial (Actualidad).

I.1. Introducción

En este capítulo se realiza una exhaustiva revisión documental sobre el contenido relacionado con la Contaminación Atmosférica, los Programas de Monitoreo y los modelos de pronósticos que se utilizan para evaluar la dispersión de contaminantes de la atmósfera. Para una mejor comprensión se ilustra a continuación el hilo conductor del capítulo.

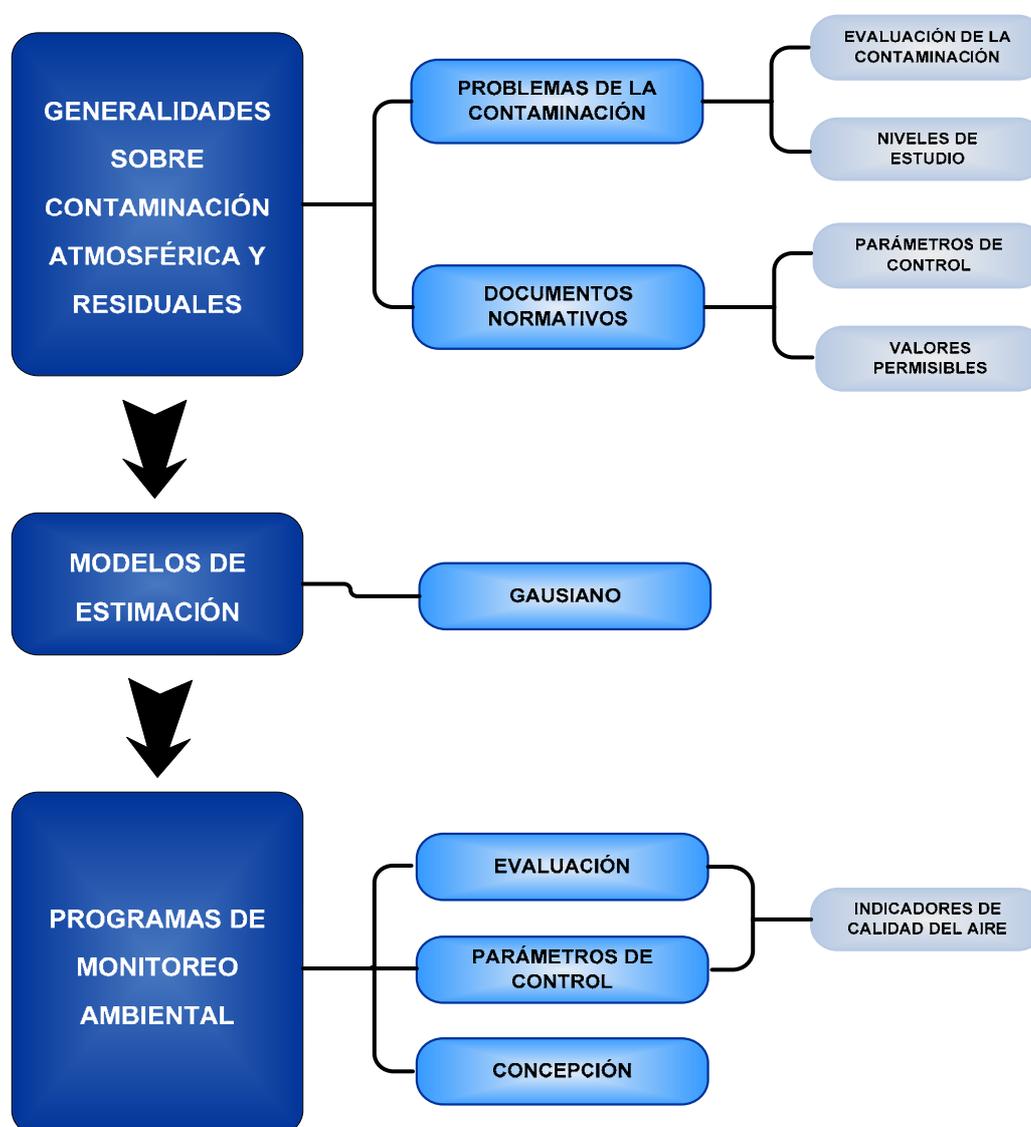


Figura I.1: Hilo conductor del capítulo I

Fuente: Elaboración propia



I.2. Generalidades sobre la Contaminación Atmosférica y de Residuales.

La contaminación ambiental constituye uno de los problemas críticos en el mundo actual. A medida que va aumentando el poder del hombre sobre la naturaleza y aparecen nuevas necesidades como consecuencia de la vida en sociedad, el medio ambiente que lo rodea se deteriora cada vez más.

La contaminación ambiental surge cuando se produce un desequilibrio, como resultado de la suma de cualquier sustancia al medio ambiente. Entre algunos de los agentes que provocan la contaminación ambiental se pueden encontrar la acumulación de desechos sólidos domésticos y desechos sólidos industriales, la utilización en exceso de fertilizantes y diferentes productos químicos, la tala y la quema indiscriminada de bosques, los procesos deficientes en el manejo, procesamiento o excesiva generación de basura, el lanzamiento a la atmósfera de monóxido de carbono por parte de los vehículos, el desagüe de aguas negras o contaminadas en los mares o ríos. Esta situación es causante de distintos efectos negativos y perjudiciales para la sustentabilidad de la vida en general, pues la contaminación deteriora y altera cada vez más el planeta, atenta contra la vida de plantas, animales y genera daños físicos en los individuos, al convertir el agua en un elemento no consumible y alterar las propiedades del aire y de los suelos.

Algunas definiciones según (Vicent, 2009)

Contaminación atmosférica: Presencia en la atmósfera de sustancias en proporción suficiente para provocar un perjuicio notable para la vida o las pertenencias del hombre.

Contaminación del aire: Es la presencia de sustancias que normalmente no componen la atmósfera de nuestro planeta.

Contaminación del agua: Acción y efecto de introducir materias, o forma de energía, o introducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración prejudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o su función ecológica.

Meteorología: Es la ciencia que estudia la dinámica de la atmósfera, en particular todos los fenómenos cuya situación en un instante determinado dan origen a lo que se conoce con el nombre de “tiempo atmosférico”.

Emisión: Totalidad de sustancias que pasan a la atmósfera desde las fuentes que las producen. Las sustancias emitidas pueden ser:



- Gases de escape de automóviles.
- Humos de las chimeneas.
- Polvos, partículas, gases y vapores de diversos procesos industriales.
- Cenizas de erupciones volcánicas.

Límites legislados:

- Concentración máxima de emisión: Representa la mayor cantidad de sustancia contaminante que una fuente está autorizada a emitir.
- Concentración máxima admisible: Concentración máxima permitida de un contaminante en el ambiente de trabajo.
- Deposición máxima admisible: Deposición máxima permitida de un contaminante en la superficie de trabajo.

I.2.1. Ciclo de la contaminación atmosférica.

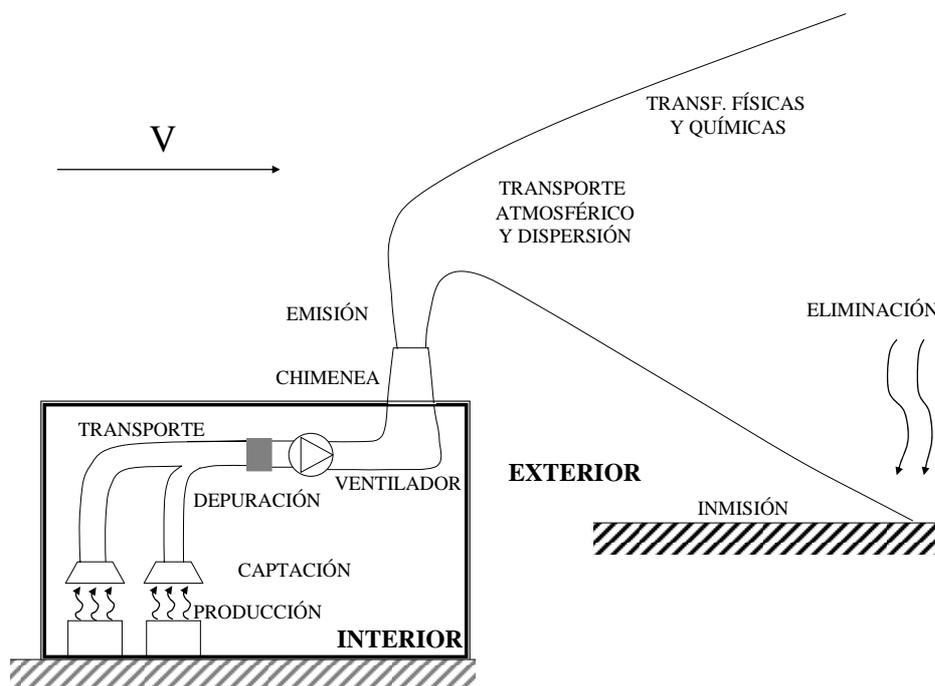


Figura I.2: Ciclo completo de la contaminación atmosférica.
Fuente: Curso Vicent, 2009.



I.2.1.1. Fases de la contaminación atmosférica de origen industrial:

- Producción de contaminantes. Incluye todo tipo de fuentes de contaminación.
- Captación de contaminantes. Los contaminantes son aspirados en el punto de producción para evitar que se difundan al ambiente de trabajo.
- Transporte por conducciones y depuración. Los gases contaminantes son transportados mediante el sistema de ventilación y en parte retenidos por el sistema de depuración.
- Emisión de contaminantes a la atmósfera. Los gases depurados se emiten a la atmósfera por medio de chimeneas o tubos de escape.
- Transporte y dispersión en la atmósfera. Los contaminantes emitidos son transportados por el viento y dispersados por acción de la turbulencia atmosférica.
- Recepción de contaminantes al nivel del suelo. Los contaminantes dispersados alcanzan el suelo, afectando a los ciclos biológicos terrestres. Se producen concentraciones de inmisión.
- Eliminación de contaminantes atmosféricos. El destino final de los contaminantes es su eliminación de la atmósfera por métodos naturales.

I.2.2. Integración en un contexto global de los estudios de contaminación atmosférica.

I.2.2.1. Niveles de los estudios de contaminación atmosférica:

- Estudios a nivel puntual. Distancias del orden de Km. Se evalúa, por ejemplo, el impacto ambiental de un foco emisor.
- Estudios a nivel local. Distancias del orden de la decena de Km. Se evalúa la contaminación en zona urbana o industrial.
- Estudios a nivel regional. Distancias del orden del centenar de Km. Se llevan a cabo trabajos de planificación del territorio.
- Estudios a nivel nacional o internacional. Distancias del orden del millar de Km. Contaminación transfronteriza o a larga distancia.



I.2.2.2. Inventario de focos de emisión.

Un inventario de focos de emisión es cuando se pretende conocer tanto la localización y magnitud de los focos emisores como los tipos de contaminantes emitidos y la intensidad y frecuencia de sus emisiones.

Las emisiones de contaminantes, junto con los índices de reacción química en la atmósfera, las condiciones meteorológicas predominantes y las características topográficas del terreno determinan el grado de contaminación de la zona en estudio.

En general, los contaminantes estudiados en un inventario simplificado son óxidos de azufre, partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos.

En un inventario completo se considerarán, además, los compuestos del azufre, los derivados de los hidrocarburos, el monóxido de carbono y otros compuestos de interés.

I.2.2.3. Clasificación de las fuentes de emisión.

- Fuentes estacionarias de combustión:

Incluyen los procesos donde se quema combustible para calefacción, producción de bienes y generación de energía.

Se obtendrán datos de combustibles utilizados y su composición. Las fuentes de datos son facturación de empresas distribuidoras, relación de consumidores, visitas de inspección, etc.

A partir del consumo, de las tasas de emisión y de la efectividad de los sistemas de depuración se calcularán las emisiones globales de contaminantes en la zona estudiada.

Los grandes consumidores se pueden tratar como fuentes puntuales, y los pequeños consumidores se agrupan formando fuentes superficiales con tasa de emisión uniforme por unidad de superficie.

- Fuentes de combustión móviles:

Corresponden a vehículos automóviles terrestres. Las emisiones se determinarán a partir del consumo de combustible de automoción.

Se utilizarán datos proporcionados por las empresas distribuidoras de combustible, junto con los datos de aforo de vehículos y los porcentajes de vehículos ligeros y pesados que funcionan con cada tipo de combustible.



Las fuentes móviles se tratan como fuentes lineales, con tasa de emisión uniforme por unidad de longitud.

- Incineración de basuras o combustión de desechos:

Incluyen los incineradores municipales, comerciales, industriales.

Los cálculos de emisión de contaminantes en este caso se basan en la cantidad de desechos quemados y en el ritmo temporal con que se producen estas combustiones.

- Fuentes consistentes en procesos industriales:

Sus emisiones incluyen las debidas al empleo de combustibles y a las generadas por procesos específicos.

Las emisiones se pueden evaluar a partir de los datos relativos al tipo de proceso, volumen de producción, materias primas utilizadas, equipo de depuración disponible, etc.

Los índices medios de emisiones diarias se asignarán a las zonas respectivas de ubicación.

I.2.2.4. Evaluación de la concentración de contaminantes a nivel del suelo.

El propósito fundamental de los cálculos de dispersión atmosférica es evaluar las concentraciones de uno o más contaminantes, en el espacio y en el tiempo, relacionadas con una serie de variables independientes tales como emisiones a la atmósfera, condiciones meteorológicas, características del terreno y parámetros que describen los procesos de transformación y eliminación.

Los modelos de cálculo se pueden agrupar de la siguiente manera:

1. Formulación analítica explícita (modelos Gaussianos).
2. Modelos numéricos, basados en la formulación de ecuaciones diferenciales.
3. Modelos estadísticos.

En los modelos analíticos y numéricos, las concentraciones se calculan a partir del inventario de emisiones, de las condiciones meteorológicas, de las características del terreno, y en algunos casos considerando también la eliminación de contaminantes por deposición o reacciones químicas. Estos cálculos se llevan a cabo resolviendo la ecuación del transporte bajo diferentes hipótesis simplificadoras. Se utilizan para calcular concentraciones promedio para intervalos de tiempo cortos o largos.



Los modelos estadísticos permiten conocer la concentración de contaminantes a partir de los parámetros meteorológicos, y después de haber obtenido unas relaciones empíricas por medio de las series históricas de mediciones de contaminación.

En estos casos no es necesario disponer de un inventario de focos de emisión. Se utilizan para hacer predicciones a corto intervalo de tiempo.

I.2.2.5. Sistemas de vigilancia de la calidad del aire.

Los sistemas de vigilancia de la calidad del aire están constituidos por redes de control dotadas de estaciones automáticas fijas o móviles. Con estos sistemas automáticos se puede disponer al momento de mediciones de contaminación para tiempos de promedio cortos, generalmente del orden de minutos.

Clasificación de las redes de vigilancia.

- Urbana.
- De tráfico.
- Industrial.
- Regional.
- De referencia.

I.2.2.6. Fines y objetivos de las redes de vigilancia.

1. Determinación de la distribución geográfica de la contaminación.
2. Determinación de las tendencias de la contaminación atmosférica.
3. Seguimiento de la contaminación producida por un determinado foco en particular.
4. Determinación del efecto de la contaminación sobre la salud.
5. Cumplimiento de las normas de calidad del aire.
6. Sistemas de alarma para la contaminación atmosférica.
7. Validación de los resultados obtenidos en modelos matemáticos.

I.2.2.7. Principales alteraciones atmosféricas producidas por los contaminantes de origen antropogénico.

La creciente emisión de contaminantes de origen antropogénico a la atmósfera ha propiciado una serie de alteraciones atmosféricas cuyas consecuencias a medio o largo plazo son difíciles de prever, estas alteraciones se pueden resumir en:



- Efecto invernadero.
- Smog fotoquímico.
- Lluvia ácida.
- Rotura de la capa de ozono.

I.2.3. La Contaminación atmosférica y los Contaminantes atmosféricos.

La contaminación atmosférica se genera por la emisión de sustancias contaminantes, las cuales provienen directamente del foco que las produce o después de haber pasado por un sistema de depuración cuya efectividad nunca es total. La capacidad de dispersión de la atmósfera respecto de los contaminantes vertidos en la misma depende de las condiciones meteorológicas, en especial de la velocidad del viento y de la turbulencia atmosférica.

La velocidad del viento condiciona la rapidez con la cual el contaminante se separa de la fuente que lo ha originado, mientras que la turbulencia atmosférica posibilita los efectos de mezcla y dispersión del contaminante. En general, se requiere el conocimiento de la dirección y velocidad del viento, así como la turbulencia atmosférica.

Los parámetros dirección y velocidad del viento se pueden conocer directamente por mediciones anemométricas a una cierta altura o por los registros rutinarios en observatorios meteorológicos, pero la turbulencia atmosférica no es susceptible de medición directa.

La turbulencia se relaciona con otro parámetro más fácil de determinar cómo es la estratificación atmosférica, la cual puede ser estable, inestable o neutra.

La estratificación atmosférica se divide en categorías de estabilidad, correspondiendo a cada una de estas categorías un grado de desarrollo de la turbulencia. Son las categorías de estabilidad, junto con la velocidad del viento, las que se tienen en cuenta en los cálculos de concentración de contaminantes a nivel del suelo.

Los contaminantes atmosféricos son aquellas sustancias presentes en la atmósfera que pueden dar lugar a riesgo o daño para las personas o bienes en determinadas circunstancias. Se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Frecuencia y magnitud con que se vierten estas sustancias a la atmósfera.



- Efectos sobre la salud del ser humano y sus bienes.
- Duración y permanencia de estas sustancias en la atmósfera.

I.2.3.1. Clasificación de los contaminantes según (“Norma Cubana NC 111/2004 Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.” 2004)

Las sustancias o agentes contaminantes principales son los siguientes:

Dióxido de azufre (SO₂), Dióxido de nitrógeno (NO₂), Partículas en suspensión totales (PST), Partículas en suspensión de $\leq 10 \mu\text{m}$ de diámetro aerodinámico (PM₁₀), también denominadas partículas torácicas o fracción respirable, Monóxido de Carbono (CO) y Ozono (O₃).

Las sustancias o agentes contaminantes específicos son los siguientes:

Humo (hollín), Oxidantes totales (Ox), Sulfuro de hidrógeno (H₂S), Amoniacó (NH₃), Compuestos Orgánicos Volátiles (COV), Plomo (Pb), Formaldehído y otros aldehídos, Nitratos de peroxiacetilo, 3, 4 benzo α pireno, Plaguicidas y otras sustancias químicas.

I.2.3.2. Fuentes de contaminación atmosférica.

Fuentes naturales:

- Erupciones volcánicas (SO₂, CO₂, polvos, cenizas).
- Incendios forestales (CO, CO₂, humos).
- Descomposición de materia orgánica (CO₂, CO, CH₄, NO₄).
- Vientos fuertes (nubes de polvo).
- Zonas geológicamente activas: Emisión de gases. (Ver tabla I.1)

Tabla I.1: Porcentaje de gases contaminantes.

Contaminantes	% antropogénico	% natural
Aerosoles	11.3	88.7
SO_x	42.9	57.0
CO	9.4	90.6
NO_x	11.3	88.7
Hidrocarburos	15.5	84.5

Fuente: Curso Vicent, 2009.



Fuentes antropogénicas:

Fuentes de producción de energía:

- Los focos más importantes son centrales eléctricas de fuel oil o carbón, por:
 - Enorme masa de combustible quemado por unidad de tiempo.
 - Mala calidad del combustible quemado: carbones con alto contenido de azufre, fondos de destilación de refinerías, etcétera.
- Se emiten SO₂, NO_x, CO₂, cenizas que arrastran metales pesados, entre otros.
- La emisión se realiza por chimeneas muy altas.
- Contaminación atmosférica por centrales que utilizan gases naturales o nucleares, es despreciable.
- En grandes calderas industriales para producción de energía, el uso de fuel oil, 1 BIA disminuye considerablemente la contaminación por azufre.

Contaminación producida por actividades industriales:

- Se caracteriza por gran variedad y abundancia en las emisiones.
- Entre los procesos producidos podemos señalar:
 - Procesos de combustión: calderas, hornos.
 - Formación de polvos: aserrado, molienda, trituración.
 - Manipulación de productos pulverulentos.
 - Procesos químicos: destilación, absorción, oxidación.
 - Secado de productos pulverulentos.
- Entre los sectores que producen mayores emisiones podemos señalar:
 - Siderurgia integral: partículas, SO_x, CO, NO_x, fluoruros, humos rojos de óxido de hierro.
 - Refinerías de petróleo: SO_x, HC, CO, NO_x, amoníaco, humos, partículas, olores desagradables.
- Industria química: SO₂, nieblas, de SO₄H₂ y NO₃H, NO_x, compuestos de F, orgánicos.



- Industrial básica del aluminio y derivados del flúor: emisión de contaminantes del flúor.

Otras instalaciones fijas de combustión:

- Destacan las plantas incineradoras de basuras o residuos urbanos.
- En el incendio directo de los motores se desprende CO, partículas, SO₂, NO_x, gases que contienen Cl por combustión de materiales plásticos.

Contaminación por los medios de transporte:

- Excepto los de tracción eléctrica todos los medios de transporte utilizan combustibles fósiles.
- En transporte aéreo, ferrocarril y marítimo el problema se minimiza por ser fuentes aisladas móviles en espacios abiertos, excepto en estaciones, terminales muy congestionadas.
- En transporte terrestre con vehículos, automóviles el problema es importante, especialmente en núcleos urbanos.
- En motores diesel se emiten humos negros, hidrocarburos, NO_x, SO₂, CO.
- En motores de gasolina se emiten SO, HC, NO_x, SO₂, Pb y humos.
- En motores a gasolina se solucionan las emisiones de contaminantes utilizando gasolina sin plomo e instalando un catalizador en el tubo de escape. El catalizador transforma los residuos nocivos en inocuos, pero se puede envenenar con pequeñas cantidades de plomo.

I.2.4. La atmósfera como sistema receptor de las emisiones de contaminantes.

I.2.4.1. Composición del aire.

La atmósfera es la masa de aire que envuelve la tierra, desarrollándose la actividad humana en el fondo de este inmenso océano de aire. La mitad de la masa atmosférica se encuentra confinada en una capa con un espesor alrededor de 6 Km junto al suelo, estando a su vez el 99 % del total en los primeros 30 Km. El aire está compuesto por una mezcla de gases, algunos de los cuales se encuentran en proporciones casi permanentes por debajo de los 90 Km y otros adquieren proporciones variables dependiendo de las fuentes que los han originado y de los mecanismos de transporte. Hasta los 90 Km, las



proporciones casi permanentes son el resultado de los fenómenos de mezcla asociados al movimiento turbulento del aire. Por encima de los 90 Km los efectos de difusión predominan sobre los de la mezcla turbulenta, por lo que las proporciones relativas de los gases más ligeros van aumentando con la altura, especialmente hidrógeno y helio.

Tabla I.3: Componentes permanentes del aire.

Componente	Fórmula	% en volumen
Vapor de agua	H ₂ O	0 - 7
Dióxido de carbono	CO ₂	0'01 - 0'1
Ozono	O ₃	0 - 0'01
Dióxido de azufre	SO ₂	0 - 0'0001
Dióxido de Nitrógeno	NO ₂	0 - 0'000002

Fuente: Curso Vicent, 2009.

I.2.4.2. La estratificación atmosférica.

La estratificación atmosférica es la tendencia de la partícula desplazada verticalmente a volver a su posición inicial o separarse cada vez más de ella.

Esta tendencia vendrá condicionada por el perfil vertical de temperatura o estado de la atmósfera que contiene a esa partícula, pues hay que comparar este perfil vertical de temperaturas con el gradiente adiabático seco.

- En atmósfera estable, la partícula tiende a volver a su posición inicial.
- En atmósfera inestable, la partícula tiende a separarse de su posición inicial.
- En atmósfera neutra, la partícula está en equilibrio en cualquier posición.

I.2.4.3. La estratificación atmosférica y la contaminación.

La turbulencia atmosférica está íntimamente ligada a la estratificación térmica. Por ello se utiliza el gradiente vertical de temperatura (fácil de medir) como un índice del grado de turbulencia atmosférica (difícil de medir). Para días soleados sin nubes con vientos suaves se encuentra junto al suelo una capa inestable (o capa de mezcla). La inestabilidad favorece el desarrollo de un alto grado de turbulencia que garantiza la rápida dispersión vertical del contaminante inyectado a la atmósfera.



Durante las horas nocturnas se desarrolla junto al suelo una capa estable (o capa de inversión) en la que los movimientos verticales tienden a ser eliminados, dificultándose con ello el desarrollo de la turbulencia atmosférica y consiguientemente la dispersión de contaminantes.

A la salida del sol, la capa inestable que se forma junto al suelo activa la turbulencia, dispersando los penachos nocturnos en las primeras horas de una mañana soleada. Durante los períodos de fuerte viento se desarrollan en la atmósfera turbulencias de origen mecánico, apareciendo un gradiente de temperatura casi igual al adiabático seco y encontrándose la baja atmósfera en estratificación neutra. En atmósfera neutra los contaminantes, a la vez que son arrastrados lejos de su punto de origen debido a la velocidad del viento, son dispersados por efecto de la turbulencia mecánica, mezclando el aire contaminado con el limpio de los alrededores del penacho.

I.2.5. La chimenea, elemento emisor en fuentes puntuales.

La chimenea pretende evacuar los contaminantes atmosféricos a una altura determinada, para que cuando este alcance el suelo la concentración producida esté por debajo de los valores máximos legislados. El problema depende de multitud de variables que se pueden agrupar en:

✓ Características del foco emisor:

- Caudal de gases emitidos.
- Temperatura de emisión.
- Composición de las emisiones.

✓ Características de la chimenea:

- Altura geométrica de la chimenea.
- Tiro disponible, que condiciona la velocidad de salida de gases.
- Temperatura de salida.
- Sección de la boca de salida.

✓ Características meteorológicas y topográficas de la zona:

- Velocidad del viento.



- Temperatura del aire exterior.
- Estratificación atmosférica.
- Características del terreno.

Los cálculos consisten básicamente en determinar la sobreelevación del penacho DH emitido por la chimenea de altura H0, con objeto de evaluar la altura efectiva de la emisión sobre terreno plano, $H = H0 + DH$; y posteriormente aplicar un modelo de dispersión que permita evaluar la concentración recibida en un determinado punto a nivel del suelo.

Existen diversos tipos de chimeneas encontrándose la tomada como muestra en la vigente investigación en el tipo de penacho serpenteante con una estratificación inestable (*Ver anexo 1*).

I.3. Documentos Normativos.

Las normas utilizadas para la presente investigación son las NC: 39/1999, 27/1999 y 111/2004, las tres han sido elaboradas y actualizadas por el Comité Técnico de Normalización No.3 Gestión Ambiental, integrado por especialistas de diversas entidades.

La Norma Cubana 39/1999: Calidad Del Aire. Requisitos Higiénico –sanitarios, establece los requisitos higiénicos – sanitarios en cuanto a 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 de contaminantes del aire.

En esta norma se establecen las metodologías de cálculo de la dispersión de las sustancias contaminantes del aire expulsadas por chimeneas, de 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. Al mismo tiempo se establece el volumen de información requerido para la ejecución de los cálculos de dispersión y del control de la contaminación atmosférica por las empresas industriales.

La NC 39/1999 se aplica en las empresas industriales y demás instalaciones productivas y de servicio, generadoras de sustancias contaminantes del aire con el objetivo de proteger la atmósfera de los asentamientos humanos. (*“Norma Cubana NC: 39/1999: Calidad Del Aire. Requisitos Higiénico –sanitarios,” 1999*)



La Norma Cubana 111/2001: Calidad Del Aire. Reglas para la Vigilancia de la Calidad del Aire en Asentamientos Humanos. Tiene como objeto establecer las reglas para el desarrollo de la vigilancia de la calidad del aire en los asentamientos humanos. Esta norma tiene tres tipos de principios de organización de la vigilancia: regional, urbano y local. Donde aplicará en esta investigación el tipo de organización local y regional por tomarse muestras a un alcance de más de 20 Km.

La organización regional comprende la determinación de los grados de contaminación de la atmósfera, característicos de regiones geográficas extensas, así como el estudio global de las condiciones de difusión y traslado de los contaminantes a grandes distancias de las fuentes emisoras. La organización local comprende la determinación de los grados de contaminación de la atmósfera, tanto dentro de las zonas de protección sanitaria definidas para las mismas (de acuerdo con los criterios de la NC 39: 1999 Calidad del aire. Requisitos higiénico - sanitarios), como fuera de las anteriores, en zonas de asentamientos humanos actuales o prospectivos y principalmente en aquellas que debido a su cercanía a las fuentes emisoras, las características topográficas y climáticas locales, se encuentren bajo la acción contaminante potencial de determinadas fuentes emisoras, a fin de ejercer el necesario control o autocontrol sobre las mismas para la prevención de la contaminación, así como para la detección, evaluación continua de situaciones ambientales de incremento de los riesgos para la salud, creadas como consecuencia de "accidentes o incidentes tecnológicos" y la implementación de los planes de contingencia previamente concebidos al efecto. (*"Norma Cubana NC 111/2004 Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos."* 2004). Esta norma establece que en la elección de los sitios de muestreo se considere los siguientes aspectos:

- El desarrollo y naturaleza de las fuentes contaminantes (industrias, viales, de servicios y otros).
- La localización de las fuentes emisoras con respecto a las zonas habitables (residenciales, de descanso de la población y otras).
- La ubicación de estos puntos de muestreo dentro o fuera de las zonas de protección sanitaria y la existencia e idoneidad de las mismas.
- La cantidad de habitantes en el asentamiento humano.



- Las características naturales propicias o desfavorables a la dispersión de contaminantes.
- Puntos ubicados en espacios abiertos en todas direcciones, fuera de la acción de la sombra aerodinámica de edificaciones o accidentes topográficos.
- De forma tal que el orificio del dispositivo utilizado para la toma de muestras esté ubicado entre 4 y 5 metros de altura sobre el nivel del terreno.
- La densidad demográfica, la presencia de grupos de población de elevada susceptibilidad y de centros educacionales, de asistencia médica, hospitalarios, sanatorios, o zonas recreacionales dentro de los asentamientos.

Por otra parte, la norma 27/1999: Vertimiento de aguas Residuales a las aguas Terrestres y al alcantarillado. Especificaciones: No es más que un instrumento legal para garantizar la calidad de las aguas terrestres mediante la regulación de las descargas de residuales a éstas, lo que a su vez servirá de base para la elaboración de estrategias de saneamiento. Ella ayudará a la protección de las fuentes de abasto a la población, los cursos naturales de las aguas, las aguas subterráneas y las obras e instalaciones hidráulicas. Esta norma establece las especificaciones de los vertimientos de aguas residuales a las a terrestres y al alcantarillado y se aplica a todas las aguas residuales generadas por las actividades sociales y económicas como son las domésticas, municipales, industriales, agropecuarias y de cualquier otro tipo. (*Norma Cubana NC: 27/1999: Vertimiento de aguas Residuales a las aguas Terrestres y al alcantarillado. Especificaciones,* 1999).

I.3.1. Parámetros de control.

Las sustancias o agentes contaminantes principales de esta investigación según la Norma 111/2004 son los siguientes:

- Dióxido de azufre (SO₂).
- Dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Partículas en suspensión totales (PST).
- Monóxido de Carbono (CO).

Según la NC 27/1999, los Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos se encuentran en la tabla siguiente:



Tabla: I.4: Límites Máximos Permisibles Promedio (LMPP) para los parámetros de los residuales líquidos.

Parámetro	Unidades	LMPP
Temperatura	°C	< 50
PH	Unidades	6-9
Sólidos Sedimentables	mL/L	<10
Grasas y Aceites	mg/L	<50
Conductividad	μS/cm	<4000
DBO5	mg/L	<300
DQO (Dicromato)	mg/L	<700
Fenoles	mg/L	<5
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	mg/L	<25
Cromo hexavalente	mg/L	<10.0
Cromo total	mg/L	<0,5
Mercurio	mg/L	<0,3
Plomo	mg/L	<0,5
Zinc	mg/L	<5,0
Sulfuros	mg/L	0,5

Fuente: NC: 27/1999: Vertimiento de aguas Residuales a las aguas Terrestres y al alcantarillado. Especificaciones

I.4. Modelos de estimación.

Los modelos de dispersión de contaminantes son instrumentos que permiten reproducir el comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, de manera que partiendo de datos sobre las emisiones y la meteorología, se obtengan los valores de inmisión (Bustos, 2004).

Se plantea que: El modelado de los fenómenos de dispersión implica la resolución de los balances de masa, momento y energía, generando sistemas de ecuaciones cuya complejidad está asociada a la duración y tipo de la emisión (continua o discontinua; gaseosa o en dos fases), tipo de sustancia (densidad mayor o menor que el aire), condiciones atmosféricas, etc. Estos modelos permiten la predicción, en un punto cualquiera de coordenadas (x,y) a cierta distancia de la fuente, de las concentraciones **C** de la sustancia emitida. (Bustos, 2004).

Cualquier simulación matemática de un fenómeno tan complejo como es la difusión atmosférica no es nunca exacta, pero los resultados de un modelo son el instrumento más válido en la decisión de la planificación y en la adopción de medidas correctoras ya que con ellos se identifica y se disciernen aquellas zonas con mayor y menor incidencia de la contaminación atmosférica procedente de una instalación o instalaciones determinadas.



Por tanto, los modelos resultan indispensables para estimar los valores de inmisión cuando por alguna razón no son medidos directamente. Un análisis idóneo sólo es posible, cuando se ha conseguido de una manera suficientemente representativa, la modelación de las características básicas de los medios: emisor, difusor y receptor, en su interrelación temporal y espacial. Si se considera la previsión y cuantificación del impacto ambiental atmosférico a través del análisis de los resultados obtenidos con los modelos de dispersión de contaminantes, estos se presentan como primordial e insustituibles frente a otros sistemas, desde el momento en que los resultados se pueden obtener con antelación a la implantación de la industria contaminante.

La aplicación de un modelo de dispersión tiene como objeto la integración entre aquellos elementos que inciden en la calidad del aire, como son los contaminantes atmosféricos, localización de los focos e intensidad de los mismos, situación de los receptores, influencia de la topografía, orografía, entre otros, con el fin de adoptar las medidas correctoras económica y técnicamente más viables.

Se han elaborado diferentes Metodologías para los Estudios de Difusión Atmosférica, para esto existe un esquema que resume los procesos involucrados y el orden de ejecución de los mismos. Existen tres tipos de Modelos de dispersión:

- Modelo matemático de Pasquill - Gifford (NTP 329).
- Modelos urbanos y regionales.
- Modelos Gaussianos.

Estos tres modelos son útiles para calcular las concentraciones medias de contaminantes atmosféricos a corto plazo (del orden de horas) en localizaciones específicas (*Martínez Luzardo, 2007*).

I.4.1. Gaussiano.

Los modelos “gaussianos” son de uso común en problemas de dispersión de contaminantes no reactivos y de fuentes puntuales tales como chimeneas industriales. Básicamente suponen que el penacho de un efluente presenta una distribución de las concentraciones normal o de Gauss (Gaussiana) en torno al eje de simetría definido por la dirección del viento. Es por esta razón y las que a continuación se exponen por qué se utilizó este modelo en la presente investigación.



Cabe hacer notar que estos modelos son aptos para estimar efectos locales y que su grado de precisión y acierto es, en general, decreciente en tanto se aplican en localidades con relieves complejos y caracterizados por circulaciones atmosféricas complejas.

Los resultados de modelos de dispersión gaussianos son comúnmente la representación en mapas, esto consiste en graficar las concentraciones calculadas a lo largo del área inmediata que rodea a la fuente. Luego que se trazan los resultados, se evalúan los datos calculados. Los mapas necesitan ser evaluados comparándolos con el ambiente local, observaciones disponibles, las normas de calidad del aire e identificar posibles áreas dónde la concentración del contaminante está sobre los niveles deseables. (Bustos, 2004).

I.4.2. Aplicaciones de los Modelos de Dispersión de Contaminantes.

Software para Fuentes Puntuales.

- Berlyand
- PLUME 2
- SCREEN: *(utilizado en la investigación)*

Software Fuentes Industriales Complejas.

- ISCST-3 Diseñado por la EPA.
- DISPER - Aplicación de ISCST-3 en España y Países de América Latina *(utilizado en la investigación)*.

Software para Terrenos Complejos

- ISC-3 Modificado
- COMPLEX I
- CTDMPPLUS

Software para fuentes lineales (contaminación por tráfico vehicular)

- CAL 3 QHCR

Estos son los modelos que se proponen para Cuba, adaptados a sus condiciones específicas, existen otros modelos como el DISPER de gran aplicación en Europa y América Latina que resulta muy costosa su adquisición. (*“Modelos de dispersión para Cuba,” 2008*).



I.5. Monitoreo Ambiental. Generalidades.

La tendencia que existe hoy en día a nivel mundial, es dar una mayor atención a las cuestiones ambientales, sobre todo aquellas relacionadas con el quehacer humano. Sin embargo, dentro del tema de la contaminación del aire y residuales, este interés es incipiente y sólo en algunos países se llevan a cabo, en forma sistematizada, acciones de monitoreo para el control de impactantes ambientales.

En los Estados Unidos de América, la Agencia para la Protección del Ambiente (EPA), ha elaborado Normas tendientes a mejorar la operación de las instalaciones para el manejo de los residuos, así como para realizar la evaluación de impactantes.

En algunos países europeos como Alemania, el monitoreo ha cobrado importancia en cierta medida y se realizan trabajos de investigación para conocer el comportamiento de los impactantes y su posible influencia en las características de diversos elementos del entorno como aire, suelo y acuífero.

En la actualidad, con el fin de que este tipo de instalaciones operen adecuadamente, es necesario crear un Programa de Monitoreo Ambiental que permitan mantener los diferentes impactantes ambientales producto de dicha operación, dentro de los límites máximos permisibles que marca la Normatividad en materia ambiental.

Algunas definiciones.

"Sistema continuo de observación de medidas y evaluaciones para propósitos definidos; el monitoreo es una herramienta importante en el proceso de evaluación de impactos ambientales y en cualquier programa de seguimiento y control". (*"Instituto Nacional de Ecología,"*)

"El monitoreo ambiental no es un fin por sí mismo, sino un paso esencial en los procesos de administración del ambiente". (*"Instituto Nacional de Ecología,"*)

Según estas definiciones, se puede observar la importancia que actualmente tiene el monitoreo en los diversos procesos de la actividad humana; y como acertadamente se menciona, es una herramienta fundamental dentro de todo aquel desarrollo o procedimiento que se desee ser controlado y seguro.

Existen varios criterios para determinar la logística de un Programa de Monitoreo, en especial para las instalaciones relacionadas con el manejo de residuos, deben tomarse en cuenta los siguientes:



- a. Según el tipo de instalación:
 - Estación de transferencia.
 - Planta de tratamiento.
 - Sitio de disposición final en operación o clausurado.
- b. Según la ubicación de la instalación:
 - Tipo de asentamientos colindantes.
 - Aspectos climatológicos.
 - Condiciones geológicas y topográficas.
 - Características de la zona de amortiguamiento.
- c. Según la cantidad y el tipo de residuos manejados:
 - Residuos municipales.
 - Residuos especiales.
 - Residuos industriales.
- d. Según la eficiencia de la operación:
 - Procedimientos operativos.
 - Procedimientos de supervisión.
 - Procedimientos de mantenimiento y limpieza.

Con base en los anteriores criterios y tomando en cuenta la normatividad existente, es posible definir más claramente los siguientes aspectos:

- Selección de los indicadores de impacto (impactantes ambientales).
- Determinación de la frecuencia mínima necesaria de los muestreos, para el análisis de tendencias y correlación de causa - efecto.
- Selección de los puntos de monitoreo, tomando en cuenta la ubicación específica de las actividades que pueden generar impactantes.
- Determinación del tipo de datos a obtener y su forma de almacenamiento y análisis.



Cabe señalar que el aspecto económico en muchas ocasiones limita los programas debido a que, por lo general, los análisis que deben realizarse implican un alto costo, es necesario tomar esto en cuenta, con el fin de llevar a cabo la programación de la mejor manera posible.

Uno de los aspectos que se debe ser más cuidados en los programas de monitoreo, es la obtención de las muestras que serán analizadas, ya sean de residuos sólidos, líquidos o gaseosos, porque de esto dependerá en gran medida, la veracidad de los resultados. Para el caso de impactantes que no requieren de infraestructura construida, es necesario definir puntos y/o puertos de muestreo estratégicamente ubicados dentro y fuera de las instalaciones que garanticen resultados confiables.

La normatividad existente en materia ambiental, y el desarrollo de técnicas y procedimientos que se aplican al monitoreo de parámetros en instalaciones para el aseo urbano, no son aún suficientes para cubrir el amplio espectro de impactantes que se generan por el manejo de los residuos sólidos. Sin embargo, en el programa que se aplicará en esta investigación, se ha tratado de cubrir la mayor cantidad, empleando las técnicas de muestreo y análisis que se consideran más adecuadas y aplicando la normatividad antes mencionada en puntos antecedentes.

I.5.1. Evaluación.

Los programas de monitoreo para control ambiental, en ocasiones son requeridos por las autoridades competentes para la aprobación de actividades que impliquen cambios en el medio, con el fin de salvaguardarlo.

La calidad del ambiente puede medirse periódicamente, mediante este tipo de programas que determinan y en algunos casos pueden ayudar a predecir el nivel de contaminantes.

Para el desarrollo de estos programas se requiere de una búsqueda de datos de referencia que describan el medio ambiente en su forma original, así como elegir la distribución estadística que indique la calidad del mismo. Los métodos más usuales son la distribución Normal (Gaussiano) y la distribución Logarítmica.

Los períodos que deben considerarse para estos programas son:

- Período de construcción de la instalación.
- Período de operación de la instalación (monitoreo rutinario).



Con los resultados obtenidos durante los muestreos, se realiza una evaluación con respecto a las normas establecidas, si estas no son rebasadas se considera que el impactante se encuentra bajo control. En caso de que esto no sea así, se pasa a la fase de chequeo a través de la cual se puede confirmar si se están rebasando los límites que la normatividad indica como máximos permisibles, o simplemente fue una falsa alarma. Cuando ocurre lo primero, el impactante se encuentra fuera de control y es necesaria una fase de investigación que permita tomar la decisión más adecuada para implementar las medidas de control del impactante.

I.5.2. Parámetros de Control.

Para el caso de los residuos sólidos, el monitoreo es una valiosa herramienta que como ya se ha mencionado, permite mantener bajo control a los impactantes ambientales derivados del manejo, tratamiento y disposición final de dichos residuos.

Los impactantes que se evalúan y sus respectivos parámetros, se muestran en la tabla siguiente:

Tabla I.5: Impactantes y parámetros de los residuos sólidos.

Instalación	Unidades	LMPP
Estaciones de transferencia.	<i>Partículas aerotransportables.</i>	
	<i>Ruido.</i>	
	<i>Radioactividad.</i>	<i>Partículas suspendidas totales.</i>
	<i>Gases de combustión.</i>	<i>Partículas de deposición</i>
	<i>Aire atmosférico circundante.</i>	
	<i>Meteorología.</i>	

Fuente: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/105/8.html>

La calibración y verificación de los equipos de medición, debe tomarse como una medida necesaria para poder asegurar resultados verídicos y exactos, para con ello realizar comparaciones con normas y obtener conclusiones prácticas.

El control y la medición a realizar en estaciones de transferencia para los residuos sólidos consideran a los siguientes parámetros:

- a. Aire: Partículas suspendidas totales, Partículas de deposición.
- b. Otros: Ruido, Radioactividad, Condiciones meteorológicas.



Conclusiones Parciales del capítulo.

1. La contaminación atmosférica asociada a las operaciones de la industria constituye un problema de alcance global manifestado no solo en la aparición de negativos en la sustentabilidad de la vida sino de la propia existencia del entorno de la tierra.
2. El cumplimiento de la legislación en materia de contaminación garantiza en gran medida el desarrollo sostenible del país por cuanto establece los niveles admisibles de emisión y descarga de contaminantes para minimizar los posibles impactos en los ecosistemas.
3. El modelo Gaussiano es el más representativo para la estimación del comportamiento de los contaminantes atmosféricos emitidos por fuentes industriales y el de mayor difusión en los modelos de pronósticos.
4. Los Programas de Monitoreo Ambiental determinan el grado o nivel de confiabilidad operacional que presenta un determinado sistema o instalación, en cuanto al número de ocasiones en que puede rebasar las normas o criterios ambientales y en la gravedad o nivel de importancia ambiental que puede generar cuando esto sucede.

Capítulo II.



La Naturaleza es sabia, y el hombre, por mucho que lo intente, no podrá nunca superarla.



Capítulo II: Diseño del Programa de Monitoreo.

En el presente capítulo se realiza una caracterización de la empresa mixta Cementos Cienfuegos S.A, se determinan los términos fuentes y realizar evaluaciones ambientales utilizando software de dispersión (Disper 5.0 y SCREEN 3), al mismo tiempo se hace un análisis de las concentraciones de metales pesados en los materiales de procesos para su posterior empleo como trazadores para la discriminación de la contaminación asociada a otras fuentes antropogénicas presentes en la región y finalmente se dejará propuesto el Programa de Monitoreo Ambiental.

II.1. Caracterización de la Cementos Cienfuegos S.A.

En el mes de Junio de 1975, se confeccionó el expediente de Tarea de Inversión para la Fábrica de Cemento Karl Marx, donde se define la microlocalización para la construcción de las instalaciones, la red de comunicación vial necesaria a construir, las fuentes de abasto de agua y las soluciones necesarias a gestionar para la fábrica. En esta etapa fueron analizados los indicadores tales como los requerimientos de abastecimiento de materias primas y factores socio - económicos para la ejecución y puesta en marcha de la industria

El 8 de marzo de 1980 comienza la explotación del primero de los tres hornos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cementos “Karl Marx”, finalmente fue inaugurada por nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la RDA “Eric Honeker”. Con tecnología de producción de vía seca, la Fábrica está conformada tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 ton/año de clínker (Tres Hornos rotatorios de 500 000 ton/año de clínker).

Después de 21 años de explotación., en el año 2001 se decide la constitución de las Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A. que comienza con un proceso de mantenimiento general a la línea 1, continuando con la rehabilitación y modernización de la línea 3, para restablecer su capacidad productiva y alcanzar su capacidad de diseño. En noviembre del 2004 se realiza la puesta en servicio de la línea 3.



El comportamiento productivo de la Fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción superior al Millón de toneladas de clínker y se implantaron nuevos record históricos de producción para un mes. En el año 2009 se alcanzó la mayor producción registrada desde su reestructuración llegando al millón ciento seis mil toneladas de clínker.

Los Principales Clientes son: la producción de cemento es destinada íntegramente a la Unidad de Base Empresarial Comercializadora de Cemento (UBECOCEM); y el clínker se comercializa con Hansen Holding S.A por convenio entre las partes.

Los Principales Proveedores son: Geominera; Empresa de Asistencia y Servicio Cienfuegos; Empresa de Mantenimiento Cemento Vidrio; Acueducto y Alcantarillado Cienfuegos; Unidad Básica Empresarial Eléctrica Cienfuegos; CUBALUB, REFRACTECNIC, UDECAM, CUBIZA, IZAJE, SEPSA; CEDAI; COMETAL; MIMVEX; TRASMETRO; Ferrocarriles; Cubana de Aviación; Cuba Control; SERVITALLE; MAMBISA; AGR y Centro Nacional para la Certificación Industrial (CNCI).

II.1.1. Ubicación, extensión y límites.

Cementos Cienfuegos S.A. es una empresa mixta perteneciente al Ministerio de la Construcción, destinada a la producción y comercialización de clínker y cemento consignado a clientes nacionales y extranjeros. En la actualidad la empresa cuenta con un sistema de gestión integrado sobre las normas, NC-ISO 14001: 2004, NC- 18001: 2005 y los de NC- ISO 9001: 2008 certificado por la ONN en el 2010.

Se ubica en el Municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos. Se evidencia acciones transformadoras del hombre, fundamentalmente por la agricultura, la extracción de minerales y diferentes tipos de construcciones. Está situada a los 22º 09' 20" de Latitud Norte y los 80º 15' 19" de Longitud Oeste.

Se encuentra entre las empresas que con sus inversiones han mejorado sustancialmente las condiciones medioambientales en el territorio.

Esta importante instalación industrial, la mayor en Cuba y una de las más grandes de Latinoamérica, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.



- Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico.
- Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, encontrándose ésta aproximadamente a 14 Km de la fábrica.

II.1.2. Filosofía Empresarial.

La **misión** de Cementos Cienfuegos S.A.: “Nuestro propósito es ser una empresa productora de clinker y cemento para el desarrollo de las personas, la empresa y la sociedad”.

La **visión** de Cementos Cienfuegos S.A. : “Somos una empresa de referencia fabricante de cemento en Cuba, con gestión de excelencia, rentable, con un equipo de trabajo comprometido en todas las actividades que realiza, protegiendo su personal y el medio ambiente, satisfaciendo las expectativas de sus clientes y sus accionistas”.

Es válido dejar plasmado en la investigación la **visión del 2015** pues desde ya es una meta y se está poniendo en práctica aunque la actual sea la anterior: “Somos líderes en la fabricación de cemento y una de las mejores empresas industriales de Cuba con índices de seguridad industrial, medio ambiente, calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad a nivel internacional; con una gestión de excelencia y un equipo de trabajo comprometido con la satisfacción de nuestro personal, proveedores, clientes, accionistas y el entorno”.

La **política** de Cementos Cienfuegos S.A.: “Producimos y comercializamos clinker y cemento para el servicio de nuestros clientes, priorizando nuestro capital humano, conservando el medio ambiente, mejorando continuamente nuestros procesos y creando valor para las partes interesadas”.

Cementos Cienfuegos S.A. está al servicio de sus **CLIENTES**, comprometidos con la **SOCIEDAD**, el medio ambiente y la salud de los trabajadores, respetando el marco legal y normativo establecido para cada caso. Asumen la **MEJORA CONTINUA** en la calidad de los productos, procesos y condiciones de trabajo.

Las personas constituyen el valor más importante. Por ello, deben estar cualificadas e identificadas con los objetivos de la organización y sus opiniones son consideradas.

Finalmente, para el cumplimiento de la política mantienen certificado un **Sistema de gestión de Calidad, Medio ambiente y Seguridad y salud ocupacional** que cumple



con los requisitos de las normas NC-ISO 9001:2001, NC-ISO 14001: 2004, NC 18001:2005.

El **Objeto Social** de la empresa: “Modernización, rehabilitación, optimización, operación, mantenimiento, ampliación de la capacidad y explotación de la Planta, la explotación, extracción, transporte y proceso industrial de los minerales de calizas, margas, tobas, limonitas y areniscas ubicados en los yacimientos autorizados en las concesiones mineras que se transferirán o que posteriormente se otorguen, así como la producción, exportación almacenamiento, transporte terrestre y marítimo, distribución, comercialización de clínker, cemento, aditivos de cemento y modificantes especiales de cemento”.

Cementos Cienfuegos SA cuenta con un total de 273 trabajadores distribuidos de la siguiente forma según categoría ocupacional en la plantilla contratada por CCSA el 23 de mayo del 2011. (Ver tabla II.1) (Información suministrada de la GRH de CCSA).

Tabla II.1: Composición de la fuerza de trabajo de Cementos Cienfuegos S.A.

Categoría Ocupacional	Total
Obreros	165
Técnicos	53
Servicio	5
Dirigentes	42
Administrativos	8
Total	273

Fuente: Elaboración Propia.

II.1.3. Descripción del entorno medio ambiental y socioeconómico. (Información obtenida del exámen previo realizado por CCSA/2005).

- Geología y geomorfología.

El relieve del territorio del emplazamiento está formado por una extensa llanura de origen fluvial, denudativa erosiva, asociada al río Caunao, con manifestaciones acumulativas y ondulaciones de alturas variables desde 60 hasta 100 m sobre el nivel medio del mar. En esta zona no se aprecian manifestaciones cársicas evidentes.

- Hidrología.



La instalación se localiza en los límites de las cuencas subterráneas CF 6, Cienfuegos y CF 7, Cumanayagua, estas cuencas tienen una profundidad de yacencia de las aguas entre 5 a 10 m, pudiendo oscilar hasta 2 m con el ciclo hidrogeológico. En ambas cuencas existen reservas de aguas subterráneas.

Sobre áreas de la cuenca hidrográfica Caunao, se encuentra la mayor cantidad de instalaciones de producción y apoyo a la producción de la fábrica, constituyendo esta cuenca con mayor probabilidad de impacto ambiental.

- Clima.

Desde el punto de vista climático, el emplazamiento está confinado en una zona tropical poco húmeda de valle, que se caracteriza por ser caliente y lluviosa, más seca en los meses de Noviembre a Abril y húmeda de Mayo a Octubre. La región es afectada por los sistemas de vientos locales: las brisas de valle y una débil influencia de la brisa marina. Los vientos de mayor persistencia son los Alisios con componente ENE, predominante, en el área de interés.

Los factores climatológicos inciden en el comportamiento de la distribución del contaminante, en particular por las emisiones de gases y partículas de polvo que se generan en el proceso. Para la determinación de la ubicación de los puntos de muestreo se tiene en cuenta el factor eólico, incluyendo dentro de sus parámetros la velocidad media anual del viento por rumbos y la frecuencia promedio anual del viento por rumbos.

La calidad del aire en toda la zona y fundamentalmente en las direcciones W-S, está sujeta a posibles impactos ambientales asociadas al aporte de contaminación generada por la propia fábrica por la emisión a la atmósfera de sólidos sedimentables y en suspensión.

- Canteras en explotación.

Las materias primas empleadas para la elaboración del cemento son fundamentalmente de origen calcáreo: piedra caliza, margas y yeso; además de Zeolita y Perdigón. Cerca de la fábrica, se encuentran la mayoría de estos yacimientos.

Yacimiento Cantabria. Se encuentra al Este de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia aproximada de 2.0 km. Está constituido por calizas margosas y margas calcáreas, aporta Oxido de Calcio a la mezcla de cemento y se utiliza en un 70 %. Este yacimiento posee una reserva de 226.61 millones de toneladas y se encuentra en una zona donde el relieve está formado por medianas alturas de hasta 120 m sobre el nivel



medio del mar. El material es trasladado hasta la fábrica por camiones y esteras transportadoras.

Yacimiento Las Pailas. Se encuentra al Noroeste de la fábrica, en el municipio Cienfuegos, a una distancia de aproximadamente 1.0 km. Está constituido por margas calcáreas y margas, aporta a la mezcla de cemento: sílice, aluminio, hierro y calcio y se utiliza en un 25 % aproximadamente. El yacimiento posee una reserva de 55.07 millones de toneladas, se encuentra en una zona llana, donde las cotas son de 90 m sobre el nivel medio del mar. Este material es trasladado hasta el lugar del proceso por camiones.

Yacimiento Carolina. Se encuentra en el municipio Cienfuegos, está constituido por tobas litoplásticas, zeolitizadas, volcánicas, se utiliza como aditivo en la mezcla de cemento y para construcciones de poca resistencia, bloques, repellos y pisos; este material aumenta el volumen de la mezcla. El yacimiento posee una reserva de 141.68 millones de toneladas y el material se traslada por camiones hasta la fábrica.

Las arcillas y perdigones de limonita se encuentran en el municipio Rodas en el Yacimiento Palanquete, aportan a la mezcla óxido de hierro y óxido de aluminio y se utiliza de un 3 a un 5 %. Posee una reserva de 19.82 millones de toneladas. El material es trasladado por camiones hasta el ferrocarril y por ferrocarril hasta la fábrica al igual que el yeso consumido en el proceso que proviene de la provincia de Matanzas, del yacimiento Canasí y de Punta Alegre en Ciego de Ávila. Aporta a la mezcla más menos un 5 % y se utiliza como regulador para el tiempo de fraguado del cemento.

Estos yacimientos poseen Certificación de Derecho de Concesión Minera, para un período de explotación de 25 años, en ningún caso se ha llegado al nivel de explotación mínima, por lo cual todos los yacimientos poseen considerables reservas actualmente.

Los métodos de explotación más utilizados en los yacimientos son: extracción a cielo abierto, con desbroce utilizando bulldozer y perforación con voladuras.

- Caracterización biótica.

La flora del territorio está compuesta por residuos de bosque semicaducifolio sobre caliza degradado, cultivos agrícolas, áreas de pastos y residuos de palmares, siendo además, característico, que aparezcan árboles frutales y maderables en grupos o individuos aislados en casi todo el territorio.

Entre las especies faunísticas autóctonas más importantes están los peces Lisa (Mujil curema), Biajaca (Cychlasoma tetracantha) y Mapo (Dormitator maculatus); los reptiles



Majá de Sta. María (*Epicrates angulifer*) y Jubo Criollo (*Alsophis cantherigerus*); las aves Pedorrera (*Todus multicolor*), Zonzón (*Chlorostilbon ricordii*) y Gavilán de Monte (*Buteo jamaicensis*); y los mamíferos Venado (*Odocoileus virginianus*) y Murciélago Frutero (*Artibeus jamaicensis*).

Caracterización socio-demográfica del entorno de la fábrica. Población expuesta.

El entorno socioeconómico de la fábrica se caracteriza por la presencia de un sistema de asentamientos, desarrollado sobre la base de la presencia de núcleos, tanto urbanos, como rurales, así como la existencia, de pequeños núcleos de población dispersa. La población residente, posee en la zona varias fuentes de empleo, destacándose las actividades, agrícolas, pecuarias, industriales, científico - educativas, turísticas y sociales.

La tenencia de la tierra está muy relacionada con su uso, cultivos varios, frutales, viandas y hortalizas, otras con presencia de ganado, uso industrial con instalaciones como Planta de Asfalto, Calera y la propia Fábrica de Cemento, áreas como el Jardín Botánico de interés científico - educativo y la Facultad de Agronomía de "La Colmena", donde se conjugan las actividades de investigación de la ecología y la biodiversidad, con objetivos educativos, turísticos y de interés para la comunidad. Es de destacar también, la reciente creación del Área Protegida de Guanaroca, la cual se encuentra dentro del área de influencia de la fábrica y donde predominan los bosques naturales con diferentes tipos de vegetación, flora y fauna asociadas. Que pueden ser impactados por las emisiones de polvos que se generan.

Las partículas de polvo que salen calientes flotan en el aire mucho más por el día, debido a las corrientes ascendentes, siendo mayor su dispersión. La mayor deposición por área se produce en horas de la noche, debido a la disminución de las temperaturas y el aumento de la humedad.

El sistema de asentamientos humanos acoge a la población y a su vez a la fuerza de trabajo que aporta el desarrollo de las actividades socio - económicas del territorio, Guabairo, Guaos, Pepito Tey, Lagunillas, Loma Abreu, El Rosario (zona más afectada por la contaminación), San Antón, el Sanatorio del SIDA, que actualmente es una unidad militar (ubicado en el Km 141/2 de la Carretera de Cumanayagua, en el asentamiento Lajitas y aproximadamente a 3 Km de la Fábrica de Cemento) y la ciudad de Cienfuegos.



II.2. Descripción del Proceso Productivo.

Para la producción de cemento Portland se requiere del empleo de las materias primas fundamentales (caliza, marga y arcilla o correctores), que dan origen al clínker y el uso posterior de aditivos (yeso y puzolana, toba), las cuales al triturarse y molturarse con éste resultan en el producto final, cemento, el cual puede ser de varios tipos, según la resistencia a la compresión. Existiendo así, cemento de resistencia normal, media y cemento de alta resistencia.

La caliza y la marga son los materiales que se utilizan en mayor cantidad y contienen un alto por ciento de Carbonato de Calcio, además Oxido de Alúmina, sílice, potasio, sodio. Para producir el cemento se necesita una composición química que los elementos de la marga y la caliza, por sí solos no poseen en la cuantía porcentual exigida, lo cual obliga a tener que introducir una materia prima adicional, la arcilla; que incorpora la alúmina, la sílice y el óxido férrico deficitarios en los primeros para el completamiento de dicha composición. Antes del proceso productivo estas materias primas reciben los siguientes tratamientos, que se pueden ver también en el *Anexo 2*.

La caliza es extraída por explosivos, transportada, triturada y almacenada. La marga también es extraída a voladura, posteriormente transportadas, trituradas, secadas, almacenadas y finalmente dosificadas. Los correctores se extraen con Buldozer (generalmente) y son transportados a la fábrica siguiendo el mismo curso que la marga. Estos son los procesos que a continuación manejaremos como Cantera y Trituración y secado.

Una vez establecidas las proporciones, los materiales son dosificados, triturados, molturados y secados a fin de eliminar la humedad residual, en lo que se denominará, proceso de Preparación del crudo.

De los silos de almacenaje, este crudo para clínker es conducido a la parte superior del precalentador, donde comienza a ponerse en contacto con los gases calientes provenientes de la combustión del Petcoke. El calor suministrado provoca la descarbonatación del Carbonato de Calcio, que se descompone en CaO y CO_2 ; y la elevación de las temperaturas hasta los 1700°C aproximadamente provoca la pérdida de agua de constitución de la arcilla que proporciona la alúmina y sílice; la zeolita aporta el aluminio, la fundición de óxidos de hierro. Alcanzadas estas condiciones, los óxidos se combinan en distintas formas entre sí, con lo cual se obtiene el clínker, como producto



final a la salida del horno. Todo este conjunto de operaciones se nombra en la fábrica Piroproceso.

El clinker producido en el horno se muele y mezcla, normalmente en molinos de bola, junto con yeso para la obtención del cemento. Es usual agregar otros componentes a la mezcla, tales como puzolana, toba, consideradas como adiciones activas, o calizas.

Además de la molienda del clinker y demás componentes del cemento, en el proceso se realizan otras operaciones de reducción de tamaño: la caliza, marga, perdigón, yeso y combustibles sólidos son desmenuzados por distintos tipos de trituradoras. Las mezclas de las materias primas se muelen en molinos horizontales de bolas y los combustibles sólidos en un molino vertical de rodillos.

II.2.1. Composición química de las Materias Primas.

Tabla II.2: Composición química de las Materias Primas Principales.

MATERIA PRIMA	COMPOSICIÓN QUÍMICA				
	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SO ₃
Caliza	49,25	5,52	1,09	2,06	0,42
Marga	28,71	34,61	2,36	4,35	-
Perdigón	0,41	39,57	27,76	15,78	-
Yeso	26,75	9,23	2,47	2,59	36,65
Toba	6.95	52.71	6.44	11.48	-

Fuente: Elaboración Propia.

Combustible tecnológico: Petcoke. De procedencia Venezuela. Es un residuo del proceso de refinación del petróleo y sustituye la utilización de crudo. (Ver tabla II.3)

Tabla II.3: Composición química del Petcoke.

PARÁMETROS	VALOR TÍPICO
Humedad % máx.	8,91
Carbón fijado % (base seca)	85,1
Cenizas %	1,00
Material volátil %	1,90
Azufre %	4,5
Poder calórico neto (Kcal/Kg)	8506

Fuente: Elaboración Propia.



Combustible Gas Oil (Diesel). Combustible utilizado como recurso auxiliar en los hornos para el precalentamiento. El consumo es aproximadamente durante 10 horas a partir del arranque.

Las características de este combustible, según las especificaciones de CUPET, se muestran en la tabla II.4.

Tabla II.4: Características físico- química del diesel utilizado.

PARÁMETROS	VALOR TÍPICO
Densidad a 15 °C	0.8592 (g/cm ³)
BSW	< 0.05 (% v/v)
Azufre	0.68 (% m/m)
Corrosión al Cu	3:18
Viscosidad a 40 °C	3.74 (mm ² /g)
Cenizas (% m/m)	0.006 (% m/m)
Valor calórico inferior de trabajo	10 120.5 Kcal/kg.

Fuente: Elaboración Propia.

Focos contaminantes potenciales y latentes de la Fábrica.

Emisiones de gases de la combustión (SO_x, NO_x y CO₂).

Durante la extracción y trituración de las materias primas del cemento, cal y yeso, realizadas normalmente en canteras, no se producen gases de escape.

Las materias primas del cemento se suelen secar al mismo tiempo de su preparación y molienda, por lo que la humedad presente se desprende en forma de vapor de agua inocuo. Durante la cocción de las materias primas, u obtención del cemento, tiene lugar, por desprendimiento del dióxido de carbono (CO₂) contenido en la piedra caliza, la transformación de carbonato cálcico en óxido cálcico. Así pues, las emisiones gaseosas de la cocción están formadas por el CO₂ de la descarbonatación, los gases de escape de los combustibles y también vapor de agua en pequeña cantidad. En el gas desprendido pueden aparecer también compuestos de azufre (generalmente en forma de SO₂) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Las emisiones de vapor se evitan en el proceso normal por adsorción de los contaminantes en el producto combustible.

Las emisiones de vapor de agua y de CO₂ son inherentes al proceso, mientras que la aparición de compuestos de azufre ha sido reducida drásticamente con el uso de materias primas y combustibles adecuados y el control del proceso de combustión. La contribución



del dióxido de carbono (CO₂) en el calentamiento global se sitúa entre el 98,8% y el 100% del total, es decir, es el principal causante del mismo, lo cual justifica que la producción de cemento sea una fuente relevante de CO₂, y por lo tanto, del efecto invernadero.

- Aguas residuales

Las fábricas de cemento son a veces grandes consumidores de agua, pero el proceso tecnológico no produce contaminación del agua. La mayor parte de esta agua se encuentra en circulación, por lo que sólo hay que reponer las pérdidas. En las instalaciones que trabajan con el método seco, que es el caso que se analiza, también se consume agua para la refrigeración de los gases de escape de los hornos, pudiéndose calcular un consumo neto aproximado de 0,4 m³ de agua por tonelada de cemento.

El abasto del agua industrial a la fábrica se realiza del río Arimao, por medio de una estación de bombeo ubicada en las márgenes del río, a través de una conductora de agua con una longitud de 9.2 Km y un caudal de 60.0 l/s. Al llegar a la fábrica es almacenada en dos tanques de 2 500 m³ cada uno, el agua pasa por la planta de tratamiento, donde se efectúa la coagulación, sedimentación, filtración y suavización por intercambio iónico. El caudal nominal de esta planta es de 93 m³/h. además de que cada área potencialmente peligrosa cuenta con un sistema de tratamiento, Trampa de hidrocarburos, Fosa séptica.

Para el tratamiento final de los sistemas de los residuales líquidos se utiliza una laguna de oxidación ubicada en las coordenadas N 220 09 465' W 800 19 306, asociada a la Cuenca Caonao.

- Desechos sólidos (basura). Desechos sólidos peligrosos.

En la planta de cemento la tecnología y el proceso son muy apropiados para la reutilización o destrucción de una variedad de materiales residuales, incluyendo desperdicios peligrosos, manejando así sus propios desechos sólidos y enviando lo que puede ser reciclable a materias primas.

- Emisión de polvo

Durante la obtención y elaboración de cemento, el proceso produce polvo en diferentes fases de trabajo incluyendo el transporte de materiales polvorientos o pulverizados desde la cantera de piedra caliza, hasta el embarque del producto terminado para envío. Las partículas son la causa más importante del impacto ambiental negativo. En el cemento este polvo es una mezcla de piedra caliza, óxido cálcico, minerales del cemento y a veces



también cemento totalmente cocido. El control del polvo que resulta del transporte de los materiales es uno de los desafíos más difíciles; las bandas transportadoras, pilas de acopio, y caminos de la planta, pueden ser causas más importantes de degradación de la calidad del aire, que las emisiones del molino y el horno.

Entre las mayores fuentes de la fábrica están:

- Molienda y mezclado de la materia prima.
- Producción de clínker.
- Molienda del cemento.

Con el uso adecuado de instalaciones de aspiración y grupos separadores de polvo eficaces, como precipitadores electrostáticos, filtros textiles, y, frecuentemente combinados con estos últimos, ciclones se ha garantizado que las partículas emitidas se reduzcan a niveles no significativos logrando una gestión apropiada de la fábrica y evitando que los costos por desgaste de las máquinas asciendan drásticamente, al tiempo que el alto porcentaje de polvo afecta a los puestos de trabajo y supone también una pérdida de producción se mantenga controlado. La mayor parte del polvo separado se reconduce al proceso teniéndose una media de 230 841. 45 ton recuperadas por el sistema de desempolvado.

Estos filtros de alta calidad permiten actualmente, obtener aire de escape con un contenido de polvo inferior a 25 mg/Nm³.

II.3. Programa de Monitoreo.

El Programa de Monitoreo Ambiental (PMA) busca asesorar permanentemente a Cementos Cienfuegos SA, sobre las cuestiones que afectan al entorno de sus instalaciones y a la región del emplazamiento y se diseña con los siguientes objetivos:

1. Verificar el cumplimiento de la normativa internacional vigente en cuanto a niveles de emisión y emisiones fugitivas en áreas de la Fábrica Cementos Cienfuegos S.A., en lo adelante.
2. Verificar el cumplimiento de la legislación nacional vigente en cuanto a la contaminación producida por Cementos SA fuera de los límites de la Fábrica.



3. Verificar la posible influencia de las emisiones de la Fábrica sobre objetos del medio ambiente de interés ubicados en las cercanías de la misma, considerando aspectos biofísicos y sociales.

El programa de monitoreo se diseña para las actividades que realiza la Fábrica en sus áreas y en las canteras cuya concesión de explotación le ha sido otorgada. El alcance del mismo no se extiende a las operaciones que se realizan en el Puerto de Cienfuegos. Permite la evaluación periódica, integrada y permanente de la dinámica de las variables ambientales con el fin de suministrar información precisa y actualizada para la toma de decisiones orientadas al control de las emisiones y descargas al medio ambiente, así como la verificación del cumplimiento de las medidas de mitigación propuestas.

Por otro lado los resultados facilitan la elaboración de los informes periódicos a la autoridad de supervisión del CITMA sobre el cumplimiento de las licencias ambientales otorgadas y el adecuado funcionamiento de las medidas de mitigación o corrección ambiental ejecutadas.

Los resultados del PMA constituye el documento técnico de control de calidad ambiental básico, donde quedan definidos los sistemas de medida y control de cada parámetro ambiental, así como los niveles de calidad ambiental al que se pretende llegar.

Los resultados del PMA serán procesados y analizados mensual, trimestral y anualmente. Adicionalmente deberá ser complementada esta información, con los informes de las corridas del programa de dispersión según las condiciones de operación de los sistemas despolvado.

El nuevo PMA abarca todas las prácticas con impactos ambientales definidos durante el proceso de licenciamiento y será presentado a la unidad de supervisión del CITMA de Cienfuegos como alternativa al que se venía ejecutando por el CEAC (Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos) bajo contrato desde el año 2004.

La idea de realizar este nuevo programa parte de las siguientes premisas:

- El monitoreo ambiental de las variables de impacto derivado de las operaciones constituye un requisito de las licencias otorgadas a CCSA por el órgano regulador del CITMA.
- Los resultados del monitoreo constituye una herramienta de valoración de la magnitud y el alcance de la posible contaminación desde las fuentes emisoras de las instalaciones de la empresa.



- Los valores de contaminación resultantes del monitoreo permitirá tomar acciones de mitigación y control de los impactos negativos que puedan afectar a la población y al medio ambiente local y territorial.

El programa de monitoreo parte de la necesidad de controlar tanto la emisión de contaminantes atmosféricos por las instalaciones de la Fábrica, así como las concentraciones en aire que se obtienen fuera de la Zona de Protección Sanitaria, de acuerdo con las características dispersoras de la atmósfera en el lugar de emplazamiento.

II.3.1. Bases de diseño.

Consideraciones generales.

El diseño del programa de monitoreo parte de la necesidad de controlar tanto la emisión de contaminantes atmosféricos, así como las concentraciones en aire que se obtienen fuera de la Zona de Protección Sanitaria, de acuerdo con las características dispersoras de la atmósfera en el lugar de emplazamiento. El control de las emisiones tiene particular importancia por cuanto, es el aspecto sobre el cual Cementos Cienfuegos S.A tiene directamente el control, sirviéndole para mostrar de una forma más clara su gestión ambiental. En el programa, para un mayor entendimiento, se ha separado el monitoreo en áreas de la Fábrica del monitoreo en los alrededores de la misma.

El diseño del Programa de Monitoreo toma como base los siguientes elementos:

- Base normativa nacional vigente.
- Características de las materias primas y combustible.
- El Término Fuente de Expulsión (tipo de contaminante que se emite, cantidad de contaminante que se emite en el tiempo, forma física de los contaminantes, geometría de las expulsiones: ubicación, altura de la expulsión, forma y dimensiones del ducto).
- Demografía (ubicación de los grupos poblacionales, densidad de población).
- Usos relevantes de la tierra en el emplazamiento: zonas de valor patrimonial,
- Zonas o instituciones de relevancia social.
- Condiciones climáticas del emplazamiento, el régimen de vientos.
- Zona de Protección Sanitaria alrededor de la Fábrica.
- Exigencias especificadas por el Órgano Regulador (Unidad de Supervisión).
- Posibilidad de ubicación de estaciones de muestreo (accesibilidad, seguridad)
- Optimización de costos.



No toda la información utilizada en el diseño se incluye de forma detallada en el presente documento.

Base Normativa utilizada.

El diseño del programa de monitoreo fuera de las áreas de la Fábrica parte de la determinación de la Zona de Protección Sanitaria alrededor de las industrias, establecida en la Norma Cubana 39:1999. Requisitos Higiénicos Sanitarios.

Para la valoración de los resultados del monitoreo se utilizará la norma NC 111:2001. Calidad Del Aire. Reglas para la Vigilancia de la Calidad del Aire en Asentamientos Humanos.

La valoración de los requisitos normativos de las descargas de los sistemas de tratamiento de residuales se realizó sobre la base de la NC 27:1999. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y alcantarillado. Especificaciones.

Teniendo en cuenta que el polvo es el contaminante de mayor peso en la calidad del aire por los niveles que reporta y la amplia distribución de fuentes en el emplazamiento de Cementos Cienfuegos S.A, se prestará especial atención al control de las emisiones desde las fuentes con mayores tasas de emisión y con mayor probabilidad de impacto ubicadas.

Este PMA fue desarrollado como solución a los problemas que presentaba el anterior programa que se venía ejecutando hasta la fecha, al no considerar los siguientes elementos.

- A. No fue realizada previamente la caracterización de las materias primas, productos intermedios, combustibles y productos finales desde el punto de vista de posibles trazadores de contaminación como los metales pesados.*

Los resultados de las mediciones realizadas con el anterior programa no permite valorar el aporte de la contaminación asociada a Cementos Cienfuegos S.A., por cuanto el valor medido es global, incluyendo además, las debidas a la contaminación antropogénica y a otras fuentes de contaminación del territorio donde se encuentra ubicado el punto de muestreo. Los valores de concentración de metales pesados en las muestras son muy superiores a las contenidas en los materiales que manipulados por sistemas tecnológicos de las instalaciones de CCSA.

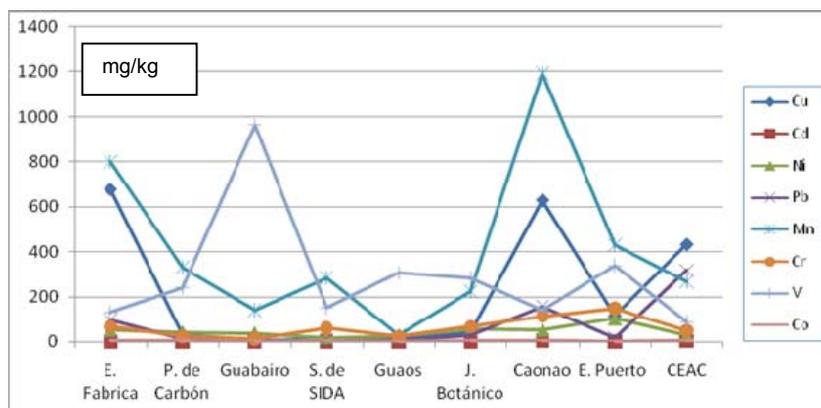


Fig.II.1. Deposición de metales pesados durante el monitoreo.

Fuente: Reporte final / Resultados del Programa de Monitoreo Ambiental CCSA (enero 2009 – septiembre 2009) Contrato: CS-06-09.

Los resultados de los ensayos de metales pesados realizados a los materiales manipulados en los sistemas tecnológicos se muestran a continuación. (Ver tabla II.5)

Tabla II.5: Concentración de Metales Pesados.

Material	Concentración de metal pesado [mg/kg]								
	Cu	Zn	Cd	Ni	Pb	Fe	Cr	V	Co
Clínker	10	<30	<2.07	68.25	<27.8	3040	40.06	166	<4.12
Harina	6.6	37	<2.07	28.90	<27.8	2657	27.49	39	<4.12
Cemento	8.8	64	<2.07	46.05	<27.8	3190	32.92	148.9	<4.12
Petcoke	<2.25	<30	<2.07	316.00	<27.8	700.8	<3.99	2202	<4.12

Fuente: Resultados de las muestras enviadas al laboratorio del CEAC perteneciente al CITMA territorial Cienfuegos.

En la tabla anterior se observa que la mayor concentración de Cu está en el clínker (10 mg/kg) sin embargo la muestra colectada en Caonao tiene una concentración de 600 mg/kg. En cuanto al plomo el valor de la muestra es de 270 mg/kg muy superior al valor de 27.8 mg/kg.

B. No se realizaron estudios teóricos preliminares de dispersión atmosféricos de contaminantes considerando los términos fuentes de las emisiones de CCSA.

Los puntos de muestreo fueron establecidos sin tener los resultados de las estimaciones de las posibles zonas de deposición de la contaminación mediante modelos de dispersión, ni la proximidad de otras fuentes potenciales de contaminación que aportaran a la carga contaminante en el área.



C. *Independientemente de los criterios iniciales para la ubicación de los puntos de muestreo, las estadísticas de los resultados de las mediciones realizadas hasta la fecha evidencian que no fueron consideradas variables tan vitales como la ubicación de las fuentes con mayor potencial de contaminación, en condiciones de dispersión mucho más favorables para impactar en dichos puntos.*

En general el programa anterior establecía los siguientes puntos de monitoreo:

- Jardín Botánico.

Este punto está bajo la influencia directa de la planta de asfalto, con altura de emisión inferior a 40 m, no tiene sistema de tratamiento para las emisiones de la combustión y se emplea crudo cubano como combustible, con alto contenido de azufre.

La baja altura de la emisión (< 30 m), así como la emisión propia del contaminante producto de la combustión (utilización de crudo cubano con alto contenido de azufre), tiene un mayor impacto sobre la zona de muestreo que las emisiones asociadas a Cementos Cienfuegos S.A.



Foto II.1: Vista aérea del emplazamiento de la planta de asfalto de Pepito Tey ubicada a 1 km del Jardín



Foto II.2: Vista aérea del emplazamiento de la calera Pepito Tey ubicada a 1 km del Jardín Botánico.

- Sanatorio SIDA.

El punto ubicado en este lugar se encuentra bajo la influencia del penacho de emisión de la Calera Pepito Tey y de la planta de asfalto además la densidad de población en ese lugar no es representativa.

- Caunao.

La ciudad de Caunao está ubicada en una dirección de los vientos con muy baja probabilidad de ocurrencia por lo que la influencia de las emisiones de es poco significativa.



- Bahía de Cienfuegos.

El mayor aporte de contaminación de las aguas lo tienen residuales domésticos y de las industrias situadas en el territorio: Termoeléctrica, Refinería, Puerto pesquero, las aguas del río Damují (con aporte de residuales de industrias situadas a lo largo de su recorrido: papelera, CAI).

Desde el punto de vista de residuales las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. no tienen ningún aporte, por cuanto sus efluentes no vierten a la bahía. Las operaciones de carga y descarga de clínker y petcoke tienen potencial de generación de polvo por lo que son fuentes principales de contaminación de las aguas (sedimentos) debido a la deposición.

- Zona 1 y 3 del puerto de Cienfuegos.

Los resultados de la muestra están influenciados por el resto de las operaciones portuarias, ya que está ubicado en la zona de paso del transporte de carga, donde se genera una gran cantidad de polvo.

- Ciudad de Cienfuegos

El punto ubicado en la ciudad está influenciado por las emisiones de las fuentes móviles y estáticas propias de la ciudad, al igual que Caunao, está ubicada en una dirección de los vientos con muy baja probabilidad de ocurrencia por lo que la influencia de las emisiones es poco significativa.

- Almacén de combustible.

El punto de toma de muestra en este lugar está ubicado directamente en el área de acarreo de combustible por lo que la emisión es localmente alta, pero no es significativa respecto a la zona.

D. El programa que se venía ejecutando no consideraba el control de los efluentes de los sistemas de residuales.

No se incluía los residuales de la laguna de oxidación, fosas sépticas y tanque de decantación de las aguas de escorrentías del patio de carbón. La obligatoriedad de la medición en estos puntos están establecidos en la licencia ambiental LicAmb 02-03 Fábrica y LicAmb 42-02 Patio de Carbón, otorgada a Cementos Cienfuegos S.A.



E. Las mediciones de los puntos ubicados en el puerto incluía mediciones no relacionadas con las variables de impactos y que no tenían ningún valor de estimación.

En el programa solo se considera el control de la contaminación de las aguas de la bahía la que realizaba en tres puntos diferentes (lóbulo Norte, sur y este), con muestras de fondo y superficie con indicadores medidos que nada tienen que ver con las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. (Ver tabla II.6)

Tabla II.6: Resultados del monitoreo de calidad de las aguas en la Bahía de Cienfuegos.

Parámetro / Indicador	U/M	15/03/2008				13/06/2009				09/11/2010			
		E8 Sup.	E8 F.	E9 Sup.	E9 F.	E8 Sup	E8 F.	E9 Sup.	E9 F.	E8 Sup.	E8 F.	E9 Sup.	E9 F.
		Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
pH	---	8,45	8,41	8,39	8,36					8,18	8,11	8,24	8,02
Temperatura	°C	32	31,2	32,2	30,3					27,3	27,4	27	28,9
Transparencia	%	48,4	x	20	x	27,8	x	24,8	x	41,7	x	22,9	x
Salinidad	ppt	33,8	33,8	33,9	33,9	18,8	28,9	20,8	33,1	32,6	31,4	33,8	33,7
P-PO ₄ ⁻³	mg/L	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	0,04	0,03	0,05	0,026	0,04
N-NO ₂ ⁻	mg/L	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	0,003	0,01	0,002	0,02	0,002	0	0,001	0,01
SiO ₂	mg/L	0,075	< L.C	< L.C	< L.C	4,771	3,8	3,608	3,13	2,174	1,34	2,752	1,46
S. Suspendido	mg/L	14,2	11	4,7	4,1	4,2	10,3	2,4	1,5	3,6	4	3	7,7
Ox. disuelto	mg/L	6,38	6,44	6,38	6,31	3,62	2,77	5,88	1,22	6,64	5,3	6,85	1,88
N-NH ₄	mg/L	< L.C	x	< L.C	x	0,064	x	< L.C	x	< L.C	x	< L.C	x
N-NO ₃ ⁻	mg/L	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	< L.C	0,01	< L.C	< L.C	< L.C	0,02
DBO ₅	mg/L	2,4	x	1,6	x	2	x	2,2	x	4,4	x	3,2	x

Fuente: Informe de monitoreo de los años 2008,2009 y 2010.

Según los resultados de la evaluación de la calidad de las aguas realizada por el CEAC se deja claro que estos parámetros están en el rango histórico de la zona, según el período de muestreo.

F. Con los resultados obtenidos no se podía valorar el aporte de las emisiones asociadas a Cementos Cienfuegos S.A a la contaminación territorial, aunque podían utilizarse las concentraciones de trazadores naturales característicos en las emisiones emitidas para determinar la posible influencia en el aporte global.

G. En los informes de los resultados del monitoreo no se establecía el grado de cumplimiento de los niveles de contaminación normados y solo se limitaba a comparar los valores de tasa de deposición y concentración del contaminante en los puntos de muestreo con los realizados en supuestos puntos de referencias



(Laboratorio del CEAC y el edificio del CITMA en la calle Arguelles) que no tenían ninguna representatividad.

II.4. Determinación de la ubicación de los nuevos puntos de muestreo.

II.4.1. Monitoreo de polvo.

La mayoría de las emisiones asociadas a las operaciones de cementos Cienfuegos S.A. tienen carácter particulado, yendo desde las partículas más finas, resultantes de la combustión y en parte del clínker, hasta las partículas gruesas de gran peso, constituidas por el clínker, los combustibles sin quemar y de harina cruda. De este hecho emana la necesidad de controlar el polvo, no solo el polvo fino respirable, sino el polvo total (Partículas Totales en Suspensión). La deposición también juega un papel importante sobre todo sobre la flora. Depositiones de polvo altas y de carácter básico puede afectar el funcionamiento de las plantas.

II.4.1.1. Estimaciones teóricas de concentración de polvo.

Para la ubicación de los puntos de muestreo, este programa tiene en cuenta en primer lugar los resultados de los monitoreos realizados hasta la fecha por el CEAC y los resultados de las estimaciones teóricas de concentración de polvo para un radio de 50 km. en condiciones ambientales desfavorables de dispersión y tasas de emisión determinadas según los parámetros de operación de los sistemas de desempolvado.

II.4.1.2. Determinación de los términos fuentes.

Para el estudio de dispersión de contaminantes se realizó una caracterización de las fuentes fundamentales de emisión de contaminantes que incluyó. (*Ver tabla II.7*)

Características geométricas de la fuente.

- Tipo de fuente (puntual, Plana).
- Altura de la chimenea desde el nivel del suelo.
- Velocidad de salida del contaminante [m/s].
- Temperatura del gas en el punto de salida [°K].
- Diámetro del orificio de salida del gas [m].
- Flujo de salida del contaminante [m³/s].
- Emisión del contaminante [g/s], [g/m² s].
- Velocidad del viento en el punto de salida [m/s].



Tabla II.7: Características geométricas y físicas de las fuentes emisoras fundamentales presentes en el emplazamiento.

Identificación de la Fuente	trituradora	Secador	Torres de Transferencias.	Precaentador	Patio de carbón	Puerto
	1	2	3	4	5	6
Tipo de fuente	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual	plana	plana
Altura de la fuente [m]:	(1) 13,8	(1) 36	(4) 28	96	0	0
Diámetro interior en el punto de emisión [m]:	0.71	2.8	0.5	2.8	–	–
Dispositivo de control de las emisiones	Separador ciclónico	Casa de bolsas	Filtro de mangas	Electro filtro	–	–
Eficiencia del control [%]	95	99	97	99.95	–	–
Tipo de material	caliza, marga, perdigón	caliza, marga, perdigón	caliza, marga, perdigón	harina pre calcinada, gases de comb.	Petcoke	Petcoke, clinker
Temperatura de salida [° C]	60	110	40	150	30	30
Flujo de gases [m ³ /h]	15 600	123060	9608	540 000	–	–
Velocidad de salida de los gases [m/s]	9	1.38	14	9.03	–	–
Velocidad del viento	3.8	3.8	3.8	3.5	1.5	1.5
Flujo de salida del contaminante [g/s]	60	60	70	100	0.0000243	0.00000752

Fuente: Informe de monitoreo de los años 2008,2009 y 2010.

Características meteorológicas de la zona de dispersión de la emisión.

- Estabilidad atmosférica

Las categorías de estabilidad empleadas en la modelación de la dispersión para facilitar la estimación de los parámetros de la dispersión lateral y vertical son los usados en los modelos Gaussianos. El esquema de clasificación de la estabilidad recomendado, es el propuesto por Pasquill, (1961); sin embargo, dicha clasificación resulta impracticable para la aplicación rutinaria, por lo que se aplicó el método de Turner (1964), más práctico y que se detalla en la Tabla II.8:

Tabla II.8: Método de Turner para estimar la estabilidad atmosférica.

Velocidad del viento U (m/s)	Día: Insolación				Cielo cubierto: Nubosidad 10/10, Altura < 2133.6 m	Noche: Nubosidad	
	Fuente, $\alpha > 60^\circ$	Moderada, $35 < \alpha < 60^\circ$	Ligera, $\alpha < 35^\circ$	Débil, $\alpha < 15^\circ$		> 4/10	$\leq 4/10$
0-0.77	A	A	B	C	D	F	F
0.77-1.80	A	B	B	C	D	F	F
1.80-2.83	A	B	C	D	D	E	F
2.83-3.34	B	B	C	D	D	E	F
3.34-3.86	B	B	C	D	D	D	E
3.86-4.89	B	C	C	D	D	D	E
4.89-5.40	C	C	D	D	D	D	E
5.40-5.92	C	C	D	D	D	D	D
≥ 5.92	C	D	D	D	D	D	D

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos67/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar2.shtml>.



Los parámetros básicos considerados para clasificar la estabilidad según este método fueron: la velocidad del viento, medida a 10 m sobre el nivel del terreno y la estimación de la insolación diurna, en base al ángulo de elevación solar y la nubosidad (% de cielo cubierto y altura de la base de las nubes) durante el día.

- Velocidad del viento [m/s]

Las velocidades del viento fueron medidas con anemómetro. Los valores medidos a alturas inferiores a 4 m son bajas debido a la influencia de las edificaciones.

- Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)

En este caso fue considerada las rosas de los vientos, pero para efecto conservador se tomaron como dirección predominante la dirigida hacia los puntos con mayor población

- Temperatura del aire [°K]

La temperatura del aire fue tomada como la media mensual en el lugar.

- Altura de la capa de inversión desde el nivel del mar.

Una inversión térmica es una derivación del cambio normal de las propiedades de la atmósfera con el aumento de la altitud. En efecto, el aire no puede elevarse en una zona de inversión, puesto que es más frío y, por tanto, más denso en la zona inferior.

Una inversión térmica puede llevar a que la contaminación aérea, como el smog, quede atrapada cerca del suelo, con efectos nocivos para la salud. Una inversión también puede detener el fenómeno de convección, actuando como una capa aislante.

La altura de la capa de inversión es un parámetro básico en la modelación de la dispersión de los contaminantes atmosféricos por cuanto es la zona inferior de la atmósfera donde ocurre fundamentalmente el transporte turbulento de masa y energía y donde los contaminantes se trasladan e interaccionan. Para el cálculo existen varias alternativas que pueden ser empleadas en dependencia de los datos de que se dispone, en este caso las alturas de la capa de inversión se obtuvieron a partir de las categorías de estabilidad atmosférica obtenidas en la tabla II.9:



Tabla II.9: Reglas para estimar la clase de estabilidad atmosférica y las alturas de la inversión a partir de la velocidad del viento y el grado de insolación.

	Velocidad del Viento	Clase de Pasquill (Estabilidad Atmosférica)	Altura de la mezcla (m)
Día (Alta Insolación)	0-2 m/s	A (muy inestable)	1600
	2-3 m/s	B (inestable)	1200
	3-5 m/s	C (ligeramente inestable)	800
	>5 m/s	D (neutra)	560
Día (Baja Insolación)	0-2 m/s	B	1200
	2-3 m/s	C	800
	3-5 m/s	D	560
	>5 m/s	D	560
Noche	0-2 m/s	F (estable)	200
	2-3 m/s	F	200
	3-5 m/s	E (ligera estabilidad)	320
	>5 m/s	D (neutra)	560
	Nublado	D	560

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos67/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar/capa-limite-ecuaciones-radiacion-solar2.shtml>.

Al concluir el estudio de dispersión se obtuvo.

- Concentración máxima [$\mu\text{g}/\text{m}^3$].
- Coordenada X,Y del punto de concentración máxima [m]

Los resultados de las corridas aparecen en el anexo 3. Sobre la base de estos resultados se concluyó que:

- El poblado de guabairo se encuentra situado dentro de la zona de protección sanitaria de CCSA, por lo que tiene una alta probabilidad de impacto de las emisiones provenientes de las instalaciones de la trituradora, el secador y las torres de transferencia, aunque los niveles esperados de concentración en condiciones extremas son bajos, pueden ser elevados en condiciones de averías debido a la baja altura de las emisiones.

Los resultados de las corridas para las condiciones de operación del almacén de petcoke no muestran una influencia significativa para el poblado, por cuanto las deposiciones máximas ocurren en la zona muy cercana.

Finalmente por la densidad de la población y por las consideraciones antes expuestas se decide mantener este punto en el nuevo programa, con la salvedad que estará ubicado en la escuela primaria de esta localidad por la posición media que tiene de la zona y por la sensibilidad etaria de la población en ese punto.

- Se elimina el punto de muestreo del patio de carbón ya que se encuentra a menos de 2 m de las pilas de combustible con una fuerte incidencia del polvo local



generado durante el acarreo, además los resultados de las corridas muestran que la contaminación debida a la dispersión del material de las pilas tiene un efecto local y no sobrepasa una distancia superior a 500 m.

- Se eliminan los puntos de monitoreo del Jardín Botánico y del antiguo Sanatorio del SIDA. ya que las estimaciones de concentración del polvo no muestran valores significativos. Por otro lado dichos puntos se encuentran sobre la sombra del penacho de emisión de la planta de asfalto y la calera ubicados en Pepito Tey que se producen a muy baja altura, con un marcado predominio del proceso de fumigación.
- Se eliminan los puntos de monitoreo de la Ciudad de Cienfuegos y Caunao, ya que la probabilidad de incidencia de la dirección de los vientos en esa dirección es despreciable, por otra parte estos puntos están ubicados en la ciudad donde existe gran influencia de otras fuentes antropogénicas con mayor impacto.
No obstante se decide colocar un punto de monitoreo en la zona de Punta la Cueva ya que se encuentra a menos de 3 Km del borde externo de la sombra del penacho estimado en la dirección predominante de los vientos (ene).
- Se elimina el punto de monitoreo ubicado a la entrada del puerto, por encontrarse en una zona de alta emisión de polvo por el movimiento del transporte y se mantiene el punto cercano al muelle No.4 donde se realizan las operaciones asociadas a la carga de clínker y descarga de petcoke.
- Se elimina el punto de muestreo ubicado en el Laboratorio del CEAC como patrón de referencia para la valoración del grado de contaminación utilizado en el anterior programa ya que carece de fundamento por la razón de encontrarse bajo las mismas condiciones de ser impactado por la contaminación asociada a otras fuentes antropogénica presentes en la región.
- Se adiciona un nuevo punto de muestreo ubicado en el sector este del Centro Nacional para la Certificación Industrial ya que el mismo se encuentra en la dirección predominante de los vientos y en la línea de la sombra del penacho de dispersión de la fuente con mayor alcance ubicada en el precalentador de los hornos. Al mismo tiempo se encuentra en las cercanías (2 km) del punto estimado de mayor concentración asociada a dicha fuente y que se ubica sobre el lóbulo sureste de la bahía y a solo 400 m de la Milpa.



II.4.2. Monitoreo de gases.

Uno de los aspectos ambientales más importantes relacionados con la producción de cemento es la emisión atmosférica de, SO_x , NO_x , CO_2 .

Las emisiones de dióxido de carbono provienen de la combustión y de la descarbonatación de la materia prima. En este último caso se propone controlar la emisión mediante cálculo (*metodología en el anexo 4*). El Dióxido de carbono necesita tener valores muy altos de concentración para producir efectos biológicos, por lo que en una zona relativamente ventilada como la que se analiza no tiene un interés marcado. Solo debe considerarse su efecto al calentamiento global (invernadero) mediante la determinación de las emisiones anuales según la metodología del anexo 4.

Los resultados obtenidos muestran una tasa de emisión de 0.90 t CO_2 /t clínker valor que se encuentra en el rango de emisión (0.8 – 1.2 t CO_2 /t clínker) de industrias similares en el mundo [reporte del IPCC/2010].

De los gases de la combustión unos de los más importantes es el NO_x , que se produce en grandes cantidades a temperaturas por encima de los 1000 °C, generándose únicamente en los hornos de clínker donde las temperaturas alcanzan los 1400 °C, en el caso de las instalaciones del secador los valores de emisión son despreciables debido a que no se alcanzan temperaturas por encima de los 600 °C para el control de la emisión se realizan mediciones en los conductos de salida de los hornos mediante los analizadores de gases instalados y los equipos portátiles propiedad de la propia industria.

Por su parte las emisiones de SO_x , se esperan que sean bajas por el bajo contenido de azufre del petcoke, controlándose su emisión mediante los analizadores situado a las salidas de los gases del horno.

Estas emisiones de los hornos ocurren desde chimeneas altas. La naturaleza gaseosa de estos contaminante hará que en las cercanías de la Fábrica y a distancias medias sus concentraciones sean bajas, en las zonas inmediatas puede ocurrir en condiciones de alta humedad una depleción de la concentración del gas por reacción con el polvo de las emisiones produciendo aerosoles de nitrato y sulfato; pero esto es teoría que hay que comprobar en la práctica.

Rutinariamente no se establece la medición de estos gases en espacios abiertos, por lo que a priori no se considera procedente incluir su monitoreo. Si posteriormente aparecieran quejas o el control de la emisión en la Fábrica con el aumento paulatino de



las capacidades de la misma reflejara valores muy altos de emisión de ese gas, se podría valorar entonces su inclusión en el programa de monitoreo.

II.4.3. Monitoreo de residuales.

- Se eliminan los puntos de monitoreo de agua en la bahía ya que se demostró que las operaciones en el muelle 4 no modifica el comportamiento de los indicadores de calidad determinados en el anterior programa.
- Las actividades importación y exportación de petcoke y clínker requieren de un programa de monitoreo que permita evaluar las tendencias que se observen en la calidad de la bahía como resultado de las practicas indicadas. El petcoke se incorpora al agua de mar debido a tres procesos fundamentales: la deposición seca de la dispersión atmosférica, donde el polvo se dirige con una mayor frecuencia hacia el mar, el arrastre hacia el mar del polvo depositado en el piso del área de operaciones portuarias y por las caídas accidentales de material al lateral del barco durante la descarga o carga.
- Por tal motivo se adiciona un punto cercano al muelle 4 para el monitoreo de los sedimentos marinos.
- Se adiciona un punto de muestreo a la entrada y la salida de la laguna de oxidación con el objetivo de verificar el cumplimiento de la norma de calidad del agua de vertimiento y la eficiencia del sistema de tratamiento.
- Se adiciona un punto de muestreo a la salida del tanque de decantación del sistema de tratamientos de residuales de escorrentía del almacén de petcoke con el objetivo de verificar el cumplimiento de las normas de calidad de vertimientos.

II.4.4 Selección de trazadores utilizando los metales pesados.

La determinación de la concentración de los metales pesados en las materias primas, productos intermedios, combustibles y productos finales, facilitan su identificación tipológica que permitirán la discriminación dentro del resto de los aerosoles presentes en el medio ambiente global.

La selección de los trazadores se realizará bajo las siguientes consideraciones:

- Estabilidad en la composición para los distintos materiales de proceso.
- La concentración en los materiales de proceso y en las muestras supere el nivel de detección del equipamiento del laboratorio que realice las mediciones.



- La concentración en los materiales de proceso sea despreciable.

Una vez analizada la composición de los metales pesados en los materiales de proceso se determinaron como trazadores el Pb, Cu y el Zn

Los altos niveles de concentración de metales pesados en las muestras polvo colectado para las mediciones realizadas en los últimos 5 años, son muy superiores a los contenidos en los materiales de procesos. Estos trazadores permitirán discriminar entonces la contaminación no imputable a Cementos Cienfuegos SA.

Selección de los niveles de referencia para la comparación de los resultados del monitoreo. Conforme con el objetivo del programa de monitoreo que se diseña la primera comparación que debe hacerse es entre los niveles detectados y las concentraciones máximas admisibles contenidas en la Norma Cubana 39 de 1999 de Calidad del aire, que están diseñadas para su aplicación en lugares habitables fuera de los límites de las Zonas de Protección Sanitaria. Se supone que dentro de la Zona de Protección Sanitaria no deban existir viviendas o instituciones de permanencia del personal.

Es interesante destacar que el poblado de Guabairo se encuentra dentro de la zona de protección sanitaria de Cementos Cienfuegos S.A. cuyas dimensiones se muestran en el anexo UUU (los cálculos fueron realizados según la metodología de la NC: 39/1999) por lo que de manera excepcional será monitoreado.

Finalmente el programa de monitoreo propuesto se muestra en el *anexo 4*.



Conclusiones Parciales.

1. En el puerto de Cienfuegos el impacto de la importación y exportación de petcoke/clínker tiene efectos directos en la zona cercana al muelle 6 (radio de 500 metros). Fuera de esta zona es muy difícil precisar el impacto real de la práctica dado el mismo.

Al mismo tiempo los puntos ubicados en el Jardín Botánico y el sanatorio del SIDA se encuentran en la zona de influencia de la Planta de Asfalto y la Calera de Pepito Tey, con alturas de emisión inferiores a las de Cementos Cienfuegos SA. con tasas de emisión muy superiores, por lo que la influencia sobre estos lugares es predominante, representando una fuente potencial de distorsión de los resultados imputados a la fábrica.

2. Se elimina el punto ubicado en el patio de carbón por encontrarse directamente sobre la zona de operaciones y se coloca en la escuela de Guabairo situada a 400 m del lugar.
3. La caracterización de las materias primas, productos intermedios y finales, así como de los combustibles, servirán de trazadores para discriminar la contaminación no imputable a las operaciones de Cementos Cienfuegos SA, para lo cual se utilizará el níquel y el vanadio.
4. Las valoraciones serán realizada sobre la base del ICA tal como se establece en la NC 111:2001.
5. Las dimensiones de la Zona de Protección Sanitaria son las mismas que las determinadas en los programas de monitoreo anteriores.
6. Se mantendrán los registros declarados en los programas anteriores.
7. Es necesario realizar mediciones de fondo en el puerto antes del arribo del buque o en caso de esto ser imposible, varios días después de la partida del mismo para poder discriminar la influencia en las mediciones de la resuspensión del polvo que queda en los muelles después del desembarco. Lo mismo se cumple respecto a las operaciones de carga de clínker que hubiera.

Capítulo III.



Me contaron que a los peces no les importa ser pescados, pues tienen la sangre fría y no sienten dolor. Pero no fue un pez el que me lo contó.



Capítulo III: Aplicación del Programa de Monitoreo Ambiental. Resultados.

Este capítulo persigue como objetivo aplicar el Programa de Monitoreo diseñado anteriormente y analizar los resultados obtenidos en busca de potenciales mejoras o soluciones que respondan a los factores principales identificados como causas de los potenciales impactos medioambientales producidos por las cargas asociadas a las entradas y salidas del proceso.

III.1 Consideraciones Generales.

La tasa de deposición de polvo mensual será considerada como indicador o índice indirecto de contaminación del aire (cuyo muestreo se realiza sin dispositivos de aspiración), este se realizará mediante la recolección de las deposiciones en una cubeta con sección transversal conocida.

Las categorías de la contaminación de la atmósfera (Calidad del Aire) serán caracterizadas por la concentración del contaminante en espacio y tiempo, dadas en mg.m^{-3} a temperatura y presión normalizadas.

Las concentraciones de las sustancias contaminantes serán evaluadas a partir de las concentraciones medias para 30 días (promedio mensual).

En correspondencia con lo establecido en el punto 8.2.1 de la NC 111:2004, el grado de contaminación del aire en los puntos de la red de monitoreo será evaluada mediante el ICA, el cual incluye una escala de seis categorías: 1) Buena, 2) Aceptable, 3) Deficiente, 4) Mala, 5) Pésima, 6) Crítica.

El ICA se determina utilizando como criterio el valor resultante del cociente de las concentraciones estimadas del contaminante entre la Concentración Máxima Admisible (CMA) según la NC 39: 1999. utilizando la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum_{i=1}^n \frac{CE_i}{CMA_i} \quad (1)$$



Donde:

CE_i Concentración estimada del contaminante i. [mg/kg]

CMA_i Concentración Máxima Admisible del contaminante i [mg/kg]

En general se debe partir para los análisis, de los valores máximos admisibles de las variables según se establecen en las normas obligatorias de nuestro país y que se muestran en la Tabla III.1.

Tabla III.1: Valores normativos aplicados en el programa

No.	Contaminantes	Concentración máxima admisible		Clase de peligrosidad
		[mg/m ³]	[mg/kg] ¹	
Metales pesados				
1	Cobalto	0.001		1
2	Níquel	0.0002	300-400	1
3	Vanadio	0.002		1
4	Cromo	0.0015	1000-1500	1
5	Plomo	0.0003	750-1200	1
6	Zinc	0.05	2500-4000	3
7	Cobre	0.002	1000-1750	2
8	Cadmio		20-40	
Aerosoles				
9	Polvos con contenido de SiO ₂ (hasta 50%)	0.1		3

¹ Valores tomas de la norma Española 1990

Fuente: NC 39:1999 Norma de calidad del aire. Requisitos Higiénicos Sanitarios.

En el caso de la concentración másica de metales pesados se tomó como referencia la Norma Española de 1990, ya que nuestro el país solo norma la concentración volumétrica, por lo que se dificulta el análisis para el caso de los materiales de proceso ya que las mediciones realizadas por el laboratorio son de concentraciones másicas. La norma española se utiliza como referencia por estar vigente en la CEE.

Para estimar la influencia de las emisiones asociadas a las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. en los parámetros de concentración y tasa de deposición medidas en los puntos de la red de monitoreo serán determinados los valores promedios de la relación de



concentración de los trazadores en los materiales de proceso y las muestras de la red de monitoreo (\overline{RMP}), utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\overline{RMP}_j = \frac{\sum_{i=1}^n (cmp)_i^{mp} / (cmp)_i^m}{n} \quad (2)$$

Donde:

\overline{RMP}_j Relación promedio de concentración del trazador en el punto de muestreo j.

$(cmp)_i^{mp}$ concentración del trazador i en el material de proceso [mg/kg]

$(cmp)_i^m$: concentración del trazador i en la muestra [mg/kg]

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la concentración de metales pesados en las muestras de proceso que serán tomadas como trazadores.

Tabla III.2: Valores de concentración de metales pesados en las muestras de proceso.

Material	Trazador					
	[mg./kg.]					
	Cu	U	Pb	U	Zn	U
Clínker	10	±2,98	<27,8	-	30	-
Harina	6.6	±1,95	<27,8	-	37	±1,72
Cemento	8.8	±2,60	<27,8	-	64	±2,98
Petcoke	<2,25	-	<27,8	-	30	-

Fuente: Informe de laboratorio CEAC 2010.

$$\overline{\overline{RMP}} = \frac{\sum_{j=1}^m \overline{RMP}_j}{m} \quad (3)$$



Donde:

\overline{RMP} Valor promedio de la concentración de los trazadores en las muestras [mg/kg]

Las estimaciones de la concentración de polvo en los puntos de monitoreo se determinarán a partir de los valores medidos y el valor de \overline{RMP} utilizando las siguientes expresiones:

$$CE = C^{Medida} * \overline{RMP} \quad (4)$$

Donde:

CE Concentración de polvo en el punto de muestreo. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C^{medida} Tasa de deposición del polvo medida [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

Para la determinación de la concentración media mensual estimada de metales pesados será utilizada la siguiente expresión:

$$CMP^{Aire} = C * CMP * 10^{-09} \quad (5)$$

Donde:

CMP^{aire} : Concentración estimada del metal pesado en el aire. [mg/m^3]

C : Concentración estimada de polvo en el aire [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

CMP : Concentración del metal pesado en el polvo [mg/kg]

La evaluación del cumplimiento de los límites normados para los contaminantes asociados a las fuentes emisoras de Cementos Cienfuegos S.A. se realiza sobre la base del valor del ICA (Índice de Calidad del Aire) según se establece en la NC 111:2004 ver Tabla III.3.



Tabla III.3: Relación entre el Índice de Calidad del Aire y posibles implicaciones sanitarias relacionadas con cada Categoría de Calidad.

Índice	Categoría	Comentarios
0 - 79	Buena	No sobrepasa el 79 % del valor de la CMA prescrito en la NC. 39. Óptima calidad sanitaria del aire. Supuesta protección de toda la población (aunque no puede asegurarse que no sobrepase el umbral de respuesta de efectos adversos en individuos aislados).
80 - 99	Aceptable	No supera el 99 % de la CMA. Comienza el deterioro de la calidad del aire. Posible aparición de efectos leves en individuos o grupos de alta susceptibilidad (variabilidad individual de umbral de respuesta a los efectos) de muy difícil detección aún por investigaciones
100 - 199	Deficiente	Sobrepasa entre 100 - 199 % el valor de la CMA prescrito en la NC 39. Ligero incremento en la frecuencia y severidad de los efectos adversos agudos y crónicos en la población general y principalmente en personas con enfermedades cardiovasculares, respiratorias y alérgicas y en otras de elevada susceptibilidad, solo detectables mediante investigaciones muy específicas y sensibles
200 - 299	Mala	Supera entre 2 y 3 veces (200 – 300 %) el valor de la CMA. Aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general, ya medibles mediante investigaciones específicas a escala individual y ecológica, basadas en registros morbilidad. Da lugar a una SITUACIÓN DE ATENCIÓN
300 - 499	Pésima	Supera entre 3 y 5 veces el valor de la CMA. En dependencia del incremento de la concentración del contaminante y el tiempo de exposición continua el aumento de la frecuencia y gravedad de efectos adversos en los grupos de alta susceptibilidad y en la población general. Da lugar a una SITUACIÓN DE ALERTA.
≥ 500	Crítica	Se supera el límite de 5 veces la CMA, dando lugar a un incremento aún mayor del riesgo o probabilidad de ocurrencia de los efectos adversos sobre la salud de la población general y en grupos de riesgo, que se traduce en un evidente incremento agudo de la morbilidad y mortalidad que sobrecarga los servicios asistenciales; da lugar a una SITUACIÓN DE EMERGENCIA AMBIENTAL.

Fuente: NC: 111/2004: calidad del aire-Reglas para la vigilancia de la Calidad del aire en asentamientos humanos.

Las estimaciones de la tasa de deposición de polvo mensual será considerada como índice indirecto de contaminación del aire y se determinará a partir de los valores medidos

y el valor de \overline{RMP} utilizando las siguientes expresiones:

$$TDep. = TDep^{Medida} * \overline{RMP} \quad (6)$$



Donde:

$TDep$ Tasa de deposición de polvo estimada en [mg/m².d]
el punto de muestreo.

$TDep^{medida}$ Tasa de deposición de polvo medida [mg/m².d]

Finalmente se establece el indicador de calidad para las deposiciones (ICD) utilizando como criterio el valor resultante del cociente de la tasa de deposición estimada del contaminante entre la tasa de deposición de referencia determinada por las mediciones realizadas antes de las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A según la siguiente ecuación:

$$ICD = \sum_{i=1}^n \frac{TDep_i}{TDep^{fondo}_i} \quad (7)$$

Donde:

$TDep_i$ Tasa de deposición estimada del [mg/m².d]
contaminante i.

$TDep^{fondo}$ Tasa de deposición de referencia para el [mg/m².d]
polvo = 2,003

Para la evaluación de la calidad de los residuales será utilizado el Índice de Calidad del Residual (ICR), que considera el cumplimiento de todos los parámetros básicos de la NC 27:1999 Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Requisitos (ICR<0).

El límite máximo permisible promedio para las concentraciones en las descargas de aguas residuales aplicables a las instalaciones de tratamiento de residuales de cementos Cienfuegos S.A., corresponden a la clasificación de cuerpo receptor clase B (según epígrafe 5.1 de la NC 27:1999) -Ríos, embalses y zonas hidrogeológicas donde se captan aguas para el riego agrícola en especial donde existan cultivos que se consuman crudos, se desarrolla la acuicultura y se realizan actividades recreativas en contacto con el agua.

$$ICR = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{VMA_i} \quad (8)$$



Donde:

R_i Valor del parámetro medido i. [según la unidad]

VMA Valor Máximo Admisible del parámetro i. [según la unidad]

Tabla III.4: Valores Máximos admisibles de los parámetros de calidad del residual vertido en un cuerpo receptor clase B según la NC 27:1999.

Parámetro	pH	CE	Nt	Pt	DBO ₅	DQO	S. sed	Grasa y aceites
		μΩ/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
VMA	9,00	2000	10	4	30	70	2	10

Fuente: NC 27:1999: Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Especificaciones.

III.2. Aplicación del programa a los resultados de las mediciones ambientales del 2009-2010.

La metodología de análisis propuesta en el programa de monitoreo puede ser aplicada a las mediciones ex antes, tal como se establece en el punto 8.2.4 de la NC 111:200, ya que el análisis retrospectivo del comportamiento de los índices de la calidad en general, y particular para cada contaminante presente en el territorio a lo largo de períodos de tiempo más prolongados (mensuales y anuales), permite evaluar su tendencia temporal y su posible relación con la efectividad de las medidas de control adoptadas.

En la presente investigación se realiza esta evaluación para el período 2009-2010, utilizando los resultados de las mediciones realizadas a los puntos de muestreo establecidos en el anterior programa, en los que la valoración realizada dista mucho de la objetividad por cuanto no establece comparaciones respecto a los límites normados ni refiere a los índices de calidad del aire como niveles referenciales para la toma de decisiones.

III.2.1 Monitoreo de las operaciones portuarias asociadas a la descarga y la carga de petcoke y clínker respectivamente.

La valoración de la posible influencia de las operaciones de descarga y carga de petcoke y clínker se realiza por los resultados de las mediciones en el punto de muestreo del muelle No.4 de la terminal portuaria de Cienfuegos.



Tabla III.5: Resultados de concentración medias mensuales de metales pesados en el muelle No.4 del puerto de Cienfuegos.

Puntos	Concentración CMP							
	[mg/kg]							
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co
Puerto Cfgos	100	<2.07	100	40	400	150	350	4.12

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010.

Tabla III.6: Relación de concentración medias mensuales de los trazadores en el muelle No.4 del puerto de Cienfuegos.

Puntos	Trazador								
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co	RMP_j
Puerto. Cfgos	0,1000	-	-	0.70	-	-	-	-	0,23
								\overline{RMP}	0,23

Fuente: Elaboración propia.

Los valores inferiores a cero de la relación de concentración medias mensuales de los trazadores, son una evidencia de la existencia de otras fuentes no asociadas a los productos comercializados de Cementos Cienfuegos S.A a través del puerto.

Tabla III.7: Resultados de las mediciones de polvo en el Muelle No.4 del puerto de Cienfuegos.

Meses	Tasa de deposición de polvo	Concentración de polvo en aire
	$TDep^{Medida}$	C^{Medida}
	[g/m ² d]	[µg/m ³]
Dic-08	0.27	165
Ene-09	0.1	267
Feb-09	0.03	157
Mar-09	0.14	271
Abr-09	0.13	221
May-09	-	145
Jun-09	0.25	160
Jul-09	0.3	75
Ago-09	0.01	130
Sep-09	0.03	180

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010



Tabla III.8: Resultados de las estimaciones de las mediciones en el Muelle No.4 del puerto de Cienfuegos.

Meses	Tasa de deposición estimada	Concentración estimada de polvo en aire
	$TDep$	CE
	[g/m ² d]	[µg/m ³]
Dic-08	0,103	63,17
Ene-09	0,04	102,23
Feb-09	0,01	60,11
Mar-09	0,05	103,76
Abr-09	0,05	84,62
May-09	-	55,52
Jun-09	0,10	61,26
Jul-09	0,11	28,72
Ago-09	0,00	49,77
Sep-09	0,01	68,92

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.9: Resultados del cálculo de los índices de calidad del aire mensuales en el Muelle No.4 del Puerto de Cienfuegos.

Meses	Concentración		ICA		Evaluación
	Estimada	Normada			
	CE_i	CMA_i	-	x100	
	µg/m ³				
Dic-08	63,17	100	0,63	63	buena
Ene-09	102,23		1,02	102	deficiente
Feb-09	60,11		0,60	60	buena
Mar-09	103,76		1,04	104	deficiente
Abr-09	84,62		0,85	85	aceptable
May-09	55,52		0,56	56	buena
Jun-09	61,26		0,61	61	buena
Jul-09	28,72		0,29	29	buena
Ago-09	49,77		0,50	50	buena
Sep-09	68,92		0,69	69	buena

Fuente: Elaboración propia.

El ICA calculado nos muestra un comportamiento favorable en la calidad del aire, en el caso de los meses de enero y marzo la concentración de polvo estimada asociada a las operaciones portuarias de clínker y petcoke (realizada en esos dos meses), presentó un incremento entre un 2 -4% por encima del valor máximo admisible, esto fue motivado por



la baja eficiencia de los sistemas de desempolvado instalados en los sistemas de trasiego de carga al buque.

La revisión de los filtros y los cambios de mangas filtrantes realizados restablecieron las condiciones normales de la zona.

En el caso de las deposiciones se observa un comportamiento de las deposiciones muy inferior a los niveles de fondo. Contrariamente a lo que se debía esperar, en los meses de enero y marzo la tasa de deposición se mantuvo baja a pesar de que existieron altas concentraciones de polvo en el aire esto se debe a los vientos de componente norte que desviaban hacia el mar las partículas en suspensión.

Tabla III.11: Estimado de concentración media mensual de metales pesados en aire en el Muelle No. 4 del Puerto de Cienfuegos.

Metal Pesado	Concentración									
	CMP^{aire}									
	[mg/m ³]									
	Dic-08	Ene-09	Feb-09	Mar-09	Abr-09	May-09	Jun-09	Jul-09	Ago-09	Sep-09
Cobalto	2.53E-07	4.09E-07	2.41E-07	4.15E-07	3.39E-07	2.22E-07	2.45E-07	1.15E-07	1.99E-07	2.76E-07
Níquel	4.19E-06	6.78E-06	3.99E-06	6.88E-06	5.61E-06	3.68E-06	4.06E-06	1.90E-06	3.30E-06	4.57E-06
Vanadio	2.15E-05	3.48E-05	2.04E-05	3.53E-05	2.88E-05	1.89E-05	2.08E-05	9.77E-06	1.69E-05	2.34E-05
Plomo	1.71E-06	2.76E-06	1.62E-06	2.80E-06	2.29E-06	1.50E-06	1.66E-06	7.76E-07	1.34E-06	1.86E-06
Cobre	6.14E-07	9.93E-07	5.84E-07	1.01E-06	8.22E-07	5.40E-07	5.95E-07	2.79E-07	4.84E-07	6.70E-07

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010.

Tabla III.12: Índice de calidad del aire en base a metales pesados.

Metal Pesado	ICA									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Cobalto	2,53E-04	4,09E-04	2,41E-04	4,15E-04	3,39E-04	2,22E-04	2,45E-04	1,15E-04	1,99E-04	2,76E-04
Níquel	2,10E-02	3,39E-02	2,00E-02	3,44E-02	2,81E-02	1,84E-02	2,03E-02	9,50E-03	1,65E-02	2,29E-02
Vanadio	1,08E-02	1,74E-02	1,02E-02	1,77E-02	1,44E-02	9,45E-03	1,04E-02	4,89E-03	8,45E-03	1,17E-02
Plomo	5,70E-03	9,20E-03	5,40E-03	9,33E-03	7,63E-03	5,00E-03	5,53E-03	2,59E-03	4,47E-03	6,20E-03
Cobre	3,07E-04	4,97E-04	2,92E-04	5,05E-04	4,11E-04	2,70E-04	2,98E-04	1,40E-04	2,42E-04	3,35E-04
Evaluación	buena									

Fuente: Elaboración propia

Al analizar el índice de calidad del aire sobre la base de los metales pesados observamos que sus concentraciones son muy inferiores a los valores normados (ICA<0).



III.2.2 Red de Monitoreo de las emisiones en el territorio.

Para determinar la posible influencia de las emisiones directas de los procesos de producción de cemento y clínker se establecen los puntos de muestreo de la red. Los resultados y su evaluación se realizan a continuación.

Tabla III.13: Resultados de concentración medias mensuales de metales pesados en los puntos de muestreo de la red de monitoreo.

Puntos	Concentración							
	CMP							
	[mg/kg]							
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co
Entrada fáb.	700	<2.07	25	100	800	75	150	4.12
P. carbón	25	<2.07	25	43	350	30	250	4.12
Guabairo	25	<2.07	25	34	150	28	950	4.12
S. de SIDA	15	<2.07	3.28	33	300	50	150	4.12
Guaos	25	<2.07	25	35	25	28	325	4.12
J. Botánico	50	<2.07	50	50	225	67	300	4.12
Caonao	625	<2.07	25	150	1200	125	125	4.12

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010.

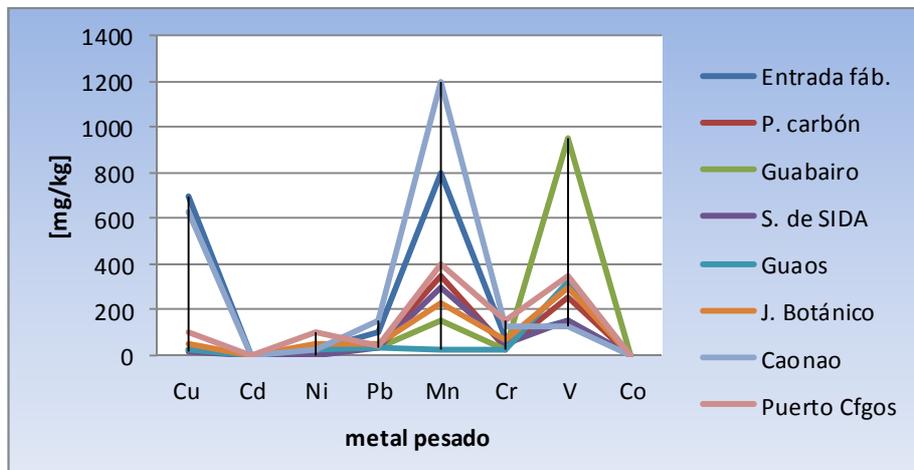


Figura III.1: Concentración de metales pesados en las muestras de la red de monitoreo

De estos resultados podemos hacer las siguientes observaciones:

- Los valores de concentración de Cu son muy superiores a los materiales de proceso principalmente en Caonao y en la entrada de la fábrica, por lo que debe existir otra fuente no asociada a las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A.



- El Cd y el Co no son representativos en el medio ambiente por cuanto sus valores de concentración son inferiores al Límite de Control.
- No se midieron las concentraciones de Zn en las muestra por lo que no será considerado como trazador.
- Con excepción del puerto de Cienfuegos los valores de concentración para el Ni son muy uniformes, esto nos permite inferir que el valor corresponde a la concentración de fondo en el territorio, en el caso del puerto la concentración es 4 veces mayor pudiendo estar relacionado con las descargas de petcoke. En el resto del territorio el petcoke a pesar de tener una alta concentración de Ni no tiene una detectable influencia, ya que en el horno ocurre un proceso de dilución de sus cenizas en el clínker (310 ton petcoke/3100 ton de clínker). Posteriormente ocurre otra dilución de la concentración del Ni presente en el clínker con los aditivos para producir cemento. Esto justifica además las diferencias entre las concentraciones en los distintos materiales de proceso.
- Las concentraciones de Cr por su parte son muy elevadas en los puntos de Caonao y el Puerto, evidenciando la presencia de otras fuentes antropogénicas de contaminación.

Tabla III.14: Relación de concentración medias mensuales de los trazadores de los puntos de muestreo y los de materiales de proceso.

Puntos	Trazador								
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co	RMP _J
Entrada fáb.	0,0143	-	-	0,1000	-	-	-	-	0,06
P. carbón	0,4000	-	-	0,2326	-	-	-	-	0,52
Guabairo	0,4000	-	-	0,2941	-	-	-	-	0,55
S. de SIDA	0,6667	-	-	0,3030	-	-	-	-	0,82
Guaos	0,4000	-	-	0,2857	-	-	-	-	0,54
J. Botánico	0,2000	-	-	0,2000	-	-	-	-	0,30
Caonao	0,0160	-	-	0,0667	-	-	-	-	0,05
								$\overline{\overline{RMP}}$	0,4

Fuente: Elaboración propia.

Los valores inferiores a cero de la relación de concentración medias mensuales de los trazadores, son una evidencia de la existencia de otras fuentes no asociadas a los materiales de proceso de Cementos Cienfuegos S.A.



Tabla III.15: Resultados de la tasa de deposición medida en los puntos de muestreo de la red de monitoreo.

Puntos	Tasa de deposición									
	$TDep^{Medida}$									
	[g/m ² d]									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb.	0.45	0.4	0.1	0.3	0.2	0.25	-	0.3	-	-
P. carbón	0.65	0.45	-	1.7	1.9	0.4	1.2	0.8	0.45	0.1
Guabairo	0.85	0.8	-	-	-	0.3	0.4	0.3	-	-
S. de SIDA	0.2	-	-	0.1	0.15	-	-	0.05	-	-
Guaos	0.05	0.1	0.25	0.15	-	-	0.05	-	-	-
J. Botánico	0.01	-	-	-	0.01	-	-	0.05	-	-
Caonao	0.05	0.05	0.05	-	-	0.05	-	-	-	-

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010

Tabla III.16: Tasa de deposición asociada a las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A.

Punto	Tasa de deposición									
	$TDep$									
	[g/m ² d]									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb.	0,172	0,153	0,038	0,115	0,077	0,096	0,000	0,115	0,000	0,000
P. carbón	0,249	0,172	0,000	0,651	0,727	0,153	0,459	0,306	0,172	0,038
Guabairo	0,325	0,306	0,000	0,000	0,000	0,115	0,153	0,115	0,000	0,000
S. de SIDA	0,077	0,000	0,000	0,038	0,057	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000
Guaos	0,019	0,038	0,096	0,057	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000
J. Botánico	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000
Caonao	0,019	0,019	0,019	0,000	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.17: Resultados del cálculo de los índices de calidad de la deposición de polvo mensuales en las muestras de la red de monitoreo.

Punto	ICD									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb	9	8	2	6	4	5	0	6	0	0
P. carbón	12	9	0	32	36	8	23	15	9	2
Guabairo	16	15	0	0	0	6	8	6	0	0
S. de SIDA	4	0	0	2	3	0	0	1	0	0
Guaos	1	2	5	3	0	0	1	0	0	0
J. Botánico	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Caonao	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Evaluación	<i>buena</i>									

Fuente: Elaboración propia.



Los ICD <0 muestran una baja influencia de las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A. en las deposiciones de polvo del territorio al comportarse por debajo de los valores de fondo.

Tabla III.18: Concentración de polvo en los puntos de muestreo de la red de monitoreo

Punto	Concentración de polvo en aire									
	C_{Medida}									
	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb	8.3	7.4	1.8	5.6	3.7	4.6	-	5.6	-	-
P. carbón	12.1	8.3	-	31.6	35.3	7.4	22.3	14.9	8.3	1.8
Guabairo	15.8	14.9	-	-	-	5.6	7.4	5.6	-	-
Guaos	0.9	1.8	4.6	2.8	0.0	-	0.9	-	-	-

Fuente: Informe de ensayo Laboratorio del CEAC año 2010.

Tabla III.19: Concentración estimada de polvo en los puntos de muestreo de la red de monitoreo

Punto	Concentración estimada de polvo en aire									
	CE_i									
	[$\mu\text{g}/\text{m}^3$]									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb	3,18	2,83	0,69	2,14	1,42	1,76	-	2,14	-	-
P. carbón	4,63	3,18	-	12,10	3,52	2,83	8,54	5,70	,18	0,69
Guabairo	6,05	5,70	-	-	-	1,4	2,83	2,14	-	-
Guaos	0,34	0,69	1,76	1,07	-	-	0,34	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla III.20: Índice de calidad del aire en los puntos de la red de monitoreo.

Punto	ICA									
	dic-08	ene-09	feb-09	mar-09	abr-09	may-09	jun-09	jul-09	ago-09	sep-09
Entrada fáb.	3	3	1	2	1	2	-	2	-	-
P. carbón	5	3	-	12	4	3	9	6	0	1
Guabairo	6	6	-	-	-	0	3	2	-	-
Guaos	0	1	2	1	-	-	0	-	-	-
Evaluación	buena									

Fuente: Elaboración propia.



El índice de calidad del aire ICA<0 muestra una baja influencia de la componente de las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A. a la concentración global de polvo en el territorio.

III.2.3 Residuales.

El programa no incluía el monitoreo de residuales por lo que no se tienen datos.

III.3 Resultados parciales del nuevo programa de monitoreo. Análisis de las mediciones.

Una vez diseñado el nuevo programa de monitoreo se decidió comenzar su implementación a partir del mes de abril del año en curso, manteniendo el servicio de muestreo y medición de las muestras al laboratorio del CEAC. Tal como se establece en el programa, se mantienen los anteriores métodos de recolección y medición de muestras, Los resultados de las mediciones se muestran a continuación.

Tabla III.21: Resultados de concentración medias mensuales de metales pesados en los puntos de muestreo de la red de monitoreo.

Puntos	Concentración de Metales Pesados							
	CMP							
	[mg/kg]							
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co
Guabairo	17	2,07	75	29	-	61	560	4,12
P. la cueva	20	2,07	48	40	-	41	132	4,12
CNCI	25	2,07	68	29	-	33	245	4,12
E. Puerto	87	2,07	89	46	-	18,7	450	4,12

Fuente: Cementos Cienfuegos S.A.

Tabla III.22: Relación de concentración de los trazadores de los puntos de muestreo y los de materiales de proceso.

Material	Relación de metales pesados								
	RMP								
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co	RMP _j
Guabairo	0,59			0,96	-	-	-	-	0,78
P. la cueva	0,33			0,70	-	-	-	-	0,52
CNCI	0,35			0,96	-	-	-	-	0,66
E. Puerto	0,03			0,60	-	-	-	-	0,32
								<u><u>RMP</u></u>	0,57

Fuente: Elaboración propia.



Al igual que en años anteriores se observa que el contenido de metales pesados en los materiales asociados a las operaciones tecnológicas de Cementos Cienfuegos S.A es inferior a los de las muestras colectadas en los puntos de la nueva red de monitoreo, por lo que es de esperar un comportamiento muy similar del resto de las variables.

Tabla III.23: Resultados de las estimaciones de las mediciones en las muestras de la red de monitoreo y el ICD.

Punto	Tasa de deposición de polvo				ICD		Evaluación
	$TDep^{Medida}$		$TDep$				
	[g/m ² d]				abr-11	may-11	
	abr-11	may-11	abr-11	may-11			
Guabairo	0,4	0,52	0,23	0,30	11	15	buena
P. la cueva	0,37	0,29	0,21	0,17	11	8	buena
CNCI	0,29	0,38	0,17	0,22	8	11	buena
E. Puerto	0,67	0,78	0,38	0,44	19	22	buena

Fuente: Elaboración propia.

Tabla III.24: Resultados de las estimaciones de las mediciones en las muestras de la red de monitoreo y el ICD.

Punto	Concentración de polvo				ICD		Evaluación
	C^{Medida}		CE				
	[µg/m ³]				abr-11	may-11	
	abr-11	may-11	abr-11	may-11			
Guabairo	136	147	136,8	83,79	78	84	aceptable
P. la cueva	96	76,5	96,5	43,605	55	44	buena
CNCI	56	67	56,1	38,19	32	38	buena
Muelle No.6	112	126,1	112,3	71,877	64	72	buena

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados anteriores podemos observar que la influencia de las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A. a la concentración global y la deposición de polvo en el territorio es baja en comparación con los reportados por las mediciones. En el caso del poblado de guabairo a pesar de mantener esta tendencia la evaluación es de aceptable y esto se debe fundamentalmente a que dicha localidad se encuentra dentro de la zona de protección sanitaria de la entidad, por lo que tiene un mayor potencial de ser impactada con las emisiones procedente de las torres de transferencia y la operaciones de la mina.

El muelle No.6 del puerto de Cienfuegos se encuentra también dentro de la zona de protección sanitaria de las instalaciones para el trasiego de clínker y petcoke en el puerto



por lo que los valores de concentración y deposición de polvo tienen una ligera tendencia a aumentar en los meses donde se realizan los embarques.

Tabla III.25: Resultados de las mediciones en las muestras de los sistemas de tratamiento de residuales y el ICR

Punto	Parámetros									ICR _{TOTAL}
	pH	CE	Nt	Pt	DBO ₅	DQO	S. sed	STS	Grasa y aceites	
		$\mu\Omega/cm$	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	
Entrada de la laguna	7,1	687	<LC	<LC	23,5	<LC	12	65	18,5	
Salida laguna	7,4	546	<LC	<LC	10,5	<LC	<LC	2,8	5,4	22
Salida sistema de tratamiento Almacén de Carbón	8.2	712	<LC	<LC	23	<LC	<LC	10	5,4	29

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte los valores de los parámetros de los residuales en ambos sistemas se mantienen muy por debajo de los límites normados, lo que evidencia el buen funcionamiento de los sistemas de tratamiento de residuales instalados a la salida del emplazamiento de Cementos Cienfuegos S.A.

III.4 Evaluación de las emisiones gaseosas.

La evaluación de las emisiones gaseosas producto de la combustión y la descarbonatación es un tema muy complejo a la hora de poder determinar el aporte de cada fuente de contaminación presente en un territorio a la concentración en un punto, ya que no existen trazadores que faciliten la caracterización de la emisión.

El proceso de descarbonatación de la piedra caliza ($Ca_2CO_3 \rightarrow CO_2 + CaO$) ocurre en el precalentador y sus emisiones se producen la chimenea instalada en el mismo a una altura de 200 m sobre el nivel del mar por lo que no tiene efecto directo sobre el terreno.

No obstante Cementos Cienfuegos S.A. tiene evaluada una metodología para determinar la emisión CO_2 que representa el 80% de sus emisiones y es un gas de efecto invernadero. Esta metodología fue elaborada sobre la base de cálculo elaborada por el IPCC (International Panel Climate Change) y que establece la siguiente expresión para calcular la tasa de emisión de CO_2 por tonelada de clinker producido.

$$ECO_2 = ECO_{2\text{calcin}} + ECO_{2\text{comb}} \quad (9)$$



Donde:

ECO ₂	Emisión de CO ₂ por toneladas de clínker producido	[tCO ₂ /ton clínker]
ECO _{2calcín}	Emisión de CO ₂ por toneladas de clínker producido debido a la calcinación de la caliza	[tCO ₂ /ton clínker]
ECO _{2 comb}	Emisión de CO ₂ por toneladas de clínker producido debido a la combustión	[tCO ₂ /ton clínker]

$$ECO_{2calcín} = [0.785*(OutCaO) + 1.092*(OutMgO)] / Clik * 1000 \quad (10)$$

Donde:

OutCaO	Cantidad de CaO en el clínker	[tCaO]
OutMgO	Cantidad de MgO en el clínker	[tMgO]
0.785	Estequiométrico del CaO	
1.092	Estequiométrico del MgO	
Clik	Cantidad de clínker producido	[tclínker]

$$OutCaO = \%CaO * \text{cantidad de clínker producido} \quad (11)$$

$$OutMgO = \%MgO * \text{cantidad de clínker producido} \quad (13)$$

Tabla III.26: Valores de las estadísticas de producción del 2011

2011	Clinker				
	Producción	CaOi	OutCaOi	MgOi	OutMgOi
Mes	ton	%	ton	%	ton
ene	72328	64,73	46817,9144	1,51	1092,1528
feb	84277	65,12	54881,1824	1,37	1154,5949
mar	61625	65,23	40197,9875	1,62	998,325
abr	93105	65,23	60732,3915	1,62	1508,301
may	82425	65,12	53675,16	1,68	1384,74

Fuente: Cementos Cienfuegos S.A:



Los valores de los contenidos de CaO y MgO en el clínker son obtenidos directamente del laboratorio de control de calidad propiedad de Cementos Cienfuegos S.A. los mismos son determinados por las mediciones en equipos de fluoroscopia de rayos x.

Los resultados finales de los cálculos de la emisión de CO₂ se muestran en la siguiente tabla:

Tabla III.27: Tabla resumen de los cálculos del factor de emisión de CO₂

Parámetro	Valor	Unidad	Valor calculado
ECO₂		[t CO₂/t clínker]	0,89
ECO₂calcin		<i>[t CO₂/t clínker]</i>	0,56
InCaO	0	<i>[t]</i>	
OutCaO	683240,54		
InMgO	0	<i>[t]</i>	
OutMgO	17358,63	<i>[t]</i>	
Clik	993336	<i>[kt]</i>	
E_{comb}		<i>[t CO₂/t clínker]</i>	0,34
FF_{diesel}	587,29	<i>[tcomb]</i>	
EFF_{diesel}	3,145545	<i>[tCO₂/t comb]</i>	
FF_{petcoke}	107251,00	<i>[tcomb]</i>	
EFF_{petcoke}	3,12975	<i>[tCO₂/t comb]</i>	
FF_{carbón}	1033,63	<i>[tcomb]</i>	
EFF_{carbón}	2,77	<i>[tCO₂/t comb]</i>	
Ff_{crudo cubano}	7,73	<i>[tcomb]</i>	
EFF_{crudo cubano}	2,813254	<i>[tCO₂/t comb]</i>	

Fuente: Elaboración propia.

La producción total de clínker en el período de enero a mayo fue de 371573.00 ton por lo que se produjo una emisión de 330699,97 ton de CO₂



Conclusiones parciales.

1. Las emisiones de polvo asociadas a las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. no producen un impacto significativo en la concentración y la deposición de polvo en el territorio.
2. La influencia de las operaciones de Cementos Cienfuegos S.A. tienen un carácter local, fundamentalmente dentro de la zona de protección sanitaria donde existe potencial de sobre paso de los límites admisibles de concentración de polvo durante las desviaciones del régimen tecnológico o averías.
3. La aplicación retrospectiva del monitoreo evidencia un comportamiento muy similar de las emisiones.
4. Las descargas de los sistemas de residuales se realizan con parámetros muy por debajo de los normados lo que evidencia el buen funcionamiento de los mismos.
5. La tasa de emisión de CO₂ muestra un comportamiento dentro de los estándares internacionales para este tipo de industria con una emisión total hasta el mes de mayo de 330699,97 ton de CO₂

Conclusiones Generales.



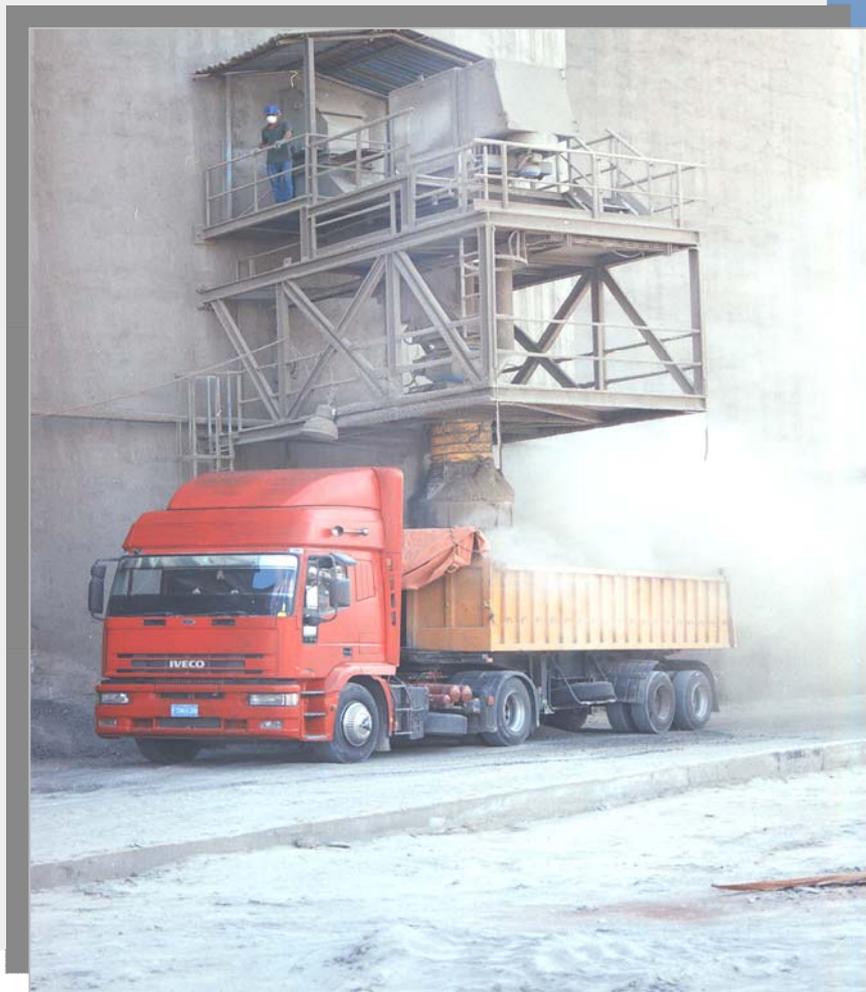
*Toda manifestación de vida
merece respeto. Por favor,
pensemos en nosotros, en
nuestro mundo, es el único
que tenemos.*



Conclusiones Generales.

1. El diseño y posterior ejecución del Programa de Monitoreo Ambiental propuesto nos permitió verificar el cumplimiento de los requisitos regulatorios de calidad del aire y los residuales emitidos desde las fuentes principales de los sistemas tecnológicos de Cementos Cienfuegos S.A., sí como la efectividad de las acciones tomadas para disminuir los impactos ambientales.
2. La caracterización de los términos fuentes facilitaron las estimaciones de dispersión de contaminantes y la determinación de sus curvas de iso-concentración en el territorio de Cienfuegos, las que sirvieron de base para la reestructuración de los puntos de muestreo de la nueva red de monitoreo en las zonas de mayor probabilidad de impacto del penacho.
3. La concentración de los metales pesados de cobre, plomo y zinc son muy representativos en las materias primas, productos intermedios y finales, por lo que fueron utilizados como trazadores de los contaminantes emitidos de los sistemas tecnológicos de Cementos Cienfuegos S.A. para discriminar la contaminación no imputable a sus operaciones de la contaminación global.
4. Los indicadores de calidad del aire y del residual tienen valores menores que la unidad lo demuestran que los niveles de contaminantes de las fuentes de emisión de Cementos Cienfuegos S.A. son inferiores a los niveles establecidos en la legislación ambiental nacional.
5. El análisis retrospectivo de los resultados de los monitoreos anteriores demostraron que los indicadores de contaminación y tasa de deposición tenían un fuerte componente de la contaminación global asociada a otras fuentes antropogénicas que no pudieron ser discriminadas y fueron imputadas en su totalidad a Cementos Cienfuegos S.A.
6. La tecnología instalada y la certificación de las técnicas analíticas del laboratorio del CEAC sobre la base de la norma NC ISO 17025 garantizaron la confiabilidad de los resultados de las mediciones.

Recomendaciones.



*Hay quien cruza el bosque
y sólo ve leña para el
fuego.*



Recomendaciones.

- Aplicar el Programa de Monitoreo Ambiental aquí descrito a instalaciones cementeras del país, para estimar los posibles impactos ambientales de sus operaciones, que le permitan tomar acciones para evitar las emisiones y descargas no controladas.
- Una vez transcurrido un periodo de seis meses a partir de la implementación deberá realizarse una evaluación de los valores obtenidos en las muestras de los puntos de monitoreo y los estimados por los resultados de las corridas de los programas de dispersión, con el objetivo de establecer las posibles correcciones de dichos puntos.
- El punto de muestreo ubicado en el muelle No. 6 de puerto de Cienfuegos deberá ser activado 24 horas antes del comienzo de las operaciones de carga y descarga de clínker y petcoke y desactivado después de finalizadas las operaciones de limpieza, con el objetivo de eliminar la influencia de otras operaciones portuarias no perteneciente a Cementos Cienfuegos S.A.

Bibliografía.



Lo mejor que la naturaleza ha dado al hombre es la brevedad de

Bibliografía:

- Agencia de Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional. (2007). . Anexo Único Resolución No 40 /2007., La Habana, Cuba: CITMA.*
- Agencia de Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional. (2007). . Resolución No 40 /2007 La Habana, Cuba.*
- Álvarez, R., Luciano, M., & Aenlle, L. (2002). Estudio de la estabilidad atmosférica en algunas regiones de la provincia de Cienfuegos, IX, 13.*
- Aranguéz, E. (1999, March). Contaminantes Atmosféricos y su vigilancia, 73, No 2(Española Salud Pública).*
- Arzate, E. (2006). Realización de software educativo para simular la dispersión de contaminantes atmosféricos. Universidad de las Américas. Puebla.México.*
- Ballester, F. (2005, March). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una Introducción. Salud Pública, No 2, 100-121.*
- Barraza, M. (2006). Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Comparación de desempeño en zona de ventanas. Santiago de Chile.*
- Bustos Salas, C. (2004). Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso. Maestría, .*
- Bustos, C. (2004). Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso. Santiago de Chile.*
- Calidad del aire. Gases de Efecto Invernadero (GEI). (1995). . Retrieved June 15, 2011, from [http/ www.insmet.cu](http://www.insmet.cu).*
- Carlos M. López Cabrera. (2006). Introducción a la Gestión de la calidad del aire (p. 703). Centro de química y contaminación atmosférica, DESOFT: Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.*

Carrario, A. (2006). *Utilización de Modelos de Dispersión Atmosférica para la estimación de dosis de exposición*. Buenos Aires. Argentina.

Carrario, Aparicio. (n.d.). Utilización de Modelos de Dispersión Atmosférica para la estimación de dosis de exposición *Mecánica Computacional Vol XXIII pp (1743-1759)*. Buenos Aires. Argentina, noviembre 2006.

Cuesta, O., Wallo, A., Sánchez, P., & Labrador, R. (2002). Utilización de un índice de calidad del aire (ICA) en asentamientos humanos. *Revista Cubana de Meteorología. Servicios, IX(2)*, 8.

Díaz Rebolledo, P. (1976). *Niveles de Contaminación de Polvo Sedimentable sobre la ciudad Cienfuegos*. Cienfuegos: Centro Provincial de Higiene y Epidemiología.

Environmental signals European Environment Agency. (2005). . Environmental assesement report, .

Guías de Calidad de aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre. (2005). .

Harris Lippmann. (n.d.). *Size selective samplers for estimating "respirable" dust concentrations*.

III Taller de Contaminación Atmosférica vs Desarrollo Sostenible. (2008). . La Habana, Cuba: Cuba-Energía.

Impactos Ambientales y Actividades Productivas - Cemento, Cal y Yeso. (2007). .

Retrieved June 15, 2011, from

http://www.estrucplan.com.ar/Nuestros_Servicios/ISO14000.asp.

Instituto Nacional de Ecología. (2007). . Retrieved June 15, 2011, from

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/105/8.html>.

Leiro López, A. (2005). Características específicas de los cementos puzolánicos y

- especiales - Dialnet. Available at: Retrieved June 15, 2011, from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=117474>.
- León, R. M. (2010). *Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de la producción de cemento: Caso de estudio Cementos Cienfuegos S.A.* Diplomado, Cienfuegos.
- Ley No 81 DEL MEDIO AMBIENTE. (1997, July). . Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- Martínez Luzardo, F. (2007). Conferencia Evaluaciones Ambientales. Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas. Ciudad de la Habana.
- Modelos de dispersión para Cuba. (2008). . Retrieved June 15, 2011, from [www.canaria.com/auditoría ambiental.htm](http://www.canaria.com/auditoría_ambiental.htm). User's Guide.
- Muñoz Cruz, R. (1995). *Sistema de Indicadores del estado de la calidad del aire Programa para mejorar la Calidad del Aire en el Valle Mexico*. Secretaría del Medio Ambiente: Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación. México.
- Norma Cubana NC 111/2004 Calidad del Aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos. (2004). .
- Norma Cubana NC: 27/1999: Vertimiento de aguas Residuales a las aguas Terrestres y al alcantarillado. Especificaciones. (1999). .
- Norma Cubana NC: 39/1999: Calidad Del Aire. Requisitos Higiénico –sanitarios. (1999). .
- NTP 475: Nota Técnica: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera: fuentes puntuales instantáneas. (n.d.). . Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. España.
- Ogden, T., & Birkett, J. L. (n.d.). *The human head as a dust sampler. Inhaled particles IV*. Pergamon Press, Oxford: W.H Walton.

Ruíz, L. (2007). Conferencia Evaluaciones Ambientales. Ciudad de La Habana: Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas.

Tabloide Curso Cambio Climático. (2008). . Instituto de Meteorología: Academia, La Habana, Cuba.

Tabloide Curso Cambio Climático Parte 2. (n.d.). . Instituto de Meteorología: Academia La Habana, Cuba.

Tarela, P. (2004). *Calidad del Aire e Impacto en la Salud: Herramientas de Simulación Computacional*. Buenos Aires. Argentina: Mecánica Computacional.

Turtós L. (2004, February). Externalidades ambientales atmosféricas de la generación eléctrica. Proyecto Programa Nacional Desarrollo Energético Sostenible.

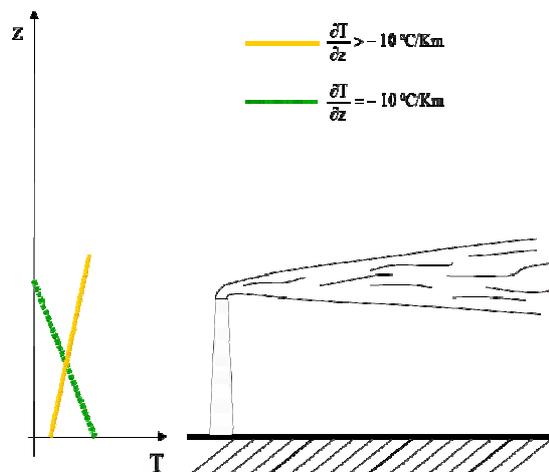
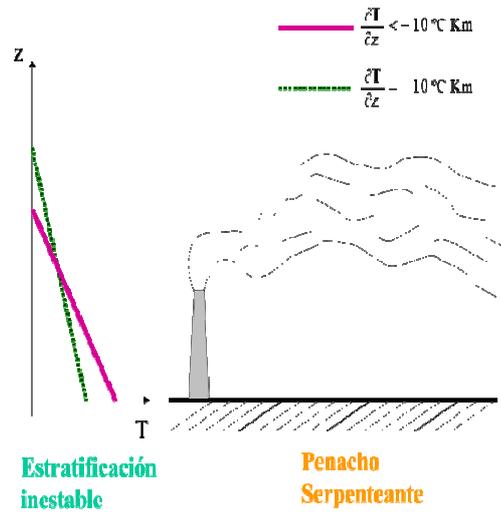
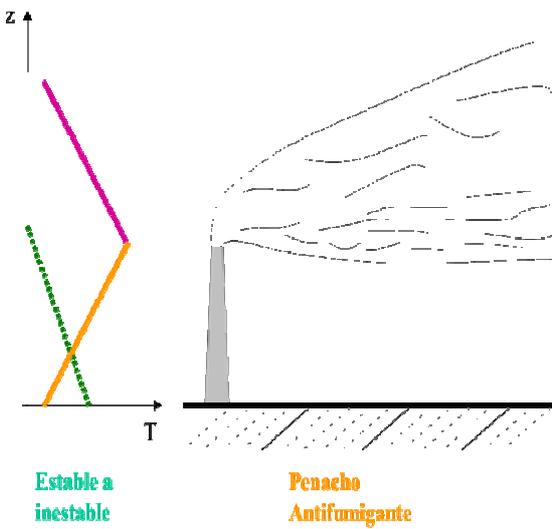
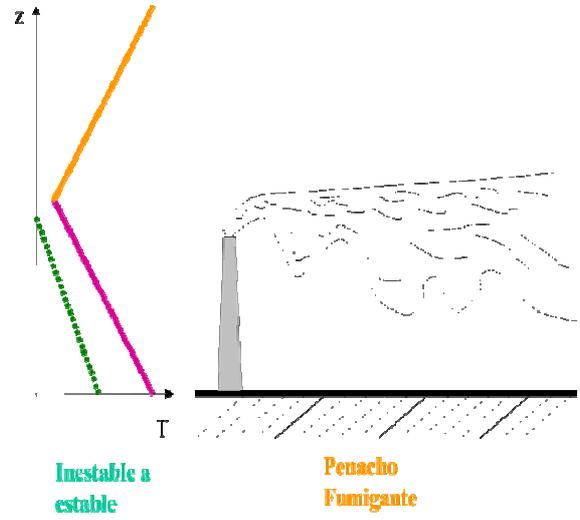
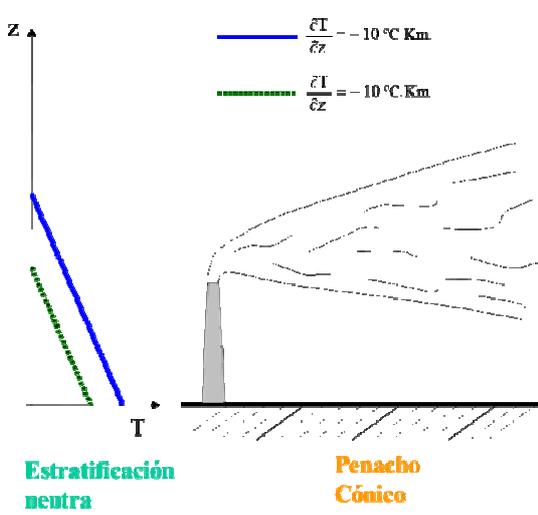
Vicent. (2009). LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA: UNA APROXIMACIÓN A LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA. Instituto Tecnológico del Agua. Camagüey.

Anexos.



La naturaleza es una interpretación transitoria que el hombre ha dado a lo que encuentra frente a sí en su vida. A ésta, pues, como realidad radical - que incluye y preforma todas las demás- somos referidos

Anexo #1: Tipos de chimeneas.



Anexo #2: Resultados de las corridas del software de dispersión.

IMPACTO LOCAL.

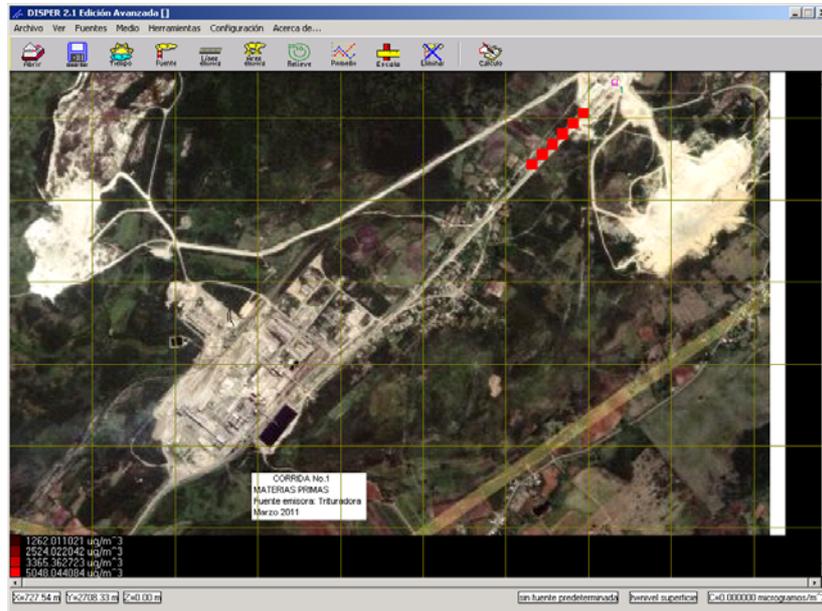


Fig. A#.1- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea de la trituradora (MODO COLOR)

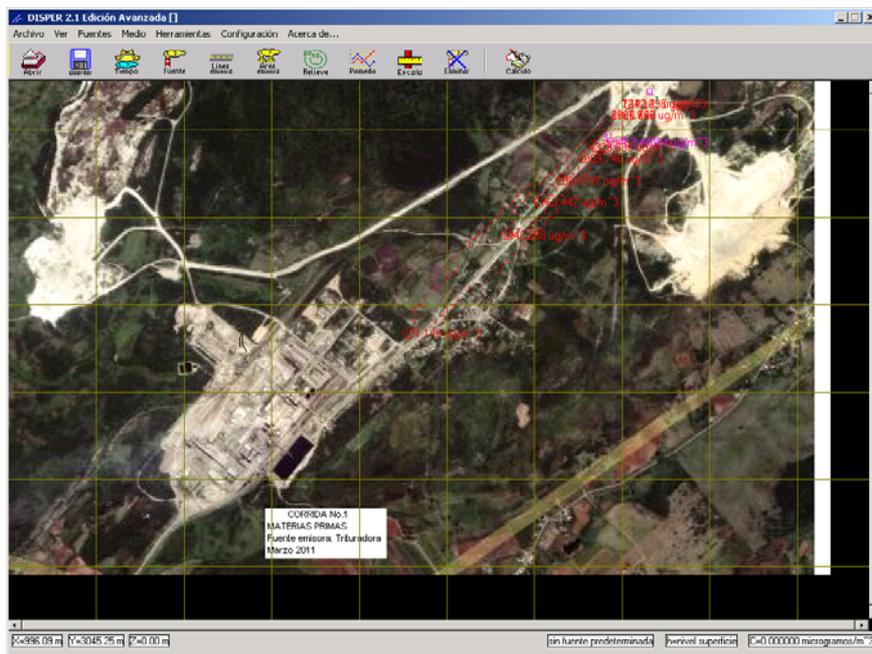


Fig. A#.2- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea de la trituradora (MODO CURVAS DE ISO-CONCENTRACIÓN)

RESUMEN RESULTADOS.

Número de puntos emisores= 1

Altura de la chimenea desde el nivel del suelo= 13.8 m

Velocidad de salida del contaminante= 9 m/s

Temperatura del gas en el punto de salida= 333 K

Diámetro del orificio de salida del gas= 0.71 m

Flujo de salida del contaminante= 60 g/s

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 4

Velocidad del viento= 3.8 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 225

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 800 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 10 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 5048.044084 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 3375.00 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 2867.51 m

Altura efectiva del penacho= 19.18 m

DOMINADO POR FLOTACION

ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

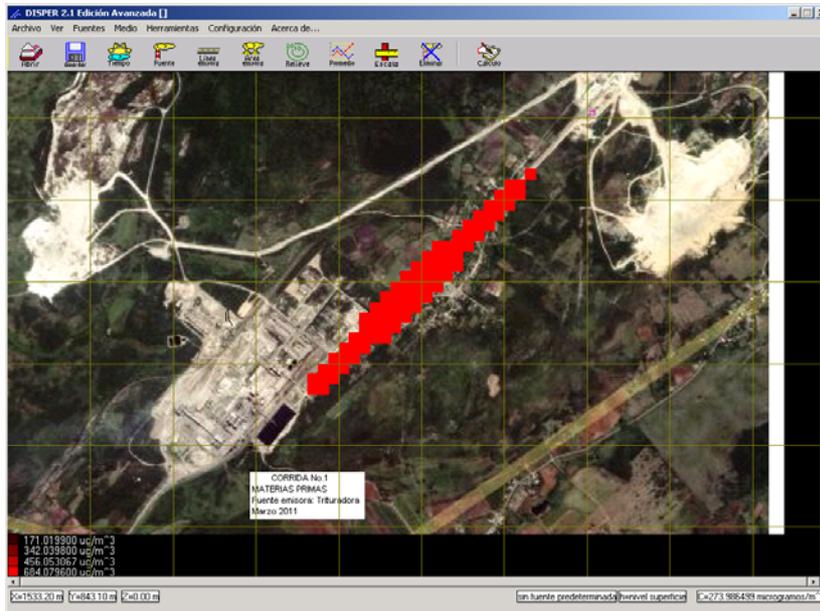


Fig. A#.3- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea del secador (MODO COLOR)

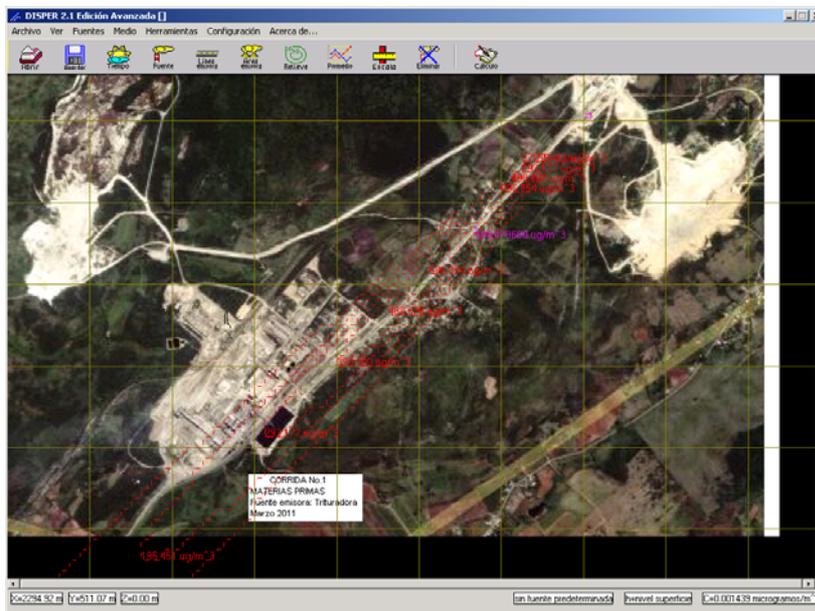


Fig. A#.3- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea del secador (MODO CURVAS DE ISO-CONCENTRACIÓN)

RESUMEN RESULTADOS.

Número de puntos emisores= 1

Altura de la chimenea desde el nivel del suelo= 36 m

Velocidad de salida del contaminante= 1.38 m/s

Temperatura del gas en el punto de salida= 383 K

Diámetro del orificio de salida del gas= 2.8 m

Flujo de salida del contaminante= 60 g/s

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 4

Velocidad del viento= 3.8 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 225

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 800 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 10 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 684.079600 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 2812.50 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 2242.51 m

Altura efectiva del penacho= 46.08 m

DOMINADO POR FLOTACION

ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

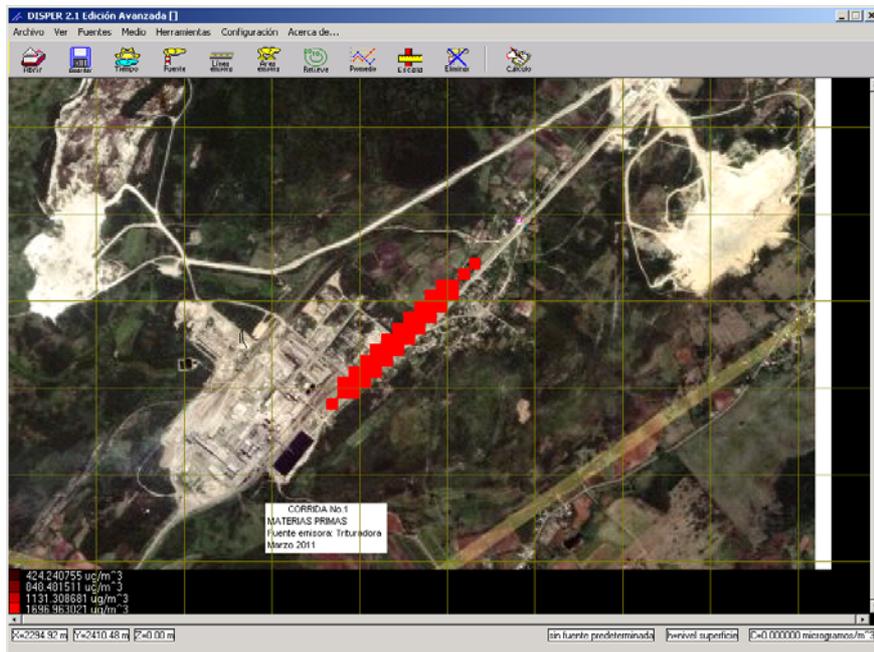


Fig. A#.5- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea de la torre de transferencia No.2 (MODO COLOR)

RESUMEN RESULTADOS.

Número de puntos emisores= 1

Altura de la chimenea desde el nivel del suelo= 28 m

Velocidad de salida del contaminante= 14 m/s

Temperatura del gas en el punto de salida= 313 K

Diámetro del orificio de salida del gas= 0.5 m

Flujo de salida del contaminante= 70 g/s

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 4

Velocidad del viento= 3.8 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 225

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 800 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 10 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 1696.963021 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 2437.50 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 1930.01 m

Altura efectiva del penacho= 32.74 m

DOMINADO POR MOMENTO

ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

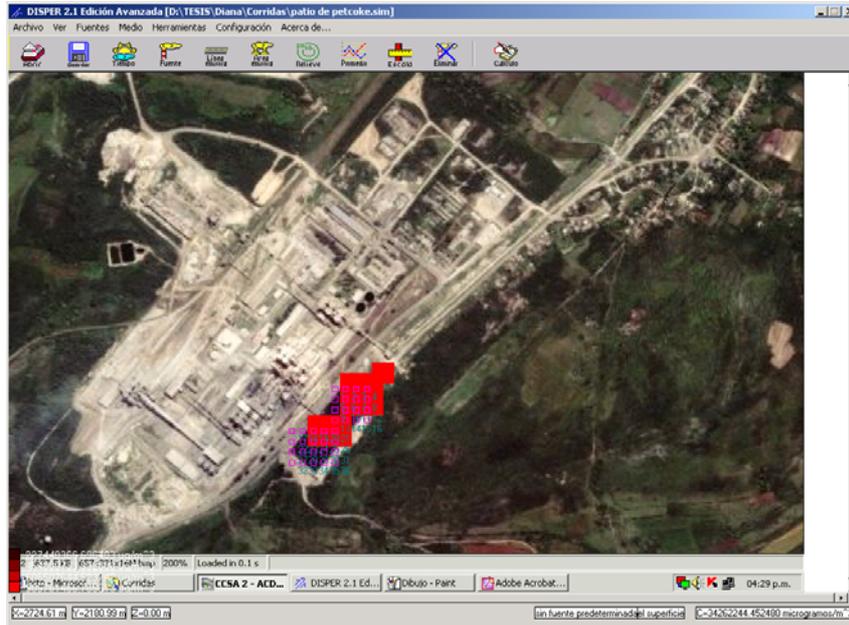


Fig. A#.6- Vista satelital de la pluma de la emisión de las pilas de combustible del almacén de Petcoke (MODO COLOR)

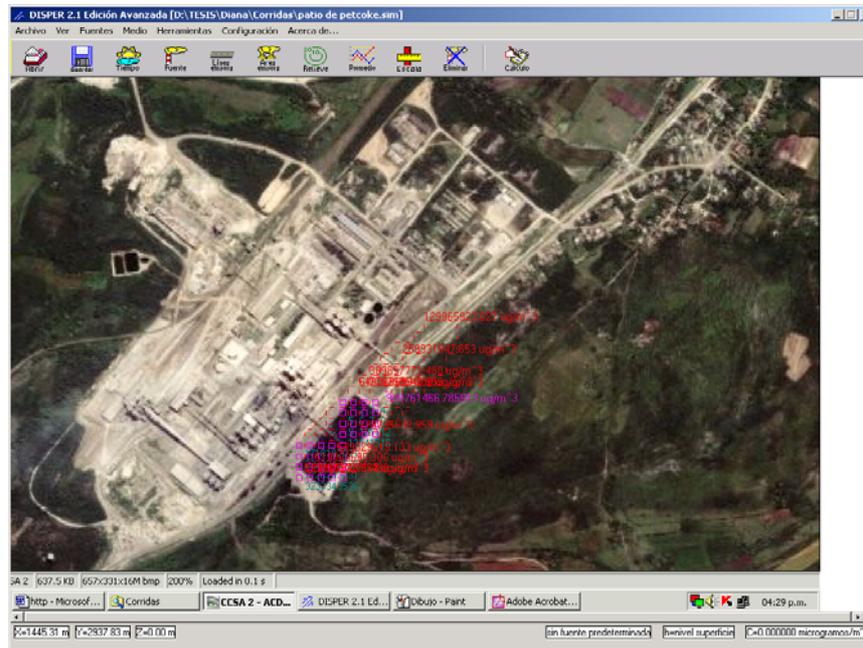


Fig. A#.7- Vista satelital de la pluma de la emisión de las pilas de combustible del almacén de Petcoke (MODO ISO-CONCENTRACIÓN)

RESUMEN RESULTADOS.

Hay un Área activada

Número de puntos emisores= 21

Fuente número= 1

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 2

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 3

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 4

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 5

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 6

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 7

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 8

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 9

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 10

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 11

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 12

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 13

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 14

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 15

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 16

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 17

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 18

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 19

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 20

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 21

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.0000243 g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 2

Velocidad del viento= 2 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 90

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 250 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 10 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 230.580733 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 387.50 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 198.50 m

Altura efectiva del penacho= 0.00 m

Velocidad del viento en el punto de salida= 2.00 m/s

DOMINADO POR FLOTACION

ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

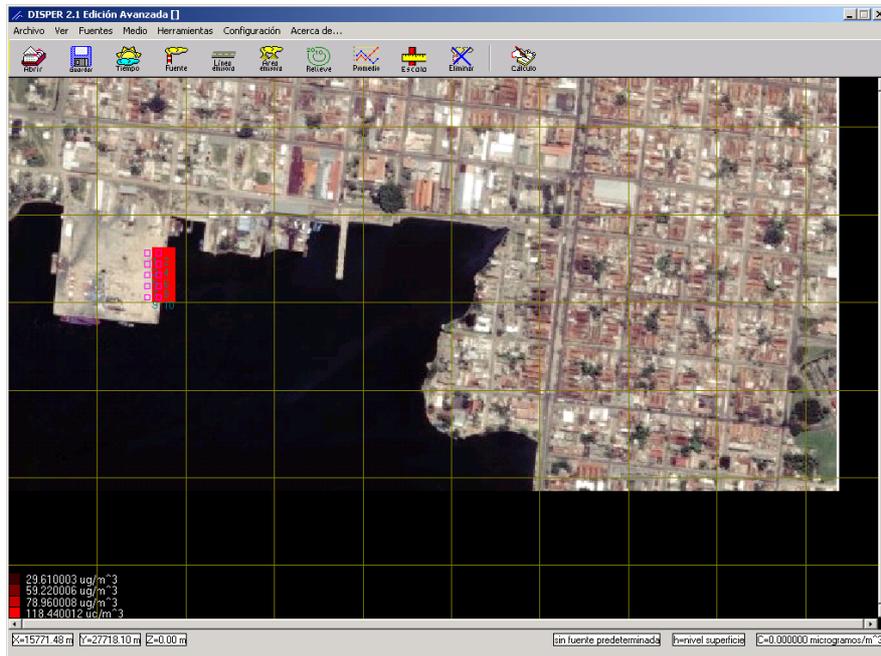


Fig. A#.8- Vista satelital del penacho de la emisión del puerto de Cienfuegos (MODO COLOR)

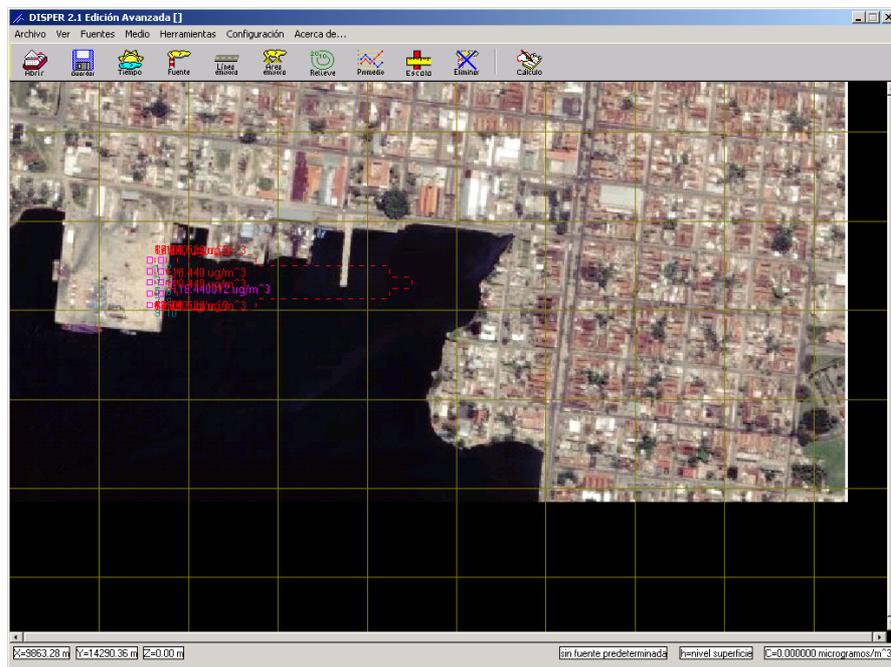


Fig. A#.9- Vista satelital del penacho de la emisión del puerto de Cienfuegos (MODO CURVAS DE ISO-CONCENTRACIÓN)

RESUMEN RESULTADOS.

Número de puntos emisores= 10

Fuente número= 1

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 2

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 3

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 4

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 5

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 6

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 7

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 8

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 9

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Fuente número= 10

Flujo de salida del contaminante por unidad de área= 0.00000752
g/sm²

Coeficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 2

Velocidad del viento= 1.5 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 90

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 250 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 3 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 118.440012 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 8750.00 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 20550.13 m

Altura efectiva del penacho= 0.00 m

Velocidad del viento en el punto de salida= 1.50 m/s

DOMINADO POR FLOTACION

ATMÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

IMPACTO TERRITORIAL.

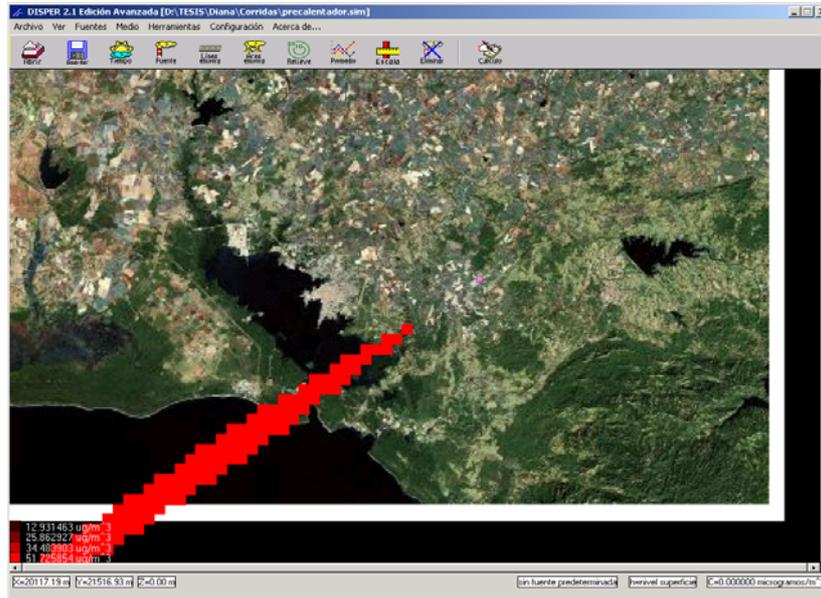


Fig. A#.10- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea del Precalentador de Línea III (MODO COLOR)

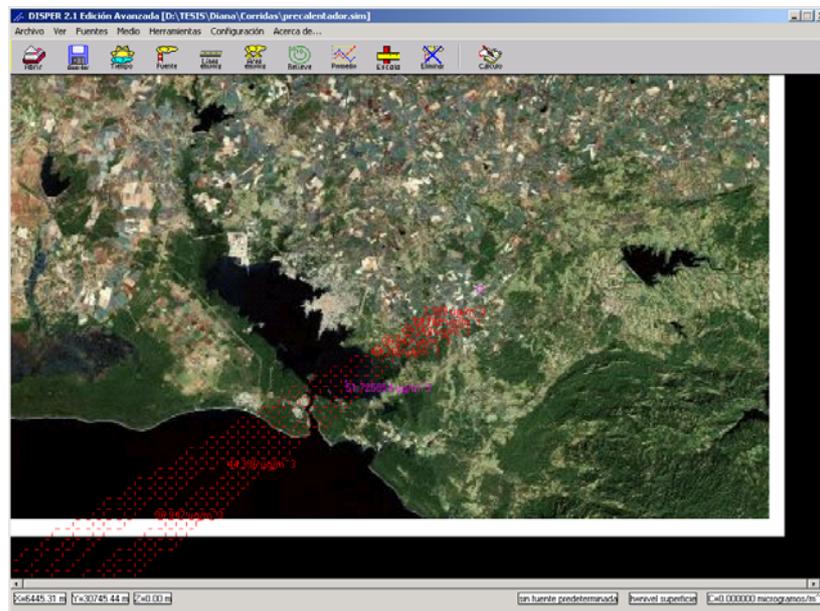


Fig. A#.11- Vista satelital del penacho de la pluma de la chimenea del Precalentador de Línea III (MODO ISO-CONCENTRACIÓN)

RESUMEN RESULTADOS.

Fuente número= 1

Altura de la chimenea desde el nivel del suelo= 96 m

Velocidad de salida del contaminante= 9.03 m/s

Temperatura del gas en el punto de salida= 423 K

Diámetro del orificio de salida del gas= 2.8 m

Flujo de salida del contaminante= 100 g/s

Coefficiente de decaimiento del contaminante= 0 (1/s)

Parámetro de estabilidad atmosférica K de Pasquill-Gifford= 4

Velocidad del viento= 3.5 m/s

Dirección hacia la que sopla el viento (de 0 a 360 grados)= 235

Temperatura del aire T= 303 K

Altura de la capa límite desde el nivel del mar= 250 m

Altura del anemómetro desde la base de la chimenea= 100 m

Atmósfera rural

Concentración máxima= 51.725854 ug/m³

Coordenada X del punto de concentración máxima= 20000.00 m

Coordenada Y del punto de concentración máxima= 13050.13 m

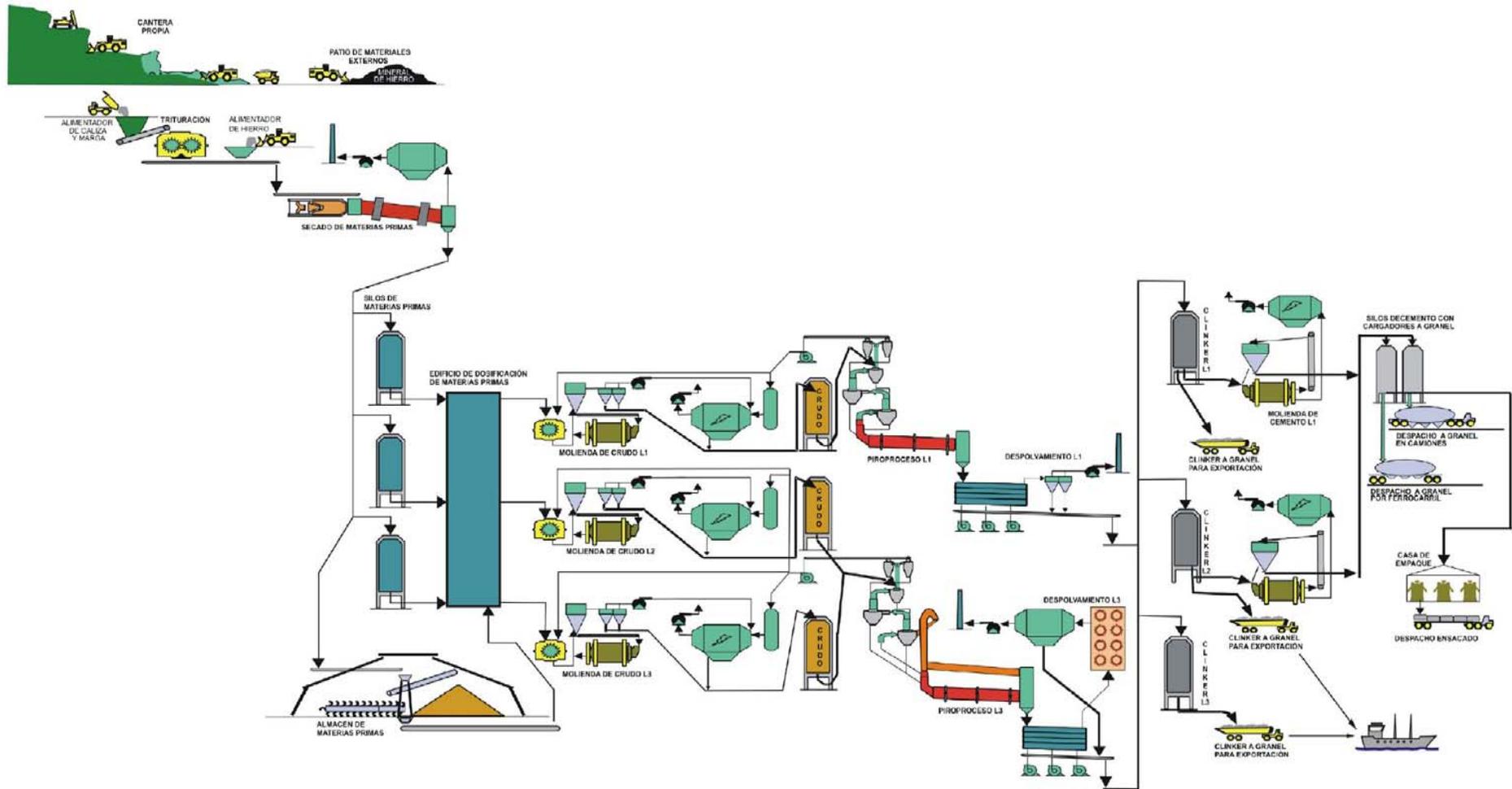
Altura efectiva del penacho= 133.80 m

Velocidad del viento en el punto de salida= 3.48 m/s

DOMINADO POR FLOTACION

ATÓSFERA INESTABLE O NEUTRA

Anexo #3: Proceso de Producción del cemento.



Anexo #4: programa de Monitoreo Ambiental.

Fuente: Elaboración propia.

PROGRAMA DE MONITOREO

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

2. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL MONITOREO.

3. DESCRIPCIÓN DEL NUEVO PROGRAMA DE MONITOREO.

Control de la Calidad del aire en la zona portuaria. Consideraciones generales

Calidad del aire en los alrededores de Cementos Cienfuegos SA.

Calidad de los residuales líquidos descargados al medio ambiente.

Caracterización de las materias primas, combustibles, productos intermedios y finales

4. METODOS DE MUESTREO Y ENSAYOS A APLICAR.

5. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

1. INTRODUCCIÓN.

El presente programa de monitoreo ambiental abarca todas las prácticas con impactos ambientales definidos durante el proceso de licenciamiento de las diferentes etapas del proceso inversionista así como los resultados obtenidos en los monitoreos ejecutados desde el 2004.

Para el diseño de este nuevo programa se tuvo en cuenta además, los resultados de las estimaciones teóricas de contaminación para un radio de 50 km. para condiciones ambientales desfavorables de dispersión y tasas de emisión determinadas según los parámetros de operación de los sistemas de desempolvado, el ACV de la Fábrica, las exigencias de explotación, las normas cubanas de calidad del aire (NC-39:1999), Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos (NC 111:2001), así como la presencia de fuentes contaminantes cercanas al emplazamiento de Cementos Cienfuegos S.A.. Las curvas de iso-concentración teóricas obtenidas según las tasas de emisión desde las fuentes principales ubicadas en los electrofiltros, mostraron que para las nuevas condiciones de operación de Cementos Cienfuegos SA. los niveles de contaminación esperados son inferiores a los normados.

La elección de los sitios de muestreo se realizó considerando:

- El desarrollo y naturaleza de las fuentes contaminantes presentes en el territorio.
- La localización de las fuentes emisoras con respecto a las zonas habitables.
- La ubicación de estos puntos de muestreo dentro o fuera de las zonas de protección sanitaria y la existencia e idoneidad de las mismas.
- La cantidad de habitantes en el asentamiento humano.
- Las características naturales propicias o desfavorables a la dispersión de contaminantes.
- Puntos ubicados en espacios abiertos en todas direcciones, fuera de la acción de la sombra aerodinámica de edificaciones o accidentes topográficos.

Este programa abarca los siguientes subprogramas:

- A. Calidad del aire durante la exportación de clinker e importación de combustibles sólidos (carbón natural y petcoke) en la zona portuaria.
- B. Calidad del aire en los alrededores de Cementos Cienfuegos SA.
- C. Calidad de los residuales vertidos a la cuenca Caonao.
- D. Caracterización de las materias primas, combustibles, productos intermedios y finales.

A continuación se describen estos subprogramas para dar respuesta a los requisitos del Órgano Regulador en las diferentes prácticas contaminantes del ciclo de producción y exportación de Cementos Cienfuegos S.A.

2. OBJETIVOS Y ALCANCE.

El programa de monitoreo se diseña con los siguientes objetivos:

- Controlar la influencia de las emisiones de las actividades de importación de combustibles sólidos (carbón y petcoke) y exportación de clinker, sobre la calidad del aire en la zona de influencia del Puerto (zona 4).
- Controlar la entrada de contaminantes a las aguas de la bahía.
- Controlar la influencia de las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A sobre la calidad del aire en los asentamientos humanos en el territorio (cumplimiento de los requisitos de la (NC 99:1999)
- Determinar el cumplimiento normativos de las descarga de residuales líquidos a las fuentes terrestres.

Base Normativa utilizada

- NC 39: 1999 Calidad del aire.
- NC 111:2001 Calidad del aire. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos.
- NC 27/1999: Calidad de Residuales.

3. DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA DE MONITOREO.

3.1. Control de la Calidad del aire en la zona portuaria.

Consideraciones generales

- Las actividades de importación de combustibles sólidos y exportación de clinker se realizan por el Muelle # 6 del Puerto de Cienfuegos.
- El tiempo de ejecución de las operaciones de carga y descarga del buque, tiene un carácter temporal y variable. Todo ello implica que los habituales conceptos usados en el control ambiental no se pueden aplicar directamente, sino requieren de una interpretación un poco diferente en su aplicación.
- El momento de muestreo está definido por el tiempo de ejecución de la actividad, o sea, la estadía del barco. La extrema cercanía al mar de los puntos de monitoreo ubicados en el Puerto, implica un importante aporte al aumento del "fondo" por aerosoles marinos, que dependen fundamentalmente de la dirección y la fuerza del viento.
- No se medirá concentración ya que la influencia sobre los centros poblacionales (normado) es despreciables por encontrarse ubicado en un dirección de los vientos con muy poca probabilidad de ocurrencia.
- Las valoraciones del monitoreo serán realizadas sobre la base del ICA según la NC 111:2001

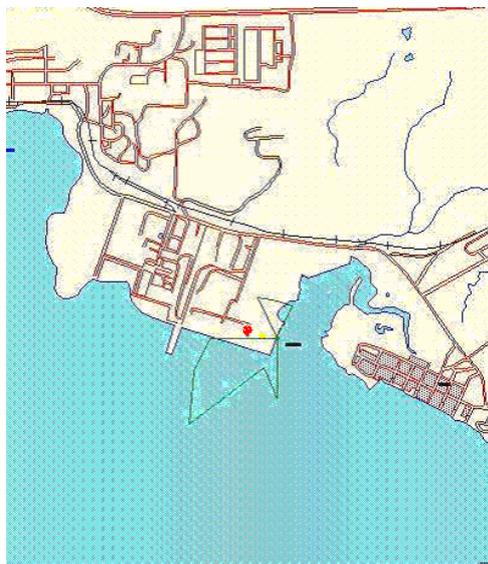
Soluciones propuestas:

- Para determinar el aporte de las emisiones a la contaminación del aire, se debe utilizar las mediciones de fondo realizadas bajo condiciones del entorno sin operaciones de carga y descarga de combustible sólido y clinker para poder valorar el aporte de otras fuentes de contaminación de emisiones importantes ubicadas en los alrededores como la Empresa de Cereales y las actividades portuarias en ejecución con evidentes niveles de emisión de polvo.
- Acumular una larga serie de mediciones de fondo para poder dar respuesta al procedimiento propuesto más arriba.

- Ubicar el punto de medición retirado al menos unos metros del borde del mar, por razones de seguridad y para disminuir la captación de los aerosoles marinos que interfieren en las mediciones.
- Para la evaluación considerar como áreas de la Empresa el área del Muelle #6 y la plazoleta aledaña donde se realizan las maniobras para las operaciones de descarga.

Para el monitoreo fue seleccionado el punto situado en la Esquina suroeste del área de desembarco del Muelle No.4: Este punto sirve para evaluar los requerimientos de calidad del aire en las zonas de trabajo y para estimar la deposición cuyo destino final es el mar, ya sea por acción del viento o por arrastre por lluvia. Es la mejor medida posible de las emisiones fugitivas que tienen lugar.

El mapa de la Fig. 3.1.1 muestra la ubicación aproximada del punto de muestreo.



El subprograma Calidad del aire en la zona portuaria se muestra en la Tabla 3.1.1, el mismo da respuesta a las exigencias establecidas por el órgano regulador y permitirá evaluar las posibles influencias de las exportaciones de carbón y las importaciones de petcoke, en la calidad del aire en la zona 6 del Puerto de Cienfuegos.

Tabla 3.1.1. Descripción del Programa de monitoreo Calidad del aire en la zona de Cienfuegos.

Puntos de monitoreo	Parámetro	Periodicidad
- Puerto Zona 4	1- Tasa de Deposición Total	1-Trimestral.
(Zona inmediata al muelle)	2- Concentración de metales pesados.	3- Semestral.
Sedimentos	Concentración de metales pesados	Anual

¹ El depósito colector de polvo se mantendrá activado 24h antes de comenzado los trabajos de carga o descarga de clinker o petcoke y se retirará 72 h después de terminado dichos trabajos, esto permitirá discriminar la influencia de otras operaciones ajenas a Cementos Cienfuegos SA.

3.2. Control de la Calidad del aire en los alrededores del emplazamiento de Cementos Cienfuegos SA.

El subprograma Calidad del aire en los alrededores del emplazamiento, permite evaluar las influencias de nuestras operaciones en el medio ambiente local. La selección de los puntos obedece a factores geográficos, población afectada y factibilidad para el monitoreo tal y como se describen en los Programas de Control Ambiental ejecutados en los últimos dos años. En la tabla 3.2.1 se presenta el Programa ejecutado.

Tabla 3.2.1. Descripción del Programa de monitoreo en los alrededores del emplazamiento.

Puntos de monitoreo	Parámetro	Periodicidad
- Escuela de Guabairo.	1- Tasa de Deposición Total.	1- Mensual.
- CNCI	2- Concentración de metales pesados.	2- Anual.
- Punta La Cueva		

3.3. Control de la calidad de los residuales líquidos vertidos a la cuenca Caonao.

El vertimiento final de los residuales líquidos requiere de una adecuada atención para evitar la contaminación de los ecosistemas y recursos naturales asociados.

El subprograma de control de calidad del agua permite evaluar la influencia de nuestros vertimientos al medio ambiente.

Los resultados de este subprograma permitirán:

- Identificar problemas en el manejo de los residuales
- Detectar indisciplinas tecnológicas, malas prácticas o condiciones de trabajo que generen aumento de volumen y agresividad de los residuales líquidos.
- Accionar para la mitigación de los impactos ambientales de las descargas de residuales líquidos.

Para ello hemos determinado los siguientes puntos de medición, parámetros a controlar y frecuencia de muestreo.

Tabla 3.3.1 Descripción del Programa de monitoreo residuales.

Puntos de monitoreo	Parámetro	Periodicidad
Entrada a la laguna de oxidación	DBO, DQO	Anual
Salida de la laguna de oxidación	pH Conductividad eléctrica Temperatura Grasas y Aceites Sólidos sedimentables totales Materia flotante Oxígeno disuelto Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) Demanda química de oxígeno (DQO) Nitrógeno total (Kjeldahl) Fósforo total	Anual
Salida del Tanque de decantación del patio de carbón	pH Conductividad eléctrica Grasas y Aceites Sólidos sedimentables totales Materia flotante	Anual

3.4. Caracterización de las materias primas, combustibles, productos intermedios y finales

Este subprograma permitirá evaluar la concentración de metales pesados en nuestras materias primas, productos intermedios, combustibles y productos finales con el objetivo de evaluar el grado de contaminación de los mismos en

el medio ambiente, al mismo tiempo servirán como trazadores de contaminación de nuestras emisiones.

Esta caracterización se realizará anualmente o cuando se introduzcan nuevos materias primas o combustibles en el proceso.

Tabla 3.4.1 Concentración de metales pesados.

Materiales	Metal	Periodicidad
1. Harina cruda 2. Carbón. 3. Petcoke 4. Clinker. 5. Cemento	Zn, Ni, Cu, Pb, Co, Zn Cr, V, Cd, Hg, Mn, Tl, Te	Anual.

4. METODO DE MUESTREO Y ENSAYOS A APLICAR.

Los métodos y ensayos a aplicar serán los mismos realizados en los programas de monitoreos anteriores.

4.1. Determinación de metales pesados

La determinación de los metales se realizará por Espectrofotometría de Absorción Atómica por el método de llama y horno de grafito, con digestiones totales de las muestras utilizando el sistema de microonda.

4.2. Control de la calidad del aire en la zona portuaria.

El método a utilizar se basa en la determinación de la cantidad de polvo que se sedimenta durante un mes en un recipiente colector, método Bergerhoff, al final del periodo la muestra se recolecta y se envía al laboratorio. En el laboratorio la muestra se filtra por filtro de fibra de vidrio (<0.1 micra), el filtrado se seca y se determina el peso por gravimetría. Los filtros compuestos se utilizan para la determinación de metales pesados.

En el monitoreo de la calidad del aire en la zona del puerto, se utilizará como indicador de evaluación la concentración máscica de partículas totales en suspensión en 7 días de muestreo continuo (168 horas) 24 horas. El método de ensayo es el descrito en la norma NC 93-02-221 "Determinación gravimétrica de polvo en suspensión. 1986".

4.3. Control de la calidad del aire en los alrededores de la Fábrica.

El método es el mismo que se utiliza para evaluar las deposiciones totales de partículas en el puerto de Cienfuegos.

Las estaciones de muestreos ubicadas en los alrededores de la Fábrica, se sitúan en lugares que reciben los posibles impactos de sus operaciones.

5. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD.

El Programa de Monitoreo se ejecutará bajo el mismo Sistema de Gestión de la Calidad del programa anterior, el cual incluye los siguientes elementos:

1. Gestión de la Calidad de los ensayos: Todos los ensayos que sostiene la ejecución de este programa serán ejecutados dentro del alcance del Sistema de Gestión de la Calidad del Laboratorio de Ensayos Ambientales del CEAC.
2. Dentro del SGC se incluye la ejecución del Programa de Control de Calidad de los ensayos que abarque todos los ensayos aquí reportados, el mismo utilizará como herramienta fundamental el análisis de muestras duplicadas (una por cada lote de muestra que se introduce) y el análisis de Materiales de Referencia Certificados.