

EFECTO DEL ÁNGULO DE BÍSEL DE UNIONES SOLDADAS POR GMAW ROBOTIZADO EN ACERO AISI 1018

Ing. Yair Ventura Ramírez¹, Dra. Argelia Fabiola Miranda Pérez², Dr. Eduardo Hurtado Delgado³, Dra. Gladys Yerania Pérez Medina⁴ y Dr. Melvin Álvarez Vera⁵

Resumen— En la industria metalmecánica el acero estructural es el más utilizado en componentes que se unen por medio de soldadura. El proceso GMAW robotizado es líder en la industria por la rapidez de los ensambles y el aumento de producción. En estas uniones se presentan defectos con relación directa a la geometría de unión, espesor y parámetros. El objetivo del estudio es el análisis del ángulo de bisel en espesores gruesos y la preparación mecanizada del mismo. Se realiza un set de experimentos con el proceso GMAW robotizado en acero AISI 1018 en espesor de 16 mm evaluando el ángulo de abertura de la unión, se establecen 4 diferentes (30°, 40°, 50°, 60°) y se mantienen los parámetros del proceso. La unión con mejores resultados es la de 30°, presentando una tensión máxima de 294 MPa, una microdureza de 196 Hv y una penetración parcial de 53% del espesor.

Palabras clave—Ángulo de bisel, GMAW robotizado, Efecto de geometría, AISI 1018.

Introducción

El acero ha sufrido grandes modificaciones debido a su demanda de utilización. Los primeros eran de carbono-manganeso, con baja resistencia y alta deformabilidad, esto hace 150 años aproximadamente (Bjorhovde, 2010). Mejorando la tecnología de procesamiento en el año 1900 se logra obtener acero estructural con límite elástico de 220 a 250 MPa, adoptando el nombre de acero suave con una composición química de carbono y manganeso, el contenido de carbono era muy alto por lo que la soldabilidad era difícil (Fruehan, 1998; Harvey, 1982; Lay, 1982). Para el siglo XX se mejora el contenido de carbono, era bajo, adoptando el nombre de acero dulce, en los últimos 30 años se mejora la tecnología de su procesamiento y aumenta su utilidad en las industrias para manufactura de componentes metal-mecánicos (Guthrie & Jonas, 2005; Cházaro & Alvarez, 2014). Para la manufactura de estos componentes se apoyan de la soldadura, el proceso más flexible y adaptable a cualquier tipo de producción es Soldadura por Arco de Metal y Gas (GMAW, por sus siglas en inglés), este proceso surge en 1920 pero está disponible hasta 1948, evolucionando rápidamente y mejorando la operación a bajas densidades de corriente y con corriente pulsada, la aplicación a diversos materiales y el empleo de gases y mezclas de gases activos como el CO₂ (Holliday, 1993). Hoy en día las industrias metal-mecánica buscan el aumento de productividad de soldadura y mecanización de producción, por lo que se inclinan por el GMAW robotizado por la alta eficiencia de deposición, estabilidad del arco, transferencia de material de aporte, calor uniforme, baja salpicadura y bajo costo de operación, siendo el líder en la industria automotriz (Thama, Yaakuba, Abasa, & Yup, 2012; Bhattacharya & Bera, 2014). El proceso GMAW recibe el nombre de acuerdo al tipo de gas de protección a utilizar, en este caso es Metal Gas Inerte (MIG, por sus siglas en inglés). Utilizar un proceso y equipo de esta magnitud necesita cumplir ciertos requerimientos para aprovecharlo al máximo, cuando no se cumple con la calidad de unión siempre se modifican los parámetros del proceso de soldadura esto para mejorar la soldabilidad, pero se omite lo principal que es el diseño de unión. Por lo anterior, la unión soldada se somete a un análisis, Hicks (1999) menciona que debe cumplir con un rendimiento de servicio, soldabilidad de materiales, mínima distorsión, facilidad de aplicación de soldadura, inspección y ensayos no destructivos, posición de la unión en fabricación (Hicks, 2000). El análisis se hace en los 4 tipos de diseño de unión (ver la Figura 1), por lo tanto, el objetivo del trabajo es la unión a tope y su geometría factible en espesores gruesos (ver la Figura 2). La selección de la geometría se hizo por medio de los siguientes criterios que propone el código AWS D1.1 que es aplicable a los aceros al carbono o de baja

¹ Ing. Yair Ventura Ramírez es estudiante de Maestría Tecnología de la Soldadura Industrial en la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Ciencia y Tecnología 790, Saltillo, Coahuila, México yairventura@comimsa.com (autor correspondiente).

² La Dra. Argelia Fabiola Miranda Pérez es Profesora Investigadora en la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Ciencia y Tecnología 790, Saltillo, Coahuila, México argelia.miranda@comimsa.com.

³ El Dr. Eduardo Hurtado Delgado es Profesor Investigador en Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Ciencia y Tecnología 790, Saltillo, Coahuila, México eduardohd@comimsa.com.

⁴ La Dra. Gladys Yerania Pérez Medina es Profesora Investigadora en Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Ciencia y Tecnología 790, Saltillo, Coahuila, México gladysperez@comimsa.com.

⁵ El Dr. Melvin Álvarez Vera es Profesor Investigador en Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, Ciencia y Tecnología 790, Saltillo, Coahuila, México melvin.alvarez@comimsa.com.

aleación: el diseño de unión que requiere menor cantidad de metal de aporte, ranura con penetración parcial si esta satisface los requisitos de resistencia y facilidad de mantenimiento, si la resistencia a la fatiga es menor y no satisface los requerimientos de servicio se una ranura, usar doble “V” en lugar de una para espesores gruesos de placas que minimicen la cantidad de material de aporte depositado y la distorsión resultante, biselar los elementos sujetos a contracción lineal a través de la soldadura y el diseño de unión debe permitir la aplicación de soldadura en el ensamble (Chair, y otros, 2010). Para determinar la geometría el espesor, que es la variable principal, se utiliza un espesor de 16 mm que es considerado espesor grueso, Gong et al (2008) mencionan que para este espesor se debe realizar doble bisel en lugar de uno, permitiendo que el volumen de metal de aporte en la soldadura se reduzca, la entrada de calor y el historial térmico minimicen la distorsión.

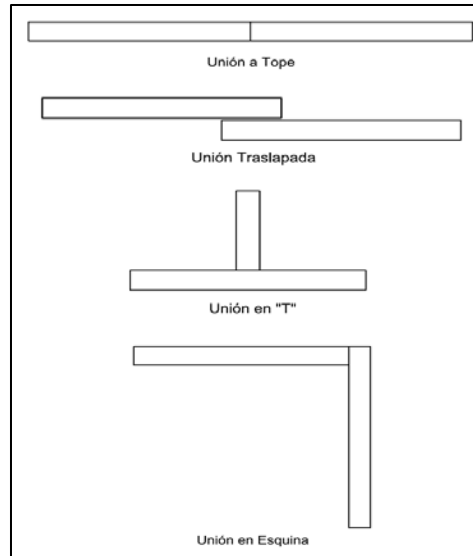


Figura 1. Diseños de uniones soldadas más comunes.

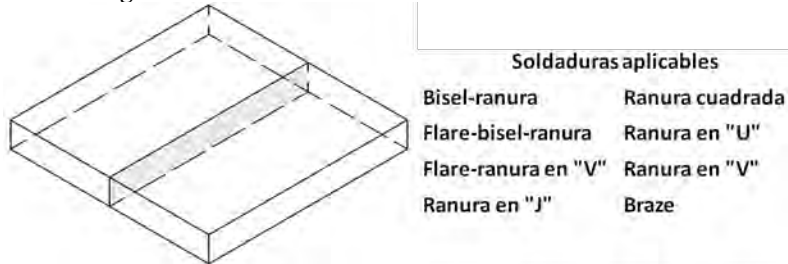


Figura 2. Unión a tope y configuraciones aplicables.

Para la preparación de la unión existen muchos métodos, de acuerdo a la evaluación de estos que realiza Klanšek et al (2007) y Chauyokhi et al (2008), el método que presenta una buena calidad y de bajo costo, es el mecanizado y para espesores de 10-20 mm se recomienda velocidades de 750-500 mm/min, además de obtener los parámetros de soldadura como base para el trabajo, como una intensidad de 130-160 A y un diámetro de electrodo de 1.2-1.6 mm. En la Figura 3, se observan las variables del diseño de unión a tope en “V”, el ángulo de bisel en la unión soldada es interpretado como ángulo de abertura.

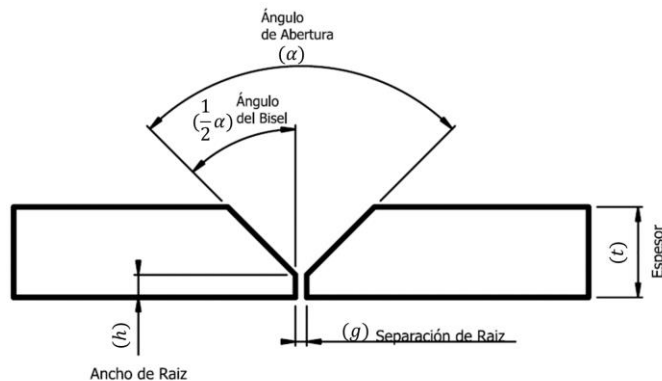


Figura 3. Nomenclatura para la unión en "V".

Los efectos que se presentan con el cambio del ángulo de bisel son directamente al volumen de fusión, distribución uniforme de la Zona Afectada por el Calor (ZAC), penetración efectiva, fusión completa, así como las dimensiones factibles del cordón. Lo anterior es validado con los trabajos de los siguientes autores: Sun et al (2016), la experimentación la hace en un acero al carbono considerando ángulos de bisel completos de 30 y 45° con un electrodo de 1.2 mm de diámetro, como resultados la unión muestra un volumen de fusión uniforme y penetración completa. Adak et al (2015), experimentan en acero al carbono de 9 mm con el proceso GMAW robotizado correlacionando los efectos de los parámetros, de tal manera que se concluye que el ancho y convexidad del cordón son afectados por la entrada de calor, si esta es muy alta disminuye la convexidad para ángulos menores a 20°. Xiong et al (2014), analizan los parámetros del proceso MIG robotizado en acero al carbono de 9.5 mm de espesor y ángulo de bisel 20° concluyendo que con los parámetros óptimos el cordón cumple con las dimensiones, no se presentan defectos y la ZAC es uniforme concentrada al límite de la geometría. Watters et al (2013), hace la experimentación en acero estructural con bisel de 30 y 45° en espesor mayor a 20 mm con doble bisel, y como resultados la ZAC es muy amplia con penetración completa, se muestra un cordón con poco socavado en los límites de la geometría y la distorsión es muy baja. Tham et al (2012), realiza su experimentación en acero al carbono de 6 mm de espesor donde se muestra que con preparación mayor a 45° la ZAC y las dimensiones del cordón no cumplen con las propiedades mecánicas. Objois et al (2012), realiza la experimentación con ángulos de 6, 10, 18, 33 y 45°, evaluando el efecto del ángulo, en el intervalo de 6-18° se observa mejor resistencia a la tensión y menor volumen de fusión por lo que se asume una menor ZAC. McClure et al (2011), la experimentación es en un acero A36 con preparación de 60° de bisel con doble bisel en espesor de 6.35 mm y como efectos se observa que el volumen de fusión es alto con penetración completa y sobredimensionamiento de cordón.

El comportamiento microestructural con la variación de los ángulos es el siguiente: a mayor ángulo la microestructura se asemeja a la del metal base debido a que el enfriamiento es más lento, así mismo la entrada de calor es menor solo que la sección que afecta 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. Las propiedades mecánicas son similares al metal base en el ángulo de bisel de menor tamaño ya que existe mejor fusión debido a que es alta la intensidad de corriente por lo que el metal base llega a una temperatura más alta que la de fusión, y por lo tanto el enfriamiento rápido su dureza es mayor. En el ángulo de mayor tamaño la fusión es menor debido a que el proceso de soldadura actúa para depositar el material de aporte y no para hacer una mejor soldabilidad esto es generado por falta de intensidad de corriente para fundir el metal base, por lo que las propiedades como resistencia a la tracción aumenta debido a la penetración más efectiva pero la dureza disminuye. El estudio se enfoca en el análisis del efecto que causa el ángulo del bisel en una unión a tope con ranura en V, realizado en un acero estructural AISI 1018. El proceso de soldadura seleccionado es el GMAW (MIG) con sistema robotizado.

Descripción del Método

Las actividades inician con el planteamiento de un set de experimentos que propone la cantidad de probetas a trabajar y posteriormente se recibe el material AISI 1018. De acuerdo a la revisión bibliográfica se proponen 4 ángulos de bisel para pruebas, por lo que el material pasa a ser manufacturado realizando los cortes y maquinados según el diseño de unión. Se continuó con el proceso de soldadura MIG robotizado, los parámetros fueron establecidos por un

proyecto alterno. Una vez realizada las uniones del acero AISI 1018, se prepararon las probetas para realizar las pruebas de calidad (inspección visual, líquidos penetrantes, caracterización y prueba de tensión). Y se analizaron los resultados.

(Soto, 2013).

Material

Como se mencionó, el material es acero AISI 1018, la composición química se encuentra en el Cuadro 1 y las dimensiones generales de la placa son de 150 X 100 X 16 mm.

	C	S	Mn	P	Si	Fe
AISI 1018	0.16	0.019	0.72	0.017	0.18	Bal.

Cuadro 1. Composición química (%e.p.) real del AISI 1018 para probetas.

La soldabilidad, de acuerdo al bajo contenido de carbono es óptima (Soto, 2013), tomando en cuenta la composición se calcula con la siguiente ecuación (Holliday, 1993):

$$CE = \%C + \frac{\%Mn + \%Si}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%Nb + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

El CE tiene influencia directa en el procedimiento para aplicar la soldadura, es determina un trabajo previo como precalentamiento o posterior como postcalentamiento y las propiedades mecánicas. Si $CE < 0.4$ presenta una excelente soldabilidad, $0.41 < CE \leq 0.52$ buena soldabilidad, $0.46 < CE \leq 0.52$ regular y $CE > 0.52$ pobre.

Preparación de unión

Se realizó el mecanizado de la geometría, en un centro de maquinados CNC utilizando un dispositivo de sujeción para la variación de los ángulos seleccionados 15, 20, 25 y 30°.



Figura 4. Manufactura de probeta con apoyo de un sistema de sujeción con manipulación para variar el ángulo de bisel y centro de maquinado CNC HAAS VM2.

Soldadura MIG robotizada

Para la aplicación del proceso en la unión se determina el plano de la Figura 5, que indica las características para el montaje de las probetas (ver la Figura 6).

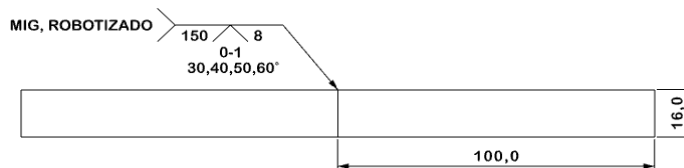


Figura 5. Diseño de unión para el soldeo de placa AISI 1018 con GMAW robotizado.



Figura 6. Celda de soldadura GMAW robotizada, con brazo robótico KUKA KR16.

Se utilizó un electrodo ER70S-6, una fuente Lincoln Electric Power Wave 455, una mezcla de gas 85-15% Ar-CO₂, una mesa de trabajo y un brazo robótico KUKA KR16, la configuración empleada es de ranura en V con posición horizontal (1G, designado en AWS D1.1). Los parámetros utilizados son los siguientes: corriente 485-500 A, velocidad de avance 53.5 cm/min, alimentación de electrodo 900 cm/min, polaridad DCEP (Electrodo Positivo de Corriente Directa), voltaje 31 V, tamaño de electrodo \varnothing 1.6 mm.

Probeta	A	B	C	D
Ángulo de abertura	30°	40°	50°	60°

Cuadro 2. Identificación de ángulo de abertura de probeta AISI 1018.

Pruebas de calidad

Se realizaron las pruebas de calidad inicialmente con inspección visual (IV, por sus siglas en inglés), a las 4 probetas utilizando un kit de IV, los criterios de aceptación son del código D1.1/IM2010 sección 6.1 “Criterios de aceptación visual”.

La inspección de líquidos penetrantes (PT, por sus siglas en inglés), el procedimiento se realizó de acuerdo a los que señala el código D1.1 en la sección 6, que cita la norma ASTM E165 (ASTM, 2012) para procedimiento y criterio de aceptación, así como la ASTM E433 (ASTM, 2013) como referencia de discontinuidades.

Para la técnica de caracterización se realizan 2 muestras de cada probeta, con desbaste en papel abrasivo de SiC y por último se pulieron con sílica coloidal de 0.4 μ m y alúmina. El ataque químico con una solución de Nital 5% durante 8 segundos, se aplicó alcohol y se secó con aire frío. Se utilizó microscopía óptica (MO) con un microscopio Nikon Eclipse MA 200 para analizar las muestras A2, B2, C2 y D2, a diferentes magnificaciones obteniendo las macrografías con un estereoscopio Nikon SMZ 7457 de las muestras A1, B1, C1 y D1. Y por último se realizó un perfil de dureza para cada muestra con 20 indentaciones de 1.2 mm de distancia con un microdurómetro de Vickers-Knoop Tukon 2500-5.

Resultados

Soldabilidad

Se realizó el cálculo del carbono equivalente, obteniendo como resultado:

$$CE = 0.31$$

Por lo que posee una excelente soldabilidad y por su contenido de carbono una soldabilidad excelente, por lo tanto, la unión presentará propiedades como ductilidad y resistencia similar al material base.

Inspección Visual

La inspección se lleva a cabo en un área de 150 X 150 mm (ver la Figura 7). Para la probeta A (ángulo de abertura de 30°), de acuerdo a los criterios de aceptación solo se encuentra el defecto de sobre espesor de soldadura con 2.5 mm cumpliendo con el criterio ya que no excede los 3 mm. Para la probeta B (ángulo de abertura de 40°) cuenta con una corona de 1.75 mm y sin defecto alguno. La probeta C (ángulo de abertura de 50°) tiene socavado a lo largo del cordón con un promedio de 0.4 mm en las secciones de menor tamaño, a 19.05 mm del borde hay una muesca en ambos lados de 0.8 mm de falta de relleno con una longitud de 19.05 mm, por lo tanto, es rechazada. La probeta D (ángulo de abertura de 60°) tiene socavado debido a la alimentación del electrodo ocasionando este defecto a lo largo del cordón en ambos lados con una profundidad de 0.8 mm en promedio, por lo tanto, es rechazada. También se observa distorsión angular (Figura 8), mencionando que una vez realizado el proceso de soldadura se mantuvieron las prensas por 10 minutos para reducir la distorsión. Por la entrada de calor se observa una gran distorsión en las probetas que tienen cerca de 500 amperes como corriente, donde la probeta A (Figura 8a) es la más estable, la probeta B (Figura 8b) es la más afectada, la probeta C (Figura 8c) tiene similar distorsión que la B y por último la probeta D (Figura 8d) tiene una mejor vista debido a la distribución de calor y el enfriamiento más lento.

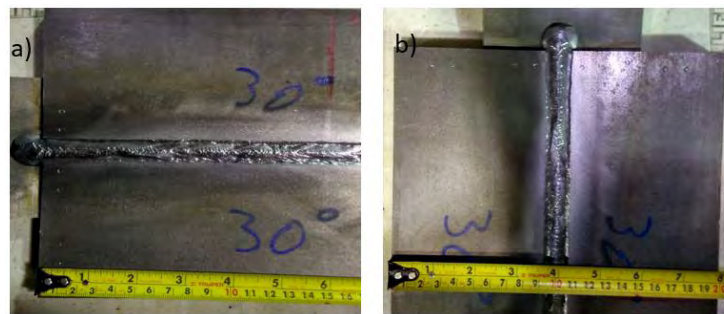


Figura 7. Dimensiones de las probetas de inspección.

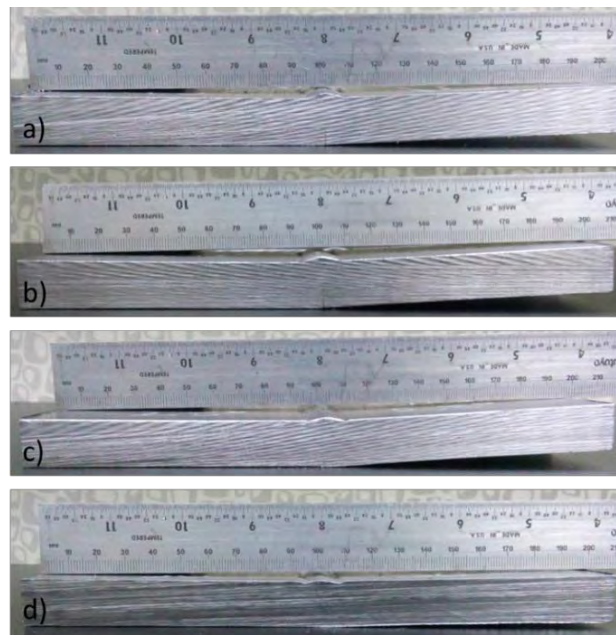


Figura 8. Sección transversal de cordón con fin de inspección visual, a) probeta A, b) probeta B, c) probeta C y d) probeta D.

Líquidos Penetrantes

La probeta A (Figura 9a) y B (Figura 9b) muestran ausencia de indicaciones, la probeta C (Figura 9c) muestra indicaciones menores a 1.58 mm por lo que no se considera relevante (3 indicaciones en 150 mm) y la probeta D (Figura 9d) muestra indicaciones lineales paralelas al cordón sobre el metal base y sobre el cordón muestra socavado, adicionalmente estas últimas no son significativas. El material base de las probetas C y D presenta laminación debido al aumento de la ZAC refundiendo la zona afectada térmicamente con las indicaciones lineales paralelas longitudinalmente en el cordón (Pérez, y otros, 2011).

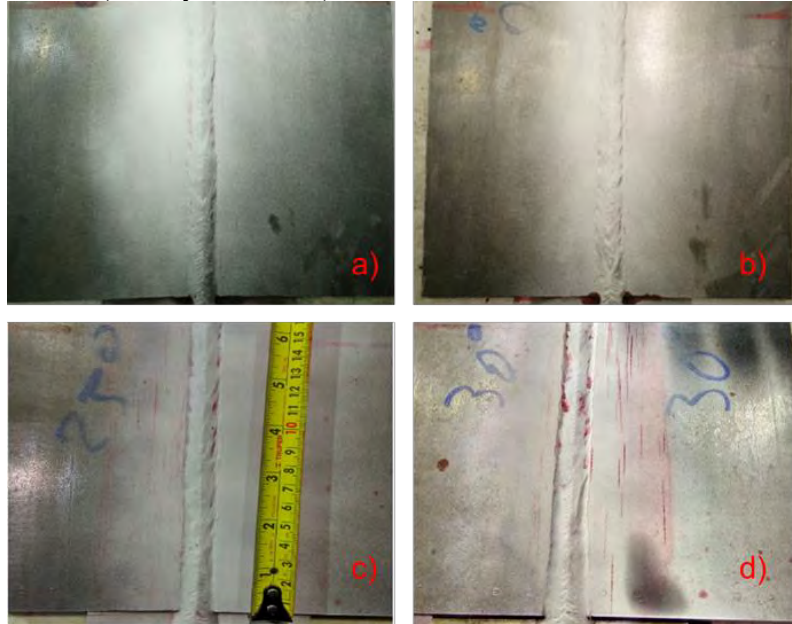


Figura 9. Probetas para realizar la evaluación; a) probeta A, b) probeta B, c) probeta C y d) probeta D.

Macrografías

Por medio del estereoscopio se analiza la sección transversal, dividiendo el cordón como lo propone *Lazarson* calculando el metal base fundido y el metal depositado con una ecuación que propone (*Lazarson*, 2007). En la probeta A se presentan menos discontinuidades y de menor tamaño, se aprecia una penetración de 53.6% y la ZAC de 1.5 mm siendo inferior a las otras probetas. En todas las probetas existe la discontinuidad de fusión incompleta pero en la probeta A (Figura 10) el área de esta es de $39686.59 \mu\text{m}^2$ y la una longitud de $711.14 \mu\text{m}$, este defecto se debe a la falta de calor y falta de acceso a la raíz de la unión, se puede corregir aumentando la extensión de electrodo o la entrada de calor. La distorsión presente es de tipo angular y es apreciada con la separación de la raíz de 0.15 mm que de igual manera es menor que en las otras probetas. En las probetas B, C y D, los defectos son mayores y no cumplen con los criterios de aceptación de AWS D1.1, en el Cuadro 3 se incluyen los resultados de todas las probetas.

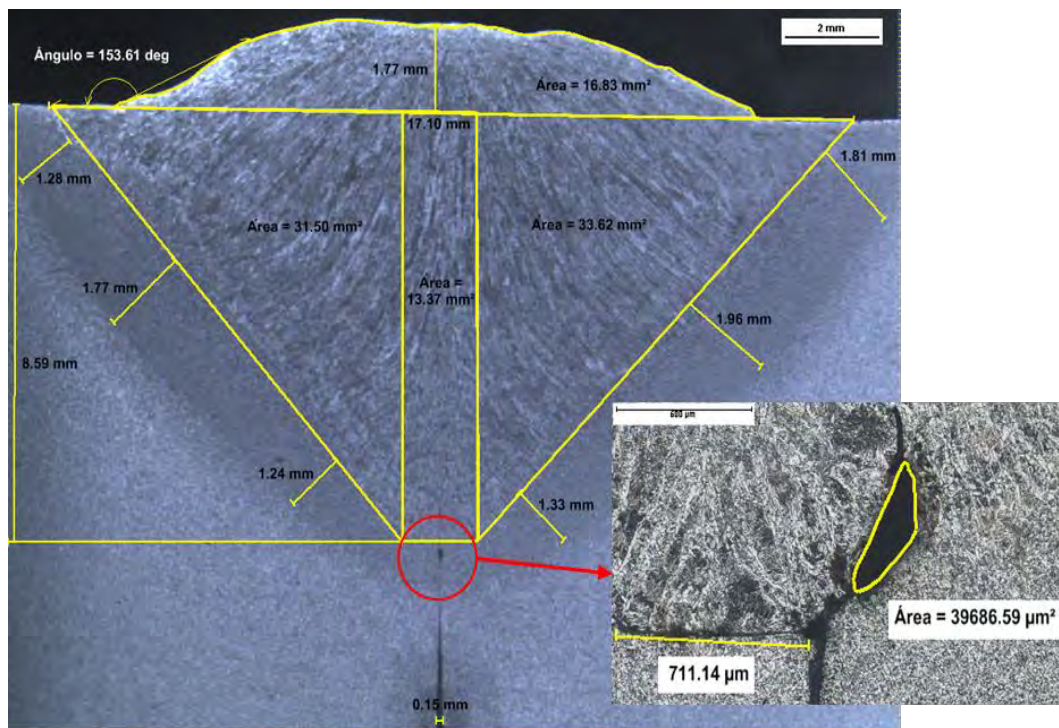


Figura 10. Sección transversal del cordón de la muestra A.

Probeta	A	B	C	D
Volumen de fusión (mm^3)	14298	14500.5	14685	12661.5
Área de metal depositado (mm^2)	95.32	96.67	97.90	84.41
Promedio de ZAC (mm)	1.57	1.70	1.96	2.03
Corona (mm)	1.77	1.69	1.12	0.60
Ángulo (°)	153.60	161.40	165.30	168.06
Penetración (mm)	8.59	8.49	8.88	10.06
Distorsión en raíz (mm)	0.15	0.26	0.25	0.15
Defecto fusión incompleta (mm)	0.71	3.86		
Defecto socavado (mm)		0.29	0.33	0.87

Cuadro 3. Resultados de la medición de sección transversal del cordón.

Micrografías

La microestructura del material base es ferrítico perlítica. Se observan las micrografías de la ZAC, en la probeta A (Figura 11c) se observa Ferrita con Carburos alineados (FC), Ferrita Poligonal (FP), Perlita (P), Bainita Superior (BS) y Ferrita Idiomórfica (FI), debido a una transformación reconstructiva y a la velocidad de enfriamiento que se originó. La entrada de calor en esta probeta se relaciona con las fases encontradas, ya que fue alta y la ZAC fue concentrada por lo que el enfriamiento fue más lento. En la probeta B (Figura 11d) las fases encontradas son debido a la velocidad de enfriamiento más lenta que en la probeta A por lo que no se forma la BS pero si las otras fases. En la probeta C (Figura 11g) se observa Ferrita Widmanstätten Primaria (FWP) debido a la disminución brusca de la temperatura dando origen a la distorsión presente. La probeta D (Figura 11h) muestra fases similares a la probeta C debido a que el enfriamiento en estas fue similar. En la zona de fusión, en la probeta A (Figura 12c) se observa FI, Ferrita Acicular

(FAC), Austenita Retenida (AR), Ferrita Widmanstätten Secundaria (FWS) y P, estas fases son típicas en el volumen de fusión y como el enfriamiento es más lento que en las otras zonas e inclusiones, la solidificación se da a diferentes temperaturas originando por los tiempos fases que eliminan a otras como la FSW que elimina a la Ferrita Alotriomórfica (FA) ya que para su formación se necesita de granos pequeños y la velocidad de enfriamiento más lenta. En la probeta B (Figura 12d) se observa una microestructura perlítica ya que es la que predomina, FWS en menor cantidad que la probeta A. La probeta C (Figura 12g) es una mezcla de FAC, FWS, FI, F y P, lo que muestra una velocidad de enfriamiento más lenta que la probeta B. La probeta D (Figura 12h) tiene una microestructura Ferrito Perlítica y predomina la formación de FWS y FWP.

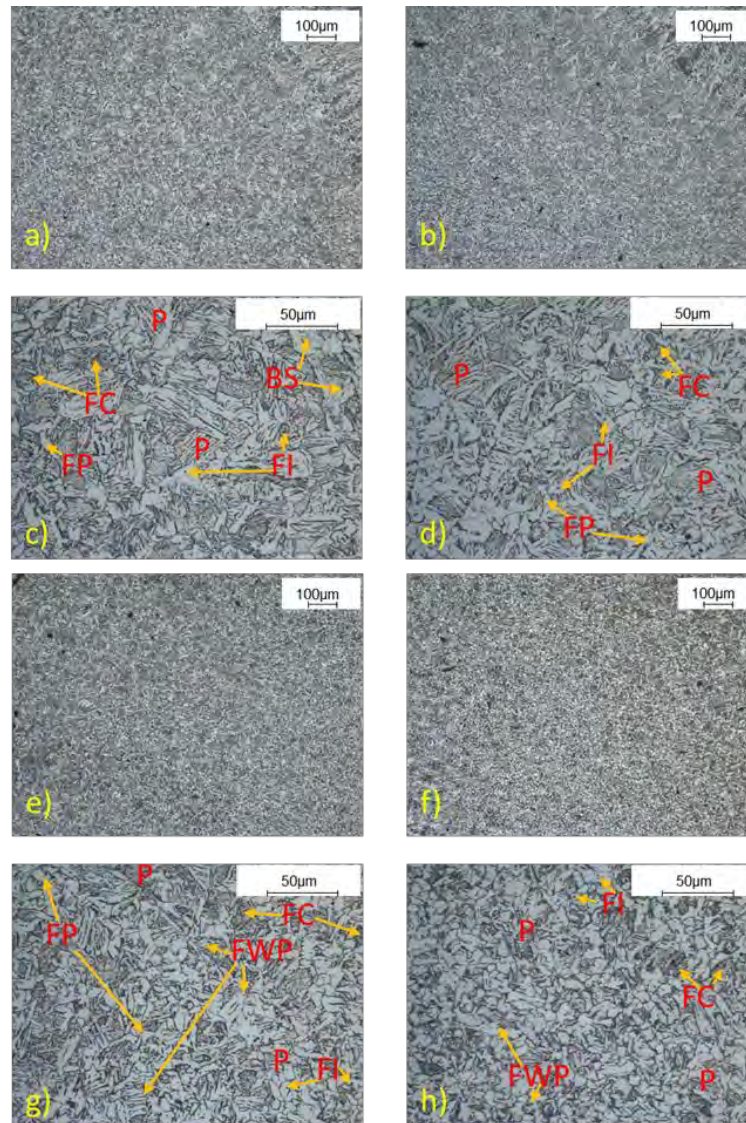


Figura 11. Micrografías de las probetas de la ZAC, a) probeta A a 100X, b) probeta B a 100X, c) probeta A a 500X, d) probeta B a 500X, e) probeta C a 100X, f) probeta D a 100X, g) probeta C a 500X y h) probeta D a 500X.

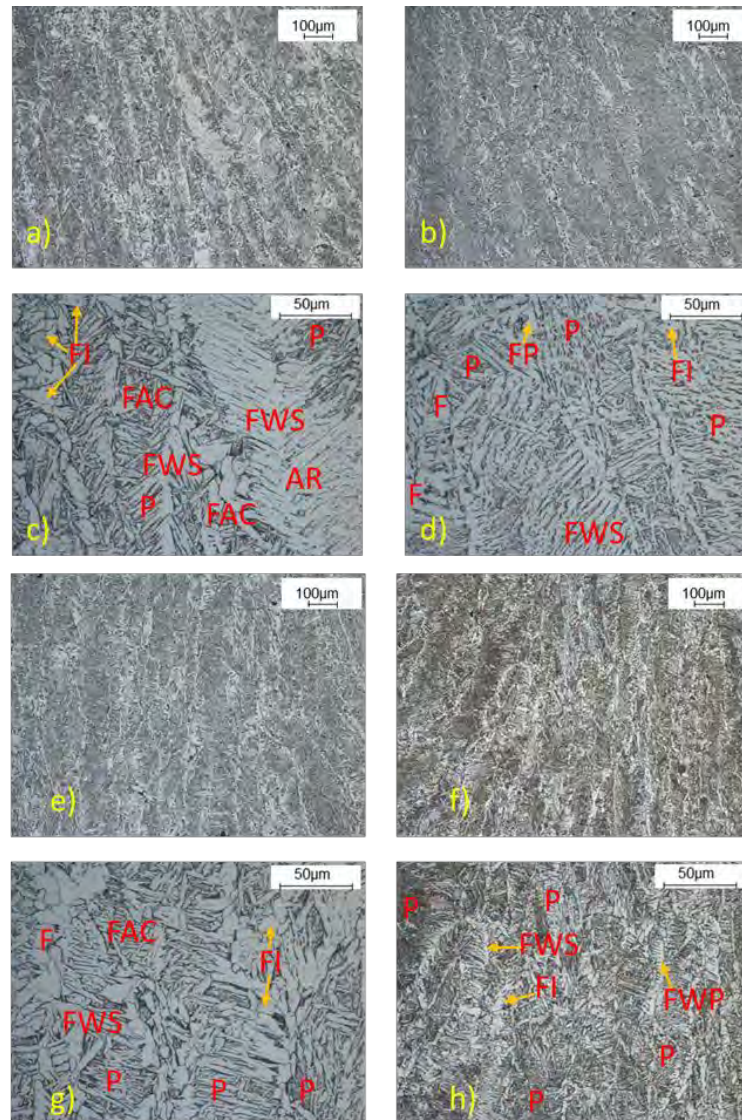


Figura 12. Micrografías de las probetas de la zona de fusión, a) probeta A a 100X, b) probeta B a 100X, c) probeta A a 500X, d) probeta B a 500X, e) probeta C a 100X, f) probeta D a 100X, g) probeta C a 500X y h) probeta D a 500X.

Microdureza

La dureza más alta es del MB (ver la Figura 13), la desviación estándar es de 16 Hv, que no es de gran relevancia entre las zonas, por lo que se interpreta como una unión factible de acuerdo a la microdureza presente, resaltando que la dureza depende de una microestructura similar a la del MB y por lo tanto mejora propiedades de la unión. Se puede apreciar que la probeta B es la que tiene mayor dureza en todas las zonas esto por la distribución de calor más uniforme y un enfriamiento más homogéneo.

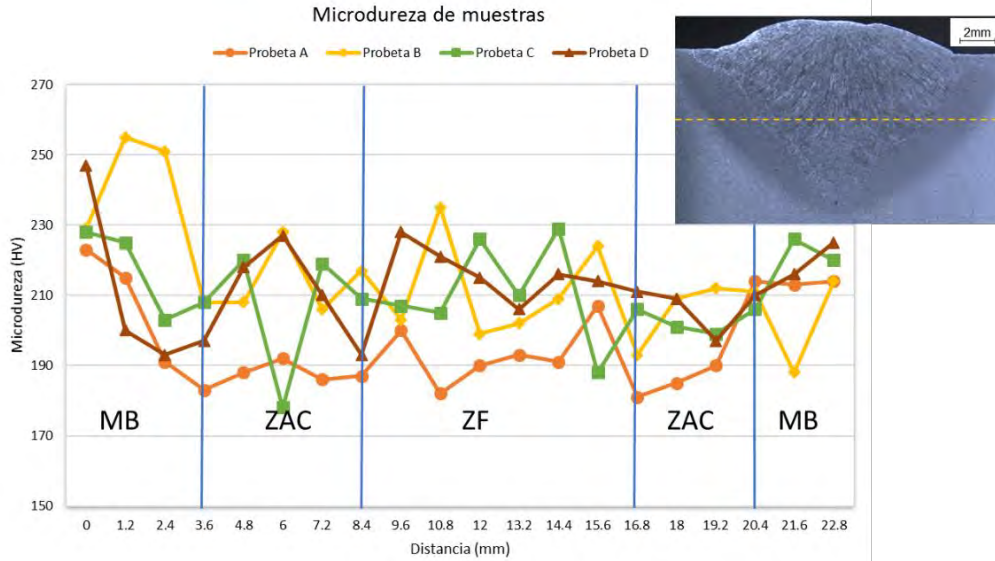


Figura 13. Gráfica de dureza presente en las diferentes zonas.

Ensayo de tensión

El material base presenta una tensión máxima (esfuerzo último) de 440 MPa de acuerdo al certificado de pruebas mecánicas, para el análisis de estos resultados la penetración es del 53 % en ambas probetas, por ello, se considera que los resultados presentan buena resistencia. El tipo de fractura que se presenta en la probeta A analizando la imagen a) de la Figura 14 y la Figura 15, se interpreta una fractura frágil corroborado por el corte a 45° que es indicio de este tipo de rotura, en la imagen b) se encuentra el mismo tipo de fractura y además fractura dúctil focalizada en los puntos señalados.

Probeta	Espesor (mm)	Ancho (mm)	Carga máxima (N)	Tensión máxima (MPa)	Zona de fractura
A	15.72	6.36	29419.95	294	ZAC
B	15.65	6.37	30204.482	303	ZAC

Cuadro 4. Resultados de la prueba de tensión.

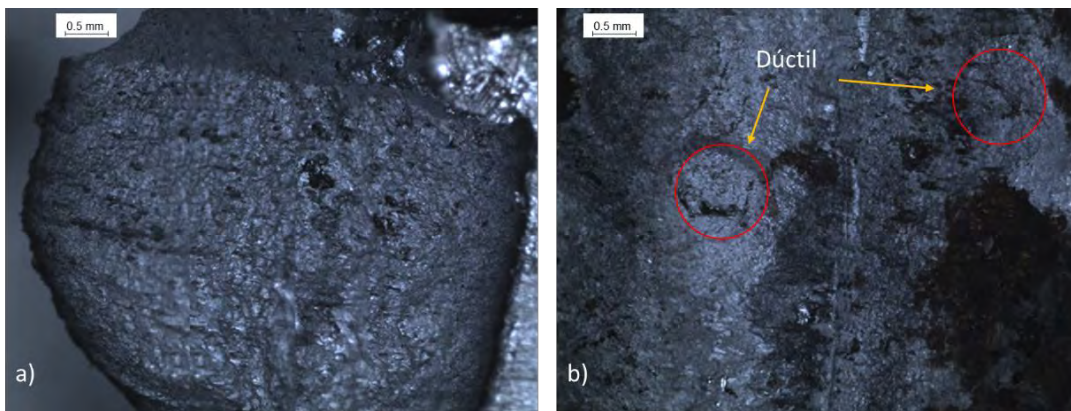


Figura 14. Macrografía de la ruptura, a) probeta A y b) probeta B.

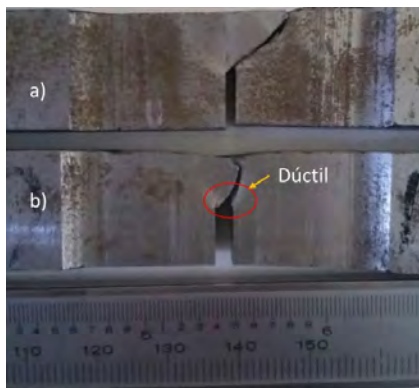


Figura 15. Ruptura de ensayo de tensión, a) probeta A y b) probeta B.

Conclusiones

- El acero estructural de 16 mm es un espesor grueso que demanda capacidad del equipo, debido a esto los espesores máximos que se trabajan actualmente son de 12.7 mm para el proceso GMAW robotizado.
- La probeta A cumple con las mejores características, con un volumen de fusión de 14298 mm^3 , en los 150 mm de longitud. En teoría la preparación de 30° de abertura debería ser la de menor volumen, pero por la fusión que se presenta, la deposición del material es la más adecuada en comparación de las otras probetas. Y la probeta D con 60° presenta menor volumen de fusión ya que la cantidad de material de aporte es la misma y presenta defectos como socavados que concentran el material al centro de la preparación.
- Para este tipo de espesor es mejor biselar completamente el espesor para tener una penetración completa, solo que la deposición del metal sería mayor. Por lo que para mejor penetración en la probeta A se puede reducir la raíz y esto lleva a incrementar la alimentación del electrodo.
- La preparación de la geometría de unión más efectiva es la mecanizada por la calidad (ángulos y caras con tolerancias cerradas) y costo, otras preparaciones como el oxicorte y plasma al final necesita de un rectificado, el corte con láser es muy costoso.
- Los parámetros como la alimentación de electrodo y la extensión de electrodo o amperaje, se deben aumentar para obtener un volumen de fusión y penetración mayor. Lo anterior no se realiza en el estudio por el enfoque a la geometría de unión y la consecuencia de del ángulo.

Referencias

- 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.
- ASTM. (2012). *ASTM E165-09 Standard Practice for Liquid Penetrant Examination for General Industry*. West Conshohocken, PA: ASTM International. doi:10.1520/E0165-09
- ASTM. (2013). *ASTM E433-71, Standard Reference Photographs for Liquid Penetrant Inspection*. West Conshohocken, PA.: ASTM International. doi:10.1520/E0433
- Bhattacharya, A., & Bera, T. (2014). Development of automatic GMAW setup for process improvements: Experimental and modelling approach. *Materials and Manufacturing Processes*, 29(8), 988-995.
- Bjorhovde, R. (2010). Performance and Design Issues for High Strength. *Advances in Structural Engineering*, 13(3), 403-412.
- Chair, J. J., Vice, W., Altebrando, N., Butler, B., Green, T., Jaxa-Rozen, W., . . . Tide, R. (2010). *AWS D1.1/D1.1M-Structural Welding Code-Steel* (22 ed., Vol. 19). Florida, USA: American Welding Society (AWS).
- Chair, R. S., Blodgett, O., Carter, C., Holland, M., Kloiber, L., Kotan, R., . . . Thornton, W. (2001). *Welding Handbook, Welding science and technology* (9 ed., Vol. 1). Miami, Florida, USA: American Welding Society (AWS).
- Chayoukhi, S., Bouaziz, Z., & Zhal, A. (2008). Cost estimation of joints preparation for GMAW welding process using feature model. *Journal of Materials Processing Technology*, 199(1-3), 402-411.
- Cházaro, C., & Alvarez, O. (2014). Elección del tipo de acero para estructuras. *GERDAU CORSA*, págs. 4,26.
- Fruehan, R. (1998). *The Making, Shaping and Treating of Steel: Steelmaking and Refining Volume* (11 ed.). PA: The AISE Steel Foundation, Pittsburgh.
- Gong, Y., & Gillies, A. (2008). Double-angle shear connections with short outstanding legs. (C. S. Publishing, Ed.) *Can. J. Civ. Eng.*, 35, 786–795.
- Guthrie, R. I., & Jonas, J. J. (2005). *ASM Handbook Properties and Selection Irons, Steels, and High Performance Alloys* (Vol. 01). USA: ASM International. Recuperado el Febrero de 2016
- Harvey, P. (1982). *Engineering Properties of Steel*. OH, USA: ASM International.
- Hicks, J. (1999). *Welded Joint Design* (3 ed.). Woodhead Publishing.
- Hicks, J. (2000). *Welded design-theory and practice*. England: Cambridge cb 1 6ah, Ambington publishing.

- Holliday, D. B. (1993). *Welding, Brazing, and Soldering* (Vol. 6). USA: ASM International Handbook Committee. Recuperado el Febrero de 2016
- Klanšek, U., & Kravanja, S. (2007). Cost estimation, optimization and competitiveness of different composite floor systems—Part 1: Self-manufacturing cost estimation of composite and steel structures. *Journal of Constructional Steel Research*, 62(5), 434–448.
- Lay, M. (1982). *Structural Steel Fundamentals*. Victoria, Australia: Australian Road Research Board, Vermont South.
- Lazarson, E. (2007). Calculation of the cross-sectional area of the welded joint in arc welding. 21(6).
- McClure, M. (2011). *Effects of joint preparation angle of single-vee butt welds on the tensile strength of ASTM A36 carbon steel*. Terre Haute, Indiana: UMI Dissertation Publishing.
- Objois, A., Fargette, B., & Gilibert, Y. (2012). The influence of the bevel angle on the micromechanical behaviour of bonded scarf joints. *J. Adhesion Sci. Technol.*, 14(8), 1057-1070. doi:http://dx.doi.org/10.1163/156856100743077
- Peréz, D., Ignoto, V., Plaza, I., Fraudita, F., Caballero, A., Guzman, J., & Velazquez, J. (2011). Non Destructive Evaluation of the Quality of the Coating (Cladding) with Stainless steel duplex SAF 2283LSI of Fan Blades of Turbines Made by Applying the Process of Welding GMAW-Pulsed and the GMAW Process-Pulsed with Thermal Pulsation. 5.
- Soto, H. (2013). *Manual de diseño para construcción con acero*. Morelia, Michoacan: AHMSA.
- Sun, J., Yan, Q., & 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, 468–477.
- Thama, G., Yaakuba, M., Abasa, S., & Yup. (2012). Predicting the GMAW 3F T-Fillet Geometry and Its Welding Parameter. 2012 *International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors*, 1794 – 1799.
- Watters, J., Chair, F., Rens, K., & Cheng, Y. (2013). *Investigation of double bevel full penetration groove welds for the repair of historic structural wrought iron*. B.S., University of Southern California: UMI Dissertation Publishing.
- 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(7), 157-163.