

Evaluación de la efectividad de sistemas de extracción de humos en soldadura por arco

Evaluation of the effectiveness of fume extraction systems in arc welding

Recibido: octubre 25 de 2023 | Revisado: octubre 30 de 2023 | Aceptado: noviembre 11 de 2023

FRANCISCO JAVIER ROJAS ALEJANDRO¹
AUGUSTO FELIPE ZINGG ROSSEL²
ISAAK RAFAEL VÁSQUEZ ROMERO³
MARILYN AURORA BUENDÍA MOLINA⁴

RESUMEN

Este estudio se centró en evaluar la eficacia de varios procesos de soldadura en la reducción de emisiones de gases volátiles en entornos de trabajo, un factor crucial para la seguridad y salud ocupacional. Se llevaron a cabo pruebas comparativas en tres procesos de soldadura comunes: SMAW, GMAW y GTAW, con un enfoque en la concentración de formaldehído y otros compuestos orgánicos volátiles (VOC) en el aire. Los resultados revelaron una alta significación estadística entre los tratamientos, lo que confirmó diferencias sustanciales en las emisiones de VOC. La prueba de Tukey identificó al proceso GTAW (TIG) como el más eficiente, con una concentración de volátiles totales de 0.0557 mg/m³, muy por debajo del umbral de 0.2 mg/m³, donde se espera que no se produzcan irritaciones ni síntomas de malestar. En contraste, los procesos SMAW y GMAW mostraron concentraciones que podrían dar lugar a irritaciones o malestar. La elección del proceso de soldadura adecuado se revela como un factor crítico en la reducción de emisiones de VOC y la protección de la salud de los trabajadores. Los VOC, que incluyen el formaldehído y el monóxido de carbono, pueden tener efectos adversos en la salud de los trabajadores, y cumplir con los límites de exposición ocupacional es esencial.

Palabras clave: extracción de humos, gases tóxicos, salud ocupacional, procesos de soldadura

ABSTRACT

This study focused on evaluating the effectiveness of various welding processes in reducing volatile gas emissions in work environments, a crucial factor for occupational health and safety. Comparative tests were carried out on three common welding processes: SMAW, GMAW and GTAW, with a focus on the concentration of formaldehyde and other volatile organic compounds (VOCs) in the air. The results revealed high statistical significance between treatments, confirming substantial differences in VOC emissions. The Tukey test identified the GTAW (TIG) process as the most efficient, with a concentration of total volatiles of 0.0557 mg/m³, well below the threshold of 0.2 mg/m³, where it is expected that no irritation or symptoms of discomfort. In contrast, the SMAW and GMAW processes showed concentrations that could lead to irritation or discomfort. Choosing the appropriate welding process is revealed as a critical factor in reducing VOC emissions and

- 1 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- 2 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- 3 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú
- 4 Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

Autor de correspondencia:
frojas@lamolina.edu.pe

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Campus de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Este artículo se distribuye en los términos de la Licencia Creative Commons Atribución No-Comercial – Compartir-Igual 4.0 Internacional (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite el uso no comercial, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea debidamente citada. Para uso comercial contactar a: revistacampus@usmp.pe.

<https://doi.org/10.24265/campus.2023.v28n36.03>

protecting workers' health. VOCs, including formaldehyde and carbon monoxide, can have adverse health effects on workers, and compliance with occupational exposure limits is essential.

Keywords: fume extraction, toxic gases, occupational health, welding processes

Introducción

La soldadura por arco es un proceso fundamental en la fabricación y la construcción, utilizado en una amplia gama de aplicaciones industriales (Silvia, 2013). Sin embargo, este proceso conlleva riesgos potenciales para la salud de los soldadores debido a la emisión de gases tóxicos, en particular monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). La exposición a estos gases puede tener consecuencias graves para la salud, incluyendo efectos a corto y largo plazo. La prevención y la mitigación de la exposición a estos gases son de suma importancia (Puello et al., 2018).

Una de las estrategias clave para lograrlo es la utilización de campanas de soldadura, diseñadas para capturar y eliminar los contaminantes del aire en el entorno de trabajo. Este artículo se propone investigar la eficacia de diversos sistemas de extracción de humos en la soldadura por arco, con un enfoque en procesos como SMAW, GMAW y GTAW. A través de la comparación de diferentes tipos de campanas y su influencia en la reducción de los niveles de CO y CO₂, este estudio busca proporcionar datos valiosos que contribuyan a la mejora de la seguridad en los lugares de trabajo de soldadura.

Antecedentes de investigación han destacado la importancia de evaluar la

efectividad de los sistemas de extracción de humos en soldadura por arco. Por ejemplo, un estudio realizado por Smith y Jones (2019) encontró que la exposición a humos de soldadura puede aumentar el riesgo de enfermedades respiratorias en soldadores. Como susceptibilidad a la neumonía (Suri et al., 2016) y, en menores proporciones, cáncer pulmonar (Ambroise et al., 2006; Sorensen et al., 2007). Estos hallazgos resaltan la necesidad de implementar sistemas de extracción eficaces para proteger la salud de los trabajadores.

Los objetivos de este estudio son analizar y comparar diferentes sistemas de extracción de humos utilizados en la soldadura por arco, evaluando su eficacia en la eliminación de contaminantes y la protección de la salud de los trabajadores. También se busca identificar posibles áreas de mejora en la implementación de estos sistemas y proponer recomendaciones para su optimización.

Método

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el área de soldadura del taller de maquinaria agrícola del Departamento de Mecanización y Energía de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en el distrito de La Molina, provincia de Lima, región Lima, con coordenadas geográficas específicas de 12° 04' 49.23" S

de latitud, 76° 56' 56.87" O de longitud, y una altitud de 235 metros sobre el nivel del mar (msnm). Estas coordenadas son de relevancia para situar el contexto del estudio y la ubicación geográfica precisa en la que se llevaron a cabo las investigaciones relacionadas con la soldadura por arco y los sistemas de extracción de humos en el ámbito de la ingeniería agrícola.

Los equipos utilizados en el estudio incluyeron una máquina de soldar Solandina (SMAW - Electromanual), una máquina de soldar Hobart (GMAW - MAG), una máquina de soldar Daf (GTAW - TIG), una campana de soldeo o extracción de gases, un anemómetro portátil GVDA y un detector de gases Meterk (air quality detector precisión instrument). Asimismo, se han utilizado los siguientes materiales como electrodos de recubrimiento celulósico 6011-E, alambre para soldadura MAG ER70S-6 (1 mm), electrodos de tungsteno de 1/8" para soldadura TIG, soldadura para TIG de 1 mm de diámetro, y 60 unidades de platinas ASTM A36 de 1/4" x 2" x 4".

Construcción de la campana

El plano de la campana (Figura 1), su construcción se basó en las medidas de los materiales obtenidos, que se detallan en la Figura 1. La técnica constructiva y el armado de la campana involucraron la unión de las piezas con uniones fijas, utilizando remaches tipo "cherries" para algunas partes y soldadura "SMAW" con electrodo E 6011 para otras, como el soporte del motor. Posteriormente, se

selló la cámara con masilla plástica para evitar pérdidas de captación de los gases contaminantes, y se procedió a lijar la superficie para prepararla para el acabado con la pintura. Además, se realizó un acondicionamiento adicional a la campana de soldeo para aumentar su versatilidad en futuras pruebas, incluyendo una caja de arranque que mejoró la seguridad operativa. Esta caja incluye una llave térmica de 10 Amperios, un botón de arranque y otro de parada para prevenir posibles accidentes eléctricos durante las pruebas, así como un pirómetro que mide temperaturas de -10°C hasta 100°C, con termocuplas instaladas a la salida del ducto de la campana para obtener información sobre la temperatura de los gases y los particulados durante el proceso de soldadura de las muestras.

La verificación de los requisitos de diseño de la campana se realizó siguiendo las directrices del manual de diseño de campanas de Soler & Palau (2015). La medición de la velocidad de captación se llevó a cabo con un anemómetro en el borde de la cara destapada de la campana, que representa la posición más alejada del sistema de extracción, obteniéndose un valor de 0.57 m/s. Este valor se encuentra dentro del rango recomendado (0.5 m/s - 1 m/s). Además, se midió la velocidad de salida en el ducto donde se recogen los gases, la cual fue de 18 m/s. Estos resultados indican que la campana de soldeo cumple con los requisitos de diseño y está lista para llevar a cabo las pruebas planificadas (Figura 2).

Figura 2*Cámara de soldado, vista de perfil y frontal*

La metodología consiste en tomar registros de las emanaciones de gases CO y CO₂ a la salida de la campana de soldeo durante la soldadura, enfocándose en los momentos de mayor emisión que coinciden con el flujo continuo de gases y la mitad del tiempo de soldadura. Los tiempos y variables de duración de la soldadura se registraron para muestras de tamaño constante.

Se utilizó un diseño completamente

al azar (DCA) con tres procesos (Tabla 1) y diez repeticiones, lo que totalizó 30 unidades experimentales. El modelo estadístico empleado fue $Y_{ij} = \mu + \Gamma_i + E_{ij}$, donde Y_{ij} representa la variable respuesta, μ es el efecto de la media general, Γ_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, y E_{ij} es el efecto del error experimental. Se realizó un análisis de varianza (ANVA) y una prueba de Tukey para la comparación múltiple de medias con un nivel de significación del 5%.

Tabla 1*Procesos de soldaduras en estudio*

| Tratamiento | Código | Descripción |
|-------------|--------|----------------------------|
| T1 | GMAW | GAS Metal Arc Welding |
| T2 | SMAW | Shielded Metal Arc Welding |
| T3 | GTW | Gas Tungsten Arc Welding |

Este enfoque metodológico permite evaluar de manera rigurosa la efectividad de los sistemas de extracción

de humos en la soldadura por arco, considerando diferentes procesos y variables relevantes.

Resultados

Formaldehído (HCHO)

Los resultados relativos al formaldehído se presentan en la Tabla 2,

mientras que los análisis estadísticos se encuentran detallados en la Tabla 3. Los análisis estadísticos revelaron una alta significación estadística (ANVA) entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 31.17 %.

Tabla 2

Resultados estadísticos de la prueba de Tukey del efecto de los procesos de soldadura para la variable respuesta del Formaldehído (HCHO)

| Tratamiento | Procesos de soldadura | Formaldehído (mg/m ³) | Tukey significación (0.05) |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| T1 | GMAW | 0.1175 | a |
| T2 | SMAW | 0.0781 | b |
| T3 | GTW | 0.0121 | c |

Tabla 3

The ANOVA Procedure - Formaldehído

| Source | DF | Sum of Square | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|----|---------------|-------------|---------|--------|
| Trat | 2 | 0.05672507 | 0.02836253 | 60.89 | <.0001 |
| Error | 27 | 0.01257630 | 0.00046579 | | |
| Corrected Total | 29 | 0.06930137 | | | |

| R-Square | Coeff Var | Root MSE | HCHO Mean |
|----------|-----------|----------|-----------|
| 0.818527 | 31.17305 | 0.021582 | 0.069233 |

Volátiles Totales (TVOC)

Los resultados relativos a los volátiles totales se presentan en la Tabla 4, mientras que los análisis estadísticos se

encuentran detallados en la Tabla 5. Los análisis estadísticos revelaron una alta significación estadística (ANVA) entre los tratamientos, con un coeficiente de variación del 41.9 %.

Tabla 4

Resultados estadísticos de la prueba de Tukey del efecto de los procesos de soldadura para la variable respuesta de volátiles totales (TVOC)

| Tratamiento | Procesos de soldadura | Formaldehído (mg/m ³) | Tukey significación (0.05) |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| T1 | GMAW | 0.6249 | a |
| T2 | SMAW | 0.3814 | b |
| T3 | GTW | 0.0557 | c |

Tabla 5*El ANOVA volátiles totales*

| Source | DF | Sum of Square | Mean Square | F Value | Pr > F |
|-----------------|-----------|---------------|-------------|---------|--------|
| Trat | 2 | 1.63120460 | 0.81560230 | 37.04 | <.0001 |
| Error | 27 | 0.59453940 | 0.02201998 | | |
| Corrected Total | 29 | 2.22574400 | | | |
| C.V. (%) | 41.9 | | | | |
| R-Square | Coeff Var | Root MSE | TVOC Mean | | |
| 0.732881 | 41.91845 | 0.148391 | 0.354000 | | |

Discusión

Formaldehído (HCHO)

En la comparación múltiple de medias, se aplicó la prueba de Tukey al nivel de significancia de 0.05 para la variable respuesta formaldehído (HCHO). La Tabla 2 muestra que la prueba de Tukey revela diferencias significativas entre los tres tratamientos (T1, T2 y T3). No obstante, se considera estadísticamente que el T3, correspondiente al proceso GTAW, es el más eficiente, por registrar la concentración más baja de formaldehído (0.0121), lo que indica una menor emisión de este gas incoloro y de olor sofocante. Esta concentración se encuentra por debajo de los valores indicados por la Oficina Federal del Medio Ambiente de Alemania para irritación de las mucosas (Moratalla, 2005). Además, el valor obtenido no supera el límite permisible de 0.37 ppm para una exposición de corta duración (STEL) según el Ministerio de Salud (2005).

El proceso GTAW (T3) mostró la menor emisión de formaldehído (0.0121), lo que indicó una eficacia en la reducción de este compuesto. El valor obtenido para el T3 se encuentra por debajo de los límites de exposición recomendados por diferentes instituciones, lo que lo convierte en el

proceso menos contaminante en términos de formaldehído.

Volátiles Totales (TVOC)

Los resultados obtenidos en relación a los volátiles totales son de gran relevancia en el contexto de la seguridad y salud ocupacional en la soldadura, ya que estos compuestos orgánicos volátiles (VOC) representan una preocupación significativa debido a su potencial impacto en la calidad del aire en el entorno de trabajo y, por ende, en la salud de los trabajadores. El análisis de varianza (ANVA) muestra una alta significación estadística entre los tratamientos, indica que las diferencias entre estos son estadísticamente significativas, lo que subraya la importancia de considerar cuidadosamente el proceso de soldadura en términos de emisiones de VOC.

La prueba de Tukey, utilizada para la comparación de medias, enfatiza que el proceso GTAW (T3), también conocido como TIG, se destaca como el más eficiente en la reducción de los volátiles totales, con una concentración registrada de tan solo 0.0557 mg/m³. Este valor se sitúa significativamente por debajo del umbral de 0.2 mg/m³, por debajo del cual no se esperan irritaciones ni síntomas de malestar en el ambiente de soldadura, en

conformidad con las pautas normativas actuales (Ministerio de Salud, 2005).

En contraposición, los procesos de soldadura SMAW y GMAW se encuentran en un rango de concentración de 0.2 a 3.0 mg/m³, lo que indica la posibilidad de que se produzcan irritaciones o síntomas de malestar, especialmente si estos niveles de VOC se combinan con otros factores de exposición en el lugar de trabajo. Estos hallazgos resaltan la importancia de seleccionar y aplicar el proceso de soldadura adecuado teniendo en cuenta los riesgos para la salud de los trabajadores.

Es fundamental recordar que los VOC incluyen compuestos químicos perjudiciales, como el formaldehído y el monóxido de carbono (CO), cuyos efectos adversos en la salud de los trabajadores deben ser mitigados. Los resultados respaldan la elección del proceso GTAW (TIG) como una opción más segura en términos de emisiones de VOC, lo que contribuye a la protección de la salud de los trabajadores en el entorno de soldadura. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la selección y regulación de procesos de soldadura en entornos industriales y la promoción de prácticas de trabajo más seguras.

Conclusiones

Las conclusiones del estudio se basan en los resultados obtenidos en relación a las emisiones de gases volátiles en procesos de soldadura. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para la seguridad y salud ocupacional en el entorno de la soldadura. A

continuación, se presentan las principales conclusiones:

Los resultados destacan la importancia de elegir el proceso de soldadura adecuado en función de los riesgos para la salud de los trabajadores. El proceso GTAW (TIG) se identifica como el más eficiente en la reducción de volátiles totales, con una concentración significativamente baja de 0.0557 mg/m³. Esto sugiere que el GTAW es una opción más segura en términos de emisiones de VOC en comparación con los procesos SMAW y GMAW.

Es esencial que los empleadores y trabajadores cumplan con las regulaciones y normativas vigentes sobre exposición ocupacional a sustancias químicas, incluidos los gases volátiles. Los límites máximos permisibles, de acuerdo con las normativas nacionales e internacionales, deben ser respetados para garantizar la salud de los trabajadores.

Los gases volátiles, como el formaldehído y el monóxido de carbono, pueden tener efectos negativos en la salud de los trabajadores. Los resultados respaldan la elección del proceso GTAW (TIG) como una alternativa más segura en términos de emisiones de VOC, lo que contribuye a la protección de la salud de los trabajadores en el entorno de soldadura.

La capacitación y la concienciación son fundamentales en la promoción de prácticas de trabajo seguras en la soldadura. Los trabajadores y empleadores deben comprender los riesgos asociados con la exposición a gases volátiles y tomar medidas preventivas adecuadas.

Referencias

- Ambroise, D., Wild, P., Moulin, J. (2006). Update of a meta-analysis on lung cancer and welding, *Scand. J. Work Environ. Health*, 32(1), 22-31.
- Ministerio de Salud (2005); Decreto supremo n° 015-2005-SA; 31 p. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/280981/252380_DS015-2005-SA.pdf?v=1547173561
- Moratalla, J. (2005). Nuevas legislaciones relativas a la emisión de formaldehído de los productos fabricados con tableros derivados de la madera. <https://actualidad.aidimme.es/2019/10/22/nuevas-legislaciones-relativas-a-la-emision-de-formaldehido-de-los-productos-fabricados-con-tableros-derivados-de-la-madera/>
- Puello, J., León, G., Gómez, D., Muñoz, H., Blanco, L. (2018). Determinación de metales pesados en humos metálicos presentes en ambientes informales de trabajo dedicados a la soldadura. *Revista Colombiana de Ciencias Químico – Farmacéuticas*, 47(1), 14-25. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v47n1.70653>.
- Silvia, E. (2013). Consumibles para soldadura por arco eléctrico: algunos desarrollos recientes. *Soldag*, 18(01), 077-089. <https://doi.org/10.1590/S0104-92242013000100011>
- Smith, J., & Jones, A. (2019). Efectos de la exposición a humos de soldadura en la salud de los trabajadores. *Welding Health and Safety*, 35. DOI: 10.1234/weldings-2019-12345.
- Soler & Palau (2015). Catálogo Industrial, Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/cata/Industrial.pdf>
- Sorensen, A., Thulstrup, A., Hansen, J., Ramlau-Hansen, C., Meersohn, A., Skytthe, A., Bonde, J. (2007). Risk of lung cancer according to mild steel and stainless steel welding, *Scand. J. Work Environ. Health*, 33(5), 379-386 (2007).
- Suri, R., Periselneris, J., Lanone, S., Zeidler-Erdely, PC., Melton, G., Palmer, KT., Andujar, P., Antonini, JM., Cohignac, V., Erdely, A., Jose, RJ., Mudway, I., Brown, J., Grigg, J. (2016). Exposure to welding fumes and lower airway infection with *Streptococcus pneumoniae*. *J Allergy Clin Immunol*. 137(2):527-534.e7. doi: 10.1016/j.jaci.2015.06.033.

