

Escuela de Ingeniería
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Mecánica
Laboratorio de Procesos de Manufactura

Práctica # 4: Soldadura por Arco Eléctrico

MARCO TEORICO¹

La soldadura es uno de los procesos más utilizados para la unión localizada de dos o más materiales mediante diferentes mecanismos como el calentamiento de las piezas y/o la aplicación de presión.

Existen más de 30 procesos diferentes de soldadura, y comúnmente se clasifican de acuerdo a la fuente de energía con la que funcionan. Agrupados de esta forma se tienen 5 grupos generales:

- a) Arco eléctrico
- b) Combustión de un gas
- c) Resistencia eléctrica

Sin embargo, otras clasificaciones agrupan los procesos por la naturaleza del proceso, con lo que tenemos:

- a) Soldadura por fusión del material base
- b) Soldadura por fusión de un material de aporte,
- c) Soldadura en el estado sólido

Aunque todos estos tipos de procesos son relevantes en la industria, uno de los más utilizados es el proceso de soldadura mediante arco eléctrico por lo que nos centraremos en dicho proceso.

Soldadura por arco eléctrico

En este proceso de soldadura, la temperatura necesaria para lograr la unión de las partes metálicas se obtiene mediante la aplicación de un arco eléctrico el cual puede alcanzar los 3,600 °C concentrándolo en un punto localizado. Este fuente de calor permite la fusión del material base y un material de aporte logrando que fluyan en el punto de contacto para formar una masa sólida integral.

La máquina de soldar transforma la energía eléctrica del sistema donde está conectada a valores adecuados (según el proceso de arco eléctrico deseado) y suministra una corriente específica a través de un cable que termina en un portaelectrodo. El circuito se cierra

¹ Fuente: Kalpakjian, S. & Schmid, S.R.; Manufacturing Processes for Engineering Materials, 5th edition, Prentice Hall, 2007.

colocando una pinza o conector de contacto sobre la pieza a soldar (llamada metal base). Un esquema del circuito típico para soldar con arco eléctrico lo podemos ver en la Figura 1.

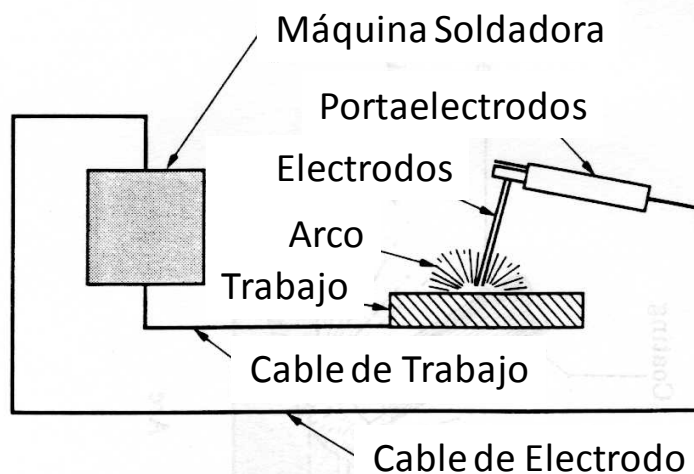


Figura 1: Elementos que componen el circuito en la soldadura por arco eléctrico.

Existen electrodos consumibles y no consumibles, con o sin recubrimiento. En el caso de los electrodos permanentes (no consumibles) el calor entregado por el arco eléctrico es utilizado para fundir una porción del material base en la unión para producir un continuo sólido. En el caso del electrodo consumible, además de generar fusión del material base, sirve como material de aporte el cual se deposita entre las piezas a unir. Dado que el proceso genera metal líquido a muy alta temperatura, es imperativo aislarlo del oxígeno de la atmósfera para evitar su oxidación. Este aislamiento se logra creando una atmósfera protectora que puede venir de un flujo de gas inerte externo o de una nube de gas que emana de un recubrimiento cerámico del electrodo. En este último caso, además se tiene la ventaja de generar una escoria de características específicas sobre el material fundido que permanecerá protegiendo el metal ya sólido a lo largo de todo el proceso de enfriamiento.

Los factores que determinan la manera en que los metales son transferidos son la corriente de soldadura, directa (polaridad directa o invertida) o alterna, el diámetro del electrodo, si el electrodo es consumible o no, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de poder y el gas utilizado en el proceso.

Procesos

Soldadura con electrodo consumible recubierto (SMAW: *Shielded Metal Arc Welding*)

Con este proceso se logra la fusión del metal con el calor obtenido con el arco eléctrico entre la punta del electrodo recubierto y la superficie del metal base a unir. El núcleo metálico del electrodo conduce la electricidad y debido al calor generado, se va depositando el metal de aporte a la unión. El recubrimiento del electrodo, el cual contiene varios compuestos químicos cerámicos y metálicos, lleva a cabo varias funciones al elevarse su temperatura:

- a) Produce un gas protector para evitar la oxidación del metal líquido.

- b) Deja una capa protectora (escoria) en la superficie soldada para proteger contra la oxidación y enfriamientos rápidos.
- c) Estabiliza el arco eléctrico mediante agentes ionizables como el potasio y carbonato de litio, ayudando así al arco a conducir corriente.
- d) Agrega elementos de aleación a la soldadura.

El proceso puede ser operado con 3 tipos de corriente eléctrica diferente:

- Corriente alterna
- Corriente directa:
 - polaridad directa
 - polaridad invertida

En el caso de la corriente alterna se tiene un balance en cada ciclo. Sin embargo, en la corriente directa - polaridad directa, la mayor parte de la energía es consumida al fundir el electrodo y la penetración en el material base es mínima. Al utilizar la polaridad invertida, el calor es máximo en el metal base y con esto se obtiene penetración máxima. Este arreglo con las diferentes polaridades, lo podemos ver mejor en la Figura 2.

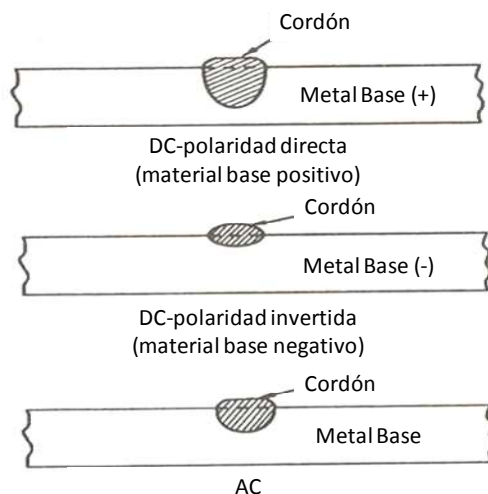


Figura 2: Efectos de la polaridad en la penetración de la soldadura SMAW

Las ventajas de este proceso es que el equipo es sencillo, muy versátil y normalmente portátil y económico. Sin embargo, su razón de deposición es limitada por el hecho de que el recubrimiento queda como residuo quebradizo y corrosivo sobre la unión implica un trabajo de limpieza posterior. Además, la razón de producción es reducida, ya que es necesario cambiar de electrodo cada vez que éste se consume totalmente.

Soldadura con electrodo consumible continuo (GMAW: Gas Metal Arc Welding)

También conocido como MIG (*Metal Inert Gas*), este proceso consiste en lograr la fusión del metal base y de aporte con el calor obtenido con el arco eléctrico que es mantenido con la punta del electrodo consumible de hilo continuo (microalambre) y la pieza de trabajo (Figura 3).

La zona a soldar es protegida por un gas inerte, argón o helio, o por un gas activo (proceso conocido como MAG). Comúnmente en este proceso se utiliza el control de voltaje.

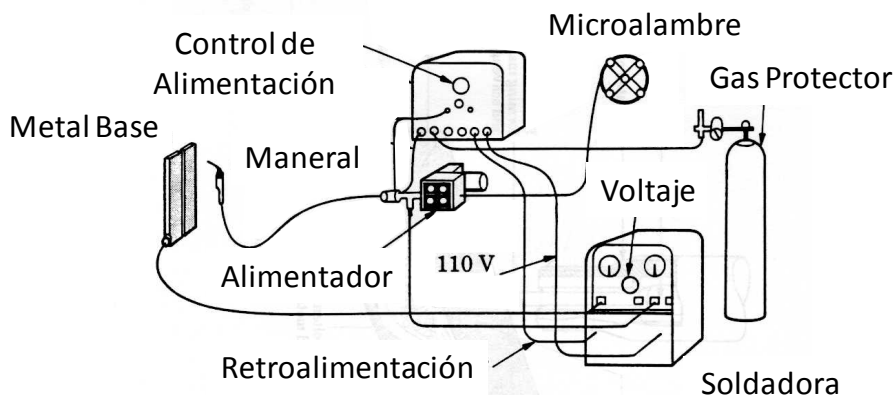


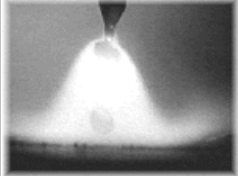


Figura 3: Esquema del proceso GMAW

En este tipo de soldadura se pueden dar arcos con diferentes características que tienen diferentes aplicaciones²:

Tipo de Arco	Imagen Típica	Penetración
Arco de corto circuito		Generalmente se utiliza en materiales más delgados y en posiciones diferentes a la horizontal.
Arco rociado (spray)		Generalmente se utiliza en materiales más gruesos y en posición horizontal.
Arco globular o pulsado		Penetración razonable, buen nivel de resistencia a la fatiga; modo preferido en la industria

² http://www.weldreality.com/pulsed_welding_fundamentals.htm

Consultar también FERRARESI, V. A.; FIGUEIREDO, K. M. and ONG, T. Hiap. **Metal transfer in the aluminum gas metal arc welding.** *J. Braz. Soc. Mech. Sci. & Eng.* [online]. 2003, vol.25, n.3, pp. 229-234. ISSN 1678-5878.

Soldadura con electrodo de tungsteno permanente (GTAW: *Gas Tungsten Arc Welding*)

Anteriormente conocido como TIG (*Tungsten Inert Gas*), en este proceso se logra la fusión de los metales con el calor obtenido con el arco eléctrico que es mantenido con la punta del electrodo de tungsteno no consumible y la pieza de trabajo. La zona a soldar es protegida mediante un gas inerte como argón o helio (ver Figura 4).

Este proceso también se puede conectar con corriente directa con polaridad directa o invertida, pero a diferencia del proceso SMAW, cuando se utiliza polaridad directa el electrodo, al no consumirse, emitirá electrones que adquieren una gran velocidad al viajar por el arco y bombardear la pieza de trabajo causando una mayor penetración. Por el contrario, al conectar el circuito con polaridad invertida, el efecto de bombardeo será sobre el electrodo de tungsteno en lugar de la pieza de trabajo. Es por eso que se utiliza polaridad directa con mayor frecuencia en este tipo de soldadura.

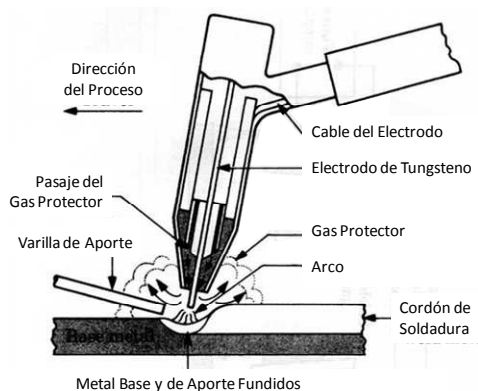


Figura 4: Esquema de la soldadura GTAW

ALGUNAS RELACIONES CUANTITATIVAS ÚTILES PARA LA SOLDADURA CON MICROALAMBRE (GMAW)³

Voltaje y fusión del metal de aporte

¿Qué causa la fusión del material de aporte?

Mientras que el alambre pasa del extremo del contacto de la antorcha hasta el inicio del arco, está llevando toda la corriente de soldadura y llega calentarse mucho. Comienza a la temperatura ambiente y puede exceder 800°C antes de formar el arco en el extremo dependiendo de la extensión del electrodo, que es la distancia entre el contacto en la antorcha y la punta del alambre (*sickout* o *Electrode Extension "ESO"*).

³ Adaptado de: Welding Math (and Physics) For Welders, Welding Students, Welding Instructors and Others Involved in Managing Welding Operations, Welding Accessories Technology, www.netwelding.com/Welding_Math.htm y Welding Design & Fabrication, <http://weldingdesign.com/welding-qa/precalculating-wire-feed-speed-travel-voltage-7806/>

Además, la corriente que deja el alambre o que se incorpora una superficie del “charco” líquido requiere una cantidad dada de energía para que los electrones se incorporen o dejen esa superficie. Esta energía, generada en la superficie, derrite el alambre ya caliente. Por lo tanto el electrodo positivo, asumido esto, se define como potencial del ánodo (también llamado función de trabajo) y determina como voltaje de trabajo. La potencia consumida es igual al voltaje del ánodo multiplicado por la corriente correspondiente. Entonces, la tasa de fusión de material puede definirse como⁴:

$$\text{Taza de fusión} \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right] = a * \text{corriente} [A] + b * \text{ESO} [\text{in}] * \text{corriente}^2 [A^2]$$

donde a y b son constantes propias del material de aporte. Para un alambre de 0.035” de acero al carbón las constantes toman los valores siguientes:

$$\begin{aligned} a &= 0.0086 \\ b &= 0.000078 \end{aligned}$$

El primer término de la ecuación representa la energía asociada a la creación y sostenimiento del arco y el segundo aquella disipada por el calentamiento resistivo.

Una de las implicaciones principales de esta relación es que un aumento del ESO (a una velocidad de alimentación del alambre fija) en el amperaje disminuirá. Eso tiene un efecto significativo sobre otro parámetro, penetración de la soldadura.

El punto del interés es que el voltaje que usted mide en un soldador del GMAW es una combinación de de los siguientes factores:

- Pequeña caída de voltaje debido al calentamiento resistivo del alambre (I^2R).
- El potencial del ánodo y del cátodo (necesario para llevar electrones del alambre al metal líquido; y podía ser $\frac{1}{2}$ del total medido).
- La caída de voltaje a través del arco eléctrico.

La tasa de fusión es directamente proporcional a la velocidad con la que se alimenta alambre al arco y el diámetro del mismo; y no está relacionado con el voltaje no con la velocidad de avance de la antorcha. Considerando alambres de acero, la velocidad de deposición puede ser calculada con la siguiente expresión:

$$\text{Taza de fusión} \left[\frac{\text{lb}}{\text{hr}} \right] = 13.1D^2 * \text{Vel del Alambre} * Ef$$

donde D es el diámetro del alambre [in], la *Vel del Alambre* es la velocidad de alimentación del alambre [in/min], y Ef es el factor de “empaquetamiento del alambre [0.85 para alambre con flux interno y 1.00 para alambre sólido.

Si, por ejemplo, se utiliza un alambre sólido de 0.045” de diámetro alimentado a 300 in/min se tendrá una tasa de fusión de 7.96 lb/hr.

Velocidad de Avance de la Antorcha

Una vez conocida la tasa de fusión es posible calcular la velocidad de avance de la antorcha. Si se toma, por ejemplo, un filete triangular de 3/8” con 10% de penetración (0.413” por lado) soldado con alambre sólido de 0.045” de diámetro con una velocidad de alimentación de alambre de 300 in/min, el peso de metal por pie lineal puede ser calculado si se considera el



⁴ C. E. Jackson, The Science of Arc Welding, Welding Journal 39 (4), 1960, pp 129-s thru 230-s.

volumen y la densidad del material de aporte. La siguiente formulación calcula el ejemplo planteado.

$$Vol\ de\ Material\left[\frac{in^3}{ft}\right] = \frac{1}{2}b * h * 12\frac{in}{ft} = 0.4125 * 0.4125 * 12 = 1.02\ \frac{in^3}{ft}$$

$$Peso\ de\ Material\left[\frac{lb}{ft}\right] = \rho * Vol\ de\ Material = 0.283 * 1.02 = 0.2887\ \frac{lb}{ft}$$

$$Vel\ de\ Antorcha\left[\frac{in}{min}\right] = \frac{Taza\ de\ Fusión * \#\ de\ Pasadas}{(60/12) * Peso\ de\ Material} = \frac{7.96 * 1}{5 * 0.2887} = 5.52\ \frac{in}{min}$$

Para calcular la velocidad de alimentación del alambre (WFS) simplemente hay que considerar el peso del alambre considerando su geometría y densidad. La Tabla 1 ya resume los pesos del alambre de acero sólido por pie de longitud de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$WFS\left[\frac{in}{min}\right] = \frac{Taza\ de\ Fusión}{(60/12) * Peso\ de\ Alambre} = \frac{7.96 * 1}{5 * 0.0054} = 295\ \frac{in}{min}$$

Tabla 1: Peso del Alambre de Acero Sólido

Dia. (in)	Peso (lb/ft)	Dia. (in)	Peso (lb/ft)
0.035	0.0033	3/32	0.023
0.040	0.0043	1/8	0.042
0.045	0.0054	5/32	0.065
0.052	0.0072	3/16	0.094
1/16	0.01	7/32	0.128
5/64	0.016		

Estos cálculos se han simplificado utilizando un factor de conversión⁵ que ya considera la geometría del cordón y una penetración dada (determinada como porcentaje del tamaño). La ecuación entonces se reduce a:

$$Vel.\ de\ Antorcha\left[\frac{in}{min}\right] = Taza\ de\ Fusión\left[\frac{lb}{hr}\right] * B$$

donde “B” es precisamente el factor de conversión Bartoniano para diferentes tipos y tamaños de cordón. Las tablas 2, 3, 4, y 5 contienen dicho factor “B” para cordones a hueso con 20% de penetración, cordones de filete con 10% de penetración, cordones a hueso en “v” con 10% de penetración, y para remate de cordón.

⁵ Factor de Conversión Bartoniano: tomado de la Tabla 12-1 del manual “The Procedure Handbook of Arc Welding by the Lincoln Electric Co.” que muestra el peso de metal de aporte por pie de cordón para tipos comunes de cordón realizados con alambre de acero sólido.



Tabla 2: Factor de Conversión “B” para Cordones a Hueso con 20% de Penetración.

Espesor de Placa (in)↓ Apertura (in)→	Peso del Metal (lb/ft)					
	1/16	1/8	3/16	1/4	3/8	1/2
1/8	0.027	0.053	0.080	0.106	0.159	0.213
3/16	0.040	0.080	0.120	0.156	0.239	0.319
1/4	0.053	0.106	0.159	0.213	0.319	0.425
5/16	0.066	0.133	0.199	0.266	0.398	0.531
3/8	0.080	0.159	0.239	0.319	0.478	0.638
7/16	0.093	0.186	0.279	0.372	0.558	0.744
1/2	0.106	0.213	0.319	0.425	0.638	0.850
3/4	0.159	0.319	0.478	0.638	0.969	1.28
1	0.213	0.425	0.638	0.850	1.280	1.700
1 1/2	0.319	0.638	0.956	1.280	1.910	2.550
2	0.425	0.850	1.280	1.700	2.550	3.400

Tabla 3: Factor de Conversión “B” para Cordones de Filete con 10% de Penetración.

Espesor de Placa (in)	Peso del Metal (lb/ft)		
	Cordón Plano	Cordón Convexo	Cordón Cóncavo
1/8	0.032	0.041	0.036
3/16	0.072	0.093	0.081
1/4	0.129	0.165	0.145
5/16	0.201	0.258	0.226
3/8	0.289	0.371	0.325
7/16	0.394	0.505	0.443
1/2	0.514	0.6595	0.578
3/4	1.160	1.480	1.300
1	2.060	2.640	2.310

Tabla 4: Factor de Conversión “B” para Cordones a Hueso en “V” con 10% de Penetración.

Espesor de Placa (in) ↓ Ángulo de la “V” →	Peso del Metal (lb/ft)								
	14°	20°	30°	45°	60°	70°	75°	80°	90°
1/8	0.007	0.009	0.014	0.022	0.031	0.037	0.041	0.045	0.053
3/16	0.015	0.021	0.032	0.049	0.069	0.084	0.092	0.100	0.119
1/4	0.026	0.037	0.057	0.088	0.123	0.149	0.163	0.178	0.212
5/16	0.041	0.058	0.089	0.137	0.191	0.232	0.254	0.278	0.332
3/8	0.059	0.084	0.128	0.198	0.276	0.334	0.366	0.401	0.478
7/16	0.080	0.115	0.174	0.269	0.375	0.455	0.499	0.545	0.650
1/2	0.104	0.150	0.227	0.352	0.490	0.594	0.651	0.712	0.849
3/4	0.235	0.337	0.512	0.791	1.103	1.338	1.466	1.603	1.910
1	0.417	0.599	0.910	1.407	1.961	2.378	2.606	2.850	3.396
1 1/2	0.938	1.347	2.047	3.165	4.412	5.350	5.863	6.412	7.641
2	1.668	2.395	3.640	5.627	7.843	9.512	10.423	11.398	13.584

Tabla 5: Factor de Conversión “B” para Remate de Cordón.

Espesor del Remate (in) ↓ Altura del Remate (in) →	Peso del Metal (lb/ft)			
	1/16	1/8	3/16	1/4
3/8	0.027	0.053	0.080	0.106
1/2	0.040	0.080	0.120	0.1559
3/4	0.053	0.106	0.159	0.213
1	0.066	0.133	0.199	0.266
1 1/4	0.080	0.159	0.239	0.319
1 1/2	0.093	0.186	0.279	0.372
1 3/4	0.106	0.213	0.319	0.425
2	0.159	0.319	0.478	0.638

Penetración

La penetración de la soldadura puede determinarse por una ecuación simple definida ya hace años⁶. La penetración es la distancia que se funde en el material base al hacer una soldadura en placa medida en pulgadas y puede ser definida por la siguiente ecuación simplificada:

$$P[in] = K \left[\frac{\text{Corriente}[A]^4}{\text{Vel}[in/min] \text{ Voltaje}[V]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Para el alambre de acero al carbón sólido 0.035" de diámetro, la constante K = 0.0019. Usando estas ecuaciones encontramos que cambiando el ESO del alambre para el alambre sólido de 0.035", y manteniendo un voltaje de arco de 24 V, una velocidad de soldadura de 5 in/min y una corriente que produce 2.9 lb/hr de fusión la variación en penetración es como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6: Relación entre la extensión del electrodo y la penetración para una soldadura GMAW con alambre de 0.035", produciendo 2.9 lb/hr de metal fundido @ 24 V y 5 in/min.

ESO (in)	Corriente (A)	Penetración (in)	Pérdida de Penetración
3/8	200	0.156	Caso Base
1/2	184	0.140	11%
5/8	172	0.128	18%
3/4	161	0.117	25%
7/8	152	0.108	31%

Note que con una velocidad de alimentación fija del alambre y una ESO de 3/8" el amperaje disminuye de 200 A a 152 A la ESO fue aumentado a 7/8". El calentamiento resistivo del alambre es un proceso muy eficiente. Por lo tanto, el calor necesario para acabar de derretir el alambre cuando entra en el arco es menos pues el alambre esta más caliente con un ESO más largo. Por otro lado, la reducción en penetración de la soldadura es del 25% cuando se cambia el ESO de 3/8" a 3/4".

Por lo tanto es muy importante mantener un ESO constante en la antorcha. Para una velocidad constante de alimentación de alambre, entre más corto sea el ESO mayor será la penetración pues la corriente será mayor. Al soldar en el modo de corto circuito a menudo es deseable utilizar una ESO larga aunque sobresalga de la copa de protección del gas. Esto ayuda a la visibilidad y el soldador puede permanecer en el borde delantero del metal líquido (*weld puddle*).

⁶ C.E. Jackson, AWS Welding Handbook, Volume 1, 9th Edition; pp 79.

Flujo de Gas Protector

La regla general (empírica) para el flujo de gas protector en un soldador SMAW debe ser controlado entre 30 y 40 ft³/hr. Este flujo se consigue normalmente con una presión de trabajo de 20 psi. Sin embargo, dependiendo del tipo de soldadura que usted está realizando puede variar +/-5 psi. Por ejemplo, si usted está trabajando al aire libre usted puede tener que subir a 25 o 30 psi debido a las corrientes de aire que disiparán el gas protector. Por otro lado, si usted está soldando en un ambiente controlado con corriente y ajustes de la alimentación de alambre bajos, usted puede conseguir un proceso estable y de calidad con 15 o 12 psi.

La Tabla 7 presenta una guía para selección de gas protector en función del tipo de proceso que se desea y el material a unir.

Tabla 7: Selección de Gas Protector para la Soldadura con Microalambre (GMAW)⁷.

Metal	Espesor pulg. (mm)	Gas Protector Recomendado	Características
MIG CORTO CIRCUITO			
Acero al Carbón	Hasta calibre 14 (0.1)	92% Argon / 8% CO2	Buena combustión y control de la distorsión. Utilizado también para la soldadura de arco por spray.
	Calibre 14 - 1/8 (3.2)	75% Argón / 25% CO2 88% Argón / 12% CO2	Soldadura de alta velocidad sin combustión. Distorsión y salpicaduras mínimas. Mejor control del charco de soldadura para procesos fuera de posición. Proporciona mejores propiedades mecánicas para cualquier alambre dado.
	Arriba de 1/8 (3.2)	75% Argon / 25% CO2 88% Argon / 12% CO2	Soldadura de alta velocidad sin combustión. Distorsión y salpicaduras mínimas. Mejor control del charco de soldadura para procesos fuera de posición. Proporciona mejores propiedades mecánicas para cualquier alambre dado.
		50% Argon / 50% CO2	Penetración profunda; salpicaduras.
		CO2	Penetración profunda, mayor velocidad de soldadura, altas salpicaduras.
Acero Inoxidable	Hasta calibre 14 (0.1)	92% Argon / 8% CO2	Buena combustión y control de la distorsión. Para uso donde la resistencia a la corrosión no es obligatoria.
	Arriba de calibre 14 (0.1)	92% Argon / 8% CO2	Buena combustión y control de la distorsión. Para uso donde la resistencia a la corrosión no es obligatoria.
		90% He 7.5% Ar 2.5% CO2	Ningún efecto en la resistencia a la corrosión. Zona afectada por niveles bajos de calor. Mínima distorsión, Buena forma del cordón y propiedades mecánicas.
Aceros de Alta Cedencia	Hasta calibre 14 (0.1)	92% Argon / 8% CO2	Buena combustión y control de la distorsión. Utilizado también para la soldadura de arco por spray.
	Arriba de calibre 14 (0.1)	Argon - Hidrógeno	Excelente estabilidad del arco, características del contorno del cordón, poca salpicadura, alto impacto.

⁷ Fuente: Weld Direct; <http://www.weld-direct.com/gas.htm>

Tabla 7: Selección de Gas Protector para la Soldadura con Microalambre (GMAW)⁷.

Metal	Espesor pulg. (mm)	Gas Protector Recomendado	Características
MIG SPRAY			
Acero al Carbón	Cualquier espesor	95% Argon / 5% O ₂	Mejora la velocidad de la gota y la estabilidad del arco.
		92% Argon / 8% CO ₂	Produce un charco de soldadura más fluido y controlable. Buena coalescencia y contorno del cordón, Minimiza el efecto de acuchillamiento (undercutting) y permite altas velocidades.
Aluminio	Hasta 3/8 (12.7)	Argon	Mejor transferencia de metal, estabilidad del arco y limpieza del plato. Poco o nada de salpicaduras.
	Arriba de 3/8 (12.7)	Argon - Helio	Mayor aportación de calor. Produce un charco más fluido y cordón más plano. Minimiza la porosidad.
		Helio	Mayor calor de entrada. Bueno para la soldadura mecanizada.
Aceros de Baja Aleación	Hasta 3/32 (2.4)	98% Argon / 2% O ₂	Reduce el efecto de acuchillamiento (undercutting). Mejora la coalescencia y el contorno del cordón. Buenas propiedades mecánicas.
	Arriba de 3/32 (2.4)	92% Argon / 8% CO ₂	Excelentes características del arco y de la soldadura.
Acero Inoxidable	Cualquier espesor	99% Argon / 1% O ₂	Buena estabilidad del arco. Produce un charco de soldadura más fluido y controlable. Buena coalescencia y contorno. Minimiza el efecto de acuchillamiento (undercutting).
		98% Argon / 2% O ₂	Mejora la fluidez. Buena coalescencia y contorno del cordón.
Cobre, Níquel, Aleaciones de Cobre- Níquel	Hasta 1/8 (3.2)	Argon	Buena estabilidad del arco.
	Arriba de 1/8 (3.2)	Argon - Helio	Mayor aportación de calor de entrada. Alta conductividad con calibres más pesados.
		Helio	Mayor calor de entrada y mayor penetración.
Magnesio Titatio	--	Argon	Excelente acción de limpieza. Proporciona un arco más estable que las mezclas ricas en helio.
MIG TUBULAR			
Acero al Carbón	Cualquier espesor	CO ₂	Profunda penetración.
		75% Argon / 25% CO ₂	Baja emisión de humo y salpicaduras. Buen control del charco.
Acero Inoxidable	Cualquier espesor	CO ₂	Profunda penetración.
		75% Argon / 25% CO ₂	Baja emisión de humo y salpicaduras. Buen control del charco.

OBJETIVOS

- 1) El alumno comprenderá las normas de seguridad específicas aplicables a la práctica.
- 2) El alumno conocerá los principios de operación de un sistema de soldadura de arco eléctrico y en particular de los sistemas de alimentación de microalambre.
- 3) El alumno comprenderá la función y correcta utilización del equipo de seguridad requerido.
- 4) El alumno conocerá la operación básica de la soldadora de arco eléctrico de microalambre y comprenderá la correspondencia entre los parámetros del proceso y los controles de la máquina (corriente, voltaje, velocidad de avance del material de aporte, velocidad de soldado).
- 5) El alumno realizará una serie de cordones de soldadura variando los parámetros de proceso.
- 6) El alumno podrá revisar microestructuras de soldaduras adecuadas y defectuosas enfatizando su relación con los parámetros del proceso.

SEGURIDAD

Para utilizar la estación de soldadura es necesario que se adopten los siguientes cuidados:

¡ ATENCIÓN !	MOTIVO
<p>Si es usuario de lentes de contacto debe retirarlos antes de entrar a la práctica. Tiene que utilizar anteojos para esta práctica.</p>	<p>Durante las prácticas de soldadura el uso de lentes de contacto queda estrictamente prohibido. Los lentes de contacto pueden adherirse a la superficie del ojo causando daño grave e irreparable.</p>
<p>Asegurarse que los cables porta-electrodos y las conexiones estén debidamente conectados y aislados.</p>	<p>Las condiciones tanto de los cables como de la máquina y/o los gases son la base para iniciar un proceso seguro.</p>
<p>Desconecte la corriente de red antes de limpiar y hacer ajustes a la máquina de soldar.</p>	<p>Es importante desenergizar los equipos para evitar cerrar circuitos que pudieran ocasionar un accidente.</p>
<p>Nunca cambie la polaridad u otros ajustes de la máquina este trabajando.</p>	<p>La máquina puede sufrir daños irreparables si los parámetros son cambiados durante la operación.</p>
<p>Mantener el área de trabajo limpia y seca.</p>	<p>Es imperativo evitar tropiezos o contacto con piezas energizadas o calientes. Además, el agua puede causar cortos circuitos y accidentes.</p>

MATERIAL, HERRAMIENTAS Y EQUIPO

- 1) Material
 - a) Electrodo para los procesos (MIG, TIG, SMAW)
 - b) Placas de acero para soldar
- 2) Herramientas y equipo de seguridad
 - a) Cables para electrodos
 - b) Careta protectora
 - c) Guantes
 - d) Peto o Pechera
- 3) Equipo
 - a) Estación de Soldadura.
 - b) Máquina de soldar

PROCEDIMIENTO

- 1) Imprimir y leer toda la práctica antes de ir al laboratorio. Preparar el pre-reporte.
- 2) Presentarse 5 minutos antes de la hora indicada para la práctica con ropa cómoda, calzado cerrado y fuerte, sin joyas ni cadenas, **sin lentes de contacto**, y con el pre-reporte y práctica impresa y engrapada (páginas **15 a 19**).
- 3) Pasar al almacén de laboratorio para recoger materiales, herramienta y accesorios requeridos para la práctica.
- 4) El instructor aplicará un examen rápido al inicio de la práctica que evaluará su comprensión del marco teórico y también se utilizará como lista de asistencia.
- 5) El instructor explicará la forma de realizar correctamente un proceso de soldadura de arco eléctrico.
- 6) Cada alumno del grupo recibirá una placa de acero para realizar diversos cordones de soldadura.
- 7) Después se procederá a realiza la revisión de la soldadura.
- 8) Cada alumno tendrá la oportunidad de realizar variación de parámetros para diferentes cordones de soldadura.



Escuela de Ingeniería
División de Ingeniería
Departamento de Ingeniería
Mecánica
Laboratorio de Procesos de
Manufactura

Práctica 4	SOLDADURA POR ARCO ELÉCTRICO
Nombre	
Matrícula	
Instructor de Laboratorio	
Profesor de la material y hora de clase	

PRE-REPORTE DE LA PRÁCTICA

- 1) Investigue los diferentes tipos de uniones soldadas explicando cada uno de ellos (por lo menos 5).



Referencia bibliográfica que se consultó sobre los diferentes tipos de uniones soldadas:

2) Explique la nomenclatura utilizada para los electrodos en el proceso *shielded metal arc welding* (SMAW).

Referencia bibliográfica que se consultó para aprender sobre la nomenclatura utilizada para los electrodos en el proceso SMAW:



3) Estudie y explique los factores que influyen el tipo de transferencia que se obtendrá en el proceso de soldadura GMAW (*Gas metal arc welding*).

Referencia bibliográfica que se consultó para aprender sobre factores que influyen el tipo de transferencia que se obtendrá en el proceso de soldadura GMAW:

REPORTE DE LA PRÁCTICA

1) Describa, desde la perspectiva técnica la experiencia de soldar dos piezas metálicas.

2) Indique el tipo de soldadura que utilizó. Describa las características del cordón de soldadura obtenido y explique las razones por las cuales se generó de tal forma. Apóyese en un croquis (a mano alzada) para representar la pieza con la soldadura y las características observadas (dirección, ancho, longitud, apariencia, etc).

--

ENTREGA DEL PRE-REPORTE Y REPORTE DE LA PRÁCTICA

Asegúrese que su pre-reporte y reporte tenga todos los datos del recuadro de identificación y que haya contestado todos los elementos solicitados antes de entregarlo al instructor. Después, pase al almacén a entregar materiales, herramientas y accesorios, y asegúrese de dejar el área de trabajo limpia y en orden antes de retirarse.