

Artículo Original

**CUANTIFICACIÓN DEL DIÓXIDO DE AZUFRE EN AIRE
AMBIENTAL EN ZONA DE PROTECCIÓN SANITARIA DE UNA
RECAPADORA DE NEUMÁTICOS**

**QUANTIFICATION OF SULFUR DIOXIDE FROM AMBIENT AIR IN THE
SANITARY PROTECTION ZONE OF A TIRE RECAPPING PLANT**

Arianna Alvarez Cruz^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-5798-6793>
Mayra Caridad Morales Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7506-0145>
Rosa Amalia González Rivero² <https://orcid.org/0000-0002-6905-4379>
Vladimir Núñez Caraballo³ <https://orcid.org/0000-0003-4502-9109>

¹ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

² Departamento de Licenciatura en Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

³ Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, Marta Abreu 59 altos, esquina a Juan Bruno Zayas, Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

Recibido: Agosto 3, 2022; Revisado: Septiembre 23, 2022; Aceptado: Octubre 4, 2022

RESUMEN

Introducción:

Las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera de los sistemas de generación de vapor están determinadas por el tipo y la composición del combustible. El fuel oil con alto contenido de azufre es el responsable de las emisiones de dióxido de azufre. Es necesario conocer la incidencia en la calidad del aire de este contaminante desde una fuente fija, como una industria de recape, en el radio higiénico sanitario.

Objetivo:

Cuantificar el dióxido de azufre generado en una recapadora de neumáticos mediante medidas de emisión e inmisión en la zona higiénico sanitaria de la misma.

Materiales y Métodos:

Se desarrolló una metodología que incluye el inventario de emisiones de SO₂ en función del consumo de combustible para la generación de vapor, la modelación de la dispersión y la evaluación de la inmisión mediante monitoreo con sensor de bajo costo.



Este es un artículo de acceso abierto bajo una Licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial 4.0 Internacional, lo que permite copiar, distribuir, exhibir y representar la obra y hacer obras derivadas para fines no comerciales.

* Autor para la correspondencia: Arianna Alvarez, E-mail: aacruz@uclv.cu



Resultados y Discusión:

Los resultados evidencian que el SO₂ en el aire ambiental determinados por modelación de la emisión y monitoreados con sensores de bajo costo son similares y no superan el valor límite establecido.

Conclusiones:

Los resultados de la concentración de SO₂ evaluada con medidas de emisión e inmisión, demuestran que es la industria de recape la fuente principal que tributa a la calidad del aire por el efecto de este contaminante y en este estudio es aceptable. Además, la similitud de los valores de inmisión y la modelación de la emisión justifican la factibilidad del uso de sensores de bajo costo para medir la calidad del aire.

Palabras clave: dióxido de azufre; dispersión; emisión; inmisión; sensores de bajo costo.

ABSTRACT

Introduction:

The emissions of pollutant gases into the atmosphere from steam generation systems are determined by the type and composition of the fuel. High sulfur fuel oil is responsible for sulfur dioxide emissions. It is necessary to know the impact on air quality of this pollutant from a stationary source, such as a recapping industry, in the sanitary hygienic radius.

Objective:

To quantify the sulfur dioxide generated in a tire recapping plant by means of emission and immission measurements in the hygienic-sanitary area of the same.

Materials and Methods:

A methodology was developed that includes the inventory of SO₂ emissions as a function of fuel consumption for steam generation, dispersion modeling and immission assessment by low-cost sensor monitoring.

Results and Discussion:

The results evidence that SO₂ in ambient air determined by emission modeling and monitored with low-cost sensors are similar and do not exceed the established limit value.

Conclusions:

The results of SO₂ concentration evaluated with emission and immission measurements, show that it is the recapping industry the main source contributing to the air quality by the effect of this pollutant and in this study it is acceptable. In addition, the similarity of the immission values and the emission modeling justify the feasibility of using low-cost sensors to measure air quality.

Keywords: sulfur dioxide; dispersion; emission; immission; low-cost sensors.

1. INTRODUCCIÓN

La causa principal de la contaminación del aire es el uso de los combustibles fósiles en procesos de combustión debido al uso extensivo de esta fuente de energía y a la

dispersión de los contaminantes que se generan bajo determinadas condiciones meteorológicas. Por tal razón, el deterioro de la calidad del aire está relacionado con los patrones de consumo de energía y con las condiciones meteorológicas.

Estudios realizados por (López y Alexandra, 2014) y (Moscoso y col., 2018) concluyen que las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera de los sistemas auxiliares de una industria están determinadas por el tipo y la composición del combustible que se utilice en la generación de vapor.

En la industria del recape de neumáticos generalmente se usan combustibles fósiles ricos en azufre, como el fuel oil. La combustión de este carburante se considera una de las principales fuentes antropogénicas de dióxido de azufre (SO₂) (Núñez y col., 2019).

Arbona, (2019) justifica que el uso de factores de emisión, constituye una alternativa factible y adecuada para el cálculo de emisiones de contaminantes atmosféricos provocadas por fuentes fijas en ausencia de equipos automáticos de medición directa de monitoreo (Ekmekçioğlu y col., 2020) y (Maffia y col., 2020). Por otra parte, la concentración de contaminantes en la atmósfera y su distribución espacio-temporal se estima acertadamente mediante la modelación matemática y el monitoreo. Los modelos de dispersión están influenciados por factores meteorológicos y permiten el cálculo de la concentración del contaminante a nivel del suelo y a diferentes distancias de la fuente (Núñez y col., 2019). En el caso del monitoreo atmosférico este permite determinar los niveles de inmisión de los contaminantes. Existen varios métodos que incluyen monitoreo activo, monitores portátiles automáticos de calidad del aire, tubos de difusión pasiva, bioindicadores y sensores remotos.

El actual desarrollo tecnológico ha propiciado la aparición de los sistemas con sensores de bajo costo (LCS, por sus siglas en inglés) como un nuevo método para la vigilancia de la contaminación atmosférica. Esta técnica se caracteriza por el pequeño tamaño, el bajo consumo de energía y los bajos costos de equipamiento, operación y mantenimiento (Hagan y col., 2018). La comunicación en tiempo real y la generación de datos en volumen son otras de las particularidades de los LCS. Estudios realizados por (Munir y col., 2019) y (Astudillo y col., 2020) demuestran que dichos sensores no logran la misma calidad de datos que los obtenidos con los métodos de referencia. Sin embargo, constituyen una alternativa para proporcionar datos meteorológicos y de calidad del aire de alta resolución en tiempo real.

El objetivo del trabajo está enfocado a cuantificar el dióxido de azufre generado en una recapadora de neumáticos mediante medidas de emisión e inmisión en la zona higiénico sanitaria de la misma.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Diagnóstico de la zona de estudio

La empresa se encuentra ubicada al norte de la ciudad en la principal arteria vehicular, la carretera Central (Figura 1), cuya zona es altamente poblada sin edificios altos ni espacios abiertos. El radio higiénico sanitario de la zona de estudio es de 300 m según lo establecido en la NC.1020, (2014) y la pluma de sus emisiones es rumbo sur debido a la dirección del viento predominante (norte). Esta fuente principal es una industria de recape de neumáticos; que sus principales emisiones se deben a las emisiones de gases y material particulado proveniente de su sistema de generación de vapor.

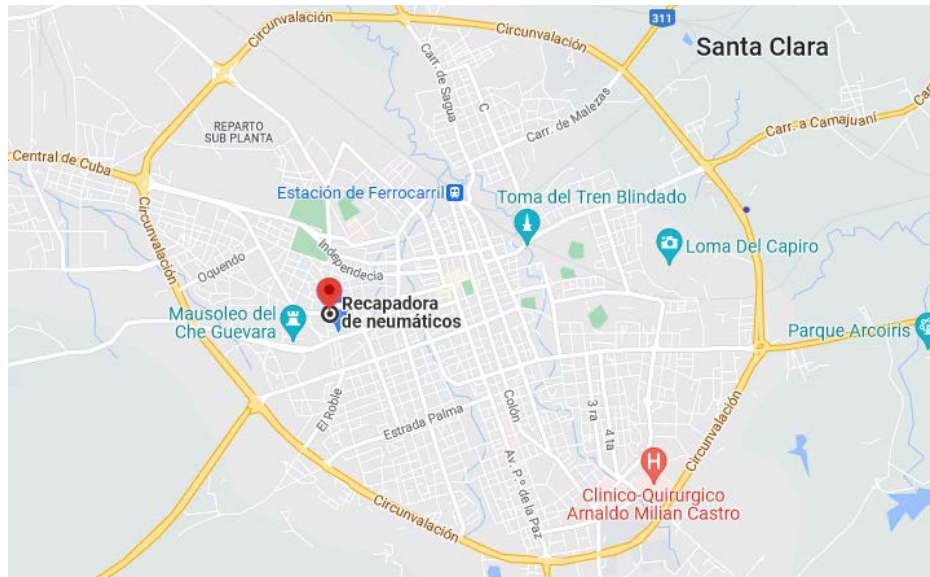


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

2.2. Evaluación de las emisiones

La recapadora de neumáticos cuenta con dos generadores de vapor, de tipo pirotubular que operan de forma discontinua. Para el desarrollo de este trabajo se tomó como objeto de estudio el generador de mayor tiempo de operación y que presenta las mejores características tecnológicas. El mismo tiene una capacidad máxima de 1,5 t/h y produce vapor saturado a condiciones de 433 K (160 °C) y 709,27 kPa (7 kgf/cm²) de presión. Emplea fuel oil mediano con alto contenido de azufre, cuya composición se muestra en la Tabla 1, Arbona, (2019).

Tabla 1. Composición elemental del combustible fuel oil

<i>Composición elemental del fuel oil</i>	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>Cenizas</i>
<i>Porcentaje (%)</i>	84,26	11,06	0,38	0,82	3,38	0,1

Los niveles de emisión de SO₂ de la recapadora de neumáticos se determinaron a partir del consumo de combustible en los días 4 y 5 de marzo de 2020 y del factor de emisión para fuel oil establecido por la Agencia de Protección de Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA AP-42, 1998).

El cálculo de las emisiones se realiza de acuerdo a la ecuación 1 (Moscoso y col., 2018), y Arbona, (2019).

$$E = FE \cdot A \cdot \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (1)$$

Donde:

E: Emisión en (kg/h).

FE = 0,02364 kg SO₂ /kg de combustible.

A: Nivel de actividad, consumo de combustible (kg/h).

ER: Eficiencia global en la reducción de emisiones (%) Se considera ER=0 debido a que el sistema analizado no cuenta con dispositivos de control de la emisión.

2.3 Modelación de la dispersión

La modelación de la dispersión del SO_2 se realizó con la utilización del software del Centro Meteorológico Provincial. El mismo se basa en un modelo de pluma Gaussiano de estado continuo, que se emplea para evaluar concentraciones y/o deposiciones de flujos de una variedad amplia de fuentes asociadas a la industria y al transporte. Este sistema emplea como unidad de medida el metro, que permite una localización más precisa de fuentes y receptores NC.1059, (2014). La escala de colores que se muestran en los mapas de contaminación deben referirse a las concentraciones media admisibles (CMA) estipuladas en la NC.1020, (2014). De manera que se usa el color azul, si el índice de calidad del aire es menor que 1 es bueno; entre 0,8 y 1 es aceptable; el color verde indica una calidad del aire deficiente y los colores amarillo y rojo indican una calidad del aire malo y pésimo respectivamente.

Los datos empleados para la modelación fueron el caudal de contaminantes expresado en mg/m^3 , la altura de la chimenea que es de 22 m y la temperatura de salida de los gases de combustión que es 477 K y fue obtenida a partir de la altura, el diámetro de la chimenea y la temperatura de entrada de los gases (Perry y col., 2001).

2.4 Evaluación de niveles de inmisión de SO_2 en el área de estudio

La evaluación se realizó los días 4 y 5 de marzo de 2020 en un Consultorio Médico (C), ($22^\circ 40'36.78''\text{N}$, $79^\circ 97'58.19''\text{W}$), como se representa en la figura 2, ubicado en la pluma de dispersión de la fuente principal de la zona a 150 m de la misma.

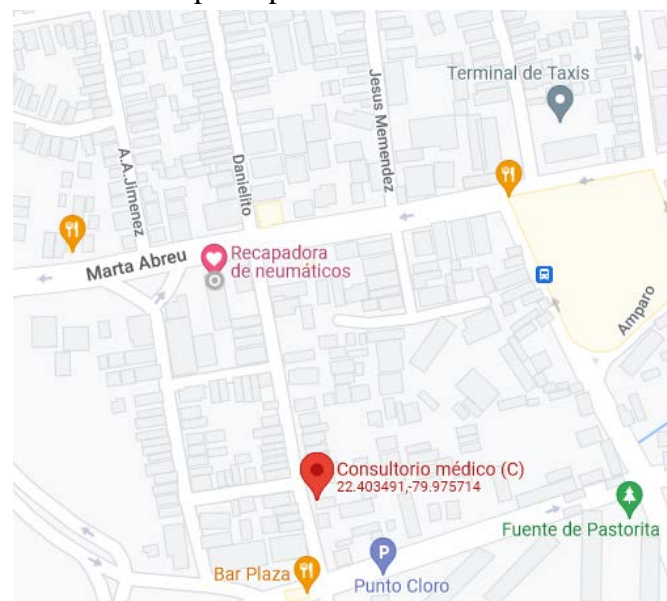


Figura 2. Ubicación del punto de muestreo “Consultorio Médico” (C)

El muestreo se realizó con el prototipo HZS-GARP-AQ-03 que se presenta en la Figura 3. El mismo se colocó a 2,5 m de altura con respecto a la superficie, según lo referido por (Alejo y col., 2012).

El sistema de medición HZS-GARP-AQ-03, según Hernández, (2020) fue programado con una frecuencia de muestreo de 7 segundos. Cumple con los requerimientos impuestos en cuanto a portabilidad, bajo consumo energético, costo razonable de sus componentes y conectividad. Además, está soportado sobre la plataforma Arduino como elemento para el procesamiento de las diferentes señales analógicas y digitales.

Este prototipo incluye sensores electroquímicos de bajo costo (LCS), marca Alphasense para la medición de dióxido de nitrógeno, dióxido de azufre, ozono y monóxido de carbono. El sensor específico en este estudio para el SO₂ de modelo A4 (134330005) se muestra en la Figura 3 y tiene un rango de medición de 0 a 200 ppb.



Figura 3. Prototipo HZS-GARP-AQ-03 y sensor electroquímico Alphasense SO₂-A4

Se determinó el voltaje mínimo del electrodo de trabajo y del electrodo auxiliar del sensor mediante un proceso de remoción con carbón activado. Dicho procedimiento permitió la aplicación del algoritmo 1 de cálculo (Ecuación 2) recomendado por el fabricante Alphasense, (2017) para calcular voltaje generado por el SO₂ y la concentración del contaminante a partir de la Ecuación 3.

$$V_{gas} = (WE - WE_0) - nT \cdot (AE - AE_0) \quad (2)$$

Donde:

V_{gas}: Voltaje generado por el gas expresado en mV.

WE: Voltaje del electrodo de trabajo expresado en mV.

WE₀: Voltaje del electrodo de trabajo en aire cero expresado en mV (WE₀= 275,87).

AE: Voltaje del electrodo auxiliar expresado en mV.

AE₀: Voltaje del electrodo auxiliar en aire cero expresado en mV (AE₀= 294,56).

nT: Factor de corrección dependiente de la temperatura (nT =0,4).

Para calcular la concentración del gas se empleó la Ecuación 3.

$$C_{gas} = \frac{V_{gas}}{ST} \quad (3)$$

Donde:

C_{gas}: Concentración del gas en ppb.

V_{gas}: Voltaje generado por el gas expresado en mV.

ST: Sensibilidad del gas expresada en mV/ppb (ST = -0,284).

Con este procedimiento se garantiza la fiabilidad de las concentraciones de SO₂ como medidas de inmisión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de las emisiones

Las emisiones de los óxidos de azufre calculadas por factor de emisión proveniente de la fuente de estudio en los días 4 y 5 de marzo de 2020 fueron de 1,0 kg/h y de 0,7 kg/h respectivamente. Este comportamiento se debe a que en el primer día de estudio la industria de recape consumió 42,91 kg/h (1072 L consumidos) de fuel oíl en correspondencia con el tiempo de operación de 24 h. Mientras que el día 5 de marzo, su tiempo de operación fue de 6 h y su consumo de combustible de 29,62 kg/h (185 L

consumidos).

Los niveles de emisión de SO₂ determinados no superan 1 kg/h, valores estos que coinciden con los resultados obtenidos por (Moscoso y col., 2018) para las industrias de este sector que utilizan combustible con alto contenido de azufre. Sin embargo, son inferiores a los reportados por Arbona y col., (2021) para una empresa de otro sector, la cual tiene tecnologías similares y utilizan el mismo tipo de combustible para la generación de vapor.

3.2 Modelación de la dispersión

Los resultados de la dispersión de las emisiones del SO₂ para los días 4 y 5 de marzo de 2020 se muestran en las Figuras 4 y 5 respectivamente.

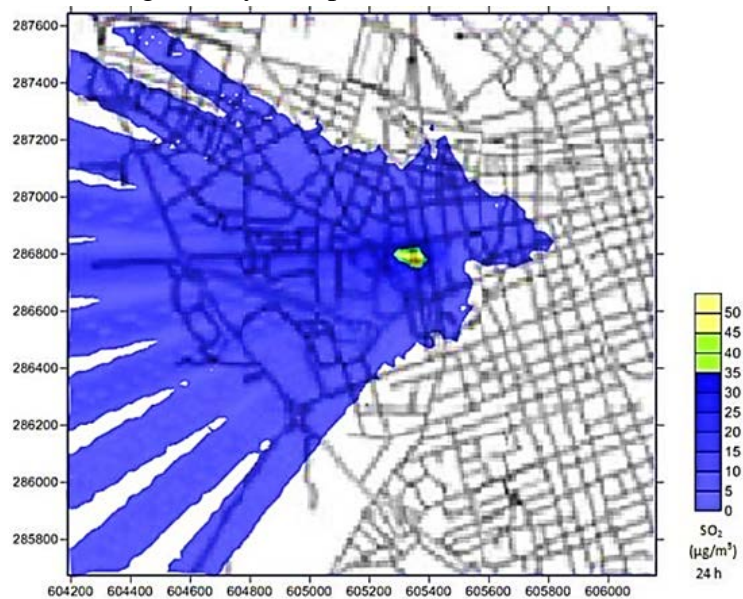


Figura 4. Modelos de dispersión de SO₂ para el 4 de marzo de 2020

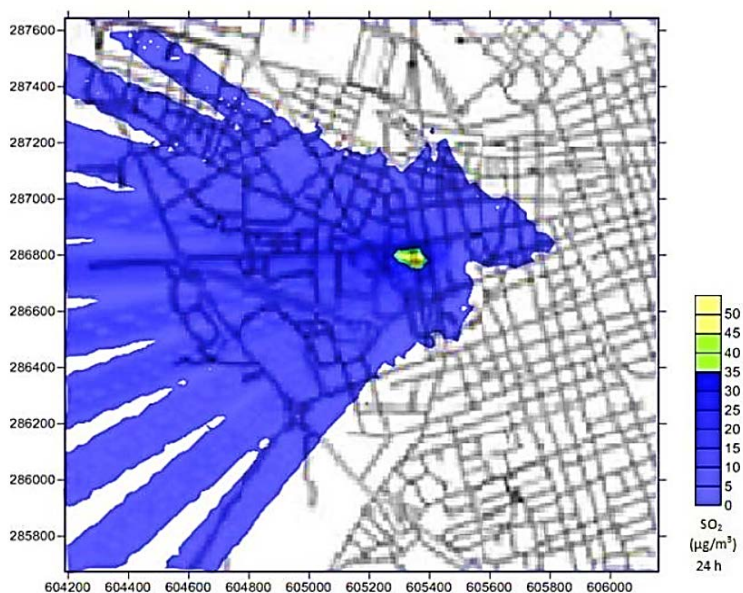


Figura 5. Modelos de dispersión de SO₂ para el 5 de marzo de 2020

En los días 4 y 5 de marzo los valores de concentración de SO₂ en la industria oscilan entre 35 y 50 ug/m³ para una categoría de índice de calidad de aire deficiente. Mientras que, en el punto de muestreo la concentración del SO₂ es de 35 ug/m³, para índice de calidad de aire 0,77 y una categoría aceptable. Los resultados obtenidos en el sitio de muestreo no superan la concentración máxima admisible (CMA) (45 ug/m³) establecida por NC.1020, (2014) para este contaminante.

3.3 Evaluación de niveles de inmisión de SO₂ en el área de estudio

Las concentraciones de dióxido de azufre medidas por el sensor en el periodo aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados obtenidos por el sensor

<i>Fecha</i>	<i>Total de datos</i>	<i>Promedio (ppb)</i>	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Desviación Estándar</i>
4/3/2020	5297	14,2068	14,2200	14,2052	0,0015
5/3/2020	12614	14,2097	14,2145	14,2052	0,0027

Como se observa en la Tabla 2 la concentración promedio en los días de muestreo fue de 14,21 ppb, lo que representa $36,64 \pm 0,017 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valor que no supera los $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$, establecidos por NC.1020, (2014) y que es similar al obtenido por los modelos de dispersión de la emisión en el punto de muestreo ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Lo que evidencia que no existen diferencias significativas ($\Delta=1,64 \pm 0,017 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entre los métodos empleados.

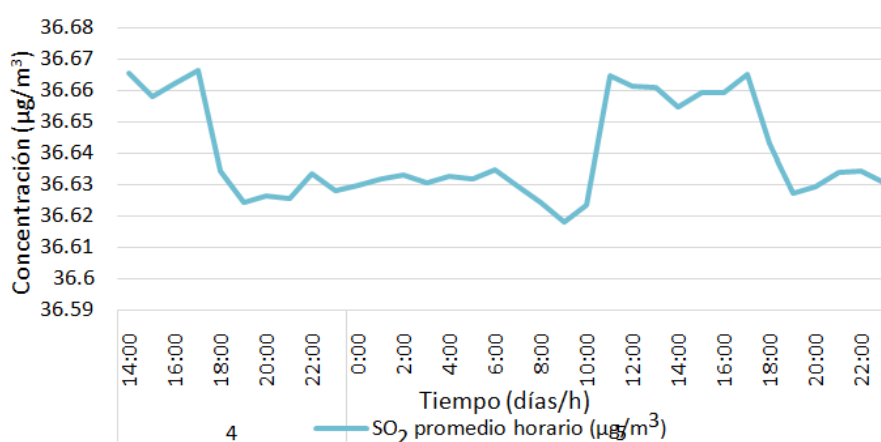


Figura 6. Concentración promedio horario de SO₂ en el punto de muestreo (C)

La concentración promedio en 24 h ($36,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$) es superior a los resultados obtenidos por (Alejo y col., 2012) mediante muestreo pasivo con captadores tipo Radiello durante 7 días, en la misma semana en el año 2010 y en un punto muy cercano al punto de monitoreo. Sin embargo, cuando se calcula la concentración ponderada en el tiempo (7 días) para los valores monitoreados de acuerdo a la ecuación 4 (EH40/2005, 2013); la concentración de SO₂ sería de $12,226 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Este valor representa un valor lógico y en correspondencia con lo obtenido por los autores (Alejo y col., 2012) en el periodo de muestreo ($10,5 \pm 4,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

$$\bar{c}_i = \frac{\sum_{i=1}^n (c_i \cdot t_i)}{\tau} \tag{4}$$

Donde:

$\sum(ci \cdot ti)$: sumatoria de la multiplicación de la concentración (ppm) por la frecuencia de muestreo (s).

τ : Tiempo de referencia (s).

4. CONCLUSIONES

1. El método propuesto que incluye estimación de niveles de emisión, modelación de la dispersión y medidas de niveles de inmisión de SO₂ permite la evaluación de los niveles de este contaminante en el aire ambiental en la zona objeto de estudio.
2. Los niveles de SO₂ en el aire ambiental determinados por factores de emisión – modelación (35 ug/m³) y mediante monitoreo con sensores de bajo costo (36,64± 0,017 ug/m³) no presentan diferencias significativas ($\Delta=1,64\pm 0,017$ ug/m³) lo que justifica la factibilidad del uso de los sensores de bajo costo para medir la calidad del aire.
3. Los resultados de la concentración de SO₂ evaluada con medidas de emisión e inmisión demuestran que es la industria de recape la fuente principal que tributa a la calidad del aire por el efecto de este contaminante en su radio higiénico sanitario (300 m) y en este estudio es aceptable.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto: “*AIR@PORT: Low-cost decision support system to evaluate the impact of ships on the air quality in the port city Cienfuegos*”.

REFERENCIAS

- Alejo, D., Morales, M.C., de la Torre, J.B., Grau, R., Bencs, L., Van Grieken, R., Van Espen, P., Sosa, D., & Nuñez, V., Seasonal trends of atmospheric nitrogen dioxide and sulfur dioxide over North Santa Clara, Cuba., *Environ Monit Assess*, Vol. 185, 2012, pp. 6023-6033. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-3003-4>
- Alphasense., Correcting for background currents in four electrode toxic gas sensors., *Application Note.*, 2017, pp.1-5.
- Arbona, M., Alternativas tecnológicas requeridas para reducir el impacto sobre la calidad del aire de los procesos auxiliares de combustión en la UB “Desembarco del Granma”., Tesis presentada en opción al grado de máster en Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2019.
- Arbona, M., Cabrera I., Morales, M.C., & García, M., Alternativa tecnológica para reducir el impacto de óxidos de azufre y nitrógeno en la textilera “Desembarco del Granma”., *Centro Azúcar*, Vol. 48, No. 3, 2021, pp. 1–10. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/661
- Astudillo, G.D., Garza-Castañón, L.E., & Avila, L.I., Design and evaluation of a reliable low-cost atmospheric pollution station in urban environment., *IEEE Access*, Vol. 8, 2020, pp. 51129-51144. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2980736>
- EH40/2005., Health and Safety Executive., *Workplace exposure limits.*, Reino Unido, 2013, pp. 1-74.
- Ekmekçioğlu, A., Kuzu, S.L., Ünlügençoğlu, K., & Çelebi, U.B., Assessment of

- shipping emission factors through monitoring and modelling studies., *Science of the Total Environment*, Vol. 743, 2020, 140742. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140742>
- EPA, AP-42., Fuel Oil Combustion., Estados Unidos: Office of Air Quality Planning and Standards., Emission Factor and Inventory Group, 1998, pp. 2-3.
- Hagan, D.H., Isaacman-VanWertz, G., Franklin, J.P., Wallace, L.M., Kocar, B.D., Heald, C.L., & Kroll, J.H., Calibration and assessment of electrochemical air quality sensors by co-location with regulatory-grade instruments., *Atmospheric Measurement Techniques*, Vol. 11, No. 1, 2018, pp. 315-328. <https://doi.org/10.5194/amt-11-315-2018>
- Hernández, E., Diseño de un sistema de medición y monitoreo de variables asociadas a calidad del aire., Tesis presentada en opción al grado de máster en Ingeniería Automática en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2020.
- López, H., y Alexandra, E., Estimación de emisiones gaseosas de fuentes fijas en el sector industrial del cantón Rumiñahui., Trabajo de Grado para la obtención del Título de Ingeniera Química, Carrera de Ingeniería Química, Quito, 2014. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/3493>
- Maffia, J., Dinuccio, E., Amon, B., & Balsari, P., PM emissions from open field crop management: emission factors, assessment methods and mitigation measures-a review., *Atmospheric Environment*, Vol. 226, 2020, 117381. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.117381>
- Moscoso, D., Astudillo, A., & Morales, M.C., Inventario de emisiones atmosféricas provenientes de fuentes fijas de combustión del parque industrial del cantón Cuenca-Ecuador., *Centro Azúcar*, Vol. 45, No. 2, 2018, pp. 33-45. http://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/61
- Munir, S., Mayfield, M., Coca, D., Jubb, S.A., & Osammor, O., Analysing the performance of low-cost air quality sensors, their drivers, relative benefits and calibration in cities. A case study in Sheffield., *Environmental monitoring and assessment*, Vol. 191, No. 2, 2019, pp. 1-22. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7231-8>
- NC.1020., Calidad del aire - Contaminantes-Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2014, pp. 8-9.
- NC.1059., 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., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2014, pp. 54-55.
- Núñez, V., Rodríguez, R., Gómez, L., Herrera, I., & Morales, M.C., Emisiones de dióxido de azufre a la atmósfera por fuentes fijas del MINAG y su influencia en la calidad del aire en la provincia de Villa Clara., *Centro Agrícola*, Vol. 46, No. 3, 2019, pp. 86-95. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v46n3/0253-5785-cag-46-03-86.pdf>
- Perry, R., Green, D., & Maloney, J., Manual del ingeniero químico, Sexta Edición, Vol. 3, 2001, pp. 9-82.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Arianna Alvarez Cruz. Realizó la determinación de las emisiones, procesó los resultados y colaboró en la escritura del artículo.
- Dra.C. Mayra C. Morales Pérez. Colaboró en el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Lic. Rosa Amalia González Rivero. Colaboró en el diseño experimental.
- Dr.C. Vladimir Núñez Caraballo. Colaboró en el análisis de los resultados.