



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**DETERMINACIÓN DEL EFECTO DE LA INTENSIDAD DE
CORRIENTE SOBRE LA TASA DE DEPÓSITO Y LA
EFICIENCIA EN EL PROCESO DE SOLDADURA CON
ELECTRODO REVESTIDO E7018**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO**

P R E S E N T A

ALEXIS DANIEL RAMÍREZ ESTRADA

CIUDAD DE MÉXICO, 2023





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: Ojeda Ramírez Balbina
VOCAL: Profesor: Contreras Guzmán Juan Carlos
SECRETARIO: Profesor: Arzate Ortega Leopoldo
1er. SUPLENTE: Profesor: Flores Rosas Clara Saraíd
2° SUPLENTE: Profesor: Ruiz Ramírez Agustín

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**Departamento de Ingeniería Metalúrgica de la Facultad de Química de la UNAM.
Edificio D.**

ASESOR DEL TEMA:

Balbina Ojeda Ramírez

SUSTENTANTE:

Alexis Daniel Ramírez Estrada

ÍNDICE GENERAL

TEMAS	Pág.
Índice de Figuras	6
Índice de Tablas	7
Dedicatorias	8
Capítulo I	9
1.1 Introducción	10
1.2 Resumen.....	12
1.3 Objetivo general.....	13
1.4 Objetivos particulares	13
1.5 Hipótesis	13
Capítulo II	14
2. Marco teórico	15
2.1 Generalidades de la soldadura	15
2.1.1 Tipos de soldadura	15
2.1.2 Clasificación de la soldadura de fusión	16
2.2. Soldadura de arco eléctrico	16
2.2.1. Clasificación de la soldadura de arco eléctrico.....	18
2.2.2. Tipos de uniones	18
2.2.3. Tipos de posiciones.....	19
2.3. Soldadura por electrodo revestido (SMAW)	21
2.3.1. Partes del electrodo revestido	22
2.3.2. Nomenclatura para electrodos revestidos	22
2.3.3. Partes de una máquina para soldar de CC.....	23
2.4. Variables de control en el proceso SMAW.....	25
2.4.1. Intensidad de corriente eléctrica (I)	25

2.4.2. Longitud de arco	27
2.4.3. Velocidad de avance (Va).....	27
2.5. Resultantes	28
2.5.1. Tasa De Depósito (TDD)	28
2.5.2. Eficiencia (Ef).....	28
2.6. Ensayos por realizar	28
2.6.1. Determinación de TDD.....	29
2.6.2. Determinación de eficiencia	29
2.7. Seguridad en la soldadura	29
2.7.1. Calor.....	30
2.7.2. Electricidad	31
2.7.3. Luz	31
2.7.4. Polvos y humos	32
Capítulo III	34
3. Desarrollo experimental	35
3.1 Materiales y equipos	35
3.2 Matriz de trabajo	35
3.3. Procedimiento experimental	36
3.3.1. Determinación de la masa promedio del electrodo revestido E7018.....	36
3.3.2. Proceso de soldadura a diferentes intensidades de corriente	37
3.3.3. Determinación de la masa consumida y depositada	40
Capítulo IV	41
4. Resultados y análisis	42
4.1. Tratamiento de datos experimentales.....	42
4.2. Presentación de resultados de forma gráfica.....	46
4.3. Análisis de resultados	47

Capítulo V	50
5.1. Conclusiones	51
5.2. Estudios posteriores	52
Capítulo VI	53
6. Bibliografía	54
Capítulo VII	56
7. Anexos	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Cordón de soldadura bien logrado según inspección visual.....	10
Figura 1.2 Cordón de soldadura con alta porosidad	11
Figura 1.3 Cordón de soldadura con escoria removida.....	11
Figura 2.1. Circuito básico de soldadura de arco eléctrico	17
Figura 2.2. Tipos de uniones.....	19
Figura 2.3. Posiciones y designaciones para soldaduras de ranura.....	20
Figura 2.4. Posiciones y designaciones para soldaduras de filete	21
Figura 2.5. Diagrama de la aplicación de soldadura por el proceso de electrodo revestido	21
Figura 2.6. Partes de un electrodo revestido E7010.....	22
Figura 2.7. Electrodo revestidos y su clasificación	23
Figura 2.8. Máquina para soldar de CC con señalización de sus distintos componentes	24
Figura 2.9. Cordones de soldadura hechos en diferentes condiciones.....	25
Figura 2.10. Efectos de la polaridad en el proceso GTAW	27
Figura 2.11. Ícono ISO para identificar peligro de superficies calientes.....	30
Figura 2.12. Ícono ISO para identificar peligro de electrocución.....	31
Figura 2.13. Ícono de Lincoln Electric para identificar peligro de luz excesiva	32
Figura 2.14. Ícono de Lincoln Electric para identificar peligro de humos y polvos.....	33
Figura 3.1. Electrodo revestidos ProStar B10 7018	37
Figura 3.2. Ejemplos de cordones de soldadura realizados	39
Figura 4.1. Correlación gráfica entre la intensidad de corriente y la eficiencia	46
Figura 4.2. Correlación gráfica entre la intensidad de corriente y la TDD.....	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Rangos de amperaje típicos para electrodos de distintas clasificaciones y tamaños	26
Tabla 3.1. Matriz de trabajo experimental	36
Tabla 4.1. Información estadística de la masa de los electrodos revestidos E7018.....	42
Tabla 4.2. Registro de información experimental inicial.....	43
Tabla 4.3. Análisis estadístico de eficiencia y TDD resultante de la experimentación	45

Dedicatorias

Este trabajo lo dedico

A Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza. Deseo que cada acción que realice en mi vida me acerque más y más a Él.

A Hilda, mi mamá, quien me dio la vida, que ha sido mi ejemplo de moralidad y responsabilidad. Una mujer realmente admirable y que me siento grandemente bendecido por tener en mi vida.

A Jorge, mi papá, quien nunca dejó de animarme a continuar y siempre busca lo mejor para mí. Un hombre que inspira respeto, inteligencia y trabajo duro como pocos lo hacen.

A Jorge, mi hermano, mi más grande compañero desde el día en que nací y también un gran maestro. Nuestra infancia juntos es algo que siempre atesoraré en mi corazón.

A mis abuelos Virgilio (QEPD), Brígida (QEPD), Ramiro (QEPD) y María. Dios fue muy bueno al ponerlos en mi vida. Gracias por los años de cariño y alegría que me han dado.

A Mayra, mi prometida, quien será mi compañera por el resto de mi vida en las buenas y en las malas. Una señorita como ninguna otra en el mundo en cuestión de amabilidad, bondad y belleza.

A la profesora Balbina, mi asesora, quien me apoyó increíblemente en todo el proceso para poder terminar este trabajo. Una maestra de muchísimo conocimiento, empatía y amor por su trabajo.

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN:

En México, el crecimiento de mercado ha conducido al uso de los recursos de manera eficiente para su máximo aprovechamiento. Los procesos de soldadura por electrodo revestido (SMAW, por sus siglas en inglés) son muy utilizados en diversos ramos industriales. Sin embargo, debido a los distintos parámetros de este proceso, es probable que no se estén realizando de la manera más adecuada. Los proveedores de equipos y suministros para soldadura SMAW recomiendan rangos de los parámetros del proceso para el uso adecuado de los productos. En este trabajo se analizó el efecto de la corriente eléctrica como parámetro, para aplicar la soldadura lo más rápidamente posible y para utilizarla con la menor pérdida en eficiencia. En la Figura 1.1 se presenta un cordón de soldadura aprobado por una inspección visual.



Figura 1.1. Cordón de soldadura bien logrado según inspección visual.^[1]

Soldar es un proceso de unión que produce coalescencia en materiales, calentándolos a la temperatura de soldadura con o sin la aplicación de presión o con la aplicación de presión solamente, y con o sin el uso de metal de aporte.^[2]

El aire es altamente nocivo para los procesos de soldadura de arco eléctrico en aceros. El oxígeno y el vapor de agua en el aire pueden disolverse en el charco de metal líquido y precipitar en forma de burbujas cuando el metal se enfría. Esto produce porosidad en el cordón, lo que le da una apariencia pobre y podría afectar las propiedades mecánicas del mismo, si fuera suficientemente profundo (Ver Figura 1.2). Es por esto por lo que el charco de metal líquido debe ser protegido. Las dos formas más comunes de protección son la protección gaseosa y la protección con fundentes.



Figura 1.2. Cordón de soldadura con alta porosidad.^[3]

La protección gaseosa se logra aplicando un flujo de gas inofensivo para el charco de metal líquido y que desplaza el aire completamente. Normalmente, los gases utilizados son el CO₂, el argón, el helio, entre otros posibles y las mezclas de éstos. La protección con fundentes utiliza distintos componentes (incluyendo rutilo, fluoruro de calcio, celulosa y polvo de hierro) que extraen las moléculas perjudiciales para el charco de soldadura y forman una capa sólida de escoria sobre el cordón terminado. La escoria es removida posteriormente de manera mecánica y el cordón de soldadura puede ser analizado. Un cordón finalizado después de quitar la escoria se aprecia en la Figura 1.3.



Figura 1.3. Cordón de soldadura con escoria removida.^[4]

Los electrodos revestidos E7018 para soldadura son ampliamente utilizados en México en la industria de la construcción, de la herrería, entre otras. Esto debido a la fácil aplicación en campo y en alturas, así como por el bajo costo tanto de los equipos y del material de aporte.

Las empresas que emplean este tipo de soldadura—en sus esfuerzos por disminuir costos de operación—buscan mejorar la eficiencia y la tasa de depósito de este electrodo en sus procesos. El objetivo de incrementar la eficiencia es que por cada kilogramo de soldadura comprado se deposite una mayor cantidad de metal de aporte y disminuyan los costos de insumos. La finalidad de aumentar la tasa de depósito (TDD) es que decrezca el tiempo requerido para hacer cada cordón y, por lo tanto, sean empresas más competitivas y reduzcan los costos de mano de obra (suponiendo un pago por tiempo fijo).

Los parámetros más cruciales en la aplicación de un proceso de soldadura con electrodo revestido son la velocidad de avance para tener una aplicación uniforme, la longitud de arco con la que se controla el voltaje y el calor transferido a la pieza base, la intensidad de corriente que modifica la estabilidad del arco y la rapidez con la que se consume el electrodo. De acuerdo con Lincoln Electric, la longitud de arco que se use al soldar con un electrodo revestido debe estar en un rango entre 1.6 y 3.2 mm.^[5] Además, existen tablas de resultados empíricos acerca de cuál es un rango apropiado de intensidad de corriente para la aplicación con los diferentes electrodos. Finalmente, la velocidad de avance debe ser tal que se pueda lograr el cordón deseado con la intensidad de corriente aplicada.

El objetivo de este trabajo es determinar mediante experimentación cuál es la intensidad de corriente que produce la mayor eficiencia y cuál la mayor TDD, en la aplicación de electrodos revestidos ProStar B10 7018 de 1/8” manteniendo la longitud de arco constante. De esta forma, un usuario sabrá qué parámetros de aplicación debe utilizar si lo que desea es disminuir el costo de insumos o reducir el tiempo de soldadura. Es posible, pero no necesariamente cierto, que la intensidad de corriente que produce los dos mejores resultados sea una misma. Éste sería el caso más ideal.

1.2 RESUMEN

Los electrodos revestidos para soldadura E7018 se utilizan en una amplia variedad de industrias en México. En los procesos de soldadura, la Tasa De Depósito (TDD) y la eficiencia son métricas que permiten a las empresas determinar la rentabilidad de sus procesos. Una mayor TDD conducirá a un menor tiempo de aplicación y, por lo tanto, mayor productividad. Por el otro lado, una mayor eficiencia será igual a un mejor aprovechamiento de los insumos adquiridos y esto se traducirá en una reducción de costos.

En este trabajo se realizaron pruebas experimentales para establecer un modelo que explique la correlación entre la intensidad de corriente (como variable dependiente) y tanto la TDD como la eficiencia (como variables independientes). Para esto se hicieron cordones de soldadura en diferentes amperajes y se registraron las masas tanto de los electrodos como del metal base antes y después de la soldadura, adicional a medir el tiempo de arco con un cronómetro.

Se encontró que, en efecto, existe una correlación importante entre estas variables y se propuso un modelo que explica su comportamiento. Con dicho modelo se pudo calcular la intensidad de corriente con la cual se consigue una mayor TDD y aquella con la cual se consigue una mayor

eficiencia. De modo que si lo que un soldador o una empresa busca es reducir su tiempo de aplicación, podrá utilizar el amperaje que conlleve a una mayor TDD. Por otro lado, si lo que busca es ahorrar en costos de insumos, utilizarán la que tenga una mejor eficiencia.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo del efecto de la intensidad de corriente sobre la tasa de depósito y la eficiencia de metal de aporte en el proceso de soldadura con electrodo revestido E7018.

1.4 OBJETIVOS PARTICULARES

Determinar la masa promedio de un electrodo revestido E7018 de 1/8", con el fin de calcular la pérdida de los utilizados en el proceso de soldadura.

Realizar cordones de soldadura en posición 1G con electrodo revestido E7018 de 1/8" en soleras de 1/8" de espesor, para medir el tiempo en el que se consume dicho electrodo.

Variar la intensidad de corriente en el proceso de soldadura para establecer su relación con la eficiencia y la tasa de depósito.

Calcular la masa depositada en el cordón de soldadura y relacionarla con la masa consumida del electrodo, para determinar su eficiencia.

Establecer cuál es el amperaje ideal para conseguir la mayor eficiencia y cuál para la mayor TDD.

1.5 HIPÓTESIS

Un incremento en la intensidad de corriente inducirá una mayor tasa de depósito hasta un punto tal en el que el arco ya no pueda ser estable y no se pueda lograr la aplicación adecuada de la soldadura.

La eficiencia como función de la intensidad de corriente alcanzará un punto máximo en el que el arco es más estable y el chisporroteo se encuentra al mínimo. Después de este punto, incrementar el amperaje disminuirá la eficiencia.

CAPÍTULO II

2. Marco teórico

2.1. Generalidades de la soldadura

La soldadura es un proceso de fabricación que une uno o más materiales, usualmente metales o termoplásticos, utilizando un alto calor para fundir las partes y después permitirles enfriar, creando una coalescencia. A pesar del nombre, esta definición no incluye los procesos de “soldadura blanda” y de “soldadura fuerte”, ya que en éstos no se funde el metal base sino solo el de aporte (a menos de 450 °C para la blanda y a más de 450 °C para la fuerte).

Además de fundir el metal base, un material de aporte es comúnmente añadido a la junta para formar un charco de material fundido. Al enfriarse se forma una unión que, basado en la configuración de soldadura, puede tener una mayor resistencia que el material base. La soldadura también requiere una forma de protección para evitar que los metales en el charco se contaminen o se oxiden.

Diferentes fuentes de energía pueden utilizarse para soldar, incluyendo una flama, un arco eléctrico, un láser, un haz de electrones, fricción y ultrasonido. Debido principalmente a estas fuentes de energía, la soldadura es un proceso peligroso y se deben tomar precauciones para evitar quemaduras, choques eléctricos, daño a la visión, inhalación de gases y humos ponzoñosos y exposición a intensa radiación ultravioleta.

2.1.1. Tipos de soldadura

La Sociedad de Soldadura Americana (*American Welding Society*, AWS por sus siglas en inglés) ha reconocido más de 50 tipos de soldadura diferentes. Éstos son divididos de manera general en dos grandes grupos:

- Soldadura de presión
- Soldadura de fusión

En el proceso de soldadura de presión, la unión se logra por la aplicación de presión externa en el área de contacto, lo que causa una deformación plástica en ambas superficies de contacto. Dichas superficies son calentadas hasta cierto punto para permitir o facilitar la unión permanente.

Usualmente, el calor utilizado durante este proceso de soldadura es mucho menor al requerido para llegar al punto de fusión del metal base. El uso de metal de aporte tampoco es común con estos procesos. La soldadura de fricción y la soldadura por forja son ejemplos de los procesos de presión.

Por otro lado, en los procesos de fusión, la unión se logra fundiendo a los metales base en el área de contacto. No se requiere de presión externa durante estos procesos y es común el uso de metal de aporte. La soldadura de arco eléctrico, uno de los procesos de soldadura más conocidos, pertenece a esta clasificación. En este trabajo, nos concentraremos en los procesos de fusión.^[6]

2.1.2. Clasificación de la soldadura de fusión

Existen diferentes procesos de soldadura de fusión dependiendo de cuál sea la fuente aportadora de calor. Los más comunes son los siguientes:

- Soldadura de arco eléctrico
- Soldadura de oxi-combustible
- Soldadura con rayo de electrones
- Soldadura por rayo láser
- Soldadura aluminotérmica
- Soldadura por electro escoria

Cada uno de estos tipos tiene sus usos específicos tanto en la industria como en laboratorios de investigación, así como sus ventajas y desventajas en cuestiones de facilidad de aplicación, costos y tipos de material de aporte que pueden utilizarse.

Existe una gran cantidad de información referente a cada uno de los tipos de soldadura de fusión ya mencionados, pero este trabajo se concentra en la soldadura de arco eléctrico.

2.2. Soldadura de arco eléctrico

La soldadura de arco eléctrico es un proceso de soldadura sin aplicación de presión que utiliza el calor liberado por dicho arco para calentar los materiales que se van a soldar y que se ha utilizado desde el siglo XIX. La aplicación de calor es tan intensa que tanto el metal base como el de aporte se funden y, tras el enfriamiento y la solidificación, se forma una unión metalúrgica. Esto hace que las propiedades mecánicas y físicas de la unión sean las de las piezas originales, a diferencia de lo que sucede en las soldaduras que no son de fusión en la unión (blanda, dura, etc.).^[7]

El circuito básico de arco de soldadura se ilustra en la Figura 2.1. Una fuente de poder de CA o CD está conectada por un cable de trabajo a la pieza de trabajo y por un cable "caliente" a un porta-electrodo o antorcha, que hace contacto eléctrico con el electrodo de soldadura. Un arco se crea a través de la separación cuando el circuito con energía en la punta del electrodo toca la pieza de trabajo y se retira. El arco produce una temperatura de aproximadamente 3600 °C en la punta. Este calor derrite tanto el metal de base como el electrodo, produciendo una pila de metal fundido llamado "cráter". El cráter se solidifica detrás del electrodo a medida que se mueve a lo largo de la junta.^[8]

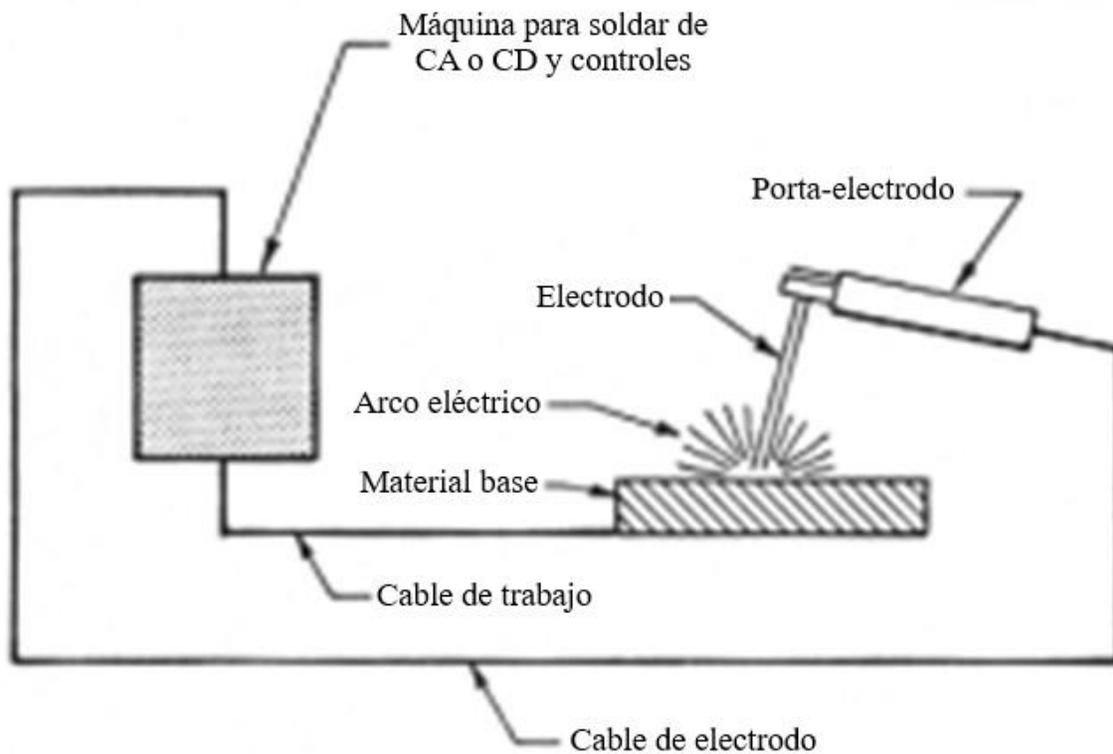


Figura 2.1. Circuito básico de soldadura de arco eléctrico^[9]

Sin embargo, la unión de metales requiere algo más que mover un electrodo a lo largo de una unión. Los metales a altas temperaturas tienden a reaccionar químicamente con elementos presentes en el aire como oxígeno y nitrógeno. Cuando el metal en el charco de fusión entra en contacto con el aire, óxidos y nitruros destruyen la resistencia y dureza de la unión soldada. Por lo tanto, muchos procesos de soldadura de arco proporcionan algunos medios de cubrir el arco y el charco de fusión con un escudo protector de gas o escoria. Esto se denomina arco protegido. Este blindaje evita o minimiza el contacto del metal fundido con el aire. El blindaje también puede mejorar la soldadura. Un ejemplo es un fundente granular, que en realidad añade desoxidantes a la soldadura.

La soldadura por arco se puede hacer con corriente directa (DC) —con el electrodo conectado en la terminal negativa de la máquina de soldar (DCEN o polaridad directa) o en la terminal positiva (DCEP o polaridad inversa) —o con corriente alterna (AC), de forma que la polaridad en el electrodo se alterna con una frecuencia dependiendo de la conexión eléctrica y la máquina de soldar (comúnmente de 60 Hz). La elección de la corriente y la polaridad depende del proceso, el tipo de electrodo, la atmósfera del arco, y el metal que se esté soldando.

2.2.1. Clasificación de la soldadura de arco eléctrico

Existen diferentes formas de aplicar la soldadura de arco eléctrico. Los procesos principalmente utilizados son:

- SMAW (Soldadura con electrodo revestido, *Shielded Metal Arc Welding* por sus siglas en inglés),
- GMAW (Soldadura con microalambre y protección gaseosa, *Gas Metal Arc Welding* por sus siglas en inglés),
- GTAW (Soldadura con electrodo de tungsteno y protección gaseosa, *Gas Tungsten Arc Welding* por sus siglas en inglés),
- FCAW (Soldadura con alambre tubular, *Flux Core Arc Welding* por sus siglas en inglés),
- SAW (Soldadura de arco sumergido, *Submerged Arc Welding* por sus siglas en inglés).

Cada uno de estos distintos procesos tiene su propia presentación de metal de aporte, forma de protección y usos típicos en las diferentes industrias. Por ejemplo, mientras que el SMAW es un proceso discontinuo que utiliza electrodos revestidos con fundente y sin protección gaseosa, el GMAW es un proceso continuo que utiliza carretes de microalambre sin fundente y con protección gaseosa.

2.2.2. Tipos de uniones

La AWS define los diferentes tipos de juntas para soldadura eléctrica en la norma AWS A3.0-94 (Ver Anexo A). Éstos son los que se presentan en la Figura 2.2. A cada uno de estos tipos de juntas se les puede aplicar diferentes tipos de cordones de soldadura y en diferentes posiciones. Los tipos de cordones más comunes son los de ranura y los de filete.

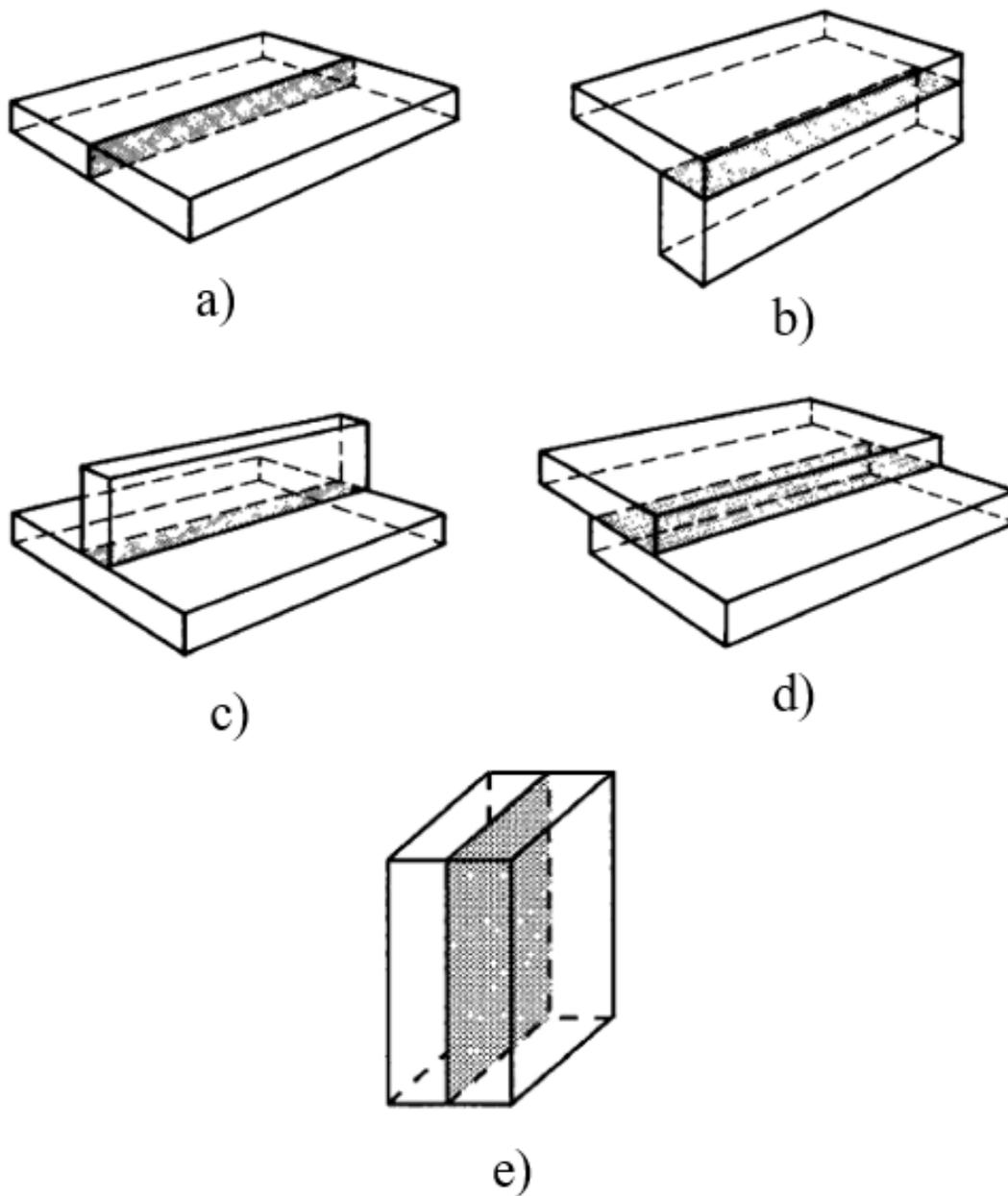


Figura 2.2. Tipos de uniones, a) Unión a tope; b) Unión de esquina; c) Unión en T; d) Unión en traslape; e) Unión de borde. ^[10]

2.2.3 Tipos de posiciones

Las posiciones en las que pueden ser (más comúnmente) aplicados son en la posición plana, horizontal, vertical y sobre-cabeza. En las Figuras 2.3 y 2.4 se presentan, respectivamente, la soldadura de ranura y la de filete en las diferentes posiciones.

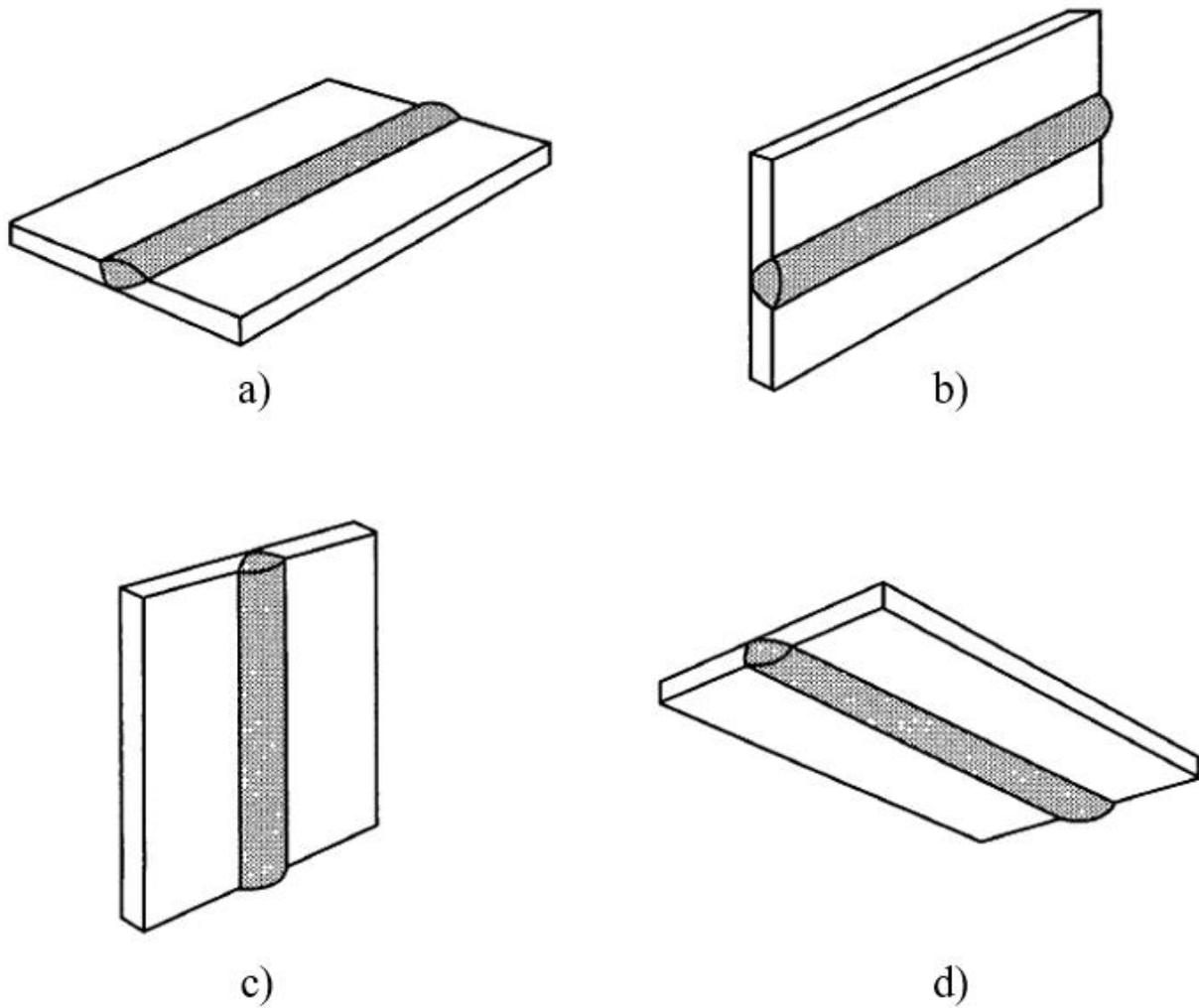


Figura 2.3. Posiciones y designaciones para soldaduras de ranura, a) Posición plana – 1G; b) Posición horizontal – 2G; c) Posición vertical – 3G; d) Posición sobre-cabeza – 4G. ^[10]

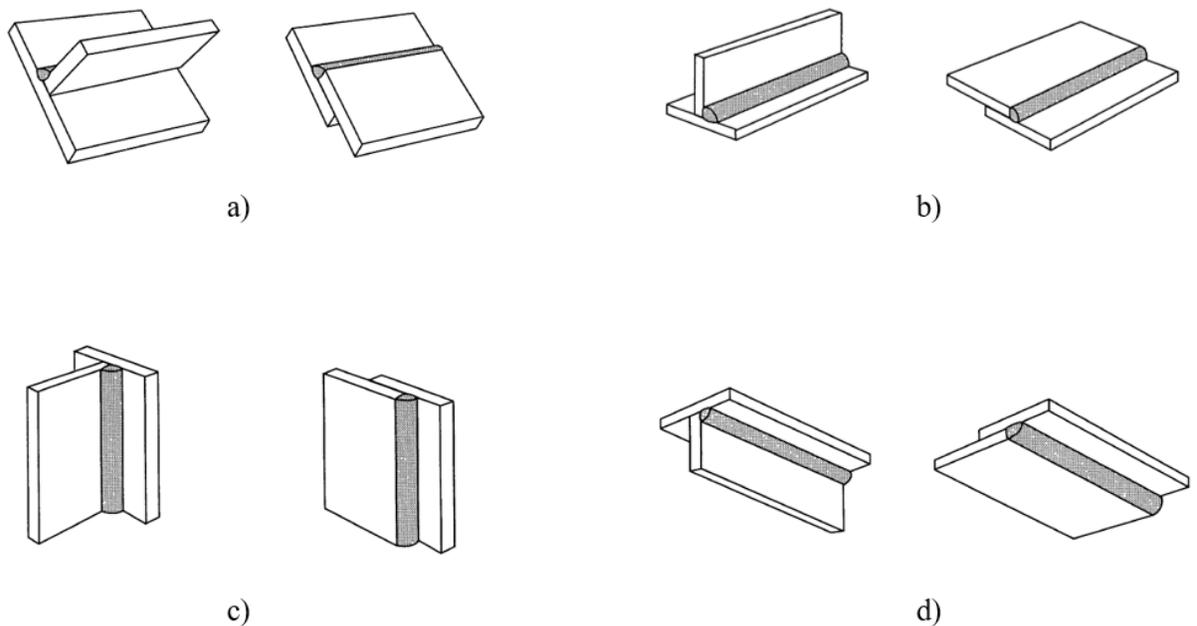


Figura 2.4. Posiciones y designaciones para soldaduras de filete, a) Posición plana – 1F; b) Posición horizontal – 2F; c) Posición vertical – 3F; d) Posición sobre-cabeza – 4F. ^[10]

2.3. Soldadura por electrodo revestido (SMAW)

El proceso SMAW, también conocido como de electrodo revestido, es un proceso manual de soldadura de arco eléctrico que utiliza un electrodo consumible recubierto con un fundente que se aplica a la soldadura. En la Figura 2.5 se presenta un esquema en donde se muestran los elementos necesarios para la aplicación de soldadura por proceso SMAW.

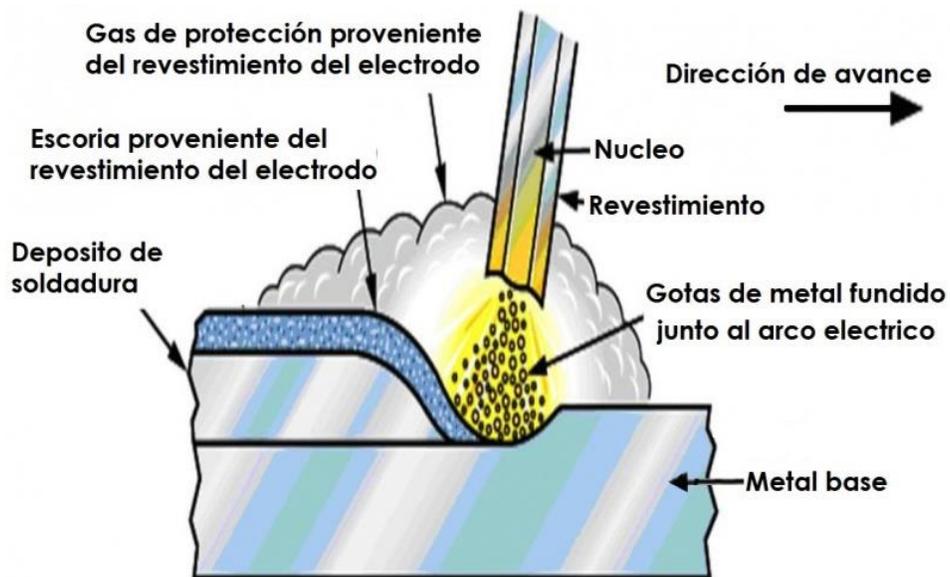


Figura 2.5. Diagrama de la aplicación de soldadura por el proceso de electrodo revestido. ^[11]

2.3.1. Partes del electrodo revestido

Es importante hacer una elección adecuada del electrodo que se va a utilizar en función del material base, la geometría de la junta y la posición en la que se va a realizar. Para esto, es necesario conocer las partes de las que están conformados. En la figura 2.6 se presenta un diagrama que señala las partes de un electrodo revestido.

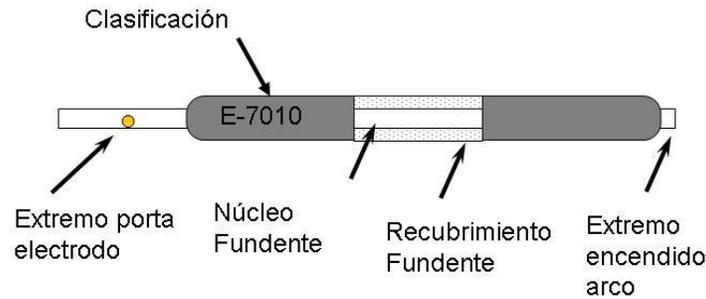


Figura 2.6. Partes de un electrodo revestido E7010 ^[12]

Los electrodos revestidos tienen dos partes principales. A saber, el núcleo y el recubrimiento fundente. El núcleo está hecho de una aleación similar al material base (i.e. hierro colado, acero de bajo carbono, acero de alto carbono, aluminio). El recubrimiento está constituido por un conjunto de componentes minerales y orgánicos que producen gases protectores para evitar la contaminación atmosférica; escoria para proteger el metal depositado hasta su solidificación; y suministra materiales desoxidantes, elementos de aleación y hierro en polvo.

Aunado a las partes ya comentadas, el extremo largo del núcleo sin revestimiento se conoce como el extremo porta electrodo (de dónde se sostiene) y el extremo opuesto es el de encendido de arco (que se arrastra o toca contra el metal base para inicial el arco eléctrico). Sobre el revestimiento, cerca del extremo porta electrodo, se coloca una clasificación en donde se escribe la nomenclatura que define las propiedades del electrodo.

2.3.2. Nomenclatura para electrodos revestidos

Existen diferentes tipos de electrodos revestidos y la elección adecuada del mismo es esencial para una aplicación correcta del cordón de soldadura. La clasificación de la AWS (ver Anexo B) para los electrodos revestidos es la siguiente: E XX YY -1 HZ R (espacios añadidos para mejor claridad). El significado de cada elemento se presenta a continuación:

E – Designa un electrodo para SMAW

XX – Designa la resistencia a la tensión (mínima) que debe tener la soldadura aplicada en ksi.

YY – Designa las posiciones de aplicación en las que el electrodo es utilizable, el tipo de recubrimiento, y el tipo de corriente adecuada para el electrodo.

-1 – Opcional. Designa que el electrodo (E7016, E7018 o E7024) cumple con los requerimientos de alta resistencia – y ductilidad en el caso de E7024.

HZ – Opcional. Designa que el electrodo cumple con los requerimientos de la prueba de hidrógeno difusible (Un máximo de “Z” mL de H₂ en 100 g de metal depositado, donde “Z” es igual a 4, 8 o 16).

R – Opcional. Designa que el electrodo cumple con los requerimientos de la prueba de humedad absorbida (una prueba opcional suplementaria para todos los electrodos de bajo hidrógeno excepto la clasificación E7018M, para la cual la prueba es requerida).^[13]

En la Figura 2.7 se presentan varios electrodos revestidos donde puede apreciarse su clasificación. La soldadura E7018 es, entonces, un electrodo revestido de al menos 70 ksi de resistencia a la tensión, cuyo recubrimiento es de polvo de hierro y potasio, bajo en hidrógeno, y que puede ser utilizado en las posiciones plana, horizontal, vertical ascendente y sobre-cabeza.



Figura 2.7. Electrodos revestidos y su clasificación. En orden de arriba hacia abajo: E7018, E309/309L-16, E6011, E6013, E308/308L-17^[14]

2.3.3. Partes de una máquina para soldar de CC

Para poder soldar con un proceso SMAW se requiere necesariamente de una máquina para soldar de Corriente Constante (CC). Es importante conocer las partes de dicha máquina para poder realizar una soldadura adecuada. En la Figura 2.8 se muestran las partes principales.



Figura 2.8. Máquina para soldar de CC con señalización de sus distintos componentes. ^[15]

Las partes marcadas y sus funciones son:

- Switch de encendido. Encender y apagar la máquina para soldar
- Regulador: Ajuste de intensidad de corriente de soldadura. En ocasiones tiene indicaciones gruesas de la cantidad de Amperes.
- Indicador de corriente: Muestra la cantidad de Amperes en la corriente de soldadura de forma más exacta.
- Indicador de voltaje: Muestra la cantidad de volts aplicados al soldar en tiempo real.
- Terminal negativa: Conexión negativa que puede ir al electrodo o a la pieza de trabajo
- Terminal positiva: Conexión positiva que puede ir al electrodo o a la pieza de trabajo
- Puerto para control remoto: Permite la conexión de un dispositivo de control. Comúnmente utilizado para procesos GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

2.4. Variables de control en el proceso SMAW

Además de una adecuada selección del material de aporte, los parámetros de aplicación son altamente importantes en cualquier proceso de soldadura de arco eléctrico. Una correcta aplicación considerará los siguientes parámetros: intensidad de corriente eléctrica [I], voltaje [V], velocidad de avance [Va], velocidad de alimentación (si fuera el caso de un proceso automático o semiautomático) [val], espacio entre metal base y electrodo o longitud de arco y flujo de gas de protección (si no fuera un proceso autoprotegido) [F].

En el proceso SMAW se utiliza una fuente de poder de corriente constante, la cual, como su nombre indica, mantiene constante la intensidad de corriente durante la aplicación de la soldadura. Esto se logra variando el voltaje dependiendo de la longitud de arco que se tiene durante el proceso. Sin embargo, las variaciones en el voltaje pueden modificar el calor aplicado al metal base por el arco eléctrico. Por lo tanto, es importante tener un buen manejo del electrodo revestido y mantener la longitud de arco constante. En la Figura 2.9 se muestran cordones de soldadura realizados en diferentes condiciones y mostrando los defectos de cada una.

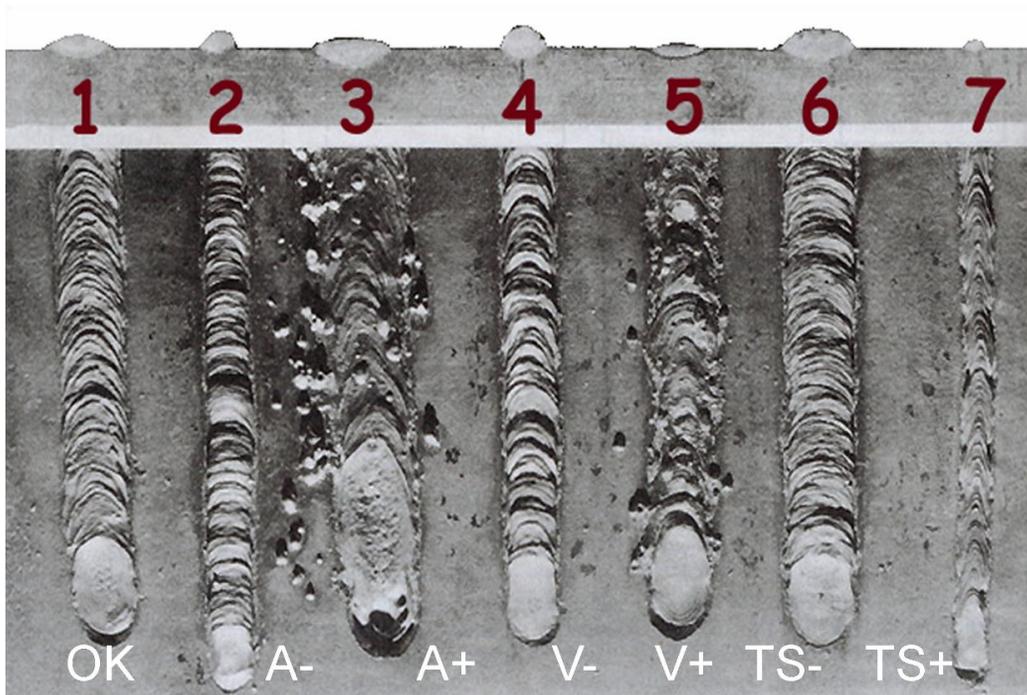


Figura 2.9. Cordones de soldadura hechos en diferentes condiciones. 1: condiciones adecuadas. 2: baja intensidad de corriente. 3: alta intensidad de corriente. 4: bajo voltaje (longitud de arco muy corta). 5: alto voltaje (longitud de arco muy larga). 6: baja velocidad de avance (Travel Speed). 7: alta velocidad de avance (Travel Speed).^[16]

2.4.1. Intensidad de corriente eléctrica (I)

La corriente eléctrica es el flujo de electrones o iones a través de un conductor. En la soldadura de arco eléctrico, cuando el voltaje es lo suficientemente alto para sobrepasar la barrera de

resistividad del aire, se logra una corriente eléctrica a través de este. Es esta corriente la que forma el arco eléctrico y permite la fusión del material de aporte y del metal base.

El amperaje recomendado a utilizar depende de la clasificación y tamaño del electrodo revestido a utilizar. El cual, a su vez, dependerá de la aplicación y el espesor y composición química del metal base que se vaya a utilizar en el proceso. En la Tabla 2.1 se muestran diferentes rangos recomendados por la AWS para el uso adecuado de diferentes electrodos revestidos en distintos tamaños. Lo recomendado para el E7018 en 1/8” es 105-155 A de intensidad de corriente, pero los fabricantes de electrodos suelen hacer sus propias sugerencias.

Tabla 2.1. Rangos de amperaje típicos para uso con electrodos revestidos de distintas clasificaciones y tamaños.

Rangos de Amperaje Típicos														
Diámetro de Electrodo		A5.1	E6010, E6011	E6012	E6013	E6019	E6020	E6022	E6027, E7027	E7014	E7015, E7016	E6018, E7018M, E7018	E7024, E7028	E7048
A5.1 (in)	A5.1M (mm)	A5.1M	E4310, E4311	E4312	E4313	E4319	E4320	E4322	E4327, E4927	E4914	E4915, E4916	E4318, E3918M, E4918	E4924, E4928	E4948
1/16	1.6		--	20 a 40	20 a 40	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5/64	2.0		--	25 a 60	25 a 60	35 a 55	--	--	--	--	--	--	--	--
3/32*	2.4*, 2.5*		40 a 80	35 a 85	35 a 85	50 a 90	--	--	--	80 a 125	65 a 110	70 a 110	100 a 145	--
1/8	3.2		75 a 125	80 a 140	80 a 140	80 a 140	100 a 150	110 a 160	125 a 185	110 a 160	100 a 150	105 a 155	140 a 190	80 a 140
5/32	4.0		110 a 170	110 a 190	110 a 190	130 a 190	130 a 190	140 a 190	160 a 240	150 a 210	140 a 200	130 a 200	180 a 250	150 a 220
3/16	5.0		140 a 215	140 a 240	140 a 240	190 a 250	175 a 250	170 a 400	210 a 300	200 a 275	180 a 255	200 a 275	230 a 305	210 a 270
7/32	5.6		170 a 250	200 a 320	100 a 320	240 a 310	225 a 310	370 a 520	250 a 350	260 a 340	240 a 320	260 a 340	275 a 365	--
1/4	6.0		210 a 320	250 a 400	250 a 400	310 a 360	275 a 375	--	300 a 420	330 a 415	300 a 390	315 a 400	335 a 430	--
5/16	8.0		275 a 425	300 a 500	300 a 500	360 a 410	340 a 450	--	375 a 475	375 a 475	375 a 475	375 a 470	400 a 525	--

*En este diámetro no se manufactura la clasificación E7028 [E4828].

Referente a esta variable es importante también tener en consideración la polaridad en la que estamos conectando el electrodo revestido. En polaridad directa (DCEN) los electrones fluyen del electrodo a la pieza de trabajo. Esto produce una mayor penetración en algunos procesos de soldadura. En polaridad inversa (DCEP) los electrones fluyen de la pieza de trabajo al electrodo. Esto produce una mejor limpieza de la superficie en algunos procesos de soldadura. Usando corriente alterna se pueden lograr ambos beneficios en ciertos procesos de soldadura. En todos los casos, es importante verificar cuál es la polaridad adecuada para el electrodo revestido que se usa consultando su nomenclatura. En la Figura 2.10 se presentan estos efectos gráficamente para el proceso GTAW, que utilizan electrodos de tungsteno no-consumibles.

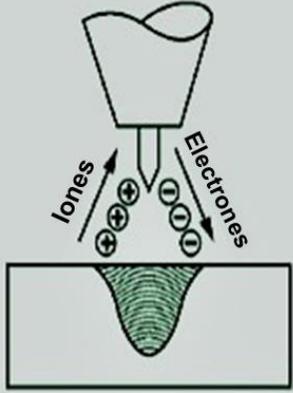
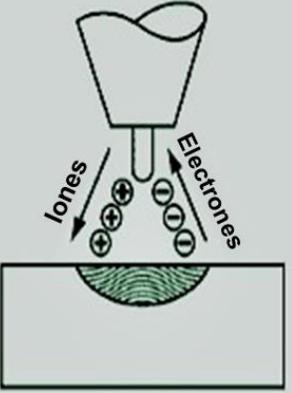
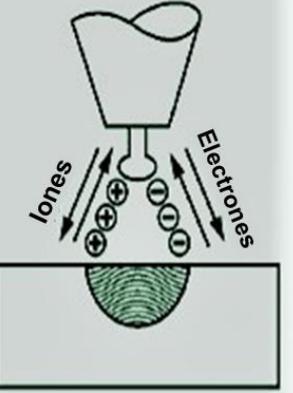
Tipo de corriente	DCEN	DCEP	AC (balanceado)
Polaridad de electrodo	Negativa	Positiva	...
Flujo de electrones e iones			
Características de penetración			
Limpieza de óxidos	No	Sí	Sí – cada medio ciclo
Balace de calor de arco	70% en metal base y 30% en electrodo	30% en metal base y 70% en electrodo	50% en metal base y 50% en electrodo
Penetración	Profunda; delgada	Poco profunda; ancha	Media
Capacidad de electrodo	Excelente e.g., 3.18 mm (1/8 in.)—400 A	Pobre e.g., 6.35 mm (1/4 in.)—120 A	Buena e.g., 3.18 mm (1/8 in.)—225 A

Figura 2.10. Efectos de la polaridad en el proceso GTAW. ^[17]

2.4.2. Longitud de arco

La longitud de arco es la distancia entre la punta del elemento conductor (electrodo, punta de contacto, etc.) al metal base. En un proceso de CC, alejar el electrodo provocará un incremento en el voltaje para mantener la corriente constante y viceversa. Al variar el voltaje, también será modificado el calor aplicado en el proceso. Por lo tanto, para tener un cordón de soldadura uniforme es recomendable mantener la longitud de arco lo más constante posible. Para el E7018 Lincoln Electric recomienda mantener una longitud de arco igual al diámetro del electrodo. Por lo tanto, para un electrodo de 1/8" se debe mantener una longitud de arco de 1/8".

2.4.3. Velocidad de avance (Va)

La velocidad de avance es, naturalmente, la velocidad a la que el soldador desplaza el electrodo durante el proceso. Ésta no está determinada o sugerida por alguna norma o reglamentación. Es necesario que el operador adopte una buena percepción de la velocidad que debe usar por medio de la práctica y experiencia para que produzca un cordón de soldadura adecuado.

2.5. Resultantes

Existen dos principales resultados experimentales de la aplicación de soldadura de tipo SMAW en un grupo definido de parámetros: la eficiencia (Ef) y la tasa de depósito (TDD). Éstos se definen como se explica a continuación.

2.5.1. Tasa De Depósito (TDD)

Tasa de depósito. Es la masa de metal depositada en el cordón por unidad de tiempo en el que está activo el arco eléctrico (comúnmente, kg/h). Al igual que en la eficiencia, la escoria y el chisporroteo no contribuyen a una mayor tasa de depósito. Modificar los parámetros de aplicación tiene un efecto en la TDD.

$$TDD = \frac{m_{depositada}}{t_{arco}}$$

2.5.2. Eficiencia (Ef)

Eficiencia. Es el porcentaje en masa del metal en el electrodo (no se considera el revestimiento) que se mantiene como parte del cordón final de soldadura. La escoria y el chisporroteo no contribuyen a una mayor eficiencia. Un buen ajuste de parámetros puede disminuir la cantidad de chisporroteo que se produce al momento de soldar y, por lo tanto, incrementar la eficiencia.

$$Ef = \frac{m_{depositada}}{m_{electrodo}}$$

2.6. Ensayos por realizar

Para cumplir el objetivo de proponer un modelo de la intensidad de corriente sobre la tasa de depósito y la eficiencia en el proceso de soldadura es necesario realizar experimentación científica. En específico, en este trabajo se proponen métodos con los cuáles serán determinadas estas variables dependientes en el modelo.

2.6.1. Determinación de la Tasa De Depósito

Para la determinación adecuada de la tasa de depósito es necesario saber la cantidad de metal aportado al cordón de soldadura y en cuánto tiempo fue transferida. Sería muy complicado pesar el cordón sin incluir también el metal base. Por lo tanto, es necesario pesar el metal base antes del comienzo del proceso de soldar (m_i). Posteriormente se aplicará la soldadura mientras se registra el tiempo de aplicación (t) con un temporizador. Finalmente, se medirá la masa del metal base con el cordón de soldadura (m_f). La fórmula para calcular la TDD será, entonces:

$$TDD = \frac{m_f - m_i}{t}$$

Puesto que la masa final y el tiempo dependen de la intensidad de corriente (I), la función final sería de la siguiente forma:

$$TDD(I) = \frac{m_f(I) - m_i}{t(I)}$$

2.6.2. Determinación de eficiencia

Para la determinación adecuada de la eficiencia es necesario saber:

- la masa de un electrodo revestido antes del proceso de soldar (m_{ei})
- La masa del electrodo revestido después del proceso (m_{ef})
- La cantidad de metal aportado al cordón de soldadura ($m_f - m_i$).

La fórmula para calcular la eficiencia será, entonces:

$$Ef = \frac{m_f - m_i}{m_{ei} - m_{ef}} * 100\%$$

Puesto que la masa final del cordón y del electrodo dependen de la intensidad de corriente, la función final sería de la siguiente forma:

$$Ef(I) = \frac{m_f(I) - m_i}{m_{ei}(I) - m_{ef}} * 100\%$$

2.7. Seguridad en la soldadura

Los procesos de soldadura de arco eléctrico tienen varios peligros intrínsecos. Descuidos al usar inapropiadamente los equipos o no usar equipo de seguridad adecuado puede llevar desde quemaduras ligeras en la piel por calor o rayos UV hasta la electrocución, asfixia y la muerte. Como éste es un trabajo experimental, es importante explicar los distintos riesgos presentes y cómo se puede proteger contra ellos.

2.7.1. Calor ^[18]

El arco eléctrico en los procesos de soldadura puede llegar a alrededor de 3600 °C. Sin protección adecuada, algunos trabajos serían demasiado calientes para realizarlos de forma segura. Además, la proyección de metal y chispas es muy frecuente y peligrosa. Es por esto por lo que el operador siempre debe asegurarse de cubrir el mayor porcentaje de piel posible con ropa y accesorios retardantes de flama.

Lo más usual es utilizar pantalones y camiseta de mezclilla, una gorra o monja que proteja la cabeza, zapatos de seguridad de piel (las telas pueden quemarse y dejar hoyos en el calzado), guantes para soldador de carnaza con manga y una careta para proteger la cara sin bloquear la vista. Si el trabajo a realizar es de alta emisión de calor, se puede agregar un delantal y polainas de carnaza para mayor protección.

Un error común de personas que comienzan a trabajar en soldadura de arco eléctrico es tocar piezas metálicas sobre las que se acaba de soldar con un guante de carnaza o peor, con la mano al descubierto. El acero puede estar a más de 200 °C sin presentar un cambio en su coloración o apariencia y tocarlo, incluso con un guante, puede llevar a quemaduras en la piel de hasta un segundo grado. La recomendación es que, de ser posible, se deben tomar las piezas con unas pinzas o enfriarlas al aire o con agua antes de tocarlas. Si no, se debe utilizar más capas de protección para evitar quemaduras en las manos.

En la Figura 2.11 se presenta uno de los posibles íconos que se utilizan para identificar este peligro.



Figura 2.11. Ícono ISO para identificar peligro de superficies calientes

2.7.2. Electricidad ^[19]

En los procesos de soldadura por arco eléctrico se requiere de una corriente peligrosamente alta para romper la barrera de resistencia del aire y fundir tanto el metal base como el material de aporte. De forma que en los cables que van entre las terminales positiva y negativa de la máquina de soldar fluye tal cantidad de electrones para llegar a cientos de amperes.

Una corriente de tan solo un ampere es más que suficiente para ocasionar fibrilación ventricular, daño en los nervios e incluso la muerte. Por lo tanto, resulta obvio que debemos evitar a toda costa ser víctimas de los cientos de amperes que se usan en un proceso de soldadura de arco eléctrico.

Para esto, es necesario asegurarse de que todos los cables de la máquina de soldar están debidamente aislados y sujetos, y que dicha máquina está correctamente aterrizada. Además, se deben usar botas de seguridad con suela dieléctrica para aislarse del piso y evitar tocar directamente piezas o mesas que estén en contacto eléctrico con la pieza de trabajo.

En la Figura 2.12 se presenta uno de los posibles íconos que se utilizan para identificar este peligro.

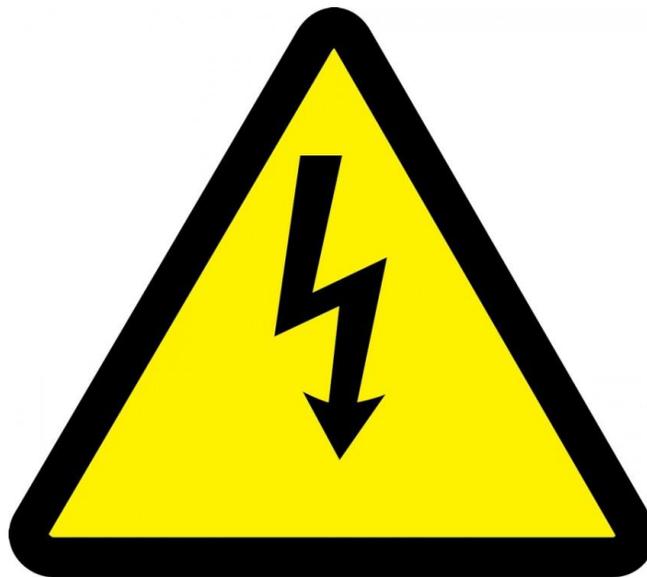


Figura 2.12. Ícono ISO para identificar peligro de electrocución.

2.7.3. Luz excesiva

El arco eléctrico es extremadamente brillante y emite suficiente radiación electromagnética para causar daños a la vista y a la piel. La radiación ultravioleta puede producir daño a la superficie y

membrana de los ojos y ocasionar un “*flashazo*”. Este flashazo lastima la vista y ocasiona desde manchas en la visión hasta ceguera temporal o permanente dependiendo de la exposición.

Además, la exposición prolongada sobre la piel a la luz emitida por el arco eléctrico puede ocasionar quemaduras de primer grado e incrementar el riesgo a desarrollar cáncer de piel en la zona afectada.

La mejor forma de protegerse contra la exposición a la luz es utilizar ropa que cubra todas las zonas de nuestra piel incluyendo manos, piernas, cara y cuello. Además, se utiliza una careta con un cristal de sombra 11-14 dependiendo de la intensidad de la luz emitida por el arco para proteger la vista del soldador. Algunas caretas electrónicas pueden ajustar la intensidad de la sombra y oscurecerse en cuestión de milisegundos al detectar fuentes luminosas de manera que evitan daños a los ojos.

En la Figura 2.13 se presenta uno de los posibles íconos que se utilizan para identificar este peligro.



Figura 2.13. Ícono de Lincoln Electric para identificar peligro de luz excesiva.

2.7.4. Polvos y humos ^[20]

En la gran mayoría de los procesos de soldadura de arco eléctrico se despiden humos y partículas muy finas que pueden ser dañinas para los pulmones si son inhaladas durante largos periodos de tiempo.

Existe una creencia infundada de que el argón, por ejemplo, causa esterilidad en los hombres. Esto no es correcto, pero lo que sí está comprobado es que el monóxido de carbono, ozono y los polvos emitidos pueden ser tóxicos, alojarse en los pulmones o incluso entrar en la corriente sanguínea.

Es importante, por tanto, hacer trabajos de soldadura procurando tener una buena ventilación sin que haya vientos que afecten la protección del charco de soldadura contra el aire. Además, se pueden utilizar mascarillas antipolvos y antihumos para reducir aún más la exposición. Este peligro no es tan fácilmente visible y sus efectos no son tan inmediatos como los otros, pero no por eso debe ignorarse. Sin protección adecuada, pueden ser letales.

En la Figura 2.14 se presenta uno de los posibles íconos que se utilizan para identificar este peligro.



Figura 2.14. Ícono de Lincoln Electric para identificar peligro de humos y polvos.

CAPÍTULO

III

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para determinar la relación entre la intensidad de corriente, la eficiencia y la tasa de depósito será necesario realizar varios experimentos que tengan al amperaje como variable independiente. Se requerirá hacer varios cordones de soldadura, cada uno con electrodos nuevos, lo más establemente que sea posible. Además, se precisará conocer el tiempo de arco en cada prueba, así como la masa de los electrodos antes y después del proceso.

En este capítulo se describen los materiales utilizados, así como la matriz de trabajo y el procedimiento experimental con el que podrán evaluarse las hipótesis planteadas.

3.1. Materiales y equipo

A continuación, se enlistan los equipos y materiales necesarios para realizar el proceso de soldadura, pesar los electrodos y contabilizar el tiempo de arco.

- Máquina para soldar de corriente constante Syncrowave 210 (ver Anexo C)
- Balanza analítica
- Cronómetro
- 30 soleras de acero al carbono A36 de 1/8" de espesor por 1" de ancho y 6.9" (175 mm) de largo (ver Anexo D)
- 18 electrodos revestidos ProStar B10 E7018

3.2. Matriz de trabajo

Se requirieron de varios grupos de soleras de acero al carbono en las que se hicieron cordones de soldadura a 5 distintas intensidades de corriente (en intervalos de 15 A) con una repetición triple. Dichos grupos se nombraron con una letra (A-E) y un número (1-3). La letra se refiere a la intensidad de corriente utilizada en el grupo y el número es la repetición para dicho amperaje. Así pues, por ejemplo, el grupo D3 es el tercer grupo en el que se soldó a 130 amperes. El trabajo, entonces, se describe con la matriz en la Tabla 3.1

Tabla 3.1. Matriz de trabajo experimental.

Amperaje (A)	Grupo	Eficiencia (%)	Tasa De Depósito (kg/h)
85	A1	-	-
	A2	-	-
	A3	-	-
100	B1	-	-
	B2	-	-
	B3	-	-
115	C1	-	-
	C2	-	-
	C3	-	-
130	D1	-	-
	D2	-	-
	D3	-	-
145	E1	-	-
	E2	-	-
	E3	-	-

3.3. Procedimiento experimental

El procedimiento experimental se dividió en tres grandes partes: la determinación de la masa promedio del electrodo y de las soleras de acero al carbono, el proceso de soldadura a diferentes intensidades de corriente y la determinación de la masa consumida y depositada. A continuación, se detallarán cada una de éstas tan detalladamente como sea pertinente.

3.3.1. Determinación de la masa promedio del electrodo revestido E7018

1. Se consiguieron varios electrodos ProStar B10 E7018 y se seleccionaron 3 de ellos de forma aleatoria. En la Figura 3.1 se presentan los electrodos escogidos para esta parte del procedimiento.



Figura 3.1. Electrodos revestidos ProStar B10 E7018 seleccionados para determinación de masa promedio.

2. Posteriormente se les quitó el revestimiento utilizando un martillo para romperlo y un pequeño cuchillo para cortarlo.
3. Una vez que quedó solo el núcleo metálico, se colocaron uno por uno en una balanza analítica para registrar su masa.

Los resultados obtenidos por estas mediciones están registrados en el Capítulo IV y su ligera varianza da fidelidad de que el promedio obtenido es representativo de la población de electrodos revestidos ProStar B10 E7018.

3.3.2. Proceso de soldadura a diferentes intensidades de corriente.

1. Se consiguieron 30 soleras de acero al carbono de aproximadamente 175 x 25 x 3 mm, las cuales fueron divididas en los grupos anteriormente nombrados en la sección de Matriz de trabajo.
No fue requerido que todas las soleras fueran iguales, debido a que se habría necesitado de cortes más precisos y costosos. Además, el objeto de estudio en sí fueron los cordones de soldadura aplicados. Sin embargo, por ser todas las soleras suficientemente distintas entre sí, se pesaron una por una en una balanza analítica para registrar su masa.

Estas mediciones fueron importantes para la determinación de la masa consumida y depositada y fue absolutamente necesario tomarlas antes de realizar el proceso de soldadura.

2. Se conectó la máquina de soldar Syncrowave 210 a la toma de corriente eléctrica (a 110 V), se conectaron la pinza portaelectrodo y la pinza de tierra en el borne negativo y positivo respectivamente (el proceso fue, por lo tanto, realizado en DCEN).
3. Y finalmente se encendió la fuente de poder. Se configuró la máquina para trabajar en 85, 100, 115, 130 y 145 A respectivamente para cada 3 grupos de piezas de trabajo y se utilizó un electrodo nuevo para cada grupo.
4. En cada grupo de soleras se hizo un cordón de soldadura en toda la longitud de las soleras, de 6 mm de ancho, manteniendo la longitud de arco constante a 1/8" y utilizando una velocidad de avance adecuada para tener un resultado uniforme. Al llegar al final de las soleras, se cortaba el arco alejando el electrodo revestido. En la Figura 3.2 se presentan algunos de los cordones resultantes en las soleras.

Cabe mencionar que en este experimento no se consideró importante la penetración de la soldadura, aunque por supuesto es muy relevante en aplicaciones prácticas fuera de un laboratorio. En una aplicación real, la junta debe ser preparada previamente para conseguir la penetración deseada, generalmente mediante un biselado.

5. La escoria y el chisporroteo fueron removidos lo más posible utilizando una, adecuadamente llamada piqueta para remover de escoria. Esto con la finalidad de que su aportación de masa a las ahora-unidas soleras, no fuera considerada para los cálculos de Tasa De Depósito.



Figura 3.2. Ejemplos de cordones de soldadura realizados en soleras de acero con electrodos revestidos E7018.

El tiempo de arco fue medido utilizando un cronómetro. Esta información se encuentra registrada en el Capítulo IV y es de alta importancia para la determinación de la TDD.

3.3.3. Determinación de la masa consumida y depositada.

1. Con las piezas de cada grupo finalizadas y limpias, el siguiente paso consistió en nuevamente introducir las de una en una en una balanza analítica para determinar su masa. Esta nueva masa está constituida, por supuesto, por la suma de las de las soleras individuales más la suma de acero que conforma el cordón de soldadura. Si a la masa resultante de la pieza se le resta la de las dos soleras que la conforman, se puede calcular la masa depositada en el proceso de soldadura.

Este resultado, junto con el tiempo de arco registrado durante el proceso de soldadura son lo que permitió calcular la TDD. Estos resultados están registrados en el Capítulo IV.

2. Posteriormente se removió el revestimiento del sobrante de los electrodos utilizados en cada grupo de soleras y fueron pesados uno por uno en una balanza analítica.

Si se le resta esta masa sobrante a la masa promedio que se calculó que tienen los electrodos revestidos, se puede determinar la masa que fue consumida en el proceso. Este resultado de masa consumida junto con la masa depositada de la que se escribió en el párrafo anterior permitió calcular la eficiencia del proceso.

La masa consumida debe ser, por el principio de la conservación de materia, menor o igual a la masa depositada (pero en realidad, en un proceso de esta naturaleza nunca serán iguales; la eficiencia siempre será menor del 100%). Estos resultados están, también, registrados en el Capítulo IV.

CAPÍTULO

IV

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Tratamiento de datos

Como fue descrito anteriormente, lo primero que se hizo fue determinar la masa promedio de los electrodos revestidos ProStar B10 E7018 pesándolos en una balanza analítica. En la Tabla 4.1 se presenta la información estadística referente al electrodo revestido.

Tabla 4.1. Información estadística de la masa de los electrodos revestidos E7018

Medición	Masa electrodo inicial (g)
1	28.953
2	29.075
3	29.102
Promedio	29.043
Var.	0.006
Desv. Est.	0.079

Debido a que la varianza fue considerablemente pequeña, no se consideró necesario realizar más repeticiones. El dato más importante de esta tabla es la masa promedio que se utilizará para determinar la masa consumida de los electrodos revestidos en el proceso de soldadura. La fórmula para este cálculo es la siguiente:

$$\text{Masa consumida} = \text{masa electrodo inicial } (m_{ei}) - \text{masa electrodo final } (m_{ef})$$

La siguiente parte del proceso fue pesar las soleras que conforman cada uno de los grupos de la matriz de trabajo. Posteriormente, se realizó el proceso de soldadura en cada uno de los diferentes grupos y en las distintas intensidades de corriente mientras se medía el tiempo de arco con un cronómetro.

Finalmente, se pesaron tanto la pieza terminada después de limpieza como el núcleo metálico del electrodo utilizado (sin revestimiento). Esta información que provino exclusivamente de mediciones sin cálculos posteriores se presenta en la Tabla 4.2. Los datos medidos en esta parte del proceso serán de mucha importancia para la determinación de la Eficiencia y la Tasa De Depósito en cada uno de los procesos.

Al realizar los cordones de soldadura, las diferencias en la estabilidad del arco y la cantidad de chisporroteo fueron fácilmente perceptibles entre los grupos de soleras que fueron soldados a distintas intensidades de corriente. Mantener el arco encendido, por ejemplo, era algo complicado a corrientes de 85 A, mientras que evitar el chisporroteo era un problema a 145 A. Esto, por supuesto, era de esperarse al trabajar fuera de los parámetros recomendados por los fabricantes de electrodos E7018.

Con todas las mediciones pertinentes realizadas, se pueden hacer todos los cálculos necesarios. El orden de éstos es el siguiente: para cada grupo de la matriz de trabajo se determina la masa depositada de soldadura, la eficiencia, la TDD en g/s, la TDD en kg/h; así como el promedio, la varianza y la desviación estándar de la eficiencia y la TDD (en kg/h) de los grupos de cada amperaje distinto. Los resultados de estos cálculos se presentan en la Tabla 4.3.

Tabla 4.2. Registro de información experimental inicial.

Amperaje (A)	Grupo	Masa inicial (g)	Tiempo (s)	Masa solera final (g)	Masa electrodo final (g)
85	A1	111.0141	40	231.54	11.616
		110.4136			
	A2	115.1917	43	236.215	11.012
		109.7536			
	A3	109.4863	43	229.68	10.603
		108.5527			
100	B1	109.3408	31	229.054	12.602
		110.4160			
	B2	112.7156	41	234.318	10.456
		109.6895			
	B3	116.2158	36	235.377	11.428
		108.4077			
115	C1	109.9738	34	235.602	11.832
		115.7021			
	C2	113.3854	30	228.798	12.492
		106.3302			
	C3	109.5490	29	225.578	12.371
		106.5938			
130	D1	116.0100	35	236.121	13.79
		114.0319			
	D2	116.7123	35	242.304	11.966
		116.1353			
	D3	110.3469	31	227.766	11.939
		107.6808			
145	E1	112.1618	18	226.498	15.843
		109.9934			
	E2	110.3502	30	222.755	13.548
		106.2414			
	E3	107.9127	25	223.206	13.979
		108.5139			

Se calcularon la eficiencia y la TDD de cada uno de los tres procesos de soldadura de cada uno de los cinco amperajes, así como el promedio, varianza y desviación estándar por amperaje. Esta información se presenta en la Tabla 4.3.

A continuación, se presentan ejemplos de cálculo para mostrar cómo se obtuvo la información de la Tabla 4.3 utilizando el grupo A1 como ejemplo:

Cálculo 1:

$$\begin{aligned} \text{Masa depositada soldadura} &= \text{masa final solera} - \text{masa inicial 1} - \text{masa inicial 2} \\ &= 231.54 \text{ g} - 111.0141 \text{ g} - 110.4136 \text{ g} = 10.1123 \text{ g} \end{aligned}$$

Cálculo 2:

$$\begin{aligned} \text{Eficiencia} &= \frac{\text{masa depositada soldadura}}{\text{masa electrodo inicial} - \text{masa electrodo final}} * 100\% \\ &= \frac{10.1123 \text{ g}}{29.043 \text{ g} - 11.616 \text{ g}} * 100\% = 74.81\% \end{aligned}$$

Cálculo 3:

$$\text{TDD (g/s)} = \frac{\text{masa depositada soldadura (g)}}{\text{tiempo (s)}} = \frac{10.1123 \text{ g}}{40 \text{ s}} = 0.253 \text{ g/s}$$

Cálculo 4:

$$\begin{aligned} \text{TDD (kg/h)} &= \text{TDD (g/s)} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \\ &= 0.253 \text{ g/s} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} = 0.910 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

Cálculo 5:

$$\text{Prom } Ef_X (\%) = \frac{Ef_{X1} + Ef_{X2} + Ef_{X3}}{3} = \frac{74.81\% + 76.72\% + 76.59\%}{3} = 76.04\%$$

Cálculo 6:

$$\text{Var } Ef_X = \frac{\sum_{i=1}^{i=3} (Ef_{Xi} - \overline{Ef_X})^2}{2} = 1.1334$$

Cálculo 7:

$$\text{Desv Est } Ef_X = \sqrt{\text{Var } Ef_X} = \sqrt{1.1334} = 1.0646$$

Cálculo 8:

$$\text{Prom } TDD_X (\%) = \frac{TDD_{X1} + TDD_{X2} + TDD_{X3}}{3} = \frac{0.910 + 0.944 + 0.975}{3} \text{ kg/h} = 0.943 \text{ kg/h}$$

Cálculo 9:

$$\text{Var } TDD_X = \frac{\sum_{i=1}^3 (TDD_{Xi} - \overline{TDD_X})^2}{2} = 0.00104$$

Cálculo 10:

$$\text{Desv Est } TDD_X = \sqrt{\text{Var } TDD_X} = \sqrt{0.00104} = 0.03225$$

Tabla 4.3. Análisis estadístico de eficiencia y TDD resultante de la experimentación.

Amperaje (A)	Grupo	Masa depositada soldadura (g)	Eficiencia (%)	TDD (g/s)	TDD (kg/h)	Prom Ef (%)	Var Ef	Desv Est Ef	Prom TDD (kg/h)	Var TDD	Desv Est TDD
85	A1	10.1123	74.81	0.253	0.910	76.04	1.1334	1.0646	0.943	0.00104	0.03225
	A2	11.2697	76.72	0.262	0.944						
	A3	11.641	76.59	0.271	0.975						
100	B1	9.2972	75.40	0.300	1.080	76.26	0.6628	0.8141	1.067	0.00034	0.01832
	B2	11.9129	77.02	0.291	1.046						
	B3	10.7535	76.37	0.299	1.075						
115	C1	9.9261	74.92	0.292	1.051	74.76	0.1774	0.4212	1.104	0.00377	0.06137
	C2	9.0824	74.28	0.303	1.090						
	C3	9.4352	75.08	0.325	1.171						
130	D1	6.0791	68.41	0.174	0.625	72.27	11.3559	3.3698	0.910	0.06689	0.25864
	D2	9.4564	73.76	0.270	0.973						
	D3	9.7383	74.64	0.314	1.131						
145	E1	4.3428	69.50	0.241	0.869	69.62	3.2585	1.8051	0.861	0.01404	0.11847
	E2	6.1634	67.87	0.205	0.740						
	E3	6.7794	71.47	0.271	0.976						

4.2. Presentación de resultados en forma gráfica

A continuación, se presentan gráficos que muestran la relación entre la eficiencia (Figura 4.1) y la TDD (Figura 4.2) con respecto a la intensidad de corriente. Utilizando herramientas computacionales se determinaron correlaciones en cada gráfico suficientemente simples (una función cuadrática y una cúbica, respectivamente) y precisas ($R^2 = 0.992$ y 0.910 , respectivamente). Esto nos muestra que sí existe una dependencia importante y medible.

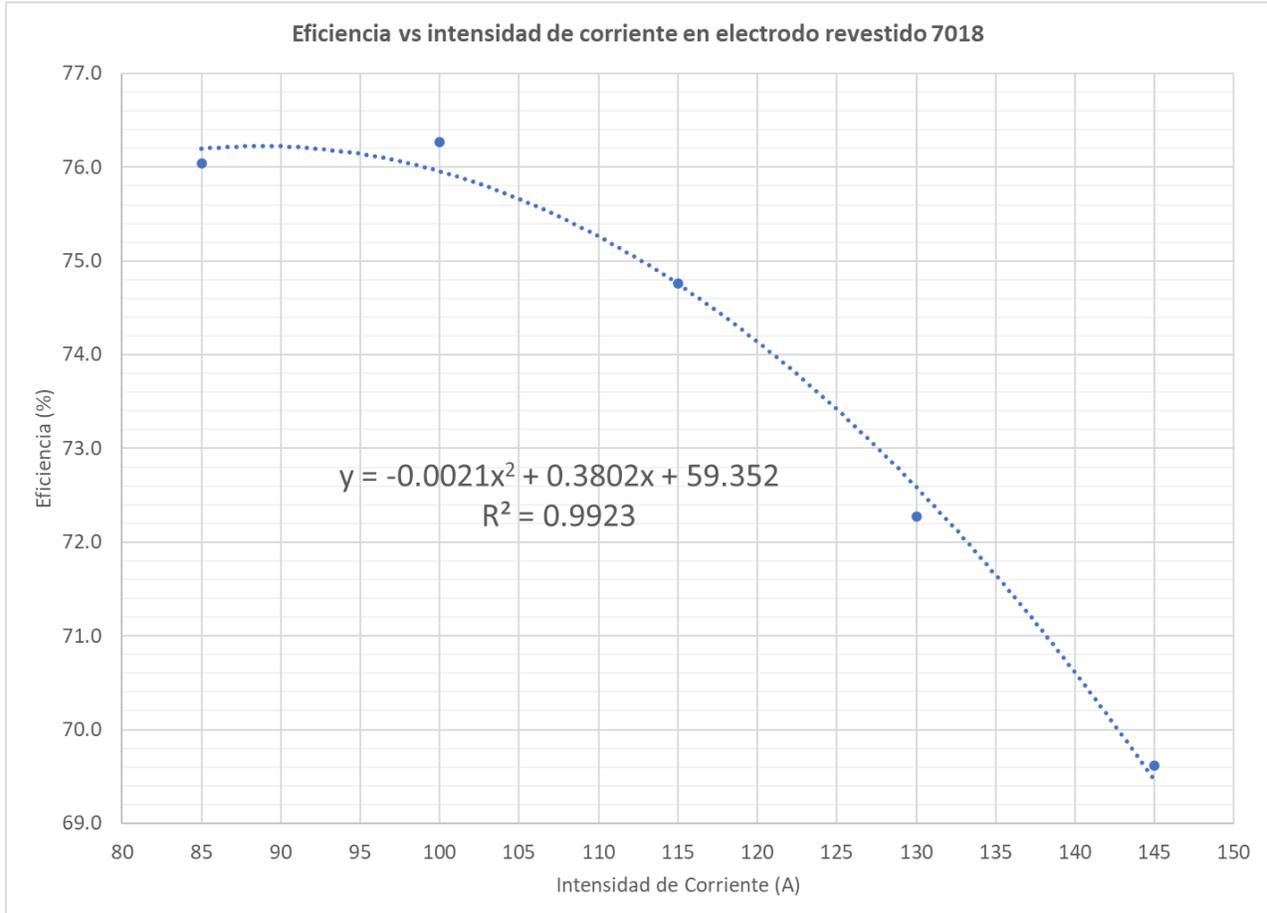


Figura 4.1. Correlación gráfica entre la intensidad de corriente y la eficiencia.

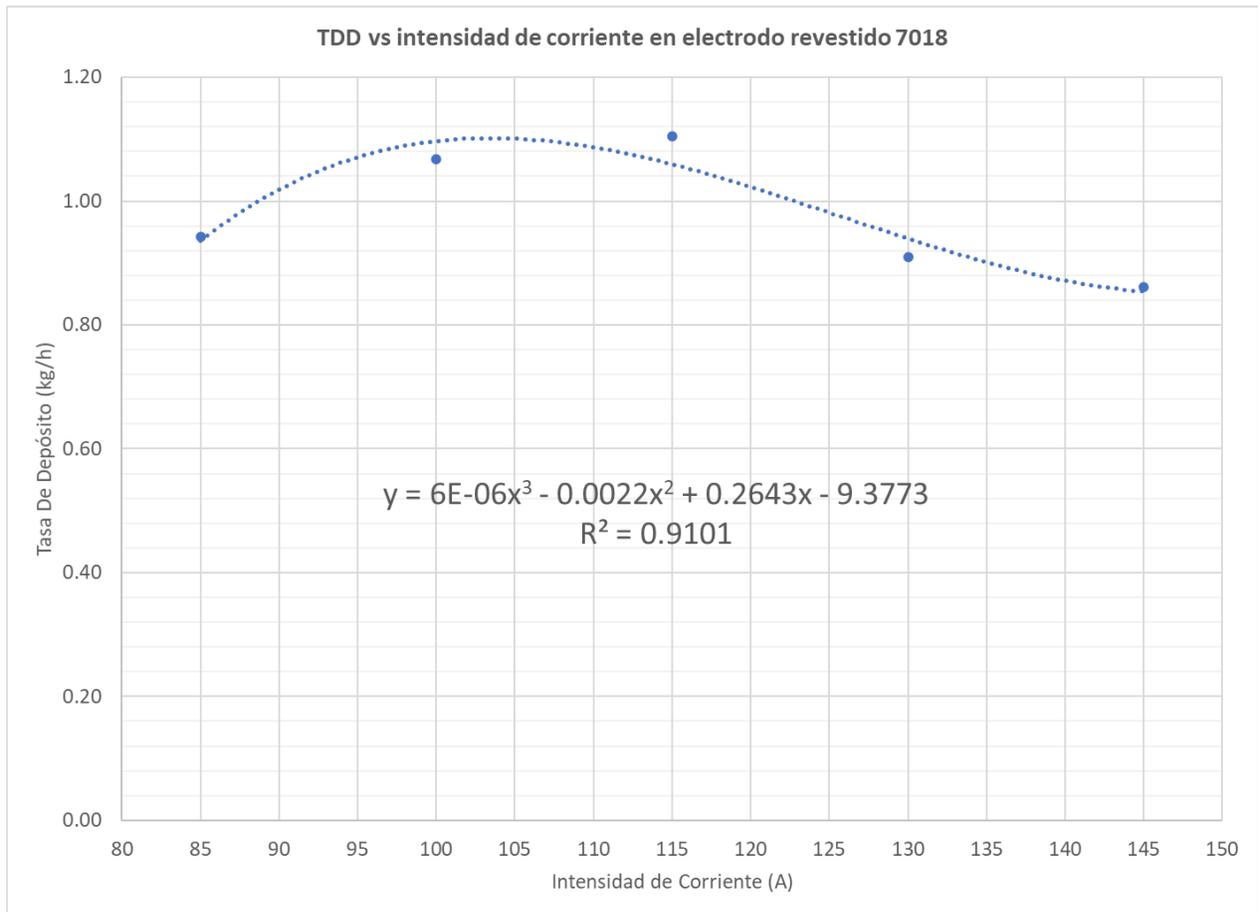


Figura 4.2. Correlación gráfica entre la intensidad de corriente y la TDD.

4.3. Análisis de resultados

El modelo propuesto de la eficiencia en función de la intensidad de corriente es:

$$Ef(I) = -0.0021I^2 + 0.3802I + 59.352 \quad , \quad 85 A \leq I \leq 145 A$$

Es de mucha importancia el rango de validez de 85 amperes a 145 amperes por dos razones. La primera es que, naturalmente, con una intensidad igual a 0 A no podría tenerse una eficiencia del 59% porque no tendría sentido físico. La segunda es que el arco en sí es muy difícil de mantener encendido a menos de 85 A y de mantener estable a más de 145 A. Por lo tanto, no tiene sentido extrapolar este modelo; está cubierto todo el rango de amperaje en el que se puede soldar con el electrodo E7018 en 1/8".

La función es representativa de una parábola negativa. El punto más alto es en 90.52 A con una eficiencia del 76.5% y esto significa que intensidades de corriente medias y altas disminuyen la eficiencia del consumo de electrodo revestido hasta un mínimo de aproximadamente 70.3%. La diferencia en la eficiencia del punto más alto al más bajo es de un 6.2%.

La eficiencia disminuye en intensidades de corriente más bajas que 90.5 A porque el arco eléctrico no tiene la energía suficiente para transportar de forma adecuada las partículas de metal desde el electrodo revestido hacia el charco de soldadura.

La eficiencia también disminuye en intensidades de corriente más altas que 90.5 A porque el chisporroteo y la inestabilidad del arco hacen que un porcentaje de la masa consumida del electrodo se pierda fuera del cordón de soldadura y por lo tanto no sea útil para el proceso sino, al contrario, perjudicial, pues el chisporroteo debe ser removido posteriormente para una correcta apariencia del trabajo de soldadura.

El modelo propuesto para la Tasa De Depósito en función de la intensidad de corriente es:

$$TDD(I) = 0.000006I^3 - 0.0022I^2 + 0.2643I - 9.3773 \quad , \quad 85 A \leq I \leq 145 A$$

El rango de validez de 85 a 145 amperes es de gran importancia por las mismas razones que se mencionaron anteriormente. En una intensidad de 0 amperes la TDD sería de cero, pero no es prácticamente posible mantener el arco encendido y estable a menos de 85 o a más de 145 amperes.

El punto máximo local para esta función se encuentra en 106 amperes y 1.06 kg/h. En intensidades de corriente más altas, la tasa de depósito comienza a disminuir hasta llegar a un mínimo de 0.98 kg/h. La diferencia en la tasa de depósito del punto más alto al más bajo es de 80 gramos por hora arco.

En amperajes más bajos que 106 amperes el flujo de electrones es insuficiente para transferir masa más rápidamente. Conforme incrementa la intensidad de corriente, aumenta la tasa de depósito hasta que el efecto de la disminución de la eficiencia por el chisporroteo disminuye la cantidad de material transportado de forma efectiva, de modo que la TDD vuelve a disminuir. Se puede apreciar que después del máximo local, la TDD continúa disminuyendo hasta que la función sale del rango válido de aplicación de la soldadura.

Es importante notar que la diferencia entre el punto máximo y el mínimo tanto de la eficiencia como de la tasa de depósito no son particularmente grandes. En la eficiencia, la diferencia es de un 6.2%. Esto es, si se compran 100 kg de electrodos comprados y se usan a 90.5 A, tendrán un rendimiento de 6 kg más que si se usaran a 145 A.

En la tasa de depósito, la diferencia es de 80 g por hora arco. En la industria, llegar a una hora arco con electrodos revestidos es tardado incluso en producciones continuas por la discontinuidad de éstos a comparación de, por ejemplo, un proceso GMAW. Si realmente se quisiera incrementar la tasa de depósito del proceso de soldadura, recomendaría más que nada hacer un cambio de proceso a uno de microalambre o de alambre tubular, si es posible.

Para determinar con certeza si existe un punto de inflexión en este dominio de la función se calculó la primera derivada de la función TDD(I). Ésta se presenta a continuación:

$$TDD'(I) = 0.000018I^2 - 0.0044I + 0.2643 \quad , \quad 85 A \leq I \leq 145 A$$

Ésta es una función representativa de una parábola positiva cuya expresión gráfica se encuentra en la Figura 4.3. El punto mínimo de esta función se encuentra en $I=122$ A. Esto significa que en este valor se encuentra el punto de inflexión de la función original y decrece la rapidez en la que la TDD disminuye en función de la intensidad de corriente.

Es posible que el tamaño de las gotas de metal fundido haya crecido lo suficiente para que, a pesar del incremento en el chisporroteo, la velocidad de aplicación comienza una tendencia en aumento. Se sugiere que se realicen estudios posteriores del efecto de la intensidad de corriente sobre el tamaño de las gotas de metal transferidas al charco de soldadura.

CAPÍTULO

V

Conclusiones

Se determinó la masa promedio de un electrodo revestido E7018 de 1/8", con el fin de calcular la pérdida de masa de los utilizados en el proceso de soldadura. Como se presenta en la Tabla 4.1, se calculó un promedio de 29.043 g.

Se realizaron cordones de soldadura en posición 1G con electrodo revestido E7018 de 1/8" en soleras de 1/8" de espesor, y se midió el tiempo en el que se consumieron dichos electrodos. Se varió la intensidad de corriente en el proceso de soldadura para establecer su relación con la tasa de depósito. Se consideraron 5 diferentes amperajes (85, 100, 115, 130 y 145 A) a los que se realizaron cordones de soldadura.

Se propuso un modelo del efecto de la intensidad de corriente sobre la tasa de depósito y la eficiencia de metal de aporte en el proceso de soldadura con electrodo revestido E7018. Para la eficiencia, dicha relación se explica con la siguiente expresión:

$$Ef(I) = -0.0021I^2 + 0.3802I + 59.352 \quad , \quad 85 A \leq I \leq 145 A$$

Para la Tasa De Depósito el modelo resultante fue el siguiente:

$$TDD(I) = 0.000006I^3 - 0.0022I^2 + 0.2643I - 9.3773 \quad , \quad 85 A \leq I \leq 145 A$$

Se estableció cuál es el amperaje ideal para conseguir la mayor eficiencia y cuál para la mayor TDD:

El punto máximo de la función propuesta para calcular la eficiencia es de un valor de 76.5% y se encuentra a los 90.52 A.

El punto máximo de la función propuesta para calcular la tasa de depósito es de un valor de 1.06 kg/h y se encuentra a los 106 A.

Un incremento en la intensidad de corriente inducirá una mayor tasa de depósito hasta un punto tal en el que el arco ya no pueda ser estable y no se pueda lograr la aplicación adecuada de la soldadura. Altas intensidades de corriente producen mayores tasas de depósito hasta que el arco es inestable y la aplicación es inadecuada.

La eficiencia como función de la intensidad de corriente alcanzará un punto máximo en el que el arco es más estable y el chisporroteo se encuentra al mínimo. Después de este punto, incrementar el amperaje disminuirá la eficiencia.

Estudios posteriores

Este estudio se realizó ya con práctica suficiente para mantener una longitud de arco estable a pesar del consumo continuo del electrodo revestido. Sin embargo, sería altamente difícil asegurar que se mantuvo estable durante en cada segundo. Considerando esto, y con el objetivo de comprender aún más las variables que pueden afectar la eficiencia y la TDD en un proceso de soldadura, se recomienda realizar estudios con la longitud de arco como variable dependiente. Éstos podrían hacerse utilizando una cámara de vídeo con función para observar la grabación en cámara lenta.

De esta forma, se podría observar la longitud del arco en tiempo real y hacer variaciones significativas y controladas para determinar cuál es el efecto en la eficiencia y la Tasa De Depósito.

Otro estudio posterior que se sugiere es el de la intensidad de corriente como variable dependiente para el tamaño de las partículas de metal transferidas en el arco eléctrico. Nuevamente se necesitaría una cámara de vídeo para realizar una grabación y posteriormente observarla en cámara lenta para ver el comportamiento de las partículas metálicas.

Finalmente, otro estudio que podría realizarse es el de estudiar el efecto de la variación en la intensidad de corriente sobre las propiedades mecánicas del cordón resultante. La industria de la construcción tiene requerimientos exigentes y es necesario verificar que las propiedades mecánicas sean adecuadas para evitar rechazos o fallas en aplicaciones reales.

CAPÍTULO

VI

Bibliografía

1. weldingtipsandtricks. (2010). *Mig Welding Technique Taught by Old Timer* [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=w4RrDeUKcH4>
2. American Welding Society Inc. (1999). *Standard Welding Terms and Definitions*. American Welding Society.
3. Athul, P. (2017). *CHALLENGE 'SAW POROSITY IN BOX SECTION FILLET WELDS'*. YourWeldingChallenge. <https://www.yourweldingchallenge.com/en/gallery/challenge/saw-porosity-in-box-section-fillet-welds.html>
4. Almaraz, Á. (2015). *Cómo controlar la escoria en soldadura con facilidad*. Repara tu cultivador. <https://www.reparatucultivador.com/controlar-la-escoria-en-soldadura/>
5. Lincoln Electric (2013). *Learning to Stick Weld*. The Lincoln Electric Company.
6. Anand, S. (2017). *Types Of Welding – Classification of welding processes*. Welding & NDT. <https://www.weldingandndt.com/types-of-welding-classification-of-welding-processes/>
7. Howard B. Cary. (1988). *Modern Welding Technology* (4ta ed.). Hobart Institute of Welding Technology. Prentice-Hall.
8. Lincoln Electric (s.f.). *Arc Welding Fundamentals*. The Lincoln Electric Company. <https://www.lincolnelectric.com/en-us/support/process-and-theory/Pages/arc-welding-detail.aspx>
9. Folchi, Francesca. (2014). "*Weld Distortion Prediction With Virtual Analysis For Practical Applications*". Electronic Theses and Dissertations. 5229.
10. American Welding Society. (1994). *Standard Welding Terms and Definitions*. Estados Unidos de América: American Welding Society.

11. Marín Herrera, A. M. (2016). *PROCESO SMAW*. soldadurayestructuras.com. <http://soldadurayestructuras.com/proceso-smaw.html>
12. Autodidacta.info (2016). *El exitoso CURSO para aprender a SOLDAR paso a paso con GUÍAS Y VÍDEOS*. <https://autodidacta.info/herreria/el-exitoso-curso-para-aprender-a-soldar-paso-a-paso-con-guias-y-videos/>
13. AWS Product Development Committee. (1998) *The Everyday Pocket Handbook for Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. American Welding Society.
14. Wilson, C. (2017). *Colores en el electrodo revestidos: sepa qué son y para qué se utilizan*. Soldamundo. <https://soldamundo.blogspot.com/2017/12/colores-en-el-electrodo-revestidos-sepa.html>)
15. Anand, S. (2017). *Shielded Metal Arc Welding (SMAW)*. Welding & DNT. <https://www.weldingandndt.com/shielded-metal-arc-welding-smaw/>
16. MS Ingeniería. (2018). *Cómo hacer un cordón de soldadura correctamente*. Montajes Soluciones Ingeniería. <https://www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/como-hacer-un-cordon-de-soldadura-correctamente/>
17. Material Welding. (2021). *Types of polarity in SMAW, MIG, MAG, FCAW, TIG and SAW*. Material Welding. <https://www.materialwelding.com/types-of-polarity-in-smaw-mig-mag-fcaw-tig-and-saw/>
18. TWI Global (2012). *WHAT IS ARC WELDING? - DEFINITION AND PROCESS TYPES*. TWI Global. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-arc-welding>
19. Peshin, A. (2021). *How Much Current Can The Human Body Withstand?* Science ABC. <https://www.scienceabc.com/humans/how-many-volts-amps-kill-you-human.html>
20. Ladwig, J. (2021). *Keep your welding environment safe from harmful dust*. ISHN. <https://www.ishn.com/articles/113017-keep-your-welding-environment-safe-from-harmful-dust>

CAPÍTULO

VII

Anexos

Anexo A. Norma AWS A3.0-94. Términos y definiciones estándar de soldadura.

AWS A3.0 94 ■ 0784265 0503737 928 ■

Key Words — Standard welding terminology,
welding definitions, brazing,
soldering, thermal spraying,
thermal cutting

ANSI/AWS A3.0-94
An American National Standard

Approved by
American National Standards Institute
May 23, 1994

Standard Welding Terms and Definitions

Supersedes A3.0-89

Prepared by
AWS Committee on Definitions and Symbols

Under the Direction of
AWS Technical Activities Committee

Approved by
AWS Board of Directors

Abstract

This standard is a glossary of the technical terms used in the welding industry. Its purpose is to establish standard terms to aid in the communication of welding information. Since it is intended to be a comprehensive compilation of welding terminology, nonstandard terms used in the welding industry are also included. All terms are either standard or nonstandard. They are arranged in the conventional dictionary letter-by-letter alphabetical sequence.

A total of 1253 terms are defined, and the definitions are illustrated by 53 figures.

Also included are the Master Chart of Welding and Allied Processes and the Joining Method Chart with corollary classification charts.



American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33126

COPYRIGHT 1999 American Welding Society, Inc.
September 10, 1999 06:51:57

Information Handling Services,

Anexo B. Norma AWS A5.1/A5.1M:2004. Especificación para electrodos de acero al carbón para Soldadura por Arco con Electrodo Revestido.

AWS A5.1/A5.1M:2004
An American National Standard



Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding



Copyright American Welding Society
Provided by IIG under license with AWS
No reproduction or networking permitted without license from IIG

Not for Resale

Key Words—Carbon steel electrodes, shielded metal arc welding electrodes, covered electrodes, arc welding filler metal specification

AWS A5.1/A5.1M:2004
An American National Standard

Approved by
American National Standards Institute
September 5, 2003

Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding

Supersedes ANSI/AWS A5.1-91

Prepared by
AWS A5 Committee on Filler Metals and Allied Materials

Under the Direction of
AWS Technical Activities Committee

Approved by
AWS Board of Directors

Abstract

This specification establishes the requirements for classification of carbon steel electrodes for shielded metal arc welding. The requirements include mechanical properties of weld metal, weld metal soundness, and usability of electrode. Requirements for composition of the weld metal, moisture content of low-hydrogen electrode coverings, standard sizes and lengths, marking, manufacturing, and packaging are also included. A guide to the use of the standard is included in an Annex.

Optional supplemental requirements include improved toughness and ductility, lower moisture contents, and diffusible hydrogen limits.

This specification makes use of both U.S. Customary Units and the International System of Units (SI). Since these are not equivalent, each system must be used independently of the other.



American Welding Society

550 N.W. LeJeune Road, Miami, Florida 33120

Copyright American Welding Society
Provided by IIS under license with AWS
No reproduction or networking permitted without license from IIS

Not for Resale

Anexo C. Ficha técnica de la máquina Syncrowave 210 utilizada en el proceso de soldadura con electrodo revestido E7018.

Issued August 2017 • Index No. AD/A.6

Syncrowave® 210 Series

TIG/Stick/MIG
Welding Power Source

Quick Specs

Light Industrial Applications
 Light metal fabrication
 Maintenance/repair operations
 Light manufacturing
 Automotive repair
 Vocational training
 Hobbyist

Processes
 AC/DC TIG (GTAW)
 DC stick (SMAW)
 Pulsed TIG (GTAW-P)
 MIG (GMAW)
 Flux-cored (FCAW)

Input Power 120–240 V, 1-phase
Amperage Range 5–210 A
Rated Output 125 A at 15 V, 60% duty cycle
Net Weight 139.5 lb. (63 kg)



Easy to use.
 1. Turn power on.
 2. Select process: AC TIG, DC TIG, DC stick or MIG (spool gun).
 3. Set amperage or voltage based on material thickness.
Then weld! It's easy as 1,2,3.





WIRELESS REMOTE COMPATIBLE

Pro-Set™ (TIG) eliminates the guesswork when setting weld parameters. Use Pro-Set when you want the speed, convenience and confidence of preset controls. Simply select the feature and adjust until Pro-Set appears on the display.

AC balance (TIG) control provides adjustable oxide removal which is essential for creating the highest quality aluminum welds.

Pulse (TIG). Pulsing can increase puddle agitation, arc stability and travel speeds while reducing heat input and distortion.

Auto-Set™ (MIG) automatically sets your welder to the proper parameters. Simply set the wire size, material thickness, and shielding gas, and you're ready to weld.

DIG (stick) control allows the arc characteristics to be changed for specific applications and electrodes. Lower the DIG setting for smooth running electrodes like E7018 and increase the DIG setting for stiffer, more penetrating electrodes like E6010.

Multi-voltage plug (MVP™) allows for connection to 120 or 240-volt receptacles without tools by choosing the plug that fits the receptacle and connecting it to the power cord.



Fan-On-Demand™ power source cooling system operates only when needed, reducing noise, energy use and the amount of contaminants pulled through the machine.

Comes complete with:

- Power source with 10 ft. (3 m) power cord and MVP™ plugs for 120 V and 240 V
- Weldcraft™ A-150 (WP-17) 12.5 ft. (3.8 m) TIG torch with Dinse-style connector
- RFCS-14 HD foot control with 20 ft. (6 m) cord (194744)
- Electrode holder with Dinse-style connector
- Work clamp with 12 ft. (3.7 m) cable and Dinse-style connector
- Flow gauge regulator with hose
- Factory-installed running gear with EZ-Change™ low cylinder rack
- Spoolmate™ spool gun
- 4-14 pin connector
- Flow-thru Dinse-style connector



Auto-Line
Power Management Technology

Allows for any input voltage hookup (120–240 V) with no manual linking, providing convenience in any job setting. Ideal solution for dirty or unreliable power.

Update and expand. Front panel memory card data port provides the ability to easily update software and expand product features. Visit MillerWelds.com/TIGSoftware for the latest software updates and expansions.

Low power draw. Inverter-based power source provides full welding output from 240 volts while drawing less than 30 amps.



TRUE BLUE
3YR WARRANTY

Power source is warranted for three years, parts and labor.
 Original main power rectifier parts are warranted for five years.



Miller Electric Mfg. Co.
 An ITW Welding Company
 1635 West Spencer Street
 P.O. Box 1079
 Appleton, WI 54912-1079 USA

Equipment Sales US and Canada
 Phone: 866-681-9730
 FAX: 800-637-2315
 International Phone: 920-735-4554
 International FAX: 920-735-4125

MillerWelds.com




Anexo D: Norma ASTM A36/ A36M – 05: Especificación estándar para acero al carbono estructural.



Designation: A 36/A 36M – 05

Standard Specification for Carbon Structural Steel¹

This standard is issued under the fixed designation A 36/A 36M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification² covers carbon steel shapes, plates, and bars of structural quality for use in riveted, bolted, or welded construction of bridges and buildings, and for general structural purposes.

1.2 Supplementary requirements are provided for use where additional testing or additional restrictions are required by the purchaser. Such requirements apply only when specified in the purchase order.

1.3 When the steel is to be welded, a welding procedure suitable for the grade of steel and intended use or service is to be utilized. See Appendix X3 of Specification A 6/A 6M for information on weldability.

1.4 The values stated in either inch-pound units or SI units are to be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system is to be used independently of the other, without combining values in any way.

1.5 The text of this specification contains notes or footnotes, or both, that provide explanatory material. Such notes and footnotes, excluding those in tables and figures, do not contain any mandatory requirements.

1.6 For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, the additional requirements, including additional testing requirements and the reporting of additional test results, of A 6/A 6M apply.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee A01 on Steel, Stainless Steel, and Related Alloys, and is the direct responsibility of Subcommittee A01.02 on Structural Steel for Bridges, Buildings, Rolling Stock, and Ships.

Current edition approved March 1, 2005. Published March 2005. Originally approved in 1960. Last previous edition approved in 2004 as A 36/A 36M – 04.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications, see related Specifications SA-36 in Section II of that Code.

³ For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

A 6/A 6M Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

A 27/A 27M Specification for Steel Castings, Carbon, for General Application

A 307 Specification for Carbon Steel Bolts and Studs, 60 000 psi Tensile Strength

A 325 Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi Minimum Tensile Strength

A 325M Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated 830 MPa Minimum Tensile Strength [Metric]

A 500 Specification for Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes

A 501 Specification for Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing

A 502 Specification for Rivets, Steel, Structural

A 563 Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts

A 563M Specification for Carbon and Alloy Steel Nuts [Metric]

A 1011/A 1011M Specification for Steel, Sheet and Strip, Hot-Rolled, Carbon, Structural High Strength Low Alloy, and High Strength Low Alloy with Improved Formability

A 668/A 668M Specification for Steel Forgings, Carbon and Alloy, for General Industrial Use

F 568M Specification for Carbon and Alloy Steel Externally Threaded Metric Fasteners

3. Appurtenant Materials

3.1 When components of a steel structure are identified with this ASTM designation but the product form is not listed in the scope of this specification, the material shall conform to one of the standards listed in **Table 1** unless otherwise specified by the purchaser.

4. General Requirements for Delivery

4.1 Structural products furnished under this specification shall conform to the requirements of the current edition of Specification A 6/A 6M, for the specific structural product ordered, unless a conflict exists in which case this specification shall prevail.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

TABLE 1 Appurtenant Material Specifications

NOTE 1—The specifier should be satisfied of the suitability of these materials for the intended application. Chemical composition and/or mechanical properties may be different than specified in A 36/A 36M.

Material	ASTM Designation
Steel rivets	A 502, Grade 1
Bolts	A 307, Grade A or F 568M, Class 4.6
High-strength bolts	A 325 or A 325M
Steel nuts	A 563 or A 563M
Cast steel	A 27/A 27M, Grade 65–35 [450–240]
Forgings (carbon steel)	A 668, Class D
Hot-rolled sheets and strip	A 1011/A 1011M, SS Grade 30[250] Type 1 or Type 2 or A 1018/A 1018M SS Grade 30[250]
Cold-formed tubing	A 500, Grade B
Hot-formed tubing	A 501
Anchor bolts	F 1554

4.2 Coils are excluded from qualification to this specification until they are processed into a finished structural product. Structural products produced from coil means structural products that have been cut to individual lengths from a coil. The processor directly controls, or is responsible for, the operations involved in the processing of a coil into a finished structural product. Such operations include decoiling, leveling or straightening, hot-forming or cold-forming (if applicable), cutting to length, testing, inspection, conditioning, heat treatment (if applicable), packaging, marking, loading for shipment, and certification.

NOTE 1—For structural products produced from coil and furnished without heat treatment or with stress relieving only, two test results are to be reported for each qualifying coil. Additional requirements regarding structural products produced from coil are described in Specification A 6/A 6M.

5. Bearing Plates

5.1 Unless otherwise specified, plates used as bearing plates for bridges shall be subjected to mechanical tests and shall conform to the tensile requirements of Section 8.

5.2 Unless otherwise specified, mechanical tests shall not be required for plates over 1 1/2 in. [40 mm] in thickness used as bearing plates in structures other than bridges, subject to the requirement that they shall contain 0.20 to 0.33 % carbon by heat analysis, that the chemical composition shall conform to the requirements of Table 2 in phosphorus and sulfur content, and that a sufficient discard shall be made to secure sound plates.

6. Materials and Manufacture

6.1 The steel for plates and bars over 1/2 in. [12.5 mm] in thickness and shapes with flange or leg thicknesses over 1 in. [25 mm] shall be semi-killed or killed.

7. Chemical Composition

7.1 The heat analysis shall conform to the requirements prescribed in Table 2, except as specified in 5.2.

7.2 The steel shall conform on product analysis to the requirements prescribed in Table 2, subject to the product analysis tolerances in Specification A 6/A 6M.

8. Tension Test

8.1 The material as represented by the test specimen, except as specified in 5.2 and 8.2, shall conform to the requirements as to the tensile properties prescribed in Table 3.

8.2 Shapes less than 1 in.² [645 mm²] in cross section and bars, other than flats, less than 1/2 in. [12.5 mm] in thickness or diameter need not be subjected to tension tests by the manufacturer, provided that the chemical composition used is appropriate for obtaining the tensile properties in Table 3.

9. Keywords

9.1 bars; bolted construction; bridges; buildings; carbon; plates; riveted construction; shapes; steel; structural steel; welded construction

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table, there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^a	Plates ^b					Bars ^b			
		To 3/4 [20], incl	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], incl	Over 1 1/2 to 2 1/2 [40 to 65], incl	Over 2 1/2 to 4 [65 to 100], incl	Over 4 [100]	To 3/4 [20], incl	Over 3/4 to 1 1/2 [20 to 40], incl	Over 1 1/2 to 4 [100], incl	Over 4 [100]
Thickness, in. [mm]	All									
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when copper steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^aManganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm].

^bFor each reduction of 0.01 percentage point below the specified carbon maximum, an increase of 0.06 percentage point manganese above the specified maximum will be permitted, up to the maximum of 1.35 %.

TABLE 3 Tensile Requirements^a

Plates, Shapes, ^d and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^c
Plates and Bars ^{d,f} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^d

^aSee the Orientation subsection in the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^bFor wide flange shapes with flange thickness over 3 in. [75 mm], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 % applies.

^cYield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^dElongation not required to be determined for floor plate.

^eFor plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See the Elongation Requirement Adjustments subsection under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

SUPPLEMENTARY REQUIREMENTS

These requirements shall not apply unless specified in the order.

Standardized supplementary requirements for use at the option of the purchaser are listed in Specification A 6/A 6M. Those that are considered suitable for use with this specification are listed by title:

S5. Charpy V-Notch Impact Test.

In addition, the following optional supplementary requirement is also suitable for use with this specification:

S30. Charpy V-Notch Impact Test for Structural Shapes: Alternate Core Location

S97. Limitation on Rimmed or Capped Steel

S32. Single Heat Bundles

S97.1 The steel shall be other than rimmed or capped.

S32.1 Bundles containing shapes or bars shall be from a single heat of steel.

SUMMARY OF CHANGES

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved March 1, 2005.)

(1) Paragraph 6.1 was revised.

Committee A01 has identified the location of the following changes to this standard since A 36/A 36M-03a that may impact the use of this standard. (Approved April 1, 2004.)

(1) Table 2 has been revised to make Footnote B also apply to bars. (2) Supplementary Requirement S32 was added.

 **A 36/A 36M – 05**

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9685 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).