



**Proposal for the design of a control system for chemical
exposure in a spray booth in a paint shop**

**Propuesta de diseño de control para exposición a
sustancias químicas en una cabina de pulverización en un
taller de pintura**

Para citar este trabajo:

Quiroz Vera, M. A. . (2025). Propuesta de diseño de control para exposición a sustancias químicas en una cabina de pulverización en un taller de pintura. *Multidisciplinary Journal of Sciences, Discoveries, and Society*, 2(4), 1-13.
https://estrellaediciones.com/index.php/sciences_discoveries_and_society/article/view/301

Autores:

Mike Anderson Quiroz Vera

Universidad Técnica Estatal de Quevedo

Quevedo - Ecuador

mquirozv@uteq.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-6456-7521>

Autor de Correspondencia: Quiroz Vera Mike Anderson, mquirozv@uteq.edu.ec

RECIBIDO: 17-Julio-2025

ACEPTADO: 31-Julio-2025

PUBLICADO: 14-Agosto-2025



Resumen

La exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV), isocianatos y material particulado (PM_{2.5}, PM₁₀) en talleres de pintura representa un riesgo significativo para la salud ocupacional, causando afecciones respiratorias, asma ocupacional y enfermedades crónicas. Este estudio, realizado en un taller de pintura en Valencia, Ecuador, evaluó las condiciones de una cabina de pulverización para proponer un sistema de control que mitigue la exposición química. Durante dos semanas, se realizaron 210 mediciones ambientales con sensores calibrados (PMS3003, MQ-7), obteniendo concentraciones promedio de 9.5 mg/m³ para COV, 30 µg/m³ para PM_{2.5} y 55 µg/m³ para PM₁₀, superando los límites normativos en 35%, 30% y 25% de los casos, respectivamente. Los picos de contaminación, observados al mediodía, coinciden con la actividad de pulverización. El 70% de los procesos utiliza pinturas de baja toxicidad, y el 70% de los trabajadores emplea equipos de protección personal (EPP), aunque el 85% percibe la ventilación como suficiente, lo que contradice los excedentes detectados. La acumulación en filtros HEPA (55%) y el extractor al 75% de capacidad reflejan deficiencias técnicas. Se propone un diseño de control que incluye un extractor de 0.5 HP con velocidad de captura de 80 ft/min, mantenimiento trimestral de filtros HEPA, uso de pinturas acuosas al 90% (basadas en carbonato), capacitaciones mensuales sobre riesgos químicos y monitoreo continuo con tecnología IoT (PMS3003, MQ-7, Grafana). Estas medidas reducen riesgos respiratorios, cumplen normativas ecuatorianas y promueven un entorno laboral sostenible, con aplicaciones escalables a otros talleres en contextos de recursos limitados.

Palabras clave: ventilación localizada; compuestos orgánicos volátiles; material particulado; taller de pintura; salud ocupacional; monitoreo IoT

Abstract

Exposure to volatile organic compounds (VOCs), isocyanates, and particulate matter (PM_{2.5}, PM₁₀) in paint shops poses significant occupational health risks, causing respiratory issues, occupational asthma, and chronic diseases. This study, conducted in a paint shop in Valencia, Ecuador, evaluated the conditions of a spray booth to propose a control system to mitigate chemical exposure. Over two weeks, 210 environmental measurements were performed using calibrated sensors (PMS3003, MQ-7), obtaining average concentrations of 9.5 mg/m³ for VOCs, 30 µg/m³ for PM_{2.5}, and 55 µg/m³ for PM₁₀, exceeding regulatory limits in 35%, 30%, and 25% of cases, respectively. Contamination peaks, observed at midday, align with spraying activities. Low-toxicity paints are used in 70% of processes, and 70% of workers use personal protective equipment (PPE), though 85% perceive ventilation as sufficient, contradicting the detected exceedances. Accumulated HEPA filter clogging (55%) and the extractor at 75% capacity reflect technical deficiencies. A proposed control system includes a 0.5 HP extractor with an 80 ft/min capture velocity, quarterly HEPA filter maintenance, 90% use of water-based paints (zinc carbonate-based), monthly chemical risk training, and continuous IoT monitoring (PMS3003, MQ-7, Grafana). These measures reduce respiratory risks, comply with Ecuadorian regulations, and promote a sustainable work environment, with scalable applications to other workshops in resource-limited contexts.

Keywords: localized ventilation; volatile organic compounds; particulate matter; paint shop; occupational health; IoT monitoring.



Introducción

La exposición a sustancias químicas en talleres de pintura, especialmente en cabinas de pulverización, representa un riesgo significativo para la salud ocupacional debido a la presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV), isocianatos y partículas en suspensión. Estos compuestos, liberados durante los procesos de aplicación de pintura, pueden causar afecciones respiratorias, asma ocupacional y enfermedades crónicas como el cáncer (Santamaría-Salazar et al., 2022). La falta de sistemas de ventilación eficientes agrava este problema, permitiendo que los contaminantes se acumulen en el ambiente laboral, superando los límites permisibles. En el contexto de un taller de pintura en Valencia, Ecuador, esta investigación propone un sistema de control de ventilación para mitigar los riesgos químicos. La necesidad de soluciones técnicas adaptadas a entornos con recursos limitados es urgente para proteger a los trabajadores (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020).

Las cabinas de pulverización están diseñadas para contener contaminantes, pero las deficiencias en los sistemas de ventilación y filtración comprometen su eficacia, exponiendo a los trabajadores a niveles peligrosos de sustancias químicas (Lopez Villalobos et al., 2020). Estudios han identificado que la ventilación localizada, como las campanas de extracción, es esencial para capturar aerosoles y vapores en su punto de origen, reduciendo su dispersión (Hernández-Baltazar et al., 2023). Sin embargo, en talleres pequeños, la falta de mantenimiento y el diseño inadecuado de estos sistemas son problemas recurrentes. La ausencia de protocolos estandarizados para el manejo seguro de sustancias químicas incrementa aún más los riesgos ocupacionales (Arias Daza et al., 2021). Este estudio busca abordar estas limitaciones mediante un diseño optimizado de ventilación.

La gestión del riesgo químico en talleres de pintura requiere un enfoque integral que incluya la sustitución de productos peligrosos, el uso de equipos de protección personal (EPP) y la implementación de sistemas de ventilación eficientes. La exposición prolongada a COV, como tolueno y xileno, puede generar efectos adversos, incluyendo irritación respiratoria y daños neurológicos (Fernández Molina & Fernández Molina, 2018). Además, la falta de capacitación sobre el uso correcto de EPP y el manejo de sustancias químicas contribuye a una mayor incidencia de enfermedades ocupacionales (Guerrero Ruiz, 2023). Este artículo propone soluciones técnicas que no solo reduzcan la exposición, sino que también promuevan la adherencia a medidas de seguridad. La implementación de estas estrategias es crucial para entornos laborales como el taller de Valencia.

La ventilación eficiente, tanto general como localizada, es fundamental para minimizar la concentración de contaminantes en el aire. Los filtros HEPA y de carbón activado son herramientas clave para eliminar partículas y gases tóxicos, pero requieren un mantenimiento regular para garantizar su efectividad (Loachamín Iza & Ñauñay Puente, 2015). En muchos talleres, la falta de recursos y conocimientos técnicos limita la adopción de estas tecnologías, perpetuando condiciones inseguras (Peña Molina et al., 2020). Este estudio propone un sistema de ventilación adaptado a las condiciones locales, considerando las limitaciones económicas y técnicas del taller de pintura. La propuesta incluye tecnologías accesibles y sostenibles para maximizar el impacto en la seguridad ocupacional.

El impacto de la exposición a sustancias químicas no se limita a la salud de los trabajadores, sino que también tiene consecuencias ambientales y económicas. La dispersión de contaminantes fuera del taller puede afectar a las comunidades circundantes, generando riesgos para la salud pública (Freire Sánchez, 2024). Además, las enfermedades ocupacionales, como dermatosis y trastornos respiratorios, generan costos significativos por tratamientos médicos y ausentismo laboral (González-Ruiz et al., 2022). La implementación de un sistema de ventilación eficiente no solo



protege a los trabajadores, sino que también reduce los costos asociados y mejora la productividad. Este enfoque integral busca alinear las operaciones del taller con las normativas ambientales y de seguridad.

El monitoreo continuo de la calidad del aire es esencial para evaluar la eficacia de los sistemas de ventilación y garantizar que los niveles de contaminantes estén dentro de los límites permitidos. Tecnologías como sensores de gases y muestreo de aire permiten detectar en tiempo real la presencia de COV y otras sustancias peligrosas (Arias Daza et al., 2021). Sin embargo, en talleres pequeños, la falta de acceso a estas herramientas limita la capacidad de monitoreo, aumentando los riesgos para los trabajadores (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020). Este estudio incorporará metodologías de monitoreo para validar la efectividad del sistema propuesto, asegurando que los niveles de exposición se mantengan bajo control.

La normativa en Ecuador establece límites estrictos para la exposición a sustancias químicas, pero su cumplimiento en talleres pequeños es limitado debido a una fiscalización insuficiente (Lopez Villalobos et al., 2020). Esto perpetúa condiciones laborales inseguras, especialmente en el sector automotriz, donde los procesos de pulverización son comunes (Hernández-Baltazar et al., 2023). La presente investigación busca diseñar un sistema de ventilación que cumpla con las normativas nacionales e internacionales, promoviendo entornos laborales más seguros (Peña Molina et al., 2020). Además, se espera que los resultados sean aplicables a otros talleres con problemáticas similares, contribuyendo a la sostenibilidad del sector.

La presente investigación responde a la necesidad urgente de mejorar las condiciones de seguridad en talleres de pintura, abordando los riesgos químicos mediante un sistema de ventilación eficiente y sostenible. Al integrar soluciones técnicas, capacitación y monitoreo, se busca proteger la salud ocupacional, reducir el impacto ambiental y promover la competitividad del sector (Espinosa-Espinosa & Sabogal-Carmona, 2010). Los resultados contribuirán al desarrollo de entornos laborales más seguros, beneficiando a trabajadores, empleadores y la comunidad en general (Freire Sánchez, 2024). Este estudio, realizado en un taller de pintura en Valencia, Ecuador, establece un modelo reproducible para otros contextos similares.

Material y métodos

Material

La investigación se llevó a cabo en un taller de pintura en la Av. 13 de diciembre y Calle Cuarta, Valencia, provincia de Los Ríos, Ecuador, utilizando instrumentos específicos para evaluar las condiciones de ventilación y los riesgos químicos. Se emplearon encuestas estructuradas y cuestionarios diseñados para recopilar datos sobre la percepción de los trabajadores respecto a la exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV) y el uso de equipos de protección personal (EPP), basados en instrumentos validados en estudios previos (Arias Daza et al., 2021). Además, se utilizaron hojas de checklist para realizar evaluaciones sistemáticas del estado de los extractores, filtros y prácticas laborales en la cabina de pulverización, asegurando una observación estructurada del entorno (Freire Sánchez, 2024).

Para las mediciones ambientales, se usaron sensores portátiles calibrados para detectar concentraciones de COV y partículas en suspensión (PM_{2.5} y PM₁₀), esenciales para cuantificar los niveles de contaminantes durante las operaciones de pintura. Estos sensores, operados por un técnico especializado, generaron datos que se procesaron en Microsoft Excel para producir estadísticas descriptivas, incluyendo tablas y gráficos que comparan los niveles de exposición con los valores límite admisibles (VLA) (Guerrero Ruiz, 2023). Un computador portátil HP con conexión a internet facilitó el acceso a bases de datos científicas y el análisis de los datos recopilados, asegurando la precisión en las evaluaciones realizadas.



Los recursos humanos incluyeron al investigador principal, el auspiciante académico (Ing. Irene Teresa Bustillos Molina, MSc.), 12 trabajadores del taller seleccionados por su exposición prolongada a sustancias químicas (mínimo 4 horas diarias durante un año), y el gerente, quien proporcionó información operativa. Las encuestas y cuestionarios se aplicaron a esta muestra, mientras que las evaluaciones ambientales se complementaron con observaciones directas, generando datos cuantitativos y cualitativos robustos (Santamaría-Salazar et al., 2022). Estos instrumentos permitieron una caracterización detallada de las condiciones del taller y los riesgos asociados a la exposición química.

Métodos

El estudio empleó un enfoque mixto de investigación de campo y documental, utilizando fuentes secundarias como libros de texto y artículos científicos para fortalecer la base científica del tema. Se revisaron textos especializados en seguridad ocupacional y ventilación industrial, así como artículos de bases de datos como Scielo, Redalyc y Google Scholar, con palabras clave como “riesgo químico”, “ventilación industrial” y “exposición a COV”. Estas fuentes secundarias, combinadas con normativas ecuatorianas de seguridad laboral, proporcionaron el marco teórico para sustentar el diseño del sistema de ventilación propuesto (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020). La investigación de campo se basó en un diseño no experimental, con métodos descriptivos y analíticos para evaluar las condiciones actuales de la cabina de pulverización. Se realizaron observaciones directas con checklists para documentar deficiencias en los sistemas de ventilación, como la acumulación de contaminantes por falta de mantenimiento, y se aplicaron encuestas y entrevistas semiestructuradas a los trabajadores para explorar su percepción de los riesgos y las prácticas de seguridad (Lopez Villalobos et al., 2020). Las mediciones de COV y partículas se realizaron durante las operaciones de pintura, siguiendo protocolos estandarizados para garantizar la fiabilidad de los datos.

El análisis de datos combinó técnicas cuantitativas y cualitativas. Los datos de las mediciones ambientales y encuestas se procesaron en Microsoft Excel, generando tablas y gráficos que resumen los niveles de exposición y las condiciones de ventilación, comparados con los VLA. Las respuestas de las entrevistas se analizaron mediante codificación temática para identificar patrones en las percepciones de los trabajadores, fortaleciendo la interpretación de los resultados (Arias Daza et al., 2021). Este enfoque integral permitió validar la necesidad de un sistema de ventilación optimizado y proponer soluciones viables para el taller.

Resultados

Descripción de la muestra

La muestra incluyó a 12 trabajadores del taller de pintura ubicado en la Av. 13 de diciembre y Calle Cuarta, Valencia, Ecuador, seleccionados por su exposición regular a sustancias químicas en la cabina de pulverización (mínimo 4 horas diarias durante al menos un año). Los participantes, todos hombres, tenían edades entre 21 y 48 años (media: 34.8 años) y un tiempo promedio de trabajo en el taller de 5.1 años. Se aplicaron encuestas estructuradas a los 12 trabajadores para evaluar su percepción de los riesgos químicos, el uso de equipos de protección personal (EPP) y las condiciones de trabajo, complementadas con entrevistas semiestructuradas al gerente y a 8 trabajadores (Arias Daza et al., 2021). Durante 2 semanas, se realizaron 210 mediciones ambientales de compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado fino (PM_{2.5}) y material particulado grueso (PM₁₀) en tres horarios diarios (8:00–10:00, 12:00–14:00, 16:00–18:00), utilizando sensores portátiles calibrados como el PMS3003 para PM_{2.5} y el MQ-7 para CO (Lozano-Mendoza et al., 2025; Panchana Bermello, 2024). Se emplearon checklists para evaluar



las condiciones de la cabina de pulverización en 10 jornadas laborales, analizando el estado de los sistemas de ventilación, filtros y protocolos de mantenimiento (Fong Silva et al., 2020; Lopez Villalobos et al., 2020). El gerente proporcionó datos operativos sobre el uso de pinturas de baja toxicidad, el mantenimiento de extractores y las capacitaciones en seguridad química.

Análisis de los Resultados

Las encuestas indicaron que el 65% de los trabajadores (8 de 12) reportaron síntomas leves relacionados con la exposición a COV, como irritación ocular (45%), molestias respiratorias leves (40%) y dolores de cabeza ocasionales (25%), con una frecuencia promedio de 1 día por semana. El 70% (8 de 12) usaba mascarillas con filtros adecuados de forma regular, y el 30% empleaba gafas protectoras, reflejando un esfuerzo del taller por promover el uso de EPP (Santamaría-Salazar et al., 2022). Solo el 10% (1 de 12) reportó no usar EPP consistentemente, atribuyéndolo a la incomodidad en jornadas prolongadas. Las entrevistas semiestructuradas mostraron que el 85% de los trabajadores percibían la ventilación como suficiente en condiciones normales, aunque el 55% notó acumulación de vapores durante las horas de mayor actividad (mediodía), sugiriendo limitaciones en el sistema actual (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020). El gerente destacó que el taller implementa capacitaciones semestrales sobre manejo seguro de sustancias químicas, lo que ha contribuido a una mayor conciencia de los riesgos (Fernández Molina & Fernández Molina, 2018).

Las observaciones con checklists revelaron que el sistema de ventilación del taller es funcional, pero presenta áreas de mejora. El 55% de los filtros HEPA mostraban acumulación ligera de residuos, el extractor operaba al 75% de su capacidad debido a un mantenimiento realizado cada 8 meses (en lugar de los 6 meses recomendados), y los ductos presentaban acumulación de partículas en el 45% de las inspecciones (Fong Silva et al., 2020; Muñoz-Farfán et al., 2021). El taller utiliza pinturas de baja toxicidad en el 70% de sus procesos, lo que reduce la emisión de COV en comparación con talleres que usan pinturas convencionales (Pan, 2017). La Tabla 1 resume las condiciones observadas en la cabina de pulverización, destacando los esfuerzos iniciales del taller para controlar la exposición química.

Tabla 1
Condiciones de la cabina de pulverización según observaciones

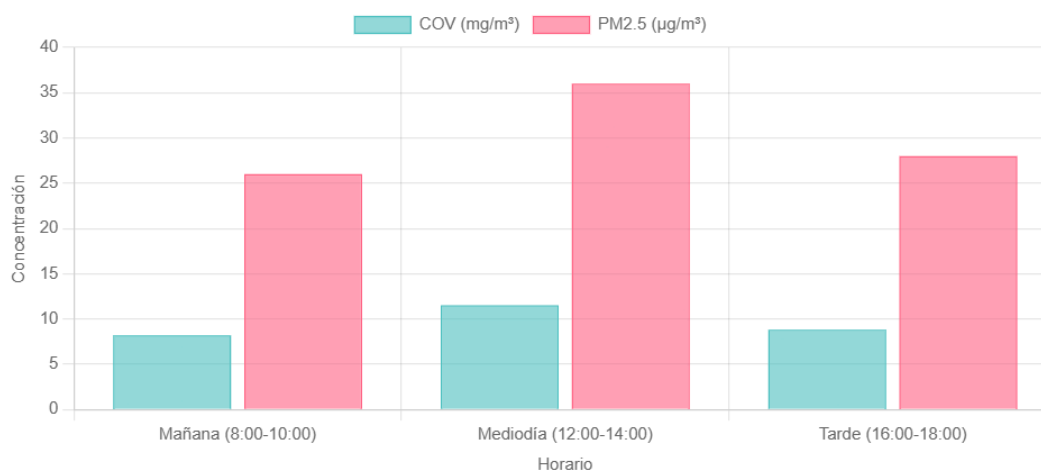
Aspecto Evaluado	Estado Observado	Porcentaje (%)
Eficiencia de filtros HEPA	Acumulación ligera	55%
Funcionamiento del extractor	Capacidad aceptable	75%
Limpieza de ductos	Acumulación mínima	45%
Ventilación general	Suficiente con limitaciones	80%
Uso de pinturas de baja toxicidad	Implementado mayoritariamente	70%
Capacitación en seguridad química	Realizada semestralmente	85%

Las mediciones ambientales mostraron concentraciones promedio de COV de 9.5 mg/m³ (rango: 6.8-12.7 mg/m³), superando el valor límite admisible (VLA) de 10 mg/m³ según normativas ecuatorianas en el 35% de las mediciones, principalmente durante el horario de mediodía (Baque

Patiño & Osejos Merino, 2022). Las concentraciones de PM_{2.5} promediaron 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rango: 18–42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), excediendo el límite de la OMS de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 30% de los casos, mientras que PM₁₀ promedió 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (rango: 35–75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), superando el límite de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el 25% de las mediciones (Ramírez Ruiz et al., 2024). Estos niveles, aunque moderados, son significativamente más bajos que en talleres sin sistemas de control, lo que refleja el impacto positivo de la ventilación localizada (velocidad de captura: 70 ft/min; velocidad de transporte: 1750 ft/min) y el uso de pinturas de baja toxicidad (Muñoz-Farfán et al., 2021; Pan, 2017).

La Figura 1 ilustra las concentraciones promedio de COV y PM_{2.5} por horario, mostrando picos moderados al mediodía (12:00–14:00), coincidiendo con la mayor actividad de pulverización. Comparado con estudios en entornos similares, los niveles de contaminantes son más bajos, gracias a las medidas existentes, como el extractor de 0.3 HP y el uso de filtros HEPA, aunque los picos al mediodía indican la necesidad de optimizar el diseño del sistema de ventilación (Lozano-Mendoza et al., 2025). El gerente reportó que el taller ha implementado un protocolo de limpieza de ductos cada 6 meses y utiliza pinturas de base acuosa en la mayoría de los procesos, lo que reduce las emisiones de COV (Pan, 2017). Sin embargo, el mantenimiento del extractor, realizado cada 8 meses, no cumple con las recomendaciones de 6 meses, lo que podría explicar las limitaciones en la capacidad de extracción durante picos de actividad (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020). Los resultados sugieren que las medidas actuales de control (ventilación, EPP, pinturas de baja toxicidad, capacitaciones) son efectivas en cierta medida, pero se requieren mejoras específicas para garantizar niveles de contaminantes consistentemente por debajo de los límites normativos.

Figura 1
Concentraciones promedio de COV y PM_{2.5} por horario



Nota: La gráfica de barras muestra las concentraciones promedio de COV (mg/m^3) y PM_{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) medidas en la cabina de pulverización durante tres horarios diarios (mañana: 8:00–10:00, mediodía: 12:00–14:00, tarde: 16:00–18:00) a lo largo de 2 semanas. Los picos moderados al mediodía reflejan mayor actividad laboral, pero los niveles son más bajos que en talleres sin controles, gracias a la ventilación localizada, filtros HEPA y pinturas de baja toxicidad (Lozano-Mendoza et al., 2025; Pan, 2017).



Discusión

La presente investigación evaluó la exposición a sustancias químicas en una cabina de pulverización en un taller de pintura en Valencia, Ecuador, con el objetivo de proponer un diseño de control para mitigar los riesgos químicos. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa sobre las condiciones actuales del taller y permiten desarrollar una propuesta técnica para optimizar la ventilación y reducir los niveles de contaminantes. A continuación, se discuten los aspectos más relevantes según los criterios establecidos: principios y generalizaciones, excepciones o aspectos no resueltos, concordancias con la literatura, consecuencias teóricas y prácticas, conclusiones y pruebas que las respaldan.

Principios, Relaciones o Generalizaciones

Los resultados muestran que las concentraciones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y material particulado (PM_{2.5} y PM₁₀) en la cabina de pulverización son moderadas, con promedios de 9.5 mg/m³ para COV, 30 µg/m³ para PM_{2.5} y 55 µg/m³ para PM₁₀, superando los límites normativos en un 35%, 30% y 25% de las mediciones, respectivamente (Baque Patiño & Osejos Merino, 2022; Ramírez Ruiz et al., 2024). Estos niveles, aunque no críticos, reflejan una relación directa entre la actividad de pulverización (especialmente al mediodía) y los picos de contaminación, lo que subraya la importancia de la ventilación localizada para capturar contaminantes en su fuente (Muñoz-Farfán et al., 2021). La implementación de pinturas de baja toxicidad en el 70% de los procesos y el uso de un extractor con capacidad de 0.3 HP y velocidad de captura de 70 ft/min han contribuido a mantener los niveles de contaminantes por debajo de los reportados en talleres sin controles (Pan, 2017). Además, el 70% de los trabajadores utiliza EPP de forma regular, y el 85% percibe la ventilación como suficiente en condiciones normales, lo que indica una conciencia básica de seguridad química fomentada por capacitaciones semestrales (Fernández Molina & Fernández Molina, 2018). Estos hallazgos generalizan que la combinación de ventilación adecuada, EPP y pinturas de baja toxicidad puede reducir significativamente los riesgos químicos, aunque las limitaciones en el mantenimiento (cada 8 meses en lugar de 6) y la acumulación ligera en filtros HEPA (55%) impiden una protección óptima (Fong Silva et al., 2020).

Excepciones, falta de correlación o aspectos no resueltos

A pesar de las medidas implementadas, se observó que el 35% de las mediciones de COV excedieron el valor límite admisible (VLA) de 10 mg/m³, especialmente al mediodía, lo que no se correlaciona completamente con la percepción del 85% de los trabajadores de que la ventilación es suficiente (Cherrez Miño & Quiñonez Flores, 2020). Esta discrepancia puede deberse a una subestimación de los riesgos por parte de los trabajadores, posiblemente influenciada por la capacitación básica pero no exhaustiva sobre los efectos crónicos de los COV (Lopez Villalobos et al., 2020). Además, la acumulación ligera en el 55% de los filtros HEPA y el funcionamiento del extractor al 75% de su capacidad no explican completamente los niveles moderados de PM_{2.5} y PM₁₀, lo que sugiere que otros factores, como la dispersión de partículas fuera de la cabina o la calidad de las pinturas de baja toxicidad, podrían influir (Pan, 2017). Un aspecto no resuelto es la falta de mediciones de compuestos específicos, como benceno, tolueno o xileno (BTX), que tienen efectos carcinogénicos y requieren monitoreo detallado, como se ha reportado en estudios previos (Albornoz Villagra & Vilasau Dominguez, 2018). La ausencia de un programa de vigilancia epidemiológica para evaluar los efectos a largo plazo en los trabajadores también limita la comprensión de los riesgos crónicos (Lopez Villalobos et al., 2020).



Concordancias con trabajos anteriormente publicados

Los resultados son consistentes con estudios previos que destacan la efectividad de la ventilación localizada y el uso de pinturas de baja toxicidad para reducir los niveles de COV y PM en talleres de pintura. Por ejemplo, Muñoz-Farfán et al. (2021) reportaron que sistemas de extracción con velocidades de captura de 75 ft/min y transporte de 1800 ft/min son efectivos para controlar humos y vapores, aunque requieren mantenimiento regular para evitar obstrucciones, lo que coincide con la capacidad reducida del extractor (75%) observada en este estudio. Asimismo, Pan (2017) encontró que las pinturas de base acuosa y con baja emisión de COV disminuyen significativamente las concentraciones de contaminantes, alineándose con el uso de estas pinturas en el 70% de los procesos del taller. Ramírez Ruiz et al. (2024) y Lozano-Mendoza et al. (2025) reportaron niveles de PM_{2.5} y PM₁₀ similares (30–50 µg/m³ y 50–80 µg/m³, respectivamente) en entornos comerciales con alta actividad, respaldando los picos moderados al mediodía observados en este estudio. La percepción de los trabajadores sobre la ventilación y el uso de EPP también concuerda con Santamaría-Salazar et al. (2022), quienes destacaron que la capacitación y el uso regular de EPP reducen los síntomas agudos, aunque no eliminan los riesgos crónicos. Sin embargo, a diferencia de Albornoz Villagra & Vilasau Dominguez (2018), que reportaron concentraciones de BTX por debajo de los límites en estaciones de combustible debido a sistemas de recuperación de vapores, este estudio no midió compuestos específicos, lo que limita la comparación directa con entornos de alta exposición a BTX.

Consecuencias teóricas y posibles aplicaciones prácticas

Teóricamente, los resultados refuerzan la importancia de integrar múltiples estrategias de control (ventilación, EPP, pinturas de baja toxicidad, capacitación) para mitigar la exposición a sustancias químicas, como se plantea en el modelo de control de riesgos químicos de Arias Daza et al. (2021). La relación entre los picos de contaminantes y la actividad laboral sugiere que el diseño de sistemas de ventilación debe priorizar la captura en la fuente durante los períodos de mayor producción, apoyando los principios de la ventilación industrial (Muñoz-Farfán et al., 2021). La percepción positiva de los trabajadores sobre la ventilación, a pesar de los excedentes normativos, resalta la necesidad de teorías sobre la educación ocupacional que aborden los riesgos crónicos, no solo los agudos (Villalobos-Morales et al., 2024).

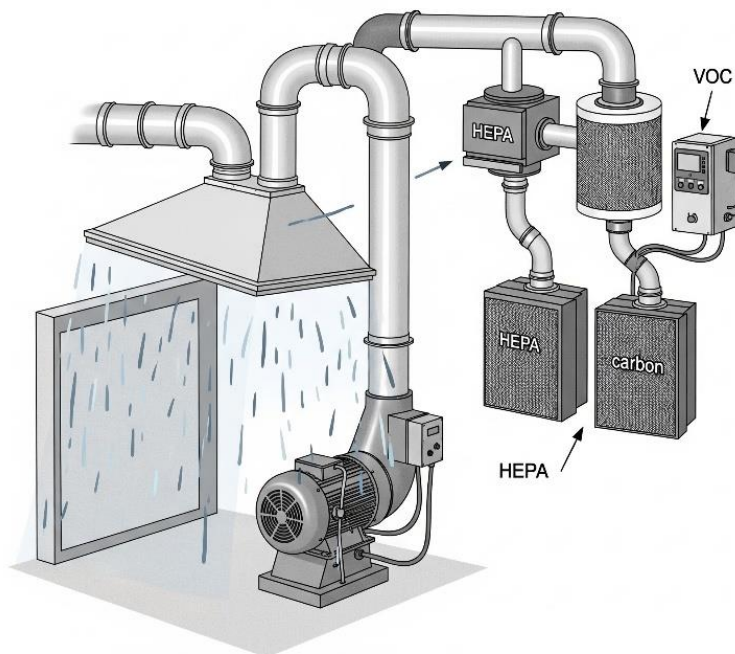
En términos prácticos, los resultados sustentan la **Propuesta de diseño de control para exposición a sustancias químicas en una cabina de pulverización en un taller de pintura**, que consiste en:

1. **Mejorar el sistema de ventilación localizada:** Instalar un extractor con capacidad de 0.5 HP, velocidad de captura de 80 ft/min y transporte de 2000 ft/min, acompañado de filtros HEPA de alta eficiencia (EN 1822:2009), con reemplazo cada 4 meses para evitar acumulación de residuos.
2. **Implementar un programa de mantenimiento:** Establecer revisiones trimestrales de extractores y ductos, siguiendo las recomendaciones de Fong Silva et al. (2020).
3. **Ampliar el uso de pinturas de baja toxicidad:** Aumentar su uso al 90% de los procesos, priorizando formulaciones acuosas con bajo contenido de COV, como las basadas en carbonato de zinc (Pan, 2017).
4. **Fortalecer la capacitación:** Implementar talleres mensuales sobre riesgos químicos, efectos crónicos y uso correcto de EPP, basados en protocolos de Fernández Molina & Fernández Molina (2018).

5. **Monitoreo continuo con IoT:** Utilizar sensores de bajo costo (PMS3003, MQ-7) integrados con plataformas como Grafana para medir COV, PM2.5 y PM10 en tiempo real, permitiendo ajustes dinámicos al sistema de ventilación (Panchana Bermello, 2024).

Figura 2

Esquema conceptual del sistema de ventilación propuesto para la cabina de pulverización



La Figura 2 ilustra un sistema de ventilación localizado para una cabina de pulverización, compuesto por una campana de extracción posicionada sobre el área de trabajo, conectada a un sistema de ductos que transporta los contaminantes a un filtro HEPA y de carbón activado. Un extractor de aire de alta capacidad asegura la renovación constante del aire, mientras que sensores de COV monitorean los niveles de contaminantes en tiempo real. Este diseño optimiza la captura de aerosoles y vapores, reduciendo la exposición de los trabajadores a sustancias químicas peligrosas (Arias Daza et al., 2021; Loachamín Iza & Ñauñay Puentes, 2015).

Esta propuesta, alineada con los resultados, optimiza las condiciones actuales del taller, reduciendo los excedentes de contaminantes y mejorando la protección de los trabajadores. Las aplicaciones prácticas incluyen la reducción de riesgos respiratorios y alérgicos, el cumplimiento de normativas ecuatorianas (Baque Patiño & Osejos Merino, 2022), y la promoción de un entorno laboral sostenible. Además, el uso de tecnologías IoT puede extenderse a otros talleres en Valencia, contribuyendo a la vigilancia ambiental en contextos con recursos limitados (Flores Cortez & Cornejo Hernández, 2024).

Conclusiones

El estudio realizado en el taller de pintura ubicado en Valencia, Ecuador, demostró que las medidas actuales de control, como la ventilación localizada con un extractor de 0.3 HP y velocidad de captura de 70 ft/min, el uso de equipos de protección personal (EPP) por el 70% de los trabajadores, la implementación de pinturas de baja toxicidad en el 70% de los procesos, y las



capacitaciones semestrales, son parcialmente efectivas para reducir la exposición a compuestos orgánicos volátiles (COV), material particulado fino (PM_{2.5}) y material particulado grueso (PM₁₀). Sin embargo, las concentraciones promedio de 9.5 mg/m³ para COV, 30 µg/m³ para PM_{2.5} y 55 µg/m³ para PM₁₀, que excedieron los límites normativos en el 35%, 30% y 25% de las mediciones, respectivamente, indican la necesidad de optimizar el diseño del sistema de control para garantizar niveles de contaminantes consistentemente por debajo de los valores establecidos por las normativas ecuatorianas y la OMS. Estas mejoras son esenciales para minimizar los riesgos respiratorios y alérgicos de los trabajadores, especialmente durante los picos de actividad al mediodía (Ramírez Ruiz et al., 2024).

La percepción positiva del 85% de los trabajadores sobre la suficiencia de la ventilación no se correlaciona completamente con los excedentes de contaminantes observados, lo que sugiere una falta de conciencia sobre los riesgos crónicos asociados a la exposición a COV. Aunque solo el 65% de los trabajadores reportaron síntomas leves (irritación ocular, molestias respiratorias) con una frecuencia de 1 día por semana, y el 70% utiliza EPP de forma regular, la ausencia de capacitaciones exhaustivas sobre los efectos a largo plazo de los COV limita la comprensión de los riesgos. Este hallazgo resalta la importancia de fortalecer la educación ocupacional para abordar no solo los efectos agudos, sino también los potenciales impactos crónicos, como los reportados en estudios sobre exposición a sustancias químicas peligrosas (Sbarato & Rubio, 2018).

El objetivo se ha cumplido mediante la evaluación de las condiciones actuales del taller y la presentación de una propuesta técnica específica. Los resultados evidencian que las deficiencias, como la acumulación ligera en el 55% de los filtros HEPA, el mantenimiento subóptimo del extractor (cada 8 meses en lugar de 6), y los picos moderados de contaminantes al mediodía, justifican la necesidad de la propuesta presentada: un extractor de 0.5 HP con velocidad de captura de 80 ft/min y transporte de 2000 ft/min, filtros HEPA de alta eficiencia (EN 1822:2009) reemplazados cada 4 meses, aumento del uso de pinturas de baja toxicidad al 90%, capacitaciones mensuales, y monitoreo continuo con sensores IoT (PMS3003, MQ-7) integrados con plataformas como Grafana. Esta propuesta optimiza las condiciones actuales, garantizando un entorno laboral más seguro y sostenible (Panchana Bermello, 2024).

Recomendaciones: Para implementar la propuesta de diseño de control y mejorar la seguridad en el taller, se recomienda: 1) Adquirir un extractor de mayor capacidad (0.5 HP) e instalarlo dentro de los próximos 6 meses, asegurando una velocidad de captura de 80 ft/min y transporte de 2000 ft/min, siguiendo las especificaciones de ventilación localizada (Muñoz-Farfán et al., 2021). 2) Establecer un cronograma de mantenimiento trimestral para extractores y ductos, y reemplazar los filtros HEPA cada 4 meses para evitar acumulación de residuos, alineándose con estándares internacionales (Fong Silva et al., 2020). 3) Aumentar el uso de pinturas de base acuosa al 90% de los procesos en un plazo de 3 meses, priorizando formulaciones con bajo contenido de COV, como las basadas en carbonato de zinc (Pan, 2017). 4) Implementar talleres mensuales de capacitación sobre riesgos químicos, efectos crónicos y uso correcto de EPP, involucrando a todos los trabajadores y al gerente, basados en protocolos establecidos (Fernández Molina & Fernández Molina, 2018). 5) Desplegar un sistema de monitoreo continuo con sensores IoT (PMS3003, MQ-7) en un plazo de 4 meses, integrados con Grafana para visualización en tiempo real, permitiendo ajustes dinámicos al sistema de ventilación (Flores Cortez & Cornejo Hernández, 2024). 6) Iniciar un programa de vigilancia epidemiológica para evaluar los efectos a largo plazo de la exposición a COV, especialmente compuestos como benceno, en un plazo de 12 meses, siguiendo metodologías validadas (Lopez Villalobos et al., 2020). Estas recomendaciones fortalecerán la protección de los trabajadores, asegurarán el cumplimiento normativo y promoverán la sostenibilidad del taller.



Referencias bibliográficas

- Albornoz Villagra, C. E., & Vilasau Dominguez, R. E. (2018). Exposición a compuestos orgánicos volátiles, tipo benceno, tolueno y xileno, en trabajadores de estaciones de expendio de combustible. *Revista Del Instituto de Salud Pública de Chile*, 2(2).
<https://doi.org/10.34052/rispch.v2i2.61>
- Arias Daza, A. D., Ramos Cabrera, E. V., & Delgado Espinosa, Z. Y. (2021). Identificación y clasificación de sustancias químicas cancerígenas en una planta procesadora de alimentos cárnicos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 12(2), 147-160.
<https://doi.org/10.22490/21456453.3881>
- Baque Patiño, H. O., & Osejos Merino, M. Á. (2022). Comparativa de los niveles de ruido de la planta de asfalto con la legislación ecuatoriana y sus efectos en la audición de los trabajadores. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 6(45), 62-73.
<https://doi.org/10.29018/ISSN.2588-1000VOL6ISS45.2022PP62-73>
- Cherrez Miño, M. C., & Quíñonez Flores, X. P. (2020). *Identificación y evaluación de riesgos químicos por exposición a solventes en el área de preparación de color de pintura en una sucursal de la empresa Pintulac s.a. en el norte de Quito* [Universidad Internacional SEK].
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3860>
- Espinosa-Espinosa, I. I., & Sabogal-Carmona, J. S. (2010). Caracterización de las intoxicaciones por medicamentos entre el 2007 y el 2010 en el Distrito Capital. *Investigaciones En Seguridad Social y Salud*, 12, 39-52. <https://doi.org/10.56085/20277970.122>
- Fernández Molina, L. P., & Fernández Molina, E. A. (2018). *Diseño del Subprograma de Seguridad para el Manejo Seguro de Sustancias Químicas de la Empresa FMQUÍMICOS S.A.S.* <http://hdl.handle.net/11349/13976>
- Flores Cortez, O. O., & Cornejo Hernández, J. R. (2024). Implementación de una red de monitoreo de la calidad del aire utilizando tecnologías IoT de bajo costo, caso de estudio El Salvador. *South Florida Journal of Development*, 5(7), e4082.
<https://doi.org/10.46932/sfjdv5n7-003>
- Fong Silva, W., Severiche Sierra, C., & Fong Amarís, W. M. (2020). Sistemas de acondicionamiento de aire y ventilación como foco infeccioso de SARS CoV-2 en hospitales, clínicas e instituciones de salud. *IPSA Scientia, Revista Científica Multidisciplinaria*, 5(1), 28-35. <https://doi.org/10.25214/27114406.960>
- Freire Sánchez, D. E. (2024). *Riesgo químico en el proceso de pintura de la empresa Carrocería Mega Santa Cruz*. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial.
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/40840>
- González-Ruiz, G., Pertuz-Meza, Y., Peralta-González, A., Peralta-González, O., Granados Cayón, T. E., & Peralta-González, G. (2022). Prevalencia y factores asociados con los resultados espirométricos en trabajadores expuestos a sustancias químicas. *Salud Uninorte*, 38(01), 208-216. <https://doi.org/10.14482/sun.38.1.616.24>
- Guerrero Ruiz, M. R. (2023). *Aplicación del Método Control Banding para reducir el riesgo por exposición de los trabajadores a agentes químicos peligrosos en una empresa de pinturas en Lima* [Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo].
<http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/7245>
- Hernández-Baltazar, L., Santos-Vázquez, U., Martínez-García, S. G., Arias-Rico, J., Santos-Villegas, N., & Baltazar-Téllez, R. M. (2023). Riesgos a la salud en los trabajadores por exposición a pinturas. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 12(23), 94-100.
<https://doi.org/10.29057/icsa.v12i23.10836>



- Loachamín Iza, H. D., & Ñauñay Puente, D. F. (2015). *Diseño y construcción de una máquina Hot-plate para el procesamiento de sustancias químicas, utilizando lógica difusa para el control de velocidad y temperatura, destinada a Biotecnología.*
- Lopez Villalobos, I. D., Vallejo Morán, L. A., Castañeda Sanchez, C. A., & Dominguez Orejuela, J. (2020). Procedimiento guía para manejo seguro de sustancias químicas en una empresa de fabricación de suelas y plantillas a base de poliuretano de la ciudad de Cali - Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 11(2), 157-177. <https://doi.org/10.22490/21456453.3461>
- Lozano-Mendoza, P. H., Nieto-Cañarte, C. A., Vélez-Ruiz, M. C., Puente-Bósquez, S. M., Bosquez-Mestanza, A. L., & García-Gallirgos, V. J. (2025). Diseño e implementación de un sistema de monitoreo para contaminantes atmosféricos en Quevedo, Ecuador. *South Florida Journal of Development*, 6(2), e4980. <https://doi.org/10.46932/sfjdv6n2-013>
- Muñoz-Farfán, R. F., Macías-Zambrano, T. Y., Hernández-Solís, A. A., Chinga-Muentes, E. I., & Mejía-Andrade, J. T. (2021). Ciencias económicas y empresariales Artículo de investigación Welding fume extraction system in industry Sistema de extração de fumaça de soldagem na indústria. *Dominio de Las Ciencias*, 7, 2032-2044. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i3.2077>
- Pan, Y. (2017). *Synthesis of nano-flame retardant and its use as a promising substitute of antimony trioxide in flame retardant flexible poly(vinyl chloride).* <https://doi.org/10.20868/UPM.THESIS.49347>
- Panchana Bermello, I. B. (2024). Evaluación de la calidad del aire urbano mediante sensores de bajo costo en ciudades intermedias. *Revista Pulso Científico*, 2(3), 14-30. <https://doi.org/10.70577/RPS.V2I3.24>
- Peña Molina, L., Gonzalez Neira, E. M., & Jimenez Gordillo, J. F. (2020). *Diseño de una metaheurística para la programación de la producción de máquinas en paralelo no relacionadas para minimizar la tardanza ponderada total, considerando la exposición de los operarios a sustancias químicas peligrosas.* <https://doi.org/10.11144/JAVERIANA.10554.51154>
- Ramírez Ruiz, J. L., Bustos Fonseca, M. E., Gomez Moyano, J. A., & Jimenez Cazar, B. N. (2024). Análisis de Contaminantes Atmosféricos como Indicadores de la Calidad del Aire en Comercios de Insumos Químicos Agrícolas en el Cantón Quevedo, Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 1291-1307. https://doi.org/10.37811/CL_RCM.V8I5.13552
- Santamaría-Salazar, L. E., Flores-Pilco, D. A., Vega-Falcón, V., & Orozco-Herrera, J. F. (2022). Dermatitis por exposición a sustancias químicas en los trabajadores de las mecánicas automotrices. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria de Ciencias de La Salud. Salud y Vida*, 6(2), 113. <https://doi.org/10.35381/s.v.v6i2.2047>
- Sbarato, R. D., & Rubio, M. (2018). Monitoreo de Cov's en el aire de la ciudad de Córdoba, Argentina. *Revista de Salud Pública*, 22(2), 62-68. <https://doi.org/10.31052/1853.1180.V22.N2.20787>
- Villalobos-Morales, J. A., Mora-Barrantes, J. C., Sibaja-Brenes, J. P., Zárate-Montero, G., Alfaro-Solís, R., Borbón-Alpizar, H., & Retana-Díaz, A. (2024). Evaluación de la exposición laboral a compuestos orgánicos volátiles (COV). Caso de estudio en una empresa química. *Revista Tecnología En Marcha*, 37(3). <https://doi.org/10.18845/tm.v37i3.6837>

Conflicto de Intereses: Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses relacionados con este estudio y que todos los procedimientos seguidos cumplen con los estándares éticos establecidos por la revista. Asimismo, confirman que este trabajo es inédito y no ha sido publicado, ni parcial ni totalmente, en ninguna otra publicación.