

Tema
n.º 8



Ciclo de capacitación en procesos de soldadura

**Soldadura por arco
con electrodo metálico
protegida por gas**



SEGURIDAD



Como en todas las ocupaciones, la seguridad es un aspecto fundamental. Dado que existen numerosos códigos y reglamentos de seguridad, recomendamos que siempre lea detenidamente todas las etiquetas y los manuales de uso antes de instalar, utilizar o dar servicio a la unidad. Lea la información relacionada con la seguridad que encontrará al comienzo del manual y en cada sección. También deberá leer y observar el cumplimiento de todas las normas de seguridad pertinentes, en particular la ANSI Z49.1, Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes (Seguridad en los procesos de soldadura, corte y procesos afines).

La norma ANSI Z49.1 se puede descargar sin costo desde el sitio de Internet de la American Welding Society - AWS (Sociedad Americana de Soldadura) en: <http://www.aws.org>

A continuación se enumeran otras normas de seguridad y dónde se pueden obtener.

Safe Practices for the Preparation of Containers and Piping for Welding and Cutting (Prácticas de seguridad recomendadas para la preparación de trabajos de soldadura y corte de contenedores y tuberías), norma AWS F4.1 de la American Welding Society Standard, tomada de Global Engineering Documents (teléfono: 1-877-413-5184, sitio web: www.global.ihs.com).

National Electrical Code, NEC (Código nacional[™] eléctrico de los EE.UU.), norma 70 de la NFPA, tomada de la National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269 (teléfono: 1-800-344-3555, sitio web: www.nfpa.org and www.sparky.org).

Safe Handling of Compressed Gases in Cylinders (Manejo seguro de gases comprimidos en cilindros), folleto CGA P-1, de la Compressed Gas Association, 4221 Walney Road, 5th Floor, Chantilly, VA 20151 (teléfono: 703-788-2700, sitio web: www.cganet.com).

Safety in Welding, Cutting, and Allied Processes (Seguridad en los procesos de soldadura, corte y procesos afines), norma W117.2 de la CSA. Se puede obtener en la Canadian Standards Association (Asociación Canadiense de Normalización), Standards Sales, 5060 Spectrum Way, Suite 100, Ontario, Canadá L4W 5NS (teléfono: 800-463-6727, sitio web: www.csa-international.org).

Safe Practice For Occupational And Educational Eye And Face Protection (Prácticas seguras para la protección de ojos y cara en el trabajo y la educación), norma ANSI Z87.1, tomada del American National Standards Institute, 25 West 43rd Street, New York, NY 10036 (teléfono: 212-642-4900, sitio web: www.ansi.org).

Standard for Fire Prevention During Welding, Cutting, and Other Hot Work (Norma para la prevención de incendios durante los trabajos de soldadura, corte y otras tareas con elementos calientes), norma NFPA 51B, tomada de la National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269 (teléfono: 1-800-344-3555, sitio web: www.nfpa.org).

OSHA, Occupational Safety and Health Standards for General Industry (Normas de Seguridad y Salud Ocupacional para la Industria en General), Título 29 (Código de Regulaciones Federales - CFR), Parte 1910, Subparte Q y Parte 1926, Subparte J. Se puede obtener en la Superintendencia de documentos, Imprenta del gobierno de los Estados Unidos, Casilla de Correos 371954, Pittsburgh, PA 15250-7954 (teléfono: 1-866-512-1800) (OSHA cuenta con 10 oficinas regionales: el teléfono de la región 5, Chicago, es el 312-353-2220, sitio web: www.osha.gov).

Folleto *TLVs, Threshold Limit Values* (Valores límite de umbral), de la ACGIH. Se puede obtener en la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales), 1330 Kemper Meadow Drive, Cincinnati, OH 45240 (teléfono: 513-742-3355, sitio web: www.acgih.org).

Towing a Trailer - Being Equipped for Safety (Consideraciones sobre la seguridad en el remolque de trailers), publicación del Departamento de Transporte de los Estados Unidos, National Highway Traffic Safety Administration (Administración Nacional de Seguridad de Tráfico en Carreteras), 400 Seventh Street, SW, Washington, D.C. 20590.

Comisión de seguridad para productos de consumo de los EE.UU. (Consumer Product Safety Commission (CPSC)), 4330 East West Highway, Bethesda, MD 20814 (teléfono: 301-504-7923, sitio web: www.cpsc.gov).

Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation (Manual de aplicaciones de la ecuación revisada para levantamiento de cargas del NIOSH), tomada del Instituto Nacional de Salud y Seguridad Laboral de los EE.UU. (NIOSH), 1600 Clifton Rd, Atlanta, GA 30333 (teléfono: 1-800-232-4636, sitio web: www.cdc.gov/NIOSH).

Preparado por el Departamento de capacitación de Miller Electric Mfg. Co.

©2011-2012 Miller Electric Mfg. Co.

Los contenidos de esta publicación no pueden ser reproducidos sin el consentimiento de Miller Electric Mfg. Co., Appleton, Wisconsin, EE. UU.

ADVERTENCIA

Este documento contiene información general acerca de los temas tratados de aquí en adelante. Este documento no es un manual de aplicación y no contiene una presentación completa de todos los factores relacionados con los temas tratados.

La instalación, la utilización y el mantenimiento de los equipos para soldadura por arco y el empleo de los procedimientos descritos en este documento deben ser llevados a cabo únicamente por personas calificadas de acuerdo con los códigos y las prácticas de seguridad pertinentes, y las instrucciones del fabricante.

Siempre se deberá verificar que los lugares de trabajo sean limpios y seguros, y que se utilice una ventilación adecuada. El uso indebido de los equipos y la falta de cumplimiento de los códigos y las prácticas de seguridad correspondientes pueden ocasionar lesiones personales graves y daños a la propiedad.

Ciclo de capacitación en procesos de soldadura y metales de aporte:

Bienvenido al ciclo de capacitación en procesos de soldadura y metales de aporte. Este ciclo de capacitación fue desarrollado con la finalidad de proporcionar un conjunto básico de materiales educativos que pueden ser utilizados de manera individual o en clase.

Los temas tratados en el ciclo son:

Procedimientos de soldadura

- Tema 1. **Introducción a la soldadura**
- Tema 2. **Seguridad en la soldadura**
- Tema 3. **Conceptos básicos de electricidad aplicados a la soldadura**
- Tema 4. **Diseño de las máquinas para soldadura**
- Tema 5. **Máquinas para soldadura impulsadas por motor**
- Tema 6. **Soldadura por arco con electrodo metálico revestido**
- Tema 7. **Soldadura por arco con electrodo de tungsteno protegida por gas**
- Tema 8. **Soldadura por arco con electrodo metálico protegida por gas**
- Tema 9. **Soldadura por arco con electrodo con núcleo de fundente**
- Tema 10. **Corte y ranurado con arco de plasma**
- Tema 11. **Solución de problemas en procesos de soldadura**

Metales de aporte

- Tema A. **Introducción a los metales**
- Tema B. **Acero al carbono**
- Tema C. **Acero de baja aleación**
- Tema D. **Acero inoxidable**
- Tema E. **Aluminio**
- Tema F. **Endurecimiento superficial**

Por favor observe que este ciclo no fue desarrollado para enseñar las habilidades necesarias para los trabajos de soldadura o corte, sino para proporcionar los conocimientos fundamentales acerca de los diferentes procesos y temas relacionados.

Índice

Historia del proceso GMAW	1
Generalidades del proceso GMAW	1
Aplicación del proceso GMAW	1
Soldaduras más rápidas	2
Circuito GMAW	2
Alimentación eléctrica (entrada)	3
Amperaje Primario	3
Frecuencia Primaria	3
Monofásica y trifásica	3
Conexión a tierra	4
Alimentación secundaria (salida)	4
Corriente directa	4
Voltaje secundario	5
Amperaje secundario	5
Resistencia secundaria	5
Cables de soldadura secundarios	6
Conexión secundaria de masa	6
Equipos GMAW	8
Máquinas de soldar con proceso GMAW	8
Fuente de poder para soldadura con transformadora – rectificador (convencional)	8
Fuentes de poder para soldadura con inversores (convertidores CD/CA)	10
Fuente de poder para soldadura con conmutación secundaria	10
Fuentes de poder para soldadura impulsadas por motor	11
Ciclo de trabajo	11
Selección de la fuente de poder para soldadura adecuada	11
Alimentadores de alambre	12
Alimentador de alambre de velocidad constante	13
Alimentador de alambre con sensor de voltaje	14
Antorcha GMAW	20
Tipos de antorchas para soldadura por arco con electrodo metálico protegida por gas	20
Comparación entre las antorchas GMAW refrigeradas por agua y las refrigeradas por aire	22
Ciclo de trabajo de la antorcha GMAW	22
Selección de la antorcha adecuada	23
Consumibles de la antorcha GMAW	24
Variables del proceso de soldadura GMAW	30
Velocidad de alimentación del alambre (amperaje)	31
Voltaje	35
Pendiente	38

Inductancia	38
Velocidad de avance	39
Posición o ángulo de la antorcha	40
Alambres para GMAW	42
Tipos de alambre para GMAW	43
Alambres de soldadura para acero	43
Alambres de acero inoxidable	46
Modos de transferencia del arco en el proceso GMAW	54
Transferencia por cortocircuito (GMAW-S)	55
RMD™ (Deposición regulada de metal)	56
Transferencia globular (GMAW)	57
Transferencia por rociado (GMAW)	58
Transferencia por rociado pulsado (GMAW-P)	58
Requisitos de la fuente de poder GMAW-P	61
Gases de protección	63
Flujómetro regulador	64
Gases para transferencia por cortocircuito – Acero	66
Gases para transferencia por rociado – Acero	69
Transferencia por cortocircuito – Aceros inoxidables	70
Transferencia por rociado – Aceros inoxidables	70
Transferencia por cortocircuito – Aluminio	70
Transferencia por rociado – Aluminio	70
Tipos de uniones de soldadura	71
Juntas de borde	71
Juntas a tope	71
Juntas solapadas	72
Juntas en esquina	72
Juntas en T	73
Tipos y posiciones de soldadura	73
Soldaduras de filete	73
Soldaduras de ranura	74
Posiciones de soldadura	74
Símbolos de soldadura	74
Preparación de la soldadura	77
Operaciones posteriores a la soldadura	77
Aplicaciones GMAW	78
Aplicaciones y técnicas para la soldadura GMAW de tapón y de muesca	83

Técnicas de soldadura GMAW	87
Soldadura en posición plana	87
Técnicas y variables de soldadura en posición plana	88
Soldadura en posiciones horizontal, vertical y sobre la cabeza	90
Posición vertical	93
Posición por encima de la cabeza	95
Defectos de soldadura más comunes	96
Consideraciones de costos	110
Seguridad	110
Términos y Definiciones	113



- **Cuello:** el cuello conduce la corriente eléctrica desde el cable de soldadura a los consumibles. Las conexiones flojas en cualquiera de sus extremos causan baja conductividad, lo que provocará defectos de soldadura y futuras fallas en el equipo debido al calor generado por la resistencia eléctrica. Controle diariamente que las conexiones del cuello estén apretadas.
- Los cuellos para antorchas GMAW también poseen aislamientos externo que protegen los componentes eléctricos sometidos a voltaje. Un componente eléctrico expuesto cerca del mango puede producir una descarga eléctrica y, si está cerca de los consumibles, puede producir un arco hacia la pieza y dañar tanto la pieza como la antorcha. Estos aislamientos deben controlarse semanalmente y ser reemplazados cuando sea necesario.
- **Consumibles:** debido a que están expuestos al calor, salpicaduras y abuso en general, los consumibles necesitan ser reemplazados frecuentemente. Sin embargo, esto no significa que no se pueda ahorrar tiempo y dinero con un simple mantenimiento.

Además de suministrar gas al charco de soldadura, el difusor de gas se conecta al cuello de la antorcha y lleva la corriente eléctrica a la punta de contacto. Las conexiones flojas entre el difusor y el cuello o entre el difusor y la punta de contacto pueden provocar fugas de gas y problemas en la calidad y en el equipo de soldadura (debido a la baja conductividad y al aumento de la resistencia eléctrica). Estos componentes deben controlarse durante el cambio de boquilla y ajustarse según las especificaciones del fabricante.

Muchos difusores utilizan uniones tóricas para sellar el gas de protección y, al igual que las uniones tóricas del extremo posterior de la antorcha, se deben revisar para verificar la ausencia de grietas, cortes u otros tipos de daño cada vez que se desmonte la boquilla, y deberán ser reemplazados cuando sea necesario.

La función principal de la boquilla es concentrar el gas de protección alrededor del charco de soldadura. Las salpicaduras pueden acumularse dentro de la boquilla y obstruir el flujo del gas provocando porosidad, salpicadura excesiva y otros problemas relacionados con la cobertura inadecuada de gas. La boquilla y su aislamiento también pueden dañarse al limpiar las salpicaduras acumuladas.

En función de la cantidad de salpicadura que se produzca durante el trabajo, se deberá controlar y limpiar la boquilla varias veces por día. Si bien se utiliza un par de pinzas de soldadura como la herramienta más común para limpiar boquillas, existen herramientas especiales diseñadas específicamente para quitar las salpicaduras de las boquillas.

El aislamiento de la boquilla la mantiene separada de los componentes eléctricos con voltaje. Así, un aislamiento dañado puede provocar un arco entre la boquilla y la pieza. En general, una inspección visual del aislador de la boquilla es suficiente para determinar su estado. Los aisladores dañados requieren reemplazar la boquilla completa.

La punta de contacto es la pieza final del conjunto de consumibles y es el último punto de contacto entre el equipo de soldadura y el alambre. A medida que el alambre pasa a través del orificio de la punta puede erosionar el interior del orificio provocando interrupciones en la corriente eléctrica y un control deficiente del arco. La punta también cubriéndose con salpicaduras y brindar una cobertura de gas inadecuada.

Por lo general, los soldadores esperan a tener un problema para cambiar la punta de contacto. Sin embargo, el tiempo y el costo para corregir un problema puede ser considerablemente mayor que el tiempo y el costo para revisar y reemplazar la punta de contacto periódicamente como procedimiento de mantenimiento estándar.

Variables del proceso de soldadura GMAW

El proceso GMAW requiere el trabajo conjunto de una serie de elementos para realizar una soldadura. Cuando una sola de ellas no está bien ajustada, el proceso puede aparentar que funciona correctamente pero probablemente no produzca una soldadura adecuada. Es importante saber reconocer estas variables y comprender como pueden interactuar entre ellas pero también es necesario entender lo que cada una hace individualmente.

Otra cuestión muy importante para entender acerca del proceso GMAW es la nomenclatura que se muestra en la Figura 47. Muchos de estos términos están mal expresados por lo que se hace necesaria una comprensión clara de la terminología utilizada para describir la relación entre la boquilla, la punta de contacto, el electrodo y la pieza. La proximidad física de estos componentes entre sí es una variable adicional que puede afectar la calidad de la soldadura y la capacidad de depositar metal de soldadura de manera repetitiva especialmente para los diferentes modos de transferencia y para el proceso de soldadura por arco con electrodo metálico con núcleo de fundente (FCAW).

Muchos de los términos utilizados en las antorchas GMAW son los indicados en la ilustración. Sin embargo, para comprender los términos utilizados para describir estas relaciones se necesita realizar algunas aclaraciones. Sabemos acerca de la punta de contacto, la boquilla de gas, la pieza y el electrodo pero hay otras relaciones que requieren aclaraciones adicionales.

- **Stickout:** es la distancia entre el punto donde el electrodo rebasa la salida de la boquilla de gas y el punto donde el electrodo se derrite en el arco. NO es la distancia entre el extremo de la punta de contacto hasta el punto donde se derrite el alambre. El término stickout está a menudo mal utilizado para describir la distancia longitudinal entre la punta de contacto y la boquilla cuando se extiende más allá de la boquilla tanto cuando ambas están al ras como cuando la punta está metida dentro de la boquilla. Si no hay boquilla, como en el caso del proceso de soldadura con alambre metálico con núcleo fundente autoprotegida (FCAW-S), entonces no habrá stickout para medir.
- **Extensión del electrodo:** es la distancia entre el extremo de la punta de contacto hasta el punto donde el alambre se derrite en el arco. Esta es una variable importante que el operador debe entender y controlar. La longitud de la extensión del electrodo es crítica para realizar el modo de transferencia GMAW correctamente y puede ser aún más importante para la soldadura por arco con electrodo metálico con núcleo de fundente ya que cada alambre FCAW específica (en su hoja de datos) la extensión de electrodo apropiada.

Esta distancia puede tener un efecto en la resistencia del circuito y causar la variación del amperaje. Igual de importante es que la resistencia ayuda al alambre FCAW a precalentarse ligeramente para asegurar que actúe conforme a su diseño para producir un depósito de soldadura "aleado". Acortar esta distancia puede hacer que el amperaje aumente ligeramente y aumentarla puede hacer que el amperaje se reduzca. Un electrodo demasiado largo también puede contribuir a una cobertura de gas inadecuada provocando porosidad o poca fuerza de soldadura pues la boquilla está demasiado lejos para asegurar una adecuada cobertura de gas.

- **Longitud de arco:** se trata de la distancia a la que el electrodo se derrite en el charco de soldadura. La longitud del arco está controlada por el voltaje de arco. Si el arco es demasiado corto, la soldadura puede tener un aspecto de corona trezada. Si es demasiado largo, se puede producir porosidad, llenado deficiente y socavación (Figura 57 en página 37).
- **Distancia entre la boquilla y la pieza:** esta distancia es crítica para asegurar que hay un gas de protección adecuado para el charco de soldadura. Si la boquilla está muy cerca puede arrastrar el charco de soldadura a medida que se solidifica y ocasionar defectos. Si la boquilla está muy alejada, la protección del gas resultará inadecuada y provocará discontinuidades en la soldadura que necesitarán reelaboración.
- **Distancia entre la punta de contacto y la pieza:** esta medida es simplemente la distancia total entre el extremo de la punta de contacto y el charco de soldadura. Es la suma de la extensión del electrodo más la longitud del arco.
- **Distancia entre la punta de contacto y la boquilla:** es la distancia longitudinal entre el extremo de la boquilla y la punta de contacto. También se le llama receso de la punta. Para los modos de transferencia de arco GMAW como los de rociado y rociado por pulsos, que requieren una extensión de electrodo de entre 1/2" a 3/4" (entre 12 a 18 mm) y gas de protección, la punta está, a menudo, metida dentro de la boquilla. Esto asegura una protección adecuada al mantener la boquilla cerca del charco de soldadura pero creando la mayor extensión de electrodo requerida para realizar el modo de transferencia correctamente.



Figura 46 – Una boquilla cónica con la punta de contacto sobresaliendo de la boquilla en la ranura de una tubería

Para la transferencia por cortocircuito, donde se requiere una extensión de electrodo de entre 1/4" y 3/8" (6 a 10 mm), la distancia longitudinal entre la punta de contacto y la boquilla es generalmente de 0 (es decir, al ras) para permitir que la boquilla esté lo suficientemente cerca para suministrar una cobertura de gas adecuada.

A veces, la distancia longitudinal entre la punta de contacto y la boquilla puede extenderse un poco más allá de ésta para lograr la extensión de electrodo apropiada para ejecutar la pasada de raíz en la soldadura de ranuras donde las caras de la ranura ayudan a asegurar una protección de gas (Figura 46) adecuada. Esta disposición generalmente se denomina punta extendida.

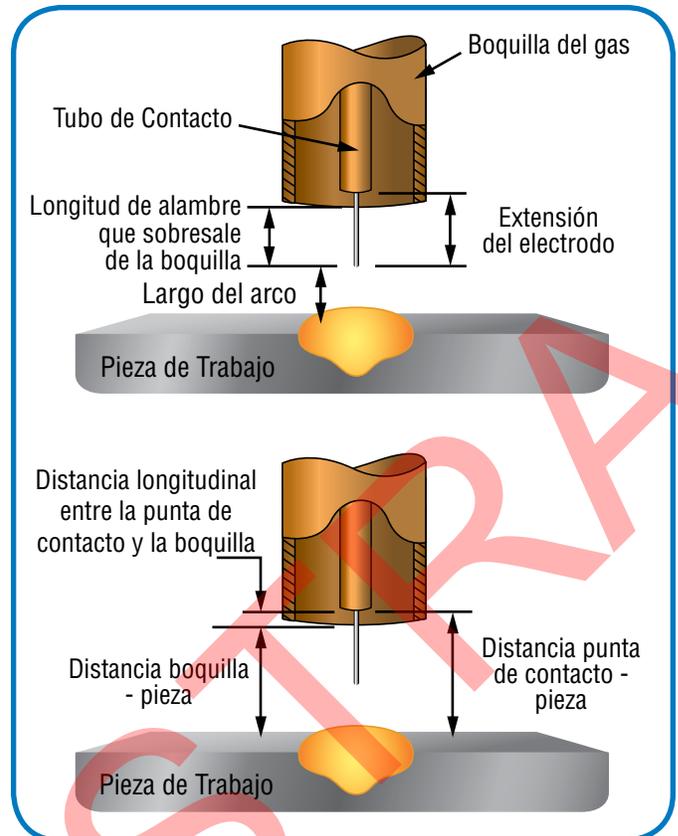


Figura 47 – Nomenclatura de antorchas GMAW y FCAW

Es importante entender que estos términos (ilustrados en la Figura 47) parecen cambiar cuando la punta se extiende más allá de la boquilla. Sin embargo, los términos mantienen su significado independientemente de la extensión de la punta. Mantener estas distancias de manera uniforme asegurará la consistencia del arco y la calidad de soldadura y son tan importantes como la alimentación de alambre y el voltaje de arco.

Velocidad de alimentación del alambre (amperaje)

La velocidad de alimentación del alambre tiene un efecto directo en el amperaje de soldadura para los procesos GMAW semiautomáticos. El aumento de la velocidad de alimentación de alambre aumenta el amperaje y, por el contrario, su reducción lo disminuye. Este fenómeno se explica por la ley de Ohm como se trató en la página 5. El aumento de la velocidad de alimentación disminuye levemente la resistencia y produce un aumento del amperaje. Reducir la velocidad de alimentación aumenta la resistencia y disminuye ligeramente el amperaje. La velocidad de alimentación de alambre se mide en pulgadas por minuto (pulg./min.) o en metros por minuto (m/min.). La velocidad de alimentación de alambre también se denomina WFS.