

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



**Modelamiento de gases peligrosos en espacio confinados para
disminuir los riesgos de accidente de trabajo**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Jose Fernando Calizaya Paredes

Sharol Stefanie Solano Sancho

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

Lima, marzo de 2025

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Jackson Edgardo Pérez Carpio, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“MODELAMIENTO DE GASES PELIGROSOS EN ESPACIO CONFINADOS PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE ACCIDENTES DE TRABAJO”** de los autores José Fernando Calizaya Paredes y Sharol Stefanie Solano Sancho tiene un índice de similitud de 19 % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 19 días del mes de marzo del año 2025



Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 04 día(s) del mes de Febrero del año 2025, siendo las 09:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, el (la) secretario(a): Mg. Eliana del Carmen Gutierrez Rodriguez y los demás miembros: Ing. Orlando Alan Poma Porras

Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas y el (la) asesor(a) Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Modelamiento de gases peligrosos en espacio confinados para disminuir los riesgos de accidentes de trabajo

del(los) bachiller(es): a) Sharol Stephanie Solano Sancho

b) Jose Fernando Calizaya Paredes

c)

conducente a la obtención del título profesional de:

Ingeniero Ambiental

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Sharol Stephanie Solano Sancho

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller (b): Jose Fernando Calizaya Paredes

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	18	A-	Muy bueno	Sobresaliente

Bachiller (c):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

(Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica según conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero dar gracias a Dios, por ser la fuerza que me ha sostenido en cada paso de este camino. Su amor infinito ha sido mi luz en los momentos oscuros y mi paz en los días de incertidumbre. A mi querida madre (Adelina) el ser más valioso en mi vida. No hay palabras suficientes para expresar lo agradecida que estoy por todo el amor, sacrificio y paciencia que me has brindado. Gracias por ser mi guía, mi refugio y por enseñarme a luchar por mis sueños. A mi querido padre (Moises), quien ya no está físicamente entre nosotros, pero quien sigue siendo una parte vital de mi vida, aunque tu partida dejó un vacío en mi corazón, también me dejó con recuerdos imborrables de tu amor, tu dedicación y tu sabiduría, me has acompañado en cada paso de este proceso, y sé que desde el cielo me miras con orgullo, te llevo siempre en mi alma y en mi corazón. Por supuesto al Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio, mi asesor, quien fue un guía académico y mentor. Gracias por su paciencia, por su tiempo y por sus sabios consejos.

Sharol Stefanie Solano Sancho

Agradezco profundamente a Dios por darme la fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa. A mis padres, César Calizaya y Lidia Paredes, por su amor incondicional, apoyo inquebrantable y confianza en mí en cada paso del camino. Al Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio, por su valiosa guía, paciencia y conocimientos, fundamentales para el desarrollo de esta investigación. A mis colegas, por compartir su sabiduría y motivarme a crecer profesionalmente. A mis amigos, por su paciencia y aliento en los momentos difíciles. A mi institución, por brindarme las herramientas necesarias para alcanzar este logro. A todas las personas que, de una u otra forma, contribuyeron.

Jose Fernando Calizaya Paredes

INDICE

AGRADECIMIENTO.....	4
INDICE	5
RESUMEN.....	7
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	11
MÉTODOLOGIA	15
Ubicación geográfica	15
Tipo de diseño	15
Identificación de variables	16
Variable independiente.....	16
Variable dependiente.....	16
Técnicas de recolección de datos	16
Análisis estadísticos	17
Plan de procesamiento de datos	18
RESULTADOS.....	18
Estadística descriptiva.....	18
Porcentaje de oxígeno	19
Porcentaje de explosividad.....	25
Análisis para la concentración del ácido sulfhídrico, H ₂ S (PPM).....	31
Análisis para la concentración de monóxido de carbono, CO (ppm)	37
DISCUSIÓN	42
CONCLUSIÓN.....	46
RECOMENDACIONES	47

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
ANEXOS.....	51
Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio.....	51
Copia de resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis en formato artículo aprobado por el consejo de facultad correspondiente	53
Instrumentos de recolección de datos	54
Figuras, tablas e imágenes.....	55

MODELAMIENTO DE GASES PELIGROSOS EN ESPACIO CONFINADOS PARA DISMINUIR LOS RIESGOS DE ACCIDENTES DE TRABAJO

Original article Risks in confined spaces, exposure to gases in tanks with paint products

Jose Fernando CALIZAYA PAREDES¹, Sharol Stefanie SOLANO SANCHO^{1*} y Jackson

Edgardo PÉREZ CARPIO²

^{1,2,3}Facultad de ingeniería, escuela profesional de ingeniería ambiental, Universidad Peruana

Unión. Perú

*Autor para la correspondencia: josecalizaya@upeu.edu.pe, sharolsolano@upeu.edu.pe

RESUMEN

Introducción: En el presente artículo, se condensa una investigación exhaustiva sobre los riesgos químicos en el desguace de naves en Perú, la normativa de espacios confinados y el manejo seguro de sustancias químicas en la industria de la pintura. Se destaca la importancia de implementar acciones preventivas para resguardar la salud y el bienestar de los colaboradores, así como la necesidad de mejorar las prácticas industriales para promover la seguridad y sostenibilidad. El objetivo final es diseñar un modelo de riesgo para la exposición a gases peligrosos en tanques industriales con productos derivados de pintura, con el fin de establecer medidas efectivas de reducción de riesgos.

Objetivo: Diseñar un modelamiento de riesgo por exposición de gases peligrosos en tanques industriales con presencia de productos derivados de pintura.

Método: Este estudio se enfoca en la planta Ñaña de la empresa Qroma, ubicada en Chaclacayo, Lima. La investigación incluye a 20 individuos, específicamente los operarios involucrados en la limpieza de tanques. Con un diseño no experimental y longitudinal, se buscó

reducir el estrés laboral mediante estrategias propuestas.

Resultados: El modelo ARIMA con respecto al porcentaje de oxígeno, se obtuvo una varianza del 98.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.99. En la evaluación del porcentaje de explosividad, se obtuvo una varianza del 26.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.95. Por otro lado, en la concentración de ácido sulfhídrico, se obtuvo una varianza del 26.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 2.01. Por último, en la concentración de monóxido de carbono, se obtuvo una varianza del 99.9 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.96. Con respecto al valor de Durbin Wattson todas las evaluaciones se encontraron dentro de los límites establecidos (1.85 – 2.15), indicando que el modelo es adecuado y en cuanto a los valores-p, en todos los casos se tienen valores significativos (Valor-p<0.05), lo que se traduce que los coeficientes estimados son determinantes y significativos para explicar el modelo estimado.

Conclusión: Para mitigar los riesgos y cuidar la salud es primordial seguir todas las medidas de seguridad adecuada como utilizar equipos de protección personal, realizar monitoreos continuos de los niveles de gases y oxígeno, capacitar y rotar al personal para un proceso eficiente.

Palabras clave: Espacios confinados, gases peligrosos, seguridad ocupacional, modelamiento de riesgo, monitoreo.

ABSTRACT

Introduction: In this article, an exhaustive investigation is condensed on the chemical risks in ship dismantling in Peru, the regulations for confined spaces, and safe handling of chemicals in the paint industry. The importance of implementing preventive actions to safeguard the health and well-being of employees, as well as the need to improve industrial practices to promote safety and sustainability. The final objective is to design a risk model for exposure to dangerous gases in industrial tanks with products derived from paint, in order to establish effective risk reduction measures.

Objective: Design a risk modeling for exposure to dangerous gases in industrial tanks with the presence of products derived from paint.

Methods: This study focuses on the Ñaña plant of the Qroma company, located in Chaclacayo, Lima. The investigation includes 20 individuals, specifically the operators involved in cleaning tanks. With a non-experimental and longitudinal design, we sought to reduce work stress through proposed strategies.

Results: The ARIMA model with respect to the oxygen percentage, a variance of 98.6 % was obtained; for the Durbin Wattson (DW) value, a value of 1.99 was obtained. In the evaluation of the porcentaje of explosiveness, a variance of 26.6 % was obtained; for the Durbin Wattson (DW) value, a value of 1.95 was obtained. On the other hand, for the hydrogen sulfide concentration, a variance of 26.6 % was obtained; for the Durbin Wattson (DW) value, a value of 2.01 was obtained. Finally, for the carbon monoxide concentration, a variance of 99.9 % was obtained; for the Durbin Wattson (DW) value, a value of 1.96 was obtained. With respect to the Durbin Wattson value, all the evaluations were within the established limits (1.85 – 2.15), indicating that the model is adequate, and with respect to the p-values, in all cases there are significant values ($p\text{-value} < 0.05$), which means that the estimated coefficients are determinant and significant to explain the estimated model.

Conclusions: To mitigate risks and take care of health it is important to follow all appropriate safety measures such as using personal protective equipment, continuous monitoring of gas and oxygen levels, training and rotation of personnel for an efficient process.

Keywords: Confined spaces, hazardous gases, occupational safety, risk modeling, monitoring.

Recibido: 11/09/2024

Aceptado: 04/02/2025

INTRODUCCIÓN

La presencia de productos químicos en la industria de la pintura, combinada con la utilización de tanques industriales, crea un escenario propenso a la generación de gases peligrosos que pueden provocar efectos perjudiciales en la salud humana y el ecosistema. A esto se suma la falta de conciencia, conocimiento y capacitaciones sobre los peligros inherentes que puede resultar en prácticas laborales inseguras, aumentando significativamente el riesgo de accidentes laborales, ya que se crea un escenario propenso a la generación de gases peligrosos y con ello la exposición por inhalación a partículas de suspensión y contaminantes gaseosos puede aumentar la posibilidad de desarrollar diversas enfermedades, por ejemplo, asma, enfermedades pulmonares obstructivas, cáncer, aterosclerosis, arritmia y accidente cerebrovascular. Por lo tanto, es importante identificar estos riesgos de manera precisa, debido a que con ello se pueden implementar medidas preventivas adecuadas para controlar y mitigar los peligros, protegiendo así el bienestar físico y psicológico de los colaboradores en su entorno laboral.⁽¹⁾ En un estudio realizado en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo se evaluó los riesgos para la salud de los colaboradores debido a la exposición a productos de pintura, con lo cual explicaban que los disolventes orgánicos son uno de los factores de riesgo más relevantes en la industria de fabricación de pintura, ya que al ser productos volátiles crea un riesgo de inhalación de vapores orgánicos en puestos donde se trabaja.⁽²⁾

En este contexto, el objetivo de este artículo radica en diseñar un modelamiento de riesgo por exposición de gases peligrosos en tanques industriales con presencia de productos derivados de pintura.

Un estudio realizado por Ramírez que tuvo como objetivo reconocer los riesgos y efectos ambientales y al bienestar público a causa de operaciones de desmontaje de embarcaciones en el Perú,

se analizó los potenciales peligros de sustancias químicas que se encuentran adheridas a los residuos que deja el proceso. Para ello, la investigación realizada fue de tipo no experimental con diseño longitudinal, dado que se recogieron información sobre las instalaciones desde 1990 al 2021 del desguace. Los datos con respecto a los impactos a nivel de seguridad ocupacional y salud son debido a la respiración de partículas de asbesto y humos tóxicos, que provocan afecciones como el cáncer e incluso causar la muerte. En el Perú los desechos son tratados por empresas comercializadoras y operadoras, pero algunos de estos desechos se dejan en riberas y playas, acumulándose de esta manera en cuerpos naturales.⁽³⁾ Según Chung en su artículo “Control de los contaminantes químicos en el Perú” explica que hoy en día, debido a la acción del ser humano por optimizar su bienestar, tenemos diversos números de compuestos químicos y biológicos en el entorno, el cual representa un peligro para la salud, ya que se encuentran en concentraciones elevadas o por su carácter tóxico. Por todo lo expuesto, Chung recalca que es fundamental contar con metodologías y técnicas analíticas, así como también regulaciones técnicas relacionadas con la gestión de contaminantes ambientales. Su estudio lo llevó a cabo gracias a una búsqueda bibliográfica que tuvo como conclusiones que en el país no se conoce exactamente el grado de polución por compuestos orgánicos nocivos provenientes de diversas fuentes, ya sean específicas o dispersas y que es importante ya que, con el conocimiento debido, ayudará a determinar cuáles son las causas y como mitigarlo.⁽⁴⁾

La exposición pulmonar a micropartículas y nanopartículas está relacionada directamente con efectos adversos a la salud, por ello, un estudio titulado “Exposición ocupacional y liberación al medio ambiente: estudio de caso de vertido de TiO₂ y materiales de relleno para la producción de pintura” realizó una campaña de medición de campo en una fábrica de pintura ubicada en Dinamarca durante la producción de tres lotes de pintura diferentes. Los resultados obtenidos fueron que las emisiones de las actividades de vertido estaban denominadas por partículas más gruesas >300 nm

hasta 7 μm y que, durante el periodo de medición, no se superó ninguno de los límites exposición vigentes. La liberación de partículas al ambiente exterior tuvo una variación de 6 a 20 g ton^{-1} en concentraciones de entre 0,6 y 9,7 mg m^{-3} de polvo suspendido total, que dependía del polvo. La liberación estimada de TiO_2 al aire libre fue de 0,9 kg por año.⁽⁵⁾ Por otro lado, un artículo titulado “Exposición a compuestos orgánicos volátiles en plantas de producción de pinturas: niveles y riesgos potenciales para la salud humana” evaluó la exposición ocupacional a 15 sustancias orgánicas volátiles en las fábricas de producción de pinturas iraníes y, posteriormente, los efectos adversos en la salud. Las muestras fueron recolectadas de la zona respiratoria de los trabajadores gracias al método NIOSH 1501, y su caracterización cualitativa y cuantitativa. Finalmente, se obtuvo como resultados que los compuestos que más predominaban fueron m,p-xileno (hasta $92489,91 \pm 0,65 \mu\text{g m}^{-3}$), etilbenceno (hasta $91188,95 \pm 0,34 \mu\text{g m}^{-3}$) y tolueno (hasta $46088,84 \pm 0,14 \mu\text{g m}^{-3}$). Por otro lado, los riesgos totales de cáncer a lo largo de la vida estuvieron en el rango de $1,8 \times 10^{-5}$ – $3,85 \times 10^{-3}$, lo que sugiere que hubo riesgo de carcinogénesis en todas las secciones estudiadas, principalmente debido al etilbenceno y al benceno.⁽⁶⁾

Un estudio titulado “Alteraciones hematológicas en trabajadores expuestos ocupacionalmente a mezcla de benceno-tolueno-xileno (BTX) en una fábrica de pinturas” tuvo como objetivo principal evaluar tres líneas celulares sanguíneas y detectar la existencia de macrocitosis, leucopenia, hipocromía, trombocitopenia y linfocitopenia en colaboradores con exposición a una combinación de benceno-tolueno-xileno en una fábrica de pintura. Se evaluó a un total de 97 colaboradores con trayectoria laboral no menos a un periodo de cuatro meses continuos, sin distinción de género o puestos de trabajo, posteriormente, se les efectuó un análisis hematológico estándar donde los resultados fueron que, del total de trabajadores, el 19,6% mostró macrocitosis, el 18,6% linfocitopenia, el 10,3% hipocromía, el 7,2% trombocitopenia y el 5,2% leucopenia. Por todo lo

expuesto, se concluyó en que todos los componentes cito hemáticos evaluados presentaron alteraciones que podrían estar asociadas a la exposición prolongada de la mezcla de BTX (benceno-tolueno-xileno).⁽⁷⁾ Por otro lado, otro artículo realizado por Balkhyour y otros autores, titulado “Evaluación de métodos de monitoreo ambiental y biológico para la evaluación de la exposición al tolueno en la industria de la pintura” lleva como objetivo la evaluación de la exposición al tolueno en la industria de la pintura y, por otro lado, evaluar las técnicas de monitoreo ambiental y biológico para la evaluación de la exposición ocupacional a este hidrocarburo aromático. Para ello, se recogieron muestras de aire activas y pasivas personales para realizar la medición de tolueno, muestras de sangre y orina para análisis de B-Tol y HA o U-Tol de ocho trabajadores de fábricas de producción de pintura. Posteriormente, se analizaron las correlaciones entre los indicadores biológicos y los niveles de exposición ambiental al tolueno. Según los resultados obtenidos, se mostró que los trabajadores de las industrias estudiadas están altamente expuestos al tolueno, debido a que se encontró una alta correlación entre las concentraciones de tolueno en muestras tomadas con dosímetros t las muestreadas activamente en tubos de carbón.⁽⁸⁾

Finalmente, de lo expuesto anteriormente, se llegó a la conclusión de que es importante diseñar un modelamiento de riesgo por exposición de gases peligrosos en tanques industriales con presencia de productos derivados de pintura, ya que, como se pudo evidenciar, si existe riesgos por exposición de gases en industrias de fabricación de pintura, como es el caso del tolueno, definido como hidrocarburo líquido usado frecuentemente en sectores industriales, se emplea como solvente o como componente en la producción de pinturas. El tolueno, como otros compuestos liberados en la fabricación de pinturas, es un compuesto orgánico volátil que tiene grandes efectos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana.⁽⁹⁾ Por ello, este artículo constituye una fuente alternativa factible para salvaguardar el bienestar y la protección de los colaboradores expuestos a estos entornos.

La existencia de productos químicos en la industria de la pintura, combinada con la utilización de tanques industriales, crea un escenario propenso a la generación de gases peligrosos que pueden generar impactos significativos en la salud de las personas y en el ecosistema. A esto se suma la falta de conciencia, conocimiento y capacitaciones sobre los peligros inherentes que puede resultar en prácticas laborales inseguras, aumentando significativamente el riesgo de accidentes laborales. Por lo tanto, al identificar estos riesgos de manera precisa, se pueden implementar medidas preventivas adecuadas para controlar y mitigar los peligros, protegiendo así el bienestar tanto físico como psicológico de los trabajadores en su entorno laboral.

MÉTODOLOGIA

Ubicación geográfica

El estudio de trabajo de investigación se realizó en la empresa Qroma, de la planta Ñaña, ubicada en Chaclacayo, en la carretera central 2556 con las coordenadas -11.9927656/ 76.830508, Distrito de Lima 15476.

Tipo de diseño

El presente estudio tuvo un diseño no experimental, porque la variable independiente solo ocurre, no se logró tener un control ni influir sobre ellas debido a que ya sucedieron y no es posible manipularla. Fue de corte longitudinal debido a que, se realizó una recolección de datos en diferentes periodos y de esta manera se logró hacer inferencias con respecto al cambio.⁽¹⁰⁾

Una investigación realizada por la Organización Internacional del trabajo (OIT)² mostró que la salud mental en el trabajo es preocupante y amenazante. El diseño aplicado en esa investigación fue de tipo descriptivo, no experimental y de corte longitudinal, para identificar si las estrategias propuestas resultaron útiles en la disminución de los factores que ocasionan estrés. Como resultado lograron resultados excelentes en base de las dos variables medidas, ya que disminuyó en un 84.90

% con respecto a los factores organizacionales y un 62.50% en relación a los factores del ambiente físico.⁽¹¹⁾

El objetivo del presente estudio, responde a diseñar un modelamiento de riesgo por exposición de gases peligrosos en tanques industriales con presencia de productos derivados de pintura y se explora cómo esta investigación ofrece una valiosa contribución al conocimiento existente sobre la gestión de SST en espacios confinados. Al analizar los desafíos y limitaciones que enfrentan las empresas que realizan este tipo de operaciones, contribuyendo a la garantía de entornos laborales seguro y saludables para los trabajadores.

Identificación de variables

Variable independiente

Medición de gases en periodo de tiempo (oxígeno, explosividad, H₂S y CO.)

Variable dependiente

Modelamiento de riesgo en espacios confinados

Técnicas de recolección de datos

Monitoreo de gases: Los monitoreos estuvieron determinados por el pre y el post monitoreo.

El pre-monitoreo consistió en la lectura consecutiva cada 25 minutos por 10 días, se utilizó un equipo de monitoreo de gases marca Bosean con número de serie BSH4 que nos dio la lectura y dónde se almacenaron los datos, luego se realizó el post-monitoreo que consistió en recopilar la información en un registro impreso y posterior a ello fueron vaciados en un Excel para la obtención de data.

Métodos estadísticos: Se utilizará una ecuación para predecir datos y evaluar los niveles que pueden tener en la relación de los trabajadores y los gases que se encuentran en los espacios

confinados (el tiempo).

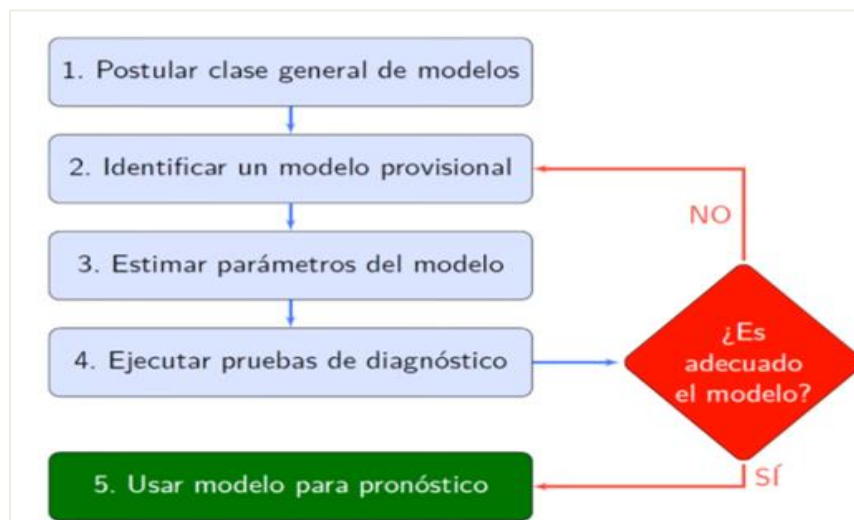
El método estadístico que se utilizará en este trabajo de investigación es ARIMA ya que es un modelo estadístico que utiliza regresiones en base a datos estadístico con el propósito de encontrar patrones y cumplir supuestos y garantizar de esta manera una predicción hacia futuro. ⁽¹²⁾

Una investigación realizada por Gencer y Başçiftçi, utiliza ARIMA como un modelo de predicción aplicado a vulnerabilidades de seguridad en un sistema operativo móvil Android que cuenta con el mayor número de usuarios. El modelo Arima presentó una tasa de error de 18.449 siendo baja en comparación a otros modelos. ⁽¹³⁾

Análisis estadísticos

Se llevó a cabo una verificación de datos como parte de nuestra investigación, en línea con el objetivo del estudio. Se empleó la metodología para evaluar la predicción de acuerdo con el modelo que puede ser ecuación lineal, logarítmica, cuadrática, cubica y exponencial que son considerado modelos estacionales simple, adecuada para algoritmos estadísticos que analizan y pronostican datos de series temporales. Este modelo facilitó la estimación y extrapolación del estado de un fenómeno, así como el análisis de patrones en datos históricos para hacer predicciones futuras.

Figura 1. Diagrama de flujo para la obtención del modelo ARIMA según metodología Box-Jenkins



En la figura 1, se detallaron los pasos a seguir para la obtención del modelo ARIMA según la metodología de Box-Jenkins. De tal manera, el primer paso se debió identificar la clase de modelos ARIMA adecuada mediante el análisis visual de la serie temporal y la aplicación de transformaciones para lograr estacionariedad, como diferenciaciones o toma de logaritmos. En cuanto al segundo paso, se analizó la serie temporal diferenciada utilizando gráficos de autocorrelación (ACF) y autocorrelación parcial (PACF) para determinar los valores provisionales de los parámetros p (autoregresivo) y q (media móvil). Para el tercer paso, se calibraron los parámetros del modelo ARIMA (p, d, q) utilizando métodos estadísticos como la máxima verosimilitud o los mínimos cuadrados para obtener los coeficientes de las partes AR y MA. En el cuarto paso, se evaluó la adecuación del modelo ajustado analizando los residuos para verificar que sean ruido blanco, utilizando pruebas como Ljung-Box y medidas de bondad de ajuste como AIC y BIC. Y, por último, en el quinto paso se utilizó el modelo validado para hacer predicciones futuras de la serie temporal, generando pronósticos e intervalos de confianza, y ajustando el modelo conforme se disponga de nuevos datos.

Plan de procesamiento de datos

Los datos fueron procesados en Excel, para lo cual se elaboraron tablas y gráficas para su representación, con el propósito de examinar si requieren impugnación, y posteriormente fueron analizados utilizando el software SPSS. Se utilizaron tablas de secuencia para representar las variables de estudio, facilitando así su comprensión.

RESULTADOS

Estadística descriptiva

Tabla 1

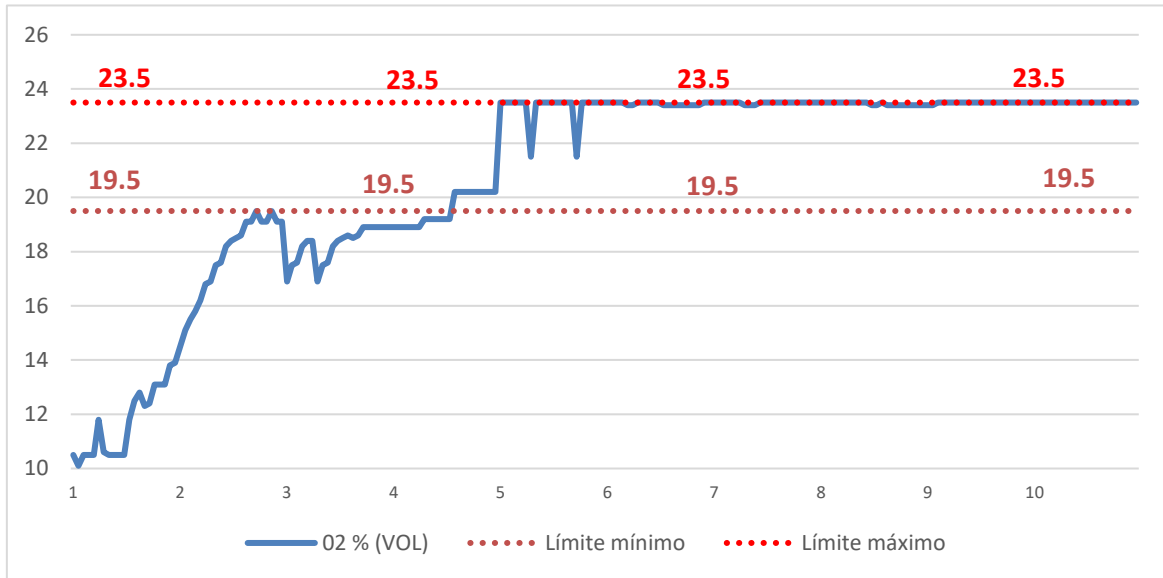
Medidas descriptivas de los parámetros peligrosos en espacios confinados

Parámetros	Media	Mediana	Desv. Estándar	Max	Min
O ₂ % (VOL)	20.79	23.40	3.84	23.50	10.10
EX % (LEL)	13.31	6.00	16.17	60.00	0.00
H ₂ S (PPM)	0.38	0.00	0.82	4.00	0.00
CO (PPM)	50.10	29.15	44.04	155.80	0.00

En la tabla 1, se detallaron algunas medidas descriptivas para los gases peligrosos en espacios confinados, en donde para el oxígeno se obtuvo una media y desviación estándar de 20.79% \pm 3.84, el cual significa que en los 10 días el valor promedio se encontró por encima del límite mínimo requerido (19.5%), mientras que la desviación estándar se traduce en la diferencia promedio entre los valores del oxígeno. Para el caso del porcentaje de explosividad, se obtuvo una media de 13.31%, el cual se encuentra por encima del límite mínimo con respecto a este parámetro, el cual tiene que ser de 0, sin embargo, esto no significa que dicho parámetro no haya llegado a 0, sino que sus valores para los 10 días se mantuvieron entre la cantidad mencionada, significando un problema para la salud del trabajador.

Porcentaje de oxígeno

Figura 2. Gráfico de dispersión para el porcentaje de oxígeno en espacios confinados



En la figura 2, se muestran los valores obtenidos para el porcentaje de oxígeno en espacios confinados durante 10 días, de tal manera se halló, como es lógico el porcentaje de oxígeno en un comienzo en el tanque está muy por debajo de los límites mínimos necesarios para que este no sea considerado un peligro para la salud, a partir del día 5, se comenzó a notar que este parámetro comenzó a tener valores normales, que no son dañinos para la salud, posterior a ese día el valor se mantuvo constante hasta el último día 10 del espacio confinado en el tanque.

Figura 3. Estacionariedad de la variable porcentaje de oxígeno

Null Hypothesis: O2 has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.382569	0.0127
Test critical values:		
1% level	-3.461783	
5% level	-2.875262	
10% level	-2.574161	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

En la figura 3, se realizó la prueba de raíz unitaria, para comprobar la estacionariedad de la serie de tiempo para el porcentaje de oxígeno (O2), en donde se obtuvo un valor de probabilidad de 0.01, lo que indica que no tiene raíz unitaria, en otras palabras, la serie es estacionaria y es adecuada para el análisis.

Figura 4. Correlograma para la variable porcentaje de Oxígeno (O₂)

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1 0.974	0.974	202.14	0.000
		2 0.950	0.018	395.25	0.000
		3 0.926	-0.003	579.66	0.000
		4 0.903	-0.004	755.70	0.000
		5 0.879	-0.019	923.37	0.000
		6 0.859	0.062	1084.3	0.000
		7 0.835	-0.083	1237.1	0.000
		8 0.808	-0.076	1380.9	0.000
		9 0.781	-0.011	1516.1	0.000
		10 0.751	-0.086	1641.8	0.000
		11 0.722	0.003	1758.5	0.000
		12 0.697	0.039	1867.6	0.000
		13 0.673	0.037	1970.1	0.000
		14 0.651	0.010	2066.2	0.000
		15 0.626	-0.052	2155.8	0.000
		16 0.605	0.046	2239.7	0.000
		17 0.583	-0.000	2318.0	0.000
		18 0.560	-0.031	2390.7	0.000
		19 0.537	-0.022	2457.9	0.000
		20 0.517	0.007	2520.5	0.000
		21 0.496	0.002	2578.5	0.000
		22 0.478	0.025	2632.7	0.000
		23 0.462	0.023	2683.6	0.000
		24 0.447	0.021	2731.5	0.000
		25 0.433	0.017	2776.6	0.000
		26 0.420	0.001	2819.3	0.000
		27 0.408	0.037	2859.9	0.000
		28 0.398	0.007	2898.5	0.000
		29 0.388	0.007	2935.6	0.000
		30 0.379	-0.003	2971.2	0.000
		31 0.373	0.028	3005.7	0.000
		32 0.366	0.014	3039.3	0.000
		33 0.360	-0.006	3072.0	0.000
		34 0.355	-0.001	3103.8	0.000
		35 0.350	0.010	3134.9	0.000
		36 0.344	-0.017	3165.1	0.000

Nota. Resultado obtenido a través del programa Eviews 10

En la figura 4, se muestra el correlograma para la variable porcentaje de oxígeno, en donde se

observa que en el correlograma de autocorrelación, las barras disminuyeron de forma constantes el cuál indicaría que se tiene que utilizar rezagos (AR) para la estimación; mientras que, en el correlograma para la correlación parcial, hay una diferencia grande entre la primera barra y la segunda, pudiendo significar el uso de medias móviles para la estimación. Con ello mencionado se procedió a realizar la estimación del modelo.

Tabla 2. Estimación del modelo ARIMA para el porcentaje de oxígeno

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Valor-p
C	17.98	4.88	3.69	0.000
AR(1)	0.81	0.05	16.67	0.000
AR(2)	0.18	0.05	4.04	0.000
MA(9)	0.25	0.04	6.62	0.000
SIGMAS	0.20	0.01	25.93	0.000
Q				

$$R^2 = 0.986 \quad AIC = 1.324 \quad BIC = 1.40 \quad DW = 1.99 \quad F(valor - p) = 0.0000$$

En la tabla 2, se detallaron los coeficientes obtenidos para el modelo ARIMA con respecto al porcentaje de oxígeno. De esa manera se utilizó un modelo ARIMA (2,0, 9). Este fue el mejor modelo encontrado, teniendo un coeficiente de determinación de 0.986, el cual indica que el 98.6% de la varianza de la variable real es explicada por modelo pronosticado; en cuanto a los criterios de AIC y BIC estos valores fueron los menores comparados contra los demás modelos, el cual es signo de ajustar mejor el modelo; para el valor de Durbin Wattson (DW), este fue igual a 1.99, encontrándose dentro de los límites válidos establecidos (1.85 – 2.15), significando que no existe autocorrelación con los valores, en otras palabras, el modelo es adecuado. En cuanto a los valores-p, en todos los

casos tienen valores significativos (Valor-p<0.05), lo que se traduce que los coeficientes estimados son determinantes y significativos para explicar el modelo estimado.

$$\hat{Y} = 17.98 + 0.81Y_{t-1} + 0.18Y_{t-2} + 0.25\varepsilon_{t-9}$$

Donde Y_t es el porcentaje de oxígeno (O2%), Y_{t-n} es el periodo de rezago y ε_{t-9} es la media móvil para el noveno periodo.

Validación del modelo

Para este paso, se hizo la comprobación del modelo, debiéndose cumplir que los errores o residuos pronosticados por el modelo, son ruido blanco, esto a llevaría a la validación correcta del modelo.

Ho: Los errores estimados son ruido blanco (Normalidad y homogeneidad)

H1: Los errores estimados no son ruido blanco (No normalidad ni homogeneidad)

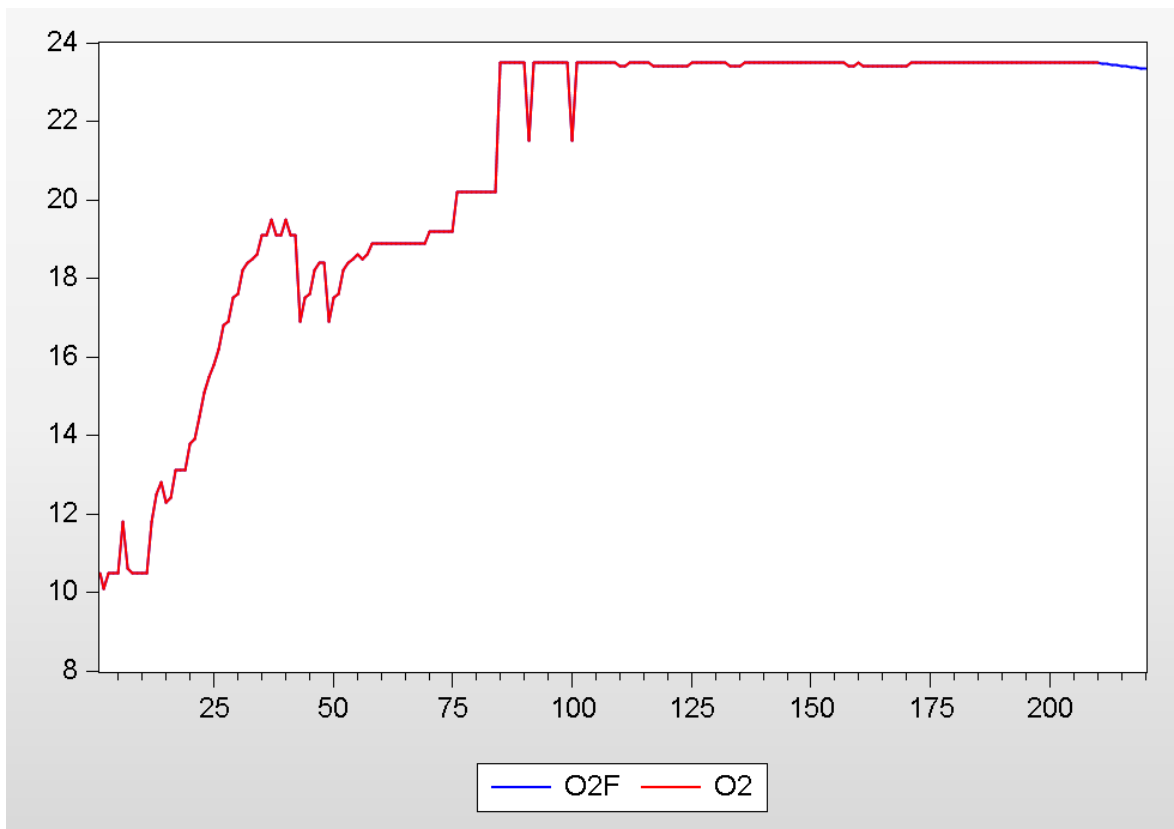
Figura 5. Correlograma de los residuos estimados del modelo ARIMA para el porcentaje de oxígeno

Included observations: 210
Q-statistic probabilities adjusted for 3 ARMA terms

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	-0.025	-0.025	0.1314	
		2	-0.060	-0.060	0.8920	
		3	-0.054	-0.058	1.5248	
		4	-0.012	-0.019	1.5585	0.212
		5	0.006	-0.002	1.5658	0.457
		6	0.066	0.062	2.5242	0.471
		7	0.147	0.151	7.2682	0.122
		8	0.012	0.032	7.3016	0.199
		9	-0.033	-0.006	7.5483	0.273
		10	-0.034	-0.016	7.8060	0.350
		11	0.031	0.032	8.0270	0.431
		12	-0.026	-0.036	8.1757	0.517
		13	0.008	-0.015	8.1888	0.610
		14	-0.048	-0.078	8.7227	0.647
		15	-0.171	-0.191	15.390	0.221
		16	0.090	0.078	17.257	0.188
		17	0.057	0.045	17.997	0.207
		18	-0.001	-0.008	17.997	0.263
		19	-0.019	0.003	18.083	0.319
		20	-0.041	-0.022	18.483	0.359
		21	-0.040	-0.001	18.859	0.401
		22	-0.017	0.023	18.925	0.462
		23	0.022	-0.007	19.039	0.519
		24	0.010	-0.028	19.061	0.581
		25	-0.030	-0.039	19.280	0.628
		26	-0.051	-0.037	19.907	0.647
		27	-0.003	-0.013	19.909	0.702
		28	0.061	0.066	20.830	0.702
		29	-0.033	-0.053	21.094	0.737
		30	-0.033	-0.059	21.362	0.769
		31	-0.035	0.007	21.664	0.797
		32	-0.020	-0.004	21.762	0.830
		33	0.025	0.025	21.924	0.857
		34	0.114	0.111	25.198	0.759
		35	0.059	0.045	26.081	0.760
		36	-0.104	-0.088	28.858	0.674

En la figura 5, se muestra el correlograma de los residuos estimados, en donde se obtuvieron valores-p mayores a 0.05(Prob.>0.05) para todos los errores, esto indica que se acepta la hipótesis nula, en otras palabras, los errores estimados son de ruido blanco validando de esa forma el modelo propuesto.

Figura 6. Predicciones en base al modelo para el porcentaje de oxígeno en espacios confinados.



En la figura 6 se detallan las predicciones realizadas por el modelo ARIMA estimado, dándose como resultado, que este porcentaje se va a seguir manteniendo, recordar que el valor representa un buen indicador de porcentaje de oxígeno, siendo no nocivo para la salud, lo cual garantiza que no habrá ninguna fluctuación abrupta, luego de los 10 días de limpieza al tanque.

Pruebas adicionales para contraste

Tabla 3. Comparación para porcentaje de oxígeno antes y después del 5 día.

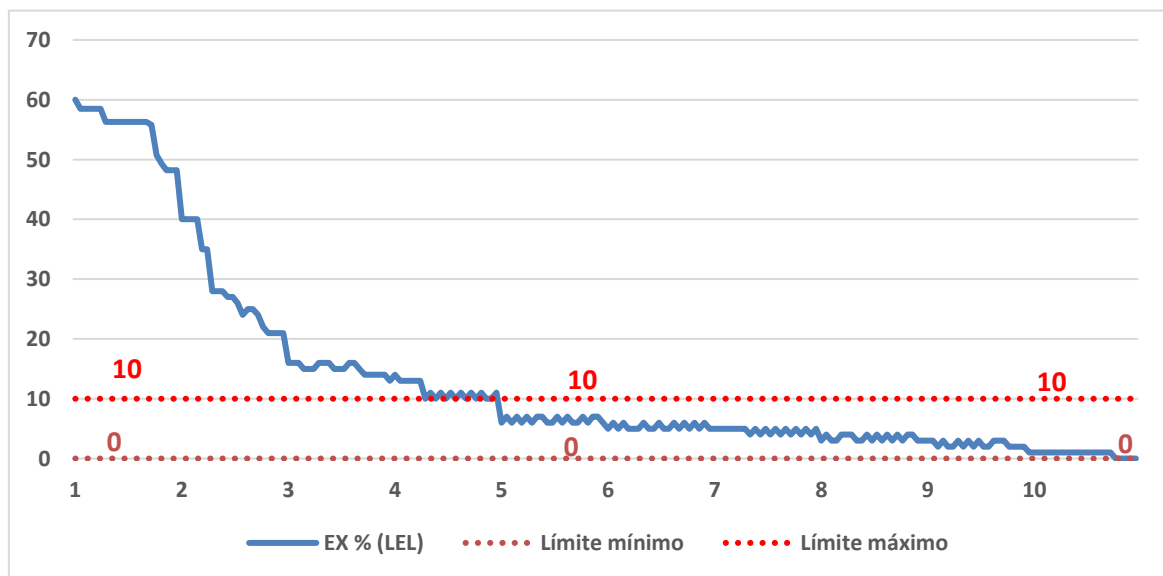
Porcentaje de O2	Media	Desv. Estándar	I.C Inferior	I.C Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Antes - Después	-6.61	3.19	-7.31	-5.92	-18.99	83	0.000

Nota. I.C.=Intervalo de confianza; Sig. =Significancia. gl=grados de libertad

En la tabla 3, se muestran los valores mediante la prueba t-student, para comparar los valores durante los primeros 5 días contra los cinco días posteriores a ello, esto con el fin de saber si existe una diferencia significativa. Habiéndose hallado una media de -6.61, este indica que los valores pertenecientes a los primeros cinco días son menores que los valores después de los cinco días, significando que hubo una mejora a partir del quinto día.

Porcentaje de explosividad

Figura 7. Gráfico de dispersión para el porcentaje de explosividad en espacios confinados



En la figura 7, se muestran los valores obtenidos para el porcentaje de explosividad en espacios confinados durante 10 días, de tal forma se encontró, como es lógico el porcentaje de explosividad en un comienzo en el tanque está muy por encima de los límites mínimos y máximos necesarios para que este no sea considerado un peligro para el bienestar humano, a partir del día 5, se comienza a notar que este parámetro comienza a tener valores normales, posterior a ese día el valor se reduce hasta el último día a un valor de 0.

Modelo ARIMA

Figura 8. Estacionariedad de la variable porcentaje de explosividad

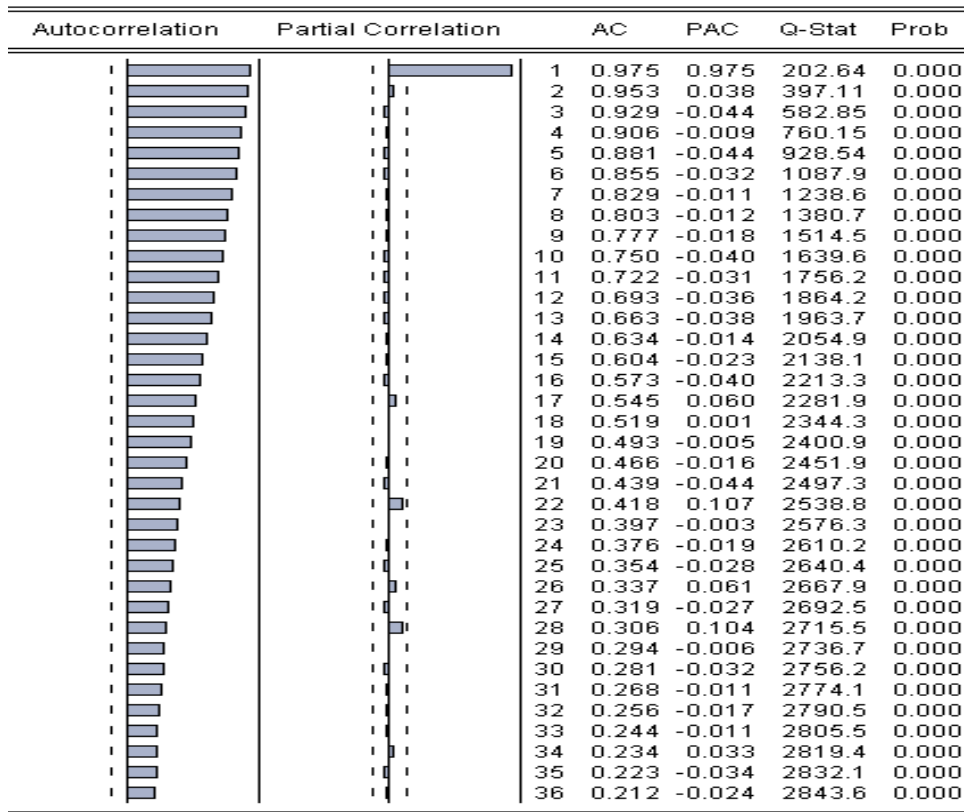
Null Hypothesis: EX has a unit root
 Exogenous: Constant
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-5.079389	0.0000
Test critical values:		
1% level	-3.461783	
5% level	-2.875262	
10% level	-2.574161	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

En la figura 3, se realizó la prueba de raíz unitaria, para comprobar la estacionariedad de la serie de tiempo para el porcentaje de explosividad (LEL), en donde se obtuvo un valor de probabilidad de 0.00, lo que indica que no tiene raíz unitaria, en otras palabras, la serie es estacionaria y es adecuada para el análisis.

Figura 9. Correlograma para la variable porcentaje de explosividad (LEL)



Nota. Resultado obtenido a través del programa Eviews 10

En la figura 9, se muestra el correlograma para la variable porcentaje de explosividad, en donde se observa en la gráfica de autocorrelación, las barras disminuyen de forma constante lo cual indicaría que se tiene que utilizar rezagos (AR) para la estimación; mientras que, en el correlograma para la correlación parcial, hay una diferencia grande entre la primera barra y la segunda, pudiendo significar el uso de medias móviles para la estimación. Con ello mencionado se procedió a realizar la estimación del modelo.

Tabla 4. Estimación del modelo ARIMA para el porcentaje de explosividad

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Valor-p
AR(2)	-0.45	0.14	-3.14	0.002
AR(3)	0.33	0.13	2.55	0.012
AR(5)	0.43	0.10	4.35	0.000
AR(6)	0.46	0.06	7.79	0.000
MA(1)	-0.31	0.06	-5.01	0.000
MA(2)	0.67	0.19	3.52	0.001
MA(3)	-0.55	0.20	-2.75	0.007
MA(4)	0.41	0.11	3.66	0.000
MA(5)	-0.35	0.12	-2.85	0.005
SIGMA				
SQ	1.17	0.07	17.06	0.000

$$R^2 = 0.266 \quad AIC = 3.09 \quad BIC = 3.25 \quad DW = 1.95 \quad F(valor - p) = 0.0000$$

En la tabla 4, se detallan los coeficientes obtenidos para el modelo ARIMA con respecto al porcentaje de explosividad. De esa manera se utilizó un modelo ARIMA (2,1, 9). Este fue el mejor modelo encontrado, teniendo un coeficiente de determinación de 0.266, el cual indica que el 26.6% de la varianza de la variable real es explicada por modelo pronosticado; en cuanto a los criterios de AIC y BIC estos valores fueron los menores comparados contra los demás modelos, el cual es signo de ajustar mejor el modelo; para el valor de Durbin Wattson (DW), este fue igual a 1.95, encontrándose dentro de los límites válidos establecidos (1.85 – 2.15), significando que no existe autocorrelación con los valores, en otras palabras, el modelo es adecuado. En cuanto a los valores-p, en todos los casos tienen valores significativos (Valor-p<0.05), lo que se traduce que los coeficientes estimados son determinantes y significativos para explicar el modelo estimado.

$$\Delta \hat{Y} = -0.45Y_{t-2} + 0.33Y_{t-3} + 0.43Y_{t-5} + 0.46Y_{t-6} - 0.31\varepsilon_{t-1} + 0.67\varepsilon_{t-2} - 0.55\varepsilon_{t-3} \\ + 0.41\varepsilon_{t-4} - 0.35\varepsilon_{t-5}$$

Donde Y_t es el porcentaje de explosividad (%), Y_{t-n} es el periodo de rezago y ε_{t-n} es la media móvil para el determinado periodo.

Validación del modelo

Para este paso, se hizo la comprobación del modelo, debiéndose cumplir que los errores o residuos pronosticados por el modelo, son ruido blanco, esto a llevaría a la validación correcta del modelo.

H₀: Los errores estimados son ruido blanco (Normalidad y homogeneidad)

H₁: Los errores estimados no son ruido blanco (No normalidad ni homogeneidad)

Figura 10. Correlograma de los residuos estimados del modelo ARIMA para el porcentaje de explosividad

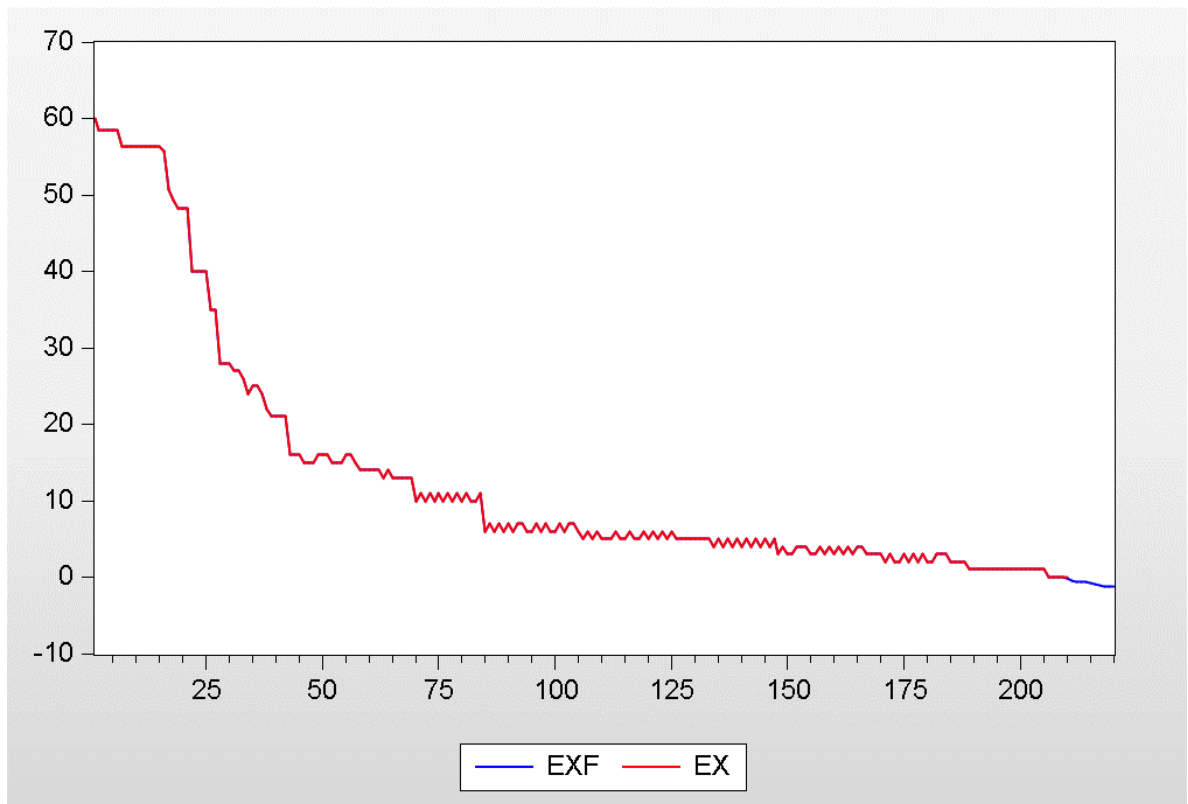
Q-statistic probabilities adjusted for 9 ARMA terms

Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob	
		1	0.017	0.017	0.0630	
		2	-0.003	-0.003	0.0646	
		3	-0.032	-0.032	0.2896	
		4	0.041	0.042	0.6509	
		5	-0.037	-0.038	0.9399	
		6	-0.052	-0.052	1.5368	
		7	-0.034	-0.029	1.7833	
		8	0.010	0.007	1.8059	
		9	0.019	0.018	1.8848	
		10	-0.116	-0.117	4.8766	0.057
		11	-0.034	-0.032	5.1403	0.077
		12	0.066	0.063	6.1042	0.107
		13	-0.056	-0.072	6.8053	0.147
		14	-0.065	-0.057	7.7571	0.170
		15	0.041	0.047	8.1475	0.227
		16	0.026	0.003	8.3039	0.307
		17	0.065	0.059	9.2818	0.319
		18	-0.043	-0.039	9.7004	0.375
		19	-0.020	-0.023	9.7937	0.459
		20	0.075	0.064	11.090	0.436
		21	0.024	0.005	11.225	0.510
		22	-0.002	0.024	11.226	0.592
		23	-0.037	-0.036	11.549	0.642
		24	0.032	0.005	11.796	0.694
		25	0.004	0.021	11.801	0.758
		26	0.049	0.060	12.384	0.776
		27	-0.057	-0.049	13.176	0.781
		28	0.032	0.030	13.429	0.816
		29	0.018	0.009	13.507	0.855
		30	-0.098	-0.085	15.850	0.778
		31	-0.097	-0.073	18.170	0.696
		32	-0.016	-0.029	18.231	0.745
		33	-0.103	-0.117	20.887	0.645
		34	-0.018	-0.006	20.969	0.694
		35	0.029	0.040	21.177	0.733
		36	0.007	-0.011	21.189	0.777

En la figura 10, se muestra el correlograma de los residuos estimados, en donde se obtuvieron valores-p mayores a 0.05(Prob.>0.05) para todos los errores, esto indica que se acepta la hipótesis

nula, en otras palabras, los errores estimados son de ruido blanco validando de esa forma el modelo propuesto.

Figura 11. Predicciones en base al modelo para el porcentaje de explosividad en espacios confinados.



En la figura 11 se detallan las predicciones realizadas por el modelo ARIMA estimado, dándose como resultado, que este porcentaje se va a seguir manteniendo constante en 0, recordar que este valor representa un buen indicador de porcentaje de explosividad, siendo no nocivo para la salud, lo cual garantiza que no habrá ninguna fluctuación abrupta, luego de los 10 días de limpieza al tanque.

Pruebas adicionales para contraste

Tabla 5. Comparación para porcentaje de explosividad antes y después del 5 día.

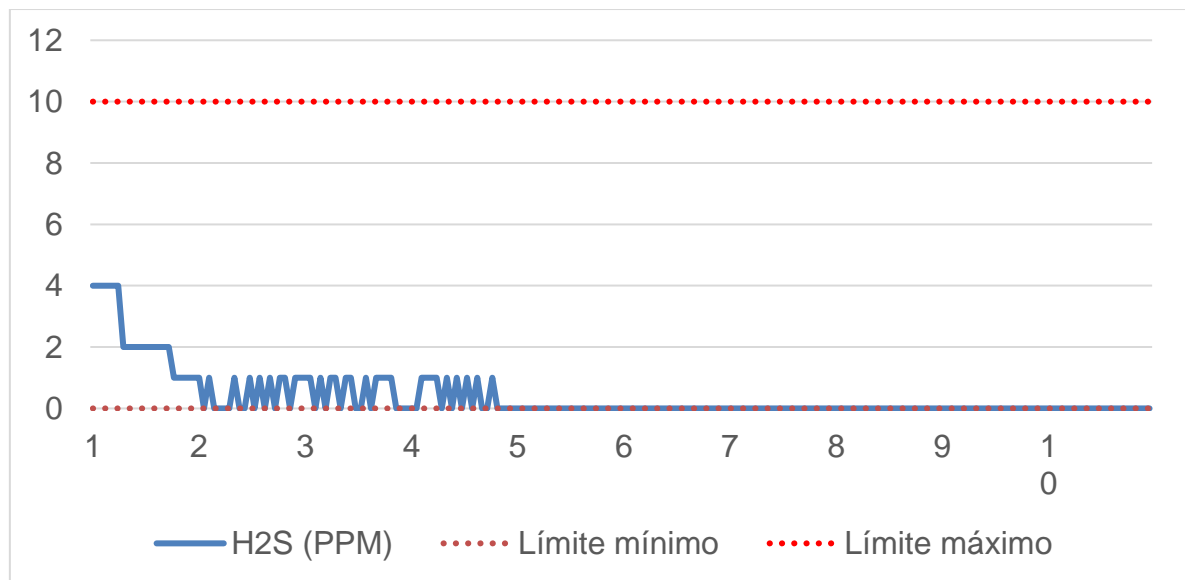
Porcentaje explosividad	Media	Desv. Estándar	I.C		t	gl	Sig. (bilateral)
			Inferior	Superior			
Antes - Después	22.5	16.81	18.85	26.14	12.27	83	0.000

Nota. I.C.=Intervalo de confianza; Sig. =Significancia. gl=grados de libertad

En la tabla 5, se muestran los valores mediante la prueba t-student, para comparar los valores durante los primeros 5 días contra los cinco días posteriores a ello, esto con el fin de saber si existe una diferencia significativa. Habiéndose hallado una media de 22.5, este indica que los valores pertenecientes a los primeros cinco días son mayores que los valores después de los cinco días, significando que hubo una reducción significativa partir del quinto día.

Análisis para la concentración del ácido sulfhídrico, H₂S (PPM)

Figura 12. Gráfico de dispersión para el ácido sulfhídrico en espacios confinados



En la figura 12, se muestran los valores obtenidos para el ácido sulfhídrico en espacios confinados durante 10 días, de tal forma se encontró, que el ácido sulfhídrico en un comienzo, se

encuentra con valores dentro del límite permitido, sin embargo, lo que se quiere es que este valor sea igual a 0, tal y como se aprecia a partir del día 5.

Modelo ARIMA

Figura 13. Estacionariedad de la variable ácido sulfhídrico

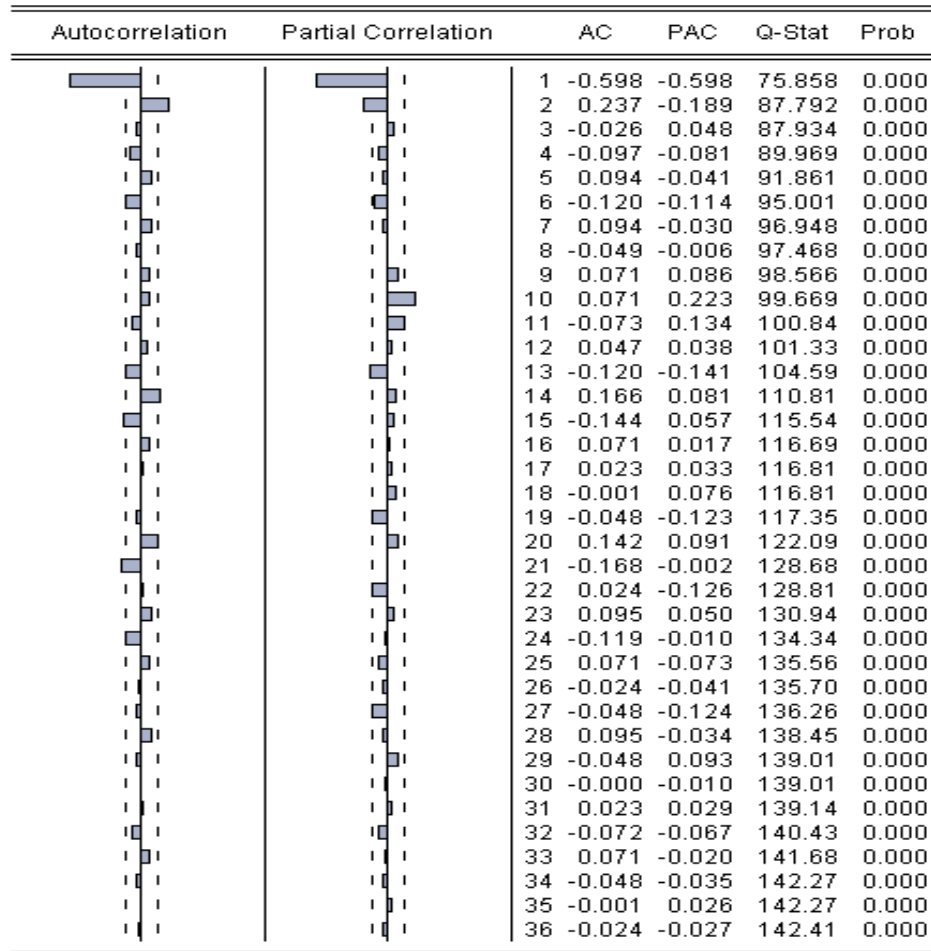
Null Hypothesis: D(H2S) has a unit root
 Exogenous: Constant, Linear Trend
 Lag Length: 1 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)

	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-15.73897	0.0000
Test critical values:		
1% level	-4.003005	
5% level	-3.431682	
10% level	-3.139538	

*MacKinnon (1996) one-sided p-values.

En la figura 13, se realizó la prueba de raíz unitaria, para comprobar la estacionariedad de la serie de tiempo para el ácido sulfhídrico (PPM), en donde se obtuvo, en primera instancia, que la serie de tiempo tenía problemas de estacionariedad, es por ello que se aplicó las primeras diferencias, en donde se obtuvo un valor de probabilidad de 0.00, lo que indica que la serie con primeras diferencias no tiene raíz unitaria, en otras palabras, la serie es estacionaria y es adecuada para el análisis.

Figura 14. Correlograma para la variable ácido sulfhídrico (PPM)



Nota. Resultado obtenido a través del programa Eviews 10

En la figura 14, se muestra el correlograma para la variable ácido sulfhídrico, en donde se observa en la gráfica de autocorrelación, las barras disminuyen de forma abrupta, el cual indicaría que se tiene que utilizar rezagos (AR) para la estimación; mientras que, en el correlograma para la correlación parcial, hay una diferencia grande entre la primera barra y la segunda, pudiendo significar el uso de medias móviles para la estimación. Con ello mencionado se procedió a realizar la estimación del modelo.

Tabla 6. Estimación del modelo ARIMA para el ácido sulfhídrico.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Valor-p
C	-0.02	0.02	-1.15	0.25
AR(1)	-0.27	0.10	-2.61	0.01
MA(1)	-0.51	0.10	-4.94	0.00
MA(2)	0.18	0.08	2.13	0.03
MA(9)	0.31	0.04	7.23	0.00
SIGMA				
SQ	0.11	0.01	19.36	0.00

$R^2 = 0.4412$ $AIC = 0.716$ $BIC = 0.811$ $DW = 2.01$ $F(valor - p) = 0.004$

En la tabla 6, se detallan los coeficientes obtenidos para el modelo ARIMA con respecto al ácido sulfhídrico. De esa manera se utilizó un modelo ARIMA (2,1, 9). Este fue el mejor modelo encontrado, teniendo un coeficiente de determinación de 0.266, el cual indica que el 26.6% de la varianza de la variable real es explicada por modelo pronosticado; en cuanto a los criterios de AIC y BIC estos valores fueron los menores comparados contra los demás modelos, el cual es signo de ajustar mejor el modelo; para el valor de Durbin Wattson (DW), este fue igual a 2.01, encontrándose dentro de los límites válidos establecidos (1.85 – 2.15), significando que no existe autocorrelación con los valores, en otras palabras, el modelo es adecuado. En cuanto a los valores-p, en todos los casos tienen valores significativos (Valor-p<0.05), exceptuando por la constante (Valor-p>0.05), sin embargo, se tomará en cuenta constante ya que se sabe que los datos del ácido no comienzan desde 0.

$$\Delta\hat{Y} = -0.02 - 0.27Y_{t-1} - 0.27Y_{t-2} - 0.51\varepsilon_{t-1} + 0.18\varepsilon_{t-2} + 0.31\varepsilon_{t-9}$$

Donde Y_t es el ácido sulfhídrico (ppm), Y_{t-n} es el periodo de rezago y ε_{t-n} es la media móvil para el determinado periodo.

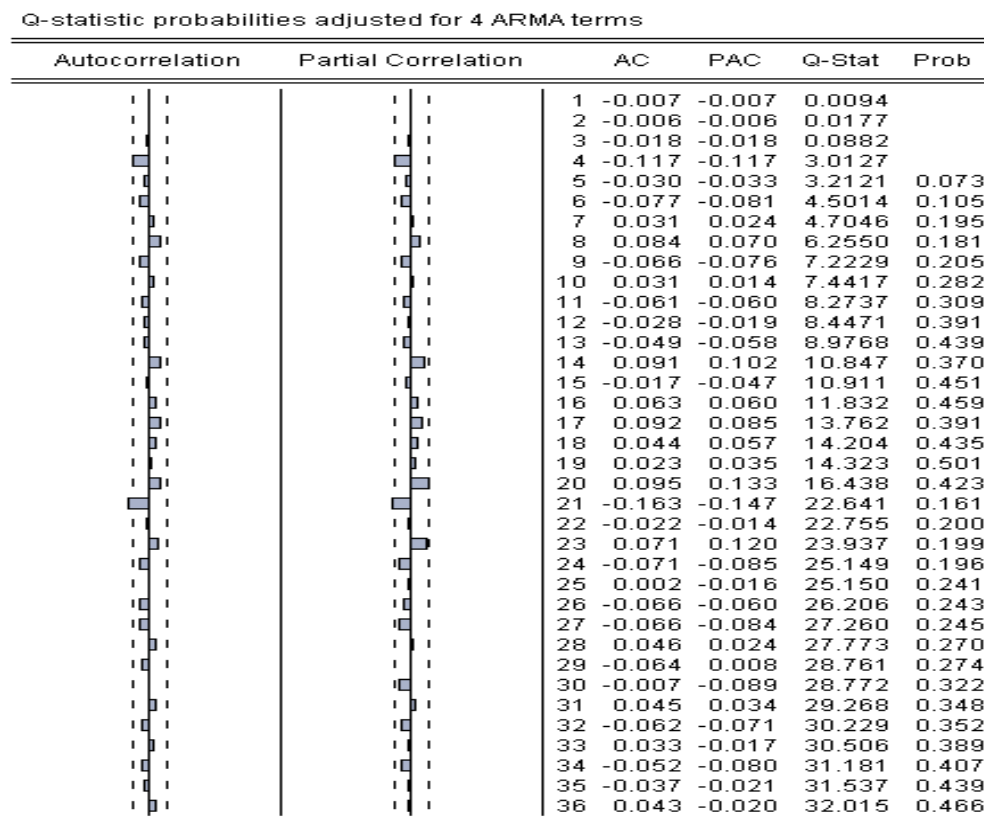
Validación del modelo

Para este paso, se hizo la comprobación del modelo, debiéndose cumplir que los errores o residuos pronosticados por el modelo, son ruido blanco, esto a llevaría a la validación correcta del modelo.

H₀: Los errores estimados son ruido blanco (Normalidad y homogeneidad)

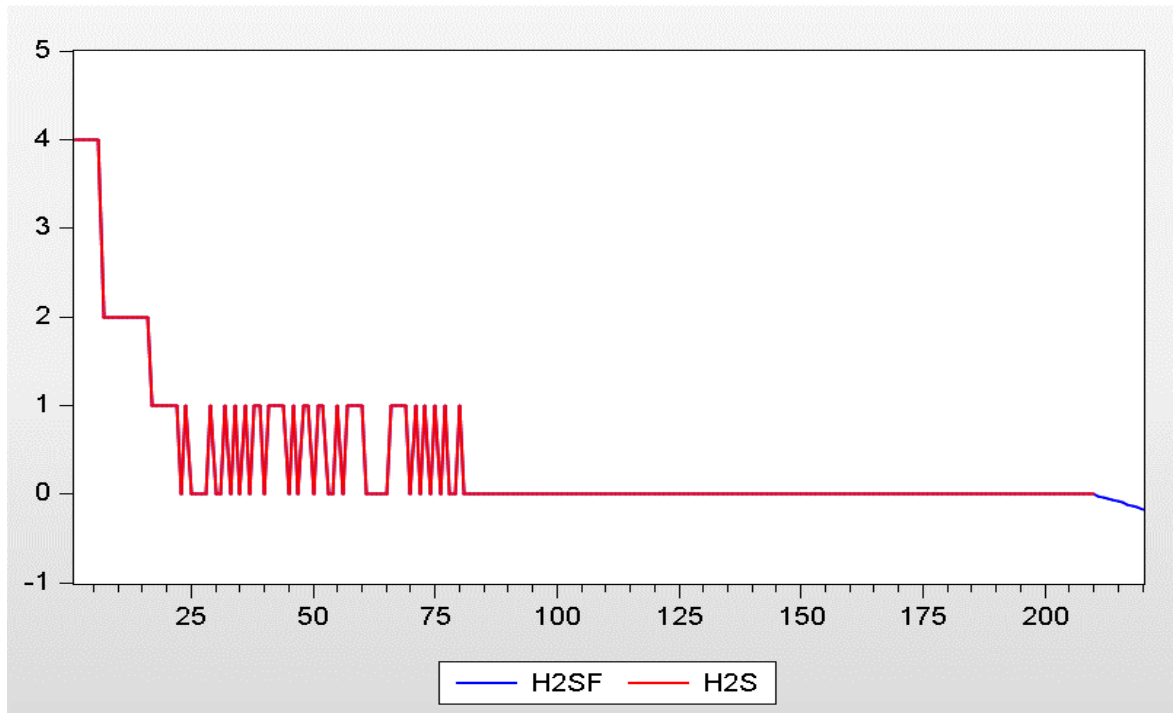
H₁: Los errores estimados no son ruido blanco (No normalidad ni homogeneidad)

Figura 15. Correlograma de los residuos estimados del modelo ARIMA para el ácido sulfhídrico



En la figura 15, se muestra el correlograma de los residuos estimados, en donde se obtuvieron valores-p mayores a 0.05(Prob.>0.05) para todos los errores, esto indica que se acepta la hipótesis nula, en otras palabras, los errores estimados son de ruido blanco validando de esa forma el modelo propuesto.

Figura 16. Predicciones en base al modelo para el ácido sulfhídrico en espacios confinados.



En la figura 16 se observan tanto los valores reales (líneas rojas) como las predicciones realizadas (línea azul) por el modelo ARIMA estimado, dándose como resultado, que este porcentaje se va a seguir manteniendo constante en 0, recordar que este valor representa un buen indicador, puesto que el ácido sulfhídrico en grandes cantidades representa un peligro para el bienestar del trabajador.

Pruebas adicionales para contraste

Tabla 7. Comparación para ácido sulfhídrico antes y después del día 5.

Contenido de H ₂ S	Desv. Estándar	I.C Inferior	I.C Superior	t	gl	Sig. (bilateral)
Antes	0.95	0.72	1.19	8.12	83	0.000
Después						

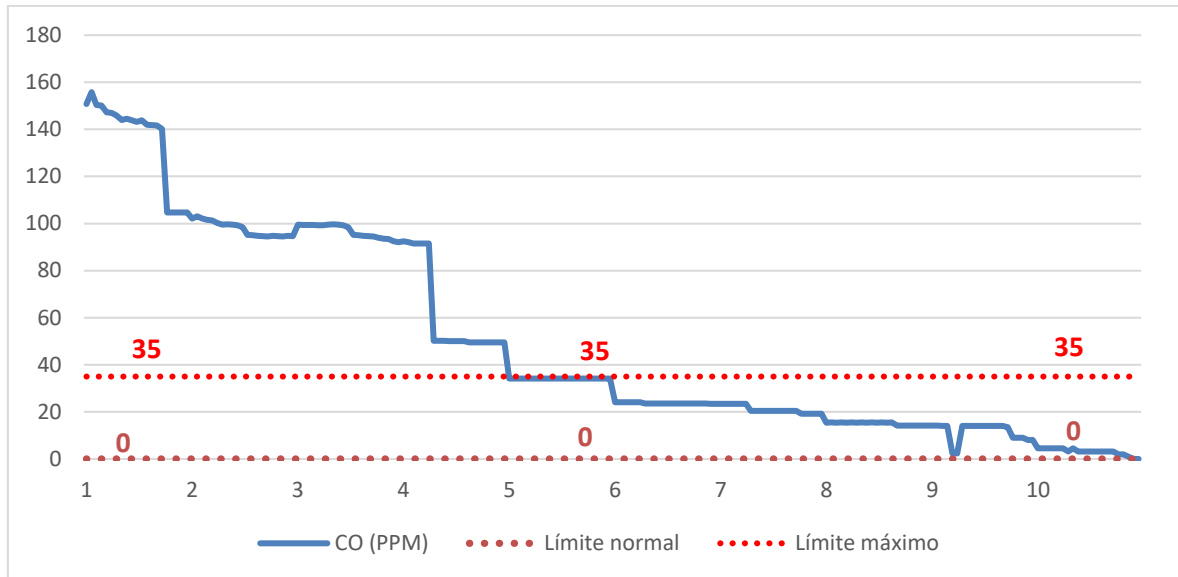
Nota. I.C.=Intervalo de confianza; Sig. =Significancia. gl=grados de libertad

En la tabla 7, se muestran los valores mediante la prueba t-student, para comparar los valores durante los primeros 5 días contra los cinco días posteriores a ello, esto con el fin de saber si existe

una diferencia significativa. Habiéndose hallado una diferencia promedio de 0.95, este indica que los valores pertenecientes a los primeros cinco días eran mayores que los valores después de los cinco días, significando que hubo una reducción significativa partir del quinto día.

Análisis para la concentración de monóxido de carbono, CO (ppm)

Figura 17. Gráfico de dispersión para el monóxido de carbono en espacios confinados



En la figura 17, se muestran los valores obtenidos para el monóxido de carbono en espacios confinados durante 10 días, de tal forma se halló, que el monóxido de carbono en un comienzo, tenía valores muy por encima del límite máximo permisibles, sin embargo, a partir del quinto día, estos valores comienzan a estar dentro de los límites establecidos, para terminar en el día 10, con valores muy cercanos a 0.

Modelo ARIMA

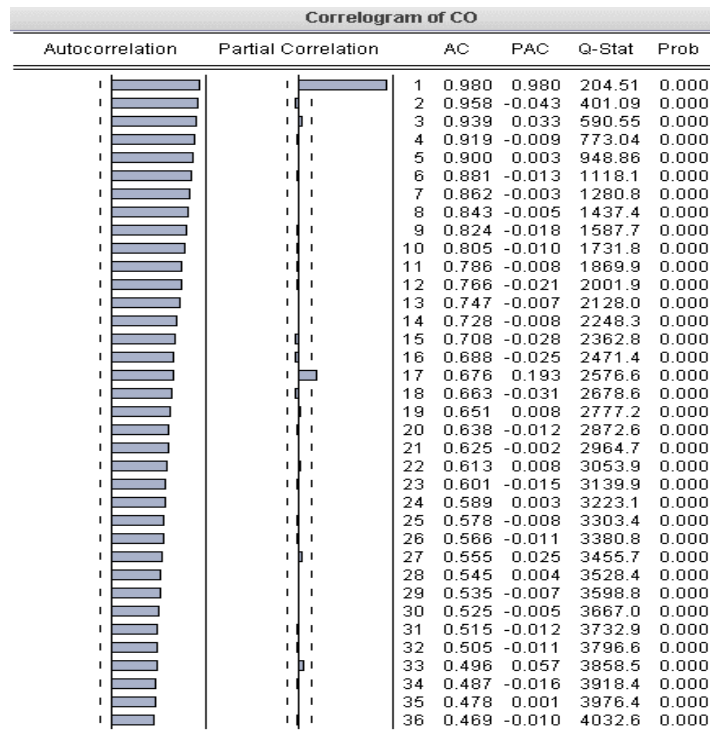
Figura 18. Estacionariedad de la variable monóxido de carbono

Augmented Dickey-Fuller Unit Root Test on CO		
Null Hypothesis: CO has a unit root		
Exogenous: None		
Lag Length: 0 (Automatic - based on SIC, maxlag=14)		
	t-Statistic	Prob.*
Augmented Dickey-Fuller test statistic	-3.302454	0.0010
Test critical values:		
1% level	-2.576073	
5% level	-1.942353	
10% level	-1.615688	

*Mackinnon (1996) one-sided p-values.

En la figura 18, se realizó la prueba de raíz unitaria, para comprobar la estacionariedad de la serie de tiempo para el monóxido de carbono (ppm), en donde se obtuvo, en primera instancia, que la serie de tiempo en su estado natural no tenía problemas de estacionariedad, al obtenerse un valor de probabilidad de 0.00, lo que indica que la serie no tiene raíz unitaria, en otras palabras, la serie es estacionaria y es adecuada para el análisis.

Figura 19. Correlograma para la variable monóxido de carbono (ppm)



Nota. Resultado obtenido a través del programa Eviews 10

En la figura 19, se muestra el correlograma para la variable monóxido de carbono, en donde se observa en la gráfica de autocorrelación, las barras disminuyen de forma constante, el cual indicaría que se tiene que utilizar rezagos (AR) para la estimación; mientras que, en el correlograma para la correlación parcial, hay una diferencia grande entre la primera barra y la segunda, pudiendo significar el uso de medias móviles para la estimación. Con ello mencionado se procedió a realizar la estimación del modelo.

Tabla 8. Estimación del modelo ARIMA para el monóxido de carbono.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Valor-p
AR(1)	0.999	0.001	705.381	0.000
SIGMASQ	18.061	0.339	53.277	0.000
$R^2 = 0.990$ $AIC = 5.78$ $BIC = 5.81$ $DW = 1.96$ $F(\text{valor} - p) = 0.000$				

En la tabla 8, se detallan los coeficientes obtenidos para el modelo ARIMA con respecto al monóxido de carbono. De esa manera se utilizó un modelo ARIMA (1,0, 0). Este fue el mejor modelo encontrado, teniendo un coeficiente de determinación de 0.99, el cual indica que el 99.0% de la varianza de la variable real es explicada por modelo pronosticado; en cuanto a los criterios de AIC y BIC estos valores fueron los menores comparados contra los demás modelos, el cual significa que ajusta de mejor forma el modelo; para el valor de Durbin Wattson (DW), este fue igual a 1.96, encontrándose dentro de los límites válidos establecidos (1.85 – 2.15), significando que no existe autocorrelación con los valores, en otras palabras, el modelo es adecuado. En cuanto a los valores-p, se obtuvieron valores significativos (Valor-p<0.05), siendo un modelo adecuado para estimar la concentración de monóxido de carbono en espacios confinados.

$$\Delta \hat{Y} = 0.999Y_{t-1}$$

Donde Y_t es el monóxido de carbono (ppm), Y_{t-n} es el periodo de rezago.

Validación del modelo

Para este paso, se hizo la comprobación del modelo, debiéndose cumplir que los errores o residuos pronosticados por el modelo, son ruido blanco, esto a llevaría a la validación correcta del modelo.

Ho: Los errores estimados son ruido blanco (Normalidad y homogeneidad)

H1: Los errores estimados no son ruido blanco (No normalidad ni homogeneidad)

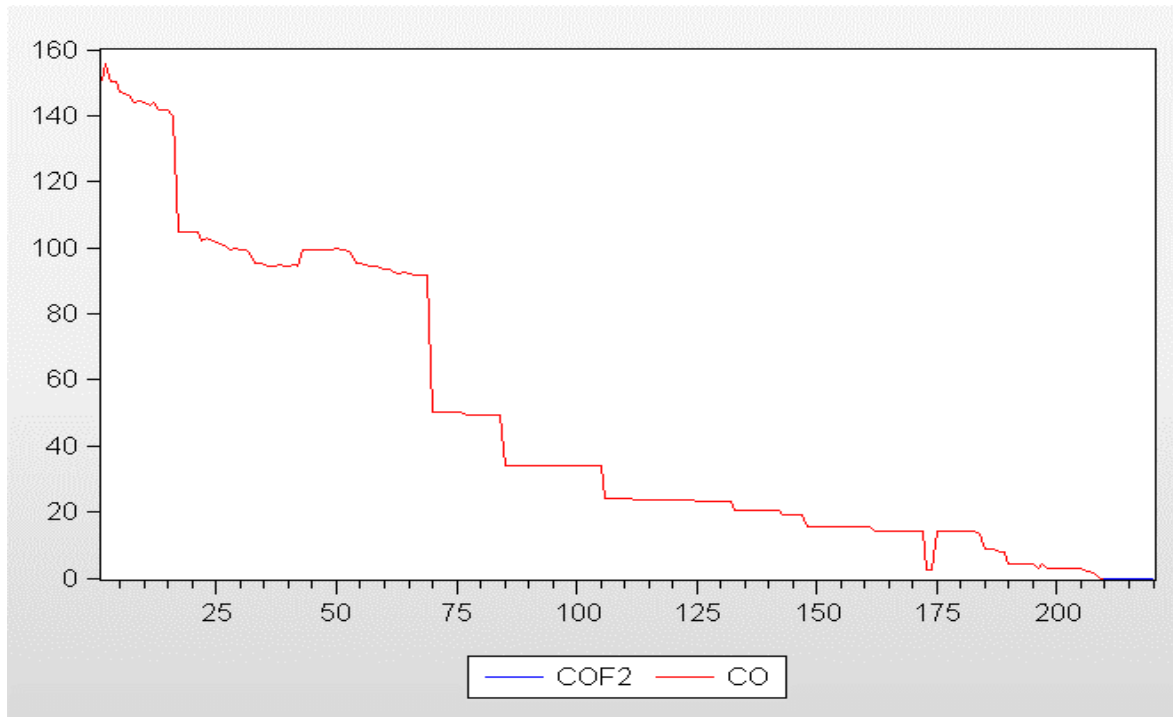
Figura 20. Correlograma de los residuos estimados del modelo ARIMA para el monóxido de carbono

Correlogram of Residuals					
Autocorrelation	Partial Correlation	AC	PAC	Q-Stat	Prob
		1	-0.012	-0.012	0.0302
		2	-0.066	-0.066	0.9559
		3	-0.025	-0.027	1.0918
		4	-0.008	-0.013	1.1063
		5	0.002	-0.001	1.1077
		6	-0.032	-0.034	1.3270
		7	-0.006	-0.007	1.3346
		8	-0.008	-0.012	1.3475
		9	-0.010	-0.013	1.3712
		10	-0.020	-0.023	1.4604
		11	-0.006	-0.009	1.4675
		12	0.009	0.004	1.4864
		13	-0.027	-0.030	1.6467
		14	0.030	0.028	1.8474
		15	0.096	0.093	3.9495
		16	-0.023	-0.019	4.0699
		17	0.004	0.017	4.0745
		18	-0.016	-0.013	4.1326
		19	-0.010	-0.011	4.1572
		20	-0.021	-0.022	4.2556
		21	0.010	0.014	4.2784
		22	-0.009	-0.013	4.2994
		23	-0.013	-0.011	4.3370
		24	-0.026	-0.026	4.4984
		25	0.000	0.001	4.4984
		26	-0.063	-0.071	5.4553
		27	-0.075	-0.081	6.8279
		28	-0.013	-0.023	6.8679
		29	-0.016	-0.042	6.9348
		30	-0.012	-0.034	6.9723
		31	-0.013	-0.019	7.0138
		32	-0.029	-0.044	7.2207
		33	-0.019	-0.032	7.3141
		34	-0.019	-0.031	7.4029
		35	-0.015	-0.027	7.4621
		36	0.103	0.089	10.186

En la figura 20, se muestra el correlograma de los residuos estimados para el monóxido de carbono, en donde se obtuvieron valores-p mayores a 0.05(Prob. > 0.05) para todos los errores, esto

indica que se acepta la hipótesis nula, en otras palabras, los errores estimados son de ruido blanco validando de esa forma el modelo propuesto para la concentración de monóxido de carbono.

Figura 21. Predicciones en base al modelo para el monóxido de carbono en espacios confinados.



En la figura 21 se observan tanto los valores reales (líneas rojas) como las predicciones realizadas (línea azul) por el modelo ARIMA estimado, dándose como resultado, que este porcentaje se mantiene constante en el valor 0, siendo un buen indicador, puesto que el monóxido de carbono en grandes cantidades representa problemas y deteriora la salud de las personas expuestas a este gas.

Pruebas adicionales para contraste

Tabla 9. Comparación para monóxido de carbono antes y después del día 5.

Contenido de H₂S	Media	Desv. Estándar	I.C Inferior	I.C. Superior	t	gl	Valor-p
Antes	74.6	23.58	69.48	79.71	8.12	83	0.000
Después							

Nota. I.C.=Intervalo de confianza; Sig. =Significancia. gl=grados de libertad

En la tabla 9, se muestran los valores mediante la prueba t-student, para comparar los valores durante los primeros 5 días contra los cinco días posteriores a ello, esto con el fin de saber si existe una diferencia significativa. Habiéndose hallado una diferencia promedio de 74.6 ppm, significando que los valores pertenecientes a los primeros cinco días eran mayores que los valores después de los cinco días, traduciéndose que hubo una reducción significativa partir del quinto día, evidenciándose en el valor-p encontrado de 0.00 (Valor-p=0.00<0.05). En otras palabras, la concentración de monóxido de carbono en los primeros 5 días se disminuyó significativamente luego del quinto día.

DISCUSIÓN

Un espacio confinado presenta una apertura de entrada y salida ilimitada, ya que es lo suficiente grande para el trabajador y no está designado para la ocupación de trabajo continuo. La evaluación a la exposición de gases peligrosos en tanques industriales se realiza mediante un detector de gases marca BOSEAN, modelo BSH4. Este equipo mide 4 tipos de gases en el siguiente orden: Oxígeno (O₂), gases explosivos, ácido sulfhídrico (H₂S), monóxido de carbono (CO).

En relación de las atmósferas explosivas: Según Hermoso indica que, en el caso de atmósferas explosivas, los gases presentes en el espacio confinado deben seguir un protocolo de ventilación para mantener bajo control y mitigación la concentración de gases, que no solo pueden generar deflagración, sino también intoxicación, las condiciones de riesgo y probabilidad de accidentes por

atmósferas explosivas es algo muy recurrente; el uso de artefactos electrónicos y eléctricos o situaciones de ignición cerca de estas atmósferas, deben estar precedidas de algún sistema de ventilación para lograr mitigar la acumulación.⁽¹⁴⁾ De igual forma en la investigación de Amir, indica la importancia del monitoreo de gases cuando el sistema de ventilación falla, para lograr detectar la presencia y acumulación de gases peligrosos, de esta manera los operarios pueden tomar las medidas adecuadas ante esa situación y evitar que ocurran incidentes.⁽¹⁵⁾ Finalmente Trujillo en su investigación concluye en que son muchos los accidentes a causa de atmósferas explosivas sobre todo en los tanques que producen hidrógeno, estadísticamente se demostró que los accidentes disminuyeron cuando se aplicó un sistema de gestión de riesgos y si en caso los accidentes aún se presentan, ya se cuenta con planes de acción para reducir y mitigar hasta su mínima expresión los eventos.⁽¹⁶⁾

Con respecto a la evaluación de la seguridad y salud en el trabajo, se evaluó en base a la investigación de una empresa que se dedica a la fabricación de resinas catiónicas en una torre de destilación, para lo cual consideraron la ubicación, las materias primas presentes, la formación de atmósferas explosivas y los riesgos de la misma, en base a ello se realizaron propuestas de medidas preventivas para salvaguardar la integridad de los trabajadores u operarios.⁽¹⁷⁾

En la presente investigación se analizan los diversos factores que afectan la seguridad en espacios confinados, siendo uno de los parámetros cruciales el límite máximo de oxígeno, siendo su valor máximo 23.5 %, el cual es importante porque niveles más altos pueden presentar riesgos potenciales y su valor mínimo 19.5 %, ya que, si no se logra mantener ese nivel con aire fresco, se deberá realizar el trabajo con equipos semiautomáticos o autónomos. El nivel de oxígeno en un espacio confinado se ve influenciado por varios factores externos, como las condiciones fuera del tanque y la presencia de gases que puedan ingresar. Por ejemplo, los ventarrones o corrientes de aire pueden alterar la concentración de oxígeno y otros gases en el espacio confinado. En el presente

estudio se observó que el nivel de oxígeno se mantiene en 23.5 %, el cual se encuentra dentro del rango, pero de igual forma puede ser crítico, ya que, cualquier aumento por encima de este nivel, incluso un aumento del 0.1 % podría ocasionar condiciones inflamables. Por lo cual es importante mantener un control riguroso y constante para evitar riesgos.

Otro parámetro a evaluar es el límite de Explosividad (LEL), que cuando se detecta un alto porcentaje de explosividad debido a la alta concentración de gases en el interior del tanque, es crucial tomar medidas para reducir el riesgo y garantizar la seguridad. En primer lugar, se realiza una limpieza exhaustiva del interior del tanque; para este proceso se incluye el uso de solventes que ayudan a disolver, eliminar residuos químicos o contaminantes que puedan estar presentes en las paredes internas del tanque y el uso de una hidrolavadora la cual facilita la limpieza profunda ya que se aplica una alta presión de agua en el interior del tanque, removiendo polvo y otras sustancias que podrían contribuir a la acumulación de gases. Además, para mejorar la seguridad, se utiliza un extractor de gases. Este equipo está diseñado para reducir la concentración de gases peligrosos en el interior del tanque. El extractor de gases funciona succionando y eliminando los gases que se acumulan dentro del tanque, ayudando a mantener el ambiente seguro y dentro de los límites aceptables para prevenir riesgos de explosión. Estas medidas son esenciales para asegurar que el tanque sea seguro para su uso y evitar posibles incidentes. La limpieza adecuada del interior y el uso de equipos de extracción de gases son pasos clave para controlar la explosividad y proteger tanto a los trabajadores como al entorno.

Por otro lado, en la evaluación del ácido sulfhídrico, siendo su concentración máxima 10 ppm, la evaluación de las concentraciones varían entre 1, 2 o 3 partes por millón (ppm) durante el proceso de limpieza del tanque. Sin embargo, hacia el final del proceso de limpieza, estas concentraciones tienden a disminuir y eventualmente se eliminan por completo. Esto se logra mediante el uso de disolventes y una hidrolavadora, que ayudan a reducir la presencia de H₂S. Además, se utilizan

equipos de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) y Equipos de Protección Personal (EPP) para garantizar la seguridad durante la intervención en el tanque.

Por último, se evaluó el monóxido de carbono (CO), sus concentraciones son altas en el material de resina. Cuando se abre el manhole (pozo de acceso), los niveles de CO pueden ser elevados, lo que puede representar un riesgo significativo. Para controlar estos niveles, se utiliza la misma metodología para reducir el CO hasta que el nivel máximo permitido de 35 ppm (partes por millón) sea alcanzado. Solo cuando se llega a este límite, se considera seguro que los trabajadores entren al espacio confinado. Es esencial que los trabajadores utilicen el equipo de protección adecuado para evitar problemas de salud inmediatos y a largo plazo. Sin el equipo adecuado, los trabajadores pueden experimentar dificultades respiratorias, asma, y molestias en la garganta y los ojos. A largo plazo, la exposición continua al monóxido de carbono puede causar serios problemas de salud, como daño a los pulmones, afecciones cardíacas, trastornos neurológicos y, en casos graves, daños permanentes a órganos internos.

En la investigación de Holguín-Castro & Real-Pérez indicaron que las mediciones de las atmósferas peligrosas siempre inician con la medición de oxígeno, inflamabilidad y toxicidad, el porcentaje de oxígeno en el espacio confinado no puede ser menor al 19,5 %. Si no fuera viable mantener los niveles de oxígeno en condiciones aceptables, el trabajo se deberá realizar con la ayuda de equipos respiratorios, dependiendo del caso. ⁽¹⁸⁾. Así mismo, en la investigación de Torres-Sandoval & Murcia-Hurtado evaluaron el riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas, sus niveles de oxígeno resultaron inferiores a 19,5 %, el monóxido de carbono fue superior a 25 ppm y el ácido sulfhídrico resultó ser superior a 1 ppm, esos resultados se validaron por los monitoreos realizados para la medición de gases. ⁽¹⁹⁾

CONCLUSIÓN

La deficiencia de oxígeno (O_2) podría ocasionar mareos, confusión, dificultad para respirar y pérdida del conocimiento. El modelo ARIMA con respecto al porcentaje de oxígeno, tuvo un coeficiente de determinación de 0.986, obteniendo una varianza del 98.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.99.

Con respecto a los Límites de Explosividad (LEL), un nivel que alcance los valores máximos puede causar explosiones e incendios, poniendo en riesgo inmediato la vida de los trabajadores. El modelo ARIMA en la evaluación del porcentaje de explosividad, tuvo un coeficiente de determinación de 0.266, obteniendo una varianza del 26.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.95.

El monóxido de carbono es un gas tóxico que puede causar dolores de cabeza, mareos, náuseas, y en casos graves, pérdida de conciencia y daño a los órganos. El modelo ARIMA en la evaluación de monóxido de carbono, tuvo un coeficiente de determinación de 0.99, obteniendo una varianza del 99.9 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 1.96.

Una exposición al ácido sulfhídrico puede causar irritación en los ojos, nariz y garganta, además de problemas respiratorios y síntomas similares a los de la gripe. El modelo ARIMA en la concentración de ácido sulfhídrico, tuvo un coeficiente de determinación de 0.266, obteniendo una varianza del 26.6 %; para el valor de Durbin Wattson (DW), se obtuvo un valor de 2.01.

Con respecto al valor de Durbin Wattson todas las evaluaciones se encontraron dentro de los límites establecidos (1.85 – 2.15), indicando que el modelo es adecuado y en cuanto a los valores-p, en todos los casos se tienen valores significativos (Valor-p<0.05), lo que se traduce que los coeficientes estimados son determinantes y significativos para explicar el modelo estimado

Se concluye que para mitigar estos riesgos y proteger la salud a largo plazo, es crucial seguir las medidas de seguridad adecuadas, como: Utilizar equipo de protección personal apropiado,

incluyendo respiradores y equipos de monitoreo de gases, asegurar una ventilación adecuada en los espacios confinados, realizar monitoreos continuos de los niveles de gases y oxígeno, rotar a los trabajadores regularmente para minimizar la exposición, proporcionar capacitación adecuada sobre los riesgos y procedimientos de seguridad, uso de hidrolavadora a 2600 PSI, uso de disolventes, uso de extractor de gases, trípode, escaleras telescópica y tambor retráctil.

RECOMENDACIONES

Para asegurar la protección de los operarios que ingresan a estos espacios, es fundamental usar Equipos de Protección Personal (EPP) adecuados. Entre los equipos recomendados se encuentran la máscara facial completa, que proporciona una barrera completa contra gases y contaminantes, y los cartuchos 6003, diseñados para filtrar gases específicos. Además, es crucial utilizar un extractor de gases industrial con una manguera para eliminar los gases peligrosos y mantener el ambiente seguro.

Es importante realizar monitoreos regulares del nivel de oxígeno tanto dentro como fuera del espacio confinado. Esto permite obtener una visión completa y precisa del entorno y detectar cualquier variación en la concentración de oxígeno que pueda indicar problemas potenciales.

Para prevenir problemas de salud en el personal, se recomienda emplear un equipo especializado, que incluye monitoreo de gases, hidrolavadoras, extractores de gases, disolventes, cartuchos 6003 y mascarillas de cara completa. Además, se rota a los trabajadores cada 30 minutos para reducir la exposición y minimizar el riesgo para su salud.

Es crucial seguir estos procedimientos y utilizar el equipo adecuado para garantizar la seguridad y el bienestar de todos los trabajadores en el área.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Molgaard Bjarke, Viitanen Anna, Kangas Anneli, Huhtiniemi Marika, Thor Soren, Vanhala Esa, Hussein Tareq, Boor Brandon, Hameri Kaarle y Koivisto Antti. Exposure to airborne particles and volatile organic compounds from polyurethane molding, spray painting, lacquering and gluing in a workshop. (2015). <https://doi.org/10.3390/ijerph120403756>

Hernandez Laura, Santos Ulises, Martinez Sheccid, Arias Jose, Santos Nohemi y Baltazar Rosa. Riesgos a la salud en los trabajadores por exposición a pinturas. (2023). <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/ICSA/article/download/10836/10725/#:~:text=Pu eden%20actuar%20como%20sensibilizadores%20respiratorios,de%20la%20piel%20y%20dermatitis>

Caján, A. R. Análisis de las operaciones de desguace de naves y su impacto socioambiental en el Perú. Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas (2022), 25 (49), 55-63. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v25i49.23019>

Chung Betty. (2008). Revista Peruana de medicina experimental y salud pública. Scielo. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342008000400012

Fonseca, A. S., Viitanen, A.-K., Kanerva, T., Säämänen, A., Aguerre-Chariol, O., Fable, S., Dermigny, A., Karoski, N., Fraboulet, I., Koponen, I. K., Delpivo, C., Vilchez Villalba, A., Vázquez-Campos, S., Østerskov Jensen, A. C., Hjortkjær Nielsen, S., Sahlgren, N., Clausen, P. A., Xuan Nguyen Larsen, B., Kofoed-Sørensen, V., ... Koivisto, J. (2021). Occupational exposure and environmental release: The case study of pouring TiO₂ and filler materials for paint production. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), 418. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020418>

Ghobakhloo, S., Khoshakhlagh, A. H., Morais, S., & Mazaheri Tehrani, A. (2023). Exposure to volatile organic compounds in paint production plants: Levels and potential

human health risks. *Toxics*, 11(2), 111. <https://doi.org/10.3390/toxics11020111>

Haro- García, L., Vélez-Zamora, N., Aguilar-Madrid, G., Guerrero-Rivera, S., Sánchez-Escalante, V., Muñoz, S. R., Mezones-Holguín, E., & Juárez-Pérez, C. (2012). ALTERACIONES HEMATOLÓGICAS EN TRABAJADORES EXPUESTOS OCUPACIONALMENTE A MEZCLA DE BENCENO- TOLUENO-xILENO (BTx) EN UNA FÁBRICA DE PINTURAS. *Scielosp.org*. <https://www.scielosp.org/pdf/rpmesp/2012.v29n2/181-187/es>

Balkhyour, M. A., Chakroun, R., & Faidi, F. (2023). Evaluation of environmental and biological monitoring methods for toluene exposure assessment in paint industry. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(2), 103538. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103538>

Cabrera, M., Montenegro, L., & Mejía, S. (2021). Estudio de la Catálisis Heterogénea con Disulfuro de Hierro (II) como Tratamiento de Emisiones Gaseosas Contaminadas con Tolueno Producidas en la Industria de Pintura. *Revista Politécnica*, 48(2), 43–52. <https://doi.org/10.33333/rp.vol48n2.04>

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2020). Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. <https://www.academia.edu/download/64591365/Metodolog%C3%ADvestigaci%C3%B3n.%20Rutas%20cuantitativa,%20cualitativa%20y%20mixta.pdf>

Martínez González, J. V., Garcío Valerio, A., & Martínez García, V. A. (2017). Estrategias para o controle do stress corporativo: Um estudo longitudinal em uma empresa de médio porte. *Horizonte sanitario*, 16(1), 38-45. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-74592017000100038&script=sci_abstract&tlng=pt

Cárdenas, M. V., Morales, J. C. C. & Serna, F. J. D. (2015). Métodos estadísticos clásicos y bayesianos para el pronóstico de demanda. Un análisis comparative. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 4(1), 52-67. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49775>

Gencer, K., & Başçiftçi, F. (2021). Time series forecast modeling of vulnerabilities in the android operating system using ARIMA and deep learning methods. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 30, 100515.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210537921000081>

Hermoso, P. (2023). Prevención de riesgos laborales en la minería: Industrias extractivas subterráneas. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/62688/TFG-L3672.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Kianfar, A., Sherikar, M., Gilerson, A., Skora, M., Stankiewicz, K., Mitra, R., & Clausen E. (2022). Designing a Monitoring System to Observe the Innovative Single-Wire and Wirelees Energy Transmitting Systems in Explosive Areas of Underground Mines. *Energies*, 15, 576.
<https://doi.org/10.3390/es15020576>

Trujillo, J. (2024). Gestión de riesgos en atmósferas explosivas para la reducción de accidents en una planta minera. *Reincisol*, 3(6), 1818-1832. [https://doi.org/10.59282/reincisol.V3\(6\)1818-1832](https://doi.org/10.59282/reincisol.V3(6)1818-1832)

Peña, L., García, B., Arnal, J., Martorell, S. (2021). Estudio de seguridad de una torre de destilación para purificación de disolvente en una industria química. 25th International Congress on Projectt Management and Engineering. 2426 – 2437.
http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/3068/AT10-011_21.PDF?sequence=1

Holguín-Castro, M., & Real-Pérez, G. (2021). Gestión y planificación de mantenimientos en válvulas de dique flotante en base a su entorno, 7(4), 2253 – 2267.
<https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/2261/4871>

Torres-Sandoval, F., & Murcia-Hurtado, D. (2021). Riesgo por exposición a agentes químicos y atmósferas explosivas en minas de carbon de Tópaga, Colombia. *Entramado*, 17(2), 292-304.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8055073>

ANEXOS

Evidencia de sumisión del artículo en una revista de prestigio

The image displays two screenshots of the infomed website, illustrating the submission process for the Cuban Journal of Health and Work. The top screenshot shows the 'CARGAR EL ENVÍO' (Upload Article) step. The user is prompted to select a file, and the interface includes a list of instructions, a 'Cargar' (Upload) button, and a 'GARANTIZAR UNA REVISIÓN ANÓNIMA' (Guarantee Anonymous Review) checkbox. The bottom screenshot shows the 'Envío completado' (Submission Completed) confirmation page, indicating that the article has been successfully submitted for review.

infomed | UNIVERSIDAD VIRTUAL DE SALUD | BIBLIOTECA VIRTUAL DE SALUD

Editorial Ciencias Médicas | ISSN 1991-9395 | RNPS 2138 RNSW A1288 | Salir | Mi perfil | Español (E)

revista cubana de SALUD y TRABAJO

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos > Nuevo envío

1. INICIO 2. **CARGAR EL ENVÍO** 3. INTRODUCIR LOS METADATOS 4. CARGAR LOS ARCHIVOS COMPLEMENTARIOS 5. CONFIRMACIÓN

Para cargar un manuscrito en esta revista, complete los siguientes pasos:

- Haga clic en Examinar (o Seleccionar archivo) en esta página para abrir la ventana Seleccionar archivo y así poder localizarlo en su disco duro.
- Localice el archivo que desea enviar y resáitelo.
- Haga clic en Abrir (en la ventana Seleccionar archivo) y verá el nombre del archivo en esta página.
- Haga clic en Cargar para enviar el archivo al sitio web de la revista y renombrarlo según las normas de la revista.
- Una vez cargado el envío, haga clic en Guardar y continuar, en la parte inferior de esta página.

¿Necesita ayuda? Póngase en contacto con Departamento de Revistas Médicas para recibir asistencia (+53 78362541).

Archivo de envío

No se ha cargado ningún archivo de envío.

Cargar el archivo de envío: Modelamien...11-2024).pdf GARANTIZAR UNA REVISIÓN ANÓNIMA

infomed | UNIVERSIDAD VIRTUAL DE SALUD | BIBLIOTECA VIRTUAL DE SALUD

Editorial Ciencias Médicas | ISSN 1991-9395 | RNPS 2138 RNSW A1288 | Salir | Mi perfil | Español (E)

revista cubana de SALUD y TRABAJO

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos > Envíos activos

Envío completado. Gracias por su publicación en Revista Cubana de Salud y Trabajo.

Envíos activos

INDEXADA EN

DOAJ | DIRECTORY OF OPEN ACCESS JOURNALS | GEMEL | medigraphic | CUMED | CUBAMED | Redcen | DRJI | Hinari | MIAR | WorldCat | RAN

revista cubana de
SALUD y TRABAJO

Inicio
Acerca de
Área personal
Números anteriores
Noticias
Estadísticas
En Scielo

Inicio > Usuario/a > Autor/a > Envíos activos

ACTIVO/A ARCHIVAR



DD-MM	ENVIAR/RECAUTORES/AS	TÍTULO	ESTADO
905 11-22	AO Calizaya Paredes, Solano Sancho,...	MODELAMIENTO DE GASES PELIGROSOS EN ESPACIO CONFINADOS...	Asignación en espera

Elementos 1 - 1 de 1

EMPEZAR UN NUEVO ENVÍO

HAGA CLIC AQUÍ para ir al primer paso del proceso de envío en cinco pasos.

Enlaces reback

TODOS NUEVO PUBLICADO OMITIDOS

FECHA DE CREACIÓN	VISITAS URL	ARTÍCULO	TÍTULO	ESTADO	ACCIÓN
No hay ningún enlace reback.					

A⁻ A A⁺

Enviar artículo

CREA TU IDENTIFICADOR ORCID

ORCID

Conectando a los investigadores con la investigación

INDEXADA EN



Buscar correo



1 de 3.382

[RCST] Acuse de recibo de envío Recibidos x



MSc. Jesús S. Hernández Romero <insatinv@infomed.sld.cu>
para mí

18:43 (hace 3 minutos) ☆ 😊 ↶

Bachiller Ing. Ambiental Jose Fernando Calizaya Paredes:

Gracias por enviar el manuscrito, "Modelamiento de gases peligrosos en espacio confinados para disminuir los riesgos de accidentes de trabajo" a Revista Cubana de Salud y Trabajo. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito:

<https://revsaludtrabajo.sld.cu/index.php/revsytr/author/submission/905>

Nombre de usuario/a: josecalizaya

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

MSc. Jesús S. Hernández Romero
Revista Cubana de Salud y Trabajo

Revista Cubana de Salud y Trabajo
<http://www.revsaludtrabajo.sld.cu/index.php/revsytr>

Este mensaje le ha llegado mediante el servicio de correo electrónico que ofrece Infomed para respaldar el cumplimiento de las misiones del Sistema Nacional de Salud. La persona que envía este correo asume el compromiso de usar el servicio a tales fines y cumplir con las regulaciones establecidas

Infomed <http://www.sld.cu/>

**Copia de resolución de inscripción del perfil del proyecto de tesis en formato articulo
aprobado por el consejo de facultad correspondiente**



**"AÑO DEL BICENTENARIO, DE LA CONSOLIDACIÓN DE NUESTRA INDEPENDENCIA, Y DE LA
CONMEMORACIÓN DE LAS HEROICAS BATALLAS DE JUNÍN Y AYACUCHO"**

RESOLUCIÓN N° 0239-2024/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 23 de abril de 2024

VISTO:

El expediente de **Sharol Stefanie Solano Sancho**, identificado(a) con Código Universitario N° 201710203 y **Jose Fernando Calizaya Paredes** identificado(a) con Código Universitario N° 201711749, de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

CONSIDERANDO

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la aprobación e inscripción del perfil de proyecto de tesis en formato articulo y la designación o nombramiento del asesor para la obtención del titulo profesional;

Que **Sharol Stefanie Solano Sancho** y **Jose Fernando Calizaya Paredes**, han solicitado: la inscripción del perfil de proyecto de tesis titulado "Modelamiento de gases peligrosos en espacio confinados para disminuir los riesgos de accidentes de trabajo" y la designación del Asesor, encargado de orientar y asesorar la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 23 de abril de 2024, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

SE RESUELVE:

Aprobar el perfil de proyecto de tesis en formato articulo titulado "**Modelamiento de gases peligrosos en espacio confinados para disminuir los riesgos de accidentes de trabajo**" y disponer su inscripción en el registro correspondiente, designar a **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio** como ASESOR para que oriente y asesore la ejecución del perfil de proyecto de tesis en formato articulo el cual fue dictaminado por: **Ing. Orlando Alan Poma Porras** y **Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas**, otorgándoles un plazo máximo de doce (12) meses para la ejecución.

Regístrese, comuníquese y archívese.




Dra. Erika Inés Acuña Salinas
DECANA




Ph.D. Silvia Pilco Quesada
SECRETARIA ACADÉMICA

cc:
-Interesado
-Asesor
-Dirección General de Investigación
-Archivo

Instrumentos de recolección de datos

DATOS DE MONITOREOS DE GASES TR-270 (RESINA POLIESTER)

Siguiendo los protocolos de seguridad, se realizó la medición de gases obteniendo la 02 % (VOL) oxígeno, EX (Explosividad) LEL, H2S (PPM) y CO (PPM).

TANKE TR-270 (ÑAÑA)	24/07/2023 - 2/08/2023	DIA 1			
HORA	O2 % (VOL)	EX % (LEL)	H2S (PPM)	CO (PPM)	
8:20 a. m.	10.5	60	4	150.8	
8:45 a. m.	10.1	58.5	4	155.8	
9:15 a. m.	10.5	58.5	4	150.4	
9:35 a. m.	10.5	58.5	4	150.1	
9:55 a. m.	10.5	58.5	4	147.2	
10:15 a. m.	11.8	58.5	4	146.9	
10:20 a. m.	PAUSA ACTIVA				
10:35 a. m.	10.6	56.3	2	145.9	
10:55 a. m.	10.5	56.3	2	144	
11:10 a. m.	10.5	56.3	2	144.5	
11:35 a. m.	10.5	56.3	2	143.9	
11:55 a. m.	10.5	56.3	2	143.1	
12:10 p. m.	11.8	56.3	2	143.9	
12:35 p. m.	12.5	56.3	2	141.9	
12:55 p. m.	12.8	56.3	2	141.8	
1:10 p. m.	12.3	56.3	2	141.7	
1:35 p. m.	12.4	55.8	2	140.1	
14:55:00 pm	HORA DEL ALUMUERZO				
3:30 p. m.	13.1	50.7	1	104.7	
3:55 p. m.	13.1	49.3	1	104.7	
4:10 p. m.	13.1	48.2	1	104.7	
	HORA DEL CIERRE DEL MANHOLE				
4:30 p. m.	13.8	48.2	1	104.7	
4:55 p. m.	13.9		1	104.7	

Página 1

Figuras, tablas e imágenes

