

Artículo Original

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE EN EL TALLER DE ACABADO DE UNA INDUSTRIA TEXTIL EN SANTA CLARA, CUBA

EVALUATION OF AIR QUALITY IN THE FINISHING WORKSHOP OF A TEXTILE INDUSTRY IN SANTA CLARA, CUBA

Taila Elena Rodríguez Berrio^{1*} <https://orcid.org/0009-0004-2188-9985>
Daniela Román Iglesias² <https://orcid.org/0009-0008-5744-9964>
Mayra Caridad Morales Pérez³ <https://orcid.org/0000-0001-7506-0145>
Arianna Álvarez Cruz⁴ <https://orcid.org/0000-0002-5798-6793>
Isabel Cabrera Estrada³ <https://orcid.org/0000-0002-5307-1502>

¹ Departamento de Ingeniería, Empresa Textil Luis A. Turcios Lima Sarex. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

² Departamento de Producción, UEB Complejo Industrial LABIOFAM. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

⁴ Oficina Técnica Fagom Process. Carrer Lluís Company, 66. CP08401 Granollers, Barcelona, España.

Recibido: Noviembre 25, 2025; Revisado: Diciembre 6, 2025; Aceptado: Diciembre 17, 2025

RESUMEN

Introducción:

La calidad del aire en el ambiente laboral de la industria textil que produce sacos de polipropileno se afecta, fundamentalmente, por las condiciones higrotérmicas, el ruido, las partículas provenientes de fibras no biodegradables y gases tóxicos.

Objetivo:

Evaluar la calidad del aire en el taller de acabado de una industria textil en Santa Clara, Cuba.

Materiales y Métodos:

La metodología incluye el muestreo de gases (NO₂, y SO₂), partículas y condiciones higrotérmicas con un sistema de sensores de la compañía LIBELIUM, el posprocesamiento estadístico del monitoreo en tiempo real y el cálculo las concentraciones de CO₂ en el área de estudio.



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: Taila E. Rodríguez, Email: thailaerdguez@gmail.com



Resultados y Discusión:

Los contaminantes que deterioran el ambiente laboral son el SO₂, NO₂ con valores promedio diario que superan las CMA de acuerdo a los estándares establecidos y los valores de temperatura afectan el confort térmico del ambiente laboral.

Conclusiones:

El muestreo realizado que incluye medidas de niveles de inmisión de gases, partículas y condiciones higrotérmicas permite diagnosticar la calidad del aire en el taller de acabado de este proceso.

Palabras clave: contaminación; dióxido de carbono, inmisión; material particulado.

ABSTRACT

Introduction:

Air quality in the working environment of the textile industry that produces polypropylene bags is primarily affected by hygrothermal conditions, noise, particles from non-biodegradable fibers, and toxic gases.

Objective:

To evaluate the air quality in the finishing workshop of a textile industry in Santa Clara, Cuba.

Materials and Methods:

The methodology includes sampling of gases (NO₂, and SO₂), particles, and hygrothermal conditions using a sensor system from the company LIBELIUM, statistical post-processing of real-time monitoring, and calculation of CO₂ concentrations in the study area.

Results and Discussion:

The pollutants that deteriorate the working environment are SO₂, and NO₂, with daily average values exceeding the Maximum Allowable Concentrations (MAC) according to established standards, and temperature values affect thermal comfort of the working environment.

Conclusions:

The sampling conducted, which includes measurements of gas immission levels, particles, and hygrothermal conditions, allows for the diagnosis of air quality in the finishing workshop of this process.

Keywords: pollution; carbon dioxide, immission; particulate matter.

1. INTRODUCCIÓN

La industria textil constituye un pilar importante de la economía global, pero su operación conlleva a significativa contribución a la contaminación ambiental, particularmente a la degradación de los cuerpos de agua y a la emisión de gases tóxicos a la atmósfera. Los tejidos suelen estar hechos de fibra de vidrio, poliéster o polipropileno. Estos materiales están compuestos por macromoléculas de monómeros repetidos que los hacen no biodegradables y no respetuosos con el medio ambiente (Roy et al., 2020).

Entre los contaminantes claves identificados en los procesos textiles se encuentran los compuestos orgánicos volátiles (COV) provenientes de tintes, solventes y adhesivos y

gases tóxicos fundamentalmente, formaldehído, óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de azufre (SO₂) (Brown et al., 1993).

En este contexto, la empresa textil considerada en el estudio se dedica a la producción y comercialización mayorista de sacos de polipropileno para el envasado de productos agrícolas, alimenticios e industriales, así como, a la fabricación de rafia fibrilada, el reciclado de polipropileno y la producción de frazadas para pisos. Aunque la producción de estos sacos presenta una huella de carbono menor en comparación con otros plásticos vírgenes y su reciclaje es aún más eficiente, el proceso de manufactura no está exento de impactos locales. Las condiciones específicas de ubicación de la planta y la ventilación insuficiente en sus talleres generan un ambiente interior donde se combinan niveles de ruido, elevadas temperaturas, concentraciones de partículas y emanaciones de gases que constituyen un potencial riesgo para la salud de los trabajadores en la zona de trabajo.

En el monitoreo tradicional de la calidad del aire en ambientes de trabajo con monitoreo activo y pasivo se requiere de un transporte para las muestras y un procesamiento analítico que lo hace costoso y poco viable en las industrias (Penza et al., 2014). Es por ello que los monitores portátiles automáticos de calidad del aire han sustituido estos métodos tradicionales. La tecnología cada vez más se perfecciona con dispositivos compactos y baratos, así, desde el 2013, los sensores de bajo costo (LCS por sus siglas en inglés) comienzan a ser una alternativa viable para el monitoreo de calidad del aire (Navarrete & Soto, 2019). Este tipo de sensores son una nueva tendencia en el monitoreo de la calidad del aire cuyas ventajas son el pequeño tamaño, accesibilidad, bajo consumo de energía, los bajos costos de equipamiento, operación y mantenimiento además de la comunicación en tiempo real y la amplia generación de datos (Hagan et al., 2018), (Álvarez et al., 2022). Se pueden usar varios métodos para mejorar la calidad de los datos que se obtienen con sistemas que tengan sensores de bajo costo disponibles en el mercado, entre otros, están la supresión de ruido o la eliminación de picos mediante técnicas matemáticas. Otra forma de mejorar la calidad de los datos es calibrar los sensores. Los métodos de calibración más costosos utilizan cámaras con concentraciones conocidas de contaminante para realizar la calibración y obtener la relación entre los datos de referencia y la de los sensores generalmente descritos con modelos de regresión simple del tipo lineal o polinomial (Álvarez, 2024).

Moskal et al., (2024) proponen el uso de un sistema de bajo costo para evaluar la calidad del aire en ambientes de interiores y exteriores. Para ello utilizaron un sistema autoensamblado con placas ESP32 y sensores Alphasense para medir partículas de aerosol y gases como NO₂, SO₂, O₃, CO, CO₂ y H₂S. Las mediciones de partículas de aerosol se compararon con un dispositivo profesional y mostraron resultados similares y los gases.

Si bien esta alternativa tecnológica ha sido implementada en la práctica con resultados satisfactorios, su aplicación en entornos industriales específicos como el de esta industria requiere una validación contextual. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad del aire en el taller de acabado de una industria textil en Santa Clara, Cuba.

Para ello se empleó un sistema integrado de sensores de bajo costo calibrados por el fabricante lo que aumenta la garantía de la calidad de los datos y su costo, pero significativamente menor este que las estaciones profesionales.

Este diagnóstico busca cuantificar la exposición a contaminantes claves, correlacionarla con los procesos productivos y proporcionar una base técnica para futuras estrategias de mitigación y control, contribuyendo así a un entorno laboral más seguro y sostenible.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Ubicación del área de estudio

La empresa textil se encuentra domiciliada en Carretera del Acueducto Km ½, No 85 de la ciudad de Santa Clara, provincia Villa Clara. Se encuentra ubicado en las coordenadas 22° 22' 53" de latitud Norte y 79° 56' 60" de longitud oeste al suroeste de la ciudad (Figura 1) (Instituto de Planificación Física, 2020); (ONEI, 2023). Esta entidad está ubicada en un consejo popular con un vecindario ubicado en su radio mínimo admisible de protección sanitaria de 500 metros según la norma cubana (NC 1059, 2014).

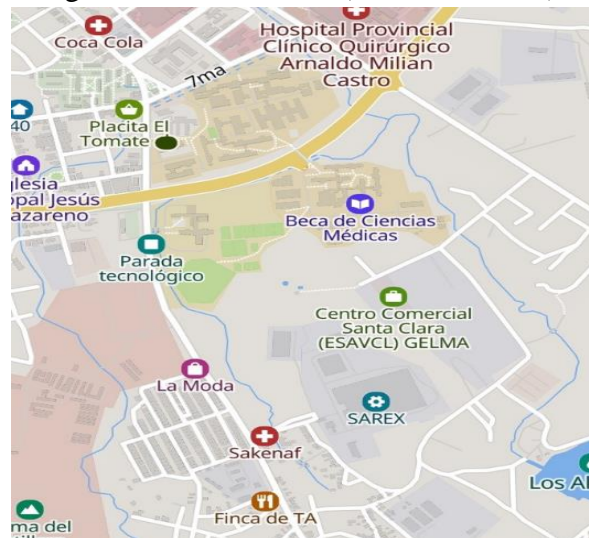


Figura 1. Ubicación de la empresa textil

2.2 Descripción del ambiente de trabajo

En el taller de acabado donde laboran 20 trabajadores, las bobinas de tejido tubular se convierten en sacos terminados. El proceso consiste en cargar las bobinas en líneas convertidores, donde el tejido se corta longitudinalmente con un sistema de corte por fusión (térmico) y se cose el fondo según las dimensiones programadas. Finalmente, los sacos terminados se prensan en pacas de 1.000 unidades y se envían al almacén para su distribución.

2.3 Monitoreo de gases, partículas y condiciones higrotérmicas en el taller de acabado de la empresa textil

La evaluación se realiza usando con un prototipo del mercado fabricado y calibrado con buenos referentes de uso de la compañía LIBELIUM que cumple con los requerimientos ya referidos que permite la detección de material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀), gases (NO₂, SO₂), temperatura y humedad relativa. El monitoreo se realizó en dos períodos, el primero durante la semana del 13 al 20 de septiembre del 2024 y el segundo del 12 al 17 de octubre del mismo año coincidiendo con el período de seca. En la tabla 1 se refieren los días laborables y no laborables del periodo monitoreado.

Tabla 1. Días laborables y no laborables

<i>Semanas</i>	<i>Días laborables</i>	<i>Días no laborables</i>
13 al 20 septiembre	13,16,17,18,19,20	14,15
12 al 17 octubre	14,15,16,17	12,13

Se estableció una frecuencia de muestreo de cinco minutos y el equipo se ubicó a una altura de 1,5 a 2 metros según lo establecido en la norma cubana (Norma ASHRAE 62.1., 2022), (González et al., 2023), (Iglesias, 2025).

2.3.1 Características del sistema de monitoreo

Como sistema de monitoreo se utiliza el Smart Environment Pro que es una solución IoT fabricada por Libelium. En este caso, el dispositivo de Libelium (Figura 2) contiene los sensores alphasense para CO, O₃, NO₂ y SO₂. En este modelo el sensor para el PM_{2,5} y PM₁₀ utiliza un contador de partículas óptico OPC-N3. La sonda de temperatura, humedad y presión es un sensor BME280. Tiene como núcleo el microcontrolador ATmega 128, trabajando a una frecuencia de 14,7456 MHz y permite un modelo de tarjeta SD de hasta 2 GB. El dispositivo incorpora un reloj de tiempo real (KIC). Contiene una batería recargable de iones de litio de 3,7 vol y una capacidad de 6600 mAh, (Kairuz et al., 2024).



<i>Sensor</i>	<i>Tipo</i>
Alphasense CO-AX	Electroquímico
Alphasense SO ₂ -A4	Electroquímico
Alphasense NO _x -O ₃	Electroquímico
Alphasense OPC-N3	Óptico
<i>Variable</i>	<i>Rango de detección</i>
CO	0-25 ppm
SO ₂	0-50 ppm
NO ₂	0-20 ppm
PM _{2,5} /PM ₁₀	0-10000 ug/m ³

Figura 2. Dispositivo de medición de calidad del aire Libelium con sus sensores

2.3.2 Post procesamiento y estadística de los datos obtenidos en el monitoreo

A los datos obtenidos durante el monitoreo se le aplica el método de truncamiento. Dicha técnica se utiliza para eliminar o sustituir los valores que constituían un error de medición o que se encontraban fuera del límite de detección de los sensores. Además, se determinan las medias móviles horarias para reducir los valores atípicos en las series de tiempo obtenidas para cada variable.

Además, se calcula la concentración ponderada en el tiempo en la jornada laboral para poder comparar con la norma cubana (NC 872, 2011) específica para ambientes laborales, a partir de la ecuación 1.

$$CPT = (\sum_{i=1}^n (c_i * t_i)) / \tau \tag{1}$$

Donde:

c_i : concentración obtenida en la media móvil horaria de la sustancia nociva en el aire (mg/m^3).

t_i : tiempo de duración de la toma de la muestra i (60 min).

τ : tiempo de duración del muestreo (480 min).

En relación a la estadística descriptiva, se determinan los valores máximos, mínimos, la media y la desviación estándar de los datos posprocesados en *Microsoft Excel 2019* como media móvil diaria. Además, se analiza la asimetría en las series temporales, lo cual es una medida de su distribución.

2.4 Evaluación de concentración de CO_2 en el área de estudio

Para determinar los niveles de CO_2 se tiene en cuenta que una persona contribuye como promedio con $0,017 \text{ m}^3$ de CO_2 en una hora. El aire usualmente contiene $0,035 \%$ de CO_2 . La cantidad de CO_2 que existe en un local considerando que el 5% del aire que se inhala es CO_2 que se exhala por una persona puede calcularse con la ecuación 2.

$$C = \frac{0,017 + 0,00035V}{V} \quad (2)$$

Donde:

C : cantidad de CO_2 en m^3 / m^3 de aire del local /persona.

V : volumen de aire suministrado por persona, m^3 .

De acuerdo a el manual de factores de exposición de la EPA 2011 (DPleil et al., 2021) un hombre adulto en actividad moderada consume $23,7 \text{ m}^3/\text{día}$ de aire ($0,9875 \text{ m}^3/\text{h}$) y la densidad del CO_2 ($1,9768 \text{ kg}/\text{m}^3$) lo que permite calcular el CO_2 que se exhala en la jornada laboral de una persona y del total de trabajadores que laboran en el taller.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Evaluación de niveles de inmisión de gases y partículas en el área de estudio

3.1.1 Media móvil horaria

En las figuras 3, 4 y 5 (a, b) se ilustran las series de tiempo con los promedios horarios de los datos obtenidos durante el muestreo en los dos periodos monitoreados. En total se obtuvieron 2227 y 1604 datos en tiempo real con una frecuencia de 5 minutos en los periodos respectivamente.

Como se observa en la figura 3 los picos máximos de temperatura (Figura 3 a y b) ocurrieron en correspondencia con los mínimos valores de humedad y se evidencia que el ciclo día-noche varía alrededor de las 24 horas coincidente con lo reportado en la bibliografía para ambientes exteriores (González et al., 2023). Este comportamiento en ambientes interiores debe ser tomado en consideración en los horarios por turno de trabajo y la puesta en funcionamiento de los sistemas de ventilación.

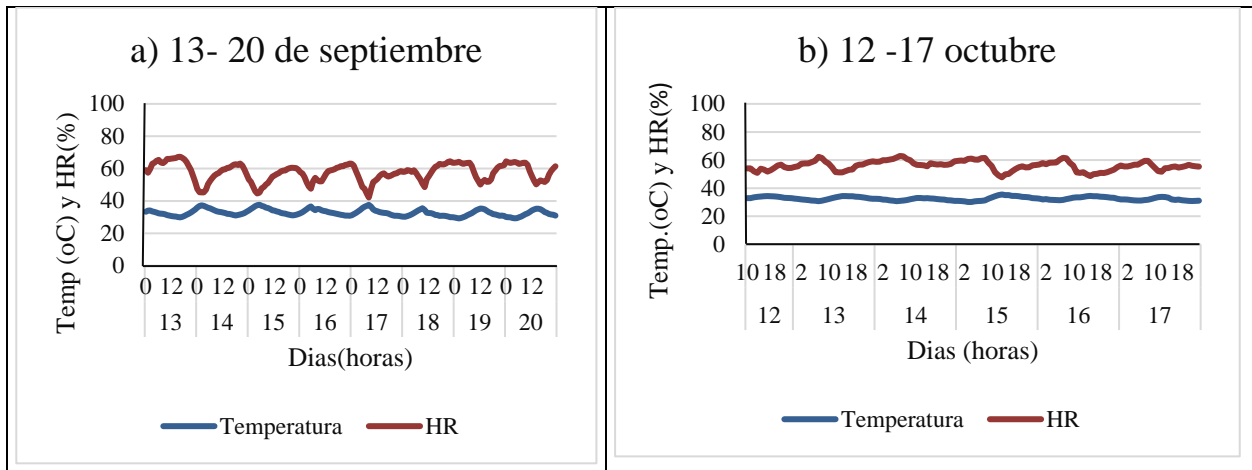


Figura 3. Media móvil horario de las condiciones higrotérmicas

En el gráfico 4 a) se puede observar que las series de tiempo para gases siguen tendencias similares en sus valores máximos y mínimos con más variación en los días laborables del 17 al 20. Sin embargo, en el segundo periodo (gráfico 4b) las tendencias no son similares, pero si muestran estabilidad en los días no laborables y variación con picos significativos en un día laborable (17 de octubre del 2024), con más variación en las concentraciones de dióxido de azufre.

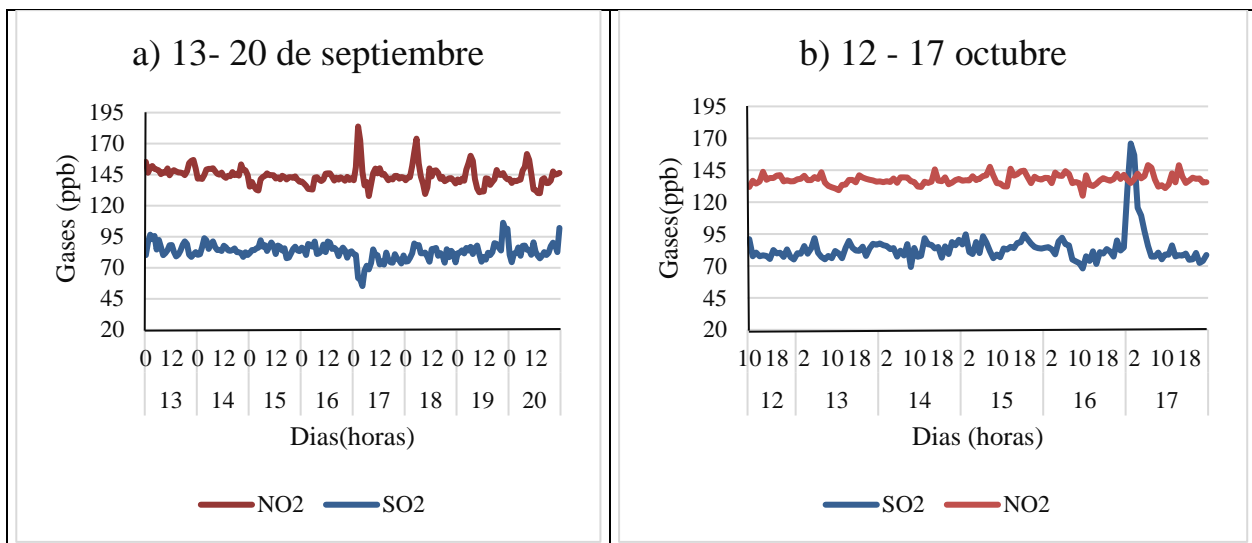


Figura 4. Media móvil horario de los gases monitoreados

Relativo al material particulado de acuerdo a lo mostrado en la figura 5 (a y b) existen niveles de contaminación por PM₁₀ y PM_{2,5} en los días laborables fundamentalmente en el primer muestreo, con valores que superan la concentración máxima admisible (CMA) (50 µg/m³ y 25 µg/m³ en 24 h) según la norma cubana (NC 2010, 2014) y valores bajos y estables en los días de fin de semana.

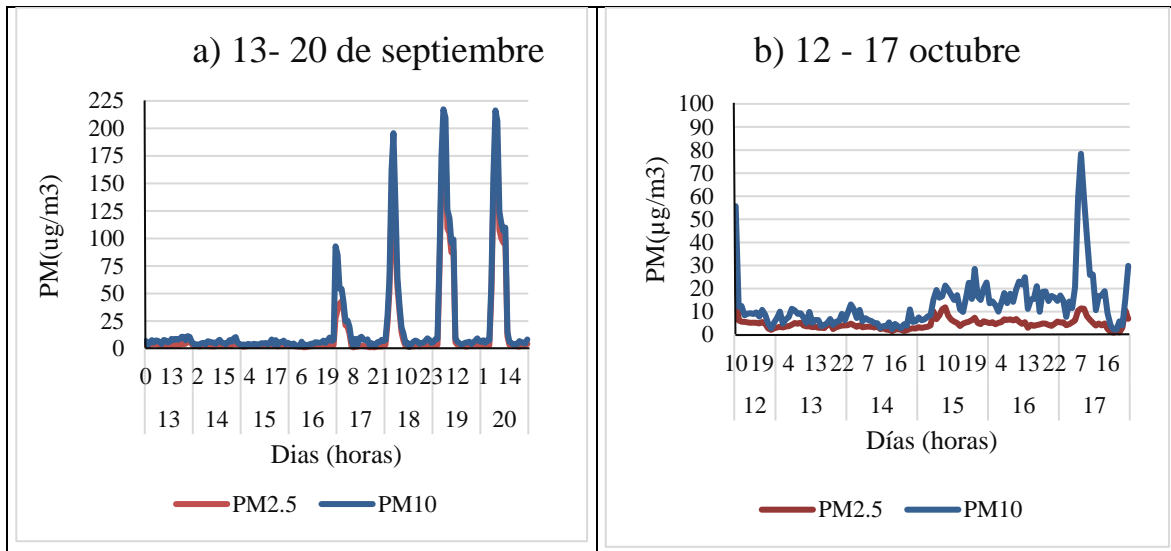


Figura 5. Media móvil horario de PM₁₀ y PM_{2.5}

3.1.2 Estadística descriptiva

En las Tablas 2 y 4 se muestra la estadística descriptiva realizada al promedio de la media móvil diaria de los datos en ambos períodos de muestreo, respectivamente.

Tabla 2. Estadística descriptiva de la media diaria (13 al 20 de septiembre del 2024)

Estadística Descriptiva	NO ₂ (ppb)	SO ₂ (ppb)	T (°C)	HR (%)	PM _{2.5} (µg/m ³)	PM ₁₀ (µg/m ³)
Media	143,722	83,611	32,618	57,963	17,223	23,153
Desviación estándar	2,550	3,137	0,965	2,679	14,841	17,039
Coficiente de asimetría	0,584	-0,800	0,207	0,192	0,483	0,304
Mínimo	140,489	79,004	31,500	54,825	2,505	4,662
Máximo	148,337	86,942	33,897	61,487	38,842	46,615
CMA (NC 2010, 2014)	40 µg/m ³	45 µg/m ³				

Referido a las concentraciones promedio, para el SO₂ y NO₂ se supera la CMA de acuerdo a la norma cubana (NC 2010, 2014) (Tabla 5) y los valores de temperatura afectan el confort térmico del ambiente laboral en los dos períodos monitoreados porque en ambientes de trabajo de 24 a 30 °C aparece la fatiga física y se pierde agilidad y rapidez mental, por lo que las respuestas se hacen lentas y aparecen los errores y los accidentes de trabajo. La humedad relativa es adecuada para el confort, menor de 65% (Norma ASHRAE 55, 2023). Las concentraciones de PM_{2.5} y PM₁₀ no superan las CMA de las normas cubanas (NC 2020, 2014) y (NC 872, 2011), pero las desviaciones estándar son marcadas y el valor máximo del PM_{2.5} supera la CMA de 25µg/m³ de la (NC 2010, 2014) en la semana del primer muestreo el 18 de septiembre, día laborable.

Analizando los promedios diarios en los días laborales de este taller según se observa en la Tabla 3 aumenta la media y disminuyen los valores de la desviación estándar del material particulado y no es debido a la operación de las máquinas en el proceso que todas

trabajan simultáneamente durante la jornada y las paradas son mínimas. Se considera que existe una contribución de polvo del taller aledaño de producción de frazada para piso que laboran simultáneamente en la misma jornada laboral y no existe el debido aislamiento entre los talleres.

Los diferentes signos de coeficiente de asimetría evidencian no homogeneidad en la serie con distribución logarítmica normal (Jiménez & Melo, 2016).

Tabla 3. Estadística descriptiva de la media diaria en los días laborales del primer periodo

<i>Estadística Descriptiva</i>	<i>NO₂ (ppb)</i>	<i>SO₂ (ppb)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>HR (%)</i>	<i>PM_{2.5} (µg/m³)</i>	<i>PM₁₀ (µg/m³)</i>
Media	144,032	83,067	32,213	58,852	22,112	29,184
Desviación estándar	2,731	3,510	0,718	2,482	13,914	15,225
Coficiente de asimetría	0,501	-0,259	0,719	-0,501	-0,034	-0,214
Mínimo	140,489	79,004	31,500	55,536	3,437	7,128
Máximo	148,337	86,942	33,362	61,487	38,842	46,615

Tabla 4. Estadística descriptiva de la media diaria (12 al 17 de octubre del 2024)

<i>Estadística Descriptiva</i>	<i>NO₂ (ppb)</i>	<i>SO₂ (ppb)</i>	<i>T (°C)</i>	<i>HR (%)</i>	<i>PM_{2.5} (µg/m³)</i>	<i>PM₁₀ (µg/m³)</i>
Media	137,780	83,534	32,652	55,859	4,730	13,033
Desviación estándar	0,954	4,160	0,661	1,672	1,156	6,958
Coficiente de asimetría	0,183	1,085	0,169	0,749	-0,734	0,747
Mínimo	136,645	78,867	31,909	53,861	2,939	6,137
Máximo	139,174	90,771	33,636	58,654	6,074	24,224
CMA (NC 2010, 2014)	40 µg/m ³	45 µg/m ³				

Para la comparación con la norma cubana (NC 2020, 2014) es necesario convertir los valores de concentración en ppb a µg/m³ a partir de la ecuación 3.

$$Gas \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) = Gas (ppb) * \frac{P * M_{gas}}{R * T} \quad (3)$$

En la tabla 5 se reflejan los resultados de esta conversión evidenciándose que los gases tóxicos (NO₂ y SO₂) superan la CMA de acuerdo a dicha norma y que en ambos periodos sus concentraciones son comparables y se afecta la calidad del aire como reporta la bibliografía para este tipo de procesos.

Tabla 5. Concentración máxima admisible de los gases en 24 h

CMA	NO₂ (µg/m³)	SO₂ (µg/m³)
Media 13 - 20 /09/ 2024	160,579	93,418
Media 12 - 17 /10/ 2024	153,923	93,321
CMA (NC 2010, 2014)	40 µg/m ³	45 µg/m ³

3.1.3 Concentración ponderada en la jornada laboral

En la tabla 6 se muestra el cálculo de la concentración ponderada para las sustancias NO₂, SO₂ y lo establecido en la norma cubana (NC 872, 2011). De acuerdo a esta norma cuando para la sustancia nociva están establecidas tanto la categoría de concentración máxima admisible CMA como la de la concentración ponderada admisible CPA, se cumplirá simultáneamente que: $C_i \leq CMA$ y $C_i \leq CPA$.

Tabla 6. Concentración ponderada en la jornada laboral

CPA (mg/m³)					
Días	NO₂	SO₂	Días	NO₂	SO₂
13/09/2024	0,819	0,657	12/10/2024	0,571	0,454
14/09/2024	0,791	0,645	13/10/2024	0,752	0,628
15/09/2024	0,772	0,653	14/10/2024	0,755	0,640
16/09/2024	0,792	0,602	15/10/2024	0,766	0,653
17/09/2024	0,801	0,607	16/10/2024	0,758	0,619
18/09/2024	0,787	0,628	17/10/2024	0,764	0,697
19/09/2024	0,774	0,656			
20/09/2024	0,585	0,494			
CPA (NC 872, 2011)	5 mg/m ³	5 mg/m ³			

Realizando una comparación entre las CPA calculadas y las establecidas en la norma, se observa que se encuentran dentro de lo permitido, por lo que, la fábrica a pesar de superar la norma (NC 2010, 2014) para el SO₂ y NO₂ se cumple lo establecido en este indicador para los gases por la norma en ambientes de trabajo. Para el material particulado la norma cubana (NC 872, 2011) no refiere valores de CMA para partículas de origen sintético.

3.1.4 Niveles de CO₂ en el taller de acabado

Para 20 trabajadores en el taller el total de CO₂ en el ambiente laboral resultante por contribución de exhalación de CO₂ por los trabajadores es de 4945 mg/m³ no superando las CPA y CMA aprobadas en la (NC 872, 2011) de 9000 y 18000 mg/m³ respectivamente. En el futuro debe hacerse el cálculo por consumo de electricidad en el taller y monitorear en tiempo real dicho gas.

4. CONCLUSIONES

1. El muestreo realizado con el dispositivo de LIBELIUM que incluye medidas de niveles de inmisión de gases, partículas y condiciones higrotérmicas permite diagnosticar la calidad del aire en el taller de acabado.
2. De acuerdo al monitoreo realizado los niveles diarios de SO₂ y NO₂ superan las

CMA de 45 y 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente de acuerdo a la NC2010, (2014), sin embargo, las CPA cumplen lo establecido en la norma cubana vigente en ambiente laboral.

3. La elevada temperatura y las condiciones de ventilación, además de los niveles de contaminación del taller justifican la necesidad de un sistema de extracción de gases y partículas.

REFERENCIAS

- Álvarez, A., Morales, M. C., González, R., & Núñez, V. (2022). Cuantificación del dióxido de azufre en aire ambiental en zona de protección sanitaria de una recapadora de neumáticos. *Centro Azúcar*, 49(4), 69-79. https://centrozucar.uclv.edu.cu/index.php/centro_azucar/article/view/727
- Álvarez, A. (2024). *Procedimiento para la evaluación del ICA con sensores de bajo costo en la ciudad de Cienfuegos*. [Tesis presentada en opción del título de Master en Ingeniería Ambiental en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba].
- Brown, V. M., Crump, D. R., Gardiner, D., & Yu, C. W. F. (1993). Environmental Technology. Long-term diffusive sampling of volatile organic compounds in indoor air. *Environmental Technology*, 14(8), 771-777. <http://dx.doi.org/10.1080/09593339309385348>
- Dpleil, J., Geer, M. A., Davis, M., & Matty, C. M. (2021). The physics of human breathing: flow, timing, volume and pressure parameter for normal, on demand and ventilator respiration. *Journal of Breath Research*, 15, 042002. <https://doi.org/10.1088/1752-7163/ac2589>
- González, R. A., Morera, L. E., Schalm, O., Hernández, E., Alejo, D., Morales, M. C., Núñez, V., Jacobs, W., & Martínez, A. (2023). A Low-Cost calibration method for temperature, relative humidity, and carbon dioxide sensors used in air quality monitoring systems. *Atmosphere*, 14(2), 191. <https://doi.org/10.3390/atmos14020191>
- González, R. R. A., Schalm, O., Alvarez, A., Hernández, E., Morales, M. C., Alejo, D., Martínez, A., Jacobs, W., & Hernández, L. (2023). Relevance and Reliability of Outdoor SO₂ Monitoring in Low-Income Countries Using Low-Cost Sensors. *Atmosphere*, 14(6), 912. <https://doi.org/10.3390/ATMOS14060912>
- Hagan, D. H., Isaacman-VanWertz, G., Franklin, J. P., Wallace, L. M., Kocar, B. D., Heald, C. L., & Kroll, J. H., (2018). Calibration and assessment of electrochemical air quality sensors by co-location with regulatory-grade instruments. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(1), 315-328. <https://doi.org/10.5194/amt-11-315-2018>.
- Iglesias, D. R. (2025). *Evaluación de los niveles de contaminantes, condiciones higrotérmicas y ventilación en el taller de acabado de la empresa textil “Sarex” en Santa Clara*. [Tesis de grado presentada en la carrera de Ingeniería Química en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Cuba].
- Jiménez, A.E., & Melo L.F. (2016). Modelación de la asimetría y la curtosis condicionales en series financieras colombianas. *Desarrollo y Sociedad*, 1(76),
-

273-321. <https://doi.org/10.13043/dys.76.7>

- Kairuz, D., Hernández, V. Schalm, O., Martínez, Laso, P., & Alejo, D. (2024). Development of a unified IoT platform for assessing meteorological and air quality data in a tropical environment. *Sensors*, 24(9), 2729. <https://doi.org/10.3390/s24092729>
- Moskal, A., Jagodowicz, W., Penconek, A., & Zaraska, K. (2024). Low-Cost sensor system for air purification process evaluation. *Sensors* 24(6), 1769. <https://doi.org/10.3390/s24061769>
- Navarrete, G. G. & Soto, K. G. R. (2019). Sensores de bajo costo para el monitoreo de calidad del aire. *Epistemus: Ciencia, Tecnología y Salud*, 13(27), 30-37. <https://doi.org/10.36790/epistemus.v13i27.108>
- NC 1059. (2014). *Gestión de la calidad. Directrices para la realización de auditorías internas.*
- NC 2010. (2014). *Calidad del aire. Contaminantes. Concentraciones máximas admisibles y valores guías en zonas habitables.* Oficina Nacional de Normalización. 8-9.
- NC 872. (2011). *Seguridad y salud en el trabajo – sustancias nocivas en el aire de la zona de trabajo-Evaluación de la exposición laboral-Requisito generales.* Oficina Nacional de Normalización.
- Norma ASHRAE 55. (2023). *Condiciones térmicas para ocupación humana.*
- Norma ASHRAE 62.1. (2022). *Ventilación para calidad aceptable del aire interior.*
- ONEI. (2023). *Registro de Empresas y Unidades Presupuestadas 2023.* (No. R-2023-0045). Oficina Nacional de Estadística e Información.
- Penza, M., Suriano, D., Villani, M. G., & Spinelle, L. (2014). Towards air quality indices in smart cities by calibrated low-cost sensors applied to networks. *SENSORS, 2014 IEEE*, Valencia, Spain, 2012-2017. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2014.6985429>
- Roy, M., Sen, P., & Pal, P. (2020). An integrated green management model to improve environmental performance of textile industry towards sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122656. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122656>

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

CONTRIBUCIONES DE LOS AUTORES

- Ing. Taila Elena Rodríguez Berrio. Investigación, conservación de datos, redacción - primera redacción, redacción - revisión y edición.
 - Ing. Daniela Román Iglesias. Investigación, procesamiento de datos.
 - Dr.C. Mayra C. Morales Pérez. Investigación, supervisión, redacción - revisión y edición.
 - M.Sc. Arianna Álvarez Cruz. Investigación, procesamiento de datos, supervisión.
 - Dr.C. Isabel Cabrera Estrada. Metodología, supervisión.
-