Memorias del 2024 Congreso Nacional de Control Automático
8-11 de Octubre, 2024. Ciudad de México, México.
Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

Evaluation of defects in the GMAW robotic welding process through color analysis

Melissa Olivo Hernández * **León Zambrano Reyna** *
Jorge Eduardo Hernández Flores ** **Josué Gómez Casas** *
Daniela Estefanía Ortiz Ramos *
Carlos Rodrigo Muñiz Valdez *

* *Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ingeniería (e-mail: jogomezc@uadec.edu.mx).*
** *InnovaBienestar de México, Gerencia de Desarrollo Humano*

Abstract: In industry, the evaluation of the quality of welded joints is important to meet the required quality and safety standards. In a general context, identifying defects and porosities in the welding process requires a comprehensive inspection using different methods, such as non-destructive and destructive tests. In addition, welding inspectors require special training and certifications to perform efficient welding inspection. In this paper, we propose to analyze welding through computer vision techniques as an auxiliary tool for identifying defects in coatings. It is proposed to perform a color analysis for the segmentation of defects generated during the welding process found in ASTM A36 steel plates coated in stainless steel 308, using the GMAW robotic process. Automation through computer vision offers an alternative tool to identify and classify welding defects by color segmentation in a database of micrographs. At the end of the process, it is concluded that the HSV and YCbCr color spaces achieve better segmentation of defects in the samples, such as lack of fusion and porosities.

Keywords: GMAW robotic process, computer vision, micrographs, solor spaces, defects of welding, segmentation.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la unión de piezas a través de procesos de soldadura exige el seguimiento de normas y estándares de calidad para el cumplimiento de los parámetros de seguridad establecidos según su aplicación, por lo que cada vez se requieren inspecciones más rigurosas y detalladas. Al momento de la inspección, el personal se debe apegar a distintas normas y códigos de calidad dependiendo la aplicación específica de las piezas soldadas, algunas de estas normas y códigos son las ISO utilizadas principalmente en Europa y los códigos de la AWS (American Welding Society), ASME (American Society Of Mechanical Engineers) y API (American Petroleum Institute). Además, estás instituciones han realizado una serie de procedimientos recomendados para la aplicación de una soldadura de calidad y así evitar que las piezas y componentes soldados presentes defectos o fallen durante su tiempo de vida (Grantham and McLay (2019)).

En general, cada empresa en la industria tiene sus propios estándares de calidad para evitar retrabajos y el desperdicio de recursos. En la actualidad, los procesos de inspección visual de calidad de la soldadura pueden resultar deficientes, lo que conlleva a la pérdida de recursos materiales y económicos (Hernandez-Flores et al. (2023)). Los efectos derivados de una mala inspección de calidad de soldadura afecta negativamente la seguridad de las piezas y componentes soldados, ya que en muchas ocasiones están sujetas a condiciones agresivas como la exposición en ambientes corrosivos y tensiones mecánicas. El acero ASTM A36 trabaja bajo condiciones corrosivas, ya que sus principales aplicaciones son la industria petrolera, marítima y de la construcción (Zhang et al. (2023)). Por lo que es de suma importancia cuidar la integridad estructural de los componentes fabricados a partir de acero ASTM A36, algunos métodos para prevenir posibles fallas en los componentes debido a afectaciones a causa de la corrosión son la aplicación de recubrimientos para proteger la capa superficial del acero (Chung and Hyun (2021)), (Sajid and Kiran (2018)), (Ayoola et al. (2022)). Existe una gran variedad de materiales con los que se puede proteger la superficie de un material para aumentar su resistencia a la corrosión, principalmente se emplea como material protector los aceros inoxidables austeníticos ya que poseen una excelente resistencia a la corrosión, además de buenas propiedades mecánicas (Hsu et al. (2017)), (Tang et al. (2020)). La soldadura GMAW (Gas Metal Arc Welding), es un proceso en el que mediante un arco eléctrico generado entre el micro alambre (metal de aporte) y la pieza de trabajo se funden ambos metales generando la unión. Este proceso también es conocido como MIG (Metal Inert Gas), ya que necesita un gas protector en donde el más común es el Helio - Argón, no obstante, también puede operar con Dióxido de Carbono así como gases inertes. Algunas formas de aplicar

https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.080

recubrimientos, es mediante procesos de soldadura por arco como el proceso GMAW que es una gran alternativa debido a su alta tasa de deposición y fácil automatización (Singhal and Jain (2020)), (Miranda-Pérez et al. (2023)). Al emplear uniones disimiles de acero inoxidable y acero al carbono se corre el riesgo de que no se produzcan uniones de calidad debido a la variación de la composición química entre los materiales, sus puntos de fusión y afectaciones térmicas que se pudieran generar en zonas de importancia como la interfacia y la zona afectada por el calor; y que esta mala calidad en la unión perjudique de manera significativa las propiedades mecánicas (Hernandez-Flores et al. (2023)), (Di Schino and Testani (2020))corriendo el riesgo de que estas tiendan a fallar durante su tiempo de vida.

Para abordar estos desafíos, es crucial adoptar nuevas tecnologías como lo es la visión por computadora para una inspección automática y exhaustiva. Dentro del campo de la visión por computadora en el análisis de color existen los espacios de color, los cuales pueden definirse como un modelo matemático que representa una gama de colores; es una estructura que permite especificar colores en función de parámetros. El espacio de color más común es el RGB, se basa en los tres colores primarios rojo (R), verde (G) y azul (B), en donde sus valores van del 0 al 255. En el caso del espacio de color HSV, consta del tono o profundidad del tono (H), la saturación (S) y la intensidad del color (V), y toma valores de 0 a 360. Por último el modelo YCbCr, se basa en la luminancia (Y), los componentes de croma azul (Cb) y los componentes de croma rojo (Cr), en donde el rango de Y es de 0 a 255 y los componentes de croma van del 16 al 240. (Chaves-González et al. (2010))

El uso de técnicas de visión por computadora basados en algoritmos de segmentación de color permitirá la evaluación de defectos en el proceso de soldadura GMAW robotizado de placas de acero estructural ASTM A36, (Bora et al. (2015)). A continuación se mencionan trabajos relacionados a la implementación de técnicas de visión artificial en procesos de soldadura. En el trabajo de (Bastidas-Rodriguez et al. (2016)) se usaron técnicas de visión por computadora tales como detección de características con histogramas en escala de grises para la clasificación fractográfica en materiales metálicos, así como para predecir las futuras fallas que pudieran tener.

Asimismo, en este año (Javadi et al. (2020)) hicieron un monitoreo continuo en un defecto colocado intencionalmente en una capa de soldadura automatizada para una intensa revisión mediante un robot de inspección (Ji (2020); Chai et al. (2021)).

La propuesta de este proyecto radica en la identificación de defectos de porosidad y discontinuidades en la zona soldada en placas de acero estructural ASTM A36, utilizando una base de micrografías para establecer la segmentación adecuada de los defectos mediante espacios de colores HSV y YCbCr.

La estructura de este trabajo se divide de la siguiente manera: en la Sección 2 se presentan los materiales y métodos para obtener la soldadura, en la Sección 3 se presenta la metodología utilizada para la segmentación de las micrografías, la Sección 4 se muestra la discusión de los resultados y finalmente en la Sección 5 se exponen las conclusiones derivadas de este investigación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se presenta el procedimiento para obtener las soldaduras y la preparación de las micrografías. Como primer paso, se utilizaron tres muestras de acero estructural ASTM A36 como sustrato con un espesor de 15 mm y como metal de aporte se utilizó ER308. Las deposiciones de ER308 se realizaron mediante el proceso GMAW de manera robotizada utilizando un robot KUKA KR16-2 conectado a una fuente de energía Lincoln Electric PowerWave 455 m como se muestra en la Figura 1 y utilizando como atmósfera protectora 80%Ar-20%CO_2 a 10 L/min. La Tabla 1 presenta la lista de los parámetros utilizados. En la Figura 2 se muestra un cordón de soldadura sin defectos encontrados como referencia y contraste con nuestra investigación.

Table 1. Parámetros del proceso de soldadura

Identificación	**Parámetros del proceso**		
	Corriente (A)	Voltaje (V)	Velocidad de soldadura (mm/s)
M1	169.3	17.3	3
M2	160.8	17.1	3.5
M3	155.5	19.2	4
Extensión del electrodo: 10mm Longitud de arco: 1mm			

Las muestras fueron inspeccionadas utilizando un estereoscopio óptico (Nikon SMZ 745T) para evaluar las discontinuidades. Se utilizó el reactivo Marble's (10 g $CuSO_4$ + 50 ml HCl + 50 ml H_2O durante 5 segundos para evaluar la macro estructura de los recubrimientos.

(a) Robot equipado para soldadura GMAW.

(b) Máquina de soldar que se adaptó al robot.

Fig. 1. Equipo con el que se realizó la soldadura.

https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.080

Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

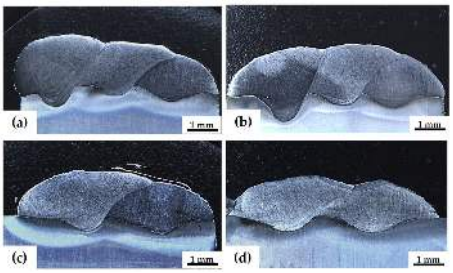


Fig. 2. Micrografías de diferentes soldaduras con el mismo material de aporte utilizado. Hernandez-Flores et al. (2023)

3. SEGMENTACIÓN DE MICROGRAFÍAS

Para este proceso, se llevó a cabo la soldadura de tipo GMAW robotizada en placas de acero estructural ASTM A36, posteriormente se tomaron 11 micrografías a tres muestras soldadas, de las cuales se seleccionaron 4 que presentaban mayores discontinuidades para su evaluación y se compararon con la micrografía de la Figura 2.

La metodología empleada para la segmentación de las micrografías consta de cinco etapas como se muestra en la Figura 3. Inicialmente, se utilizó la herramienta Color Tresholder de Matlab disponible en versiones 2014 o superiores en las cuales se analizaron dichas micrografías utilizando los cuatro espacios de color disponibles (RGB, HSV, YCbCr y L*a*b*). Consecuentemente, se seleccionó el espacio de color en el que se iba a trabajar; posteriormente, se modificaron los valores de acuerdo a la imagen, dichos valores dependen del espacio de color en el que se trabaja, aparecen en una consola de trabajo, en donde se puede ajustar de acuerdo a una previsualización del resultado final, donde las discontinuidades se volvían de diferente color.

Como cuarto paso, se crearon sus respectivas máscaras en las cuales sus discontinuidades y porosidades se tornaban de diferente tonalidad hasta obtener una mejor visualización de los defectos presentes. Teniendo la máscara con los valores deseados, se generaba en forma de una función, para posteriormente emplearla en otro código, generando así la imagen segmentada con su respectiva máscara.

Finalmente, se realizó una comparación de las cuatro imágenes finales respecto a su imagen original para conocer el espacio de color que fue más apto.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se seleccionó el espacio de color HSV y YCbCr para una comparativa posterior ya que se logró una mejor segmentación y visualización de sus defectos y porosidades que no se logran percibir fácilmente. En el caso del espacio de color HSV, se modificaron los valores de la saturación (S) y el valor de color (V) para un mejor control de la máscara; en caso contrario en el espacio de color YCbCr, solo se modificó su luminosidad (Y). Estos resultados se muestran en las Figuras 4-7 donde se pueden observar defectos existentes en la soldadura.

Los valores utilizados en las Figuras de los resultados se

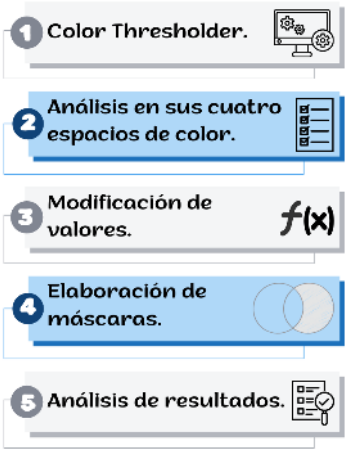


Fig. 3. Metodología empleada en el análisis.

presentan en la Tabla 2, encontrando principalmente los defectos de porosidades y falta de fusión en la soldadura.

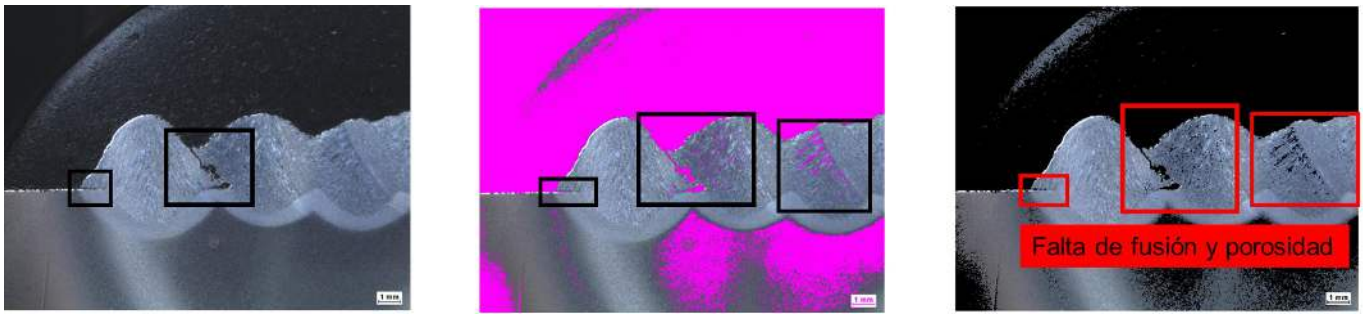
Table 2. Valores que se les dio en cada canal del espacio de color HSV y YCbCr

Espacio de color	**Valores dados en cada canal**		
HSV	Matiz (H)	Saturación (S)	Valor (V)
Imagen 1	De 0.027 a 0.999	De 0 a 0.359	De 0.241 a 0.826
Imagen 2	De 0 a 1	De 0 a 0.3	De 0.372 a 1
Imagen 3	De 0 a 1	De 0 a 0.309	De 0.426 a 1
Imagen 4	De 0 a 1	De 0 a 0.365	De 0.311 a 1
YCbCr	Luminancia (Y)	Croma Azul (Cb)	Croma Rojo (Cr)
Imagen 1	De 68 a 159	De 0 a 255	De 0 a 255
Imagen 2	De 89 a 355	De 0 a 255	De 0 a 126
Imagen 3	De 104 a 255	De 0 a 255	De 0 a 255
Imagen 4	De 90 a 255	De 0 a 255	De 0 a 255

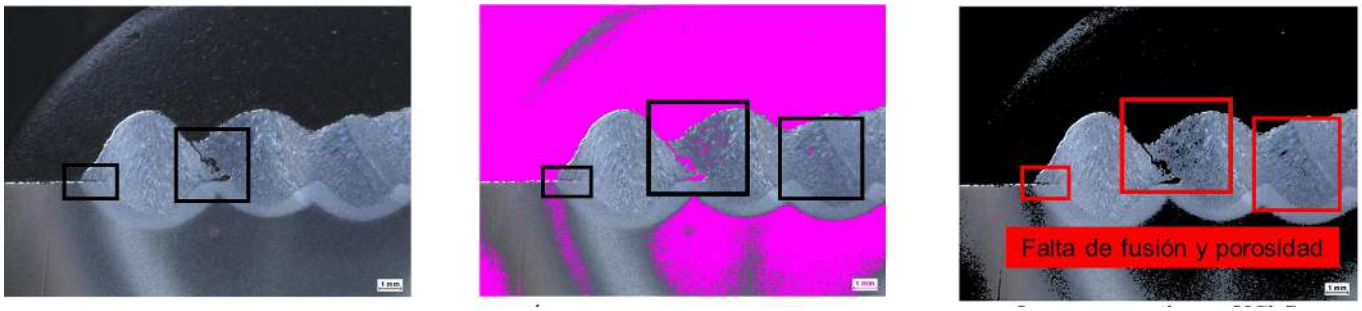
En el entrenamiento para la capacitación de soldadura se pueden presentar varios errores en el análisis visual de defectos microscópicos que son imperceptibles para el ojo humano, incluso teniendo una imagen amplificada, esto debido a los diferentes tonos de color presentes en la micrografía obtenida, estos errores se pueden percibir de mejor forma después de realizar un análisis de color debido a que las zonas de pixeles donde se encuentra la falla se distingue de una forma más definida, revelando discontinuidades de las que no se habían logrado percibir a simple vista. Los espacios de color adecuados para este análisis fueron el HSV debido a que la saturación (S) de la zona con el defecto es de un valor mayor que el del área de la soldadura. De igual forma se utilizó el espacio de color YCbCr en el cual el componente de iluminación (Y) fue de mayor importancia para el análisis debido a que las zonas con las discontinuidades se presentan de un color oscuro, haciéndolo segmentable al modificar el componente de la iluminación quitando los grupos de pixeles los cuales no presentaban mayores valores de

https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.080

Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

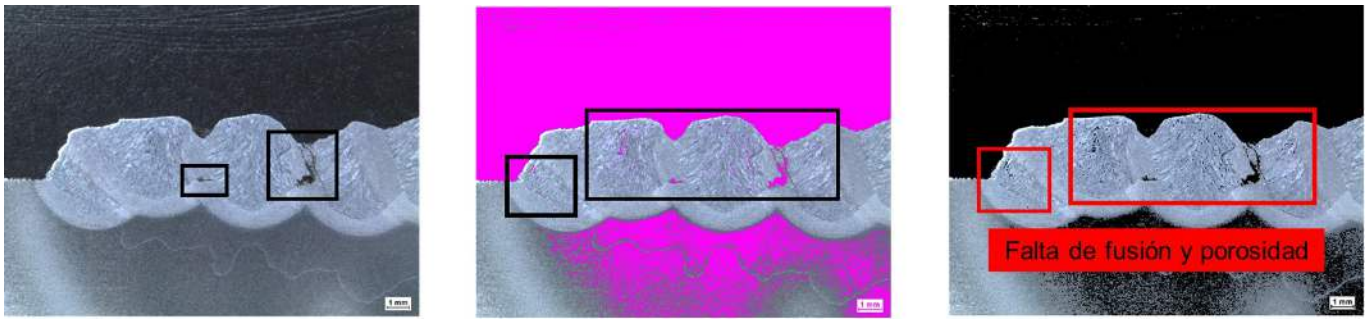


(a) Imagen 1 segmentada en HSV.

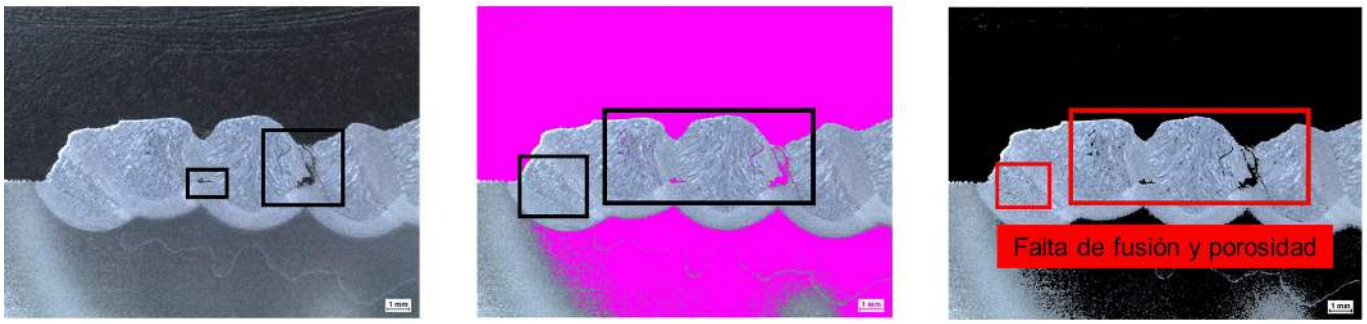


(b) Imagen 1 segmentada en YCbCr.

Fig. 4. Segmentación de la imagen 1 en el espacio de color HSV y YCbCr.



(a) Imagen 2 segmentada en HSV



(b) Imagen 2 segmentada en YCbCr

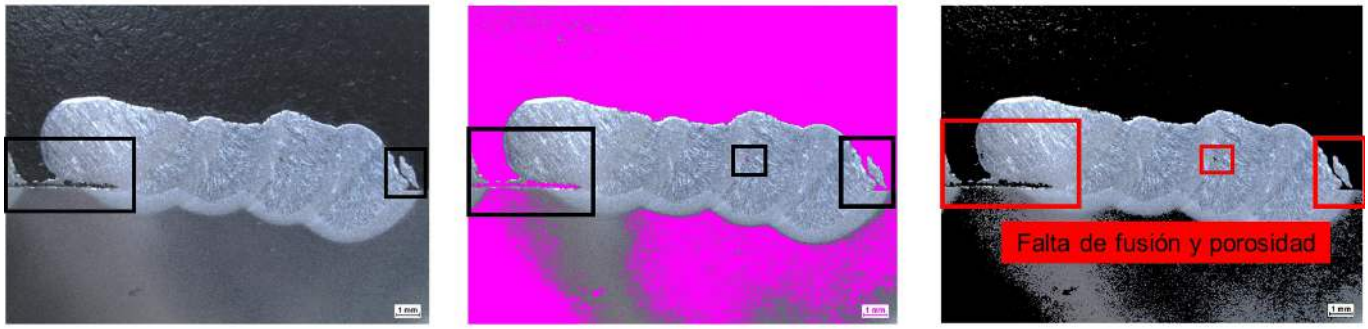
Fig. 5. Segmentación de la imagen 2 en el espacio de color HSV y YCbCr.

esta característica. Este tipo de características, las cuales fueron se suma importancia (como la saturación, el valor del color o la iluminación) son casi imperceptibles para el ojo humano, debido a que involucran valores los cuales se obtienen mediante la digitalización y procesamiento posterior de la imagen. Logrando el potencial de una herramienta cualitativa para determinar la calidad del método de soldadura empleado, así como las adecuadas características del entorno de trabajo.

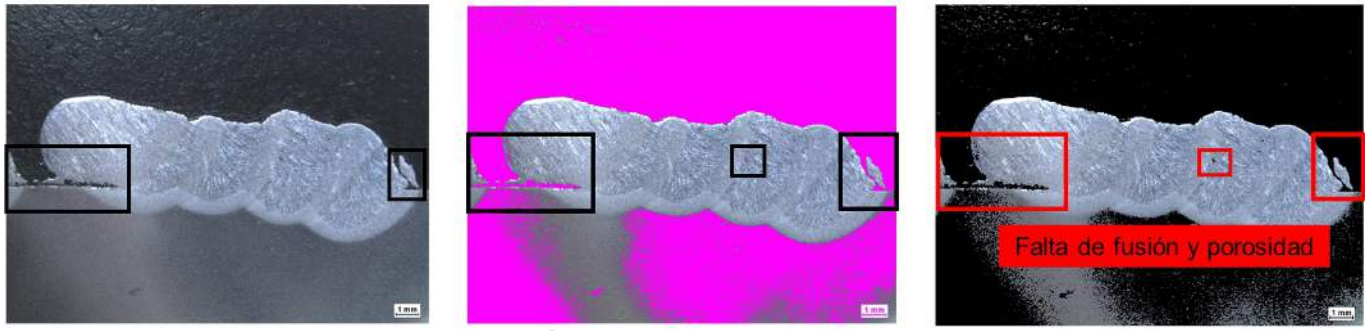
En comparación con la macrografía de la Figura 2 en las micrografías de las Figuras 4 a 7, se pueden observar diversos defectos en la soldadura algunos de los cuales son falta de fusión y porosidades vistas incluso a simple vista,

https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.080

Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

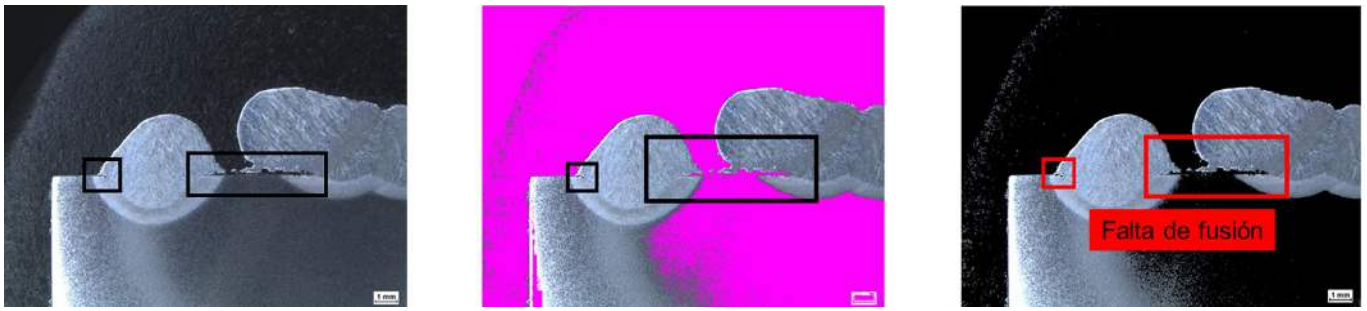


(a) Imagen 3 segmentada en HSV.

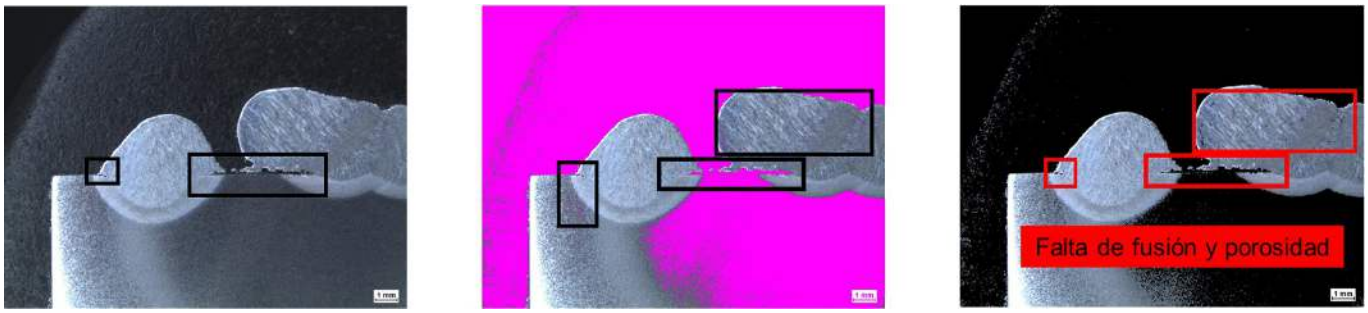


(b) Imagen 3 segmentada en YCbCr.

Fig. 6. Segmentación de la imagen 3 en el espacio de color HSV y YCbCr.



(a) Imagen 4 segmentada en HSV



(b) Imagen 4 segmentada en YCbCr

Fig. 7. Segmentación de la imagen 4 en el espacio de color HSV y YCbCr.

sin embargo hay diversas porosidades, como las mostradas en la Figura 6 en las cuales no se notaron antes del análisis de color.

5. CONCLUSIONES

Se pudo observar que los espacios de color más adecuados son HSV y YCbCr, ya que con ellos se logró realizar una mejor segmentación de las discontinuidades en las micrografías (mostrado en las Figuras 4 a 7), al igual que

https://doi.org/10.58571/CNCA.AMCA.2024.080

Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492

ayudó a percibir las porosidades que a simple vista no se pueden observar. Este método puede ser utilizado a futuro para la clasificación de defectos en soldadura de acuerdo con estándares internacionales, además de que se puede utilizar para distintos tipos de discontinuidades.

Mediante el análisis de color se identificaron principalmente porosidades en las lineas de soldadura las cuales no eran visibles a simple vista, por lo cual el desarrollo de un algoritmo con los parámetros necesarios para detectar estas discontinuidades ofrece una herramienta más útil para el inspector de calidad en soldadura.

Como trabajo a futuro de acuerdo a los resultados que se obtuvieron en esta investigación, se busca que el algoritmo no solo detecte las discontinuidades y defectos de la soldadura, si no que pueda medir el área de las mismas. Así mismo de poder identificarlas de acuerdo al defecto que se presente, además, como una herramienta auxiliar a la capacitación de soldadura, se busca que el algoritmo pueda dar una explicación a las causas de los defectos así como la forma de corregirlos para que no vuelvan a presentar algún problema en futuras soldaduras. Esto será posible mediante el entrenamiento de una red neuronal con los algoritmos de los datos anteriores, para que no exista la necesitad de modificar los parámetros en los análisis de acuerdo a la imagen sometida, y que sea de forma automática sin importar el tipo de irregularidades presentes.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Coahuila y a InnovaBienestar de México ya que sin su apoyo no habría sido posible el desarrollo de esta investigación.

REFERENCES

Ayoola, A., Babalola, R., Durodola, B., Alagbe, E., Agboola, O., and Adegbile, E. (2022). Corrosion inhibition of a36 mild steel in 0.5 m acid medium using waste citrus limonum peels. *Results in Engineering*, 15, 100490.

Bastidas-Rodriguez, M.X., Prieto-Ortiz, F., and Espejo, E. (2016). Fractographic classification in metallic materials by using computer vision. *Engineering Failure Analysis*, 59, 237–252.

Bora, D.J., Gupta, A.K., and Khan, F.A. (2015). Comparing the performance of l* a* b* and hsv color spaces with respect to color image segmentation. *arXiv preprint arXiv:1506.01472*.

Chai, J., Zeng, H., Li, A., and Ngai, E.W. (2021). Deep learning in computer vision: A critical review of emerging techniques and application scenarios. *Machine Learning with Applications*, 6, 100134.

Chaves-González, J.M., Vega-Rodríguez, M.A., Gómez-Pulido, J.A., and Sánchez-Pérez, J.M. (2010). Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study. *Digital signal processing*, 20(3), 806–823.

Chung, S.W. and Hyun, J.H. (2021). Methodological approach of evaluation on prefabrication primers for steel structures. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 13, 707–717.

Di Schino, A. and Testani, C. (2020). Corrosion behavior and mechanical properties of aisi 316 stainless steel clad q235 plate. *Metals*, 10(4), 552.

Grantham, J.A. and McLay, R.W. (2019). Chapter 14 - engineering standards in weld failure. In R.W. McLay and R.N. Anderson (eds.), *Engineering Standards for Forensic Application*, 189–198. Academic Press. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813240-1.00014-5.

Hernandez-Flores, J.E., Rodriguez-Vargas, B.R., Stornelli, G., Pérez, A.F.M., García-Vázquez, F.d.J., Gómez-Casas, J., and Di Schino, A. (2023). Evaluation of austenitic stainless steel er308 coating on h13 tool steel by robotic gmaw process. *Metals*, 14(1), 43.

Hsu, C.H., Chen, T.C., Huang, R.T., and Tsay, L.W. (2017). Stress corrosion cracking susceptibility of 304l substrate and 308l weld metal exposed to a salt spray. *Materials*, 10(2), 187.

Javadi, Y., Mohseni, E., MacLeod, C.N., Lines, D., Vasilev, M., Mineo, C., Foster, E., Pierce, S.G., and Gachagan, A. (2020). Continuous monitoring of an intentionally-manufactured crack using an automated welding and in-process inspection system. *Materials Design*, 191, 108655. doi: https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108655.

Ji, Q. (2020). 5 - computer vision applications. In Q. Ji (ed.), *Probabilistic Graphical Models for Computer Vision*, 191–297. Academic Press, Oxford.

Miranda-Pérez, A.F., Rodríguez-Vargas, B.R., Calliari, I., and Pezzato, L. (2023). Corrosion resistance of gmaw duplex stainless steels welds. *Materials*, 16(5), 1847.

Sajid, H.U. and Kiran, R. (2018). Influence of corrosion and surface roughness on wettability of astm a36 steels. *Journal of Constructional Steel Research*, 144, 310–326.

Singhal, T.S. and Jain, J.K. (2020). Gmaw cladding on metals to impart anti-corrosiveness: Machine, processes and materials. *Materials Today: Proceedings*, 26, 2432–2441.

Tang, X., Zhang, S., Cui, X., Zhang, C., Liu, Y., and Zhang, J. (2020). Tribological and cavitation erosion behaviors of nickel-based and iron-based coatings deposited on aisi 304 stainless steel by cold metal transfer. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(3), 6665–6681.

Zhang, S., Hou, P., Kang, J., Li, T., Mooraj, S., Ren, Y., Chen, C.H., Hart, A.J., Gerasimidis, S., and Chen, W. (2023). Laser additive manufacturing for infrastructure repair: A case study of a deteriorated steel bridge beam. *Journal of Materials Science & Technology*, 154, 149–158.

 Copyright© AMCA, ISSN: 2594-2492