

ARTÍCULO

## MEJORAS EN LOS IMPACTOS AMBIENTALES DE CEMENTOS CIENFUEGOS S.A

Msc. Henry Ricardo Cabrera, Universidad de Cienfuegos

E-mail: [hricardo@ucf.edu.cu](mailto:hricardo@ucf.edu.cu)

Msc. José Luis Romero Cabrera, Especialista en I+D+i, Cementos Cienfuegos S.A

E-mail: [jrcabrera@cementoscfg.com](mailto:jrcabrera@cementoscfg.com)

### RESUMEN

La presente investigación fue realizada en las instalaciones de Cementos Cienfuegos S.A. Cuba, 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. 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. 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.

### Palabras clave:

Mejora, impactos ambientales, producciones limpias, concentración, emisiones, medioambiente, contaminación atmosférica.

### ABSTRACT

*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. 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. 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.*

### Key words:

*Improvement, environmental impacts, clean production, concentration, emissions, environment, air pollution.*

## 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  $\mu\text{m}$ , 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, teniendo en cuenta su nivel de concentración tóxico así como el tiempo de exposición del individuo con el material. 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 elementos como:

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

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 ejecutados?

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.

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.

## DESARROLLO

### 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.

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.

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.

### 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.

### Métodos de muestreo y ensayos a aplicar

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

### 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.

### 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 másica 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".

### 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.

### 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.

### 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<sup>-3</sup> a temperatura y presión normalizadas.

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

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

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.

En el caso de la concentración másica de metales pesados se tomó como referencia la

Norma Española de 1990, por estar vigente en la CEE, 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.

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 (RMP).

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 1:** 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
	<2,25	-	<27,8	-	30	-

**Fuente:** Informe de laboratorio CEAC 2010.

Las estimaciones de la concentración de polvo en los puntos de monitoreo se determinarán a partir de los valores medidos y el valor de RMP

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 2.

**Tabla 2:** Relación entre el Índice de Calidad del Aire y posibles implicaciones sanitarias relacionadas con cada Categoría de Calidad

Índice	Categoría	Comentarios
0 - 79	Buena	Óptima calidad sanitaria del aire. Supuesta protección de toda la población.
80 - 99	Aceptable	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	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	Aumento de la frecuencia y gravedad de los efectos adversos en grupos de alta susceptibilidad y en la población general. Da lugar a una SITUACIÓN DE ATENCIÓN
300 - 499	Pésima	Da lugar a una SITUACIÓN DE ALERTA.
≥ 500	Crítica	Da 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. 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 serán consideradas como índice indirecto de contaminación del aire

y se determinará a partir de los valores medidos y el valor de RMP utilizando las siguientes expresiones:

$$TDep. = TDepMedida * RMP$$

Donde:

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

TDepmedida: 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. 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-.

**Tabla 3:** 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	DBO5	DQO	S. sed	Gra- sa 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

### Aplicación del programa a los resultados de las mediciones ambientales

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.

### 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.

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.

El ICA calculado muestra un comportamiento favorable en la calidad del aire, en el caso de la concentración de polvo estimada asociada a las operaciones portuarias de clínker y petcoke presentó un incremento entre un 2 -4% por encima del valor máximo admisible, esto fue motivado por la baja eficiencia de los sistemas de despolvo 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.

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).

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.

De los 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.

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.

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.

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.

### 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 ( $\text{Ca}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaO}$ ) 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.

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 de las mediciones de forma general se muestran a continuación.

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 CO<sub>2</sub> 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 toneladas de CO<sub>2</sub>

### CONCLUSIONES

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.

La caracterización de los términos fuentes facilitaron las estimaciones de dispersión de contaminantes y la determinación de sus curvas de isoconcentración 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.

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.

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.

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.

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.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aranguéz, E. (1999): 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.
- Barraza, M. (2006): Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Comparación de desempeño en zona de ventanas. Santiago de Chile.
- Bustos, C. (2004): *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso*. Santiago de Chile.
- 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 (2006): Utilización de Modelos de Dispersión Atmosférica para la estimación de dosis de exposición, *Mecánica Computacional Vol XXIII* pp. 1743-1759. Buenos Aires. Argentina, noviembre.
- Ley No 81 DEL MEDIO AMBIENTE. (1997, July): Gaceta Oficial de la República de Cuba.
- 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.
- Ogden, T., & Birkett, J. L. (n.d.). *The human head as a dust sampler. Inhaled particles IV*. Pergamon Press, Oxford: W.H Walton.
- Tarela, P. (2004): *Calidad del Aire e Impacto en la Salud: Herramientas de Simulación Computacional*. Buenos Aires. Argentina: Mecánica Computacional.