

Avances

Centro de Información y Gestión Tecnológica

Concentración de gases de efecto invernadero en los motores de combustión interna de los grupos electrógenos

Concentration of greenhouse gases in the internal combustion engines of the generating sets

Wilfredo Ernesto Hernández Díaz¹, Roberto José Poveda Flores², Nilo Cecilia Simón³

¹Ingeniero Telecomunicaciones y Electrónica. Especialista en Explotación de Centrales Eléctricas de la UEB Empresa de Generación eléctrica Fuel Oil Antonio Briones Montoto, Pinar del Río, Cuba, wernesto@pri.emgef.une.cu

²Ingeniero Mecánico, profesor Instructor. Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca». Departamento de Mecánica. Pinar del Río, Cuba, robertopoveda90@gmail.com

³Máster en Eficiencia Energética, Ingeniero Mecánico y profesor Auxiliar. Universidad de Pinar del Río «Hermanos Saíz Montes de Oca». Departamento de Mecánica. Pinar del Río, Cuba, nilo@meca.upr.edu.cu

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

Hernández, W.E., Poveda, R.J. & Cecilia, N. (2018). Concentración de gases de efecto invernadero en los motores de combustión interna de los grupos electrógenos. *Avances*, 20(2), 241-253. Recuperado de <http://www.ciget.pinar.cu/ojs/index.php/publicaciones/article/view/353/1272>

RESUMEN

El trabajo se desarrolló en la Empresa de Mantenimiento y Generación Eléctrica Fuel Oil de Pinar

del Río donde la instalación de emplazamientos se encuentra compuesto por baterías de grupos electrógenos con motores Hyundai,

que operan con diésel y fuel-oil. Con el propósito de realizar un análisis detallado de las emisiones atmosféricas producto de la combustión, se realizó un muestreo de los gases de escape de los motores, así como en las áreas de las casas colindantes, durante un mes, con analizadores de gases de escape, con vistas a determinar la posible contaminación del medio ambiente por estos gases. Los resultados obtenidos, muestran que los elementos contenidos en las emisiones no sobrepasan los establecidos por las normas aplicables vigentes, que regulan éstas.

Palabras clave: combustión, contaminación, emisiones, gases.

ABSTRACT

The work is in the Oil Fuel Maintenance and Generation Company of Pinar del Rio, where the installation of facilities is composed of batteries of generators with Hyundai engines, which run on diesel and fuel. In order to carry out a detailed analysis of the atmospheric emissions resulting from the combustion, a sampling was made of the exhaust gases of the engines, as well as the areas of the neighboring houses, for a month, with exhaust gas analyzers, with a view to determining the possible contamination of the environment by these gases. The results obtained, that the elements contained in the emissions do not exceed the current parameters of the regulations in force, which regulate

Keywords: combustion, pollution, emissions, gases.

INTRODUCCIÓN

Los Motores de Combustión Interna (MCI), particularmente los motores Diésel, son ampliamente utilizados como fuerza motriz en aplicaciones industriales como: transporte, agricultura y generación de energía lo que los hace indispensables para la sociedad actual, (García, Chacón & Chaves, 2013). Desde hace algún tiempo, se inició en el país la batalla por el

ahorro energético, que concluirá con una Revolución Energética sin precedentes en Cuba. La instalación de los Grupos Electrógenos (GE) se añaden a las diversas medidas que en el país se han estado tomando para materializar la Revolución Energética (Martínez *et al.*, 2007).

Estos GE cuentan con un motor de combustión interna que durante su funcionamiento desprende sustancias tóxicas tales como: óxidos de

nitrógeno, hollín, monóxido de carbono, hidrocarburos, compuestos de azufre y plomo. Hasta el momento se han instalado 205 grupos electrógenos que generan más de 250 000 kw de potencia unitaria, y que en caso de alguna avería en el Sistema Energético Nacional (SEN) no representaría un problema para la distribución de la energía eléctrica, gracias a que estos equipos tienen una distribución geográfica adecuada, lo que evita que se produzca alguna crisis y que se afecte a la población. Estos grupos electrógenos tienen una disponibilidad mayor de un 90%, muy por encima del 60% de las plantas termoeléctricas con que cuenta el sistema energético cubano. Un ambiente saludable es un requisito para el desarrollo sostenible y es un asunto multidisciplinario que involucra a todo el mundo (Gonzales *et al.*, 2014).

Se denomina contaminación atmosférica a la presencia de materias o formas de energía (radiaciones ionizantes y ruido) en el medio ambiente, que puedan tener efectos nocivos para la salud, seguridad o bienestar humano en su conjunto, implicando un daño, riesgo, o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, incluido el medio ecológico directa o indirectamente (Acevedo, Flórez, 2012).

Normalmente, para la generación de energía se utilizan varias tecnologías de combustión y la mayoría de las instalaciones de combustión utilizan combustible y otras materias primas procedentes de recursos naturales para convertirlas en energía útil. Los combustibles fósiles son la fuente de energía más abundante que se usa hoy en día (Salicio *et al.*, 2016). Ahora bien, su combustión tiene una repercusión apreciable y a veces considerable en el conjunto del medio ambiente, ya que el proceso de combustión genera emisiones a la atmósfera, al agua y al suelo; las primeras se consideran uno de los mayores problemas ambientales, las emisiones a la atmósfera derivadas de la combustión de combustibles fósiles más importantes son las de SO₂, NO_x, CO, partículas (PM10) y gases de efecto invernadero, como el N₂O y el CO₂ (Cruz, 2016). También se emiten otras sustancias en pequeñas cantidades como, por ejemplo, metales pesados, compuestos de haluros y dioxinas. Las partículas (polvo) emitidas en la combustión de combustibles sólidos o líquidos proceden casi en su totalidad de su fracción mineral. En el caso de los combustibles líquidos, unas condiciones de combustión deficientes son la causa de la formación de hollín. La combustión de gas natural no es

una fuente significativa de emisiones de partículas.

Actualmente, las fuentes emisoras locales y regionales son la causa principal de la mayoría de los problemas globales de contaminación del aire, por cuanto, conforman una evidencia creciente de que muchos contaminantes del aire son transportados en una escala hemisférica o global (Parra, Apaza, Agramont, 2010).

Gran parte de la población mundial vive en áreas donde los niveles de contaminación atmosférica exceden los lineamientos establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Más de 1 200 millones de personas pueden estar expuestas a niveles excesivos de dióxido de azufre y más de 1 400 millones de personas pueden estar expuestas a niveles excesivos de material particulado en suspensión, y a pesar de que los datos de los países en desarrollo son aún incompletos, se conoce que entre 15 % y 20 % de la población de Europa y Norteamérica podría estar expuesta a niveles que exceden los límites permisibles para el dióxido de nitrógeno (Afanasjeva *et al.*, 2015).

El cambio climático es uno de los principales retos ambientales del siglo XXI, tal y como ha venido señalando las Naciones Unidas de forma reiterada. Según el quinto informe de evaluación del Panel Intergubernamental para el Cambio

Climático publicado en año 2014, el clima de la Tierra ya ha sido alterado como resultado de la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera. Como consecuencia de esto, la temperatura media del planeta se ha incrementado en 0,85 °C en el último siglo y puede aumentar en un rango entre 3,7 °C y 4,8 °C a finales del siglo XXI (Martínez, Guerra, 2008).

El control y la prevención de la contaminación atmosférica, tiene un importante rol, por parte de las fuentes fijas puntuales de instalaciones generadoras de electricidad y vapor, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente, entendiéndose como tales las chimeneas o conductos de escape a través de los cuales se emiten gases producto de la combustión (Rodríguez *et al.*, 2015).

De acuerdo con el Contrato de Servicio Científico-Técnico No.16-61 firmado entre la Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos (EMGEF) Pinar del Río y el CIPIMM, a solicitud de la EMGEF se procedió a la ejecución del muestreo de gases de combustión (dióxido de carbono CO₂, oxígeno O₂, monóxido de carbono CO, dióxido de azufre SO₂, sulfuro de hidrógeno H₂S) en el emplazamiento ubicado en km ½ carretera a la Coloma, Pinar del Río. Este trabajo persigue como objetivo realizar el análisis de los gases de combustión

en 11 motores de combustión interna modelo 9H25/33 y realizar el muestreo en dos puntos de las viviendas aledañas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las mediciones se realizaron en el emplazamiento Antonio Briones Montoto en el cual se cuenta con doce motores Hyundai HIMSEM modelo 9H25/33 de 2.5 MW de capacidad.

A. Los elementos principales que posee el emplazamiento de este tipo son:

1. Dispositivos de una batería y componentes comunes (Estos últimos son únicos para toda la central eléctrica.)
2. La sala de control y monitoreo remotos.
3. La planta de tratamiento de agua (WTU) y el generador de arranque en negro (BSG).

B. El emplazamiento de generación distribuida tiene una o varias baterías (Cada batería está compuesta por cuatro grupos motor-generador o MDU)

1. Una planta de tratamiento de combustible y aceite (HTU).
2. Una unidad de control eléctrico (ETU).
3. Dos compresores encargados de suministrar el aire de arranque y parada de emergencia.
4. Una caldera recuperativa y un transformador de enlace con el sistema eléctrico nacional (SEN).

C. Los equipos utilizados para la determinación de la composición de los gases de combustión (CO_2 , O_2 , CO , SO_2 y H_2S) y gases en el medio ambiente fueron:

1. El ORSAT.
2. El analizador de Multigases MX-21 Plus.

El equipo de ORSAT es un analizador de gases usado para determinar la composición de la muestra de gases, dicho equipo está compuesto por:

1. Una bureta graduada de cincuenta mililitros o cien ml (con escala de cero a cien), conectada por su parte inferior por medio de un tubo de goma a un frasco nivelador.
2. Tres recipientes dobles que contienen reactivos apropiados para absorber los tres gases objeto de la medición (en su parte superior), cada uno de los tres recipientes están compuestos por dos tubos anchos unidos por un tubo pequeño en forma de U.
3. Una válvula que permite el paso y la salida del gas que es objeto de análisis.
4. Un cilindro lleno de agua con el objeto de mantener la temperatura del gas.

Durante el análisis, la muestra fue pasada a través de soluciones absorbentes que permitieron calcular las concentraciones del gas. El volumen del gas fue medido antes y después de la absorción. La

disminución en el volumen del gas, representa la cantidad del componente que estuvo presente. Los volúmenes del gas fueron medidos a temperatura y a presión constante.

El equipo MX-21 Plus (analizador digital) para diferentes gases entre los cuales se encuentran el H₂S y el SO₂, esto depende de los sensores acoplados al mismo, es capaz de analizar 4 gases simultáneamente emitiendo una alarma sonora y lumínica cuando los niveles de estos sobrepasan el límite máximo permisible, dicho equipo está diseñado para realizar muestreos de gases de combustión en los escapes o en el medio ambiente con precisión en partes por millón (PPM).

Pasos para realizar las mediciones de los gases de escape de la combustión.

Paso 1: En el primer recipiente se colocó una solución de hidróxido de sodio (33 gramos en 100 centímetros cúbicos de agua) esta absorbió el dióxido de carbono.

Paso 2: En un segundo recipiente se colocó una mezcla de dos soluciones, (10 gramos de ácido pirogálico en 25 centímetros cúbicos de agua e hidróxido de potasio, en la misma proporción que en el envase número

1), esta mezcla absorbe el O₂ (oxígeno).

Paso 3: En el tercer recipiente se colocó cloruro cuproso (250 gramos de cloruro amónico en 750 centímetros cúbicos de agua y se agregan 250 gramos de cloruro cuproso); convino colocar en el frasco que contiene los reactivos algunos alambres de cobre o cloruro estarnoso para mantener activa la solución y que haya mayor absorción de CO en este caso se utilizaron dos recipientes con la misma concentración antes descrita para garantizar una total absorción de dicho gas.

Paso 4: Se procedió a realizar la operación con el equipo MX-21 Plus, la toma de muestras se realizó en la válvula damper (*figura*) de cada uno de los 11 motores.

1. Se realizó un muestreo seriado de cada punto de muestreo, durante cuatro días, promediando las mediciones para calcular el valor de las emisiones.

2. Se realizaron mediciones en dos puntos de muestreos en viviendas aledañas, determinados previamente con la administración de la UEB.



Figura. Punto de muestreo para cada uno de los motores.

La toma de las muestras se realiza con el equipo de ORSAT, analizador de gases que determina el porcentaje de la composición de los gases en las muestras tomadas, haciendo pasar la muestra durante el análisis, a través de las soluciones absorbentes que lo componen para determinar su concentración. El volumen del gas fue medido antes y después de la absorción, para verificar la correcta operación, a temperatura y a presión normal. La disminución en el volumen del gas representa la cantidad del componente que estuvo presente.

Paso 5: Con el analizador de gases MX-21 Plus se precedió en los mismos

puntos de muestreo donde se empleó el ORSAT, con el objetivo de determinar las concentraciones de SO_2 y H_2S .

El muestreo de los gases de escape de cada motor se realizó dos veces por semana durante un mes. El mismo método se utilizó durante las tomas de muestra en los puntos de las casas aledañas al emplazamiento.

RESULTADOS y DISCUSIÓN

Los resultados mostrados (*tabla 1*) responden al promedio del número de muestras por motor en condiciones de estabilidad.

Tabla 1. Resultados del muestreo realizado.

BATERIA	MOTOR	ORSAT				MX'21 Plus		
		%				ppm		°C
		CO ₂	O ₂	CO	NO ₂	H ₂ S	SO ₂	T
1	1	6,00	13,00	0,00	81,00	6,00	23,00	360
	2	6,00	13,00	0,50	80,50	5,00	22,00	375
	3	7,00	12,00	0,80	80,20	1,00	28,00	382,5
	4	7,00	12,70	0,00	80,30	2,00	20,00	382,5
2	5	3,50	16,00	0,00	80,50	7,00	25,00	395
	6	6,50	12,00	0,50	81,00	3,00	36,00	395
	7							
3	8	7,00	12,70	0,20	80,00	*4,00	*27,00	382.5
	9	6,00	13,00	0,00	81,00	6,00	32,00	350
	10	6,30	12,20	1,00	80,50	5,00	28,50	382.5
	11	6,50	12,00	0,50	81,00	7,00	29,00	325
	12	6,50	13,50	0,00	80,00	4,00	30,00	325
Régimen tecnológico		-	13	10	57.5	-	35	380
Casa 1		0,00	20,00	0,00	80,00	0,00	0,40	25.5
Casa 2		0,00	20,00	0,00	80,00	0,00	0,40	25.5

Nota: *- El valor solo contempla un muestreo debido a que el motor tubo una parada por temperatura y se tomó los valores de la carta de régimen tecnológico del motor modelo 9H 25/33.

Analizando los valores obtenidos de las concentraciones máximas admisibles, y estableciendo una comparación de cada uno de los componentes con el rango permisible establecido en la carta de régimen tecnológico del motor modelo 9H25/33 (*tabla 1*), se aprecia un incremento de la concentración de CO, en la batería 1 los motores 2 y 3, en la batería 2 los motores 6 y 8 y en la batería 3 los motores 10 y 11. Esto implica que, en estos, hay una pequeña deficiencia en la combustión. Se determinó la concentración de monóxido de carbono ya que en estudios realizados posteriormente no se contaba con un equipo para muestrear.

La temperatura de los gases en la válvula damper (lugar de toma de muestra), en los motores 3 y 4 de la

batería 1, los motores 5, 6 y 8 de la batería 2 y el 10 de la batería 3, sobrepasaron el rango de referencia. Esto ocasionó que en algunos momentos fuera necesario detener la operación de algunos de estos motores.

Los demás parámetros comparados se encuentran dentro del rango. Además, los resultados obtenidos se compararon con los valores de los límites máximos permisibles (LMP), establecidos en las NC 1020:2014, resultando que están por debajo de los mismos, por lo que se puede afirmar que cumplen con los LMP.

En la *tabla 2* se muestra que los valores medidos están en correspondencia con la norma cubana. En cuanto las mediciones del SO₂ para esta concentración, la norma cubana

(NC:39 1999) es la más tolerante, superando en un factor de 1,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el valor establecido por la segunda norma más tolerante, que es la norma para la Unión Europea (EN). En el sentido opuesto, por ejemplo, para el NO_2 , la concentración máxima permitida en la norma cubana es 1,4 veces más exigente que el valor dado en las directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2000). La tolerancia en las concentraciones de SO_2 se asocia con la necesidad del país, de utilizar combustibles domésticos con alto contenido de azufre, que es una consecuencia de la situación económica. Sin embargo, la concentración máxima permisible para

el SO_2 en 24h es menor que el valor establecido en la norma (EN, 2003), que es la segunda más estricta. Esta tendencia de la norma cubana se asocia con el bajo nivel de industrialización del país, y en consecuencia a una baja carga de emisión de contaminantes, lo que a su vez impone el reto de lograr un crecimiento económico sobre una base respetuosa del medio ambiente. Esto sin duda, requerirá un esfuerzo extraordinario, teniendo en cuenta que la economía cubana se soporta en gran medida en los combustibles fósiles, que la mayoría de la tecnología energética es vieja y que no está en un estado técnico óptimo.

Tabla 2. Valores de las concentraciones máximas admisibles de contaminantes en $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Contaminantes	Periodo de tiempo	NC:39 (1999)	OMS (2000)	EPA (2017)	EN (2003)
SO_2	1 Hora	250	-	196	262
	24 Horas	50	20	-	105
NO_2	1 Hora	160	200	188	-
	24 Horas	40	-	-	113
CO	1 Hora	24000	-	40000	-
	24 Horas	3000	-	-	11.5
PM_{10}	1 Hora	200	-	-	-
	24 Horas	60	50	150	100
$\text{PM}_{2.5}$	1 Hora	120	-	-	-
	24 Horas	-	25	35	35

La *tabla 2* también presenta las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA) para muestras instantáneas según la norma EPA (2017) y otros estudios realizados en diferentes publicaciones. La toxicidad de los motores Diésel depende en lo principal del contenido de los óxidos de nitrógeno y el hollín. Los motores

de combustión interna emiten gran concentración de dióxido de nitrógeno al medio ambiente, incluso, en un motor bien regulado emite una gran cantidad de componentes tóxicos, los cuales se expulsan durante su funcionamiento, estos pueden alcanzar altos valores. El valor del Dióxido de nitrógeno fue superior a

los valores de las CMA, no así en el caso del dióxido de azufre que fue muy inferior a las CMA. Aun cuando esta se encuentra entre los parámetros de la carta de régimen de mantenimiento.

Los resultados también fueron comparados con los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2015), quienes obtuvieron altos índices de contaminación en las muestras, dado a que no implementaron aditivos en los combustibles (en 24h obtuvieron 117.90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vs 50 que establece la norma cubana, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la OMS y 105 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ la EEA).

Se recomienda un sistema de monitoreo de las precipitaciones contaminantes sólidas en las áreas de las viviendas colindantes a la planta debido a que cuando se quema fuel oil pesado, las partículas están formadas principalmente por cenizas provenientes del fuel oil y, en menor medida, hollín, hidrocarburos y sulfatos los cuales son perjudiciales en la salud, siguiendo las recomendaciones de la agencia europea, European Environment Agency (2013).

CONCLUSIONES

Estableciendo una comparación entre los valores analizados de las muestras obtenidas y cada uno de los componentes de las normas internacionales además de la carta de régimen tecnológico del motor, se

concluye que se cumplen con las exigencias establecidas vigentes que regulan la calidad del aire. Se pudo comprobar, además, que, en el muestreo realizado en las viviendas aledañas a la central eléctrica, no se detectó la presencia de ningún componente de los gases producto de la combustión.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, H.R. & Flórez, E.G. (2012). Particle matter from a diesel engine fueled with Jatropha Curcas oil biodiesel and ultra-low sulphur diesel. Colombia. *CT&F Ciencia, Tecnología y Futuro* 5(1), 83-92. ISSN: 0122-5383 Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46526430007>
- AENOR. (2003). Norma Europea EN 13528-3. *Calidad del aire ambiente, captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores*. Madrid, España.
- AENOR. (2017). EPA- 454/R-03-004. *Implementación de las leyes y normas sobre el aire*. Recuperado de <https://espanol.epa.gov/espanol/implementacion-de-las-leyes-y-normas-s>
- Afanasjeva, N., Lizcano-Valbuena, W.H., Aristizabal, N. & Mañozca, I. (2015). Electrodeposición de vanadio y

- níquel de los asfaltenos de crudos pesados. Universidad del Valle Cali, Colombia. *Ingeniería y Competitividad*, 17(2), 9-17. ISSN 0123-3033. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291340438002>
- CITMA. (1999). *Norma Cubana NC 39. Requisitos higiénico-sanitarios*. La Habana, Cuba.
- Cruz, I.C. (2016). Emisiones de CO₂ en hogares urbanos. El caso del distrito federal. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 31(1), 115-142. ISSN 2448-6515 Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/educm/v31n1/0186-7210-educm-31-01-00115.pdf>
- Oficina Nacional de Normalización. (2014). *Norma Cubana NC 1020. Calidad del aire contaminantes concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables*. La Habana, Cuba.
- Oficina Nacional de Normalización. (2017). *Norma Cubana NC 111. Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos*. La Habana, Cuba. Recuperado de www.nconline.cubaindustria.cu
- European Environment Agency. (2013). *La legislación europea en relación con el aire, Señales Vivir en un clima cambiante*. Recuperado de <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2013/articulos/la-legislacioneuropea-en-relacion>
- García, G.F., Chacón, J.L. & Chaves, A. (2013). Modelado de la combustión en motores Diésel: revisión del estado del arte. Universidad Industrial de Santander Bucaramanga, Colombia. *Revista ION*, 26(1), 41-54. ISSN: 0120-100X Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=342030287005>
- Gonzales, G.F., Zevallos, A., Gonzales, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., Naeher, L., Levy, K. & Steenland, K. (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. Instituto Nacional de Salud, Lima, Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(3), 547-556. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36333049021>
- Martínez, I. & Guerra, L. (2008). Análisis de la regulación primaria de la frecuencia con motores fuel oil y centrales termoeléctricas. *Ingeniería*

- Energética*, 29(3), 26-30. ISSN: 1815-5901 Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=329127739004>
- Martínez, M., Fernández, A., Molina, E. y García, R. (2007) Grupos electrógenos y su impacto ambiental. *Higiene y Sanidad Ambiental*, 7, 217-221. ISSN 1579 1734 Recuperado de [http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015c2c43ce3 Higi.Sanid.Ambient.7.217-221\(2007\).pdf](http://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51015c2c43ce3 Higi.Sanid.Ambient.7.217-221(2007).pdf)
- Parra, R., Apaza, G. & Agramunt, A. (2010). Estimación de factores de emisión de gases de efecto invernadero en una planta de tratamiento de aguas residuales. Universidad Mayor de San Andrés La Paz, Bolivia. *Revista Boliviana de Química*, 27(2), 81-88. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=426339674002>
- Rodríguez, D., Quintero, A., González, J.Y., Cuesta, O. y Sánchez, A. (2015). Variación de la estabilidad y altura de la capa de mezcla en la ciudad de pinar del río: su relación con condiciones sinópticas. *Revista Brasileira de Meteorología*, 30(1), 1-15. ISSN 0102-7786
- Recuperado de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862015000100001&lng=es&tlng=es DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-778620140014>
- Salicio, M. A., Martins, V.A., Rezende, W.C., Teixeira, L. & Botelho, C. (2016). Environmental variables and levels of exhaled carbon monoxide and carboxyhemoglobin in elderly people taking exercise. Rio de Janeiro, Brasil. *Ciência & Saúde Coletiva*, 21(4), 1023-1032. ISSN: 1413-8123 Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=63044891004>
- Theakston, F. & Gudmundsson, G. (2000). Air Quality Guidelines for Europe Second Edition. *WHO Regional Publications*, 91(2), 75-79, 175-198. ISSN 0378-2255 Recuperado de http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf
- Avances journal assumes the Creative Commons 4.0 international license*