Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 697-703

FECTO DE LA POLARIDAD ELECTRICA EN LA SOLDADURA DE UN ACERO API X-65, MEDIANTE LA ADAPATCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG A SOLDADURA POR ELECTROGAS, CON AGIATCION MAGNETICA

Rafael García [1], Víctor H. López [1],Yohnny Lázaro [2]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (2): 697-703

FECTO DE LA POLARIDAD ELECTRICA EN LA SOLDADURA DE UN ACERO API X-65, MEDIANTE LA ADAPATCIÓN DEL PROCESO DE SOLDADURA MIG A SOLDADURA POR ELECTROGAS, CON AGIATCION MAGNETICA

Rafael García [1], Víctor H. López [1], Yohnny Lázaro [2]*

1: Dpto. de Soldadura y Unión de Materiales, Inst. de Inv. Metalúrgicas, Universidad Michoacana. Morelia, México
2: Industrial de servicios de inspección y control de calidad, Querétaro, Qro. México,

** E-mail: rgarcia@jupiter.umich.mx*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

En este trabajo se presentan los resultados, tanto de la adaptación del proceso de soldadura MIG, a la soldadura por electrogas, así como también los efectos de la polaridad eléctrica durante la soldadura, al aplicarle una agitación electromagnética externa, mediante una bobina de inducción de campo magnético, durante la ejecución de la soldadura en posición vertical, así como también la forma de aplicar la agitación electromagnética durante el proceso de soldadura, aplicando una intensidad de campo magnético de 400 microteslas (μT). El acero utilizado fue un API X-65 de dimensiones de 100x 85x12.5 mm, así como la del electrodo utilizado que fue un ER70s-6, de diámetro de 1.6 mm., se utilizó como gas de protección argón de 99.9% de pureza, se utilizaron dos tipos de polaridades directa e inversa, con corriente directa.

Palabras Claves: Adaptación del proceso de soldadura MIG, Soldadura por Electrogas , Inducción de campo magnético axial, Polaridad eléctrica.

Abstract

In this work the results are presented, so much of the adaptation of the MIG welding process to the electrogas welding process, as well as the effects of the electric polarity during the welding, to the applying an external electromagnetic stirring, by an induction of magnetic field, when the welding is carried out in vertical position, as well as the form of applying the electromagnetic stirring during the welding process, it was applying an intensity of magnetic field of 400 microteslas (μT). The steel used was an API X-65 with dimensions of 100x 85x12.5 mm, as well as the electrode used was an ER70s-6, with a 1.6 mm. of diameter, it was used argon as protection gas with a 99.9% of purity, and two types of the polarities were used direct and inverse, with direct current.

***Keywords**: MIG welding Process Adaptation, Electrogas welding, Axial Magnetic Field induction, Electric Polarity*

1. INTRODUCCION

La soldadura por electrogas es un proceso de soldadura por fusión, en donde el arco eléctrico se establece entre un electrodo de alimentación continua y una pileta líquida de soldadura, para realizar la soldadura de una sola pasada en posición vertical ascendente, utilizando zapatas laterales que sirven de contención del material en estado líquido, las cuales son refrigeradas con agua (1). La protección del cordón de soldadura se realiza mediante el suministro de un gas externo, el cual a su vez sirve también para la formación y estabilización del arco eléctrico. Este proceso de soldadura esta considerado como un proceso de alto aporte térmico, lo que conduce a la obtención de cordones de soldadura con una microestructura basta, tanto en el cordón de soldadura como en la zona afectada térmicamente (ZAT), dando por consiguiente bajas propiedades mecánicas de tenacidad (2).

A través de los años se han implementado mecanismos de refinamiento de la microestructura, en el cordón de soldadura, con la finalidad de extender el beneficio que propician los procesos de soldadura de alto calor aportado y la soldadura de espesores considerados en una sola pasada. Están el

uso de elementos microaleantes, como el Ti, Nb, y V, así como la aplicación de agitación electromagnética, la cual, actualmente esta siendo aplicada en los procesos de colada continúa (3), para controlar y modificar el fenómeno de solidificación.

En cuanto a la aplicación de la agitación electromagnética en soldadura, actualmente diferentes investigadores han enfocado su interés en soldaduras de diferentes materiales como aleaciones de aluminio, aceros inoxidables, limitándose al estudio de los cordones de soldadura, realizados sobre placas de 3 mm de espesor (4,5,6). Esto aplicado a condiciones con preparación de unión tiene ciertas consideraciones que deben ser tomar en cuenta.

Por otra parte Yoshiki et al, (7), han estudiado el efecto de la agitación electromagnética sobre la eliminación de la susceptibilidad a la figuración en caliente de las soldaduras del magnesio, concluyendo que el refinamiento de la microestructura del cordón de soldadura, ayuda a una distribución homogénea de las impurezas, causantes de la figuración en caliente en los cordones de soldadura.

El objetivo principal del presente trabajo fue: establecer el efecto que tiene el tipo de polaridad en la soldadura por electrogas, utilizando la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas, con la aplicación de una baja intensidad de campo magnético axial, del orden de 400 micro teslas (μT).

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En la realización experimental del presente trabajo se utilizó un acero API X-65, de un espesor de 12.5 mm., cuya composición química se especifica en la tabla 1, en donde también se especifica la composición química del electrodo utilizado, el cual fue, un electrodo ER70s-6, con un diámetro de 1.6 mm., de acuerdo a la especificación AWS A 5.18. el gas de protección utilizado fu argón, con 99.9% de pureza, el medio de enfriamiento utilizado en las zapatas laterales fue el gas CO_2, el cual tiene una constante de conductividad térmica de: k = 16.55 W/m*°K, a temperatura abient. Usando un flujo de 47 Lts/min., en las dos zapatas, o sea 26.5 Lts/min en cada zapata.

Los bordes de la unión fueron cuadrados, tal como se ilustra en la figura 1, en donde se pueden apreciar las dimensiones de las placas, las cuales fueron obtenidas de una tubería de 1000 mm. De diámetro, 100x85x12.5 mm. También se utilizó una guía consumible, fabricada del mismo material de la tubería, la cual fue fabricada en forma cilíndrica, tal como se ilustra en la figura 2, en donde también se observa la ubicación de la misma en la unión, tal y como se realizo la soldadura, las dimensiones de la guía consumible son 100x4x3, longitud, radio exterior e interior respectivamente..

Tabla 1. Composición química de los materiales consumibles % en peso

Material	C	Mn	Si	P	S	Nb	Ni
API X-65	0.04	1.48	0.25	0.012	0.002	0.47	0.5
ER70s-6	0.08	1.62	0.62	0.025	0.0.35		

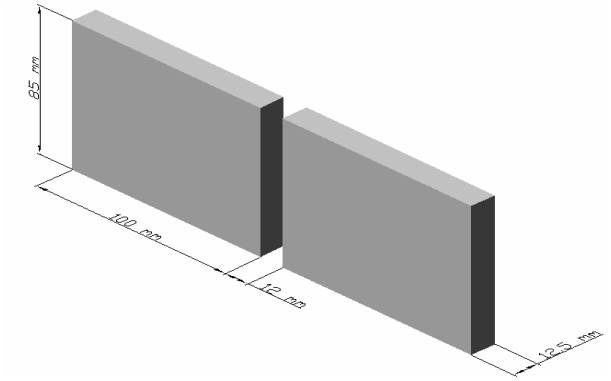


Fig.1.- Esquema del diseño de la unió y las dimensiones de las placas.

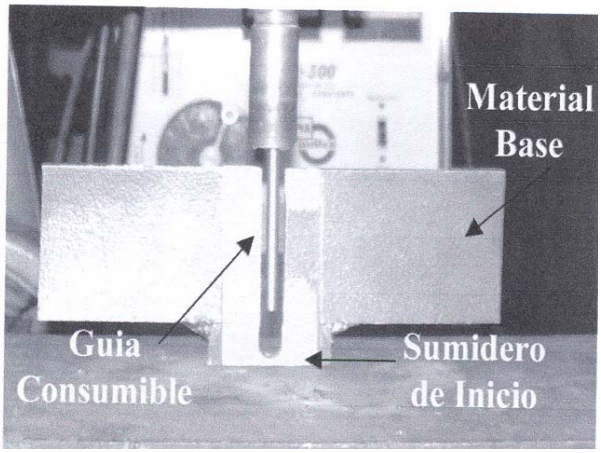


Fig.2.- Muestra la ubicación de la guía consumible centrada en la unión a soldar.

El equipo de soldadura utilizado, fue una fuente de potencial constante de 300 amperios, con 50 voltios a circuito abierto y un rango de voltaje de trabajo de 0 a 50 voltios, con una eficiencia del 60%, como el equipo esta diseñado para trabajar como proceso

de soldadura semiautomático, tanto para los procesos de soldadura MAG Y MIG, tal como se ilustra en la figura 3, en donde se puede apreciar la típica antorcha de cuello de ganso, lo cual aunado a la forma de suministro del electrodo en bobinas de 15 Krs. Esto hace aun más complicado la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas.

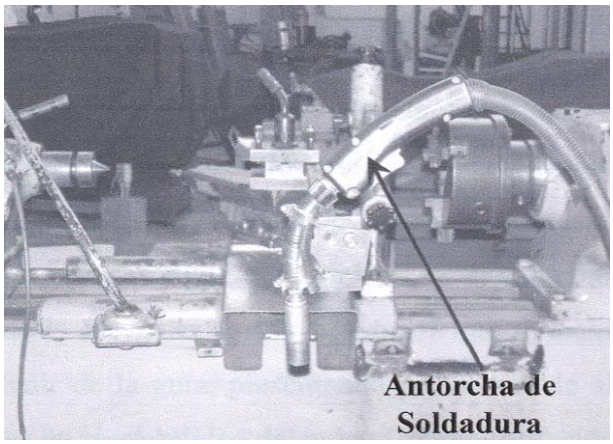


Fig.3.- Muestra la antorcha de soldadura utilizada en el proceso de soldadura MIG.

2.1.- Adaptación del proceso de soldadura mig a soldadura por electrogas.

Para la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas, se diseñaron los elementos necesarios, que permitieran la depositación de los cordones de soldadura en una sola pasada, en forma vertical ascendente, tal como se ilustra en la figura 2.

2.1.1.- Diseño del sistema de enderezamiento del electrodo.

Debido a que el electrodo es suministrado en rollos de 15 Kgrs., y un diámetro de 50 cm., así como el efecto de la curvatura de la antorcha, dificultan el alineamiento adecuado del electrodo en el diseño de la unión, el cual siempre tiende a ubicarse hacia una de los bordes de una de las placas, se diseño un sistema de enderezamiento del electrodo, mediante un juego de rodillos planos, colocados de la forma que se indica en la figura 4. También se diseño un aditamento para el suministro del gas de protección, con la finalidad de que el gas llegue en forma uniforme, para la formación del gas plasma y la protección de la pileta líquida de soldadura. Este aditamento se muestra en la figura 5.



Fig.4.- Muestra el sistema de enderezamiento del electrodo.

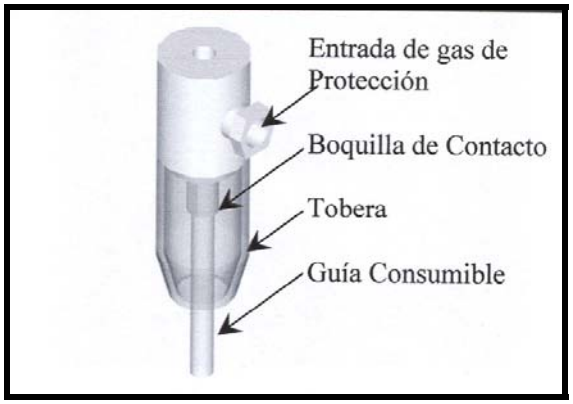


Fig. 5.- Ilustra el sistema de suministro de gas de protección, así como la boquilla, tobera y guía.

Fig.-6 Ilustra la colocación de la guía consumible y el suministro de gas de protección.

La figura 6, muestra la forma de ubicación de la guía consumible y la entrada del gas de protección a la tobera, para su distribución uniforme, dentro de la unión a soldar.

2.1.2.- Fabricación de las zapatas laterales de enfriamiento y retención del líquido.

Por la posición vertical ascendente de depositación de la soldadura, es necesario el uso de zapatas laterales, las cuales sirven como medio de retención del metal en estado líquido y a su vez de medio de enfriamiento, para este efecto se fabricaron dos zapatas laterales de cobre de alta pureza (99.9 %), con una conductividad térmica de 386 W/m °K y dimensiones de 90x40x35 mm., utilizándose una frezadora vertical de control numérico. Las zapatas en su parte interna tienen aspas de enfriamiento intercaladas, para lograr una mejor disipación del

calor, ya que el flujo del medio de enfriamiento realice un recorrido interno en forma de sic zac, y como fueron maquinadas en dos partes, el ensamble fue realizado mediante soldadura autógena, utilizándose como material de aporte un electrodo de bronce.

La figura 7, muestra la configuración final de la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas, en conjunto con la bobina de aplicación del campo magnético axial.

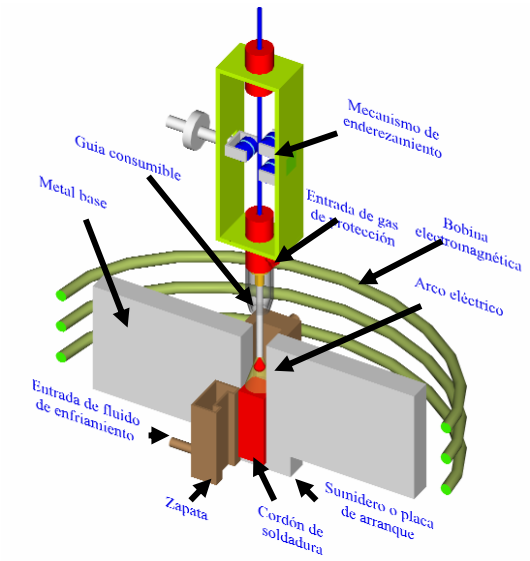


Fig. 7.- Esquema de adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas.

Las variables operativas utilizadas durante el proceso de soldadura por electrogas son las que se muestran en la tabla 2.

La medición del campo magnético se determino mediante un gausimetro de medición directa, con una capacidad de 2000 µT, en el interior de la bobina inductora y sobre el cable conductor de la corriente de soldadura, la corriente circulante alrededor de la bobina inductora fue la misma corriente utilizada en la soldadura.

Una vez realizados los cordones de soldadura se caracterizaron, mediante microscopia óptica y mediante ensayos mecánicos de tensión y microdureza en la escala vickers, para lo cual se cortaron probetas transversales al cordón de soldadura, para su preparación metalografica, utilizando las técnicas estandar de pulido, y posteriormente se atacaron con una solución de nítal al 4%, para revelar los perfiles de los cordones de soldadura, así como la microestructura tanto de la soldadura como de la ZAT.

La preparación de las probetas de tensión se maquinaron de acuerdo a la norma ASTM A-36B

Tabla 2. Variables operativas de soldadura utilizadas

Variable	Polariza (-)	Polaridad (+)
Corriente	180 Amp.	250 Amp.
Voltaje	27 vol.	30
Velocidad Av.	1.3 mm/seg.	1.43 mm/seg.
Aporte térmico	3.7 Kj/mm.	5.2 Kj/mm.
Flujo de Ar.	21 Lts/min.	21 Lts/min.
Flujo CO_2	26.5 Lts/min.	26 Lts/min.
H. transversal	197 µT	250 µT
H. Axial	400 µT	600 µT

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

La figura 8, muestra la microestructura del acero API X-65, la cuala consta de ferrita de grano fino, con un tamaño promedio de 9 µm. Esto es debido al proceso de laminado controlado y la presencia del elemento microaleante Nb, en la composición química del acero, el cual actúa como refinador después del proceso de laminado controlado, con un enfriamiento de normalizado.

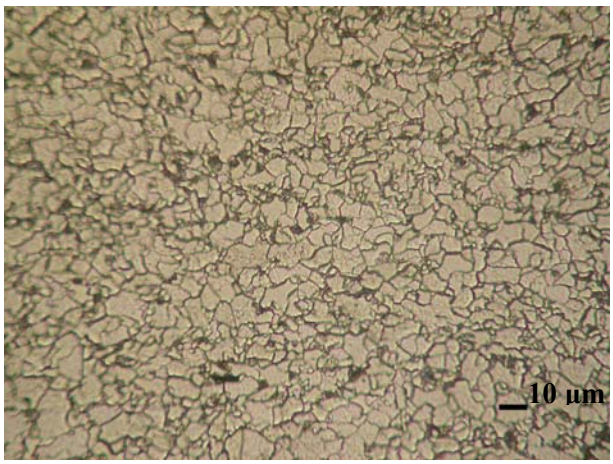


Fig.8.- muestra la microestructura del material base, la cual consta ferrita de grano fino.

El contenido de niobio esta en el rango de medio porcentaje, lo cual lo hace como un elemento efectivo en el refinamiento de la microestructura (8), ya que su temperatura de solubilidad y precipitación de los compuestos que forma como carbonituros de niobio (NbNC), esta en 1050°C, lo que impide el crecimiento del grano austenítico y propicia la nucleación de los granos de ferrita durante el enfriamiento.

La figura 9, muestra la terminación de un cordón de soldadura depositado con la adaptación del proceso de soldadura MIG a electrogas, en donde se puede apreciar una continuidad desde la parte inferior hasta la parte superior. Esta apariencia se logro con ambos tipos de polaridades, polaridad directa (-) y polaridad inversa (+), con algunas diferencias en la parte interna, en función del campo magnético generado por la corriente de soldadura, la cual genera un campo magnético transversal al arco eléctrico, creando así una polaridad magnética entre los bordes de la unión.



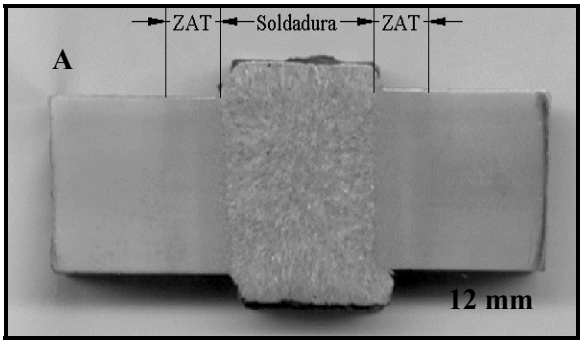
Fig. 9.- Muestra la unión soldada con aplicación de campo magnético axial, cono polaridad (-).

La polaridad magnética en los bordes de la unión actúan como un acelerador de partículas cargadas, como son los electrones y los iones positivos que forman el gas plasma en el arco eléctrico y por consiguiente, las pequeñas gotas de material fundido, lo cual dan origen a un sistema de centrifugado en la columna del arco eléctrico, que dependiendo del tipo de polaridad empleada y el sentido de movimiento de los electrones, la fuerza máxima puede estar en la parte inferior del arco eléctrico o en la parte superior, esto esta de acuerdo al principio físico del electromagnetismo, que aplicado a la soldadura da los argumentos para explicar adecuadamente las diferencias obtenidas en los cordones de soldadura en función de las polaridades empleadas.

La figura 10 a y b, muestran los perfiles de los cordones de soldadura depositados con la polaridad directa y la polaridad inversa, en donde se aprecia una exagerada diferencia al respecto, mientras que el perfil del cordón de soldadura obtenido con la polaridad directa es uniforme sin defecto alguno. El perfil del cordón de soldadura, depositado con la polaridad inversa tiene una porosidad en el centro del cordón de soldadura y en forma radial muchas más. Esto es ocasionado por el desplazamientote los electrones de la superficie de la pileta líquida al extremo del electrodo, generándose una fuerza mayor en la superficie de la pileta líquida, propiciando una excelente fusión lateral y un acabado superficial de mejor apariencia que con la polaridad directa, pero a la vez generando un entubamiento central y porosidad radial, ya que el giro del gas plasma es en espira (9), mientras que en la polaridad directa la mayor fuerza se ubica en el extremo del electrodo y la menor en la superficie de la pileta líquida, dando por consecuencia un cordón de soldadura con menor penetración lateral y una apariencia superficial de no muy buena calidad, pero sin defectos de soldadura internos.

La aplicación del campo magnético axial, además de interactuar con el campo magnético generado por la corriente de soldadura, el cual es perpendicular al arco eléctrico, tiene dos funciones fundamentales, el de refinar la microestructura y el de evitar la desviación del arco eléctrico debido a la polaridad magnética, que ejerce atracción sobre la columna del arco, provocando la desviación denominada soplo de arco, lo que ocasiona defectos de soldadura como falta de fusión lateral en la soldadura a diferentes intervalos del cordón de soldadura, tal como se muestra en la figura 11, la cual es muy común encontrar este tipo de defectos cuando se utiliza este proceso de soldadura por electrogas, ocasionado por los polos magnéticos generados en los bordes de la unión al utilizar corriente continua, independiente del tipo de polaridad.

La falta de fusión lateral se presenta como una discontinuidad con pequeñas gotas de material atrapadas en la imperfección y huecos de falta de llenado del material líquido.



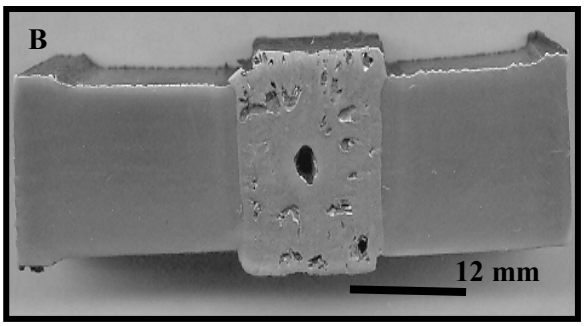


Fig. 10.- Muestra los perfiles de los cordones de soldadura depositados con aplicación de campo magnético axial, a) polaridad directa y b) polaridad inversa.

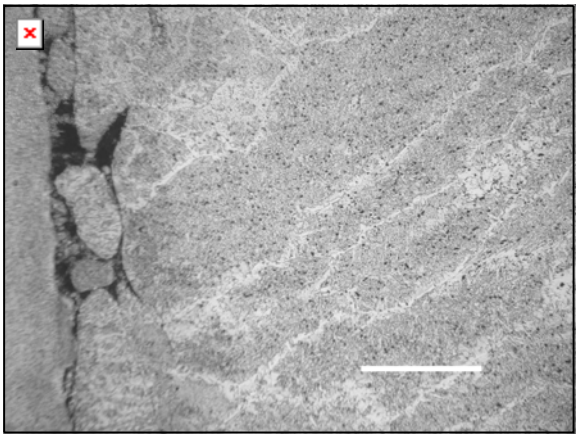
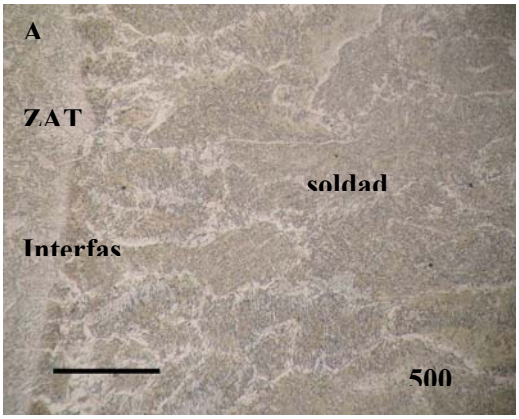


Fig.11.- Ilustra la falta de fusión lateral debida a la desviación del arco, por efecto de la polaridad magnética.

La figura 12 a y b, muestran las dos interfases de la unión de soldadura obtenida con la polaridad directa, en donde se aprecia una continuidad adecuada y un tamaño de grano columnar no muy grande, como es el caso generalizado de los procesos de soldadura de alto calor aportado, como el de electrogas y el de electroescoria.



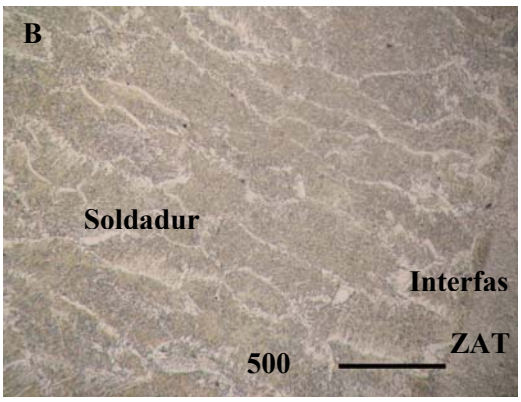


Fig. 12.- Muestra las dos interfases del cordón de soldadura depositado con polaridad directa y campo magnético axial.

3.1.- Propiedades mecánicas

La grafica de la figura 13 muestra el perfil de microdureza Vickers, del cordón de soldadura depositado con polaridad directa, en donde se aprecia que la microdureza en el cordón de soldadura es levemente mayor que la microdureza en la zona afectada térmicamente, lo que nos indica que el cordón de soldadura debido a su microestructura posee estos valores de microdureza uniforme sin variaciones apreciables, ya que su microestructura también es uniforme en todo el cordón, ocasionada por la interacción de los dos campos magnéticos perpendiculares entre si. Esto también se refleja en la resistencia mecánica a la tensión en donde la fractura ocurrió fuera del cordón de soldadura y de la zona afectada térmicamente, con una resistencia mecánica a la tensión igual a la del material base, pues ocurrió en el mismos material base como lo ilustra la figura 14 y la tabla 3.

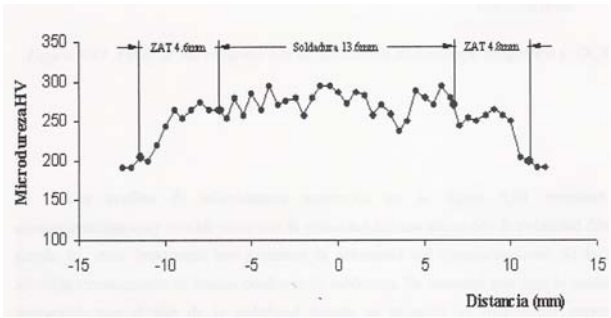


Fig.13.- Muestra el perfil de microdureza del cordón de soldadura, depositado con polaridad directa

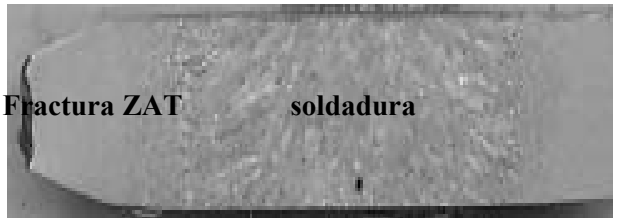


Fig.14.- Ilustra en donde ocurrió la fractura en las probetas ensayadas.

Tabla 3. Muestra los resultados del ensayo de tesnsión

Material	Σf MPa	σ max. MPa	% Elongación
Soldadura (-)	432.4	561.5	20
M. Base	480	554	35

La diferencia más notables es la perdida de tenacida, divida aun possible envejecimiento dinamico, el cual ha sido reportado por algunos autores, el cual ocurre en este tipo de aceros microaleados (8).

4. CONCLUSIONES.

Una vez analizados los resultados obtenidos en el presente trabajo, del efecto de la polaridad en la soldadura del acero API X-65, soldado con la adaptación del proceso de soldadura MIG a electrogas y con aplicación de campo magnético axial, podemos concluir lo siguiente.

5.1.- El uso de la polaridad inversa en la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas, causa defectos de porosidad interna en la soldadura, así como un incremento de corriente y voltaje, durante la realización de la soldadura, lo que la hace inapropiada.

5.2.- El uso de la polaridad directa resulto ser la mejor, por haber dado los mejores resultados de la unión, sin defectos en la unión y con una microestructura adecuada, faltado por supuesto determinar la tenacidad tanto de la soldadura como la de la ZAT.

5.3.- En cuanto a la adaptación del proceso de soldadura MIG a soldadura por electrogas, podemos concluir que se logro con éxito lo propuesto.

5.4.- Finalmente concluimos en cuanto a la aplicación de campos magnéticos en la soldadura real, que hay ciertas dificultades que se deben de resolver, los cuales no se presentan al depositar cordones de soldadura sobre superficies planas.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo desean agradecer el apoyo económico que la coordinación de la investigación científica de la Universidad Michoacana, proporcionó para la realización del presente trabajo, así como al CONACYT, por la beca otorgada al estudiante de maestría.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1]American Welding Society. Welding Handbook, Welding Process, Vol. 1, eight edition. USA, 1996, p234- 250.

[2]J. G. Zayas. Fundamentos y Posibilidades de Aplicación del Proceso de soldadura por Elecrogas, Departamento de Ingeniería Química y Metalúrgica, Universidad de Barcelona, España. Septiembre 1992: p. 52-104.

[3]B.Q. Li. Solidification Processing of Materials in Magnetic Fields, JOM, February 1998, p 2-32.

[4]M. G. Mousavi, M. J. M. Hermans, I. M. Richardson and G. den Ouden. Grain refinement due to grain detachment in electromagnetically stirred AA 7020 welds. Science and Tecnology of Welding and Joining, 2003, vol. 8, No. 4, p. 309-312.

[5]J.C. Villafuerte and H. W. Kerr, Electromagnetic Stirring and Grain Refinement in Stainless Steel GTA Welds, Welding Journal, 1990, Vol.69, No. 1, p.1s-13s.

[6]M. Malinowski-Brodnicka, G. den Ouden and W. J. P. Vink. Effect of Electromagnetic Stirring on GTA Welds in Austenitic Stainless Steel. Welding Journal, 1990, Vol. 2, No. 2. p.52s-59s.

[7]Y. Mizutani, T. Tamura and K. Miwa. Microestructure Refinement Process of Pure Magnesium by Electromagnetic Vibrations, Materials Science & Engineering, August 2005, P. 1-10.

[8]American Society for Metals. High Strength Low alloy Steels, 2001, P. 202-250.

[9]M. Alonso y E. J. Finn. Física II, Campos y Ondas, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Madrid España, 1970. P. 513- 574.