

Estudio del proceso de soldadura GTAW en el modo *cold wire*

La automatización de los procesos de soldadura tiene por objetivo aumentar la productividad y asegurar la calidad para la obtención de mayor repetitividad en la producción. El proceso GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) con corriente continua pulsada trae algunos beneficios metalúrgicos para las uniones soldadas y también facilita la ejecución de soldaduras fuera de la posición plana. Este trabajo tiene como objetivo principal caracterizar el proceso de soldadura GTAW con adición automática de alambre, en la modalidad *cold wire*, verificando el efecto de las variables del proceso sobre las características geométricas del cordón de soldadura. Para la realización del estudio se montó un banco de ensayos en el Laboratorio de Procesos de Soldadura (LPS) de la Universidad de Antofagasta. Las variables estudiadas fueron la corriente de soldadura (continua constante y continua pulsada) y la velocidad de alambre. Los resultados muestran que el proceso implementado presenta mayor productividad y calidad de los cordones en relación al proceso GTAW manual. Los mejores resultados se encontraron cuando se utilizó la corriente continua pulsada debido a que el proceso presentó mayor estabilidad y posibilidad de aplicarlo en posiciones fuera de la plana. El proceso de soldadura aquí estudiado permite ejecutar soldaduras en un menor tiempo, disminución del consumo de gas, mejor calidad de los cordones de soldadura y disminución de las horas hombre, lo que se traduce en la disminución de los tiempos de mantenimiento y aumento de la disponibilidad.

Norman López, Víctor Vergara ,
Abdón Espinosa y Manuel Camus.
*Departamento de Ingeniería
Mecánica, Universidad de
Antofagasta, Antofagasta, Chile*

Jair Carlos Dutra. *Departamento de
Ingeniería Mecánica, Universidad
Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Brasil*

GTAW welding process study in cold wire mode

The automation of welding processes aims to increase productivity and ensure quality in order to obtain the greatest number of repetitions in production. The Gas Tungsten Arc Welding process (GTAW) with a continuous pulsing current has some metallurgical benefits for the welded joints and also facilitates welding other than flat positions. The main objective of this paper is to characterize the GTAW process with automatically adding wire in the cold wire mode, verifying the effect of the process variables on the geometric characteristics of the welded seam. To conduct this study, a test bench in the Universidad de Antofagasta Laboratory of Welding Processes was set up. The variables studied were the welding current (continuous constant and a pulsing current) and the wire speed. Results show that the process implemented has more productive and higher quality seams in relation to the manual GTAW process. The best results were found when using a pulsated direct current as the process was more stable and can be applied in other positions besides flat. The welding process studied here can run in less time, reduce gas consumption, increase the quality of weld seams and reduce man-hours; resulting in decreased maintenance time and increased availability.

Norman López, Víctor Vergara,
Abdón Espinosa and Manuel
Camus. *Departamento de Ingeniería
Mecánica, Universidad de
Antofagasta, Antofagasta, Chile*

Jair Carlos Dutra. *Departamento de
Ingeniería Mecánica, Universidad
Federal de Santa Catarina,
Florianópolis, Brazil*

INTRODUCCIÓN

El proceso GTAW durante tiempo ha sido estigmatizado como poco eficiente y de baja productividad, pero dependiendo de las condiciones de comparación con otros procesos de soldadura, el proceso GTAW puede tener hasta un tercio menos de potencia utilizada y al automatizarlo alcanza un nivel de producción competitivo ante otros procesos de soldadura (Schwedersky, 2011). El proceso GTAW es frecuentemente utilizado para realizar el pase de raíz en tuberías de acero al carbono y acero inoxidable empleando material de aporte. Lo que resta de los cordones, para completar la unión, es normalmente relleno por el proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding) o procesos semi automáticos con alambre continuo, como el proceso de soldadura GMAW- Gas Metal Arc Welding (Schwedersky, *et al.*, 2011, Informe Asistencia Técnica Centro de Ingeniería y Tecnología de los Materiales Universidad de Antofagasta, 2012).

Este proceso de soldadura puede ser aplicado a casi cualquier tipo de metal, como: Aluminio, Acero Inoxidable, Acero al Carbono, Hierro Fundido, Cobre, Níquel, Magnesio.

Es especialmente apto para unión de metales de espesores delgados, desde 0,5 mm, debido al control preciso del calor del arco y la facilidad de aplicación con o sin metal de aporte, por ejemplo, tuberías y estanques. Se utiliza también en unión de espesores mayores, cuando se requiere calidad y buena terminación de la soldadura.

En soldaduras con corriente continua pulsada, se tiene mejor control del arco y mejor estabilidad cuando se compara con la corriente continua constante. Los cordones realizados con corriente continua pulsada tienen gran aplicación cuando se ejecutan fuera de la posición plana, por el mejor control de la poza fundida. Por otro lado presenta ventajas metalúrgicas, debido a la microestructura refinada que se obtiene, mejorando las propiedades mecánicas de la soldadura, por ejemplo la dureza (Delgado, 2000; Kou, 2003).

La forma más utilizada para adicionar material en el proceso GTAW consiste en la utilización de varillas de 914 mm de longitud (36 pulgadas). Aquí, el material depositado en la forma de gotas formadas a partir de la fusión del extremo de la varilla en contacto con la columna de arco se desprenden y llenan la pileta de fusión. Esta es la forma más difundida de adicionar manualmente material en el proceso GTAW. Sin embargo, la productividad se torna considerablemente baja en virtud de las constantes paradas por el cambio de varilla a lo largo de la operación.

Este trabajo tiene como objetivo principal, caracterizar el proceso de soldadura GTAW con adición automática de alambre, en la modalidad *cold wire*, verificando el efecto de las variables del proceso sobre las características geométricas del cordón de soldadura de manera de poder contribuir en la disminución de los tiempos de mantención y poder aumentar la disponibilidad. La propuesta de este estudio consiste en alimentar el arco con alambre continuo, semejante a lo que sucede con el proceso de soldadura GMAW. Al alimentar con alambre continuo, con una bobina de alambre que se instala en la máquina no hay necesidades de paradas ni tampoco dependencia de la habilidad del soldador para producir el cordón de soldadura. La figura 1 muestra un esquema del proceso de soldadura GTAW con adición automática de alambre.

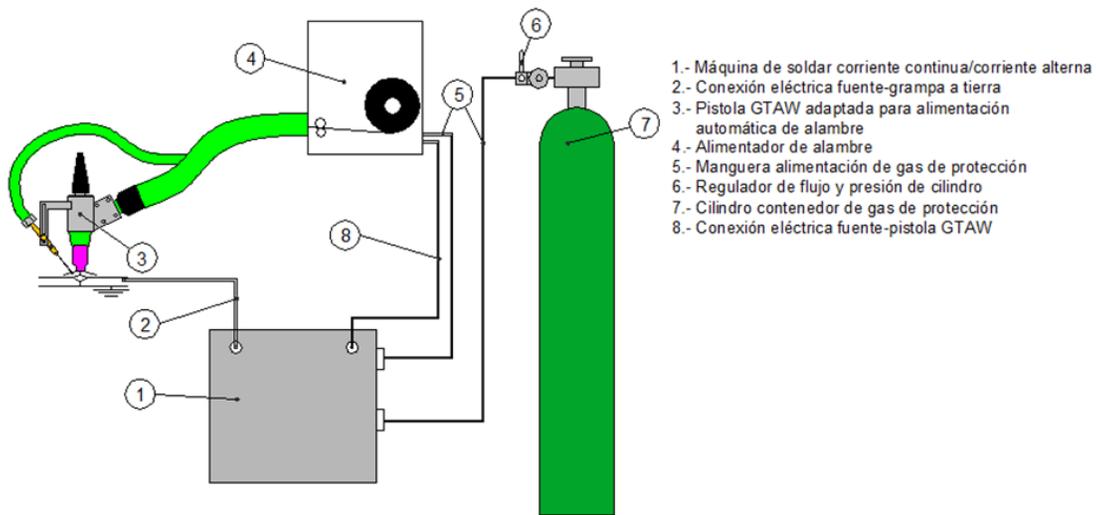


Figura 1 Esquema propuesto del proceso con adición automática de alambre (Delgado, 2000)

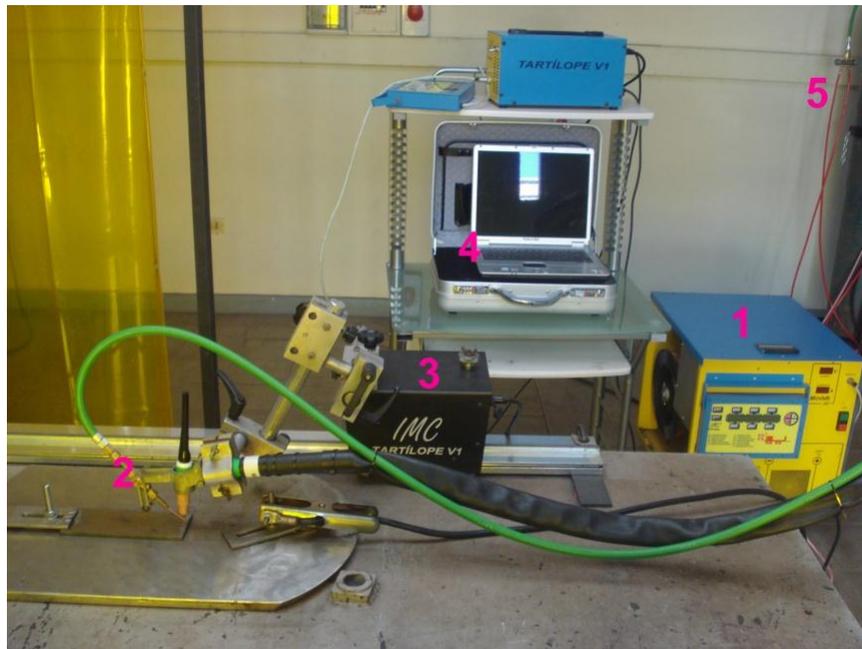
El Laboratorio de Procesos de Soldadura (LPS) dispone de una máquina de soldar que permite, a través del cambio de una “eprom”, instalar programas para el control de los parámetros de soldadura. El programa para gerenciar el proceso fue desarrollado por el Laboratorio de Soldadura LABSOLDA de la Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil.

METODOLOGÍA

Para cumplir con el objetivo de este trabajo, se montó un banco de ensayos en el Laboratorio de Procesos de Soldadura (LPS) del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Antofagasta (Figura 2). Una pistola GTAW fue adaptada para este estudio de manera de permitir la entrada del alambre en forma continua en el arco voltaico.

El banco de ensayos está compuesto básicamente por una máquina de soldar MINITEC 200, sistema de traslación de la pistola, gas de protección y sistema de adquisición de datos. La máquina de soldar se desarrolló para operar en las opciones GTAW con corriente continua constante y corriente continua pulsada. Como se ha iniciado el programa para gerenciar el proceso fue desarrollado por el Laboratorio de Soldadura LABSOLDA de la Universidad Federal de Santa Catarina, Brasil. El sistema de traslación de la pistola tiene un intervalo de operación de 5 a 160 cm/min.

Se realizaron cordones unitarios en la posición plana sobre chapas de acero SAE 1010 de dimensiones de 200X63X10 mm. La tabla 1 muestra el plan de ensayos. Los parámetros que se mantuvieron constantes fueron la distancia electrodo-pieza de 5 mm, velocidad de avance de la pistola de 15 cm/min, material de aporte ER70S-6 de 0,8 mm de diámetro, gas de protección Ar con un caudal de 12 l/min, electrodo no consumible de tungsteno del tipo EWTh-2 de 2,4 mm de diámetro con un ángulo en la punta de 30°.



1. Máquina de soldar, 2. Pistola GATW adaptada, 3. Sistema de traslación de la pistola, Adquisición de datos, 5. Gas

Figura 2 Banco de ensayos. Laboratorio de Procesos de Soldadura (LPS)

Tabla 1 Plan de ensayos

Ensayo N°	Tipo de corriente	Va (m/min)	tp=tb (s)	f(Hz)	Im(A)
1	CCP	2	0,1	5,0	110
2	CCP	2,5	0,1	5,0	110
3	CCP	3	0,1	5,0	110
4	CCP	2	0,2	2,5	110
5	CCP	2,5	0,2	2,5	110
6	CCP	3	0,2	2,5	110
7	CCP	2	0,3	1,7	110
8	CCP	2,5	0,3	1,7	110
9	CCP	3	0,3	1,7	110
10	CCC	2	N/A	N/A	110
11	CCC	2,5	N/A	N/A	110
12	CCC	3	N/A	N/A	110

CCP: Corriente continua pulsada, CCC: Corriente continua constante, Va: Velocidad de alambre, tp: Tiempo de pulso, tb: Tiempo de base, f: Frecuencia de pulsación, Im: corriente media

RESULTADO Y DISCUSIÓN

En las figuras 3 a la 5 se muestra el aspecto superficial y oscilogramas característicos de corriente y tensión de arco de los cordones realizados con corriente continua pulsada. La figura 6 muestra el aspecto superficial y oscilograma característico de corriente y tensión de arco de cordones realizados con corriente continua constante. Por razones de espacio no se muestran todas las figuras correspondientes al plan de ensayos de la tabla 1.

Del conjunto de figuras, se puede observar la influencia de la velocidad de adición de alambre (V_a) y la frecuencia de pulsación en sus tres niveles. Para valores bajos de velocidad de alambre, el material depositado en el cordón puede ser no uniforme, lo cual es atribuible a la baja tasa de adición de material de aporte para este nivel de energía en el arco, donde el material de aporte se puede fundir en los contornos del arco voltaico generando un depósito con refuerzo irregular cuya sección transversal se puede observar en la figura 7a. Para niveles de velocidad de alambre superiores a 3,0 m/min el alambre entra en contacto con el material base ya que traspasa el centro del arco voltaico y no alcanza a ser fundido por la energía disponible en el arco.

Respecto a la frecuencia de pulsación, a medida que disminuye este parámetro, la distancia de escamado "a" aumenta. Así, para frecuencias bajas, debido al alto valor de "a", comienzan a presentarse zonas deficientes de material de aporte donde se acentúa la variación de la penetración, mientras que para las mayores frecuencias se puede observar mayor densidad del escamado, es decir, un menor valor de "a" (figuras 3, 4 y 5), lo que se traduce en mayor regularidad en el refuerzo y penetración del cordón. En la figura 7b se puede observar la variación de la penetración que puede generar la baja frecuencia en corriente continua pulsada.

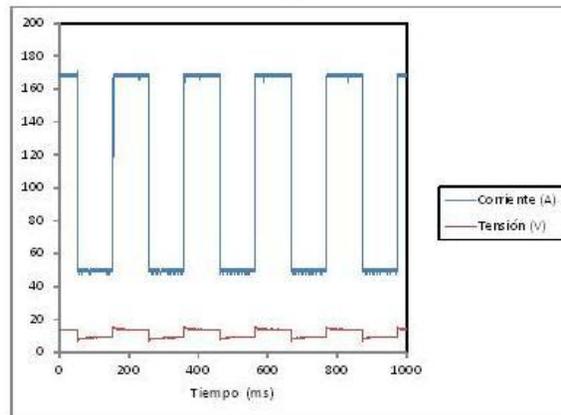
Para finalizar, es importante discutir los oscilogramas de tensión y corriente mostrados en las figuras 3, 4 y 5. Como se puede apreciar en cada una de las figuras, la corriente impuesta para este grupo de ensayos es de notable apego al formato teórico de corriente continua pulsada. El mejor resultado en el aspecto superficial es el mostrado en la figura 5 que corresponde a una velocidad de alambre de 3,0 m/min, con una frecuencia de pulsación de 5 Hz.

Analizando los ensayos realizados con corriente continua constante, de la figura 6, se verifica la nula presencia de defectos tales como salpicaduras o socavaciones. La ausencia de estas discontinuidades es característica en el proceso de soldadura GTAW. Por otro lado, los oscilogramas de corriente y tensión de arco para cada uno de los ensayos, muestran la tendencia constante característica para esta forma de corriente.

Para un nivel bajo de velocidad de adición alambre, el formato superficial del material depositado no es totalmente regular, pudiendo tenerse depósito (del material de aporte) por goteo a lo largo del cordón. A medida que aumenta la velocidad de alambre, se tiene mayor regularidad en el material de aporte depositado, volviéndose más uniforme el aspecto superficial. La velocidad de adición de alambre se limita a velocidades superiores a 3 (m/min), debido a que el alambre no alcanza a ser fundido por el arco entrando en contacto con el material base. En este tipo de corriente, a velocidad de soldadura constante, juega un rol importante en el formato de los cordones de soldadura definiendo la regularidad del formato a lo largo del cordón, ya que la presión del arco (dependiente de la intensidad de corriente) se mantiene sin altas variaciones que puedan alterar el formato superficial como sucede en corriente continua pulsada. Los mejores resultados en el aspecto superficial son los indicados en la figura 6, que corresponde a una velocidad de alambre de 3,0 m/min.

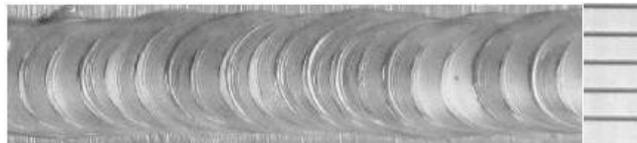


(a)

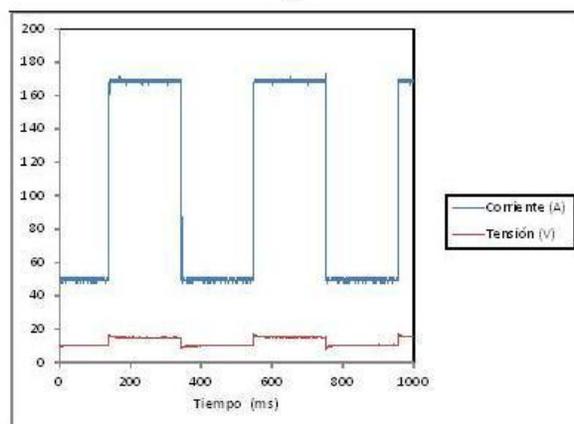


(b)

Figura 3 Cordón y oscilograma de ensayo N°3. $V_a=3,0$ m/min, $f=5$ Hz. a) Aspecto superficial, b) Oscilograma de corriente y tensión de arco de soldadura



(a)



(b)

Figura 4 Cordón y oscilograma de ensayo N°6. $V_a=3,0$ m/min, $f=2,5$ Hz. a) Aspecto superficial, b) Oscilograma de corriente y tensión de arco de soldadura

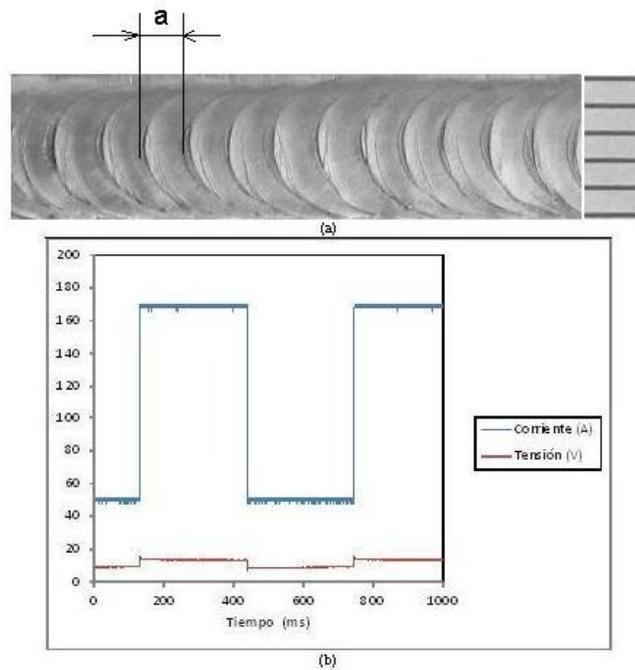


Figura 5 Cordón y oscilograma de ensayo N°9. $V_a=3,0$ m/min, $f=1,7$ Hz. a) Aspecto superficial, b) Oscilograma de corriente y tensión de arco de soldadura. a: Separación de escamas.

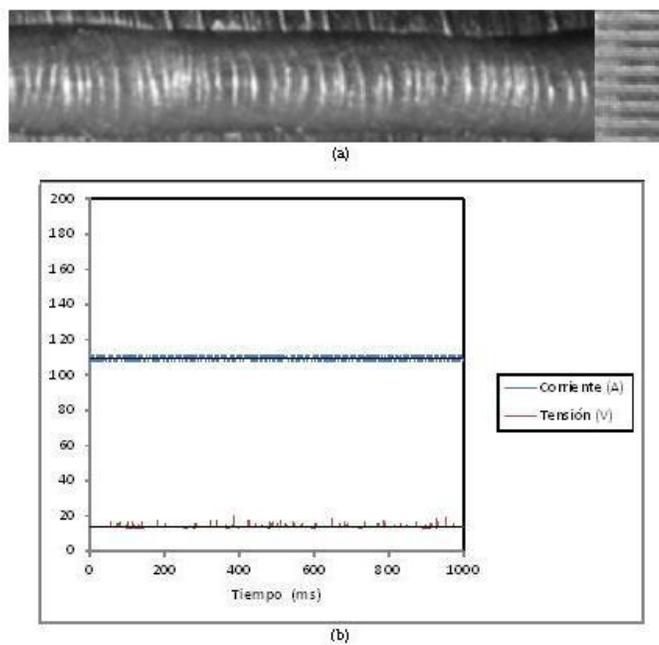
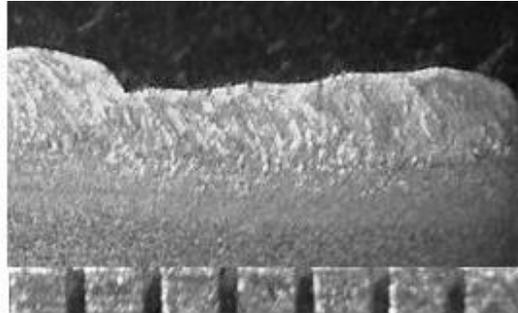


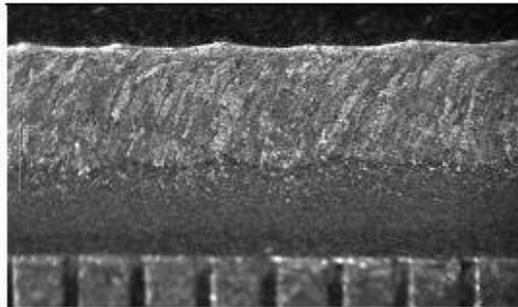
Figura 6 Cordón y oscilograma de ensayo N°12. $V_a=3,0$ m/min. a) Aspecto superficial, b) Oscilograma de corriente y tensión de arco de soldadura

- $Va=2,0$ m/min
- $f=1,7$ Hz



(a)

- $Va=3,0$ m/min
- $f=1,7$ Hz



(b)

Figura 7 Macrografías de sección longitudinal obtenidas para corriente continua pulsada. a) Ensayo N°7, b) Ensayo N°9

CONCLUSIONES

- Los resultados muestran que el proceso implementado presenta mayor productividad y calidad de los cordones en relación al proceso GTAW manual. Los mejores resultados se encontraron cuando se utilizó la corriente continua pulsada debido a que el proceso presentó mayor estabilidad y cordones con un bajo índice de convexidad.
- El aspecto superficial de los cordones de soldadura obtenidos con corriente continua pulsada se caracterizó por presentar un formato de escamas. La distancia entre escamas disminuye al aumentar la frecuencia de pulsación o al disminuir la velocidad de soldadura.
- Los resultados obtenidos con corriente continua pulsada presentaron repetibilidad asociado a una excelente calidad de los cordones de soldadura.
- El proceso de soldadura GTAW permite ejecutar soldaduras en un menor tiempo, disminución del consumo de gas, mejor calidad de los cordones de soldadura y disminución de las horas-hombre lo que se traduce en la disminución de los tiempos de mantención y aumento de la disponibilidad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Gobierno Regional FIC-R 2012 y a la Vicerrectoría de Investigación, Innovación y Postgrado de la Universidad de Antofagasta por el financiamiento de esta investigación.

REFERENCIAS

- Schwedersky, M. B. & Dutra, J. C. (2011) Um estudo da eficiência térmica dos principais processos de soldagem a arco, XXXVII Congresso Nacional de Soldagem, Natal - RN, Brasil.
- Schwedersky, M. B., Dutra, J. C., Okuyama, M. P., Silva & R. G. Silva (2011) Soldagem TIG de Elevada Produtividade: Influência dos Gases de Proteção na Velocidade Limite para Formação de Defeitos, Solda. Insp., vol 16, No. 4, p. 333-340.
- Informe Asistencia Técnica Centro de Ingeniería y Tecnología de los Materiales Universidad de Antofagasta, 2012.
- Delgado, L. C. (2000) Estudo e desenvolvimento do processo TIG com alimentação automática de arame, Dissertação de mestrado, Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC, Brasil.
- Kou, S. (2003) Welding metallurgy, editorial Wiley-Interscience, segunda edición, p.461.