

Artículo Original

**DETERMINACIÓN DE PROPUESTA TECNOLÓGICA PARA
REDUCIR EL IMPACTO DEL MATERIAL PARTICULADO
GENERADO EN LA TEXTILERA “DESEMBARCO DEL GRANMA”**

**TECHNOLOGICAL PROPOSAL TO REDUCE THE IMPACT OF
PARTICULATED MATERIAL GENERATED IN “DESEMBARCO DEL
GRANMA” TEXTILE FACTORY**

Mercedes Arbona Cabrera^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-1096-7648>

Isabel Cabrera Estrada¹ <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

Mayra Caridad Morales Pérez¹ <https://orcid.org/0000-0001-7506-0145>

María de los Ángeles García Hernández² <https://orcid.org/0000-0002-4361-8850>

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 UB “Desembarco del Granma”. Carretera a Camajuaní km 2 ½. Santa Clara, Villa Clara. Cuba.

Recibido: Diciembre 19, 2019; Revisado: Enero 22, 2020; Aceptado: Febrero 10, 2020

RESUMEN

Introducción:

La presencia en la atmósfera del material particulado ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre. Las emisiones principales de la textilera “Desembarco del Granma” provienen de la quema de fuel oil en los calentadores de aceite y en las calderas generadoras de vapor. Las emisiones se pueden estimar por medio de los factores de emisión.

Objetivo:

Determinar la propuesta tecnológica necesaria para reducir el impacto a la calidad del aire provocado por el material particulado generado por los procesos auxiliares de combustión en la UB “Desembarco del Granma”.

Materiales y Métodos:

Se emplearon los factores de emisión. La modelación de la dispersión de PM₁₀ se realizó mediante el software especializado del Centro Meteorológico Provincial, basado en un modelo de pluma Gaussiano. Se utilizó el software *Aspen Plus* 8.0.

Resultados y Discusión:

Se estimaron las emisiones de PM₁₀ y PM_{2.5}. Las inmisiones de PM₁₀ alcanzan valores máximos de 100 µg/m³, para una categoría de calidad del aire de mala al superar lo establecido por la NC 1020 (2014). Con el *Aspen Plus* se determinaron las características que tendrán los ciclones a agregar a las fuentes fijas consideradas. Se



Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Mercedes Arbona, Email: marbona@uclv.cu



seleccionó el tipo Stairmand-HE.

Conclusiones:

La propuesta para mitigar el impacto ambiental del material particulado consiste en instalar dos ciclones, uno en el generador de vapor y otro en el calentador de aceite de la planta de servicios de Ingeniería de la UB “Desembarco del Granma”.

Palabras clave: ciclones; factores de emisión; fuentes fijas; material particulado.

ABSTRACT

Introduction:

Particulate material presence in atmosphere causes a variety of impacts on vegetation, materials and humans. The main emissions of “Desembarco del Granma” textile factory are originated from fuel oil burning in oil heaters and steam-generating boilers. Emissions can be estimated using emission factors.

Objective:

To determine the necessary technological proposal to reduce the air quality impact caused by particulate material generated in auxiliary combustion processes in “Desembarco del Granma” textile factory.

Materials and methods:

Emission factors were used. Dispersion modeling of PM₁₀ was performed using a specialized software from the Provincial Meteorological Center, based on a Gaussian plume model. Aspen Plus 8.0 software was used.

Results and Discussion:

The emissions of PM₁₀ and PM_{2.5} were estimated. PM₁₀ immissions reach maximum values of 100 µg/m³. These values show a poor air quality category because it's exceeding the provisions of NC 1020 (2014). By means of Aspen Plus, the characteristics that cyclones will add to the considered fixed sources were determined. The Stairmand-HE type was selected.

Conclusions:

The proposal to mitigate particulate material environmental impact consists in two cyclones installation, one in the steam generator and the other one in the oil heater of the engineering services plant “Desembarco del Granma”.

Keywords: cyclones; emission factors; fixed sources; particulate matter.

1. INTRODUCCIÓN

El material particulado es uno de los contaminantes atmosféricos más estudiados en el mundo, este se define como el conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera, que se originan a partir de una gran variedad de fuentes naturales o antropogénicas y poseen un amplio rango de propiedades morfológicas, físicas, químicas y termodinámicas, según Núñez (2014 a).

La presencia en la atmósfera de este contaminante ocasiona variedad de impactos a la vegetación, materiales y el hombre, entre ellos, la disminución visual en la atmósfera, causada por la absorción y dispersión de la luz; está asociada con el incremento del riesgo de muerte por causas cardiopulmonares en muestras de adultos. Es necesario,

además de realizar mediciones de la concentración de este contaminante, evaluar su comportamiento en el espacio y el tiempo, asociándolo con los fenómenos meteorológicos, composición química y origen, los cuales permitan orientar estrategias de control y realizar seguimiento por parte de las autoridades ambientales interesadas, de acuerdo con lo planteado por Arciniégas (2012).

Las emisiones principales de la UB textil “Desembarco del Granma” ubicada en la carretera a Camajuaní km 2 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba, provienen de la quema de fuel oil en los calentadores de aceite y en las calderas generadoras de vapor, según Arbona (2018).

Para calcular las emisiones de una fuente, por lo general, se eligen los datos provenientes de muestreo de la fuente específica o monitoreos de emisión continua con una estación automática instalada permanentemente sobre la fuente, ya que estos datos proporcionan la mejor representación de las emisiones de fuentes evaluadas. No obstante, los datos del muestreo provenientes de fuentes individuales no siempre se encuentran disponibles e incluso cuando lo estén, los escasos datos de esta naturaleza no reflejan la variabilidad de las emisiones reales en el tiempo y son específicos de la operación del equipo en condiciones muy particulares. Por lo tanto, el cálculo de las emisiones utilizando factores de emisión, constituye un método factible y adecuado, sin embargo, teniendo en cuenta que se trata de valores medios obtenidos de amplias series de datos, con finalidad variable, las emisiones calculadas por este método, para un determinado equipo, pueden ser diferentes a las emisiones reales de dicho equipo y no deben contemplarse como valores límites ni permisibles, para lo cual deben ser comprobados por balances de materiales y/o monitoreo de emisión, según Núñez (2014 b).

Los modelos de dispersión de contaminantes más usados, según Zaror (2000), son los modelos de estado de pluma Gaussiana basados en la suposición de que la concentración promedio del contaminante en la dirección perpendicular al viento desde la fuente de emisión presenta una distribución normal de Gauss, o sea, el perfil de concentración promedio presentaría mayor valor de concentración en la zona central, disminuyendo hacia la periferia de la envoltura, de modo similar a una distribución Gaussiana.

El modelo supone condiciones de estado permanente, es decir, la tasa de emisión de contaminantes, su temperatura y velocidad de salida, así como las condiciones meteorológicas, se mantienen constantes. Además, supone que el contaminante no sufre transformaciones químicas, ni se absorbe en la superficie del suelo como lo expresa Suarez (2008).

Con el desarrollo de la industria y el transporte, la contaminación de la atmósfera ha ido ampliándose considerablemente, advirtiéndose sus efectos a gran escala. Aunque en Cuba, de forma general, no se presenta como un gran problema, excepto en algunas zonas, ya se observan sus efectos, fundamentalmente en las variaciones del clima, aumento en la frecuencia de fenómenos meteorológicos, impactos en algunos cultivos y en la salud humana. Esto implica la necesidad de cuantificar las emisiones a la atmósfera, poniendo el énfasis en aquellas fuentes ubicadas en los territorios que muestren una situación preocupante con respecto a la calidad del aire, según Ferrero (2016).

Los fundamentos de los mecanismos básicos de la captación de partículas se basan fundamentalmente en acción de fuerzas externas (sedimentación gravitatoria, sedimentación centrífuga, separación electrostática) y captura aerodinámica.

Los equipos de captación más empleados pueden agruparse en: separadores mecánicos (que incluyen: cámaras de gravedad, separadores de impacto y ciclones); electrofiltros o precipitadores electrostáticos; filtros de tela y captadores húmedos. Para la selección de uno u otro se tendrá en cuenta: la eficacia que es preciso alcanzar, las características de las partículas, las características del gas portador, el caudal, la temperatura y humedad, la pérdida de carga admisible; asimismo los factores económicos (costos de operación, costos de inversión, materiales y construcción) y otros factores técnicos como: espacio disponible, servicios auxiliares, según Rosabal (2006).

Este trabajo tiene como finalidad realizar una propuesta tecnológica necesaria para reducir el impacto a la calidad del aire provocado por el material particulado generado por los procesos auxiliares de combustión en la UB “Desembarco del Granma”.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En la textilera “Desembarco del Granma” se utiliza como combustible fuel oil Bunker C, cuya composición en fracción masa se muestra en la Tabla 1, según Rodríguez (2011) e Ibáñez (2018).

Tabla 1. Composición en fracción masa del combustible Bunker C

<i>Componente</i>	S	H	C	O
<i>Fracción masa</i>	0,0338	0,1106	0,8426	0

En la Tabla 2 se reflejan características del generador de vapor y calentador de aceite, que constituyen las fuentes fijas instaladas en la UB “Desembarco del Granma” a las cuales se les estimaron las emisiones de material particulado.

Tabla 2. Características del generador de vapor y calentador de aceite

<i>Equipo</i>	<i>Generador de vapor</i>	<i>Calentador de aceite</i>
Altura de la chimenea (m)	25	15
Diámetro interior de la chimenea a la salida (m)	1,1	0,6

2.1. Determinación de las emisiones de material particulado por medio del empleo de los factores de emisión

Se determinaron las emisiones de material particulado del generador de vapor y del calentador de aceite por medio de los factores de emisión para el Bunker C, según las normas EPA AP-42 (1998) y Rodríguez (2011).

Para determinar el flujo máximo del gas emitido (m^3/s) a través de la chimenea de cada equipo se empleó la ecuación 1:

$$V_{TH} = 22,4 * \left(\frac{PC}{12} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PS}{32} - \frac{PO_2}{32} \right) * \frac{\eta}{0,21} + \frac{PH_2}{4} + \frac{PO_2}{32} \quad (1)$$

Donde:

V_{TH} : volumen de gases húmedos en condiciones normales (0 °C y 101,325 kPa) en m^3 , generado por cada kg de combustible quemado.

n: coeficiente de exceso de aire, en este caso se consideró el 20%

PC, PH₂, PS y PO₂: composición en fracción masa de la materia prima (que aparecen en la Tabla 1). El combustible Bunker C no contiene O₂ por tanto los términos que incluyen a este gas en la ecuación 1 son iguales a cero.

El flujo volumétrico de gases húmedos debe corregirse para la temperatura de salida de los gases de la chimenea considerando comportamiento ideal isobárico, para ello se emplea la ecuación 2.

$$V_2 = \frac{V_1}{T_1} * T_2 \quad (2)$$

Donde:

V₂: flujo volumétrico corregido (m³ generado por cada kg de combustible quemado)

V₁= V_{TH} m³ generado por cada kg de combustible quemado (volumen de gases húmedos en condiciones normales)

T₁: temperatura en condiciones normales (0 °C o 273 K), T₂: temperatura de salida de los gases de la chimenea (K), Se obtiene el flujo máximo del gas emitido (Q) en m³/s, por medio de la ecuación 3.

$$Q = V_2 * C_c \quad (3)$$

Siendo C_c: Consumo de combustible (kg/s)

La velocidad medida o estimada en la salida de la mezcla gaseosa por la fuente puntual de emisión se suele expresar en metros por segundo. Para obtener la velocidad de salida (V) de los gases se utiliza la ecuación 4:

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * d^2} \quad (4)$$

La ecuación general empleada para la estimación de emisiones atmosféricas es la siguiente:

$$E = FE * A * \left(1 - \frac{ER}{100}\right) \quad (5)$$

Donde:

E = emisión en (g/s), FE = factor de emisión en g de contaminante/kg de combustible, A = nivel de intensidad de la actividad (consumo de combustibles, producción), en unidades de masa o volumen por tiempo, ER = eficiencia global en la reducción de emisiones (%), Ni en el generador de vapor ni en el calentador de aceite, objetos de estudios, existen dispositivos instalados para reducir las emisiones, por lo que ER=0.

2.2. Modelación de la dispersión de material particulado PM₁₀ y su incidencia en el entorno

Se realizó la modelación de la dispersión de PM₁₀ emitido debido a la quema de fuel oil en el generador de vapor y en el calentador de aceite de la UB “Desembarco del Granma” mediante el software especializado del Centro Meteorológico Provincial, el cual se basa en un modelo de pluma Gaussiano de estado continuo que puede ser usado para evaluar concentraciones y/o deposiciones de flujos de una variedad amplia de fuentes asociadas a la industria y el transporte. El software permite especificar las coordenadas en el sistema UTM (*Universal Transverse Mercator*). Este sistema usa como unidad de medida el metro, que permite una localización más precisa de fuentes y receptores, según NC.1059 (2014). La escala de colores que se muestran en los mapas de contaminación deben referirse a las Concentraciones Máximas Admisibles (CMA) estipuladas en la NC 1020 (2014). El color azul se usa si el índice de calidad del aire es

menor que 1 es bueno, entre 0,8 y 1 es aceptable; el color verde refleja una calidad del aire deficiente y los colores amarillo y rojo indican una calidad del aire deficiente y mala respectivamente.

Se realizó un estudio de salud respiratoria en el reparto “Los Moros”, ubicado a menos de un kilómetro de distancia de la UB “Desembarco del Granma”, para comprobar la incidencia de la contaminación atmosférica, según González (2017). Se entrevistaron un total de 40 hogares que responde a la cantidad de 154 personas.

2.3. Evaluación del equipo de control agregado

Se hizo uso del simulador Aspen Plus 8.0 el cual es un programa básicamente de simulación de procesos químicos, en el que además de simulaciones de diagramas de flujo, se pueden realizar: estimación de propiedades de compuestos, análisis de sensibilidad de variables de proceso, obtener especificaciones de diseño, síntesis y análisis de procesos químicos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se muestran los resultados de los cálculos para la caracterización de corrientes en el generador de vapor y el calentador de aceite.

Tabla 3. Resultados de los cálculos para la caracterización de corrientes en el generador de vapor y el calentador de aceite

<i>Parámetro</i>	<i>Generador de vapor</i>	<i>Calentador de aceite</i>
V_{TH} (m ³ /kg combustible) a 273K	21,08981	13,598
T salida gases (K)	448	523
V_2 (flujo volumétrico corregido (m ³ /kg))	34,60892	26,0505
C consumo de combustible (kg/s)	0,230999	0,03385
Q flujo máximo de gas emitido (m ³ /s)	7,994633	0,88182
v velocidad de salida de los gases, m/s	8,416732	3,12038

Se observa que el consumo de combustible es mucho mayor en el generador de vapor que en el calentador de aceite, lo cual está en correspondencia con los propósitos de cada equipo (generar 23000 kg de vapor/hora y calentar 150 m³/hora de aceite térmico) según Albuérne (2005). En la Tabla 4 se expresan los resultados de las emisiones de material particulado, basadas en los factores de emisión para el generador de vapor y el calentador de aceite de la UB “Desembarco del Granma”.

Tabla 4. Emisiones estimadas para el generador de vapor y calentador de aceite de la UB “Desembarco del Granma”

<i>Contaminante</i>	<i>Factor FE (kg contaminante/kg combustible)</i>	<i>Emisión (E)</i>			
		<i>Generador de vapor (g/s)</i>	<i>Calentador de aceite (g/s)</i>	<i>Generador de vapor (mg/m³)</i>	<i>Calentador de aceite (mg/m³)</i>
PM ₁₀	0,00129	0,297	0,043667	276,15	352,2
PM _{2.5}	0,00094	0,217	0,031819	280,63	366,88

Al calcular las emisiones en el generador de vapor, se observa que para el contaminante PM₁₀ el valor es de 276,15 mg/m³. En el calentador de aceite, los valores de las

emisiones de los contaminantes fueron PM_{10} ($352,2 \text{ mg/m}^3$) y $PM_{2.5}$ ($366,88 \text{ mg/m}^3$). Esta información fue útil para poder aplicar técnicas de modelación de dispersión de contaminantes atmosféricos estando así en condición de comparar estos resultados con los establecidos por la norma cubana de inmisión NC 1020 (2014).

Mediante la estimación realizada por factores de emisión y la inspección visual al lugar objeto de estudio se determinó que existe emisión de material particulado. Se modeló el impacto sobre la calidad del aire del contaminante PM_{10} , emitido desde el generador de vapor y el calentador de aceite (representadas estas fuentes fijas por el número 1).

En la Figura 1 se observa el resultado obtenido para el PM_{10} . Se puede apreciar que el PM_{10} alcanza valores máximos de $100 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ en la propia industria, para una categoría de calidad del aire de mala (ICA igual a 2 color rojo), que supera la concentración máxima admisible para este contaminante ($50 \text{ }\mu\text{g/m}^3$) según lo establecido por la NC 1020 (2014). El PM_{10} alcanza valores de $90 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ hasta una distancia de 1500 m a sotavento de la fuente para una categoría de calidad del aire deficiente (color amarillo y un valor del ICA igual a 1,8) según NC 111 (2004). Los resultados de las encuestas realizadas en el reparto “Los Moros” se muestran en la Tabla 5.

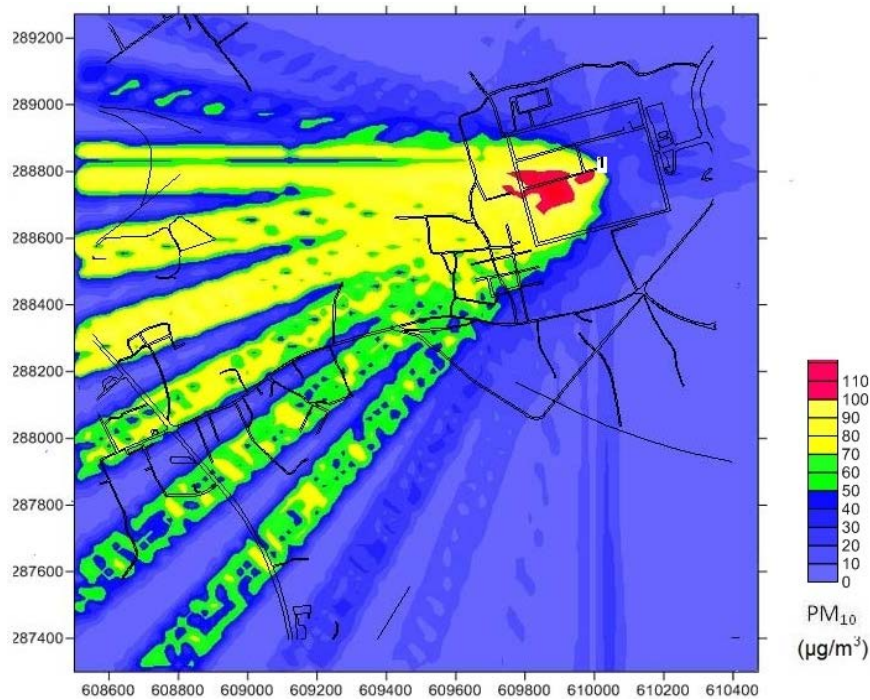


Figura 1. Dispersión del PM_{10} emitido en 24 horas por el generador de vapor y el calentador de aceite

Tabla 5. Resultados de las entrevistas realizadas a la población del reparto Los Moros

<i>Enfermedad</i>	<i>Número de enfermos</i>	<i>Antecedente</i>
Resfriados frecuentes	8	No
Alergias	4	1
Faringitis	1	No
Bronquitis	1	No
Asma	2	1
Neumonía	1	No

Es importante aclarar que las personas enfermas sin una causa específica, no se ha comprobado directamente que sea a consecuencia de la contaminación atmosférica; pueden existir otras causas externas o internas, es muy difícil investigar si una de estas enfermedades pueda deberse propiamente a los gases tóxicos emitidos por la fábrica, sin embargo es evidente que en esta zona existe cierta concentración de enfermedades respiratorias. De un total de 154 personas, 17 se encuentran padeciendo algún tipo de patología respiratoria, lo cual representa un 11%, restándole las causas específicas que presentan algunos, el 9% se encuentran enfermas sin causa evidente.

3.1. Medidas para mitigar el impacto del material particulado emitido

A partir de las evaluaciones realizadas se corroboró que es necesario disminuir el impacto que provoca el material particulado producido en el generador de vapor y calentador de aceite de la UB “Desembarco del Granma”. Es por esto que se procedió a evaluar las medidas que aparecen a continuación.

3.1.1 Sustitución del fuel oil mediano por el ligero

Teniendo en cuenta la composición del fuel oil ligero, que se muestra en la Tabla 6 según Rodríguez (2011), donde se reporta un por ciento de azufre de 2,23, que es menor que el por ciento de azufre de fuel oil mediano que es el que actualmente se utiliza (3,38), se estimaron las emisiones que se generarían si se sustituyera al combustible mediano por el ligero.

Tabla 6. Composición en por ciento masa del fuel oil ligero

<i>Combustible</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>C</i>
Fuel oil ligero	2,23	11,09	85,53

Los factores de emisión considerados para estimar las emisiones al utilizar el fuel oil ligero se reportan en la Tabla 7 planteados por Serrano (2009). Los resultados de los cálculos aparecen en la Tabla 8.

Tabla 7. Factores de emisión para el fuel oil ligero

<i>Contaminante</i>	<i>Factor FE (kg contaminante/kg combustible)</i>
PM ₁₀	0,00092
PM _{2,5}	0,00067

Tabla 8. Comparación de las emisiones en el generador de vapor cuando se emplea fuel oil mediano o fuel oil ligero

<i>Contaminante</i>	<i>E = emisión en (g/s)</i>			
	<i>Generador de vapor</i>		<i>Calentador de aceite</i>	
	<i>Mediano</i>	<i>Ligero</i>	<i>Mediano</i>	<i>Ligero</i>
PM ₁₀	0,2979	0,2125	0,0436	0,0311
PM _{2,5}	0,2171	0,1547	0,0318	0,0226

Se observa que las emisiones PM₁₀ y PM_{2,5} disminuirán, lo cual tendrá una repercusión favorable desde el punto de vista ambiental. Esto provocará un incremento del costo de producción debido a la mejor calidad del combustible ligero, cuyo precio es 0,546 USD/L (mientras que el del mediano es 0,338 USD/L), según criterio reportado por la subdirección económica de la entidad en el momento de realizar este trabajo (octubre del 2019).

3.1.2. Empleo de un equipo de control agregado

Para seleccionar y evaluar el equipo se hizo uso del simulador Aspen Plus 8.0, el cual cuenta con una base de datos en la que aparecen reportados varios tipos de ciclones, entre ellos se encuentran los de tipo Barth y los de tipo Stairmand-HE. Un parámetro fundamental en estos últimos es el tamaño de corte, definido como el tamaño de partícula para el cual la eficiencia fraccional de separación es del 50 %. Se seleccionó el tipo Stairmand-HE que permite remover partículas cuyos diámetros corresponden a los diámetros del tamaño de las partículas que se generan.

Se seleccionó el tipo Stairmand-HE que permite remover partículas cuyos diámetros corresponden a los diámetros del tamaño de las partículas que se generan. Los esquemas que representan la inclusión de los ciclones en el generador de vapor y en el calentador de aceite aparecen en las Figuras 2 y 3, respectivamente. Al realizar la evaluación de cada sistema se obtuvieron los resultados que se muestran en la Tabla 9.

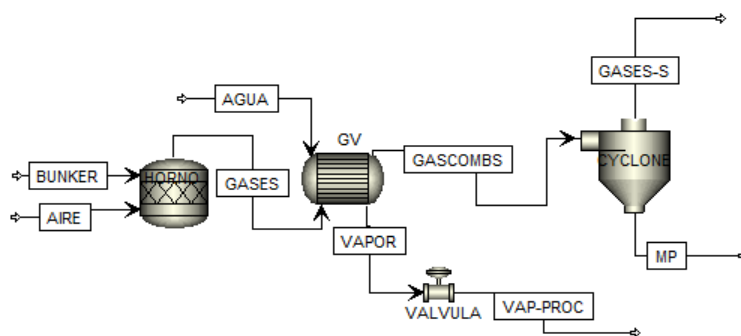


Figura 2. Esquema del generador de vapor con la inclusión del ciclón

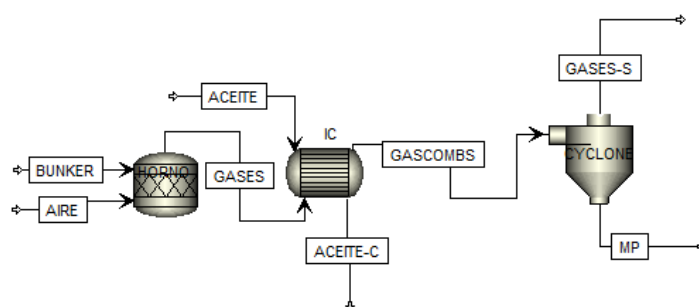


Figura 3. Esquema del calentador de aceite con la inclusión del ciclón

En la Tabla 9 se reporta la disminución del material particulado en los gases de salida por el uso de los ciclones. Se obtuvo una remoción de 25,6 g/s en el generador de vapor y de 0,179 g/s en el calentador de aceite. Las características generales de los ciclones se expresan en la Tabla 10.

Tabla 9. Flujo másico (g/s) de la corriente de entrada y las de salida del ciclón, referidas al constituyente C (material particulado)

<i>Fuente</i>	<i>Gases de combustión</i>	<i>Gases de salida</i>	<i>Material particulado</i>
Generador de vapor	39,9	14,3	25,6
Calentador de aceite	0,297	0,118	0,179

Tabla 10. Características de los ciclones propuestos para mitigar el impacto de las emisiones de material particulado

<i>Aspectos de diseño</i>	<i>Generador de vapor</i>	<i>Calentador de aceite</i>
Tipo de ciclón	Alta eficiencia	Alta eficiencia
Diámetro del cilindro (m)	2,32	1,22
Eficiencia (%)	64,14	60,16
Caída de presión (atm)	0,024	0,00928
Longitud del vórtice (m)	5,74	3,02
Longitud del cilindro (m)	3,48	1,83
Longitud del cono (m)	5,8	3,05

La caída de presión está en el rango permitido para el buen funcionamiento, según Moscoso (2018). Con las características del ciclón se procedió a determinar su costo por medio de la literatura especializada, Ulrich (1985). La ecuación 6 se empleó para la actualización de los costos de los equipos pues la fuente de referencia no coincidía con el año actual. En la Tabla 11 se muestra la determinación del costo total de los ciclones Stairmand-HE.

$$\text{Costo actual año 2018} = \frac{\text{índice de costo 2018}}{\text{índice de costo año de referencia}} * \text{Costo año referencia} \quad (6)$$

El índice de costo del año de referencia (1985) fue de 325 y el actual de 603,1 para el año 2018 (Chemical Engineering, 2019).

Tabla 11. Costo de adquisición del equipamiento necesario para la mitigación del impacto del material particulado

<i>Equipo</i>	<i>Costo (USD)</i>	<i>Referencia</i>	<i>Costo actualizado (USD)</i>
Ciclones separadores de partículas sólidas (alta eficiencia)	$1,25 * 10^5$	Figura 5.56 (Ulrich, 1985)	231 961,5

Al valorar que en estos momentos no se dispone de un combustible ligero para sustituir al mediano que se emplea, se decidió que una propuesta para mitigar el impacto del material particulado sobre la entidad y sus alrededores, consiste en la instalación de dos ciclones del tipo Stairmand-HE, uno en el generador de vapor, con una eficiencia de 64,14% y otro en el calentador de aceite, con una eficiencia de 60,16%; ambos en la planta de servicios de Ingeniería de la UB “Desembarco del Granma”. El costo de adquisición de los dos ciclones es de 231 961,5 USD.

4. CONCLUSIONES

1. Mediante la simulación con el Aspen Plus, versión 8.0, en el generador de vapor se propuso el empleo de un ciclón Stairmand-HE de alta eficiencia con un costo de 115 980,8 USD con el cual se logra la reducción del material particulado a 14,3 g/s en los gases de salida.
2. En el calentador de aceite se propuso el empleo de un ciclón Stairmand-HE de alta

eficiencia con un costo de 115 980,8 USD con lo cual se logra la reducción del material particulado a 0,118 g/s en los gases de salida.

3. Una propuesta para mitigar el impacto ambiental del material particulado consiste en instalar dos ciclones, uno en el generador de vapor y otro en el calentador de aceite de la planta de servicios de Ingeniería de la UB “Desembarco del Granma” ya que en las condiciones actuales no hay condiciones para implementar el uso del combustible ligero.

REFERENCIAS

- Albuerne, V., Guía de operación de calderas de vapor., Santa Clara: Planta de servicios de ingeniería, UB Desembarco del Granma, 2005, pp. 1-2.
- Arbona, M., Disminución el impacto negativo que ejerce la quema de combustible fuel oil en el sistema de generación de vapor de la UB “Desembarco del Granma”., Tercera Convención Internacional de la industria cubana (QUIMINDUSTRIA), Palacio de las Convenciones, La Habana, 2018, pp.1-5.
- Arciniégas, C., Diagnóstico y control de material particulado: partículas suspendidas totales y fracción respirable PM₁₀., Luna Azul, No. 34, Enero-Junio, 2012, pp. 3-4.
- Chemical Engineering, Economics Indicators., Vol. 126, No. 12, December 2019, pp. 151-152.
- EPA, AP-42., Fuel Oil Combustion., Estados Unidos: Office of Air Quality Planning and Standards. Emission Factor and Inventory Group, 1998, pp. 2-3.
- Ferrero, A., Contaminantes atmosféricos procedentes de un generador de vapor instalado en la UEB Conrado Piña., Cuba: Grupo Empresarial de la Industria Química, 2016, pp. 3-4.
- González, E., Evaluación del comportamiento de los talleres de blanqueo y teñido del combinado textil “Desembarco del Granma”., Contaminación atmosférica y sus riesgos para la población vecina., proyecto de curso, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba, 2017.
- Ibáñez, C., Declaración de conformidad, Certificado de los análisis de laboratorio, Cienfuegos: CUPET, 2018, pp. 1-2.
- Moscoso, D., Soluciones tecnológicas para favorecer el Índice de Calidad del Aire (ICA) en la ciudad de Cuenca., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2018.
- NC.111 2004., Calidad del aire-Reglas para la vigilancia de la calidad del aire en asentamientos humanos., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2004, pp. 3-9.
- NC.1020 2014., Calidad del aire – Contaminantes-Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2014, pp. 8-9.
- 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., Cuba, Oficina Nacional de Normalización, 2014, pp. 54-55.
- Núñez, V., Metodología de diagnóstico técnico ambiental en fuentes fijas industriales para prevenir y mitigar los Episodios Críticos de Contaminación Atmosférica y el impacto a la salud humana., Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor

- en Ciencias Técnicas, Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas”, Cuba, 2014a.
- Núñez, V., Emisiones a la atmósfera de material particulado de centrales azucareros y refinerías de azúcar en la provincia de Villa Clara, Cuba., Revista ICIDCA, Vol. 48, No. 2, 2014b, pp. 42-49.
- Rodríguez, D., Métodos teóricos para calcular parámetros tecnológicos de emisión de contaminantes atmosféricos producidos por fuentes fijas. Caso de estudio ciudad de Pinar del Río., Revista Iberoamericana Interdisciplinar de Métodos, Modelización y Simulación, No. 4, Diciembre, 2011, pp. 19-30.
- Rosabal, J., Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas., Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 2006, pp. 111-115.
- Serrano, M., Guía metodológica para la estimación de emisiones atmosféricas de fuentes fijas y móviles en el registro de emisiones y transferencia de contaminantes., Chile, 2009. Disponible en: <https://retc.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/01/GUIA-METODOLOGICA-PARA-LA-ESTIMACION-DE-EMISIONES-PROVENIENTES-DE-FUENTES-PUNTUALES.pdf>
- Suarez, Y., Metodología para la evaluación del impacto en la calidad del aire aplicado a un proceso de generación distribuida., Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba, 2008.
- Ulrich, G., Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química., Editorial McGraw Hill, Primera edición, 1985, pp. 346-347.
- Zaror, C., Introducción a la Ingeniería Ambiental para la industria de procesos., Universidad de Concepción, Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, Chile, 2000, pp. 94-95. Disponible en: http://www.ingenieroambiental.com/4018/introduccion%20a%20la%20ingenieria%20ambiental%20para%20la%20industria%20de%20procesos_c%20zaror.pdf

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- M.Sc. Mercedes Arbona Cabrera. Realizó la determinación de las emisiones y aplicó el Software Aspen Plus 8.0 para obtener los resultados, así como realizó la escritura del artículo.
- Dra.C. Isabel Cabrera Estrada. Colaboró en el análisis de los resultados y la escritura del artículo.
- Dra.C. Mayra C. Morales Pérez. Colaboró en el análisis de los resultados y corrección del artículo.
- M.Sc. María de los Ángeles García Hernández. Colaboró con las mediciones experimentales.