

## CARACTERIZACIÓN MICROESTRUCTURAL DE LA SOLDADURA MIG EN LÁMINAS DE ACERO AISI 1015 GALVANIZADO

R. Gutiérrez\*, J. Hernández

Departamento de Ing. Metalúrgica. Universidad Nacional Experimental Politécnica. UNEXPO, Barquisimeto, Venezuela.

\*Autor de correspondencia, e-mail: rigelg16@gmail.com, tlf: +58 4145480250.

Recibido: Noviembre 2016. Aprobado: Mayo 2018.

Publicado: Junio 2018.

### RESUMEN

Las uniones soldadas en aceros galvanizados generan la destrucción de este recubrimiento en el acero, disminuyendo la resistencia a la corrosión. El objetivo de esta investigación es analizar microestructuralmente la soldadura MIG sobre láminas de acero AISI 1015 galvanizado, utilizando diferentes materiales de aporte: AWS ERCuSi-A y AWS ER70S-6. Se utilizaron láminas de acero AISI 1015 galvanizadas por electrodeposición de 2,5 mm de espesor; utilizando como gas de protección una mezcla 75 % Ar – 25 % CO<sub>2</sub>. Las muestras fueron caracterizadas por microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectrometría de rayos X (EDX), además se realizó un perfil de dureza en las soldaduras. Microestructuralmente, la zona de fusión del material de aporte AWS ER70S-6 presentó una morfología mixta de dendritas columnares y equiaxiales y la zona afectada por el calor, presenta granos equiaxiales de mayor tamaño con respecto a la ZF. En las soldaduras con material de aporte AWS ERCuSi-A se evidenció, en la zona de fusión, una matriz de solución sólida  $\alpha$ Cu con precipitados de segunda fase de Fe-Cu-Si, y en la ZAC granos de ferrita y perlita; se destaca la presencia de una interfase entre la zona de fusión y la zona afectada por el calor. En los perfiles de dureza, se evidenció que la soldadura con material de aporte AWS ER70S-6 presentó mayor dureza en la zona de fusión. Se concluye que el material de aporte utilizado en las soldaduras MIG de láminas galvanizadas influye significativamente en las microestructuras y durezas de las mismas, ambos materiales de aporte son aceptables para este tipo de soldadura en la industria automotriz, de construcción, entre otras siendo el más recomendado el material de aporte AWS ER70S-6 debido a la heterogeneidad de la unión.

**Palabras Clave:** Galvanizado, soldadura MIG, AWS ERCuSi-A, AWS ER70S-6.

### CHARACTERIZATION MICROSTRUCTURAL MIG WELDING IN SHEETS AISI 1015 STEEL GALVANIZED

#### ABSTRACT

Soldered joints galvanized steels generate the destruction of this coated steel, decreasing the corrosion resistance. The aim of this research is to analyze microstructural MIG welding of AISI 1015 steel sheets galvanized using different filler materials: AWS ERCuSi-A and AWS ER70S-6. AISI 1015 steel sheets electroplated galvanized 2.5 mm thick were used; using shielding gas 75% Ar-25% CO<sub>2</sub> mixture. The samples were characterized by optical microscopy (OM), scanning electron microscopy (SEM) and X-ray spectrometry (EDX), also a profile of hardness was performed in the welds. Microstructural, the fusion zone of the filler material AWS ER70S -6 presented a mixed morphology of columnar dendrites and equiaxed and heat affected zone presents larger equiaxed grains with respect to the ZF. In welds with filler materials AWS ERCuSi-A evidenced, in the fusion zone, an matrix of solid solution  $\alpha$ Cu with second phase precipitates of Fe-Cu-Si, and in the HAZ grain ferrite and pearlite; the presence of an interphase between the fusion zone and heat affected zone is highlighted. In the hardness profiles, it was clear that the welding filler material AWS ER70S-6 had higher hardness in the fusion zone. It is concluded that the filler used in MIG welding galvanized sheets significantly affects the microstructures and hardnesses of them, both materials of contribution are acceptable for this type of welding in the automotive industry, construction, among others being the most recommended the contribution material AWS ER70S-6 due to the heterogeneity of the union.

**Keywords:** Galvanized, MIG welding, AWS ERCuSi-A, AWS ER70S-6.

## INTRODUCCIÓN

Los aceros galvanizados son materiales resistentes a la corrosión utilizados en diversas industrias, ya que tienen una gran vida útil, bajo costo de mantenimiento, son fáciles de pintar, entre otras ventajas; sin embargo, la fabricación de piezas en acero galvanizado mediante uniones soldadas requiere el control exhaustivo del proceso de soldadura, ya que durante su ejecución se podría generar la vaporización del cinc, ocasionando la pérdida total o parcial del recubrimiento.

El recubrimiento de cinc comienza a fundirse alrededor de los 420 °C y a evaporarse a los 906 °C aproximadamente, lo que conlleva a la posible destrucción del recubrimiento durante la soldadura, originando posteriormente la disminución de la resistencia a la corrosión, limitando su uso en la industria. Estas características lo hacen poco apropiado para procesos de soldaduras convencionales, ya que la vaporización del cinc puede provocar porosidad, fusión incompleta, grietas, salpicaduras y una disminución en las propiedades mecánicas de la junta soldada.[1]

En la actualidad existen diversos procesos de soldadura de láminas de acero galvanizado, entre los que se encuentra la soldadura MIG (Metal Inert Gas). En este proceso se requiere un material de aporte. La norma AWS B2.1 [2] recomienda como material de aporte para la soldadura MIG de acero galvanizado, el AWS ER70S-6 utilizado tradicionalmente, sin embargo en diversos trabajos de investigación se ha utilizado como material de aporte el AWS ERCuSi-A [3-7] una aleación de bronce-silicio, la cual requiere menor energía para su fusión en el proceso de soldadura; lo que trae como ventaja menores temperaturas de trabajo y la posibilidad de preservar el recubrimiento de cinc.

En vista de lo anterior, el objeto de esta investigación es determinar la influencia sobre la microestructura de los materiales de aporte AWS ERCuSi-A y AWS ER70S-6 en la soldadura MIG de láminas galvanizadas por electrodeposición.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La electrodeposición de las láminas de acero AISI 1015 de 2,5 mm de espesor se efectuó en la empresa Galvánica Carabobo, C.A. ubicada en la ciudad de Valencia, Venezuela. Las etapas contempladas en el proceso de electrogalvanizado, se observan en la Figura 1.

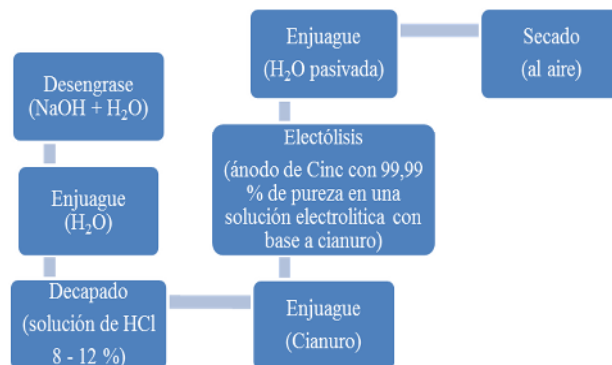


Fig. 1. Etapas de la electrodeposición.

Los parámetros de soldadura MIG para el material de aporte AWS ER70S, se establecieron según las recomendaciones de la norma AWS B2.1 [2] y se realizaron pruebas piloto para determinar los parámetros de soldadura idóneos para el material de aporte AWS ERCuSi-A, según las recomendaciones de otras investigaciones [3-7]. Los parámetros de soldadura utilizados para ambos materiales de aporte se pueden observar en la Tabla 1.

Se realizó un corte transversal a las soldaduras para realizar la preparación metalográfica según la norma ASTM E-3 [8]. La caracterización microestructural se realizó mediante microscopía óptica (MO), microscopía electrónica de barrido (MEB) y espectroscopía EDX. Los perfiles de dureza en las muestras soldadas se realizaron con un microdurómetro Vickers aplicando una carga de 100 g, tomando mediciones de microdureza desde el material base hacia el centro de la soldadura en la zona de fusión, pasando por la zona afectada por el calor hasta

el otro extremo, con una separación en cada medición de 150  $\mu\text{m}$ .

**Tabla 1.** Parámetros de soldadura para los materiales de aporte AWS ER70S y AWS ERCuSi-A.

| Material<br>aporte<br>Parámetro | AWS<br>ER70S-6      | AWS<br>ERCuSi-A     |
|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| Corriente de soldadura (A)      | 105 - 115           | 68 - 75             |
| Voltaje del arco (V)            | 19                  | 19                  |
| Velocidad de avance (mm/s)      | 4                   | 4                   |
| Caudal del gas (l/h)            | 10                  | 10                  |
| Extensión electrodo (mm)        | 10                  | 10                  |
| Orientación del electrodo       | Izquierda a derecha | Izquierda a derecha |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

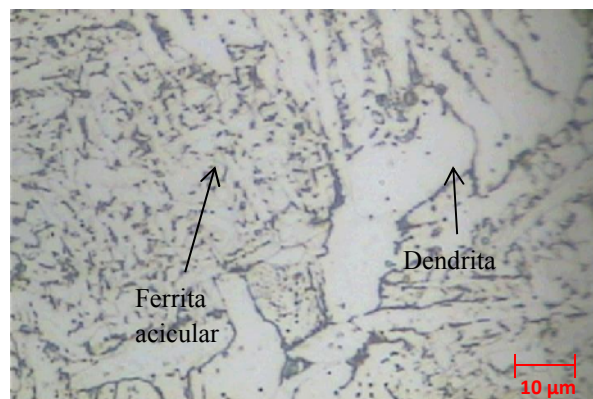
El espesor del recubrimiento de cinc se determinó mediante microscopía óptica, se determinó un tamaño del recubrimiento de 19  $\mu\text{m}$ .

En la Figura 2 se puede observar una micrografía óptica de la soldadura utilizando el material de aporte AWS ER70S-6, se muestra la zona de fusión (ZF) de ferrita con morfología de tipo dendrítica y acicular, estos tipos de morfología son típicos de la zona de fusión en soldadura de acero de bajo carbono, donde el material de aporte tiene composición química similar al material base, ver Tabla 2. Adyacente a la ZF se encuentra la zona afectada por el calor (ZAC) la cual está constituida por granos de ferrita con una morfología equiaxial de mayor tamaño con respecto a la ZF debido a la exposición a altas temperaturas, superiores a las temperaturas de austenización, por un tiempo prolongando por lo que

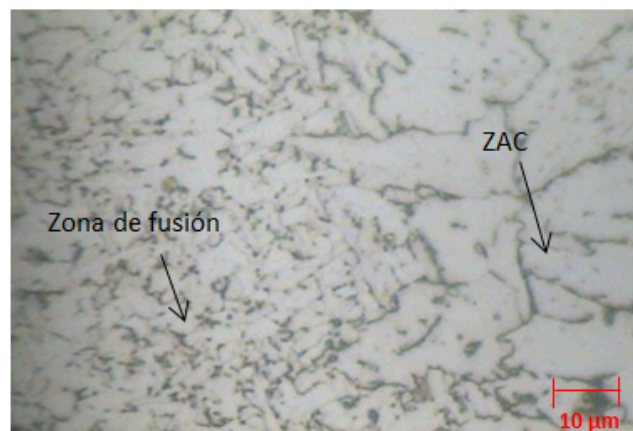
aumenta el tamaño del grano en esta zona. En la Figura 3 se observa la intercara entre la ZF y la ZAC.

**Tabla 2.** Composición química de material de aporte

| AWS ER70S-6                 | AWS ERCuSi-A              |
|-----------------------------|---------------------------|
| <i>Silicio = 1,1%</i>       | <i>Silicio = 3%</i>       |
| <i>Carbono = 0,1%</i>       | <i>Estaño = &lt; 1,5%</i> |
| <i>Manganeso = 1,7%</i>     | <i>Manganeso = 0,5%</i>   |
| <i>Azufre = 0,035% máx.</i> | <i>Hierro = &lt; 0,5%</i> |
| <i>Fósforo = &lt; 0,02%</i> | <i>Otros = &lt; 0,5%</i>  |
|                             | <i>Cobre = resto</i>      |



**Fig. 2.** Micrografía óptica de la soldadura con material de aporte AWS ER70S-6, donde se muestra la zona de fusión (ZF). Atacada con Nital al 2 %.

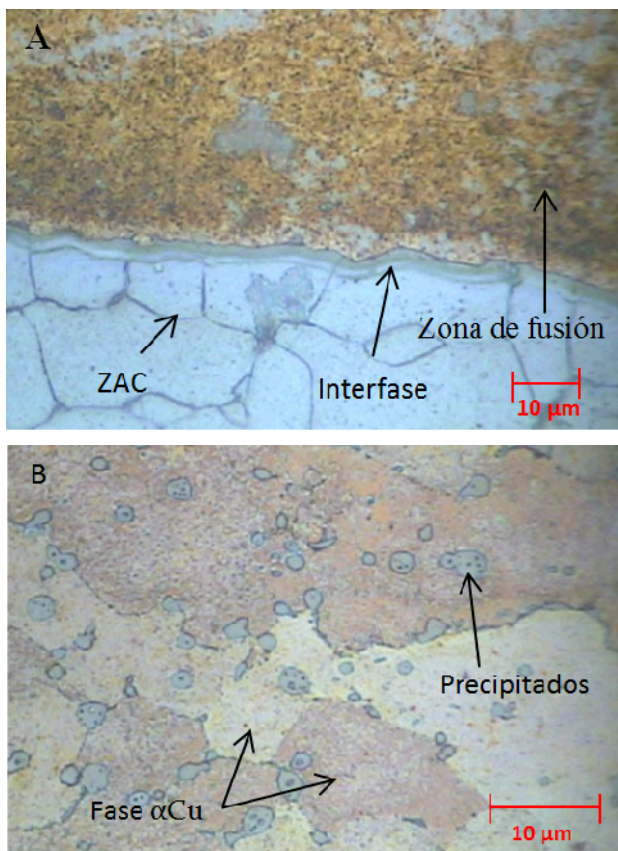


**Fig. 3.** Micrografía óptica de la soldadura con material de aporte AWS ER70S-6, donde se muestra la intercara entre la zona de fusión (ZF) y la zona afectada por el calor (ZAC). Atacada con Nital al 2 %.

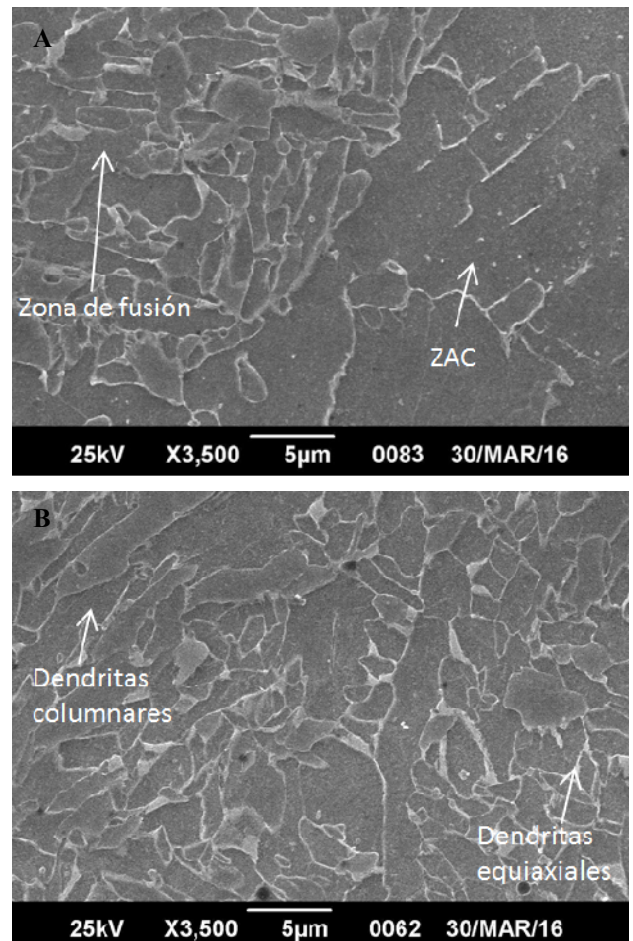


En la Figura 4A se observa una interfase formada entre la zona de fusión (material de aporte AWS ERCuSi-A) y la ZAC, esta interfase posiblemente se ha formado debido a la interdifusión entre los elementos químicos del material base (Básicamente Fe) y los elementos químicos del material de aporte (Cu y Si).

En la Figura 4B se observa una micrografía óptica de la soldadura con material de aporte AWS ERCuSi-A, de la zona de fusión constituida por una solución sólida  $\alpha\text{Cu}$  y precipitados de segunda fase de composición química Fe-Cu-Si, ya que son los elementos presentes en el material de aporte y el material base. Se estima, al observar el diagrama de fase Cu-Si, que la matriz de la zona de fusión sea monofásica de la solución sólida  $\alpha\text{Cu}$ .

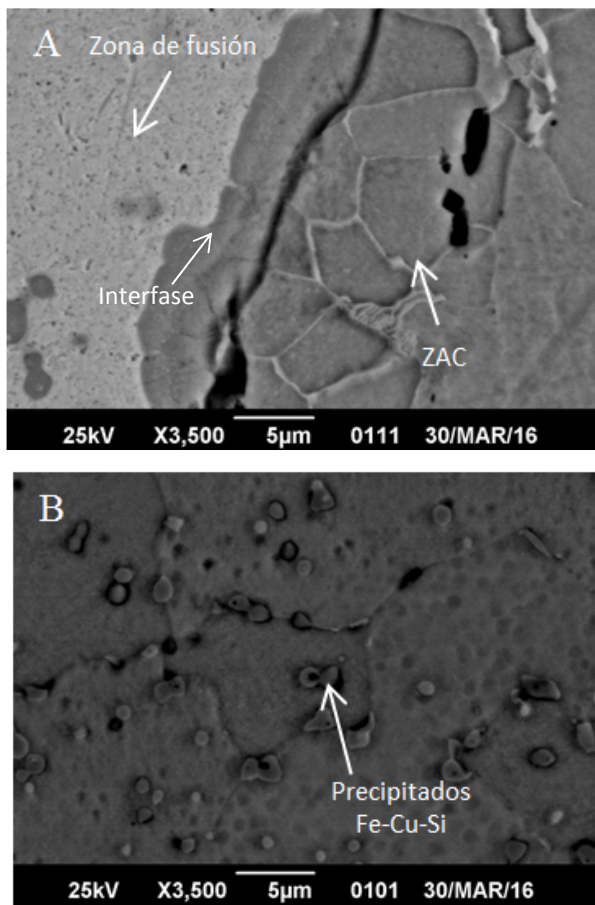


La Figura 5A, muestra una micrografía por MEB de la soldadura con el material de aporte AWS ER70S-6, donde se distingue el área de transición entre la zona de fusión, con dendritas columnares y la zona afectada por el calor, con granos equiaxiales de mayor tamaño con respecto a la ZF por lo explicado anteriormente. En la Figura 5B se observa una morfología mixta de dendritas columnares y equiaxiales en la zona de fusión, las altas temperaturas de trabajo y la diferencia en la velocidad de enfriamiento, origina en algunos casos, el crecimiento simultaneo de dendritas columnar y dendritas equiaxiales.



**Fig. 5.** Micrografía por MEB de la soldadura con material de aporte AWS ER70S-6, (A) Intercara entre la zona de fusión (ZF) y la zona afectada por el calor (ZAC). (B) Zona de fusión.

En la Figura 6A se observa micrografía por MEB de la zona de fusión de la soldadura con material de aporte AWS ERCuSi-A, la zona afectada por el calor (ZAC) constituida por granos de ferrita equiaxial y perlita en los límites de grano; y la interfase. El microanálisis químico por EDX realizado en la interfase (ver Figura 7) reveló que la zona de la interfase más próxima al material base presenta mayor contenido de hierro que la zona adyacente al material de aporte, y que ésta última posee mayor cantidad de cobre y silicio; la heterogeneidad en la composición química de la interfase se debe al reducido tiempo de difusión que se tiene en el proceso de soldadura.



En la Figura 6B se visualiza que la zona de fusión está constituida por granos dendríticos equiaxiales y

precipitados de segunda fase. Mediante el microanálisis químico por EDX realizado en la zona de fusión (Ver Figura 8), se pudo constatar que son precipitados básicamente Fe-Cu-Si. Las altas temperaturas del arco de soldadura, funde rápidamente el material de aporte y el material base que está en contacto directo con él también lo hace, por lo que mientras mayor es el tiempo de soldadura mayor es la disolución del material base en la aleación de cobre. El hierro del material base se disuelve en el baño de soldadura; pero cuando se satura de hierro el baño de soldadura, éste último reacciona con el cobre y el silicio formando compuesto Fe-Cu-Si.

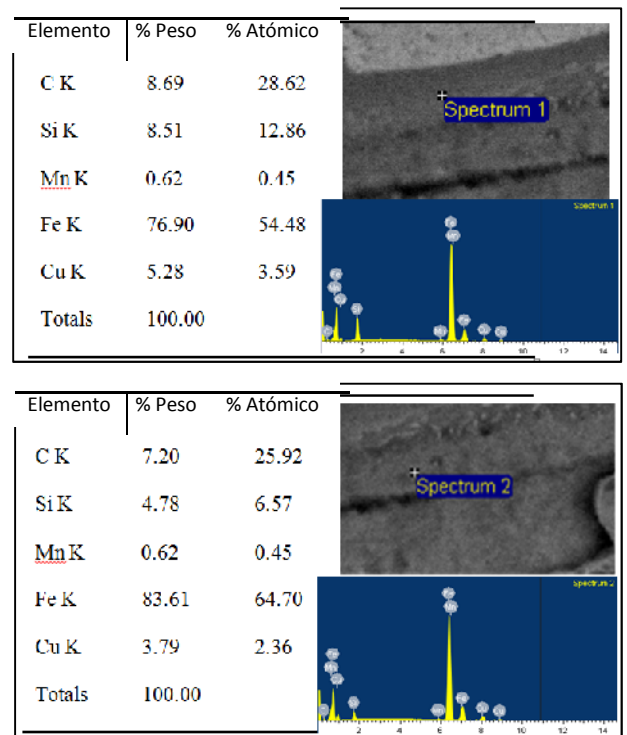
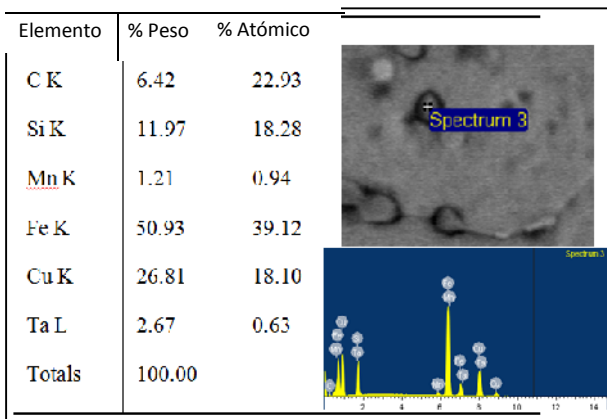


Fig. 7. Microanálisis químico por EDX de la interfase en la soldadura con el material de aporte AWS ERCuSi-A.

Tanto en la Figura 5A como en la Figura 6A, se pueden evidenciar los cambios microestructurales producto de los diferentes materiales de aporte utilizados en la soldadura. En el caso del material de aporte AWS ER70S-6, como se dijo anteriormente, existe una similitud con la composición química del material base (acero AISI 1015) lo que origina una continuidad la ZAC y la ZF, caso contrario a lo observado en la Figura 6A

donde debido a la diferencia de la composición química del material de aporte AWS ERCuSi-A (ver Tabla 2) con el material base, se origina una interfase entre la ZF y ZAC, también se puede distinguir en la Figura 4A. A su vez, se observa una diferencia en el tamaño de grano de ferrita equiaxial en la ZAC siendo de mayor tamaño en la soldadura con el material de aporte AWS ER70S-6 con respecto al AWS ERCuSi-A debido a que la corriente de soldadura es mayor (ver Tabla 1), lo que se traduce en un incremento en la temperatura durante el proceso de soldadura y por ende, un aumento en el tamaño de grano.

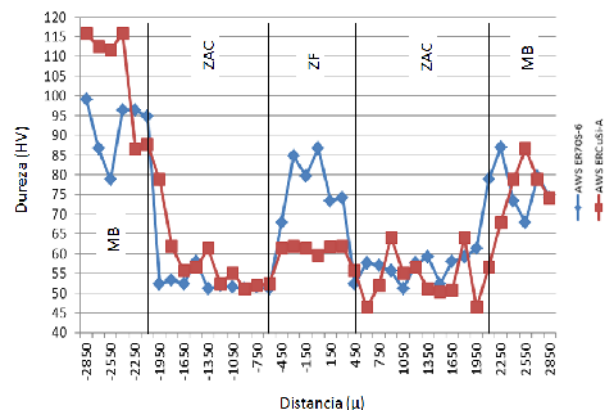


**Fig. 8.** Microanálisis químico por EDX de la matriz y precipitados Fe-Cu-Si, en la zona de fusión de la soldadura con el material de aporte AWS ERCuSi-A.

Con respecto a los perfiles de dureza de las soldaduras, en la Figura 9 se observa el gráfico de los mismos con los diferentes materiales de aporte, en él se muestra que la zona de fusión del material de aporte AWS ER70S-6 (aleación ferrosa) tiene mayor dureza, lo cual coincide con la teoría ya que esta aleación tiene mayor resistencia a la tracción que el material de aporte AWS ERCuSi-A (aleación no ferrosa). Por otro lado, en la ZAC se observa una similitud entre los valores de dureza de ambos materiales de aporte y en ambos lados de la ZAC, aunque se aprecia que el material de aporte AWS ERCuSi-A tiene, en la ZAC de la izquierda de la soldadura, mayor dureza producto del precalentamiento que se le dio a las probetas antes de la soldadura ya que este no fue

uniforme, en cuanto a la temperatura suministrada (no se pudo medir); además de que el mismo se realizó con soplete y por pasadas, lo que pudo generar que algunas zonas de la muestra se calentaran más que otra originando esta diferencia de dureza.

Por otra parte, se aprecia que el ancho de la ZAC para ambos materiales de aporte es similar con un promedio aproximado de 1,39 mm para el AWS ER70S-6 y de 1,40 mm para el AWS ERCuSi-A. Seguidamente a esta zona se encuentra el material de aporte, el cual muestra que las durezas máximas están a los extremos de ésta en ambos casos y la dureza mínima esta adyacente a la ZAC. La mayor diferencia se observa en el material base del lado izquierdo de la junta soldada en los dos materiales de aporte pero mayormente en el AWS ERCuSi-A, esto debe ser producto de lo explicado anteriormente del precalentamiento.



**Fig. 9.** Perfiles de dureza de las soldaduras con diferentes materiales de aporte.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten establecer las siguientes conclusiones:

La microestructura de la soldadura con el material de aporte AWS ERCuSi-A presenta una ZF conformada por una solución sólida  $\alpha\text{Cu}$  con precipitados Fe-Cu-Si y una ZAC de ferrita equiaxial, con la formación de una

interfase entre la ZF y la ZAC producto de la interdifusión.

La soldadura con material de aporte AWS ER70S-6 presenta una microestructura con una ZF típica de un acero de bajo carbono presentado dendritas columnares y equiaxiales y una ZAC con granos gruesos de ferrita.

Las características microestructurales observadas en las soldaduras con ambos materiales de aporte afectan en gran medida las propiedades mecánicas del material como lo son la dureza y por ende, la resistencia mecánica.

Los dos materiales de aporte son recomendados para la industria automotriz, de construcción, entre otras, pero el más idóneo para este tipo de soldadura es el AWS ER 70S-6 debido a la heterogeneidad de la unión y la mayor dureza con respecto al material de aporte AWS ERCuSi-A.

## REFERENCIAS

- [1] Basak, S., Pal, T., Shome, M. y Maity, J. (2013) “GMA Brazing of Galvanized Interstitial-Free Steel. AWS supplement to the welding journal”. pp.75-85
- [2] American Welding Society (2002). “AWS B2.1: Standard Welding Procedure Specification for Gas Metal Arc Welding of Galvanized Steel”. *International Standard Book Number: 0-87171-675*.
- [3] Viňáš J., Kaščák L. Y Draganovská D. (2012). “Evaluation of corrosion resistance of MIG brazed steel sheets”. *Lebanese Science Journal, Vol. 11, No. 2, 75-85*.
- [4] Joseph A., Webb C., Haramia M. Y Yapp D. (2002). “Variable Polarity (AC) Arc Weld Brazing of Galvanized Sheet”. IIW Doc. XII-1779-03. pp. 7-17.
- [5] Rui-Feng L., Zhi-Shui Y. Y Kai Q. (2006). “Interfacial structure and joint strengthening in arc

brazed galvanized steels with copper based filler”. pp. 6 – 11.

- [6] Varol F., Ozsarac U., Aslanlar S., Onat A., Ekici M., Ferik E. (2016). “Influence of current intensity and heat input in MIG-Brazed joints of DP 600 thin zinc coated steel plates”. pp. 968 – 971.
- [7] Makwana P., Shome M., Goecke S., D (2016). “Gas metal arc brazing of galvanized steel sheets SCI TECHNOL WELD JOI”. pp. 600 – 606.
- [8] American Society for Testing and Materials, (2001). “Norma ASTM E-3. Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens”, Vol. 03.