

Determinación de los campos de temperatura en el aluminio 5083 H321 durante el proceso GMAW

GÓMEZ-GAUNA, Néstor*†, RODRÍGUEZ-CASTILLO, Mario y PALACIOS-PINEDA, Luis

Recibido Enero 4, 2017; Aceptado Marzo 7, 2017

Resumen

La soldadura por arco con alambre continuo protegido con gas (GMAW), es uno de los procesos recomendados y más utilizados para trabajar uniones de aleaciones de aluminio. Conocer ciertas variables que pueden afectar al material de forma directa cuando es expuesto a este tipo de procedimientos resulta importante para estimar su comportamiento, aún más cuando se pretenden reducir costos durante tareas de experimentación. En este artículo se muestra un método para determinar los campos de temperaturas provocados en el aluminio 5083 H321, cuando se somete al proceso de soldadura antes mencionado, mediante su simulación en un software especializado que aplique el método del elemento finito. Para el desarrollo de este trabajo se determina una probeta de una junta en T, a la cual se aplica una soldadura de filete en base a parámetros recomendados en libros de la AWS, tales como: velocidad de avance, Corriente y voltaje eléctrico que se deben utilizar, y que sirvan para determinar el aporte de calor. Dentro de los resultados se muestra la zona afectada térmicamente la cual permite determinar cambios en los parámetros o secuencia de soldadura, para reducir posibles defectos provocados por la temperatura en el material.

Proceso GMAW, Aluminio, Campos de temperatura, Junta en T

Abstract

Gas Metal arc welding (GMAW) is one of the most widely used and recommended manufacturing processes for aluminum alloy joints. It is substantial know certain variables that could affect directly the material when it is subjected to these types of procedures to estimate its behavior, even more when attempt to reduce cost during testing tasks. In this work it is showed a method to determine temperature contours generated at the aluminum 5083 H321, when it is subjected to welding process mentioned previously, by means of its simulation in a specialized software which apply the finite element method. To develop this study a T-joint specimen is determined in which is applied fillet weld, according to recommend parameters by info books of AWS, like travel speed, welding current and arc voltage which must be used to determine the heat input. Within the results it is shown the heat affected zone which enable determine changes at the parameters and the sequence of welding, to curtail the defects caused by temperature in the material.

GMAW process, Aluminum, Temperature contours, T-joint

Citación: GÓMEZ-GAUNA, Néstor, RODRÍGUEZ-CASTILLO, Mario y PALACIOS-PINEDA, Luis. Determinación de los campos de temperatura en el aluminio 5083 H321 durante el proceso GMAW. Revista de Ingeniería Mecánica 2017, 1-1: 51-45

* Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: goga_navi08@hotmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

La soldadura tiene presencia en diversos procesos para manufacturar autopartes como el sistema de suspensión, carrocería, sistema de freno, sistema de tracción, en los componentes eléctricos y electrónicos, sistema de escape y alimentación de combustible. Es decir, resulta notable el proceso de soldadura para la industria de las autopartes como lo indica la información de ProMéxico de la Secretaría de Economía (Banda, 2015).

La soldadura por arco eléctrico es parte de los procesos de fusión para la unión de metales, esto se genera mediante la aplicación de calor a una temperatura que puede oscilar entre 5300 y 30300 °C dependiendo de la corriente aplicada (García, 2001), provocando que en la zona de unión los materiales alcancen su punto de fusión y puedan mezclarse directamente o junto con un material de aporte de fundido intermedio.

Dentro de los diferentes tipos de procesos de soldadura por arco eléctrico, se encuentra el de alambre metálico continuo protegido con gas (GMAW), en el cual el arco se establece entre el material de aporte y el charco de soldadura del material base. Esta región es protegida a partir de un gas o mezcla de gases que se adicionan externamente.

La soldadura GMAW se ha vuelto hoy en día dominante entre los fabricantes de soldadura del mundo. A pesar de las décadas de historia, la investigación y desarrollo continúan proporcionando mejoras a éste, obteniendo resultados de alta calidad (Nadzam, 2014). Debido a sus diferentes ventajas en comparación con otros patrones de la misma clase, y a que puede usarse de forma manual, semiautomática o automática, y esta última pudiéndose realizar en operaciones repetitivas, este proceso puede reducir los costos de operación convirtiéndose muy popular dentro de la industria del transporte.

Dentro de la fabricación de ensamblajes, este proceso de soldadura es recomendado por la AWS (Sociedad Americana de Soldadura), para realizar uniones en partes de aleaciones de aluminio.

Las aleaciones de aluminio son ampliamente utilizadas en aplicaciones estructurales, tanto en partes automotrices, vehículos ferroviarios o aeronáuticos, debido a las propiedades que presenta el material, como una resistencia relativamente alta, buena resistencia a la corrosión, alta tenacidad combinada con buen conformado y soldabilidad (L.P. Borrego, 2014), siendo las series 5xxx (aleaciones aluminio-magnesio), las de uso común para este sentido (Anderson, 2010).

Dentro del ciclo térmico de una junta soldada, esta experimenta un ciclo de calentamiento y enfriamiento en el que sus partes se ven sometidas a un amplio intervalo de temperaturas superiores a la de fusión, en el metal de soldadura, hasta prácticamente la ambiente, en el metal base, pasando por el intervalo de transformación (García, 2001). Existe una región conocida como zona afectada térmicamente (ZAT), que es una parte del metal base que no se funde durante el proceso, pero la temperatura a la que fue calentada altera la microestructura y las propiedades mecánicas del material, ya que éstas dependen de su tipo, del proceso y el procedimiento de soldadura utilizado para su unión.

Realizar análisis previos a las tareas de pruebas permitiría conocer la zona afectada térmicamente aportando resultados que puedan ayudar a conocer si el procedimiento de soldadura es adecuado, además de saber si las temperaturas a las que se calienta el material afectarían la microestructura y a su vez estimar los cambios en las propiedades que pudiera tener el material, afectando de esta manera la parte soldada en base a las especificaciones de diseño.

Estimar las temperaturas a las que puede llegar el material mediante la simulación de la secuencia de soldadura en un software de diseño, para conocer que zonas de la junta soldada resultan ser más afectadas permitiría optimizar el proceso de soldadura efectuando modificaciones a los parámetros ayudando a obtener un procedimiento adecuado.

De cuatro tipos de juntas soldadas básicas, este trabajo se enfoca en el análisis de una junta en "T", mediante la aplicación del método del elemento finito con el uso del software ANSYS, que permita estimar la distribución de los campos de temperatura en una aleación de aluminio 5083 H321, con el objetivo de conocer el comportamiento del material y que zona resultaría afectada a causa de la temperatura a la que se expone durante el proceso.

Metodología

El análisis se enfoca en una aleación de aluminio magnesio 5083 H321, aplicado en una probeta de una junta típica en T, con el fin de simular mediante método del elemento finito los contornos de temperatura que pueden presentarse durante el proceso de aplicación de soldadura GMAW.

Partiendo de un modelo en 3D, el cual se realiza dentro del software SolidWorks 2016. Para su confección se consideran las medidas de una probeta que se utiliza para pruebas de aplicación de soldadura (Figura 1), además se selecciona un solo espesor de: $T=6.4\text{mm}$ (1/4 pulg), aplicando la soldadura en posición horizontal 2F.

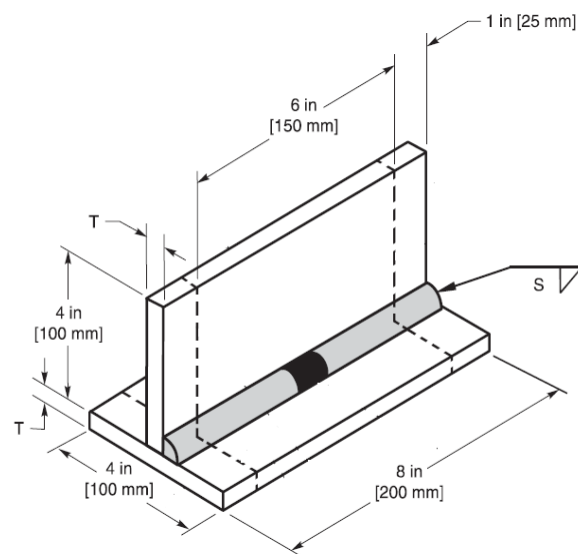


Figura 1 Probeta para calificación de rendimiento del soldador para soldadura en filete (welding, 2014)

A continuación, se investiga sobre un proceso de aplicación de soldadura adecuado para el modelo seleccionado, el cual se selecciona de un procedimiento típico GMAW recomendado por la AWS (Tabla 1), considerando los parámetros adecuados que sirven para realizar los cálculos y posteriormente la simulación.

Typical Procedures for Gas Metal Arc Welding of Fillet Welds in Aluminum Alloys with Argon Shielding

Section Thickness in. mm	Welding Position ^a	No. of Weld Passes	Electrode Diameter		Welding Current (DC/CP), A	Arc Voltage, V	Shielding Gas Flow Rate ^b		Travel Speed	
			in.	mm			ft ³ /h	L/min	in./min	mm/s
0.094 0.125	F,V,H,O	1	0.030	0.8	100-130	18-22	30	14	24-30	10-13
			0.030-0.047	0.8-1.2	125-150	20-24	30	14	24-30	10-13
			0.030	0.8	110-130	19-23	30	14	24-30	10-13
0.19	F,V,H,O	1	0.030-0.047	0.8-1.2	130-175	21-25	35	16	24-30	10-13
			0.047	1.2	180-210	22-26	30	14	24-30	10-13
			0.030-0.047	0.8-1.2	130-190	22-26	45	21	24-30	10-13
0.25	F,V,H,O	1	0.047-0.062	1.2-1.6	170-240	24-28	40	19	24-30	10-13
			0.047	1.2	170-210	23-27	45	21	24-30	10-13
			0.047-0.062	1.2-1.6	190-220	24-28	60	28	24-30	10-13
0.38	F,H,V,O	3	0.062	1.6	240-300	26-29	50	24	18-25	8-11
			0.062	1.6	190-240	24-27	60	28	24-30	10-13
			0.062	1.6	200-240	25-28	65	31	24-30	10-13
0.75 ^c	F,H,V,O	4-6	0.094	2.4	360-380	26-30	60	28	18-25	8-11
			0.062	1.6	260-310	25-29	70	33	24-30	10-13
			0.062	1.6	275-310	25-29	85	40	24-30	10-13

Tabla 1 Procedimientos GMAW típicos de soldadura de filete en aleaciones de aluminio con protección de argón (vidahl, 1998)

Recolectando datos sobre la aleación de aluminio 5083 H321, que se utilizara dentro del modelo para la simulación, se toman en cuenta algunas propiedades del material (Tabla 2) (Committee, 1992), (M. Mazar Atabaki, 2016).

Dureza Vickers	96	Coefficiente de poisson	0.3
Resistencia a la tensión (Mpa)	317	Punto de fusión (°C)	591-638
Resistencia a la fluencia (Mpa)	228	Calor especifico (j/g-°C)	0.9
Elongación (%)	16	Conductividad térmica (W/m°C)	117
Módulo de elasticidad (Gpa)	70.3	Temperatura solidado (°C)	591
Densidad (gr/cm ³)	2.66	Temperatura Liquido (°C)	638

Tabla 2 Propiedades, aleación de aluminio-magnesio 5083H321

A continuación, se analiza el proceso térmico de la soldadura.

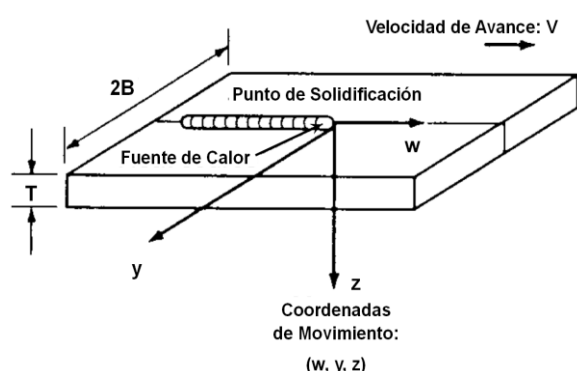


Figura 2 Esquema básico del modelo térmico de soldadura

Partiendo del esquema (Figura 2). La fuente de calor se desplaza a una velocidad constante a lo largo de una trayectoria recta. El resultado final, después de iniciar o terminar la soldadura, es un estado térmico transitorio en ésta.

En algún punto después de comenzar de aplicar la fuente calor, pero antes de terminar de aplicarla, la distribución de temperatura es estacionaria, o en equilibrio térmico, con respecto a las coordenadas móviles. Esto es llamado un estado “Cuasi-estable” (Thomas J. Lienert, 2011).

Con el fin de continuar el análisis del proceso, junto con la descripción anterior la fuente consultada, se establece un modelo matemático, donde el flujo de calor de la soldadura puede presentarse bajo una función de conducción, el cual se basa en que las coordenadas de movimiento (w, y, z) se fijan en el centro de la fuente de calor, las coordenadas se mueven con esta a la misma velocidad (Thomas J. Lienert, 2011). Esto cae bajo la siguiente ecuación:

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla \theta) + \rho C_p V \frac{\partial \theta}{\partial w} + \dot{Q} = \rho C_p \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1)$$

Donde la condición inicial es:

$$\theta = \theta_0, \text{ en } t = 0 \quad (2)$$

Donde: ∇ es el operador diferencial; λ es la conductividad térmica direccional en cualquier coordenada; θ es la temperatura; ρ es la densidad; C_p es el calor específico; V es la velocidad de avance; t es el tiempo; \dot{Q} es la fuente de calor.

Una manera de obtener la potencia que suministra la fuente de calor es con la siguiente fórmula:

$$\dot{Q} = \eta EI \quad (3)$$

Donde: \dot{Q} es la potencia recibida por la soldadura; E es el voltaje del arco; I la corriente eléctrica; η es el factor de eficiencia del proceso.

Dentro de las fuentes consultadas se indica un rango de eficiencia para el proceso de soldadura GMAW el cual está entre 65% a 85%, sin embargo 85% es una estimación razonable por muchas condiciones.

Finalmente se procede a realizar la simulación la cual se realiza utilizando el modelo 3D que se elaboró en la primera fase, importándolo al software ANSYS 17 donde se efectúa dicha tarea, considerando los parámetros del proceso investigados y los cálculos pertinentes.

Se utilizan las propiedades del material para adaptar mejor las condiciones del aluminio dentro de las librerías del software y considerando los principios de conducción se opta por ocupar el módulo de Transient Thermal, para obtener los resultados de los contornos de temperatura.

Resultados

Dentro del procedimiento de soldadura analizado se eligieron los parámetros máximos de acuerdo a la Tabla 1 en de los cuales; el voltaje de arco fue de 28 volts; la corriente de 240 amperes y considerando una eficiencia del proceso de 85% se obtuvo una potencia de entrega de la fuente de:

$$\dot{Q} = 5712 \text{ Watts}$$

Para la realizar la simulación en ANSYS fue tomado en cuenta el dato anterior junto con las propiedades del material y la velocidad de avance del proceso, para determinar algunas condiciones de frontera.

Se obtuvieron los contornos de temperaturas durante el proceso, contando con un historial de la simulación en cinco posiciones de la probeta, en las distancias: 1mm, 50mm, 100mm, 150mm y 200mm.

A continuación, se muestran la evolución del proceso en cada posición descrita anteriormente. Se muestran las zonas afectadas por el calor dentro de las superficies de las placas que se exponen directamente a la fuente de calor.

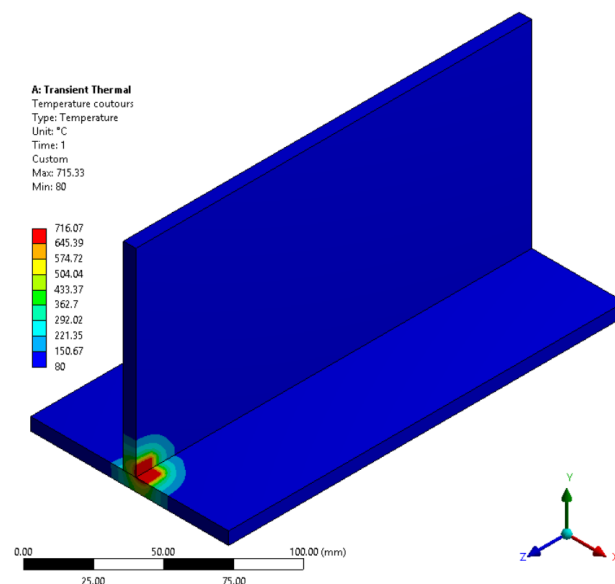


Figura 3 Contornos de temperaturas al inicio del proceso, (1mm)

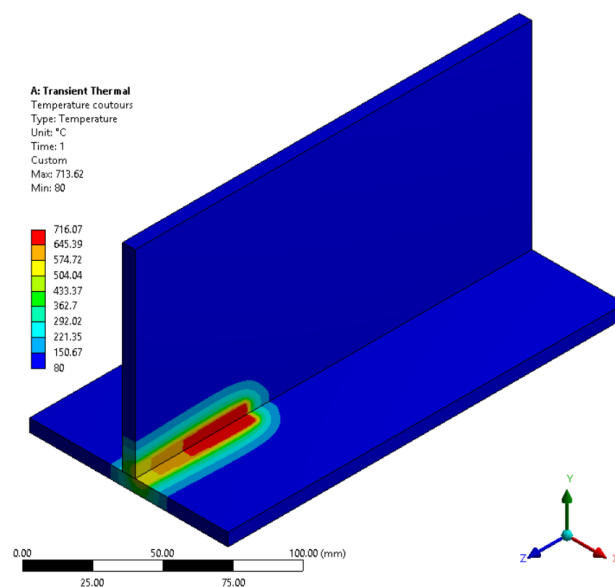


Figura 4 Contornos de temperaturas, cuando se encuentra a 50mm de distancia, ¼ parte del recorrido

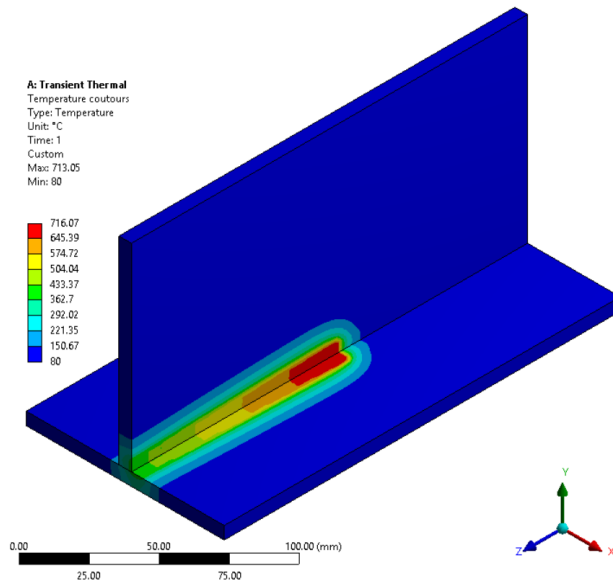


Figura 5 Contornos de temperaturas, cuando se encuentra a 100mm de distancia, 1/2 del recorrido

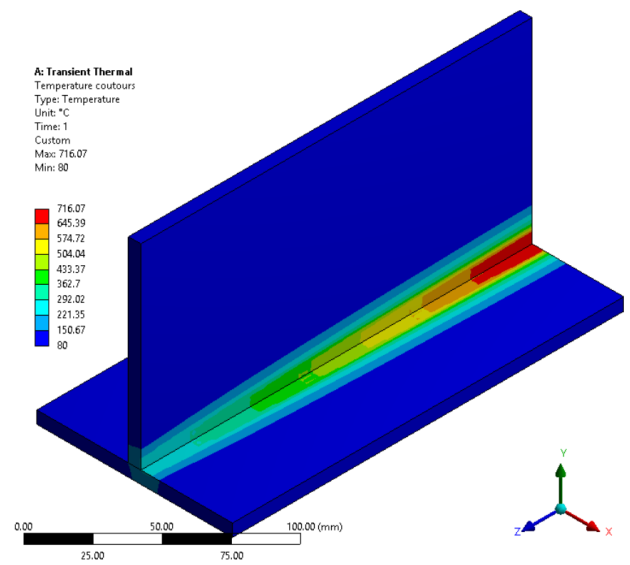


Figura 7 Contornos de temperaturas, cuando se recorre en su totalidad la distancia, (200mm) de distancia

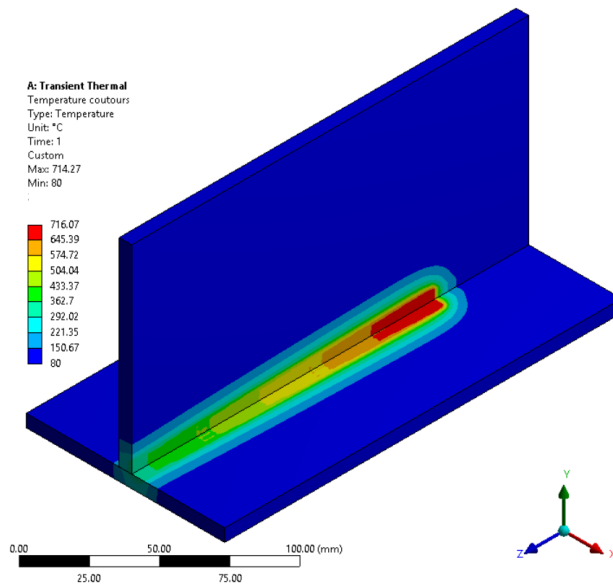


Figura 6 Contornos de temperaturas, cuando se encuentra a 150mm de distancia, 3/4 partes del recorrido

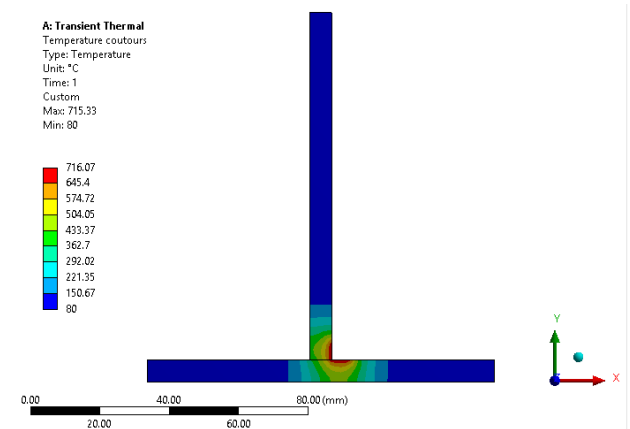


Figura 8 Contornos de temperaturas en la sección transversal de la probeta respecto a la dirección del flujo de calor

Cabe mencionar que dentro de la Figura 8, no se está tomando en cuenta el material de aporte suministrado por el electrodo donde existe una pequeña zona que rebasa el punto de fusión de la aleación de aluminio 5083 H321.

Conclusiones

La simulación realizada para obtener los contornos de temperaturas en un proceso de soldadura por arco eléctrico GMAW con el fin de visualizar el efecto del calor en el material, se ajusta a los parámetros recomendados por un proceso típico, logrando relacionar estos en la obtención de algunas variables que se deben aplicar como condiciones de frontera.

Dentro del trabajo se presenta una manera de poder determinar la zona afectada por el calor con una herramienta virtual que permite un mejor análisis para poder establecer o modificar los parámetros necesarios para realizar un procedimiento de soldadura.

Aunque el Proceso GMAW es recomendado para soldar aleaciones de aluminio el material se ve muy afectado por el calor y se debería tomar en cuenta otros tipos de proceso para no afectar severamente al material, sin embargo, este proceso es óptimo en grandes distancias y si se debe tomar en cuenta las cantidades que se deben manejar.

Referencias

Anderson, T. (2010). *Welding Aluminum—Questions and Answers*. Miami, FL. E. U. A.: American Welding Society.

Banda, F. S. (14 de Octubre de 2015). www.conacytprensa.mx. Obtenido de www.conacytprensa.mx.

Committee, A. I. (1992). *ASM handbook volume 2, Properties and selection: Nonferrous Alloys and, Special-Purpose Materials*. Estados Unidos de America: ASM International.

García, H. G. (2001). *Inspección de Soldadura*. México D. F.: American Welding Society.

L.P. Borrego, J. C. (2014). Fatigue life improvement by friction stir processing of 5083 aluminium alloy MIG butt welds. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 68-74.

M. Mazar Atabaki, N. Y. (2016). Partial Penetration laser-based welding of aluminum alloy (AA 5083-H32). *Optik*, , 6782-6804.

Nadzam, J. (2014). *Gas Metal Arc Welding Guidelines*. Obtenido de www.lincolnelectric.com.

Thomas J. Lienert, S. S. (2011). *ASM handbook volume 6A, Welding Fundamentals and Processes*. Estados Unidos de America.: ASM International.

vidahl, L. G. (1998). *The Everyday Pocket Handbook for Gas Metal Arc Welding (GMAW) of aluminum*. Estados Unidos de America: American Welding Society.

welding, C. o. (2014). *Structural Welding Code-Aluminum*. Estados Unidos de America: American Welding Society.