

Avances

Centro de Información y Gestión Tecnológica

Cálculo de emisión de polvo en plantas de trituración de piedra

Calculation of dust emissions in stone crushing plants

Cheick Conté^{1*} y José Antonio García-Gutiérrez²

^{1*}Ingeniero Geólogo. Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saíz Montes de Oca", Facultad de Ciencias Técnicas. Pinar del Río, Cuba, cheick.conte@gmail.com ; ID: <https://orcid.org/0000-0001-8600-7921>

²Máster en Gestión Ambiental, Especialista en Proyectos e Ingeniería, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas Pinar del Río, Cuba, jagarcia@eniapr.co.cu ; ID <https://orcid.org/0000-0002-2487-8518>

Para citar este artículo / to reference this article / para citar este artigo

García-Gutiérrez, J.A. & Conté, C. (2019). Cálculo de emisión de polvo en plantas de trituración de piedra. *Avances*, 21(2), 179-192. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/434/1420>

Recibido: enero 2019
Aceptado: marzo 2019

RESUMEN

La contaminación atmosférica originada por la emisión de polvo y gases representa la principal afectación ambiental relacionada con las plantas de beneficio de áridos para la construcción. Durante su funcionamiento, existen operaciones que dan lugar a la mayor generación de polvo, tales como molinos demolidores (primario y secundario), cribas o zarandas vibratorias para la clasificación de los materiales, traspaso

de material desde o hacia bandas transportadoras (transferencia continua) y traspaso de material desde o hacia tolvas y camiones (transferencia discreta). El objetivo del presente trabajo fue implementar un procedimiento para estimar cuantitativamente las cantidades de polvo que se generan, tomando como base de cálculo los factores de emisión contenidos en el documento AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de

EE.UU. Como resultado del cálculo, se obtuvo que la cantidad total de polvo sedimentable emitido por cada tonelada de material procesado es de unos 51 g, de los cuales 19 g corresponden a la fracción respirable (diámetro menor de 10 μm). Si se tiene en cuenta que el volumen de materia prima procesado en un día es igual a unas 700 t, la cantidad total de polvo producido sería igual a 35,7 kg, el cual pasaría casi totalmente al exterior, al no contar estos equipos con dispositivos y sistemas de protección antipolvo.

Palabras clave: contaminación atmosférica, emisión de polvo, planta trituradora de piedra, factor de emisión.

ABSTRACT

The atmospheric contamination caused by the emission of dust and gases represents the main environmental impact related to the plants that benefit aggregates for construction. During operation, there are several operations that lead to the greatest generation of dust, such as crushers (primary and secondary), screens for the classification

of materials, transfer of material from or to conveyor belts (continuous transfer) and transfer of material from or to hoppers and trucks (discrete transfer). The objective of this paper was to show a procedure to quantitatively estimate the amounts of dust that are generated, taking as a basis for calculation the emission factors contained in document AP-42 of the US Environmental Protection Agency. As a result of the calculation, it was obtained that the total amount of sedimentable dust emitted per ton of material processed is about 51 g, of which 19 g correspond to the fraction with diameter less than 10 μm . If it is taken into account that the volume of raw material processed in a day is equal to about 700 t, the total amount of dust produced would be equal to 35,7 kg, which would pass almost entirely to the outside, as this plant does not have devices and systems to protect against dust.

Keywords: atmospheric pollution, dust emission, stone crushing plant, emission factor.

INTRODUCCIÓN

La gestión ambiental es una necesidad y una estrategia para la sostenibilidad de la economía de un país. El punto de partida es la identificación de aspectos ambientales y la evaluación del impacto ambiental, en aras de analizar y evaluar los efectos y modificaciones que puede llegar a tener

un sistema, organización, proyecto o sitio de construcción (ENIA, 2017).

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud, bien sea en los países desarrollados o en los países en desarrollo. Más que el sida, la tuberculosis y la malaria, respirar causa

cuatro veces más muertes que estas tres enfermedades juntas: siete millones al año, casi tantas como todos los cánceres. Porque el aire que inspiran nueve de cada diez humanos está contaminado, en mayor o menor medida. Estos siete millones de muertes, según los cálculos de la OMS, están causadas en su gran mayoría por cinco dolencias, que algunas veces se dan de forma simultánea: neumonía, ictus, cardiopatía isquémica, enfermedad obstructiva pulmonar crónica y cáncer de pulmón. Los más afectados son los niños —en ellos recaen la mayor parte de los casos de neumonía—, las personas que realizan sus trabajos en exteriores y las mujeres (OMS, 2018).

La exposición a polvo en el lugar de trabajo es un problema que afecta a muchos y muy diversos sectores, tales como minería, canteras, fundición, agricultura, textil y otros. Las partículas más pequeñas ($< 10 \mu\text{m}$) son las más peligrosas, pues permanecen más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta los lugares más profundos de los bronquios (OMS, 2018).

El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación del medio ambiente, pues produce enormes efectos negativos en el mismo, ya sea directa o indirectamente (Enshassi, Kochendoerfer & Rizq, 2014).

Se ha sabido que muy pocos inversionistas y contratistas hacen esfuerzos por considerar al medioambiente, porque para la mayoría

de ellos el tiempo para terminar la obra es su primera prioridad y dan poca importancia al medioambiente (Poon Yu & Ng, 2001). Zolfagharian *et al.* (2012) concluyó que se debe reforzar el nivel de conocimiento y la conciencia de los participantes en el proyecto, especialmente de los administradores de proyectos, respecto de los impactos ambientales negativos causados por los procesos de construcción. Gangolells *et al.* (2011) concuerdan con Zolfagharian *et al.* (2012) al respecto y sostienen que al identificar los principales impactos medioambientales de los procesos de construcción se mejora la efectividad de los sistemas de administración medioambiental.

Las explotaciones mineras se caracterizan por ser una significativa contribución en el aire de partículas de diferente tamaño y composición derivadas de las actividades extractivas, transporte y tratamiento del mineral. Durante los últimos años, el material particulado atmosférico (mpa) ha suscitado un gran interés debido a su impacto en la salud humana, ecosistemas y cambio climático. Durante las operaciones de voladura, extracción, movimiento y tratamiento de mineral se produce una importante contribución de material particulado atmosférico en la zona próxima a la mina (De la Rosa, 2008).

La Organización Mundial de la Salud, en su "Lineamiento para la calidad del aire 2005", reconoce el riesgo que

representa la contaminación por partículas suspendidas para la salud humana, y establece, para las partículas PM₁₀, los límites máximos de 50 µg/m³ (microgramos por metro cúbico) promedio en 24 horas y de 20 µg/m³ promedio anual, y para las PM_{2.5}, de 25 µg/m³ como promedio en 24 horas y de 10 µg/m³ como promedio anual. Igualmente, de acuerdo con los estándares para la calidad ambiental de la Unión Europea, modificados en 2015, los máximos permitidos para la concentración de partículas PM₁₀ son de 50 µg/m³ en 24 horas (sin exceder 35 ocurrencias al año) y de 40 µg/m³ promedio en el año. Para las PM_{2.5}, el límite es de 25 µg/m³ promedio en el año (UNAM, 2016).

En México, la Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-2014 de Salud Ambiental establece, como valores límites permisibles para la concentración de las partículas suspendidas PM₁₀, 75 µg/m³ promedio en 24 horas y 40 µg/m³ como promedio anual, y para las PM_{2.5} un máximo de 45 µg/m³, como promedio de 24 horas y de 12 µg/m³ como promedio anual (UNAM, 2016).

La calidad del aire en zonas habitables está regulada en Cuba por la norma NC 1020:2014, donde la concentración máxima admisible (CMA) de partículas en suspensión totales (PST) es de 100 µg/m³ en 24 horas y 60 µg/m³ como media anual, mientras que para el caso de las PM₁₀, los valores de CMA son

de 50 µg/m³ en 24 horas y 30 µg/m³ como media anual (ONN, 2014a).

A su vez, la norma cubana NC 872:2011 de límites admisibles de exposición laboral (LAEL) establece que la concentración promedio admisible (CPA) de polvos de origen mineral (no clasificados de otra forma), es de 9 mg/m³ (9 000 µg/m³). Los LAEL son valores de referencia para la evaluación y control de la exposición, fundamentalmente por inhalación, a las sustancias nocivas presentes en el aire de la zona de trabajo, con el objeto de proteger la salud de los trabajadores y de su descendencia. Son de aplicación obligatoria en la proyección, construcción, montaje y explotación de edificaciones, locales y otras instalaciones de trabajo, y en la ejecución de todas las actividades laborales donde pueda existir riesgo de exposición ambiental a sustancias nocivas (ONN, 2011).

Los LAEL que se establecen en esta norma están referidos, específicamente, a las categorías siguientes:

- Concentración máxima absoluta (CMA) de la sustancia nociva en el aire en el período de la jornada de trabajo.
- Concentración promedio admisible (CPA), que limita la concentración media ponderada de la sustancia nociva en el aire durante el tiempo total de la jornada laboral.

El objetivo del presente trabajo es mostrar un procedimiento para estimar

cuantitativamente las cantidades de polvo que se generan en una planta de trituración de piedra, tomando como base de cálculo los factores de emisión contenidos en el documento AP-42 de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA, 2005).

MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de información se inició con la consulta de la base de datos de fuentes fijas de emisión atmosférica de la provincia de Pinar del Río, Delegación Territorial del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (2018) resultando que no están incluidas las plantas de trituración de áridos.

Según informe reportado en el 2017 por el Ministerio de la Construcción, Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas en Pinar del Río, la contaminación atmosférica originada por la emisión de polvo y gases representa la principal afectación ambiental relacionada con el proceso de producción de áridos para la construcción en la cantera de estudio. Las fuentes emisoras de polvo se localizan, principalmente, en el yacimiento, plantas de molienda y en las vías sin pavimentar que los enlazan. La generación de gases se produce en los motores de combustión de equipos y camiones y, en menor grado, durante las

voladuras. También se generan emisiones atmosféricas, en forma de calor, gases y radiación ultravioleta, en trabajos de soldadura eléctrica y autógena en talleres y en el mantenimiento de las plantas, cuyos efectos sobre la salud de operarios son mitigables si se usan debidamente los medios de protección individual.

Durante el funcionamiento de las plantas de beneficio de áridos, existen varias operaciones que dan lugar a la mayor generación de polvo, las que pueden ser agrupadas de la siguiente forma:

- Trabajo de molinos demolidores (primario, secundario, terciario) y de cribas o zarandas vibratorias para la clasificación de los materiales.
- Traspaso de material desde o hacia bandas transportadoras (transferencia continua).
- Traspaso de material desde o hacia tolvas y camiones (transferencia discreta) (figura 1).

En todos los casos, la producción de polvo emitido está fuertemente influida por el tipo de proceso, propiedades del material procesado, fundamentalmente contenido de finos y humedad, y las condiciones climáticas locales, en particular el régimen de vientos y comportamiento de las precipitaciones.



Figura 1. Procesos de generación de polvo. (ENIA, 2017)
Leyenda: (a) Acarreo de materia prima; (b) Tolva de entrada y molino primario; (c) Molino secundario; (d) Zaranda; (e) Descarga de tolva almacenadora.

La estimación cuantitativa de las cantidades de polvo que se generan en cada proceso de la planta de procesamiento se ejecutó tomando como base de cálculo los factores de emisión contenidos en el documento "Compilation of Air Pollutant Emission Factors" (AP-42) de la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU (EPA, 2005). Un factor de emisión (FE) es un valor representativo que relaciona la cantidad de contaminante liberado a la atmósfera durante la realización de una determinada actividad. Los factores de emisión se expresan como peso de contaminante por unidad de peso, volumen, distancia o duración de la actividad que lo emite.

Su obtención está basada en la recopilación de información documentada proveniente de investigaciones, industrias u otras fuentes, conjuntamente con la realización de mediciones en polígonos de prueba especialmente diseñados con este fin. El nivel de confianza de los factores de emisión utilizados es variable, en una

escala de cinco rangos donde el nivel A es excelente y E pobre, según el propio documento AP-42. Dichos factores de emisión han sido adoptados en otros países como base para sus propios documentos regulatorios, entre ellos Chile.

La expresión matemática que se utilizó para el cálculo de la emisión fue la siguiente (EPA AP-42, 2005):

$$E = FE \cdot A \cdot (1-ER/100) \quad [1]$$

Donde:

E: emisión, en kg/t;

FE: factor de emisión, en kg/t;

A: nivel de intensidad de la planta, en volumen procesado por unidad de tiempo;

ER: eficiencia global en la reducción de emisiones, en %.

Debido a la ausencia de dispositivos antipolvo en la planta

estudiada, se consideró $ER=0$,
resultando:

$$E = FE \cdot A \quad [2]$$

Los factores de emisión empleados
en el cálculo se muestran en la tabla
siguiente:

Tabla 1. Factores de emisión utilizados.

Componente	Factor de emisión, kg/t		Fuente
	Polvo total sedimentable (PTS)	Fracción respirable (PM10)	
Molino primario	0,002	0,0012	AP 42 11.19.2
Molino secundario	0,004	0,0012	AP 42 11.19.2
Criba o zaranda	0,0125	0,0043	AP 42 11.19.2
Transferencia continua	0,0015	0,0006	AP 42 11.19.2

Fuente: EPA AP-42 (2005).

Para el caso de la transferencia discreta, el factor de emisión se calculó por la siguiente fórmula (AP-42 13.2.4):

$$FE = k \cdot 0,0016 \cdot (U/2,2)^{1,3} \cdot (M/1,4)^{1,4} \quad [3]$$

Donde

FE: factor de emisión, en kg/t;

k: coeficiente de tamaño de partícula
(PTS = 0,74; PM10 = 0,35);

U: velocidad media del viento, en m/s;

M: humedad del material, en %.

Aunque el nivel de confianza de estos cálculos, basados en el uso de factores de emisión, es inferior a los valores establecidos mediante mediciones directas, permiten obtener un aproximado de la magnitud de la afectación ambiental producida.

Este método de cálculo se ha aplicado en los diagnósticos ambientales

realizados en tres canteras de las provincias de Artemisa (Elpidio Berovides y Luis Carrasco) (ENIA, 2015a; 2015b) y en Pinar del Río (Reinaldo Mora), según (ENIA, 2017), escogiéndose como caso de estudio el molino 4 de la cantera Reinaldo Mora, situada en el barrio rural Arroyo de Agua, al norte de la ciudad de Consolación del Sur, cabecera del municipio de igual nombre de la provincia de Pinar del Río.

La cantera para la extracción de la materia prima forma parte de las estribaciones meridionales de la Sierra de los Órganos, siendo el material explotado calizas masivas de la formación Guasasa, de edad Jurásico Superior-Cretácico Inferior. Los trabajos de exploración y voladura en la cantera están a cargo de la entidad contratada Explomat.

El método de arranque de la roca (materia prima) es mediante barrenación y voladuras, empleando para la perforación un complejo de barrenación de diámetro 115 mm. Los explosivos utilizados son Senatel y Fortel, en cartuchos de 85 mm, y Amex a granel. El acarreo de la materia prima (rajón) hasta las plantas procesadoras se ejecuta mediante cargadores frontales y camiones de 8 a 15 m³ de capacidad (ENIA, 2017).

En los cálculos, la velocidad media del viento se tomó igual a 3 m/s (10,8 km/h), mientras que el valor de humedad del material procesado (5 %) se obtuvo en el propio centro de producción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cálculo de emisiones se realizó para el polvo total sedimentable (PTS, <30 µm) y la fracción PM10 (<10 µm) generados en la planta Reinaldo Mora-4, cuyo proceso tecnológico está mostrado en la *figura 2*.

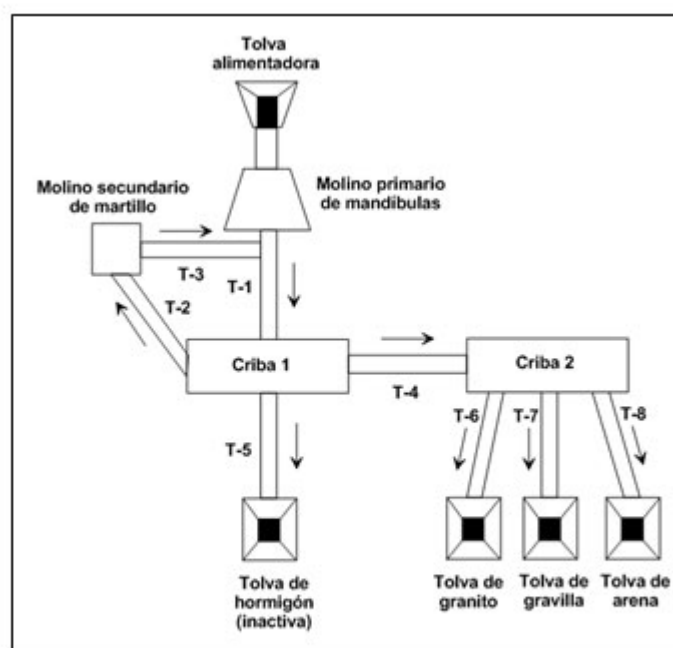


Figura 2. Proceso tecnológico de la planta Reinaldo Mora-4.
Fuente: ENIA, 2017.

En la *tabla 2*, se muestra el resultado del cálculo de emisión de partículas de los dos tipos considerados por cada tonelada de material procesado, en las diferentes operaciones del flujo tecnológico de la planta trituradora.

Como se observa en la tabla, la cantidad total de polvo sedimentable (PTS) emitido por cada tonelada de material procesado es de unos 51 g, de los cuales 19 g corresponden a la fracción

PM10. Si se considera el volumen de materia prima procesado en un día igual a unas 700 t, la cantidad total de polvo producido sería igual a 35,7 kg, el cual pasaría casi totalmente al exterior, al no contar estos equipos con dispositivos y sistemas de protección antipolvo. Esta cantidad sobrepasa los límites admisibles de exposición laboral establecidos por la norma cubana NC 872:2011 (ONN, 2011), donde la concentración promedio

admisible (CPA) de polvos de origen mineral es de 9 mg/m^3 .

Para ilustrar esto último, se calcularon las dimensiones del cubo necesario para que la cantidad de polvo producido durante la molienda de 20 toneladas de piedra alcanzara la densidad establecida por la norma, resultando ser de unos 48 m de lado (volumen igual a $110\,592 \text{ m}^3$), lo que excede ampliamente las dimensiones de la zona de trabajo.

Tabla 2. Cálculo de emisiones de polvo en la planta Reinaldo Mora-4.

Operación	Emisión, g/t	
	PTS	PM10
Descarga de camión a tolva alimentadora (transferencia discreta)	0,49	0,23
Molino primario	2,0	1,2
Transferencia continua de molino primario a banda transportadora T-1	1,5	0,6
Transferencia continua de banda transportadora T-1 a criba 1	1,5	0,6
Criba 1	12,5	4,3
Transferencia continua de criba 1 a banda transportadora T-2	1,5	0,6
Molino secundario	4,0	1,2
Transferencia continua de molino secundario a banda transportadora T-3	1,5	0,6
Transferencia continua de criba 1 a banda transportadora T-4	1,5	0,6
Transferencia continua de banda transportadora T-4 a criba 2	1,5	0,6
Criba 2	12,5	4,3
Transferencia continua de criba 2 a banda transportadora T-6	1,5	0,6
Transferencia continua de criba 2 a banda transportadora T-7	1,5	0,6
Transferencia continua de criba 2 a banda transportadora T-8	1,5	0,6
Transferencia continua de banda transportadora T-6 a tolva de granito	1,5	0,6
Transferencia continua de banda transportadora T-7 a tolva de gravilla	1,5	0,6
Transferencia continua de banda transportadora T-8 a tolva de arena	1,5	0,6
Transferencia discreta de tolva de granito a camión	0,49	0,23
Transferencia discreta de tolva de gravilla a camión	0,49	0,23
Transferencia discreta de tolva de arena a camión	0,49	0,23
TOTAL	50,96	19,12

Fuente: Elaboración propia a partir de ENIA (2017).

Los más afectados por esta contaminación son los trabajadores directos de las plantas, los que deben

usar estrictamente medios de protección individual, y en menor medida, el resto de la fuerza laboral.

Afectaciones del centro a la población local y ecosistemas

Según la norma cubana NC 1059:2014 (ONN, 2014b), la actividad de trituración de piedra y producción de materiales de construcción está incluida en la clase II (de un total de cinco en orden decreciente de importancia) como emisor de contaminantes al aire, correspondiéndole un radio mínimo admisible de protección sanitaria de 500 metros durante la microlocalización de este tipo de inversiones, y que representa la distancia de seguridad mínima entre las fuentes emisoras y los límites de las áreas residenciales.

Sin embargo, el crecimiento de la población y la necesidad de construir nuevas viviendas, unido al debilitamiento

del control administrativo sobre los nuevos asentamientos, ha provocado que actualmente se viole lo establecido. Esto se puede apreciar en la representación gráfica de las zonas de protección sanitaria (ZPS) correspondientes a los dos molinos instalados en la cantera Reinaldo Mora, donde se evidencia su influencia sobre la población asentada en los alrededores (*figura 3*).

La mayor densidad de población afectada se observa hacia el norte (asentamiento rural La Cantera) y, en menor medida, al este (asentamiento rural Arroyo de Agua), mientras que en la dirección de los vientos predominantes (al suroeste) se aprecia que solamente existen algunas viviendas dispersas. Es evidente también su influencia sobre la vegetación, cubriendo de polvo extensas áreas de los alrededores de la cantera.



Figura 3. Influencia de las zonas de protección sanitaria de las plantas de trituración. Molino 1: R. Mora-4; Molino 2: R. Mora-1.
Fuente: ENIA (2017).

CONCLUSIONES

El procedimiento presentado es aplicable para cálculos simplificados, cuando no se disponga de equipos para medir el contenido de polvo.

Puede emplearse también para estimar el impacto ambiental a la calidad del aire en nuevos emplazamientos de plantas de trituración de similar tecnología.

El mismo ofrece información valiosa para elevar la calidad de los estudios ambientales, hasta tanto no se cuente con medidores de polvo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De la Rosa, J.D. (2008). Contaminación atmosférica de material

particulado provocada por la extracción minera. España. *Macla. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía* (10), 85-88. Recuperado de http://www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_85.pdf

Enshassi, A., Kochendoerfer, B. & Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. Santiago de Chile. *Revista Ingeniería de Construcción*, 29(3), 234-254. Recuperado de http://http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/538/pdf_1

EPA AP-42 (2005). 11.19.2 Crushed stone processing and pulverized mineral processing. Environmental Protection Agency, USA.

- Recuperado de <http://www.epa.gov>
- Gangolells, M., Casals, M., Gassó, S., Forcada, N., Roca, X. & Fuertes, A. (2011). Assessing concerns of interested parties when predicting the significance of environmental impacts related to the construction process of residential buildings. *Building and Environment*, 46(5), 1023-1037. Recuperado de <http://www.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.11.004>
- Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. Delegación Territorial Pinar del Río (2018). Base de datos de Fuentes de Emisión Atmosférica.
- Ministerio de la Construcción. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, ENIA (2015a). Diagnóstico ambiental cantera Elpidio Berovides. Coordinador: J. Pozo Bejerano. Archivo técnico Unidad de Investigaciones para la Construcción (UIC) Pinar del Río, 49 p.
- Ministerio de la Construcción. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, ENIA (2015b). Diagnóstico ambiental cantera Luis Carrasco. Coordinador: J. Pozo Bejerano. Archivo técnico Unidad de Investigaciones para la Construcción (UIC) Pinar del Río, 44 p.
- Ministerio de la Construcción. Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas, ENIA (2017). Diagnóstico ambiental cantera Reinaldo Mora. Coordinador: J. A. García Gutiérrez. Archivo técnico Unidad de Investigaciones para la Construcción (UIC) Pinar del Río, 55 p.
- ONN (2011). *NC 872:2011 Seguridad y salud en el trabajo. Sustancias nocivas en el área de la zona de trabajo. Evaluación de la exposición laboral. Requisitos generales*. Oficina Nacional de Normalización (ONN). La Habana, Cuba, 24 p.
- ONN (2014a). *NC 1020:2014. Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, Cuba, 16 p.
- ONN (2014b). *NC 1059:2014 Calidad del aire. Metodología para modelar las afectaciones de la calidad del aire a escala local debido a las emisiones de contaminantes atmosféricos desde fuentes fijas*. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba, 81 p.
- OMS (2018). *Calidad del aire y salud*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado de [http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Poon, C.S., Yu, A.T. & Ng, L.H. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resource, Conservation and Recycling*, 32(2), 157-172.

[https://doi.org/10.1016/S0921-3449\(01\)00052-0](https://doi.org/10.1016/S0921-3449(01)00052-0)
UNAM (2016). Paradigma XXI. Construcción de contaminantes. Univ. Nac. Autónoma de México. Recuperado de <http://www.blogs.ciencia.unam.mx/paradigmmaxxi/2016/04/11/construccion-de-contaminantes/>

Zolfagharian S., Nourbakhsh, M., Irizarry, J. Ressang, A. & Gheisari, M. (2012). Environmental impacts assessment on construction sites. *Construction Research Congress*, 10(2), 1750-1759. <https://doi.org/10.1061/9780784412329.176>

Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license