

Programa de Monitoreo Ambiental para Cementos Cienfuegos S.A

Environmental Monitoring Program for Cementos Cienfuegos S.A

MSc. Henry Ricardo Cabrera

Profesor auxiliar. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales  
Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

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

MSc. José Luis Romero Cabrera

Cementos Cienfuegos S.A, Cuba

[jrcabrera@cementoscfg.com](mailto:jrcabrera@cementoscfg.com)

MSc. Mario A. Curbelo Hernández

Profesor auxiliar. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales.  
Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

[mcurbelo@ucf.edu.cu](mailto:mcurbelo@ucf.edu.cu)

## Resumen

La presente investigación se realizó 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. 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.

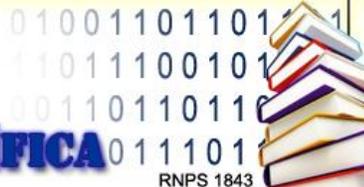
Los resultados de la ejecución del programa demostraron que las concentraciones de polvo, metales pesados, así como los parámetros de los residuales, se encuentran por debajo de los valores máximos admisibles (ICA <1 e ICR <1), por lo que los impactos ambientales de emisiones y descargas procedentes 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 CO<sub>2</sub> (0.89 ton CO<sub>2</sub>/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 CO<sub>2</sub>/ton de clinker).

Revista Avanzada Científica Mayo– Agosto Vol. 15 No. 2 Año 2012



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).



**Palabras Clave:** Monitoreo, variables, concentración, metales pesados, parámetros.

### **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.

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.

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.

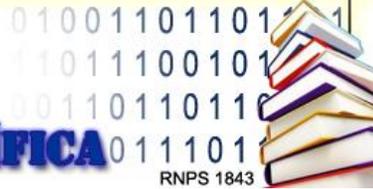
In the case of CO<sub>2</sub> emission rates (0.89 ton clinker CO<sub>2</sub>/ton) is at the lower limit values established in the literature for this type of industry (0.8 -1.2 CO<sub>2</sub>/ton ton of clinker).

**Key words:** Monitoring, variables, concentration, heavy metals, parameters

### **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, 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, para ello la empresa es asesorada por el Programa de Monitoreo Ambiental (PMA), 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

Revista Avanzada Científica Mayo– Agosto Vol. 15 No. 2 Año 2012



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

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, y además es 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.

**Materiales y métodos**

Para el diseño de este nuevo programa de monitoreo 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.

*Modelos de estimación utilizados.*

Revista Avanzada Científica Mayo– Agosto Vol. 15 No. 2 Año 2012



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraderivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

Se utilizan modelos de dispersión de contaminantes los cuales tienen 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.

#### *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, CTDMPLUS

##### *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*).

#### *Monitoreo Ambiental. Generalidades.*

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.

Con base en los criterios para determinar la logística de un Programa de Monitoreo, en especial para las instalaciones relacionadas con el manejo de residuos y tomando en cuenta la normatividad existente, es posible definir más claramente los siguientes aspectos:

Revista Avanzada Científica Mayo– Agosto Vol. 15 No. 2 Año 2012



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

- 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.

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.

## Resultados y discusión

### *Consideraciones generales:*

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

Las categorías de la contaminación de la atmósfera (Calidad del Aire) fueron 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 fueron 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 fue 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 determinó 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:

Donde:

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

$CE_i$  Concentración estimada del contaminante i. [mg/kg]  
 $CMA_i$  Concentración Máxima Admisible de la contaminante i

Revista Avanzada Científica Mayo– Agosto Vol. 15 No. 2 Año 2012



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/).

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

En la presente investigación se realizó esta evaluación para el período 2009-2010, utilizando los resultados de las mediciones realizadas a los puntos de muestreo establecidos en el programa de monitoreo diseñado, 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.

*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 realizó por los resultados de las mediciones en el punto de muestreo del muelle No.4 de la terminal portuaria de Cienfuegos.

**Tabla I: 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 II: 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 <sub>j</sub>
Puerto. Cfgos	0,1000	-	-	0.70	-	-	-	-	0,23
	$\overline{\overline{RMP}}$								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:** 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	
	$TDep^{Medida}$		$C^{Medida}$	
	$[g/m^2d]$		$[\mu g/m^3]$	
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 IV:** 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	
	$TDep$		$CE$	
	$[g/m^2d]$		$[\mu g/m^3]$	
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 V:** 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			
	$CE_i$	$CMA_i$			
	$\mu g/m^3$		-	x100	
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



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 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 VI:** Estimado de concentración media mensual de metales pesados en aire en el Muelle No. 4 del Puerto de Cienfuegos.

Metal Pesado	Concentración									
	$CM_{p\text{aire}}$									
	[mg/m <sup>3</sup> ]									
	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
Niquel	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 VII:** Índice de Calidad del aire en base a los 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	4.15E-04	4.15E-04	3.39E-04	2.22E-04	2.45E-04	1.15E-04	1.99E-04	2.76E-04
Niquel	2.10E-02	3.39E-02	0.00E-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	0.02E-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	4.0E-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	9.2E-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).

**Red de Monitoreo de las emisiones en el territorio.**

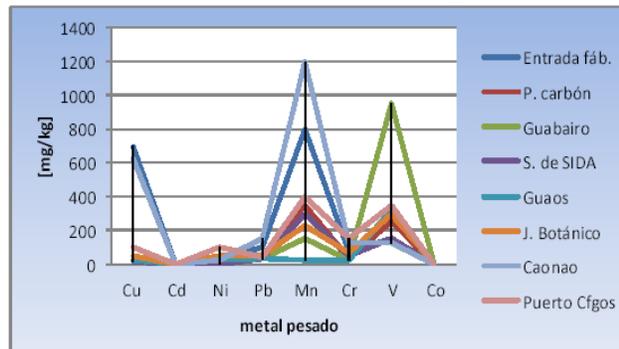
Para determinar la posible influencia de las emisiones directas de los procesos de producción de cemento y clínker se establecen los puntos de muestreo de la red. Los resultados y su evaluación se realizan a continuación.

**Tabla VIII:** Resultados de Figura I: Concentración de metales concentración medias mensuales de pesados en las muestras de la red de metales pesados en los puntos de monitoreo 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.



**Tabla IX:** Relación de concentración medias mensuales de los trazadores de los puntos de muestreo y los de materiales de proceso.

Puntos	Trazador								RMP <sub>j</sub>
	Cu	Cd	Ni	Pb	Mn	Cr	V	Co	
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
	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 X:** Resultados de la tasa de deposición medida en los puntos de muestreo de la red de monitoreo.

Puntos	Tasa de deposición									
	TDep <sup>Muestra</sup>									
	[g/m <sup>2</sup> 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 XI:** Tasa de deposición asociada a las emisiones de Cementos Cienfuegos S.A.

Punto	Tasa de deposición									
	TDep									
	[g/m <sup>2</sup> 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 XII:** Resultados del cálculo de los índices de calidad de la

**Tabla XIII:** Concentración estimada de polvo en los puntos de muestreo



**deposición de polvo mensuales en de la red de monitoreo  
 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	buena									

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 XIV:** 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

Punto	Concentración de polvo en aire									
	$C_{Medio}$									
	[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]									
	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 XV:** 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.

**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.



No obstante Cementos Cienfuegos S.A. tiene evaluada una metodología para determinar la emisión CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> por tonelada de clínker producido.

$$ECO_2 = ECO_{2\text{calcin}} + ECO_{2\text{comb}}$$

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.

**Tabla XVI:** Resumen de los cálculos del factor de emisión de CO<sub>2</sub>

Parámetro	Valor	Unidad	Valor calculado
ECO <sub>2</sub>		[t CO <sub>2</sub> /t clínker]	0,89
ECO <sub>2calcin</sub>		[t CO <sub>2</sub> /t clínker]	0,56
InCaO	0	[t]	
OutCaO	683240,54		
InMgO	0	[t]	
OutMgO	17358,63	[t]	
Clik	993336	[kt]	
E <sub>comb</sub>		[t CO <sub>2</sub> /t clínker]	0,34
FF <sub>diesel</sub>	587,29	[tcomb]	
EFF <sub>diesel</sub>	3,145545	[tCO <sub>2</sub> /t comb]	
FF <sub>petcoke</sub>	107251,00	[tcomb]	
EFF <sub>petcoke</sub>	3,12975	[tCO <sub>2</sub> /t comb]	
FF <sub>carbón</sub>	1033,63	[tcomb]	
EFF <sub>carbón</sub>	2,77	[tCO <sub>2</sub> /t comb]	
FF <sub>crudo cubano</sub>	7,73	[tcomb]	
EFF <sub>crudo cubano</sub>	2,813254	[tCO <sub>2</sub> /t comb]	

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 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

## **Bibliografía**

- 1-Agencia de Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional. (2007). . Anexo Único
- 2-Resolución No 40 /2007., La Habana, Cuba: CITMA.
- 3-Agencia de Medio Ambiente. Estrategia Ambiental Nacional. (2007). . Resolución No 40/2007 La Habana, Cuba.
- 4-Álvarez, R., Luciano, M., & Aenlle, L. (2002). Estudio de la estabilidad atmosférica en algunas regiones de la provincia de Cienfuegos, *IX*, 13.
- 5-Aranguez, E. (1999, March). Contaminantes Atmosféricos y su vigilancia, *73*, No 2(Española Salud Pública).
- 6-Arzate, E. (2006). Realización de software educativo para simular la dispersión decontaminantes atmosféricos. Universidad de las Américas. Puebla.México.
- 7-Ballester, F. (2005, March). Efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud: Una Introducción. *Salud Pública*, No 2, 100-121.
- 8-Barraza, M. (2006). Modelos de Dispersión de Contaminantes Atmosféricos. Comparación de desempeño en zona de ventanas. Santiago de Chile.
- 9-Bustos Salas, C. (2004). Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso. Maestría,
- 10-Bustos, C. (2004). *Aplicación de modelos de dispersión atmosférica en la evaluación de impacto ambiental: Análisis del proceso*. Santiago de Chile.

- 11-Calidad del aire. Gases de Efecto Invernadero (GEI). (1995). . Retrieved June 15, 2011, from <http://www.insmet.cu>.
- 12-Carlos M. López Cabrera. (2006). *Introducción a la Gestión de la calidad del aire* (p. 703).
- 13-Centro de química y contaminación atmosférica, DESOFT: Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- 14-Carrario, A. (2006). *Utilización de Modelos de Dispersión Atmosférica para la estimación de dosis de exposición*. Buenos Aires. Argentina.
- 15-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.

Fecha de recepción: 27/04/2012

Fecha de aprobación: 27/06/2012

