

Emisiones de gases por grupos electrógenos en los sectores Alma Rosa, Los Minas, Ensanche Ozama y zonas aledañas al Parque Mirador del Este, Noviembre 2015

Carlos A. Montero de los Santos¹ y Arismendis Gómez Pérez²

¹ Maestría en Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Este. San Pedro de Macorís, República Dominicana. carlos13276@hotmail.com

² Director Laboratorio de la Dirección General de Aduanas. Santo Domingo, República Dominicana. ar.gomez@dga.gov.do

Recibido: 6 may. 2016

Aceptado: 14 jun. 2016

RESUMEN

En el presente artículo se presentan los resultados de la investigación desarrollada persiguiendo cuantificar la contaminación atmosférica a partir del análisis de las emisiones de gases por generadores eléctricos en cuatro sectores seleccionados de la zona de Santo Domingo Este. En primer lugar se realizó una revisión del estado del arte y, en segundo lugar, los trabajos de medición fueron llevados a cabo realizando tres (3) mediciones espaciadas en el tiempo de los principales contaminantes atmosféricos referenciados en las normas y literatura consultadas. Se seleccionaron quince (15) puntos de operación de grupos electrógenos en la zona de estudio; luego se procedió a realizar trabajos de normalización y estandarización, así como de comparaciones con las normas establecidas, arribando posteriormente a resultados y conclusiones de interés.

PALABRAS CLAVE: Contaminación atmosférica; Grupos electrógenos; Gases contaminantes; Combustión

ABSTRACT

Gas emissions by power generators in Alma Rosa, Los Minas Ensanche Ozama and areas near Parque Mirador del Este, in November 2015. In this present paper are shown the result of a research work carried out to determine the emission of pollutants due the utilization of electric generators in four selected areas of Santo Domingo Este. First it is conducted a review of the state of the art; measurement work are carried out by making three (3) measurements spaced in time of major air pollutants according to the standards and the literature consulted. For the above were selected fifteen (15) points of operation of generators in the selected study area; then proceed to perform work of standardization as well as comparisons with established standards and finally arriving to relevant conclusions.

KEYWORDS: Air pollution; Generators; Greenhouse gases; Combustion

INTRODUCCIÓN

La problemática de la contaminación atmosférica ha venido cobrando cada vez mayor interés en los círculos académicos y científicos, e, incluso a nivel social, tanto a escala internacional como nacional. Sin embargo, es de destacar que en la Ciudad de Santo Domingo y en especial en Santo Domingo Este, no se cuenta con un sistema de monitoreo en tiempo real de la calidad del aire y son pocos los trabajos registrados en la literatura especializada sobre esta temática.

Es posible afirmar que la contaminación atmosférica ha existido de manera natural desde tiempos ancestrales, aunque desde la aparición del hombre en la tierra, sin lugar a dudas, el desarrollo tecnológico aparejado al desarrollo de la especie humana ha desembocado en un incremento continuo de la misma. Desde la primera vez que se usó el fuego para ahuyentar animales peligrosos y generar calor y luz, hasta los procesos industriales altamente avanzados o incluso la utilización de las nuevas tecnologías, la emisión de gases contaminantes y partículas no ha dejado de crecer. El punto desencadenante de este fenómeno que se ha venido describiendo, el más notorio, fue la Revolución Industrial. A partir de ésta, se ha podido observar una tendencia al incremento, hasta el presente sin límites, de las concentraciones de sustancias contaminantes en la atmósfera terrestre. En su mayor parte ha ocurrido como consecuencia lógica del incremento continuo de la población y la transición de siglos

de uso de una mano de obra basada en el trabajo manual y la tracción animal a la utilización masiva de maquinaria para la fabricación industrial a grandes escalas y el transporte. Los impactos fueron, y aún siguen siendo, muchos y de diverso orden. La sostenibilidad global se ha visto afectada en sus tres ejes, a saber: ambiental, económico y social. En lo económico, por ejemplo, lo antes expuesto propició la transición de una economía rural, fijada fundamentalmente en la agricultura y el intercambio de productos, a una economía industrializada desarrollada en ciudades, todo lo cual trajo aparejado un cambio dramático en la calidad de vida.

Por otra parte, si se analiza el tema desde una óptica ambiental, tal desarrollo tecnológico a lo largo de los últimos más de doscientos (200) años, se pueden, detectar los graves problemas y hasta catástrofes asociadas a procesos de contaminación, así como la degradación de la calidad de vida en los hábitats con alta intensidad de uso energético fósil.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2012) unos 7 millones de personas murieron –una de cada ocho del total de muertes en el mundo- como consecuencia de la exposición a la contaminación atmosférica.

La reacción de combustión, empleada para fines muy diversos en el quehacer humano, es el proceso de emisión de contaminantes más significativo. Desde que el hombre primitivo aprendió a utilizar el fuego y hasta la actualidad, el desarrollo de la humanidad no ha podido disociarse de la reacción de combustión.

Según (Abrutzky, 2014); (Alahmari et al, 2015); (Ashe y Kehoe, 1958); (Yingfa, 2016) la combustión de derivados fósiles ha sido sin duda el motor de la era industrial y aún lo es hoy. Uno de los principales responsables del incremento de los Gases de Efecto Invernadero y de otros subproductos que afectan la biósfera es la transformación de estos combustibles fósiles en calor y la consecuente emisión de gases contaminantes a la atmósfera.

Las fuentes de emisión de gases se suelen clasificar de acuerdo a que tengan o no la posibilidad de desplazarse, en estacionarias y móviles (Baccini et al, 2015); (Manahan, 2000); (Tiwari, 2015). Las estacionarias, plantas de energía termo-eléctrica, industrias, etc, generan grandes volúmenes de gases (Chao et al, 2014); (Ruiz-Tagle, 2013), pero también ofrecen por su carácter puntual y concentrado, la posibilidad de tratamientos de reducción, mitigación y controles eficientes de la autoridad (Fang, 2014) las fuentes móviles (vehículos) por su misma naturaleza son dispersas, lo cual dificulta el seguimiento y el control de sus emisiones.

Como su nombre lo indica, los gases de efecto invernadero, generan una capa en la atmósfera terrestre capaz de permitir la entrada de luz visible, que una vez convertida en radiación infrarroja (calor), no puede escapar nuevamente a la atmósfera (efecto invernadero). Debido a la presencia de estos gases la temperatura media del planeta en su superficie lo hace habitable. De acuerdo con los investigadores (Li, 2014); (Petrescu, 2015); (Pereira, 2014) de no existir el efecto invernadero la temperatura en la superficie rondaría los 18° C bajo cero, plantean que los principales productos de combustión son CO₂ (dióxido de carbono) y H₂O.

Varias ciudades de diversas áreas geográficas presentan una situación crítica en lo referente a la calidad del aire. Se pueden mencionar: El Cairo, Beijín, Bombay, Denver; y en la región de América Latina, los malos ejemplos de México D.F. y Sao Paulo.

Lo anteriormente expuesto demuestra la relevancia y pertinencia de los temas abordados en la presente investigación, teniendo en cuenta, además, las carencias de trabajos similares en las condiciones particulares de este caso de estudio.

La contaminación atmosférica producida por 18 grupos electrógenos utilizados por una compañía privada, en una amplia zona del municipio antes referido, nunca antes ha sido estudiada con la utilización de métodos científicos. Esta es la importancia de la realización de este estudio que tiene como propósito general cuantificar la contaminación atmosférica a partir del análisis de las emisiones de gases por generadores eléctricos en sectores seleccionados de Santo Domingo Este.

METODOLOGÍA

Diseño de muestreo

Se realiza un estudio de tipo experimental, basado en la realización de mediciones directas a través de orificios practicados en los ductos de escape de los grupos electrógenos. Se realizan 15 muestras continuas durante 45 minutos de monitoreo al generador eléctrico en los 18 puntos seleccionados en tres rondas diferentes. Dichos datos fueron recopilados en forma de tablas.

Las variables estudiadas se relacionan a continuación.

Concentración de emisiones de:

- Monóxido de Carbono (CO)
- Dióxido de Nitrógeno (NO₂)
- Dióxido de Azufre (SO₂)

Las muestras son tomadas siguiendo las especificaciones y requerimientos de medición establecida por la norma nacional (NA-AI-002-03), además, se tiene como referencia, la norma internacional ISO 9096, para determinación de los niveles de emisión de gases.

Mediante la toma de las muestras, se obtienen las concentraciones de las emisiones, se comparan con la norma sectorial que aplica para cada parámetro. La Norma de Control de Emisiones (NA-AI-002-03).

La zona de estudio elegida está ubicada en Santo Domingo Este; siendo el tiempo de estudio de seis meses, teniendo varias mediciones en dicho periodo así como la correspondiente toma y análisis de datos.

Universo

Se toma el total (15) generadores pertenecientes a la compañía objeto de estudio.

Muestra

Se hace coincidir el tamaño de muestra seleccionada con el universo, es decir, se realizan mediciones en el total de puntos de generación existentes en el sector y que pertenecen a la entidad analizada. Esto se concibe así ya que resulta factible su aplicación y, buscando tener una mayor significancia estadística y robustez de los datos.

Criterios de inclusión y exclusión

Para este estudio son tomados en cuenta los grupos electrógenos existentes en la zona especificada arriba, son excluidos otros presentes en la zona de estudio que no pertenecen a la entidad analizada.

Aspectos éticos implicados en la investigación

Confidencialidad: en todo momento se respeta el anonimato de personas físicas o jurídicas, la entidad objeto de estudio así como terceras organizaciones.

Respeto: el trabajo se desarrolla de acuerdo a lo establecido en el reglamento del alto centro de estudio superior Universidad Central del Este y las normas vigentes en la entidad estudiada. Se garantiza, además, que toda la información es usada solo con fines académicos e investigativos.

Sitios de muestreo

Localización: el estudio se realiza en los sectores Ensanche Ozama, Ensanche Alma Rosa, Los Minas y los alrededores del Parque Nacional del Este, en el municipio de Santo Domingo Este, Distrito Nacional, República Dominicana.



Imagen 1. Puntos seleccionados para mediciones de emisiones contaminantes en Santo Domingo Este
Fuente: Elaboración propia a partir de la herramienta Google Maps

Técnicas de laboratorio

El monitoreo de las emisiones de gases es realizado con el equipo Wöhler modelo A550, el cual es un analizador de combustiones que permite obtener bajo una alta tecnología y precisión los principales parámetros indicadores de la calidad del aire. Este equipo está disponible.

Consta de muestreador, filtros, sensores, electroquímicos, microprocesador, además con manguera de canales múltiples de 3.5 metros de longitud, para analizar las emisiones de gases contaminantes como el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, dióxígeno, dióxido de azufre, óxido y dióxido de nitrógeno, etc. Y, otros parámetros como la temperatura del ambiente, la temperatura de los gases, presión (draft), oxígeno, gases compuestos, eficiencia en la combustión, exceso de aire.



RESULTADOS

A continuación se exponen los principales resultados y se realiza su análisis, destacando los hallazgos y estableciendo comparaciones con la normativa vigente.

Puntos	Barrio	Dirección
1	Villa Duarte	Sector La Francia Nueva
2	Mirador del Este	Avenida Boulevard El Faro
3	Dona Lucia	Avenida 26 de Enero
4	Isabelita	Calle 12, No.119
5	Los Tres Ojos	Calle Cuarta No 19
6	Boulevard del Faro	Avenida Boulevard El Faro esquina Calle 8
7	Las Américas	Avenida Panamericana
8	Ensanche Ozama	Avenida Las Américas No.36
9	Alma Rosa	Avenida Sabana Larga No.68
10	Alma Rosa	Calle Bonaire esquina Pedro A. Pérez Cabral
11	Alma Rosa	Calle Octavio Mejía Ricart No.208
12	Alma Rosa II	Calle Jardines del Este esquina calle C
13	Alma Rosa II	Sector La Milagrosa
14	Alma Rosa	Calle Rosa Caro Méndez
15	Los Minas	Avenida Ozama esquina Calle Francisco Segura
16	Los Minas	Avenida Presidente Estrella Ureña No. 100
17	Los Minas	Avenida San Vicente de Paul
18	Los Minas	Sector Katanga

Tabla 1. Población y muestra monitoreada

Los resultados son presentados en forma de tablas con su correspondiente análisis y, también son detalladas las ecuaciones utilizadas para la normalización y estandarización de los mismos. Luego se procede a realizar las comparaciones de rigor con las normas establecidas para la determinación de las principales problemáticas en que se incurre. Cabe destacar que se realizaron tres (3) medidas en las fechas 19/10/15, 26/10/15 y 3/11/2015. Más adelante será descrito el protocolo de medición seguido.

Primeramente se tienen los datos de la ubicación de los 18 puntos a monitorear (ver tabla 1). En la misma se detallan informaciones pertinentes como el barrio y la ciudad donde se encuentran, las coordenadas de los mismos, la capacidad en términos de potencia de los generadores y la ubicación específica del equipo atendiendo a si está en azotea o terreno.

Seguidamente se procede a presentar en forma tabulada los datos de chapa de los generadores monitoreados (ver tabla 2). Nótese que los mismos se dividen en dos acápite, uno para el generador y otro para el motor. Se relacionan variables de interés para la presente investigación como son marca, modelo y serie para ambos equipamientos. Además son relacionadas las potencias, tensiones y corrientes nominales de los mismos. Esto se hace de igual manera para los 18 puntos que comprenden el estudio abordado.

Una vez detalladas las especificaciones técnicas de los grupos electrógenos objeto de estudio se procede a describir las cuestiones pertinentes a las chimeneas. Esto se realiza de igual manera para los 18 puntos estudiados (ver tabla 4.3).

Punto	Barrio	Ubicación	Cantidad Pisos	Tubería de la Chimenea	
				Largo	Ancho
1	Villa Duarte	Techo	Apto 3 Pisos	6 pies	4 pulgadas
2	Mirador del Este	Techo	Apto 3 Pisos	6 pies	4 pulgadas
3	Dona Lucia	Suelo		25 pies	4 pulgadas
4	Isabelita	Techo	Casa	6 pies	4 pulgadas
5	Los Tres Ojos	Suelo		20 pies	4 pulgadas
6	Bulevar del Faro	Techo	Apto 3 Pisos	6 pies	4 pulgadas
7	Las Américas	Suelo		6 pies	4 pulgadas
8	Ensanche Ozama	Techo	Apto 5 Pisos	6 pies	4 pulgadas
9	Alma Rosa	Suelo		1 pies	4 pulgadas
10	Alma Rosa	Techo	Casa	No tiene	
11	Alma Rosa	Techo	Casa	6 pies	4 pulgadas
12	Alma Rosa II	Techo	Casa	6 pies	4 pulgadas
13	Alma Rosa	Techo	Apto 3 Pisos	6 pies	4 pulgadas
14	Alma Rosa	Techo	Casa 2 Niveles	6 pies	2 pulgadas
15	Los Minas	Techo	Apto 3 Pisos	6 pies	4 pulgadas
16	Los Minas	Techo	Apto 3 Pisos	1 pies	4 pulgadas
17	Los Minas	Suelo		25 pies	4 pulgadas
18	Los Minas	Techo	Casa 2 Niveles	6 pies	4 pulgadas

Tabla 2. Datos de las chimeneas

En lo referente a la ubicación, se constató que indistintamente se despliegan tanto en suelos como en techos, en este último ya sea en casas individuales de varios niveles o apartamentos de distintos niveles llegando hasta cinco (5). En lo referente al largo y ancho de la chimenea, la mayoría son de cuatro (4) pulgadas de ancho y solo una es de dos (2). La mayor variación está en lo referente al largo de las mismas presentando un rango de uno (1) a veinticinco (25) pies. Cabe destacar el caso del punto diez (10), el cual no tiene chimenea instalada, cuestión que es entendido por el presente investigador que debe ser tenida en cuenta.

De las mediciones de emisiones de contaminantes:

Fueron realizadas 3 mediciones en los 18 puntos objeto de estudio especificado. Esto se realizó así en aras de tener la suficiente significación estadística que sustente los análisis a realizar.

A continuación es presentada una tabla de ejemplo de lo anterior en el punto 1 para la fecha señalada (ver tabla 3). Por motivos de espacio se muestran las mediciones cada cuatro minutos. Además se presenta un promedio de las mismas.

Hora	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)
12:00 M	1149	329	58	387	21	2.7
12:04 a.m.	285	355	57	412	19	4.3
12:08 a.m.	253	431	45	476	19	4.8
12:12 a.m.	261	400	39	439	23	4.7
12:14 a.m.	269	390	32	422	22	4.7
12:16 a.m.	259	383	39	422	22	4.6
12:18 a.m.	253	377	39	416	21	4.5
12:30 a.m.	253	385	41	426	22	4.5
Sumatoria	4869	5745	634	6379	311	66.7
Promedio	324.6	383	42.27	425.27	20.73	4.45

Tabla 3. Resultados de la primera medida efectuada en el punto 1 el 19 de Octubre de 2015

Siguiendo en esta tónica, es presentado un segundo ejemplo de lo realizado para el punto 7 (ver tabla 4). Esto se hace con el objetivo de visualizar las diferencias entre un punto y otro como muestra de que los equipamientos están trabajando de manera correcta. De igual manera son presentados los mismos parámetros y al final un promedio de la medición continuación se exponen los principales resultados y se realiza su análisis, destacando los hallazgos y estableciendo comparaciones con la normativa vigente.

Hora	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)
06:01 p.m.	898	301	33	334	22	4
06:05 p.m.	471	290	32	322	22	4
06:09 p.m.	409	280	34	314	22	4
06:13 p.m.	413	285	27	312	21	3
06:17 p.m.	486	275	39	314	22	3
06:21 p.m.	411	275	39	314	22	4
06:25 p.m.	421	280	48	328	21	4
06:29 p.m.	450	269	56	325	19	4
Promedio	472	280	39	318	21	5

Tabla 4. Resultados de la primera medida efectuada en el punto 7 el 17 de Octubre de 2015

Puntos	l. Air (F)	l. Gas(F)	l. Sensor(F)	O ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	NOx (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	Eff (%)
Punto 1	101.75	249.19	99.60	14.93	324.60	383.00	42.27	425.27	20.73	4.45	84.65
Punto 2	103.91	441.93	105.93	14.71	468.80	448.73	33.27	482.00	21.00	5.20	83.10
Punto 3	96.51	535.39	93.80	13.28	275.33	470.53	37.33	507.87	20.33	4.72	77.55
Punto 4	99.05	410.11	100.47	15.81	311.80	391.27	37.80	429.07	20.40	4.72	74.29
Punto 5	106.78	473.84	103.80	13.61	222.27	422.47	45.27	467.73	20.27	4.72	77.005
Punto 6	91.33	251.24	96.40	17.02	471.67	197.80	23.53	221.33	20.80	4.72	73.44
Punto 7	91.33	404.34	96.87	17.71	471.67	279.67	38.60	318.27	21.47	4.72	71.54
Punto 8	108.68	363.54	99.60	14.93	380.67	388.87	40.20	429.07	20.53	4.72	86.81
Punto 9	108.68	354.34	103.87	14.93	284.07	383.87	51.73	435.60	20.40	4.72	87.55
Punto 10	89.73	292.23	83.27	16.43	411.53	194.13	39.33	233.47	20.13	4.72	80.43
Punto 11	108.68	352.01	102.00	14.93	272.93	378.07	45.87	423.93	20.27	4.72	84.65
Punto 12	92.35	272.62	82.33	16.75	352.67	174.33	30.53	204.87	20.20	4.72	83.01
Punto 13	106.83	272.22	96.73	17.98	260.33	357.07	32.40	389.47	19.93	4.72	77.26
Punto 14	100.21	274.42	97.40	16.96	395.87	192.33	29.13	221.47	20.60	4.72	85.954
Punto 15	93.33	411.67	94.91	17.71	478.33	294.73	35.67	330.40	21.20	4.72	74.79
Punto 16	95.69	392.26	95.39	14.71	489.93	290.87	40.27	331.13	18.60	4.72	76.69
Punto 17	94.85	408.54	101.76	17.96	473.40	283.47	57.07	339.33	19.73	4.13	77.05
Punto 18	91.41	242.25	95.47	17.10	459.33	202.13	25.73	227.87	20.07	3.59	85.56

Tabla 5. Compilación de los resultados de la medición 1

Para el caso de las mediciones 2 y 3 la metodología seguida es similar a la expuesta para la 1. Primero son presentados resultados de medidas individuales para los puntos 1 y 7, además de un compilado para todos los puntos (ver tablas 5 y 6). Los parámetros de medición se mantienen sin variación.

Puntos	I. Air (F)	I. Gas (F)	I. Sensor (F)	O ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	SO (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	Eff (%)
Punto 1	100.69	464.65	100.07	14.93	485.40	427.73	49.07	476.80	20.80	3.74	86.85
Punto 2	100.31	444.07	103.67	15.57	487.20	485.80	49.13	534.93	21.67	4.72	81.63
Punto 3	95.77	443.76	93.53	13.25	385.27	542.13	57.67	599.80	21.80	4.72	86.09
Punto 4	100.35	432.18	99.20	15.81	303.40	382.47	44.00	426.47	22.07	4.72	81.15
Punto 5	106.90	494.68	100.27	14.10	376.60	459.33	50.20	509.53	19.53	4.72	87.99
Punto 6	91.84	267.93	98.60	16.62	469.07	207.33	30.20	237.53	18.87	4.72	80.75
Punto 7	91.29	430.42	96.80	18.25	477.60	289.27	36.80	326.07	20.47	4.72	79.13
Punto 8	104.50	380.70	101.00	14.75	377.00	389.00	49.00	438.00	17.00	4.30	88.70
Punto 9	106.92	378.07	102.87	15.02	308.40	394.73	43.93	438.67	21.80	4.72	89.21
Punto 10	89.77	332.32	99.40	16.18	419.47	218.13	32.07	250.20	20.00	4.72	83.09
Punto 11	102.14	356.33	101.47	15.00	300.87	380.87	37.13	418.00	19.73	4.72	87.40
Punto 12	99.35	265.52	93.73	16.58	352.67	274.07	31.80	305.87	18.27	4.72	84.38
Punto 13	103.47	268.01	99.33	17.61	260.33	364.73	43.27	408.00	19.33	4.72	78.63
Punto 14	100.21	274.42	97.40	16.96	395.87	192.33	29.13	221.47	20.60	4.72	87.07
Punto 15	94.13	409.27	101.27	17.71	484.73	306.47	39.40	345.87	18.87	4.72	81.42
Punto 16	94.00	389.87	101.75	17.39	498.33	385.40	42.47	427.87	22.07	4.01	84.31
Punto 17	94.41	387.80	101.58	17.03	491.53	333.40	54.87	388.27	21.73	4.72	84.54
Punto 18	92.51	269.33	75.40	17.10	469.40	302.80	31.87	334.67	19.07	3.87	87.22

Tabla 6. Compilación de resultados de la medición 2

De igual manera y siguiendo la lógica anterior son presentados los resultados de la tercera medición para los puntos 1 y 7, así como la compilación de los resultados para los 18 puntos (ver tablas 4.13, 4.14 y 4.15). Los parámetros a medir se mantienen igualmente sin variación.

Hora	10:10 AM	10:14 AM	10:18 AM	10:22 AM	10:26 AM	10:30 AM	10:34 AM	10:38 AM	Sumatoria	Promedio
I. Air (F)	97.5	107.4	106.5	106.3	108.9	108.5	104.5	107.5	1605.6	107.04
I. Gas (F)	251.2	286.8	357	377.1	378.5	383.5	377.7	345.6	5243.7	349.58
I. Sensor (F)	94	93	93	97	100	99	103	105	1468	97.87
O ₂ (%)	16.5	15.8	14.89	14.7	14.5	15.8	15.2	15.2	231.99	15.47
CO (mg/m ³)	1127	330	249	273	237	250	247	243	5050	336.67
NO (mg/m ³)	335	367	427	405	397	385	367	388	5806	387.07
NO ₂ (mg/m ³)	48	48	46	50	47	47	56	48	709	47.27
NO _x (mg/m ³)	383	415	473	455	444	432	423	436	6515	434.33
SO ₂ (mg/m ³)	21	21	20	19	21	23	22	21	316	21.07
CO ₂ (%)	2.7	4.3	4.8	4.7	4.7	4.6	4.5	4.5	66.7	4.45
Eff (%)	91.24	87.2	85.2	84.2	75.60	75.40	75.40	84.1	1221.39	81.43
Perdida (%)	8.76	12.80	14.80	15.80	24.40	24.60	24.60	15.90	278.61	18.57
Exc. Air	4.68	3.23	3.28	3.33	3.28	3.4	3.39	3.39	51.78	3.45

Tabla 7. Resultados de la tercera medida efectuada en el punto 1 el 3 de Noviembre de 2015

De esta manera se hace pertinente la presentación de una compilación de los resultados de los promedios obtenidos para esta medida de todos los 18 puntos (ver tabla 5). Los parámetros a medir se mantienen sin variación siendo los mismos detallados anteriormente.

Puntos	l.Air (F)	l. Gas(F)	l. Sensor(F)	O ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	Eff (%)
Punto 1	101.75	249.19	99.60	14.93	324.60	383.00	42.27	425.27	20.73	4.45	84.65
Punto 2	103.91	441.93	105.93	14.71	468.80	448.73	33.27	482.00	21.00	5.20	83.10
Punto 3	96.51	535.39	93.80	13.28	275.33	470.53	37.33	507.87	20.33	4.72	77.55
Punto 4	99.05	410.11	100.47	15.81	311.80	391.27	37.80	429.07	20.40	4.72	74.29
Punto 5	106.78	473.84	103.80	13.61	222.27	422.47	45.27	467.73	20.27	4.72	77.005
Punto 6	91.33	251.24	96.40	17.02	471.67	197.80	23.53	221.33	20.80	4.72	73.44
Punto 7	91.33	404.34	96.87	17.71	471.67	279.67	38.60	318.27	21.47	4.72	71.54
Punto 8	108.68	363.54	99.60	14.93	380.67	388.87	40.20	429.07	20.53	4.72	86.81
Punto 9	108.68	354.34	103.87	14.93	284.07	383.87	51.73	435.60	20.40	4.72	87.55
Punto 10	89.73	292.23	83.27	16.43	411.53	194.13	39.33	233.47	20.13	4.72	80.43
Punto 11	108.68	352.01	102.00	14.93	272.93	378.07	45.87	423.93	20.27	4.72	84.65
Punto 12	92.35	272.62	82.33	16.75	352.67	174.33	30.53	204.87	20.20	4.72	83.01
Punto 13	106.83	272.22	96.73	17.98	260.33	357.07	32.40	389.47	19.93	4.72	77.26
Punto 14	100.21	274.42	97.40	16.96	395.87	192.33	29.13	221.47	20.60	4.72	85.954
Punto 15	93.33	411.67	94.91	17.71	478.33	294.73	35.67	330.40	21.20	4.72	74.79
Punto 16	95.69	392.26	95.39	14.71	489.93	290.87	40.27	331.13	18.60	4.72	76.69
Punto 17	94.85	408.54	101.76	17.96	473.40	283.47	57.07	339.33	19.73	4.13	77.05
Punto 18	91.41	242.25	95.47	17.10	459.33	202.13	25.73	227.87	20.07	3.59	85.56

Hora	10:55 a.m.	10:00 a.m.	10:04 a.m.	09:08 a.m.	10:12 a.m.	10:16 a.m.	10:20 a.m.	10:24 a.m.	Sumatoria	Promedio
I. Air (F)	92.8	90.1	92.2	94.1	93.2	95.1	91.5	94.2	1388.5	92.57
I. Gas (F)	284.5	310.2	380.2	350.5	401.1	434	439	390	5724.4	381.63
I. Sensor (F)	95	96	98	100	101	94	98	99	1463	97.53
O ₂ (%)	14.9	16.5	16.3	14.9	16.5	14.9	14.9	17.5	237.9	15.86
CO (mg/m ³)	870	487	419	421	477	421	441	457	7131	475.4
NO (mg/m ³)	310	295	288	291	287	296	317	309	4480	298.67
NO ₂ (mg/m ³)	27	30	28	36	37	28	30	36	498	33.2
NOx (mg/m ³)	337	325	316	327	324	324	347	345	4978	331.87
SO ₂ (mg/m ³)	20	20	18	20	22	22	21	20	307	20.47
CO ₂ (%)	4.2	3.9	3.8	3.9	2.9	4.2	4.05	4.05	70.8	4.72
Eff (%)	90.3	79.5	74.8	75.3	73.5	88.4	70.1	75.5	1161.12	77.41
Perdidas (%)	9.7	20.5	25.2	24.7	26.5	11.6	29.9	24.5	338.88	22.59
Exc. Air	3.4	4.1	4.15	4	4.1	3.85	4.1	3.95	59.55	3.97

Tabla 8. Resultados de la tercera medida efectuada en el punto 7 el 4 de Noviembre de 2015

Puntos	I. Air (F)	I. Gas (F)	I. Sensor (F)	O ₂ (mg/m ³)	CO (mg/m ³)	NO (mg/m ³)	NO ₂ (mg/m ³)	Nox (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)	CO ₂ (mg/m ³)	Eff (%)
Punto 1	101.75	249.19	99.6	14.93	324.6	383	42.27	425.27	20.73	4.45	81.43
Punto 2	103.91	441.93	105.93	14.71	468.8	448.73	33.27	482	21	4.72	80.78
Punto 3	96.51	535.39	93.8	13.28	275.33	470.53	37.33	507.87	20.33	4.72	79.61
Punto 4	99.05	410.11	100.47	15.81	311.8	391.27	37.8	429.07	20.4	4.23	74.29
Punto 5	106.78	473.84	103.8	13.61	222.27	422.47	45.27	467.73	20.27	4.72	81.12
Punto 6	91.33	251.24	96.4	17.02	471.67	197.8	23.53	221.33	20.8	4.72	79.37
Punto 7	91.33	404.34	96.87	17.71	471.67	279.67	38.6	318.27	21.47	4.72	77.41
Punto 8	108.68	337.34	92.8	14.93	380.67	388.87	40.2	429.07	20.53	4.28	87.18
Punto 9	108.68	354.34	103.87	14.93	284.07	383.87	51.73	435.6	20.4	4.72	86.81
Punto 10	89.73	292.23	83.27	16.43	411.53	194.13	39.33	233.47	20.13	4.72	83.09
Punto 11	108.68	352.01	102	14.93	272.93	378.07	45.87	423.93	20.27	4.72	87.17
Punto 12	85.91	272.62	82.33	16.75	352.67	174.33	30.53	204.87	20.2	4.28	87.18
Punto 13	106.83	272.22	96.73	17.98	260.33	357.07	32.4	389.47	19.93	4.72	77.75
Punto 14	100.21	274.42	97.4	16.96	395.87	192.33	29.13	221.47	20.6	4.26	86.44
Punto 15	93.33	411.67	94.91	17.71	478.33	294.73	35.67	330.4	21.2	4.72	81.2
Punto 16	95.69	392.26	95.39	14.71	489.93	290.87	40.27	331.13	18.6	4.38	82.88
Punto 17	94.85	408.54	101.76	17.96	473.4	283.47	57.07	339.33	19.73	4.47	83.45
Punto 18	92.95	315.82	95.47	16.91	476.93	290.07	40.27	330.33	20.4	3.87	86.04

Tabla 9. Compilación de resultados de la medición 3

DEL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para el análisis de resultados primero se realiza a los parámetros una corrección y normalización de los datos. Esto para fines de comparación con lo establecido en las normas ambientales de calidad del aire y control de emisiones para fuentes fijas, Pág.37 y 38 tab.3.1. Norma de Control de Emisiones (NA-AI-002-03).

Para fines de comparación se usó lo siguiente (ver tabla 9)

Comparación con la norma	
Sustancia	Concentración permitida
SO2	1000 mg/m3
CO	1150 mg/m3
NO2	280mg/m3

Tabla 10. Valores normados

Los cálculos para la obtención de los valores de corrección y normalización usados fueron:

$$\text{Factor Corrección} = \frac{20.9 - 15}{20.9 - X}$$

$$\text{Factor de Normalizacion} = \sqrt{\left[\frac{T_{leida} + 273}{25 + 273} \right]}$$

A continuación son presentados los datos correspondientes a la primera medición (ver tabla 10). Se hace notar en este caso una columna extra donde se incluyen los valores normalizados y corregidos.

Parámetros	CO	CO ₂	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	Unidades
Punto 1	424	6	501	55	556	27	mg/m ³
Punto 2	692	8	663	49	712	31	mg/m ³
Punto 3	351	6	600	48	648	26	mg/m ³
Punto 4	547	8	686	66	753	36	mg/m ³
Punto 5	285	6	541	58	599	26	mg/m ³
Punto 6	951	10	399	47	446	42	mg/m ³
Punto 7	1317	13	781	108	888	60	mg/m ³
Punto 8	550	7	561	58	619	30	mg/m ³
Punto 9	407	7	550	74	624	29	mg/m ³
Punto 10	748	9	353	71	424	37	mg/m ³
Punto 11	390	7	541	66	606	29	mg/m ³
Punto 12	678	9	335	59	394	39	mg/m ³
Punto 13	711	13	975	88	1063	54	mg/m ³
Punto 14	803	10	390	59	449	42	mg/m ³
Punto 15	1342	13	827	100	927	59	mg/m ³
Punto 16	698	7	414	57	472	27	mg/m ³
Punto 17	1434	13	859	173	1028	60	mg/m ³
Punto 18	937	7	412	52	465	41	mg/m ³
Norma	1150			280		1000	mg/m ³

Tabla 11. Valores corregidos y normalizados medición 1

En esta primera medición el único parámetro que no cumple con lo establecido en la referida norma fue el monóxido de carbono. Específicamente los puntos 7, 15 y 17 sobrepasan los valores máximos permitidos.

De igual manera son presentados los datos para la segunda medición (ver tabla 12) con los valores corregidos y normalizados.

Parámetros	CO	CO ₂	NO	NO ₂	NOx	SO ₂	Unidades
Punto 1	754	6	665	76	741	32	mg/m ³
Punto 2	836	8	834	84	918	37	mg/m ³
Punto 3	461	6	649	69	718	26	mg/m ³
Punto 4	541	8	682	78	760	39	mg/m ³
Punto 5	525	7	640	70	710	27	mg/m ³
Punto 6	871	9	385	56	441	35	mg/m ³
Punto 7	1632	16	988	126	1114	70	mg/m ³
Punto 8	536	7	553	70	622	24	mg/m ³
Punto 9	458	6	586	65	651	32	mg/m ³
Punto 10	747	8	389	57	446	36	mg/m ³
Punto 11	437	9	554	54	608	29	mg/m ³
Punto 12	647	11	503	58	561	34	mg/m ³
Punto 13	628	10	880	104	985	47	mg/m ³
Punto 14	803	13	390	59	449	42	mg/m ³
Punto 15	1358	10	859	110	969	53	mg/m ³
Punto 16	1250	11	967	107	1073	55	mg/m ³
Punto 17	1115	8	756	124	881	49	mg/m ³
Punto 18	982		634	67	700	40	mg/m ³
Norma	1150			280		1000	mg/m ³

Tabla 12. Valores corregidos y normalizados medición 2

En esta primera medición el único parámetro que no cumple con lo establecido en la referida norma fue el monóxido de carbono. Específicamente los puntos 7, 15 y 17 sobrepasan los valores máximos permitidos.

De igual manera son presentados los datos para la segunda medición (ver tabla 12) con los valores corregidos y normalizados.

Para el caso de esta segunda medición, igualmente se encontraron emisiones de monóxido de carbono por encima de lo normado, específicamente en los puntos 7, 15 y 16. A partir de esta medición es identificado un patrón de incumplimiento de lo normado en puntos repetentes (puntos 7 y 15). Es entendido que debe buscarse a ver si existe correlación con los atrasos de mantenimiento previamente identificados.

A continuación se procede a detallar los datos de la tercera medición (ver tabla 12 continuación). En esta medición los incumplimientos están nuevamente en las emisiones de monóxido de carbono, siendo los puntos 7, 15 y 17 los que están por encima de lo normado.

Parámetros	CO	CO ₂	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	Unidades
Punto 1	424	6	501	55	556	27	mg/m ³
Punto 2	692	7	663	49	712	31	mg/m ³
Punto 3	351	6	600	48	648	26	mg/m ³
Punto 4	547	7	686	66	753	36	mg/m ³
Punto 5	285	6	541	58	599	26	mg/m ³
Punto 6	951	10	399	47	446	42	mg/m ³
Punto 7	1317	13	781	108	888	60	mg/m ³
Punto 8	538	6	550	57	607	29	mg/m ³
Punto 9	407	7	550	74	624	29	mg/m ³
Punto 10	748	9	353	71	424	37	mg/m ³
Punto 11	390	7	541	66	606	29	mg/m ³
Punto 12	678	8	335	59	394	39	mg/m ³
Punto 13	711	13	975	88	1063	54	mg/m ³
Punto 14	803	9	390	59	449	42	mg/m ³
Punto 15	1342	13	827	100	927	59	mg/m ³
Punto 16	698	6	414	57	472	27	mg/m ³
Punto 17	1434	14	859	173	1028	60	mg/m ³
Punto 18	991	12	603	84	687	42	mg/m ³
Norma	1150			280		1000	mg/m ³

Tabla 13. Valores corregidos y normalizados medición 3

Se hace pertinente en esta etapa del trabajo presentar una compilación de las emisiones contaminantes corregidas y normalizadas de las tres mediciones realizadas para todos los puntos (ver tabla 14). Es posible apreciar que para todo el período de mediciones y estudio de las emisiones contaminantes, como promedio, las emisiones de dióxido de nitrógeno y de dióxido de azufre están dentro de lo permitido y normado. Los problemas principales están en algunos puntos con la sustancia monóxido de carbono. En específico, como promedio para las tres mediciones en la presente compilación los puntos que no cumplen son: 7, 15 y 17.

Parámetros	CO	CO ₂	NO	NO ₂	NO _x	SO ₂	Unidades
Punto 1	424	6	501	55	556	27	mg/m ³
Punto 2	692	7	663	49	712	31	mg/m ³
Punto 3	351	6	600	48	648	26	mg/m ³
Punto 4	547	7	686	66	753	36	mg/m ³
Punto 5	285	6	541	58	599	26	mg/m ³
Punto 6	951	10	399	47	446	42	mg/m ³
Punto 7	1317	13	781	108	888	60	mg/m ³
Punto 8	538	6	550	57	607	29	mg/m ³
Punto 9	407	7	550	74	624	29	mg/m ³
Punto 10	748	9	353	71	424	37	mg/m ³
Punto 11	390	7	541	66	606	29	mg/m ³
Punto 12	678	8	335	59	394	39	mg/m ³
Punto 13	711	13	975	88	1063	54	mg/m ³
Punto 14	803	9	390	59	449	42	mg/m ³
Punto 15	1342	13	827	100	927	59	mg/m ³
Punto 16	698	6	414	57	472	27	mg/m ³
Punto 17	1434	14	859	173	1028	60	mg/m ³
Punto 18	1082	612	75	687	46	9	mg/m ³
Norma	1150			280		1000	mg/m ³

Tabla 14. Valores corregidos y normalizados para las tres mediciones compilación

Para la primera medida no cumplen con las emisiones permitidas de monóxido de carbono los puntos 7, 15 y 17 con unas concentraciones de 1317, 1342 y 1434 mg/m³ respectivamente. Para la segunda medición se pudo constatar el incumplimiento en emisiones de monóxido de carbono las cuales se encuentran por encima de lo normado, específicamente en los puntos 7, 15 y 16, representando 1632, 1358 y 1250 mg/m³ respectivamente. Se repite el fenómeno de las emisiones de monóxido de carbono por encima de lo normado en la tercera medición realizada, siendo los puntos 7, 15 y 17 los que están fuera de norma con unos valores de 1317, 1342 y 1434.44 mg/m³ respectivamente. Las demás sustancias contaminantes que fueron monitorizadas no presentaron en ningún punto ni en ninguna medición de las realizadas, parámetros fuera de lo permitido.

Finalmente, en relación a la compilación realizada de las tres medidas, es preciso destacar que hay correspondencia con las medidas realizadas individualmente. Encontrándose no conformidades con lo normado solo para el monóxido de carbono en los puntos 7, 15 y 17 con concentraciones de 1322, 1348 y 1420 mg/m³. En lo referente a las demás emisiones, no fueron encontrados valores fuera de lo establecido por la norma en ninguno de los puntos estudiados.

CONCLUSIONES:

A continuación son expuestas las principales conclusiones a que se arriba después de analizar los resultados.

- Fueron determinadas las concentraciones de gases contaminantes y, otros parámetros, emitidos por las fuentes fijas analizadas en la zona de estudio.
- Al comparar las concentraciones de los tres gases objeto de estudio con lo establecido en la Norma NA-AI-002-03 se halla que tanto para el SO₂ como para el NO₂ éstas se encuentran significativamente por debajo de los

límites permitidos. En lo referente al CO fueron halladas concentraciones episódicas que sobrepasan lo normado, sin que esto tenga impactos asociados de consideración. Todos estos hallazgos resultan ser novedosos y no tienen antecedentes para el presente caso de estudio.

- Queda demostrado que los impactos ambientales producidos por la emisión de gases de combustión de los grupos electrógenos analizados en la zona objeto de estudio, son bajos, sin consecuencias dentro lo normado sobre la salud, la calidad de vida, los materiales y otros componentes del medio.
- Fue determinado que el único gas de combustión que eventualmente superó lo establecido por la Norma NA-AI-002-03 fue el CO por lo que se hace preciso continuar trabajando para mejorar la eficiencia de la combustión. Es beneficioso revisar la relación aire/combustible utilizada en todos los casos y acometer tareas de mejora continua de la operación y mantenimiento de los equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abrutzky, R., Dawidowski, L., Murgida, A., & Natenzon, C. (2014). Air contamination in the Autonomous City of Buenos Aires: the current risk or future climate change, a false option. *Ciência & Saúde Coletiva*, 19(9), 3763-3773. <https://dx.doi.org/10.1590/1413-81232014199.07472014>
2. Alahmari, A. D., Mackay, A. J., Patel, A. C., Kowlessar, B. S., Singh, R., Brill, S. E., Donaldson, G. C. (2015). Influence of weather and atmospheric pollution on physical activity in patients with COPD. *Respiratory Research*, 1671. doi:10.1186/s12931-015-0229-z
3. Ashe, W., Kehoe R. (1958). Proceedings of the National Conference on Air Pollution. Public Health Service document No 654.
4. Baccini, M., Grisotto, L., Catelan, D., Consonni, D., Bertazzi, P. A., & Biggeri, A. (2015). Commuting-adjusted short-term health impact assessment of airborne fine particles with uncertainty quantification via Monte Carlo simulation. *Environmental Health Perspectives*, 123(1), 27-33. doi:10.1289/ehp.1408218
5. Chao, N., Tang, G., Wang, Y., Wang, H., Huang, J., & Chen, J. (2014). Vehicular emissions in China in 2006 and 2010. *Atmospheric Chemistry & Physics*, 14(4), 4905-4956. doi:10.5194/acpd-14-4905-2014
6. Fang, G., & Chang, C. (2014). Monitoring ambient air pollutants and apply Woods' model in the prediction seasonal dry deposition at Chang-Hua (urban) and Kao-Mei (wetland) county, Taiwan. *Toxicology & Industrial Health*, 30(8), 728-737. doi:10.1177/0748233712462474
7. Li, L., & Liu, D. (2014). Study on an air quality evaluation model for Beijing City under haze-fog pollution based on new ambient air quality standards. *International Journal Of Environmental Research And Public Health*, 11(9), 8909-8923. doi:10.3390/ijerph110908909
8. Normas ambientales de calidad del aire y control de emisiones (NA-AI-002-03). Secretaría de Estado De Medio Ambiente Y Recursos Naturales de la República Dominicana. Santo Domingo, República Dominicana, junio de 2003.
9. Organización Mundial de la Salud (2012). Estadísticas Sanitarias Mundiales, 178 pag.
10. Petrescu, V., Ciudin, R., Isarie, C., Cioca, L. I., Trif, B., & Nederita, V. (2015). The impact of traffic related pollution on air quality in sibiu region. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 14(11), 2637-2642.
11. Pereira, G., Bell, M. L., Lee, H. J., Koutrakis, P., & Belanger, K. (2014). Sources of fine particulate matter and risk of preterm birth in Connecticut, 2000-2006: a longitudinal study. *Environmental Health Perspectives*, 122(10), 1117-1122. doi:10.1289/ehp.1307741
12. Ruiz-Tagle, M., Jordán, R. (2013). Estrategias de desarrollo bajo en carbono en megaciudades de América Latina. Ed. CEPAL. División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos.
13. Manahan S. (2000) seventh edition "Environmental chemistry". Lewis publishers Boca Raton New York Washington, D.C.
14. Tiwari, S., Bisht, D., Srivastava, A., & Gustafsson, Ö. (2015). Simultaneous measurements of black carbon and PM, CO, and NO variability at a locally polluted urban location in India. *Natural Hazards*, 75(1), 813. doi:10.1007/s11069-014-1351-9
15. Yingfa, Y. (2016). A Study on the Relationship Among Fossil Energy Consumption, Air Pollution, and Economic Development in Hebei Province. *Nature Environment & Pollution Technology*, 15(1), 269-275