

## Influencia del ángulo de bisel en la soldadura a tope de un acero ASTM A 36 soldado con electrodo revestido\*

**Alexandre Nascimento Ngaca**

[angaca@mecanica.ismm.edu.cu](mailto:angaca@mecanica.ismm.edu.cu)

**Tomás Fernández Columbié**

[tfernandez@ismm.edu.cu](mailto:tfernandez@ismm.edu.cu)

Universidad de Moa

**Resumen:** Se determinó la influencia del ángulo de bisel en la soldadura a tope de un acero ASTM A 36 soldado con electrodo revestido del tipo E 7018 con diámetro de 4 mm. Se soldaron planchas de 14 mm de espesor, con preparación de bordes a 30° y 35°, respectivamente. Luego de realizada la unión, con microscopía óptica y procesamiento de imágenes se determinó las variaciones en la zona fundida, la afectada por el calor y la interfase de ambos biseles. Se obtuvo que la mejor influencia tiene el ángulo de 35°, por una microestructura similar a la del metal al tener un enfriamiento más lento. Las estructuras del bisel de 30°, son de una matriz ferrítica-perlítica, la ferrita acicular en la zona fundida y la afectada por el calor y ferrita poligonal, columnar, perlita y bainita en la interfase y en el de 35°, ferrita alotriomórfica y de perlita en la zona fundida y de perlita bandeada y ferrita columnar en la interfase, con dureza desde 115 HV hasta 244 HV para el primero y hasta 224 HV en el segundo ángulo.

**Palabras clave:** ángulo de bisel; ciclo térmico; microestructura.

---

\* Recibido: 2 marzo 2021/ Aceptado: 5 agosto 2021.

## Influence of bevel angle on butt welding of a welded ASTM A 36 steel with coated

**Abstract:** The objective of the work is to determine the influence of the bevel angle in the butt welding of an ASTM A 36 steel welded with a coated electrode of type E 7018 with a diameter of 4 mm. 14 mm thick plates were welded, with edge preparation at 30 and 35° respectively. After the union was made, with optical microscopy and image processing, the variations in the melted zone, the one affected by heat and the interface of both bevels were determined. It was obtained that, the best influence has the angle of 35°, due to a microstructure similar to that of metal as it has a slower cooling. The structures of the 30° bevel are made of a ferritic-pearlitic matrix, the acicular ferrite in the molten zone and the one affected by heat and polygonal, columnar, pearlite and bainite ferrite in the interface and in the 35°, allotriomorphic ferrite and of pearlite in the molten zone and banded pearlite and columnar ferrite in the interface, with hardness from 115 to 244 HV for the first and up to 224 in the second angle.

**Keywords:** bevel angle; thermal cycle; microstructure.

## Introducción

En el proceso de soldadura ocurren diferentes fenómenos físicos como consecuencia del campo de temperatura, campo de esfuerzos y deformaciones y campo de estado microestructural. Los esfuerzos residuales en las soldaduras tienen un efecto muy significativo en la integridad de las estructuras, componentes y piezas metálicas, debido a que disminuyen la resistencia a la fatiga y resistencia mecánica de los materiales. En ocasiones los cordones de soldadura son mecanizados por condiciones de diseño induciendo posiblemente aún más esfuerzos residuales al material.

Los aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA, *high-strength, low-alloy*) de acuerdo con Shackelford (2005), son aceros microaleados que surgieron en respuesta al requisito de reducción del peso de los vehículos. Son aceros con muy bajo carbono (típicamente por debajo del 0,2 por ciento en peso de C), y alrededor de un porcentaje en peso o menos de elementos tales como Mn, P, Si, Cr, Ni, Mo, y pequeñas cantidades de Nb, V y Ti. Los aceros son laminados en caliente, de forma controlada, para obtener una estructura de grano muy fino, con valores elevados del límite elástico y la resistencia, junto con una baja temperatura de transición dúctil-frágil.

Confirman González-Palma *et al.* (2010) que surgen de la necesidad de conjugar una buena resistencia mecánica sin reducir la soldabilidad, lo que permite una disminución del carbono, compensan el decrecimiento de resistencia que esto implica, con una adición controlada de aleantes que ejerzan una acción directa sobre el mecanismo de crecimiento del grano. La técnica va acompañada de otras, que son utilizadas en el proceso de fabricación, como los procesos termomecánicos de laminación controlada y el de enfriamiento acelerado.

Melgarejo, Ramírez & Aperador (2013) refieren que las principales impurezas que tiene el acero ASTM A36 son el azufre y el fósforo, el primero disminuye la forjabilidad y soldabilidad y lo vuelve quebradizo en caliente y el segundo hace que sea quebradizo, tanto en caliente como en frío. Los porcentajes de silicio y de níquel que son de 0,04 y 0,03, respectivamente; por tener porcentaje bajo hace que no tenga buena resistencia, tenacidad y dureza. La presencia del molibdeno, vanadio, cromo, mejoran las propiedades, pero no mucho ya que los porcentajes en que se encuentran estos elementos son relativamente bajos.

Debido a que la energía involucrada en el proceso de soldadura es muy alta, se tienen afectaciones en los materiales a juntar que se deben tomar en consideración, dado que el arco eléctrico que se forma para poder fundir el material de aporte sobre los 1 400 °C, fluctúa entre los 3 000 °C y los 4 000 °C (Changheui *et al.*, 2010). En juntas soldadas a tope con preparación de bordes, Sun *et al.* (2016) refieren que se debe ubicar en los efectos que resultan en el cambio del ángulo del bisel, el cual resulta insuperable para mejorar, observar e incluso tener control sobre los resultados finales de la unión. Lo anterior trae consigo un adecuado volumen de fusión, una distribución uniforme de la ZAC, penetración efectiva, fusión completa, así como las dimensiones factibles del cordón.

En cuanto a los efectos en la evolución microestructural, refieren Adak, Mukherjee & Pal (2015) que, a mayor ángulo de bisel, la microestructura es similar a la del metal base porque el enfriamiento es más lento y la entrada de calor es menor, pero la ZAC es más ancha. Por otro lado, algunos autores (Miguel *et al.*, 2012 y Xiong *et al.*, 2014) coinciden en plantear que, cuando el ángulo es menor, entonces, las zonas de la soldadura son más marcadas debido a que la intensidad de corriente se eleva para realizar una penetración más efectiva y el cordón tiene un enfriamiento más rápido, así mismo la ZAC es menor, ocasionando que la microestructura tenga fases más duras en la zona térmica y el metal de aporte.

A partir del proceso de transferencia de calor desde el arco de soldadura a la pieza y dentro de la misma se determinan parámetros importantes como la temperatura máxima o pico, el tamaño y la forma de la pileta y de la zona afectada por el calor y las velocidades de enfriamiento del metal base y de la zona afectada por el calor (Reyes-Carcasés *et al.*, 2018).

El objetivo del presente trabajo es establecer la influencia del ciclo térmico de soldadura en la microestructura y la dureza en una unión a tope de penetración completa con ángulo del bisel a 30° y 35° en un acero de alta resistencia y baja aleación A 36 con electrodos revestidos del tipo E 7018.

## Desarrollo experimental

### Composición química de la aleación

La composición química del acero ASTM A 36 se muestra en la Tabla 1, editada por la *American Society for Metals*, refleja la designación adoptada por la AISI y SAE, de la *American Society for Testing Materials* - ASTM y la SAE.

Tabla 1. Composición química del acero ASTM A 36, % en masa

C	Mn	P	S	Cu	Si	Fe
0,26 máx	0,8-0,120	0,040 máx	0,050 máx	0,20 máx	0,40 máx	Resto

Según la composición química se refiere a un acero del tipo hipoeutectoide, donde los elementos fundamentales son el carbono y el manganeso, independientemente de las propiedades que introducen el fósforo y el azufre en el proceso de soldadura. La influencia de los elementos químicos que componen el acero sobre la templabilidad se acostumbra cuantificar a partir de un parámetro conocido como carbono equivalente ( $C_{eq}$ ).

### Procedimiento experimental

Para realizar el proceso de unión de acero ASTM A 36 con biseles a 30° y 35° se realizó una junta a tope con preparación de bordes en simple V, como se muestra en la Figura 1, en planchas de 250x300x14 mm, según recomendaciones de la norma AWS D11.2. Se seleccionó un electrodo de aporte recubierto para soldadura por arco eléctrico. Se empleó los siguientes procedimientos:

1. Preparación del biselado en V previo a la soldadura.
2. Punteado del material.
3. Soldadura.

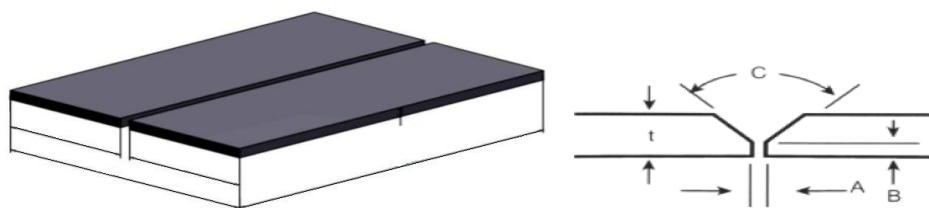


Figura 1. Preparación de la junta, recomendada por la norma AWS D11.2. Fuente: ANSI/AWS D11.2 (1996).

Donde:

T: espesor de la plancha; 14 mm;

C: ángulo del bisel; 30 y 35o;

- A: abertura de raíz; 3 mm;  
B: altura de la garganta; 4 mm.

Se extrajeron muestras del material base, luego de la respectiva preparación, se procedió a realizar el análisis bajo el microscopio de acuerdo con la norma ASTM A 247 (1993).

### Ensayo de microscopía óptica

Para la observación de la microestructura de la probeta patrón, se empleó un microscopio óptico binocular marca NOVEL modelo NIM-100, dotado de una cámara instalada mediante el hardware IMI.VIDEOCAPTURE.exe. Se realizó la observación de una muestra patrón para observar el comportamiento microestructural de la muestra patrón, la cual se empleará para establecer la comparación luego de realizado el proceso de soldadura. La Figura 2 se corresponde con la estructura metalográfica del acero ASTM A 36.

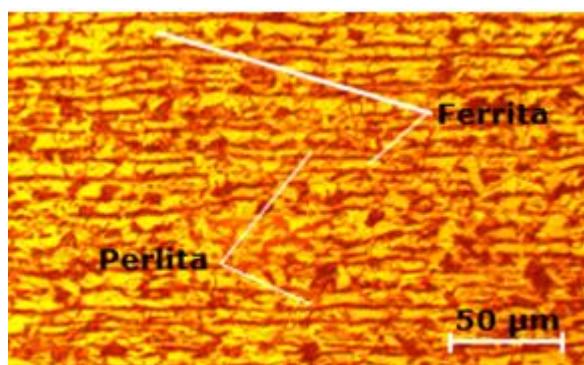


Figura 2. Microestructura del acero ASTM A 36.

La microestructura del acero está compuesta por una estructura de ferrita + perlita. Se observan los granos de ferrita (zonas blancas) y colonias de perlita (zonas oscuras), presentando una estructura bandeada, como resultado del proceso de conformado en caliente de este material. Se seleccionó la zona del metal base, lo más alejado de donde pudiera tener influencia el ciclo térmico de soldadura, el objetivo de este análisis fue obtener una muestra sin afectación en su estructura cristalina que nos permitiera determinar los cambios en la zona fundida y en la zona de influencia térmica.

Las muestras para la observación metalográfica con longitud de 15 x 15 (norma ASTM E 3-95) se prepararon en una fresadora del tipo 6 H 82. El corte se realizó con una fresa de disco marca P 6 M 5 de diámetro 80 mm y 12 dientes. Las probetas se elaboraron con abundante refrigeración, con el objetivo de lograr una superficie con la menor cantidad posible de rugosidad superficial. En la Figura 3 se muestran las muestras obtenidas luego

del proceso de corte, las cuales serán sometidas a los diferentes procesos para la preparación metalográfica. Fueron denominadas M1 y M2.



Figura 3. Muestras obtenidas del proceso de corte.

Al cortar la plancha, para la extracción de las probetas, cada corte proporciona dos secciones transversales de la unión para hacer una inspección visual, en donde se pudo constatar que, en las secciones expuestas no se aprecian defectos como: poros, inclusiones de escoria, agrietamiento, falta de penetración, socavamiento ni exceso de sobremonta, características que indican buena calidad. Todas las probetas luego de ser extraídas de la plancha, se le pulieron los refuerzos de soldadura del cordón de terminación y raíz hasta producir una superficie continua entre ambas planchas unidas.

El pulido se ejecutó según las normas (ISO 9001) con papeles abrasivos (tipo 400, 600 y 800), variando la granulometría del mismo al ser aplicadas a la pieza de trabajo, desde la más gruesa a la más fina. Se empleó pasta abrasiva, añadida sobre discos provistos de paños o motas. Para obtener una superficie lisa y pulida libre de impregnación de impurezas o ralladuras, las muestras se pasaron en una pulidora metalográfica marca MONTASUPAL. Con el objetivo de lograr el acabado final, se utilizó un paño de fieltro.

Para la medición de la dureza, las superficies de las probetas se prepararon igual que para el análisis microestructural (desbaste y pulido). El número de dureza HV se determinó por el tamaño de las huellas. Se realizó para una carga de 50 g, donde se midieron los diámetros de la huella de la punta de diamante penetrada en un tiempo de 15 s, las medidas se tomaron para seis puntos de prueba seleccionados aleatoriamente en las planchas soldadas con ambos biseles.

## Resultados y discusión

### Análisis del comportamiento microestructural de la junta con bisel a 35°

La soldadura permite la fusión de metales o unión metalúrgica debido a que este es un proceso de aporte de metal fundido, el cual, produce excesivo calor y es depositado de forma puntual en los elementos a soldar, lo que crea calentamientos y enfriamientos no

uniformes, ocasiona dilataciones y contracciones, respectivamente. En la Figura 4 se muestran las zonas obtenidas del proceso de soldadura del acero ASTM A 36 con bisel a 35°.

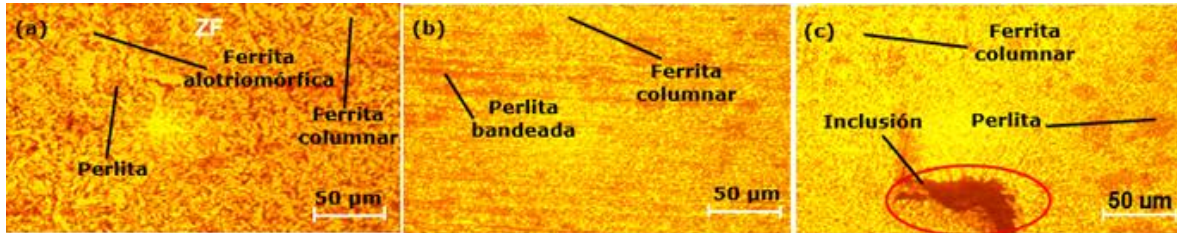


Figura 4 (a) Zona fundida, (b). Zona afectada por el calor, (c). Interfase del cordón.

Por el aporte de calor introducido en las planchas con bisel a 35°, se observa que, en todos los casos existe una solidificación inicialmente con una estructura ferrítica. Luego pasan por una transformación de fase en la cual la austenita primaria y secundaria crece en los bordes del grano de ferrita. Los granos de perlita se descomponen en granos más finos, por lo que presentan coalescencia de perlita. Debido a la insuficiencia en el tiempo de calentamiento, no se produce crecimiento de granos austeníticos y el subsiguiente enfriamiento depone los granos finos de perlita y ferrita alotriomórfica.

En la zona fundida (Figura 4a) se obtuvo la existencia de ferrita alotriomórfica y de perlita producto del proceso de transformación difusional asociado a la austenita y a un enfriamiento relativamente lento ocasionado por las altas temperaturas que se alcanzó en estas planchas y que posteriormente tuvo que disipar. Esta ferrita es la primera fase en formarse al enfriar debajo de la temperatura  $A_{c3}$  nucleando heterogéneamente en los bordes de los granos columnares austeníticos.

La zona afectada por el calor (Figura 4b) está compuestas por perlita bandedada y ferrita columnar, no presentan deformaciones granulares muy significativas, pero se puede observar un crecimiento en el tamaño de grano, lo que sugiere que el aporte térmico de la soldadura fue controlado y eso mantuvo la integridad del material, evitando una transformación y la propagación en grano parcialmente fundido.

En la interfase del cordón (Figura 4c) se observa la transformación de ferrita alotriomórfica a ferrita columnar, ubicándose la perlita en los límites de grano. Lo anterior se presenta por una excesiva elevación de la temperatura cercana a los 1 271 °C. Se puede apreciar la formación de inclusiones de elementos contaminantes, así como la segregación, presumiblemente de carbono.



### Análisis del comportamiento microestructural de la junta con bisel a 30°

El análisis microestructural en la muestra soldada con ángulo de bisel a 30° se muestra en la Figura 5. La Figura 5a se corresponde con la zona fundida, la 5b, la afectada por el calor y la 5c la interfase del cordón.

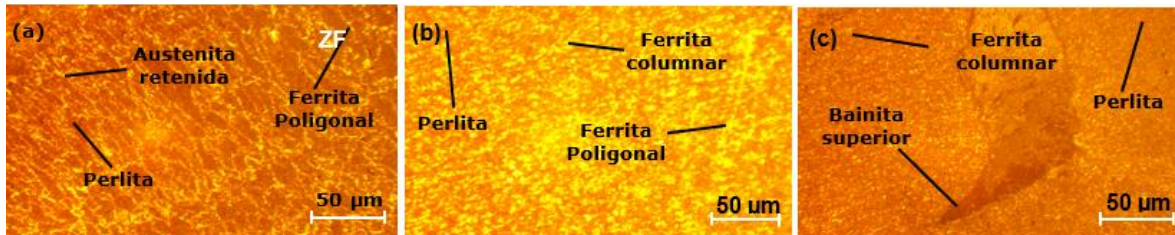


Figura 5(a). Zona fundida. (b). Zona afectada por el calor. (c). Interfase del cordón.

La zona de fusión (Figura 5a) muestra una matriz ferrítica-perlítica con formaciones de ferrita acicular y un crecimiento gradual del tamaño del grano a medida que se acerca a la zona de fusión parcial, se puede observar una estructura de granos gruesos con agujas en forma de cristales entrelazados del tipo ferrita acicular, producida en la última pasada de la soldadura y orientada con el residuo de las dendritas de la primera cristalización. Dentro de esta cristalización también podemos advertir la aparición de ferrita poligonal.

En la zona afectada por el calor (Figura 5b), la microestructura consta de ferrita poligonal, columnar y perlita, encontrando variaciones en el crecimiento del grano adyacente al metal solidificado, mientras que esta variación existió al aproximarse al metal base, encontrando granos más finos en esta zona. La profundidad de penetración, el área de refuerzo y la tasa de deposición, son afectados por la alta velocidad de alimentación del electrodo y la convexidad. La anchura de la ZAC es afectada por la velocidad de alimentación del electrodo; por otro lado, el grano y la ZAC son afectados por la entrada de calor, formando ferrita en el límite de grano con ferrita alineada y pocas colonias de ferrita acicular gruesa, que aumenta con la entrada de calor.

En cuanto a los efectos en la evolución microestructural, tanto para el bisel de 30° y 35°, se observa que, a mayor ángulo la microestructura es similar a la del metal base porque el enfriamiento es más lento, y la entrada de calor es menor, pero la ZAC es más ancha. En un ángulo menor las zonas de la soldadura son más marcadas debido a que la intensidad de corriente se eleva para realizar una penetración más efectiva y el cordón tiene un enfriamiento más rápido. Así mismo la ZAC es menor, ocasionando que la

microestructura tenga fases más duras en la zona térmica y el metal de aporte, según lo reportado por Adak, Mukherjee & Pal (2015).

### Comportamiento de las durezas en las diferentes zonas

Se realizó el perfil de microdurezas en cada zona de la unión soldada con los diferentes ángulos de bisel para 30° y 35°. En la Figura 6 se muestra el comportamiento.

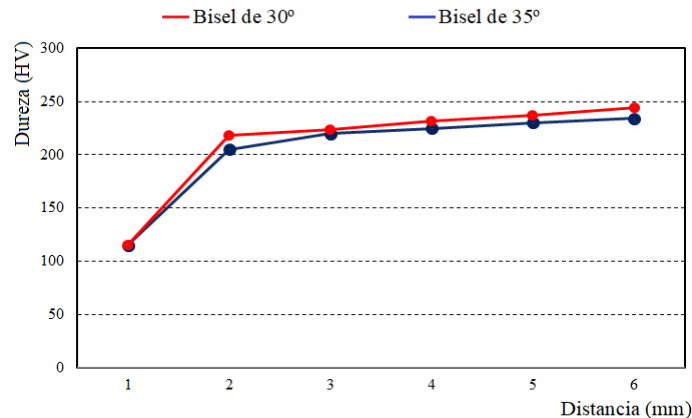


Figura 6. Comportamiento de la dureza para los biselados de 30° y 35°.

Para el bisel de 30° se observa que existe un incremento de la dureza en la zona afectada por el calor con relación al de 35° (desde un valor de 115 HV hasta 244 HV). En el proceso de soldadura, cuando existe menor ángulo, la ZAC es más angosta, se requiere mayor intensidad de corriente por lo que el metal base llega a una temperatura más alta que la de fusión y, por lo tanto, un enfriamiento rápido, con incremento de la dureza (Tham *et al.*, 2012).

En el ángulo de 35° se incrementa desde 115 HV hasta 224 HV, donde se necesita un mayor volumen de fusión, pero es menor debido a que el proceso se realiza en multipasadas, obteniéndose un cordón de mayor dimensión; esto se convierte en un tratamiento térmico de alivio de tensiones. Las propiedades como resistencia a la tracción aumenta debido a la penetración, pero la dureza disminuye, según lo reportado por Kursun (2011). Refiere además, que si la entrada de calor es alta, reduce la resistencia al impacto y aumenta la dureza, así como el tamaño de grano.

### Conclusiones

Se determina que en el acero ASTM A 36, soldado con biselados de 30° y 35° y electrodos E 7018, la mejor influencia tiene el mayor ángulo, debido a que la microestructura es

similar a la del metal por un enfriamiento es más lento, y la entrada de calor es menor, pero la ZAC es más ancha.

Las microestructuras obtenidas en la zona fundida, en la zona de influencia térmica y en la interfase del cordón, para el bisel de 30°, está compuesta por una matriz ferrítica-perlítica, la ferrita acicular en la zona fundida y la afectada por el calor y ferrita poligonal, columnar, perlita y bainita en la interfase y en el de 35°, ferrita alotriomórfica y de perlita en la zona fundida y de perlita bandeada y ferrita columnar en la interfase.

En el barrido de dureza realizado en el ángulo de bisel de 30° existe un incremento desde un valor de 115 HV hasta 244 HV y en el de 35° desde 115 HV hasta 224 HV, donde se necesita un mayor volumen de fusión.

### Referencias bibliográficas

- ADAK, D.; MUKHERJEE, M. & PAL, T. 2015. Development of a direct correlation of bead geometry, grain size and HAZ width with the GMAW process parameters on bead-on-plate welds of mild steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals* 68(5): 839-849.
- AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). 1996. *Welding Handbook*. 8va Ed.
- ASM. 1993. *International handbook*. Volume 6. Welding, brazing, and soldering.
- REYES-CARCASÉS, D.; FERNÁNDEZ-COLUMBIÉ, T.; ALCÁNTARA-BORGES, D. & RODRÍGUEZ-GONZÁLEZ, I. 2018. Soldadura con los electrodos revestidos E 6010 y E 7018 en acero AISI 1025. *Minería y Geología* 34(1): 108-121.
- CHANGHEUI, C.; PYUNG-YEON, K.; MINU, O.; SEUNG-JIN. & JUN-SEOG, Y. 2010. Effects of microstructure and residual stress on fatigue crack growth of stainless-steel narrow gap welds. *Materials and Design* 31(6): 1862-1870.
- GONZÁLEZ-PALMA, R.; MUÑOZ, A.; CAAMAÑO, F. & PORTELA, J. 2010. Ciclo térmico de aceros microaleados de alta resistencia 450 EMZ tipo II en el simulador de soldadura. XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica.
- KURSUN, T. 2011. Effect of the GMAW and the GMAW-P welding processes on microstructure, hardness, tensile and impact strength of AISI 1030 steel joints

fabricated by ASP316L austenitic stainless-steel filler metal. *Archives of Metallurgy and Materials* 56(8): 101-105.

MELGAREJO, M.; RAMÍREZ, C. & APERADOR, W. 2013. Determinación de las causas de falla en la ZAC de un Acero ASTM A 36 soldado por proceso SMAW. *Revista Inge CuC* 9(2): 75-82.

MIGUEL, V.; MARTÍNEZ-CONESA, E. J.; SEGURA, F.; MANJABACAS, M. C. & ABELLÁN, E. 2012. Optimización del proceso de soldadura GMAW de uniones a tope de la aleación AA 6063-T5 basada en la metodología de superficie de respuesta y en la geometría del cordón de soldadura. *Revista de metalurgia* 48(5): 333-350.

SHACKELFORD, J. 2005. *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Sexta ed. Person, Madrid, p. 392-395.

SUN, J.; YAN, Q.; LI, Z. & HUANG, J. 2016. Effect of bevel angle on microstructure and mechanical property of Al/steel butt joint using laser welding-brazing method. *Materials & Design* 90(10): 468-477.

THAM, G.; YAAKUB, M. Y.; ABAS, S. K.; MANURUNG, Y. H. & JALIL, B. A. 2012. Predicting the GMAW 3F T-fillet geometry and its welding parameter. *Procedia Engineering* 84(11): 1794-1799.

XIONG, J.; ZHANG, G.; HU, J. & WU, L. 2014. Bead geometry prediction for robotic GMAW-based rapid manufacturing through a neural network and a second-order regression analysis. *Journal of Intelligent Manufacturing* 25(1): 157-163.