

ÍNDICE DE CONTENIDO:

CAPÍTULO 1

1.1 HISTORIA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.....	6
1.2 ASPECTOS GENERALES DE SEGURIDAD EN APLICACIÓN DE SOLDADURA. PROTECCIÓN PERSONAL.....	11

CAPÍTULO 2 SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO.

2.1 GENERALIDADES.....	15
2.2 ELECTRODO REVESTIDO.....	17
2.3 PROCESO GAS METAL ARC WELDING (G.M.A.W.) O METAL INERT GAS MIG/ MAG.....	42
2.4 PROCESO GAS TUNGSTEN ARC WELDING (G.T.A.W.) O TUNGSTEN INERT GAS (T.I.G.).....	50
2.5 PROCESO SUBMERGED ARC WELDING (SAW) O SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAS).....	62

CAPÍTULO 3 SOLDADURA POR RESISTENCIA.

3.1 GENERALIDADES.....	69
3.2 VARIANTES DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	70
3.3 FACTORES QUE INTERVIENE PARA LA REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	77
3.4 SECUENCIA DE SOLDADURA.....	88
3.5 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	83
3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	85
3.7 ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.....	87
3.8 ELECTRODOS.....	90

CAPÍTULO 4
PROCESO DE SOLDADURA POR OXI-ACETILENO.

4.1 INTRODUCCIÓN.....	96
4.2 VARIANTES CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DE OXÍGENO Y ACETILENO	97
4.3 REGULADORES.....	98
4.4 TIPOS DE FLAMA.....	100
4.5 PROCESO DE CORTE CON OXI-ACETILENO.....	101
4.6 PROCESO DE SOLDADURA CON OXI-ACETILENO.....	102
4.7 VARILLAS DE SOLDADURA.....	103
4.8 CUIDADOS CON EL OXI-ACETILENO.....	104
4.9 PROCEDIMIENTO DE PREPARACIÓN DE EQUIPO DE OXI-ACETILENO.....	106

CAPÍTULO 5
SOLDADURA POR FRICCIÓN.

5.1 GENERALIDADES.....	110
5.2 SOLDADURA POR FRICCIÓN-AGITACIÓN.....	112
5.3 SOLDADURA POR FRICCIÓN LINEAL.....	115
5.4 SOLDADURA POR FRICCIÓN ROTACIONAL.....	119
5.5 SOLDADURA POR FRICCIÓN DIRECTA.....	120
5.6 SOLDADURA POR FRICCIÓN POR INERCIA.....	122
5.7 APLICACIONES DE SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	126
5.8 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.....	130

CAPÍTULO 6
SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.

6.1 FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.....	132
6.2 CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.....	133
6.3 BASES DEL PROCESO DE SOLDADURA CON HAZ DE ELECTRONES.....	135
6.4 PENETRACIÓN DEL HAZ DE ELECTRONES DURANTE LA SOLDADURA.....	138
6.5 EQUIPO DE SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.....	140
6.6 PARÁMETROS DE SOLDADURA.....	141
6.7 SOLDABILIDAD DE LOS MATERIALES POR EL PROCESO DE HAZ DE ELECTRONES.....	142
6.8 UNIONES DE SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.....	143

6.9 VENTAJAS DE LA UNIÓN POR HAZ DE ELECTRONES.....	145
6.10 DIFERENCIAS ENTRE SOLDADURA POR LÁSER Y HAZ DE ELECTRONES.....	146
6.11 ESTÁNDARES DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.....	147

**CAPÍTULO 7
SOLDADURA POR ULTRASONIDO.**

7.1 GENERALIDADES.....	152
7.2 DEFINICIONES.....	154
7.3 SOLDADURA POR ULTRASONIDO EN PLÁSTICOS.....	156
7.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.....	159

**CAPÍTULO 8
SOLDADURA LÁSER.**

8.1 GENERALIDADES.....	162
8.2 COMPARACIÓN DE LA SOLDADURA LÁSER.....	161
8.3 CONSIDERACIÓN DE LAS UNIONES CON LÁSER.....	165
8.4 UNIONES Y POSTPROCESAMIENTO.....	167
8.5 LIBERANDO LA CREATIVIDAD.....	170
8.6 SOLDADURA DE REVESTIMIENTO LÁSER.....	173

**CAPÍTULO 9
SOLDADURA POR EXPLOSIVOS.**

9.1 INTRODUCCIÓN.....	175
9.2 ¿QUÉ ES LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS?.....	176
9.3 ¿CÓMO ES EL MECANISMO DE LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS ?.....	180
9.4 DEFORMACIÓN DURANTE LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS.....	183

AGRADECIMIENTO AL

**Programa de Apoyo a Proyectos para
Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME)**

Clave del proyecto : PE101323

**Nombre del proyecto : DESARROLLO DE UN MODULO AUTOMATIZADO PARA LA
ENSEÑANZA DE PROCESOS DE SOLDADURA**

INTRODUCCIÓN

El planteamiento de este trabajo ha sido el de recopilar material de diversos autores, y resumir una información inicialmente demasiado extensa sobre los procesos de soldadura más empleados en el ámbito de la ingeniería. A nuestra consideración abordan los temas de forma clara y concisa y se ha complementado con la experiencia adquirida en varios años de enseñanza en procesos de manufactura y en este caso en particular en los procesos de soldadura. El material ha sido recolectado y ampliado a partir de diversas fuentes, tales como manuales, libros, artículos y tesis entre otros por lo que se brinda el reconocimiento a los diversos autores al colocar al final de cada capítulo la bibliografía o fuente de la que proviene el material presentado.

Los capítulos tratan de seguir el flujo natural del proceso de fabricación, empezando por los aspectos históricos, citando a los principales personajes en el desarrollo de los procesos de soldadura la importancia de las medidas de seguridad calidad de la materia prima, siguiendo por la máquina que realiza la propia soldadura terminando por los controles finales que se le hacen al producto acabado.

Se sugiere al usuario del presente manual, comprobar en su trabajo específico y bajo sus condiciones operativas los datos aquí mostrados.

CAPÍTULO 1

1.1 HISTORIA DE LOS PROCESOS DE SOLDADURA.

Los procesos de unión se remontan a tiempos muy remotos. Los primeros ejemplos de uniones provienen de la Edad de Bronce. Hace unos 2000 años ya se hacían pequeñas cajas de oro con algunas piezas unidas por presión, a modo de soldadura. Durante la Edad de Hierro los egipcios y los habitantes del área del Mediterráneo oriental aprendieron a soldar trozos de hierro. Se tiene constancia de ello, por la cantidad de herramientas encontradas que datan alrededor del año 1000 a.C. Ejemplo de pieza realizada por ensamble en la edad de hierro es mostrado en la figura 1.1.



Fuente: Wikipedia.

FIGURA 1.1 Fuente: Casco de hierro de la Confederación Gallaecia, siglo v.

Durante la Edad Media, se desarrolló el arte de la herrería y se produjeron varios artículos de hierro que se unieron mediante procesos de percusión, y no fue hasta el siglo XIX cuando se dio inicio al desarrollo y aplicación de los métodos de soldadura.

En 1801 al iniciar el Siglo XIX **Sir Humphry Davy** desarrolló la producción de un arco eléctrico entre dos electrodos de carbono, usando una batería eléctrica, aunque no se aplicó todavía a la soldadura, permitió dar inicio su desarrollo. A mediados de siglo se inventó el generador eléctrico que podía encender el arco eléctrico de forma indefinida, en sustitución de la batería, que almacenaba una cantidad de corriente finita.

En 1836, el inglés **Edmund Davy** descubrió las propiedades del **acetileno** y desarrolló la manera de producirlo. Este gas terminó usándose tanto para la iluminación, como para la soldadura por llama, gracias a su principal cualidad, el elevado aporte energético durante la combustión. Esto permitía generar una luz muy blanca (azulada), que revolucionó la industria de la iluminación y permitió aportar gran cantidad de energía en forma de calor, que se aprovechó para fundir metales en los procesos de soldadura y corte.

En 1881, el francés **Auguste De Méritens** (figura 1.1a), que trabajaba en un laboratorio en Francia, fue el primero en utilizar el calor generado por un arco eléctrico para unir las placas de plomo de las baterías de almacenamiento. Un alumno suyo, trabajador del mismo laboratorio, el ruso **Nikolai N. Benardos**, junto con un compañero, **Stanislaus Olszewski**,

consiguieron en 1885 una patente británica sobre este proceso de soldadura. Sin duda, podemos afirmar que éste fue el inicio de la soldadura por arco eléctrico a través de electrodos de carbón. Los esfuerzos de Benardos se limitaron a la soldadura por arco de carbono, aunque pudo soldar hierro y plomo. La soldadura por arco de carbono se hizo popular a finales de los años 1890 y principios de los 1900. Este sistema tenía el inconveniente de que los electrodos se consumían por degradación rápidamente.



Foto: uslhs.org

FIGURA 1.1a Barón Auguste De Méritens (1834-1898).



PROPUESTA

Fuente: [Auguste Mercier](#). Wikipedia

FIGURA 1.1 Barón Auguste De Méritens (1834-1898).

En 1890 en Detroit se concedió a **Charles L. Coffin** la primera patente en EUA para un proceso de soldadura por arco utilizando un electrodo de metal. Este fue el primer registro de un proceso de soldadura de metal usando un arco eléctrico que aportaba metal de relleno a la unión para hacer una soldadura. Casi al mismo tiempo el ruso **Nikolay Gavrilovich Slavyanov**, presentó la misma idea de transferir metal a través de un arco, pero fundiendo metal en un molde. Ambos son presentados en la figura 1.2.



Fuente: Wikipedia

FIGURA 1.2 Charles L. Coffin (1865 – 1901); Nikolay Gavrilovich Slavyanov (1854 - 1897),
precursores de la soldadura de arco eléctrico.

En Gran Bretaña sobre el año 1900, **A.P. Strohmenger** introdujo una mejora al sistema, un electrodo de metal revestido con una fina capa de arcilla o cal que proporcionaba un arco más estable y protegía la soldadura del oxígeno del aire. Poco después, el sueco **Oscar Kjellberg** entre 1907 y 1914, desarrolló un electrodo de alambre de hierro mejorado que recubría sumergiéndolos en mezclas espesas de carbonatos y silicatos que dejaba secar posteriormente.

Con los electrodos desarrollados hasta entonces no se obtenían muy buenos resultados y mientras tanto, se seguían desarrollando procesos de soldadura por resistencia que incluyen la soldadura por puntos, soldadura por costura, soldadura por proyección y soldadura a tope. **Elihu Thomson** (figura 1.3), es quien originó la soldadura por resistencia. Sus patentes databan ya de 1885 a 1900.

FIGURA 1.3 Elihu Thomson (1853 -1937), quien inició la soldadura por resistencia.



Fuente: [Wikimedia](#)

En 1903 el alemán **Hans Goldschmidt** inventó la soldadura aluminotérmica, también conocida por “*termita*”. Este sistema se basa en el proceso exotérmico de la termita (mezcla reactante), en el que la reducción del óxido de hierro deja como residuo al aluminio, según la siguiente reacción: $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe} + \text{calor}$, que se utilizó por primera vez para soldar rieles de ferrocarril.

También en este período se perfeccionaron los procesos de soldadura con gas, así como los de corte. El aporte de oxígeno y posteriormente la licuefacción del aire junto con la introducción de un tubo de soplado o una antorcha contribuyeron en 1887 al desarrollo tanto de la soldadura como del corte. Antes de 1900 el hidrógeno y el gas de carbón se utilizaban con oxígeno. Sin embargo, sobre 1900 se desarrolló una antorcha adecuada para ser usada con acetileno a baja presión.

La Primera Guerra Mundial trajo una tremenda demanda de producción de armamento y la soldadura se puso en servicio. Muchas empresas surgieron en América y en Europa para fabricar máquinas de soldadura y electrodos para cumplir con los requisitos.

Inmediatamente después de la guerra en 1919 veinte miembros del **Comité de Soldadura de Wartime** de la Corporación de Flota de Emergencia, bajo el liderazgo de **Comfort Avery Adams** fundaron la **American Welding Society** como una organización sin fines de lucro dedicada al avance de la soldadura y los procesos aliados.

Paralelamente, la soldadura por corriente alterna fue inventada en 1919 por **C.J. Holslag** sin embargo, no se hizo popular hasta la década de 1930 cuando el electrodo de revestimiento pesado encontró un uso generalizado.

En 1920 se introdujo la soldadura automática. Se utilizó cable de electrodo desnudo operado en corriente continua y usó un voltaje de arco como base para regular la velocidad de alimentación. La soldadura automática fue inventada por **P.O. Nobel** de la compañía **General Electric**. Este sistema de soldadura automatizada se usó para construir ejes de motor desgastados y ruedas de grúa desgastadas. También fue utilizado por la industria del automóvil para producir carcasas de eje trasero.

Durante la década de 1920 se desarrollaron varios tipos de electrodos de soldadura. Hubo una gran controversia durante la década de 1920 sobre la ventaja de las varillas con revestimiento pesado en comparación con las barras con recubrimiento ligero. **Langstroth y Wunder**, de **A.O. Smith Company** desarrollaron en 1927 los **electrodos de revestimiento pesado** que se fabricaron por extrusión. En 1929, **Lincoln Electric Company** produjo barras de electrodos extruidos que se vendieron al público. En 1930 los electrodos recubiertos fueron ampliamente utilizados. Se establecieron códigos de soldadura, haciendo referencia a la calidad que requerían ciertos metales, lo que aumentó el uso de electrodos cubiertos.

En 1926 **H.M. Hobart** y **P.K. Devers** trabajaron utilizando atmósferas de argón y helio. En sus patentes solicitadas utilizaban gas suministrado alrededor del arco lo cual fue el precursor del proceso de soldadura por arco de tungsteno con gas. También trabajaron soldadura con una boquilla concéntrica y con el electrodo alimentado como un cable a través de la boquilla, que fue el precursor del proceso de soldadura por arco de metal y gas. Estos procesos fueron desarrollados mucho más tarde.

El proceso automático que se hizo realmente popular fue el proceso de **soldadura por arco sumergido**. Este proceso de soldadura por arco sumergido en polvo fue desarrollado por la **National Tube Company**, para una fábrica de tubos en Mc. Keesport, Pennsylvania. Fue diseñado para hacer las costuras longitudinales en la tubería. El proceso fue patentado por Robinoff en 1930 y luego se vendió a **Linde Air Products Company**, donde pasó a llamarse "**Soldadura Unionmelt**". La soldadura por arco sumergido se usó durante la defensa en 1938 en astilleros y fábricas de artillería. Fue uno de los procesos de soldadura más productivos y sigue siendo popular hoy en día.

La soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW) (Llamado proceso TIG, en México) tuvo sus inicios a partir de una idea de Charles L. Coffin para soldar en una atmósfera de gas no oxidante, que patentó en 1890. El concepto fue refinado aún más a fines de la década de 1920 por H.M. Hobart, quien usó helio para el blindaje y P.K. Devers, quien usó argón. El proceso fue ideal para soldar magnesio y también para soldar acero inoxidable y aluminio. Fue perfeccionado en 1941 y patentado por Meredith, llamándolo soldadura "Heliarc". Más tarde se le otorgó la licencia a Linde Air Products, donde se desarrolló la antorcha enfriada por agua. El proceso de soldadura por arco de tungsteno con gas se ha convertido en uno de los más importantes.

El proceso de soldadura por arco de gas y metal (GMAW) (Llamado proceso MIG, en México), se desarrolló con éxito en Battelle Memorial Institute en 1948, bajo el patrocinio de Air Reduction Company. Este desarrollo utilizó el arco blindado de gas similar al arco de tungsteno de gas, pero reemplazó el electrodo de tungsteno con un cable de electrodo alimentado continuamente. Uno de los cambios básicos que hizo que el proceso fuera más utilizable fueron los cables de electrodo de diámetro pequeño y la fuente de alimentación de voltaje constante. Este principio ya había sido patentado anteriormente por H.E. Kennedy. La introducción inicial de GMAW fue para soldar metales no ferrosos. La alta tasa de deposición llevó a los usuarios a probar el proceso en acero. El costo del gas inerte era relativamente alto y los ahorros de costos no estaban disponibles de inmediato.

En 1953, **Lyubavskii** y **Novoshilov** anunciaron el uso de soldadura con electrodos consumibles en una atmósfera de gas dióxido de carbono. El proceso de soldadura con CO₂ se ganó inmediatamente un lugar, ya que fue desarrollado para la soldadura por arco metálico con gas inerte, y era empleado para soldar aceros de forma económica. El arco de CO₂ se utilizó ampliamente con la introducción de cables de electrodo de diámetro más pequeño y fuentes de alimentación refinadas. Este desarrollo fue la variación del arco de corto circuito que se conoció como soldadura por micro alambre, arco corto y transferencia por inmersión, todo lo cual apareció a fines de 1958 y principios de 1959. Esta variación

permitió la soldadura en todas las posiciones en materiales delgados y pronto se convirtió en el más popular proceso de soldadura, que en la actualidad se llama arco de metal y gas (MIG).

Poco después de la introducción de la soldadura de CO₂, se desarrolló una variante que utiliza un alambre especial para electrodos. Este cable, descrito como un electrodo interior-exterior, tenía una sección transversal tubular con los agentes fundentes en el interior. El proceso se llamó “Dualshield”, que indicaba que se utilizaba gas de protección externo, así como el gas producido por el flujo en el núcleo del cable para la protección de arco. Este proceso, inventado por Bernard, fue anunciado en 1954, pero fue patentado en 1957, cuando la Compañía Nacional de Gas de Cilindros lo reintrodujo.

Robert Gage inventó la soldadura por arco de plasma en 1957. Este proceso utiliza un arco llevado a través de un orificio, que crea un arco de plasma que tiene una temperatura más alta que el arco de tungsteno. También se utiliza para pulverización de metales, desbaste y corte. El proceso de **soldadura por haz de electrones**, que utiliza un haz de electrones enfocado como fuente de calor en una cámara de vacío, se desarrolló en Francia por **J.A. Stohr** de la Comisión de Energía Atómica francesa, quien hizo la primera divulgación pública del proceso el 23 de noviembre de 1957. En los Estados Unidos, la industria automotriz y de motores de aviación son los principales usuarios de la soldadura por haz de electrones.

La soldadura por fricción, que utiliza la velocidad de rotación y la presión para proporcionar calor de fricción, tal y como la conocemos hoy, se desarrolló en la Unión Soviética. Es un proceso especializado y tiene aplicaciones solo donde se debe soldar un volumen suficiente de piezas similares debido a la inversión inicial en equipos y herramientas. A este proceso se llama “*soldadura por inercia*”.

La soldadura láser es otro de los procesos más actuales. El láser se desarrolló originalmente en los laboratorios **Bell Telephone** como un dispositivo de comunicaciones. Los experimentos realizados y debido a la tremenda concentración de energía en un espacio pequeño, demostró ser una poderosa fuente de calor. Se ha utilizado para el corte de metales y otro tipo de materiales no metálicos. El láser está encontrando aplicaciones de soldadura en operaciones de metalurgia automotriz, donde se requiere gran precisión y resultados altamente controlados.

1.2 ASPECTOS GENERALES DE SEGURIDAD EN APLICACIÓN DE SOLDADURA.

PROTECCIÓN PERSONAL.

Es conocido por la mayoría de los usuarios de los procesos de soldadura que se debe utilizar el equipo de protección necesario para cada tipo de soldadura a realizar. El equipo consiste en:

1. **Careta para soldar**, protege los ojos, la cara, el cuello y debe estar provista de filtros inactínicos de acuerdo con el proceso e intensidades de corriente empleadas. (Cristal inactínico: Es el vidrio que utilizan las máscaras de soldar. Su función es proteger la vista en el proceso de soldadura de la radiación visible.)

2. **Guantes de cuero**, tipo mosquetero con costura interna, para proteger las manos y muñecas de descargas eléctricas y posibles salpicaduras de metal a elevada temperatura.
3. **Coletos o delantal de cuero**, para protegerse de salpicaduras y exposición a rayos ultravioleta generados por el proceso de arco eléctrico.
4. **Polainas y casaca de cuero**, cuando sea necesario hacer soldaduras en posiciones verticales y sobre cabeza, deben usarse estos elementos, para evitar las severas quemaduras que puedan ocasionar las salpicaduras del metal fundido.
5. **Zapatos de seguridad**, que cubran los tobillos para evitar el atrape de salpicaduras.
6. **Gorro**, protege el cabello y el cuero cabelludo, especialmente cuando se hace soldadura en posición sobre cabeza.



Fuente: decssonwelding.com

FIGURA 1.4 Equipo de protección necesario para el proceso de soldadura.

PROTECCIÓN DE LA VISTA.

La protección de la vista es de gran importante y merece consideración aparte. El arco eléctrico que se utiliza como fuente de energía calórica y cuya temperatura alcanza sobre los 4.000° C, desprende radiaciones no visibles y visibles. Dentro de la primera, tenemos aquellas de efecto más nocivo como son los rayos ultravioletas e infrarrojos. El tipo de quemadura que el arco produce en los ojos no es permanente, aunque sí es extremadamente dolorosa. Su efecto es como “tener arena caliente en los ojos”. Para evitarla, debe utilizarse un lente protector (vidrio inactínico) que ajuste bien y, delante de éste, para su protección, siempre hay que mantener un vidrio transparente, el que debe ser sustituido inmediatamente en caso de deteriorarse. A fin de asegurar una completa protección, el lente protector debe poseer la densidad adecuada al proceso e intensidad de corriente utilizada. La siguiente tabla 1.1 le ayudará a seleccionar el lente adecuado:

PROCESO	CORRIENTE, en Amperes																				
	10	15	20	30	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450	500	
Arco manual					9	10			11					12					13		14
Sistema MIG, con gas inerte, espesores altos																					
Sistema Mig con gas inerte, espesores bajos																					
Proceso TIG																					
Proceso MIG con gas CO ₂																					
Torchado arco-aire																					

FUENTE: <https://es.slideshare.net/slideshow/equipos-de-proteccion-personal-parte-1/35547678>

TABLA 1.1 Escala de lentes a usar, de acuerdo con el proceso de soldadura.

Nota: las áreas en azul corresponden a los rangos en donde la operación de soldadura no es normalmente usada.

RIESGOS DE INCENDIO.

En el lugar de trabajo pueden estar presentes atmósferas peligrosas. Siempre se debe tener presente que existe riesgo de incendio si se juntan los 3 componentes del triángulo del fuego (combustible, oxígeno y calor). Considere que basta que se genere calor, (no es necesaria una chispa) y recuerde que existen sustancias con bajo punto de inflamación. Algunas recomendaciones prácticas para prevenir riesgos de incendio son las siguientes:

- Nunca se debe soldar en la proximidad de líquidos inflamables, gases, vapores, metales en polvo o polvos combustibles. Cuando el área de trabajo contiene gases, vapores o polvos, es necesario mantener perfectamente aireado y ventilado el lugar mientras se realiza el proceso de soldadura.
- Antes de iniciar un trabajo de soldadura siempre es importante identificar las potenciales fuentes generadoras de calor y recuerde que éste puede ser transmitido a las proximidades y a zonas de materiales inflamables por conducción, radiación o chispa.
- Cuando las operaciones lo permiten, las estaciones de soldadura se deben separar mediante pantallas o protecciones incombustibles y contar con extracción forzada de gases producidos durante la operación de soldadura.
- Los equipos de soldar se deben ser inspeccionados periódicamente y la frecuencia de control y mantenimiento debe ser documentada para garantizar que estén en condiciones de

operación segura. Cuando se considera que la operación no es confiable, el equipo debe ser reparado por personal calificado antes de su próximo uso o se debe retirar del área de trabajo.

- Disponga siempre de un extintor en las cercanías del área de trabajo.
- Las condiciones de trabajo pueden cambiar frecuentemente, realice revisiones o pruebas frecuentes para identificar potenciales condiciones de riesgo o peligro.



Fuentes: tecnologia-tecnica.com, metacontratas.com

FIGURA 1.5 Riesgo de incendio durante la soldadura.

VENTILACIÓN.

Soldar en áreas confinadas sin ventilación adecuada puede considerarse una operación arriesgada, porque al consumirse el oxígeno disponible, a la par con el calor de la soldadura y el humo generado, el operador queda expuesto a severas molestias y enfermedades.



Fuente: Linde soldadura.

FIGURA 1.6 Ventilación necesaria al soldar.

HUMEDAD.

La humedad entre el cuerpo y algo electrificado forma una línea a tierra que puede conducir corriente al cuerpo del operador y producir un choque eléctrico. El operador nunca debe estar sobre una poza o sobre suelo húmedo cuando suelda, como tampoco trabajar en un lugar mojado o húmedo. El soldador deberá conservar sus manos, vestimenta y lugar de trabajo continuamente secos, como medida de seguridad.



Fuente: tecnologia-tecnica.com.ar

FIGURA 1.7 Evitar la humedad en el área de trabajo durante la soldadura.

INSTALACIÓN SEGURA DEL PUESTO DE SOLDADURA.

El montaje seguro de un puesto de trabajo de soldadura eléctrica requiere tener en cuenta una serie de condiciones bajo normas que se indican a continuación con el apoyo de la figura 1. 8.a.

Recomendaciones

Se deben alejar los cables de soldadura de los cables eléctricos principales para prevenir el contacto accidental con el de alta tensión, así como cubrir los bornes y conexiones para evitar un posible cortocircuito causado por un objeto metálico y situar el material de forma que no sea accesible a personas no autorizadas.

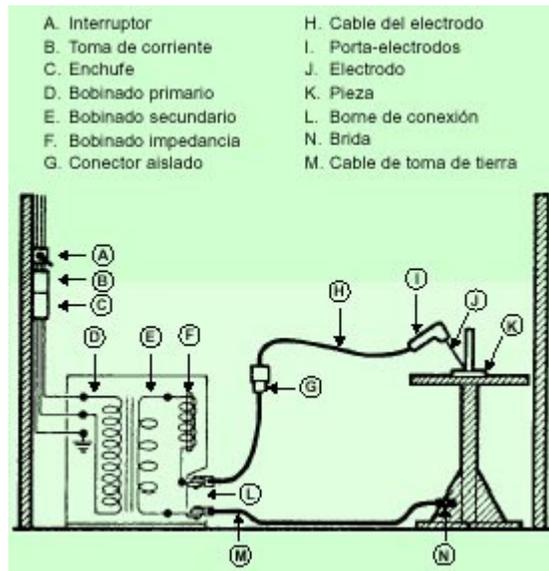
Las tomas de corriente deben situarse en lugares que permitan su desconexión rápida en caso de emergencia y comprobar que el puesto de trabajo está conectado a tierra. El puesto de soldadura debe protegerse de la exposición a gases corrosivos, partículas incandescentes provocadas por la soldadura o del exceso de polvo; el área de trabajo debe estar libre de materiales o elementos combustibles. Si algún objeto combustible no puede ser desplazado, debe cubrirse con material ignífugo. Debe disponerse de un extintor apropiado en las proximidades de la zona de trabajo.

Prohibiciones

No se deben bloquear los pasillos o áreas de salida. Los conductores deben estar situados en alto o recubiertos para no tropezar con ellos. Los cables y conductores no deben obstruir los pasillos, escaleras u otras zonas de paso. El puesto de soldadura no debe situarse cerca de puentes-grúa o sobre los pasillos.

La toma de tierra no debe unirse a cadenas, cables de un montacargas o tornos. Tampoco se debe unir a tuberías de gas, líquidos inflamables o conductos que contengan cables eléctricos. Se debe evitar que el puesto de soldadura esté sobre zonas húmedas y en cualquier caso se debe secar adecuadamente antes de iniciar los trabajos.

Los cables no deben someterse a corrientes por encima de su capacidad nominal ni enrollarse alrededor del cuerpo.



Fuente: jmcprl.net/ntps/@datos/ntp_494.htm

FIGURA 1. 8. Instalación segura del puesto de soldadura.

Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo

CAPÍTULO 2

SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO.

2.1 GENERALIDADES.

Se conoce como arco eléctrico o voltaico al salto de un gran flujo de electrones a través de un ámbito gaseoso o vacío. Este arco es capaz de calentar el metal a una temperatura aproximada de 3.500°C , calor suficiente para fundir las piezas y dar lugar al proceso de soldadura. La soldadura por arco es uno de varios procesos de fusión para la unión de metales. Mediante la aplicación de calor intenso, el metal en la unión entre las dos partes se funde y causa la unión de las piezas mediante la deposición material de aportación. El proceso de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido es el proceso más común de la soldadura eléctrica, aunque no precisamente el más fácil, ya que requiere mucha práctica del operario para calificarse en este ámbito. Sin embargo, su relativa simpleza, portabilidad y bajo costo lo posicionan como el sistema más utilizado en la actualidad, como se muestra en la figura 2.1.1.



Fuente: icei-formacion.com

FIGURA 2.1.1 Aplicación de soldadura de arco eléctrico con electrodo revestido.

En la soldadura de arco eléctrico, el calor necesario para fundir el metal es producido por un equipo (transformador) diseñado para establecer el arco eléctrico. Los hay de transformador simple o rectificador o amplificador o ambos. Estos equipos nos permiten generar el arco eléctrico variando su potencia para realizar la soldadura, el intenso calor se forma entre la pieza de trabajo y un electrodo (recubierto o alambre) que es manual o mecánicamente guiado a lo largo de la zona de soldadura. Algunos equipos para realizar la soldadura mediante el proceso de arco eléctrico (de marca conocida), son presentados a continuación, así como algunas de sus principales características de conexión, aplicaciones, usos y ventajas ver Figura 2.1.2.

ALGUNOS EQUIPOS COMERCIALES EMPLEADOS EN LA APLICACIÓN DE SOLDADURA DE ARCO ELÉCTRICO

*Soldadora de corriente alterna (CA)
corriente constante, dos rangos*

3601 MI 80

Código Modelo



Trabajo Doméstico



Conexión a 127 volts CA

Alimentación: 127 Volts, 35 Amps., una fase 60 Hertz.

Salida nominal: 80 amp. @ 23 Volts CA de carga. 10% ciclo de trabajo.

Gama de corriente: 60 a 80 Amp. CA en dos salidas, alta y baja de valor fijo.

Aplicaciones:

Soldadura de electrodo revestido (SMAW) de corriente alterna (CA).

Diámetros y Tipos: 1/16" (1.6 mm) y 3/32" (2.3 mm) INFRA 13 (E-6013)

Material base: Lámina y varillas delgadas de acero al carbono.

Usos: Para el taller en casa, pequeños talleres artesanales, reparaciones caseras.

Ventajas: Muy ligera, totalmente portátil, construcción muy sólida y compacta. Protección térmica por sobrecarga con indicador luminoso.

*Soldadora de corriente alterna (CA)
corriente constante, control mecánico*

3048 TH 200

Código Modelo



Trabajo Industrial Ligero



Alimentación: 127 Volts, 92 Amps., una fase 60 Hertz.

Max. V. C. A.: 55 Volts. CA.

Salida nominal: 180 amp. @ 24 Volts CA 10% ciclo de trabajo.

Gama de corriente: 50 a 200 Amps. CA

Aplicaciones:

Soldadura de electrodo revestido (SMAW) de corriente alterna (CA).

Diámetros: 1/16" ocasionalmente 5/32" (1.6 mm a 4.0 mm).

Tipos: INFRA 11 (E-6011), INFRA 13VD (E-6013).

Material base: Aceros y placas delgadas (cal. 22 a 10) en aceros bajo carbono, inoxidables, pequeñas piezas de hierro colado, soleras y tubulares en general.

Usos: Pequeños talleres de herrería, talleres mecánicos automotrices, mantenimiento de edificios, escuelas, fabricación e instalación de anuncios, fabricación de muebles metálicos para oficina, casa y jardín, fabricación de equipos para la industria alimentaria. Herrería artística y ornamental.

Ventajas: Compacta, con ciclo de trabajo adecuado para trabajo rudo en talleres de herrería.

**Soldadora de corriente directa (CD)
corriente constante, control mecánico**

3644 MI 3-575

Código Modelo



Trabajo Industrial Pesado



Alimentación: 220/440 Volts. 110/55 Amps, Tres fases 60 Hertz.

Max. V. C. A. 75 Volts, CD

Salida nominal 500 Amp. @40 Volts. CD de carga, 60% ciclo de trabajo.

Gama de corriente 60 a 600 Amps. CD.

Salida continua 400 Amp. @ 36 Volts. CD 100% ciclo de trabajo.

Control de núcleo móvil, lo que permite obtener control ampere x ampere. Dentro de su amplia gama de disponibilidad de potencia.

Aplicaciones:

Soldadura con electrodo revestido (SMAW) de corriente directa CD.

Diámetros: 3/32" (2.3 mm) a 1/4" (6.0 mm).

Tipos: Cualquier tipo de electrodo revestido existente en catálogo.

Material base: Cualquier espesor y aleación, ideal para trabajos donde se requiera gran volumen de depósito.

*Recubrimientos duros, para revestir equipo pesado, mueve tierras, molinos, etc.

*Para corte (cut-arc) con electrodo herramienta.

*Para corte y escopleo con electrodo de carbón y chorro de aire hasta un diámetro del electrodo de 9.5mm (3/8").

*Para soldadura Tig (GTAW) con corriente directa CD, con unidad separada de alta frecuencia para el arranque del arco. Opcional HFU 252

*Soldadura Tig con arranque por contacto sin unidad de A.F.

*En paralelo, conectando varias unidades iguales, como fuente de poder para arco sumergido o soldadura de pernos.

Usos:

Industria de la construcción mecánica industrial, líneas de producción de trascavos y equipo pesado, fabricación de recipientes y pailas usados en la industria: química, petrolera, ferroviaria, naval, farmacéutica, alimentaria. Soldadura radiográfica para estructuras metálicas en la ingeniería civil. Calderas para vapor, recipientes y tuberías de alta y mediana presión. Mantenimiento a ingenios azucareros. Plantas de procesos industriales, minería. Reconstrucción de máquinas de la construcción. Fabricación de contenedores de carga, etc. Para corte y ranurado de piezas de fundición gris con arcoaire, etc.

Ventajas:

Los modelos MI 3-375, MI 3-475 y MI 3-575, son una serie de robustas y duraderas fuentes de poder, aptas para trabajo pesado y continuo, su ciclo de trabajo es excepcional y su arco tiene gran estabilidad debido al diseño de sistema rectificador. Versátil y duradero. Fácil control.

**Soldadora de corriente directa (CD)
corriente constante, control eléctrico**

3654 SRH 444 ARCO DE ORO

Código Modelo



Trabajo Industrial Pesado



Alimentación: 220/440 Volts. 84/42 Amps, tres fases 60 Hertz.

Max. V. C. A.: 80 Volts. CD

Salida nominal: 400 Amp. @36 Volts. CD de carga, 60% ciclo de trabajo.

Gama de corriente: Rango bajo 45 a 345 Amps. CD

Rango alto 80 a 550 Amps. CD

Salida continua: 310 Amp. @ 32 Volts. CD de carga, 100% ciclo de trabajo.

Control: Eléctrico de corriente

Por su diseño, este modelo permite el uso de controles remotos, que facilitan el ajuste de la corriente de soldar, sobre todo cuando la soldadura se localiza lejos del área de soldar.

Aplicaciones:

*Para soldar electrodo revestido (SMAW) de corriente directa CD.

*Recubrimientos duros en electrodo revestido 3/32" (2.3 mm) a 1/4" (6mm).

para reconstrucción y protección de piezas pesadas sometidas a desgaste de 3/32" a 1/4.

*Corte y ranurado con electrodo herramienta cut weld.

*Para corte y escopleo con electrodo de carbón y chorro de aire hasta un diámetro de electrodo de 9.5mm. (3/8").

*Para soldadura Tig (GTAW) con corriente directa CD, con unidad separada de alta frecuencia para el arranque del arco, o con arranque por contacto sin unidad de alta frecuencia.

*Fácilmente acoplable en bancadas serie-paralelo de máquinas iguales.

Usos:

Industria de la construcción, mecánica industrial, líneas de producción de trascavos y equipo pesado, fabricación de recipientes y pailas usados en la industria: química, petrolera, ferroviaria, naval, farmacéutica, alimentaria. Soldadura radiográfica para estructuras metálicas en la ingeniería civil. Calderas para vapor, recipientes y tuberías de alta y mediana presión. Mantenimiento a ingenios azucareros. Plantas de procesos industriales, minería. Reconstrucción de máquinas de la construcción. Fabricación de contenedores de carga, etc. Para corte y ranurado de piezas de fundición gris con arcoaire, etc.

Ventajas:

Fuertes y duraderas. Máquinas soldadoras para los trabajos más duros, en industrias pesadas.

Fuente: <http://infra.com.mx>

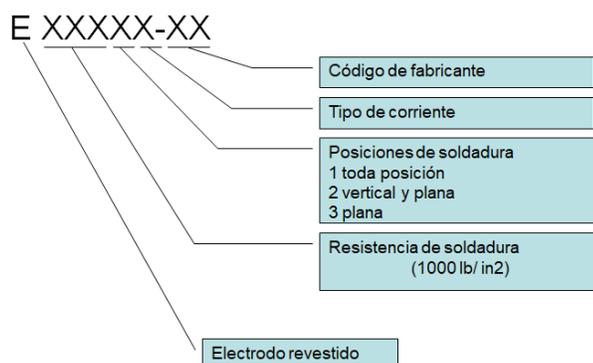
FIGURA 2.1.2 . Maquinas de soldadura eléctrica, principales características de conexión, aplicaciones, usos y ventajas.

2.2 ELECTRODO REVESTIDO.

En la actualidad la industria metalmeccánica tiene la necesidad de resolver varios problemas relativos a la unión permanente de varios componentes de diferentes metales, es por ello que hoy en día se cuenta con una diversidad de electrodos que permiten resolver los problemas que surgen al momento de soldar, como son: alabeos, desviaciones, fracturas y salpicaduras. Estos problemas son ocasionados generalmente por la gran cantidad de calor aplicada al soldar. Entre mayor sea el rango de corriente aplicada para fundir los electrodos, mayores probabilidades habrá de que estos problemas se susciten. Se ha comprobado, por medio de rigurosas pruebas, que algunos electrodos sueldan con rangos de corriente más bajos que otros, lo cual impide que se presenten estos problemas, permitiendo mayor facilidad de aplicación aún en las posiciones más difíciles. En la mayoría de los casos la escoria se desprende sola o con suma facilidad y se depositan cordones de óptimas propiedades mecánicas y magnífica apariencia. Así mismo, los electrodos se fabrican en las medidas más comunes para soldar hierro dulce, aceros al carbono, aceros de baja aleación, acero inoxidable, hierro colado, aluminio, cobre y sus aleaciones, recuperación y protección de piezas sujetas al desgaste y para proceso semiautomático. Las soldaduras resultan fuertes y dúctiles. Los electrodos revestidos gozan de la mejor aceptación para muchas de las aplicaciones más difíciles que se realizan hoy en día.

La A.W.S. y la A.S.M.E. (Sociedad Americana de Soldadura y Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, respectivamente), reconocidas autoridades dentro del ámbito de la soldadura han establecido normas de clasificación de electrodos. Para una información sencilla y a la vez concreta de las propiedades de cada electrodo, la A.W.S. y la A.S.M.E., han establecido la nomenclatura usada en los electrodos. El alambre es generalmente del mismo tipo; acero al carbón A.I.S.I 1010 que tiene un porcentaje de carbono de 0.08-0.12C% para la serie de electrodos más comunes. En la especificación tentativa de electrodos para soldar hierro dulce, la A.W.S. ha adoptado una serie de 4 ó 5 números siguiendo a la letra E, esta letra E significa que el electrodo es para soldadura por arco. Las dos primeras cifras de un número de 4, o las 3 primeras de 5 significan la resistencia mínima a la tracción en miles de libras por pulgada cuadrada del metal depositado. La penúltima cifra significa la posición en que se debe aplicar la soldadura (plana, horizontal, vertical y sobre cabeza). La última cifra significa el tipo de corriente (corriente alterna o corriente continua) el tipo de escoria, tipo de arco, penetración y presencia de compuestos químicos en el recubrimiento. La nomenclatura AWS, es mostrada en la figura 2.2.1 en su forma simplificada y la tabla 2.2.2 presenta la nomenclatura AWS en formato internacional. Así mismo la tabla 2.2.3 muestra la interpretación de la última cifra en la clasificación AWS para electrodos de acero al carbono.

Nomenclatura AWS



FUENTE: Nomenclatura AWS

FIGURA 2.2.1 Nomenclatura AWS para electrodo revestido.

CIFRA	SIGNIFICADO	EJEMPLO
Las 2 primeras	Resistencia mínima a la tensión	E 43 XX = 430 MPa (mínimo)
Penúltima	Posición de soldadura	E XX1X = toda posición E XX2X = plana y horizontal E XX4X = P, H, VD, SC
Última	Tipo de corriente Tipo de escoria Tipo de arco Penetración Presencia de compuestos químicos en el revestimiento	Ver Tabla 2

FUENTE: Nomenclatura AWS

TABLA 2.2.2 Nomenclatura AWS para electrodos revestidos en formato internacional.

ULTIMA	E-XX10	E-XX11	E-XX12	E-XX13	E-XX14	E-XX15	E-XX16	E-XX17	E-XX18
Tipo de corriente	CDPI e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CA o CD Polaridad Directa e-	CA o CD e+ - Ambas Polaridades	CA o CD e+- Ambas polaridades	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida	CD e+ Polaridad invertida	CA o CD e+ Polaridad invertida
Tipo de revestimiento	b Orgánico	Orgánico	Rutilo	Rutilo	Rutilo	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno	Bajo Hidrógeno
Tipo de arco	Fuerte	Fuerte	Mediano	Suave	Suave	Mediano	Mediano	Suave	Mediano
Penetración	c Profunda	Profunda	Mediana	Ligera	Ligera	Mediana	Mediana	Mediana	Mediana

a - E-6010/E 4310 C.D.P.I. b - E-6010/E 4310 ORGANICO; E-6020/E 4320 MINERAL E-6020/E 4320 C.A. Y C.D.P.D.
c - E-6010/4310 PROFUNDA; E-6020/E4320 MEDIA

FUENTE: Nomenclatura AWS

TABLA 2.2.3 interpretación de la última cifra en la clasificación AWS para electrodos de acero al carbono.

En los electrodos de acero aleado las 4 o 5 cifras de la clasificación van seguidas generalmente de una letra o símbolo como: A1, B1, B2, etc. Estos sufijos estándar de la A.W.S son añadidos para indicar adiciones específicas de elementos de aleación, como se indica en la Tabla 2.2.4. Por ejemplo, un electrodo revestido para soldadura al arco que tenga una clasificación E701 5-A1, es un bajo hidrógeno para todas las posiciones, corriente directa polaridad invertida, electrodo con un contenido de Molibdeno entre 0.40 a 0.65% (promedio 0.50%).

TABLA 2.2.4 Designación para aceros aleados. FUENTE: Nomenclatura AWS

ELECTRODO	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
7010 A1	0,12	0,6	0,4	0,03	0,03		0,4 a 0,65
7018 A1	0,12	0,6	0,8	0,03	0,03		0,4 a 0,65
9016 B3	0,05 a 0,12	0,9	0,6	0,03	0,03	2,00 a 2,50	0,90 a 1,20
9018 B3	0,05 a 0,12	0,9	0,8	0,03	0,03	2,00 a 2,50	0,90 a 1,20
8018 B2	0,05 a 0,12	0,9	0,8	0,03	0,03	1,0-1,5	0,40 a 0,65

- | | |
|--|--|
| A Electrodo para aceros al Carbono-Molibdeno. | B Electrodo para aceros al Cromo-Molibdeno. |
| C Electrodo para aceros al Níquel. | D Electrodo para aceros al Manganeso-Molibdeno. |
| NM Electrodo para aceros al Níquel-Molibdeno. | G Electrodo generales de aceros de baja aleación. |
| M Electrodo similares a las especificaciones militares. | P1 Electrodo para líneas de tubería de petróleo. |

SÍMBOLOS BÁSICOS DE SOLDADURA.

La AWS ha establecido un sistema de símbolos, los cuales nos sirven para identificar plenamente cualquier detalle de una unión o soldadura en planos de fabricación, con la ventaja de evitar anotaciones o leyendas explicativas tocante a los múltiples detalles que pudiera tener unión alguna. Los símbolos fundamentales son presentados en la tabla 2.2.5:

TABLA 2.2.5 Símbolos básicos empleados en soldadura.

R A N U R A							
Cuadrada	Inclinada o de empalme	V	Bisel	U	J	Abocinado en V	Abocinado en bisel

Filete	Tapón o botón	Pernos	Puntos o proyección	Costura	De o en el respaldo	Recubrimiento	Borde o pestaña	
							Extremo	Esquina

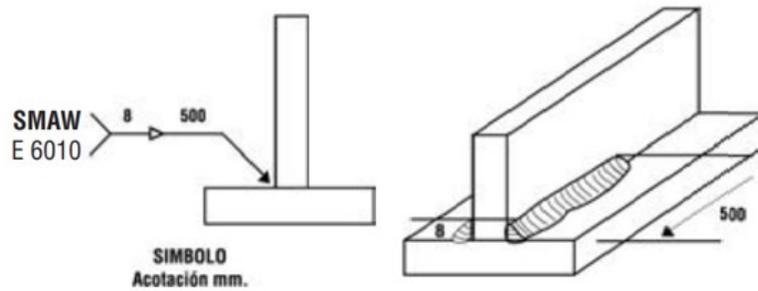
Fuente: www.ms-ingenieria.com.mx/capacitacion-y-normativas/los-simbolos-de-la-soldadura/

Soldadura todo alrededor	Soldadura de campo	Penetración completa	Inserto consumible (plano)	Respaldo o separador (rectangular)	Contorno		
					A ras o plano	Convexo	Cóncavo

Fuente: stargas.com.ve

A continuación, se presentan algunos ejemplos de aplicación de los símbolos de soldadura para su mejor comprensión y aplicación en planos o aspectos técnicos de soldadura.

1.- PARA SOLDADURA DOBLE EN ÁNGULO INTERIOR.

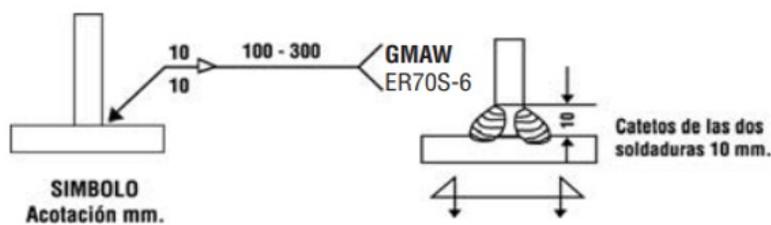


Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

RESULTADO

Soldadura por ambos lados con electrodo E6010 medida del chaflan 8mm. con longitud de 500 mm. del lado opuesto a la flecha.

2.- PARA SOLDADURA CONTINUA E INTERMITENTE EN ÁNGULO INTERIOR.

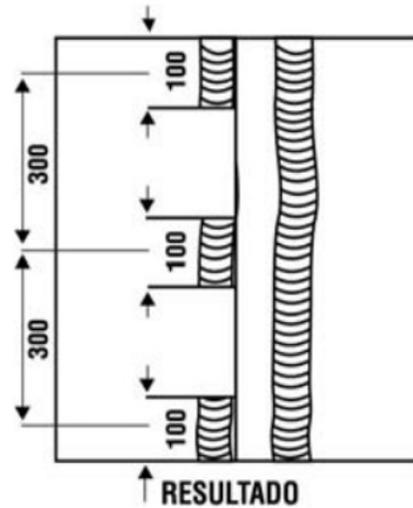


Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

Del lado opuesto a la flecha los cordones de soldadura tendrán una longitud de 100 mm. y una separación de 300 mm. de centro a centro de la soldadura.

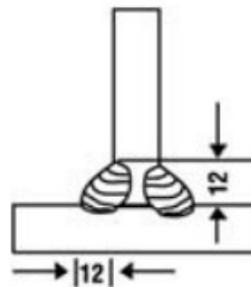
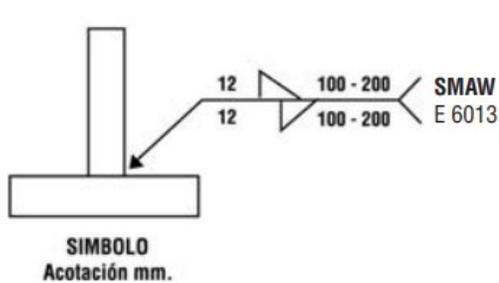
Del lado de la flecha la soldadura es continua, ya que en el símbolo se omitió el dato de longitud.

Toda la soldadura se ejecutará con proceso GMAW y material de aporte ER70-6.



Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

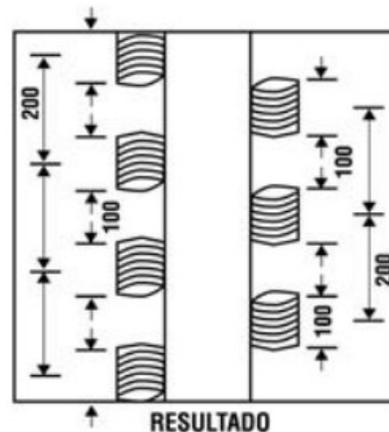
3.- PARA SOLDADURA INTERMITENTE EN ÁNGULO INTERIOR.



Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

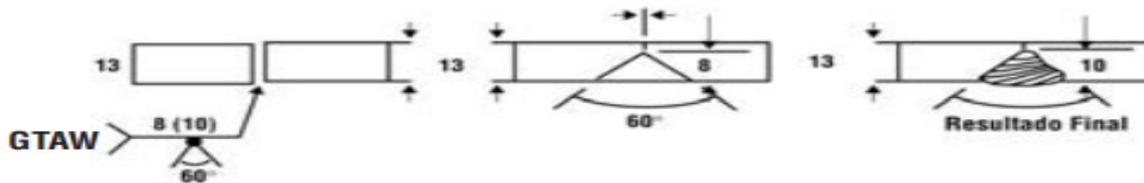
La soldadura quedará alternada como lo muestra la figura con longitud de 100 mm. Y separación de 200 mm. De centro a centro de la soldadura.

Se harán las soldaduras con electrodo E 6013



Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

4.- PARA SOLDADURA EN RANURA EN “V” SENCILLA, CON INDICACIÓN DE LA PENETRACIÓN EN LA RAÍZ



En la preparación se le darán 8 mm. a la profundidad del bisel y en la terminación el tamaño será igual a la profundidad del chaflán más la penetración en la raíz (10 mm en total). La soldadura será con proceso GTAW.

Fuente: https://catedras.ing.unlp.edu.ar/grafica/giga/gpi/apuntes/11_soldaduras07.pdf

Así mismo, para indicar el tipo apropiado de corriente y polaridad, los símbolos mostrados en la tabla 2.2.6 son usados en las hojas técnicas de electrodos. La tabla 2.2.7 muestra los símbolos que son empleados para indicar las posiciones de la soldadura.

TABLA 2.2.6 Simbología de corriente y polaridad.

SÍMBOLO	CORRIENTE Y POLARIDAD
	CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO POSITIVO.
	CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO NEGATIVO.
	CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO POSITIVO O NEGATIVO.
	CORRIENTE ALTERNA, CA.

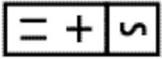
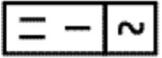
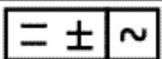
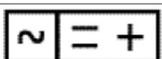
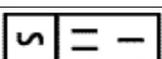
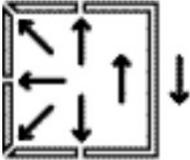
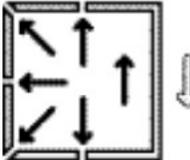
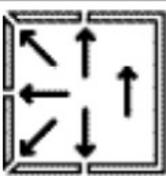
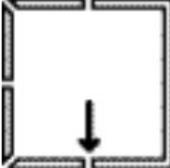
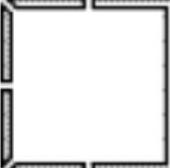
	PREFERIBLEMENTE CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO POSITIVO, CA.
	PREFERIBLEMENTE CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO NEGATIVO, CA.
	PREFERIBLEMENTE CC, ELECTRODO CONECTADO AL POLO POSITIVO O NEGATIVO, CA.
	PREFERIBLEMENTE CA, CC ELECTRODO CONECTADO AL POLO POSITIVO.
	PREFERIBLEMENTE CA, CC ELECTRODO CONECTADO AL POLO NEGATIVO.

TABLA 2.2.7 Símbolos para indicar la posición de la soldadura.

SÍMBOLO	INDICACIÓN DE LA POSICIÓN DE SOLDADURA
	TODAS LAS POSICIONES.
	TODAS LAS POSICIONES, VERTICAL DESCENDENTE LIMITADA.
	TODAS LAS POSICIONES, EXCEPTO VERTICAL DESCENDENTE.

	<p>SOLAMENTE SOLDADURA DE JUNTA PLANA Y FILETE.</p>
	<p>SOLAMENTE SOLDADURA DE JUNTA PLANA.</p>
	<p>SOLAMENTE VERTICAL DESCENDENTE.</p>
<p>SOLAMENTE VERTICAL</p> 	<p>A ASCENDENTE</p>

SELECCIÓN DEL ELECTRODO APROPIADO.

Un electrodo para todos los fines, para todas las aplicaciones y que dé resultados adecuados es imposible encontrarlo, en otras palabras, el electrodo universal no existe y no puede existir, no se trata entonces de buscar el más caro, sino de encontrar el justo para cada aplicación. Para seleccionar el electrodo adecuado se necesita experiencia y/o el asesoramiento técnico apropiado para efectuar el trabajo, así como la lista de comprobaciones para una fácil y rápida selección de electrodos, como se indica a continuación.

1. ¿Qué grosor y forma tiene el metal base? El material pesado de diseño complicado requiere por lo regular de electrodos de mayor ductilidad.
2. Diseño y ajuste de la unión. Se requerirán electrodos de penetración profunda cuando las orillas no están biseladas y el ajuste es apretado. Los electrodos de penetración ligera se requieren cuando la raíz está abierta.
3. Posición de soldadura. La soldadura en posición plana es mucho más económica. Seguida por la horizontal y después la vertical, la menos económica es la posición sobre cabeza. Algunos electrodos se pueden utilizar en todas las posiciones, pero otros están limitados a ciertas

- posiciones.
4. Especificaciones y condiciones de servicio. Las especificaciones pueden indicar la clase de electrodo que debe ser utilizado. De lo contrario, hay que tomar en cuenta los requerimientos que deberá llenar el trabajo terminado. Por ejemplo; ¿Deberá contar el cordón depositado con alta resistencia a la tensión, ductilidad, etc.?
 5. Eficiencia de la producción. Por lo regular las varillas para alto índice de depósito agilizan el trabajo, pero no siempre pueden ser utilizadas.
 6. Condiciones ambientales del trabajo: ¿Se encuentra limpio el material o está herrumbroso, pintado o grasoso? ¿Están lo suficientemente capacitados los trabajadores para manejar el electrodo en cuestión en una determinada posición?
 7. Tipo de corriente disponible.

ELECTRODOS COMERCIALES Y SUS CARACTERÍSTICAS.

En la siguiente sección se presentarán algunos de los electrodos comerciales de mayor uso en el ámbito de la ingeniería y del área metal mecánica. Es importante destacar que la siguiente sección es tomada de los manuales publicitarios de dos de los más reconocidos fabricantes de electrodos (INFRA y AGA) y la recopilación aquí mostrada tiene la finalidad de presentar a los estudiantes de las carreras de ingeniería el formato en el que comúnmente encontrarán información relativa a electrodos en el campo laboral. Así mismo, al presentar dos tipos de información de fabricantes, es con la finalidad de que los estudiantes desarrollen su propio criterio para la elección del electrodo más adecuado, con base en la información proporcionada por los fabricantes y a las necesidades propias y específicas de cada caso y aplicación requerida en el campo laboral o desarrollo profesional.

INFRA 10-S**NORMA:**

ASME SFA-5.1/SFA-5.1M E 6010/4310
 AWS A 5.1/AWS A5.1M E 6010/E4310

DESCRIPCIÓN

Electrodo celulósico de alta penetración para la soldadura de aceros al medio y bajo carbono especialmente recomendado para soldar en todas posiciones, incluyendo la vertical descendente en pasos múltiples o sencillos, en líneas de tubería de alta y baja presión, calderas y pailería en general. Es el electrodo más recomendable para soldaduras temporales en montajes por su rápida solidificación y altas propiedades mecánicas.

APLICACIONES

En el sector naval es usado en la construcción, reparación y mantenimiento de embarcaciones en donde se requiera una alta penetración de la soldadura.

Dentro del sector petrolero es ampliamente utilizado en el tendido de líneas de tuberías de conducción de gas amargo, L.P., natural, petróleo líquido, recipientes de alta y baja presión, etc.

Es ampliamente requerido en el sector metalmecánico en la reparación de dispositivos y componentes de acero al bajo carbono de maquinaria, recipientes sometidos a presión, calderas, etc.

Dentro del ramo de la construcción se usa en la erección de estructuras para puentes vehiculares, peatonales, reparación de estructuras dañadas por fenómenos naturales (temblores, oxidación, etc.).

En la pailería se usa en la construcción de tanques para almacenamiento, recipientes a cielo abierto, extractores y ductos de humos y vapores, etc.

VENTAJAS

Electrodo de fácil operación en todas posiciones; utiliza corriente directa con polaridad invertida (electrodo al positivo +), (CDPI). Alta eficiencia de aporte por la calidad de sus componentes, incluyendo polvo de hierro. Arco estable y penetrante con una fácil remoción de escoria, propiedades mecánicas adecuadas aún a temperaturas bajo cero. Recomendado para trabajos de fondo en los cuales se requiere sanidad y penetración de calidad radiográfica.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A. W. S.

Resistencia a la Tensión	430 MPa (60 000 psi)
Límite Elástico	330 MPa (48 000 psi)
Elongación	22 %
Impacto a -30 °C en probetas Charpy V – Notch	27 Joules

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN AWS

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,20	Cromo	0,20
Manganeso	1,20	Molibdeno	0,30
Azufre	1,20	Vanadio	0,08
Silicio	N.E.	Fósforo	N.E.
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Limpie perfectamente las piezas a soldar de grasas, aceites, pinturas y contaminantes en general, encienda el arco por el método de raspado o de contacto y mantenga el arco corto, inclinándolo ligeramente el electrodo en dirección del avance. Quite la escoria entre pasos y utilice CDPI (electrodo al positivo).

ACEROS

A36; A283; A285; A106; A373, etc.

MEDIDAS DISPONIBLES

mm.	pulg.	amps.
2,4 x 356	3/32 x 14	60 - 80
3,2 x 356	1/8 x 14	80 - 120
4,0 x 356	5/32 x 14	110 - 160
4,8 x 356	3/16 x 14	140 - 190

EMPAQUE

Caja de 20 kg con 4 bolsas plásticas de 5 kg c/u.



Para mayor información consulte cualquiera de nuestras sucursales en toda la República

**PARA ASISTENCIA TÉCNICA LLÁMENOS A LOS TELS.
 5870 15 00 Y 5329 30 89
 LADA SIN COSTO 01 800 976 27 27 Y 01 800 712 25 25**

FUENTE: agamanual/37518630

ELECTRODO CELULOSICO ESPECIAL

C - 10

Norma:	AWS	E 6010
---------------	-----	--------

Color de Revestimiento: rojo ladrillo	Identificación: sin color
---------------------------------------	---------------------------

Análisis del Metal Depositado:

C	0.12%	Mn	0.6%	Si	0.25%
---	-------	----	------	----	-------

^{*}Valores típicos

Características:

Es un electrodo de penetración profunda y uniforme que difiere del E6010 convencional por tener determinadas características especiales de soldabilidad en posición vertical descendente. Ideal para pasadas de raíz en la soldadura de oleoductos, donde la alta velocidad, el control del arco y la rápida solidificación de la escoria son sumamente importantes.

Aprobación:

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

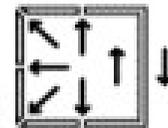
Propiedades Mecánicas

Resistencia a la Tracción	Límite Elástico	Elongación
48 -51 kg/mm ²	40 - 43 kg/mm	24-26%

^{*}Valores típicos

Posiciones de Soldar

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente



Corriente y Polaridad

Para corriente continua Electrodo al polo positivo		
Ø	1/8"	5/32"
Amp. Mín.	80	110
Amp. Máx.	120	150



Pasada de relleno y recubrimiento



Pasada de Raíz

Aplicaciones:

- Especial para tuberías de petróleo (oleoductos) de los tipos API 5L, X42, X46, X52.
- Tanques de almacenamiento
- Recipientes de presión
- Tuberías en general para la conducción de fluidos

LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg. / 44 lbs.

INFRA 11

NORMA:

ASME SFA-5.1/SFA-5.1M E 6011/E 4311
AWS A5.1/AWS A5.1M E 6011/E 4311

DESCRIPCIÓN

Electrodo celulósico de alta penetración estabilizado con potasio para funcionar en todas posiciones incluyendo la vertical descendente, con corriente alterna (CA) y corriente directa con polaridad invertida (electrodo al positivo +), (CDPI). Su arco estable de fácil encendido lo hace el electrodo adecuado para trabajos en los que la resistencia y el acabado sean lo más importante.

APLICACIONES

En el sector naval es usado en la construcción de embarcaciones, reparación y mantenimiento de equipos, partes y componentes de acero al carbono donde la penetración de la soldadura sea requisito indispensable.

Dentro de la industria petrolera, es empleado como sustituto de electrodos tipo 6010 en el tendido de líneas de tuberías de conducción de gas amargo, L.P., natural, petróleo líquido, recipientes de alta y baja presión, etc.

En la paila de tanques para almacenamiento, recipientes a cielo abierto, extractores y ductos de humos y vapores, etc.

Ampliamente utilizado en la construcción de puentes, edificios, vagones de ferrocarril, y estructuras en general que requieran altas propiedades mecánicas desde el primer cordón.

En el ramo metal-mecánico es usado en la fabricación de maquinaria, componentes de acero al bajo carbono, calderas, recipientes a presión, grúas, etc.

Es utilizado inclusive en pequeños talleres de herrería e industria metal-mecánica ligera, por la versatilidad del electrodo y los bajos amperajes empleados aún en materiales de pared delgada y por la facilidad con la que se remueve la escoria.

VENTAJAS

Electrodo de arco estable aún funcionando con CA gracias a su contenido de potasio en el recubrimiento, sus depósitos tienen características mecánicas muy superiores a electrodos de su tipo. Buena tenacidad a temperaturas bajo cero. La fórmula especial del revestimiento produce un arco de gran fuerza con una rápida solidificación, lo que facilita la operación en posición vertical y sobrecabeza. La escoria es mínima, por lo que la limpieza se lleva a cabo de forma rápida.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A.W.S.

Resistencia a la Tensión	430 MPa (60 000 psi)
Límite Elástico	330 MPa (48 000 psi)
Elongación	22 %
Impacto a -30 °C en probetas Charpy V - Notch	27 Joules

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN A.W.S.

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,20	Cromo	0,20
Manganeso	1,20	Molibdeno	0,30
Azufre	N.E.	Vanadio	0,08
Silicio	1,00	Fósforo	N.E.
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Limpie perfectamente las piezas a soldar de grasas, aceites, pinturas y contaminantes en general, encienda el arco por el método de raspado o de contacto y mantenga el arco corto, inclinándolo ligeramente el electrodo en dirección del avance. Quite la escoria entre pasos y utilice CA (Corriente Alterna) o bien CDPI (electrodo al positivo). Cepille manualmente o utilizando carda de acero.

APROBACIONES

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING	3
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING	3

MEDIDAS DISPONIBLES

milímetros	pulgadas	Amperes
2,4 x 356	3/32 x 14	50 - 85
3,2 x 356	1/8 x 14	80 - 125
4,0 x 356	5/32 x 14	120 - 165
4,8 x 356	3/16 x 14	145 - 185

EMPAQUE

Caja de 20 kg con 4 bolsas plásticas de 5 kg c/u.



Para mayor información consulte cualquiera de nuestras sucursales en toda la República

**PARA ASISTENCIA TÉCNICA LLÁMENOS A LOS TELS.
5870 15 00 Y 5329 30 89
LADA SIN COSTO 01 800 976 27 27 Y 01 800 712 25 25**

FUENTE: agamanual/37518630

ELECTRODO CELULOSICO

C - 13

Norma:	AWS	E 6011
---------------	-----	--------

Color de Revestimiento: Blanco	Identificación: Punta Azul
--------------------------------	----------------------------

Análisis del Metal Depositado:

C	0.08-0.12%	Mn	0.4-0.6%	Si	0.25%
---	------------	----	----------	----	-------

*Valores típicos

Características:

Electrodo del tipo celulósico, para soldaduras de penetración. El arco es muy estable, potente y el material depositado de solidificación rápida, fácil aplicación con corriente continua y alterna. Los depósitos son de alta calidad en cualquier posición.

Aprobación:

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

Propiedades

Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Elongación	Resistencia al Impacto
48-51 kg / mm ²	24-26%	CHARPY - V
68.000		Joules
a		55 - 75
72.000 lbs./pulg ²		(-29°C)

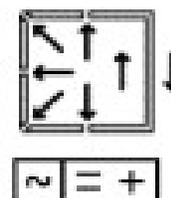
*Valores típicos

Posiciones de Soldar:

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente

Corriente y polaridad:

Para corriente alterna o continua Electrodo al polo positivo		
ømm	øPulg.	Amperaje
2.50	3/32	70- 90
3.20	1/8	90-120
4.00	5/32	120-150
5.00	3/16	150-180



Aplicaciones:

- Soldadura para aceros no templables (aceros dulces).
- Carpintería metálica.
- Estructuras y bastidores para máquinas.
- Chapas gruesas y delgadas

LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg./44 lbs.

INFRA 13 VD

NORMA:

ASME SFA-5.1/SFA-5.1M E 6013/E 4313
AWS A5.1/AWS A5.1M E 6013/E 4313

DESCRIPCIÓN

El Infra 13 VD, es un electrodo rutílico con revestimiento a base de dióxido de titanio para la soldadura en todas las posiciones, inclusive la vertical descendente. Tiene buena penetración con un fácil encendido y reencendido, lo que hace al electrodo adecuado para trabajos sobre lámina delgada.

APLICACIONES

En la industria de la construcción es usado en cordones de vista en fabricación de estructuras de edificios, puentes y conjuntos estructurales en general.

Dentro del ramo metal-mecánico es sumamente utilizado en la fabricación de autobuses, cajas de volteo, carrocerías, componentes de maquinaria agrícola, etc.

En pailería es empleado en la fabricación de recipientes a cielo abierto, pipas de agua, ductos de humos y gases constituidos de lámina negra y galvanizada.

La herrería y la empresa metal-mecánica ligera emplean fuertemente este tipo de electrodo ya que se usa sobre lámina negra, lámina galvanizada, perfiles estructurales, soleras, etc., y en general en materiales delgados y en todas posiciones con buena apariencia y sin quemar el material a soldar.

Usado para propósitos generales.

VENTAJAS

Buen funcionamiento en todas las posiciones, fácil encendido y reencendido de arco. La escoria normalmente se desprende sola teniendo poca salpicadura, sus depósitos son de muy buena apariencia. También es adecuado para usarse corriente alterna. Gran aceptación por los soldadores debido a sus originales características. Utiliza corriente alterna (CA), corriente directa con polaridad invertida (electrodo al positivo +), (CDPI); corriente directa con polaridad directa (electrodo al negativo -), (CDPD).

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A. W. S.

Resistencia a la Tensión	430 MPa (60 000 psi)
Límite Elástico	330 MPa (48 000 psi)
Elongación	17 %

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN A. W. S.

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,20	Cromo	0,20
Manganeso	1,20	Molibdeno	0,30
Azufre	N.E.	Vanadio	0,08
Silicio	1,00	Fósforo	N.E.
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Limpie perfectamente las piezas a soldar de grasas, aceites, pinturas y contaminantes en general, encienda el arco por el método de raspado o de contacto y mantenga el arco corto, inclinando ligeramente el electrodo en dirección del avance. Quite la escoria entre pasos y utilice CA (Corriente Alterna) o bien CD (Corriente Directa) en cualquiera de sus polaridades. Cepille manualmente ó utilizando carda de acero.

ACEROS

A36; A283; A285; A105; A373, etc.

MEDIDAS DISPONIBLES

milímetros	pulgadas	Amperes
2,4 x 356	3/32 x 14	55 - 90
3,2 x 356	1/8 x 14	85 - 130
4,0 x 356	5/32 x 14	125 - 165
4,8 x 356	3/16 x 14	150 - 190

EMPAQUE

Caja de 20 kg con 4 bolsas plásticas de 5 kg c/u.



ELECTRODO RUTILICO

R - 10

Norma:

AWS

E 6013

Color de Revestimiento: Gris Claro

Identificación: Punta Azul

Análisis del Metal Depositado:

C	0.09%	Mn	0.5%	Si	0.3%
---	-------	----	------	----	------

*Valores típicos

Características:

Electrodo diseñado para depositar cordones y filetes de un aspecto excelente y sobresalientes características mecánicas. Es un electrodo de arranque rápido en frío, de fácil remoción de escoria, que en muchos casos se desprende sola. Gran velocidad de avance y poca pérdida por salpicadura.

Aprobación:

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING

Propiedades Mecánicas:

Resistencia a la Tracción	Elongación
48-56 kg./mm ²	20- 22%
68.000-80.000 Lb/pulg. ²	

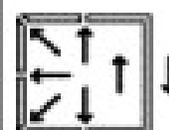
*Valores típicos

Posiciones de Soldar:

Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente.

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua Electrodo al polo negativo y positivo		
ø mm	ø Pulg	Amperaje
2.50	3/32	60-85
3.20	1/8	90-130
4.00	5/32	140-180
5.00	3/16	180-240



Aplicaciones:

- Especialmente carpintería metálica con láminas delgadas, carrocerías, chasis.
- Todo tipo de recipiente sometido o no a presión.
- Calderería.
- Fabricación de puertas y ventanas.

LARGO: 350 mm.

PESO POR CAJA: 20 kg. / 44 lbs.

INFRA EXCEL ARC

NORMA:

ASME SFA-5.1/SFA-5.1M E 6013/E 4313
AWS A5.1/AWS A5.1M E 6013/E 4313

DESCRIPCIÓN

Este electrodo brinda características de arco que resultan del agrado de los usuarios, tales como poseer una transferencia de material más suave, mínimo salpique y chisporroteo, encendido y reencendido particularmente fácil. El balance de la formulación del revestimiento hace que la escoria se desprenda prácticamente por sí sola, su recubrimiento rutilico le permite aplicarse de manera correcta en trabajos tanto en materiales delgados como en materiales gruesos.

ÁREAS DE APLICACIÓN TÍPICAS

En el sector metal-mecánico es usado en guardas de engranajes, construcción de cajas de herramientas, carrocerías, etc.

Dentro del ramo de la construcción se emplea en estructuras de edificios, puentes, y grúas en sus cordones superficiales debido a su apariencia.

En pailería es usado en la fabricación, reparación y mantenimiento de tanques de almacenamiento, recipientes a cielo abierto, depósitos, contenedores, etc.

Ampliamente solicitado y utilizado por soldadores de herrería para la unión de perfiles, soleras, láminas delgadas para construcción de puertas, ventanas y estructuras domésticas en general.

Su acabado y fácil desprendimiento de escoria le permite ser utilizado en trabajos generales que requieren una buena presentación aún en soldaduras fuera de posición.

VENTAJAS

Su formulación le proporciona características de soldabilidad que se traducen en acabados tersos y de buena apariencia. Suelda todos los aceros de bajo carbono, en todas posiciones incluyendo la vertical descendente, utiliza corriente alterna (CA), corriente directa con polaridad invertida (electrodo al positivo +), (CDPI); corriente directa con polaridad directa (electrodo al negativo -), (CDPD). Este electrodo permite el aporte sin interrupciones cuando se utiliza corriente alterna.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A.W.S.

Resistencia a la Tensión	430 MPa (60 000 psi)
Límite Elástico	330 MPa (48 000 psi)
Elongación	17 %

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN A.W.S.

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,20	Cromo	0,20
Manganeso	1,20	Molibdeno	0,30
Azufre	N.E.	Vanadio	0,08
Silicio	1,00	Fósforo	N.E.
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Elimine grasas, aceites, pinturas y contaminantes en general, de las piezas por soldar, encienda el arco por el método de raspado o de contacto y mantenga el arco corto, inclinándolo ligeramente el electrodo en dirección del avance. Retire la escoria una vez que ésta haya enfriado; utilice CA (Corriente Alterna) o bien CD (Corriente Directa) en cualquiera de sus polaridades. Cepille manualmente ó utilizando carda de acero. El cordón quedará terso y brillante.

MEDIDAS DISPONIBLES

milímetros	pulgadas	Amperes
2,3 x 356	3/32 x 14	55 – 90
3,2 x 356	1/8 x 14	90 – 130

EMPAQUE

Caja de 20 kg con 4 bolsas plásticas de 5 kg c/u.



Para mayor información consulte cualquiera de nuestras sucursales en toda la República

ELECTRODO ESPECIAL PARA CARPINTERIA METALICA

R - 15 (ELECTRODO AZUL) Norma:

AWS	E 6013
-----	--------

Color de Revestimiento: Azul	Identificación: Punta Azul
------------------------------	----------------------------

*Valores típicos

Características: Electrodo de operación muy suave, sin salpicaduras, aplicable en todas las posiciones. Adecuado para la soldadura de los aceros de bajo carbono sin aleación, de uso corriente en carpintería metálica y construcciones metálicas en general. Electrodo de excelentes características de encendido y re-encendido, escoria de muy fácil remoción.

Propiedades Mecánicas:

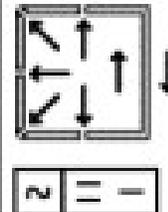
Resistencia a la Tracción	Elongación
48-56 kg./mm ²	20 - 22 %
68.000-80.000 lbs/pulg ²	

*Valores típicos

Posiciones de Soldar: Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente

Corriente y Polaridad:

Para corriente alterna o continua Electrodo al polo negativo y positivo.		
ømm.	øPulg.	Amperaje
2.5	3/32	60 - 85
3.20	1/8	100 - 130
4.00	5/32	140 - 180



Aplicaciones:

- Especial para carpintería metálica.
- Fabricación de puertas y ventanas.
- Carrocerías y chasis.
- Estructuras.

INFRA 718

NORMA:

ASME SFA-5.1/SFA-5.1M E 7018/E 4918
AWS A5.1/AWS A5.1M E 7018/E 4918

DESCRIPCIÓN

Electrodo bajo hidrógeno con polvo de hierro en el revestimiento para soldar en todas posiciones. Tiene altas propiedades mecánicas a temperaturas bajo cero, es recomendable para depósitos en los cuales se desee minimizar el riesgo de fractura y tener la menor cantidad posible de poros, debido a las características de su recubrimiento; para soldadura de aceros con alto contenido de azufre.

APLICACIONES

Dentro del sector metal-mecánico, es ampliamente utilizado en la construcción de grúas, contenedores, vagones de ferrocarril, secciones gruesas y pesadas con un amplio factor de seguridad.

En la industria de la construcción es usado con éxito en cordones de relleno de secciones pesadas y en la fabricación, montaje de secciones gruesas en placas y estructuras de refuerzo en todas posiciones. En el giro petrolero se usa como relleno de secciones gruesas y tubería de gran espesor y sometidas a altas presiones, en gasoductos y tanques de almacenamiento.

Los soldadores dedicados a la pailería prefieren este electrodo cuando deben soldar recipientes de pared gruesa sometidos a altas presiones, ya sea en pasos múltiples o sencillos, en calderas y envases tales como compresores de aire.

En los astilleros se usan para fabricar carcasas y buques de gran tamaño y secciones gruesas.

En general en aplicaciones que requieran alta resistencia mecánica, alto rendimiento y uniones libres de grietas y poros.

VENTAJAS

Depósitos con calidad radiográfica, su tenacidad supera las marcadas por la normatividad correspondiente en probetas Charpy V – Notch, electrodos de muy fácil operación con CDPI, prácticamente no hay chisporroteo ni salpicaduras, arco sereno y aprobado por su fácil manipulación por los soldadores. Utilizado para relleno rápido en obras de gran magnitud. Su escoria se enfría rápidamente y es fácil de remover, la superficie de la cara de la soldadura es convexa y en soldaduras de filete puede ser inclusive plana, es muy utilizado a altas velocidades de avance.

PROPIEDADES MECÁNICAS SEGÚN A.W.S.

Resistencia a la Tensión	490 MPa (70 000 psi)
Límite Elástico	400 MPa (58 000 psi)
Elongación	22 %
Impacto a -30 °C en probetas Charpy V – Notch	27 Joules

COMPOSICIÓN QUÍMICA SEGÚN AWS

	% Máximo		% Máximo
Carbono	0,15	Cromo	0,20
Manganeso	1,60	Molibdeno	0,30
Azufre	0,035	Vanadio	0,08
Silicio	0,75	Fósforo	0,035
Níquel	0,30		

TÉCNICA DE SOLDEO

Limpie las superficies a soldar, retirándoles cualquier material contaminante, encienda el arco suavemente por el método de rayado o de contacto según prefiera, y mantenga un arco corto inclinando ligeramente el electrodo en dirección del avance; CD (Corriente Directa) con polaridad invertida (electrodo al positivo). Cepille manualmente ó utilizando carda de acero. Utilizar sólo electrodos secos, no debe golpear el electrodo para reencender el arco, hágalo con un despuntador. No exponga los electrodos a la intemperie por más de tres horas; en caso de que se humedezcan, debe reacondicionarlos únicamente en horno dos ocasiones como máximo a una temperatura comprendida entre 260°C y 425°C por espacio de 1-2 horas. No doble los electrodos al colocarlos en el portaelectrodos.

ACEROS

A36; A285; A372; A53; A105; A515; A372 Grado 55, 60,70; A283; A516, A515.

APROBACIONES

AMERICAN BUREAU OF SHIPPING	3
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING	3

MEDIDAS DISPONIBLES

milímetros	pulgadas	Amperes
2,4 x 356	3/32 x 14	70 – 100
3,2 x 457	1/8 x 18	90 – 140
4,0 x 457	5/32 x 18	130 – 170
4,8 x 457	3/16 x 18	160 – 200

EMPAQUE

Caja de 20 kg con 4 bolsas plásticas de 5 kg c/u.



ELECTRODO BASICO BAJA ALEACION

B - 10

Norma:	AWS	E 7018
---------------	-----	--------

Color de Revestimiento: Gris	Identificación: Punta Blanca
------------------------------	------------------------------

Análisis del Metal Depositado:	C	0.08%	Mn	1.0%	Si	0.6%
---------------------------------------	---	-------	----	------	----	------

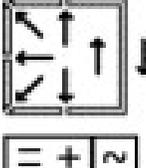
Características: *Valores típicos

Electrodo con revestimiento de bajo hidrógeno, con polvo de hierro. Indicado para la soldadura de aceros de alta resistencia a la tracción (56 kg/mm² Máx) así como para aceros de construcción. Su arco es sumamente estable, poco chisporroteo y para mejores resultados úsese arco corto. Se recomienda mantener un arco corto para garantizar buenos resultados en inspecciones radiográficas. Para trabajos de alta responsabilidad es necesario secarlos a 350°C durante una hora.

Aprobación: **AMERICAN BUREAU OF SHIPPING**

Propiedades Mecánicas:	Resistencia a la Tracción	Elongación		Resistencia al Impacto
	54-57 kg/mm ²	30 - 34%		CHARPY-V
	76.000			Joules
	81.000 lbs/pulg ²			70 - 90 (-29°C)

Posiciones de Soldar: *Valores típicos
Plana, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente.

Para corriente continua o alterna			
Electrodo al polo positivo			
ø mm	ø Pulg.	Amperaje	
3.20	1/8	100-140	
4.00	5/32	140-190	
5.00	3/16	190-250	

- Aplicaciones:**
- Para aceros de mediano y bajo carbono, baja aleación
 - Para aceros laminados en frío, por sus características de resistencia a la deformación a altas temperaturas, su fácil manejo y óptimo rendimiento, es especialmente adecuado.
 - Para soldadura de tuberías de vapor.
 - Calderas de alta presión, tanques.
 - Piezas para maquinaria pesada.
 - Construcciones metálicas en obra.
 - Reparaciones Navales.

IMPORTANTE: Los electrodos húmedos o con manchas de grasa, deben destruirse.

FUENTE: agamanual/37518630

OTROS ELECTRODOS EXISTENTE PARA APLICACIÓN CON PROCESO DE ARCO ELÉCTRICO MANUAL.

De forma análoga a la información comercial mostrada en la sección anterior, se cuenta con otros electrodos comerciales para su aplicación con proceso de arco eléctrico en forma manual.

A continuación, se hace referencia a dichos electrodos y se sugiere que, para su consulta con mayor detalle, sean revisados los manuales de los fabricantes de electrodos directamente.

1.- SOLDADURA PARA ACEROS DE BAJA ALEACIÓN, CELULÓSICOS.

AWS	PROCESO DE APLICACIÓN
E-6010	Arco eléctrico manual.
E-6011	Arco eléctrico manual.
E-6013	Arco eléctrico manual.

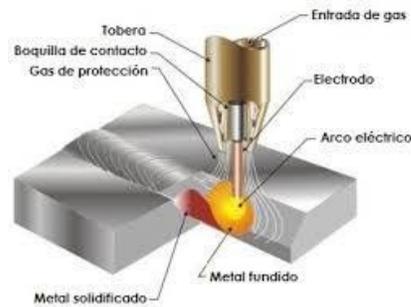
2.- SOLDADURAS ESPECIALES

AWS	PROCESO DE APLICACIÓN
PARA SOLDADURA DE HIERRO FUNDIDO	
E-NiCl	Arco eléctrico Manual.
E-Ni Fe-Cl	Arco eléctrico Manual.
E-St	Arco eléctrico Manual.
ELECTRODOS PARA RECUBRIMIENTO PROTECTOR	
B-80 E-Fe Mn-A	Arco eléctrico Manual.
B-83	Arco eléctrico Manual.
B-84	Arco eléctrico Manual.
B-85	Arco eléctrico Manual.

SOLDADURA DE INOXIDABLES CONVENCIONALES	
E308-16	Arco eléctrico Manual.
E-316	Arco eléctrico Manual.
E-309 Mo-16	Arco eléctrico Manual.
SOLDADURA DE INOXIDABLES ESPECIALES	
E310-16	Arco eléctrico Manual.
E312-16	Arco eléctrico Manual.

2.3 SOLDADURA G.M.A.W - MIG/MAG UN PROCESO RÁPIDO, LIMPIO Y VERSÁTIL.

La soldadura G.M.A.W (GAS METAL ARC WELDING) – MIG (METAL INERT GAS) / MAG (METAL ACTIVE GAS), es el proceso más popular y difundido en la industria en la actualidad, puede utilizarse con todos los metales comerciales importantes, como los aceros al carbono y de aleación, inoxidable, aluminio, magnesio, cobre, hierro, titanio y zirconio. La mayoría de los tipos de hierro y acero pueden unirse con MIG/MAG, incluso el hierro libre de carbono y los aceros al bajo carbono y baja aleación, los aceros de alta resistencia y templados, los hierros y aceros cromados o niquelados, y algunos de los aceros llamados de superaleación. Esta técnica tiene enormes ventajas, ya que es de fácil aplicación, no salpica en exceso y produce soldaduras de calidad, presenta posibilidad de ser automatizada, como se presenta en la figura 2.3.1, además los consumibles se pueden encontrar en ferreterías o distribuidores especializados.



Fuente: lincolnelectric.com

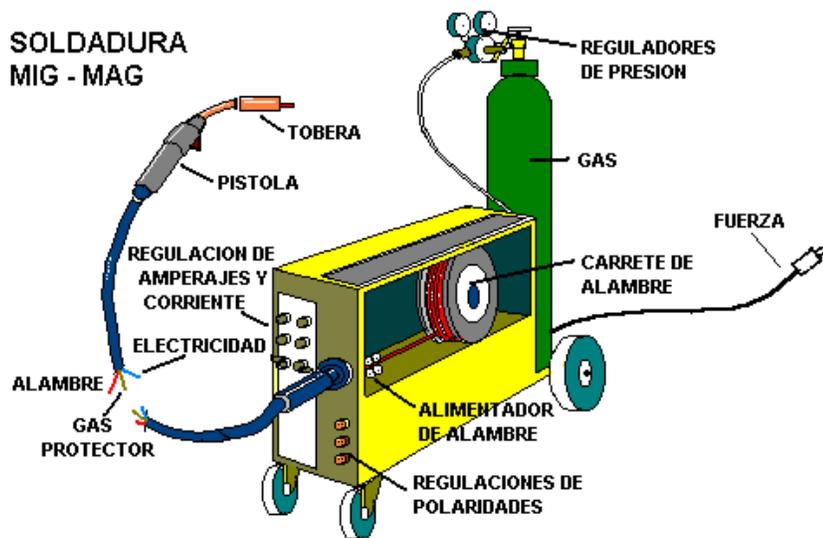
FIGURA 2.3.1 Aplicación de soldadura de arco eléctrico, proceso MIG/MAG mediante el uso de robot y en forma manual.

En la década de 1940 nació el proceso de soldadura por arco con protección gaseosa y electrodo consumible de aporte continuo y automático, denominado G.M.A.W, por su nombre en inglés: Gas Metal Arc Welding. Básicamente es una técnica para el soldeo de dos o más metales mediante fusión por calor, generada por un arco eléctrico y protegida del ambiente con gas. Según la clase del gas empleado, se diferencia entre soldadura MIG (Metal Inert Gas), si utiliza gas inerte, y soldadura MAG (Metal Active Gas), si utiliza un gas activo. Los gases inertes utilizados como protección suelen ser argón (Ar), helio (He) o mezclas de ambos, (Ar+He); los gases activos son mezclas con base en dióxido de carbono (CO_2). En ambos casos, el electrodo, una varilla o alambre de núcleo compatible con el metal que se va a soldar, se funde para rellenar la unión. En las dos técnicas, el gas sirve como una barrera que protege el arco del aire, principal causante de oxidación, la diferencia es que en MIG no reacciona con el metal ni influye en las propiedades del fundido, además por ser inerte es más estable, la soldadura tiene una menor penetración, mejor acabado, no causa deformaciones en las piezas delgadas y es especial para trabajos en materiales delicados. Se utiliza en la reparación de ejes, fabricación de tanques, carrocerías, rines de automóviles, embarcaciones y aeronaves. Por su parte, la aplicación MAG, que utiliza gas activo CO_2 , genera mayor penetración de la soldadura, mejora las propiedades físicas de la unión y aumenta su

resistencia al impacto, corrosión y cambios de temperatura. Sin embargo, la naturaleza activa del gas produce cordones de soldadura más abultados e incrementa las salpicaduras. Por ello, las compañías fabricantes han optado por estabilizar el CO₂, mezclándolo con porcentajes de hasta 25 por ciento de argón y/o helio y así, mejorar la presentación del cordón, la calidad de los acabados y reducir al mínimo el chisporroteo y el exceso de humos. Se usa para soldar construcciones, lámina gruesa y delgada, fabricación de puertas y ornamentación en general. Gracias a sus dos formas de aplicación, la técnica G.M.A.W se ha convertido en un proceso versátil, que permite soldar desde los espesores más finos hasta los más gruesos (a partir de 0.03mm) tanto en metales ferrosos como no ferrosos; específicamente el sistema MIG se emplea para unir piezas delgadas de aluminio, cobre, magnesio, inoxidable y titanio, mientras el MAG es ideal para la mayoría de los aceros y hierros al carbono y bajo carbono, en todas las dimensiones. En algunos sectores de la industria al utilizar una soldadura con protección de gas no discrimina si es activo o inerte y les denomina por igual MIG, pero generalmente los soldadores utilizan el proceso MAG, con gas activo CO₂, ya que prolifera el trabajo con aceros. Esta confusión quizás se debe a que originalmente el sistema G.M.A.W fue empleado exclusivamente con gases inertes, en aluminios y para espesores delgados, pero debido a la alta demanda y oferta del acero y el elevado precio de los gases inertes –en promedio 60 por ciento más que uno activo–, la tendencia cambio.

EL EQUIPO MIG/MAG.

- La fuente de potencia eléctrica que se encarga de suministrar la suficiente energía para poder fundir el electrodo en la pieza de trabajo. Son de tipo DC (corriente directa) con característica de salida de Voltaje Constante (CV). El equipo se muestra en la figura 2.3.2.
- El Alimentador de alambre es el mecanismo que permite que el alambre llegue continuamente a través de la pistola hasta la zona donde se produce el arco de soldadura con la ayuda de un motor y unas ruedas impulsoras llamadas rodillos de alimentación. Los alimentadores pueden ser de Velocidad Constante o Sensores de Voltaje de Arco (Velocidad Variable).
- La pistola de soldadura, que se encarga de dirigir el electrodo de alambre, el gas protector y la corriente hacia la zona de soldadura. Pueden tener refrigeración natural (por aire) o refrigeración forzada (mediante agua). Algunas pistolas llevan incorporado un sistema de tracción constituido por unos pequeños rodillos que tiran del alambre, ayudando al sistema de alimentación. Otras, no disponen de este mecanismo de tracción, limitándose a recibir el alambre que viene empujado desde la unidad de alimentación. Las pistolas con sistema de tracción incorporado son adecuadas cuando se trabaja con alambres de pequeño diámetro o con materiales blandos como el aluminio y el magnesio.
- El cilindro de gas con regulador, contiene el gas a alta presión y esta provisto de un regulador que permite medir el flujo gaseoso. Es útil para la adecuada protección del depósito de soldadura.



Fuente: docplayer, Soldaduras-especiales MIG-MAG.

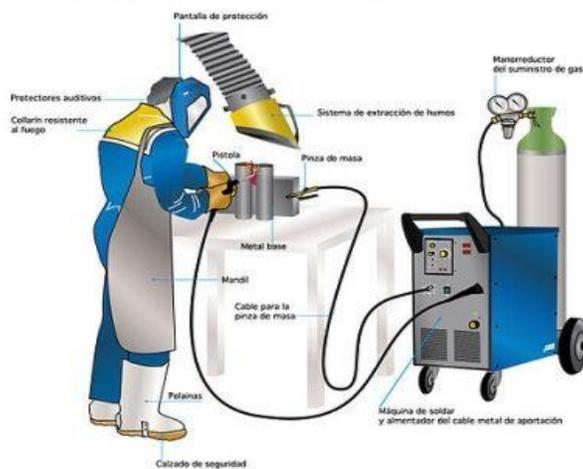
FIGURA 2.3.2 Equipo para soldadura MIG-MAG.

PROCESO

ESENCIALMENTE SEMIAUTOMÁTICO.

El proceso G.M.A.W - MIG/MAG es una soldadura semiautomática que usa una pistola manual, en la cual el equipo alimenta el electrodo en forma continua. En este proceso, el soldador simplemente debe obturar y manejar la pistola durante la aplicación de la soldadura, mientras el equipo alimenta el alambre de aporte automáticamente, a diferencia de los procesos manuales, como el de electrodo revestido, en el que el operario tiene que recargar la pistola con una nueva varilla, cada vez que es necesario, hasta terminar el trabajo. Con los nuevos desarrollos en automatización y robótica el proceso se ha perfeccionado y actualmente puede aplicarse de tres formas:

- **Semiautomática:** es la aplicación más común, en la que algunos parámetros previamente ajustados por el soldador, como el voltaje y el amperaje, son regulados de forma automática y constante por el equipo, pero es el operario quien realiza el arrastre de la pistola manualmente. El voltaje, es decir la tensión que ejerce la energía sobre el electrodo y la pieza, resulta determinante en el proceso: a mayor voltaje, mayor es la penetración de la soldadura. Por otro lado, el amperaje (potencia de la corriente), controla la velocidad de salida del electrodo. Así, con más potencia crece la velocidad de alimentación del material de aporte, se generan cordones más gruesos y es posible rellenar uniones grandes. Con MIG/MAG, las corrientes de soldadura varían desde unos 50 hasta 600 amperios. Normalmente se trabaja con polaridad positiva, es decir, la pieza al negativo y el alambre al positivo. El voltaje constante mantiene la estabilidad del arco eléctrico, pero es importante que el soldador evite los movimientos bruscos oscilantes y utilice la pistola a una distancia de 7 a 10 mm sobre la pieza de trabajo, como se muestra en la figura 2.3.3.



Fuente: soldadormig.com/

FIGURA 2.3.3 Equipo y soldadura con proceso MIG/MAG.

- **Automática:** Al igual que en el proceso semiautomático, en este, la tensión y la potencia se ajustan previamente a los valores requeridos para cada trabajo y son regulados por el equipo, pero es una boquilla automatizada la que aplica la soldadura. Generalmente, el operario interviene muy poco en el proceso, bien sea para corregir, reajustar los parámetros, mover la pieza o cambiarla de un lugar a otro, la soldadura automática MIG/MAG, se muestra en la figura 2.3.4.

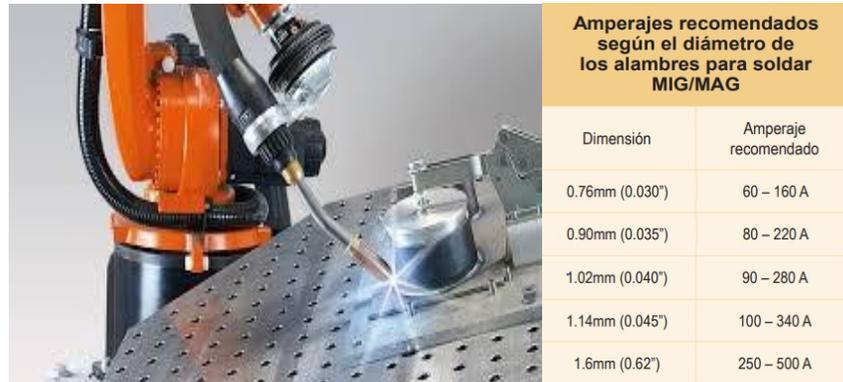


Fuente: ewm-group.com

FIGURA 2.3.4 Soldadura automática con proceso MIG/MAG.

- **Robotizada:** este proceso es utilizado a escala industrial. Todos los parámetros y las coordenadas de localización de la unión que se va a soldar se programan mediante una unidad CNC. En las aplicaciones robotizadas, un brazo mecánico puede soldar toda una pieza, transportarla y realizar los acabados automáticamente, sin necesidad de la intervención del operario. Además de usar gases inertes y activos de protección, el metal del electrodo,

que se encuentra en carretes de hasta 500 metros, suele estar recubierto de mezclas desoxidantes para evitar la oxidación del metal fundido, tales como: rutilo, celulosa o polvo de hierro. Es importante, tener en cuenta la dimensión del alambre para ajustar la potencia del equipo. Ver ejemplo de equipo robótico y tabla de amperajes recomendados según el alambre para soldar en la figura 2.3.5.

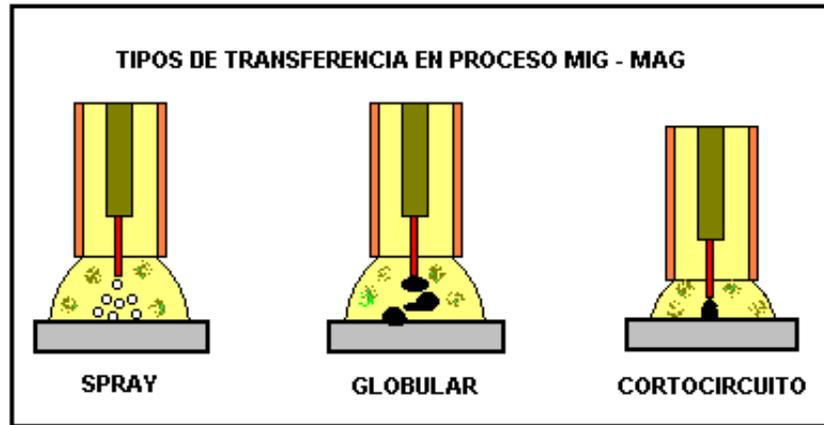


Fuente:Kuka.com

FIGURA 2.3.5 Equipo MIG/MAG Robotizado y tablas de amperaje.

Como en todos los procesos con arco, el consumible para la unión de las piezas se puede depositar en varias capas de soldadura, y particularmente en el G.M.A.W - MIG/ MAG, puede transferirse con tres métodos: **Cortocircuito, globular y spray** (atomización).

- **Transferencia por corto circuito:** este sistema es el más utilizado en la aplicación MAG. El metal se deposita en forma de gotitas individuales, entre 50 y 200 por segundo, cuando la punta del electrodo toca el metal fundido de soldadura y hace cortocircuito. Se usan corrientes y tensiones bajas, los gases son ricos en dióxido de carbono y los electrodos son de alambre de diámetro pequeño. Debido a sus características de bajo aporte de calor, el método produce pequeñas zonas de soldadura fundida de enfriamiento rápido, que lo hacen ideal para soldar en todas las posiciones. La transferencia de corto circuito es también especialmente adaptable a la soldadura de láminas metálicas con un mínimo de distorsión y para llenar vacíos o partes más ajustadas con una tendencia menor al sobrecalentamiento de las piezas que se están soldando.
- **Transferencia globular:** es un método intermedio, se usa frecuentemente en la aplicación MAG y algunas veces en MIG. El metal se transfiere en gotas de gran tamaño y ocurre por gravedad cuando el peso de éstas excede la tensión superficial. Se usan gases ricos en dióxido de carbono y argón, produce altas corrientes que posibilitan mayor penetración de la soldadura y mayores velocidades que las que se alcanzan con la transferencia por corto circuito y spray. También, se producen bastantes salpicaduras y por ello no es recomendable soldar sobre cabeza, debe ejecutarse en posición horizontal. Las piezas más pesadas se suelen unir por medio de este método.
- **Transferencia spray** (atomización): es el método clásico utilizado en la aplicación MIG. El metal de aporte es transportado a alta velocidad en partículas muy finas a través del arco, entre 500 y 2000 por segundo. La fuerza electromagnética es alta, lo que permite atomizar las gotas desde la punta del electrodo en forma lineal hacia el área de soldadura. Se puede soldar a altas temperaturas, adicionalmente es preciso usar corriente continua y electrodo positivo para garantizar que las gotas se formen y se suelten a razón de centenares por segundo. El gas de protección es argón o una mezcla rica en argón. Los métodos de transferencia son mostrados en la figura 2.3.6



Fuente: Soldaduras-especiales-mig-mag

FIGURA 2.3.6 Métodos de transferencia en el proceso MIG-MAG.

VENTAJAS Y LIMITANTES DE LA SOLDADURA G.M.A.W - MIG/MAG.

Cuenta con grandes ventajas frente a otros procesos de soldadura, entre las que se destacan las siguientes:

- Es la soldadura más limpia en la industria, no produce escoria, simplemente un polvo fino de óxido que es muy fácil de retirar después del trabajo. La presentación es excelente y genera menos salpicaduras que otros sistemas, como el electrodo revestido.
- Algunos soldadores consideran que este proceso proporciona menor resistencia, por los diámetros pequeños del microelectrodo empleado en el proceso, pero la verdad es que cumple todas las especificaciones técnicas para que la soldadura resista tensiones iguales o mayores que cualquier otro método de soldadura. Todo depende del alambre que se elija, y para ello la Asociación Americana de Soldadores (AWS) avala y clasifica diversos tipos de alambres para todos los trabajos, capaces de resistir hasta 80.000 lbs/pulg².
- Otra ventaja es la gran velocidad de soldadura, ya que la aportación se realiza mediante un alambre continuo y no es necesario interrumpir el proceso para cambiar el electrodo, lo que mejora la productividad.
- Soldadura con bordes más cerrados y acceso a puntos difíciles en diferentes posiciones. También permite reducir el espesor del cordón en relación con otros procedimientos de soldadura, lo que representa un ahorro de material de aporte, tiempo de soldadura y deformación de las piezas.
- Es especial para la producción en serie, ya que por su eficiencia reduce significativamente el costo total de la operación de soldadura, el desperdicio de material y simplifica las operaciones de limpieza.
- Obtención de uniones menos sensibles a la corrosión, debido a que el gas protector impide el contacto entre la atmósfera y el charco de fusión.
- Se puede trabajar en todas las posiciones independiente de la forma en que se realice el proceso, sin embargo, depende de la habilidad del soldador y el tipo de transferencia que se emplee, ya

que para lograr la transferencia spray y globular, por ejemplo, se recomienda trabajar en posición plana.

- Capacidad de ser usada para soldar la mayor parte de los metales industriales como el aluminio, magnesio, aceros al carbón, aceros inoxidables, cobre, níquel, titanio y otros.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que este proceso requiere más inversión que otros y no es recomendable para montajes al aire libre, ya que las corrientes de aire afectan la protección gaseosa, además, los equipos no son portátiles. Los precios de los equipos varían de acuerdo con su capacidad en amperios y a su capacidad de trabajo o 'Ciclo de Trabajo', por lo que la inversión en equipos, gases y consumibles se debe estudiar muy bien. Por ejemplo, en el momento de seleccionar un equipo de soldadura es importante tener en cuenta la relación costo beneficio, tener claro cuál es el uso que tendrá la máquina, cuáles son los resultados que se buscan y las ventajas sobre otros equipos, ya que esto debe estar directamente relacionado con procesos productivos en serie o en donde los niveles de producción justifiquen los gastos.

CONSEJOS ÚTILES PARA SOLDADURA CON MIG/MAG.

En general, lo más importante es que las industrias califiquen los procedimientos de soldadura y a los soldadores, para que de acuerdo con el producto que fabrican, se rijan bajo estándares y normas internacionales: "es un grave error no tener los procesos calificados, pues la única manera de verificar que el trabajo se hace adecuadamente es hacer un seguimiento constante al desempeño del operario. En soldadura no hay nada escrito, la experiencia y capacidad del soldador hacen la diferencia".

En muchos casos, los operarios omiten las recomendaciones respecto al amperaje y/o voltaje adecuado para cada trabajo, desperdician energía, sobre trabajan el equipo y consumen excesivamente el material de aporte (electrodo). Así las cosas, al controlar y estandarizar las variables de cada proceso se unifica el trabajo industrial, no importa el número de soldadores que laboren en una fábrica, ellos siempre soldarán de la misma forma, con igual calidad y rendimiento. Otro grave error, muy común al soldar con MIG/MAG, es no utilizar las herramientas adecuadas para los consumibles. Por ejemplo, es frecuente que el operario olvide cambiar las boquillas de las pistolas de soldar o los rodillos del alimentador para cada trabajo y después realice una nueva unión con electrodos más gruesos. Cuando un alambre de 0.040mm es utilizado con boquillas de 0.030mm, el menor diámetro del orificio dificulta el paso del electrodo a través la pistola; la máquina puede sufrir sobrecalentamiento, el revestimiento del alambre tiende a desprenderse y reduce la apariencia y resistencia de la soldadura. En muchos casos los operarios al notar la deficiente alimentación de la máquina asumen que la causa es un daño interno del equipo y presentan su queja ante los fabricantes. Sin embargo, la realidad es que, aunque el equipo cuente con la capacidad para arrastrar el electrodo, el atascamiento es por no utilizar la boquilla precisa, según el diámetro de la varilla. Si esto sucede durante periodos largos, se corre el riesgo de dañar el equipo. (Ver tabla de diámetros adecuados de boquillas y alambres, figura 2.3.7). El desprendimiento del revestimiento de los electrodos es causa de la fricción en una boquilla más pequeña, también se presenta por el ajuste excesivo de los rodillos del alimentador: cuando se aprietan los rodillos, de forma exagerada, el alambre sufre ralladuras y desprende polvillo de cobre que puede tapar u obstruir las partes internas del alimentador y causar graves daños. Se recomienda limpiar periódicamente los rodillos y el interior del alimentador utilizando aire seco a presión para eliminar los residuos, contaminantes y asegurar una adecuada alimentación del alambre. Por último, la mala manipulación y montaje de los carretes de soldadura constituye el error más común en la soldadura con MIG/MAG. Así que tenga en cuenta:

- No deseche el papel que cubre y protege el carrete del alambre, pues éste sirve para evitar el proceso de oxidación. Manténgalo sobre el alambre cuando el equipo no esté en operación.

- Al realizar el montaje del carrete tenga la precaución de cortarlo sujetando fuerte y colocando la mano antes de la herramienta de corte. Si sujeta el extremo final del alambre y hace el corte entre su mano y el carrete, el alambre tenderá a desenrollarse, produciendo enredos al momento de utilizarlo, debido al cruce de espiras.
- Almacene los carretes adecuadamente sobre estibas de madera, no los exponga a la humedad o a golpes.

En conclusión, la soldadura de arco eléctrico con gas protector es un proceso que cabe destacar, que sirve para unir cualquier tipo de metal, no produce salpicaduras ni forma escoria, a su vez, ofrece una velocidad alta y cordones de soldadura continuos y resistentes. Si bien emplea el mismo principio o técnica desde su origen, no es la misma de hace 25 años, el gas protector ha cambiado porque las investigaciones en materia de industria química lo han mejorado para otorgar la mayor eficiencia posible. Así como la industria ha evolucionado, en este caso, la técnica de soldadura MIG/MAG, también lo ha hecho para estar a la vanguardia de las necesidades del usuario. La decisión del método a emplear dependerá del material con qué se va a trabajar, de los recursos que se tengan, de la habilidad del operador y de la calidad que se busque tener, es decir, no se puede afirmar que una técnica sea mejor que otra, simplemente intervienen múltiples factores que delimitan la selección óptima del método a utilizar. La eficiencia de cualquier proceso no es exclusiva de las bondades de la técnica, es necesario hacer un seguimiento y evaluar el trabajo.

Diámetros adecuados para boquilla y alambre según el gas a utilizar		
Diámetro de la boquilla	Diámetro del alambre a utilizar Gas CO2	Diámetro del alambre a utilizar Gas argón
0.040	0.030	-
0.045	0.035	-
0.050	0.040	0.030
0.055	-	0.035
0.060	0.045	0.040
0.065	-	0.045
0.75	0.062	-
0.082	-	0.062

FIGURA 2.3.7 Diámetro de alambre y boquilla adecuada proceso MIG/MAG.

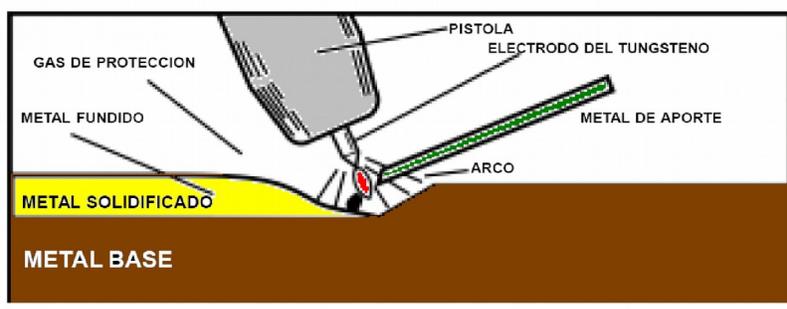
Fuentes • www.sunarc.com/Documents/soldadura%20MIG.pd

2.4 PROCESO DE GAS TUNGSTEN ARC WELDING (GTAW) O TUNGSTEN INERT GAS (TIG).

El calor necesario para soldar TIG, se produce mediante un arco eléctrico manteniendo entre el electrodo no consumible y la pieza por soldar. El electrodo usado para llevar la corriente es una varilla de tungsteno, o una aleación de este, así como también puede ser grafito, lo que no es usual. Ver figura 2.4.1

El metal fundido y el electrodo están protegidos contra el efecto perjudicial del oxígeno y nitrógeno por una atmósfera de gas inerte alimentado a través del porta electrodo. La soldadura se práctica aplicando el calor del arco hasta que los bordes de las juntas por soldar estén fundidos. El baño de metal, antes de solidificarse, junta las partes entre sí. Este proceso puede ser aplicado en forma manual o automática, usando o no metal de aporte.

Para establecer el arco generalmente se acerca la punta del electrodo al trabajo sin tocar este y luego se retira dejando una corta distancia.



Fuente: OXGASA (Infra del Salvador S.A. DE C.V)

FIGURA 2.4.1 Proceso TIG (Tungsteno en atmósfera de gas inerte).

Para soldar manualmente, una vez que el arco esté establecido, el porta electrodo debe mantenerse a 75 grados con respecto al baño de metal fundido. Para comenzar a soldar es conveniente mover el porta electrodo en un pequeño círculo hasta tener un baño de metal fundido de un diámetro conveniente. Una vez que se ha logrado una fusión adecuada en un punto, la soldadura se hace moviendo el electrodo a lo largo de las juntas a medida que éstas se vayan fundiendo. La solidificación del metal fundido sigue progresivamente al arco a lo

largo de la junta, completando la soldadura. Ver figura 2.4.2, Cordones de soldadura TIG.



Fuente: Soldadura Industrial Facebook y Warren Martin



TRABAJO INDUSTRIAL LIGERO

ARCTRON 285 HF

CD CC 3 FASES 1 FASE

Ficha técnica

Fases	Salida nominal	Salida continua 100% ciclo de trabajo	Rango de corriente (+/-10%) Amperes	Voltaje máximo de circuito abierto	Corriente de entrada a salida nominal 60 Hz. 220 V KVA Kw	Peso	Dimensiones
3	280 A @ 31 V. 40 % C.T.	200 A @ 28 V.	30 - 286	75	41 A 15.6 11.5	Neto: 17.5 kg. Emb: 21.5 kg.	Alto: 340 mm. Sin asa 400 mm Con asa Ancho: 235 mm. Largo: 480 mm.
2	200 A @ 28 V. 60 % C.T.	150 A @ 26 V.	30-200		52 A 11.4 7.2		

Procesos:

- Soldadura con electrodo revestido (SMAW) de CD en diámetros desde 1.6 hasta 6.4 mm (1/16" a 1/4") en todo tipo de electrodo.
- TIG (GTAW) en CD, con inicio por alta frecuencia (HF).
- TIG pulsado (GTAW-P) en CD, con inicio por alta frecuencia (HF).
- Ideal para aplicaciones de soldadura en proceso TIG en CD. su diseño especial con funciones de gatillo y pulsador integrado, permite realizar trabajos de la más alta calidad en materiales de espesor muy delgado y fuera de posición.

Se surte con:

- Control remoto manual RHS-2 para el arranque de la alta frecuencia.
- Manguera para gas con conexiones.
- Juego de cables para soldar, con conector rápido.
- Manual de usuario que incluye: guía de operación, guía de mantenimiento, lista de partes y póliza de garantía.

Accesorios opcionales:

- Antorcha TIG-170, TIG 200 y TIG 300.

Ventajas:

- Control electrónico de corriente, que permite un ajuste preciso de la corriente de soldadura.

- Unidad de alta frecuencia integrada, permite iniciar el arco en proceso TIG sin tocar la pieza de trabajo evitando la contaminación del tungsteno.
- Selector de proceso (con funciones controladas por gatillo sólo para proceso TIG): TIG 2T: Función básica o simple del gatillo. (PRESIONAR para iniciar, SOLTAR para terminar). TIG 4T: Accionamiento Permite realizar cordones largos de soldadura, sin mantener presionado el gatillo, evitando el cansancio del operador. (PRESIONAR-SOLTAR para iniciar, PRESIONAR-SOLTAR para terminar). TIG 4T-BiNivel: Función especial del gatillo que permite cambiar la corriente de soldadura entre dos valores de corriente: uno fijo de 40 A (Corriente 1) y otro preestablecido

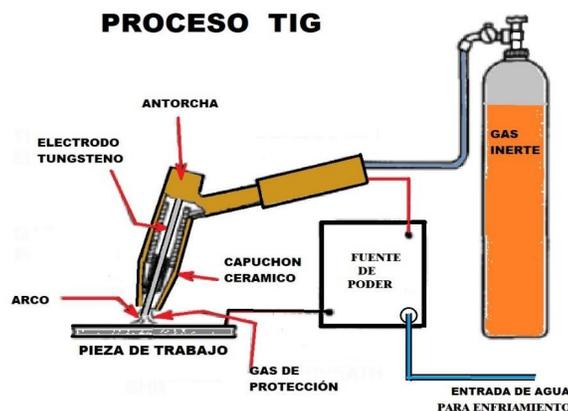


2.4.2 Cordones de soldadura TIG.

EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA REALIZAR EL PROCESO TIG

Los principales componentes del equipo requerido para el proceso TIG son: Ver figura 2.4.3.

- La máquina de soldar (fuente de poder).
- La antorcha o maneral
- Electrodo de tungsteno.
- Las varillas para metal de relleno.
- El gas protector
- Controles (pedales para encendido de arco)
- Sistema de refrigeración (agua)
- Cable de tenaza de trabajo



Fuente: blogs RSF maquinaria

FIGURA 2.4.3 Componentes del proceso TIG.

Para el proceso TIG se emplea una máquina de soldar (fuente de poder) de diseño especial. Puede ser un rectificador con CA/CC o un generador de corriente continua (CC) con una unidad de alta frecuencia, son equipos que proporcionan corriente directa y corriente alterna para satisfacer todas las aplicaciones de soldadura, con un simple switch el operador puede elegir la corriente que requiera el proceso. Vienen diseñadas para el proceso de soldadura TIG pero también con un switch el operador puede cambiar para que las máquinas funcionen como máquinas de soldadura eléctricas con electrodo revestido. El operador puede controlar el tipo de enfriamiento de la antorcha de soldadura, la profundidad y el ancho de la franja de soldadura, la duración de la corriente de pico y de fondo y los niveles de pico y de fondo.

Además, cuenta con un sistema de suministro de gas, el cual es utilizado para proteger el arco y el charco de soldadura de los contaminantes atmosféricos. A continuación, se muestran algunos modelos de máquinas para realizar el proceso TIG.

ALGUNOS EQUIPOS COMERCIALES EMPLEADOS EN LA APLICACIÓN DE SOLDADURA DEL PROCESO TIG




TRABAJO INDUSTRIAL PESADO

ALPHATIG 352 DP

Ficha técnica

CA

CD

CC

1

FASE



Salida nominal 70% ciclo de trabajo	Rango de corriente	Voltaje máximo de circuito abierto	Corriente de entrada a salida nominal 60 Hz.	Peso	Dimensiones
300 A @ 32 V. CA/CD	3 a 400 A, CA/CD	80 V, CA/CD	220V 440 V KW 126 A 63 A 16	Neto: 260 kg. Emb: 263 kg.	Alto: 838 mm. Ancho: 571 mm. Largo: 1232 mm.

Procesos:

- Soldadura con electrodo revestido (SMAW) de CA/CD en diámetros desde 1.6 hasta 6.4 mm (1/16" a 1/4") en todo tipo de electrodo.
- Soldadura TIG (GTAW) de CA/CD.
- Soldadura TIG pulsado (GTAW-P) de CA/CD con pulsador integrado.
- Corte y escopleo con electrodo de carbón y aire (CAC-A) en diámetro de 5 mm (3/16").
- Ideal para aplicaciones de soldadura en proceso TIG con CA y CD, su diseño especial de onda cuadrada permite realizar trabajos de la más alta calidad en materiales como el aluminio y acero inoxidable.

Se surte con:

- Control remoto de mano para contactor y corriente MFTC-14 "FINGER".
- Manguera para gas con conexiones.
- Manubrio, rodajas y porta-cilindro integrados en la máquina.
- Manual de usuario que incluye: guía de operación, guía de mantenimiento, lista de partes y póliza de garantía.

Accesorios opcionales:

- Antorcha TIG 200 y TIG 300.
- Control remoto de corriente RFC-14 (pedal).
- Juego de cables para soldar PAS-300.
- Enfriador de agua EFA-255.
- Conector tipo "T" (cuando se utiliza antorcha TIG enfriada por agua).

Ventajas:

- Control electrónico de corriente, que permite ajustar de manera precisa la corriente de soldadura.
- Salida de onda cuadrada en CA, para soldaduras en aleaciones de aluminio.
- Control de balance de la onda cuadrada, que permite ajustar la penetración y la acción limpiadora en proceso TIG con CA.
- Control de cráter de soldadura, para dar un acabado perfecto al finalizar el cordón de soldadura.
- Unidad de alta frecuencia integrada, permite iniciar el arco en proceso TIG sin tocar la pieza de trabajo evitando la contaminación del tungsteno.

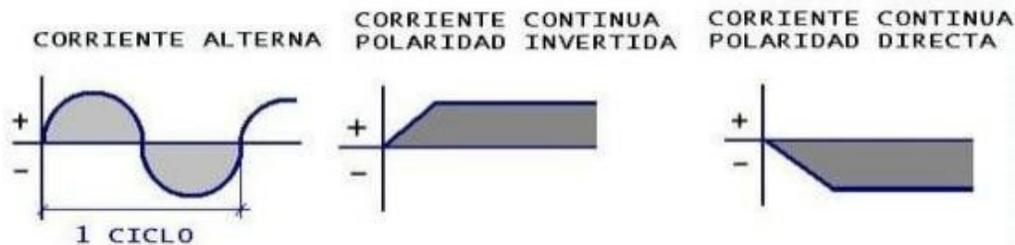


Fuente . Infra.com.mx

TIPOS DE CORRIENTES Y SUS APLICACIONES

La selección del tipo de corriente para soldar y la fuente de poder depende del espesor del material a soldar y la velocidad de depósito. Ver figura 2.4.4. Muestra los diferentes tipos de corrientes.

ESQUEMA DE CA Y CC



Fuente: OXGASA (Infra del Salvador S.A. DE C.V)

FIGURA 2.4.4 Tipos de corrientes TIG.

CORRIENTE DIRECTA POLARIDAD INVERTIDA

Al ser el electrodo positivo, los electrones negativos golpean el electrodo produciendo un sobrecalentamiento. Esto hace necesario el uso de un electrodo de tungsteno de 1/4" de diámetro para transportar 125 Amp. y soldar solamente aluminio de 1/8" de espesor. Debido a que los electrones calientan el electrodo y no el trabajo, el baño del metal es superficial y ancho. De esto se desprende que DC-PI no es recomendable por que el calentamiento del electrodo es excesivo.

CORRIENTE DIRECTA POLARIDAD DIRECTA

En este caso los electrones negativos se dirigen a la plancha positiva a gran velocidad. Los iones positivos del gas van hacia el electrodo negativo a baja velocidad. Cuando los electrones golpean la plancha se libera un calor considerable y entonces la plancha se calienta más que el electrodo.

La DC - PD se recomienda para todos los metales, ya que el depósito es más profundo y estrecho que con DC - PI o CA, los esfuerzos de contracción son menos severos y en algunos metales se encuentran menos problemas de grietas en caliente. Además, se producen menos

distorsiones en el metal base, porque la velocidad de absorción de calor es más rápida que con DC-PI y el depósito permanece fundido por un corto tiempo debido a la mayor rapidez con que absorbe calor.

CORRIENTE ALTERNA

Cuando se usa corriente alterna, el flujo eléctrico cambia de una dirección a otra. Este cambio y su vuelta a la original se llama ciclo. En consecuencia, con una corriente alterna de 60 ciclos hay 120 cambios de dirección en un segundo.

La diferencia del flujo de corriente es considerable en metales como aluminio, magnesio y cobre y mucho mayor en presencia de películas de óxidos, que en metales químicamente limpios.

Esta resistencia al flujo en una dirección produce una tendencia hacia la rectificación que elimina el flujo en esa dirección. La reignición del arco y la conservación de la corriente contraria es difícil en una mitad de ciclo, pero fácil y segura en otra, cuando el electrodo es negativo.

Las máquinas comunes de soldar tienen un voltaje en vacío de 50-80 voltios como máximo. Este voltaje es suficiente para establecer el arco cuando el electrodo es negativo, pero no así cuando es un arco inestable y errático, a menos que se use algún sistema para producir un alto voltaje en el circuito al comienzo de cada ciclo y así establecer las condiciones ionizantes en la zona del arco. Uno de los métodos comerciales para obtener el voltaje necesario y producir una ignición completa en el medio ciclo de polaridad invertida es el de acoplar a la fuente de poder un transformador de voltaje y oscilador de alta frecuencia 1,000 - 1,500 voltios - 2,000 Hz. Ver Figura 2.4.5



Fuente: Catalogo [https://grupoinfra.com/pagina/categoria/102/TIG-\(GTAW\)](https://grupoinfra.com/pagina/categoria/102/TIG-(GTAW))

FIGURA 2.4.5. Máquina TIG con oscilador de alta frecuencia.

Están disponibles varios accesorios opcionales, que incluyen un pedal para control remoto, permitiendo al soldar controlar la corriente durante la soldadura y pudiendo así efectuar correcciones y llenar cráteres. Así mismo están disponibles sistemas de circulación de agua de enfriamiento para la pistola, un distribuidor para encendido del arco, antorcha, boquillas, etc. Ver figura 2.4.6.



Fuente:Catalogo

<https://www.maquisol.com/> y <https://serviceweldingsupply.com/product/aspect-230-ac-dc-air-cooled-one-pak/>

FIGURA 2.4.6. Accesorios, para el proceso TIG

ELECTRODOS DE TUNGSTENO

Durante mucho tiempo, los fabricantes de tungsteno cambiaron la composición de estos. Todo con el fin de obtener mejores resultados cuando se usaba en soldadura TIG y los contaminaron con diferentes óxidos.

Con estas aleaciones, se mejoró en el encendido del arco, la estabilidad del arco y disminución de la erosión de la punta.

A continuación, se mostrará una tabla que describe las diferentes aleaciones, clasificaciones AWS e ISO, sus códigos y colores, y la cantidad de óxido en su composición. Ver figura 2.4.7

Aleación	AWS	ISO	Cantidad de Óxido
2% Torio	EWTh-2	WT20	1,7-2,2% ThO ₂
2% Cerio	EWCe-2	WC20	1,8-2,2% CeO ₂
1,5% Lantano	EWLa-1,5	WL20	1,3-1,7% La ₂ O ₂
1% Lantano	EWLa-1	WL10	0,8-1,2 La ₂ O ₂
Zirconio	EWZr-1	WZ3	0,15-0,40% ZrO ₂
Puro	EWP	W	Ninguno

Fuente: Catalogo <https://gasex.cl/argon/electrodo-de-tungsteno-en-la-soldadura-tig/> y <http://soldaduracursos.blogspot.com/>

FIGURA 2.4.7. Electrodos para el proceso TIG

- Tungsteno Puro - Color Verde. Para uso general en aplicaciones menos críticas. Recomendado para DC - PD y AC onda balanceada y para soldadura de Hidrógeno Atómico. El más económico.
- Tungsteno Torio al 1% - color amarillo. Da mejor estabilidad en el inicio del arco, mayor capacidad de corriente, mayor duración y no se contamina tan fácilmente cuando hace contacto con la soldadura o el metal de aporte.
- Tungsteno Torio al 2% - Color Rojo. Mayores y similares ventajas al torio al 1%.
- Tungsteno Circonio - color Café. El Circonio provee mejor operación y mayor vida cuando se suelda en AC. Particularmente recomendado para soldar Aluminio y sus aleaciones. Se contamina poco.
- Para soldar Aluminio, Magnesio y sus aleaciones se recomienda CA de Alta Frecuencia y electrodo de Tungsteno Puro o Circonio.
- Para soldar Aceros, Cobre, Níquel o sus aleaciones se recomienda DC. polaridad Directa y electrodo de Tungsteno Torio (La Polaridad Inversa fundirá el tungsteno a gran velocidad).

¿SABES QUÉ GAS USAR EN LA SOLDADURA TIG?

El argón y el helio o una mezcla de ambos son los tipos de gas inertes más comunes que se utilizan como cubierta protectora para los electrodos de tungsteno. También existen algunas mezclas para mejorar la condición de depósito de material. Ver figura 2.4.8

Los gases pueden ser suministrados en cilindros de acero o en tanques de almacenamiento aislados.

Asimismo, el argón grado soldadura se refina hasta una pureza mínima del 99.95% esto es aceptable para soldar con GTAW. De esta manera, el argón se utiliza más ampliamente que el helio porque tiene las siguientes ventajas:

- Acción de ardo más uniforme y silenciosa.
 - Menor penetración.
- Acción de limpieza al soldar materiales como el aluminio y el magnesio.
 - Menor costo y mayor disponibilidad para el soldador.
 - Buena protección con tazas de flujo más bajas.
 - Mayor resistencia a ráfagas transversales.
 - Más facilidad de flujo de arco.
 - Electrodo de tungsteno y su uso.



Fuente: *Catalogo <https://gasex.cl/argon/electrodo-de-tungsteno-en-la-soldadura-tig/>*

FIGURA 2.4.8. Gases utilizados para el proceso TIG.

La llamada mezcla es una combinación de argón y CO_2 que se emplea en soldadura como gas de protección. ¿Y para qué se necesita un gas de protección en la soldadura? Se requiere para proteger el baño de soldadura de la contaminación de la atmósfera. El objetivo es evitar la oxidación y la absorción de nitrógeno del exterior y de esta forma brindarle estabilidad al arco eléctrico. ¡Así de importante es el gas de protección! Las proporciones en las que se combinan estos elementos en la mezcla son: el argón ocupa un 80%, mientras que el dióxido de carbono constituye un 20%.

Otros gases principalmente Helio o mezclas de ellos, también se usan como gas protector. El Helio tiene mayor conductividad térmica que el Argón, lo que permite mayor amperaje en el electrodo y da distintas características en el cordón de la soldadura. Para su empleo buscar recomendaciones especiales según cada caso.

APLICACIONES

El arco formado por un electrodo de tungsteno en una atmósfera de gas inerte provee una intensa fuente de calor, muy limpia y rápida.

Por esta razón el proceso TIG es muy conveniente para soldar en amplio margen de materiales. Este incluye todos los metales o aleaciones que pueden ser fundidos por el arco eléctrico, no se vaporizan por el calor y podrán ser soldados sin grietas.

Los materiales que pueden ser soldados mediante este proceso son la mayoría de los aceros al carbono, aleaciones o aceros inoxidable, aluminio y casi todas sus aleaciones, magnesio y sus aleaciones, cobre, cobre-níquel (aleaciones Monel), níquel-cromo-hierro (aleaciones Inconel) de alta temperatura en varios tipos, virtualmente todas las aleaciones de recubrimientos duros, zirconio, oro, plata y muchos otros.

El proceso está especialmente adaptado para soldar trabajos livianos como cajas de transistores, instrumentos de diafragma, debido al preciso control de calor y la facilidad para soldar con o sin metal de aporte. Este es uno de los pocos procesos que permiten una rápida y satisfactoria soldadura en objetos delgados y livianos. Ver figura 2.4.9



Cobre:

Este metal se funde a 1.085° C y tiene una altísima conductividad térmica (380 vatios por kelvin y metro).



Acero inoxidable:

El punto de fusión va de 1.400 a 1.450° C. A 100° C de temperatura la velocidad de conductividad térmica se da a 28% y a 650° C se da a 66%.



Aceros al carbono:

El punto de fusión se da a 1.540° C. A 100° C la velocidad de conductividad térmica se da a 100%, lo mismo que ocurre a 650° C.



Titanio:

Su punto de fusión a 1.668° y tiene baja conductividad térmica, lo que implica altas probabilidades de deformaciones al momento de soldar.

SOLDADURA DE ACEROS INOXIDABLES CON EL PROCESO TIG

En la soldadura TIG manual el argón es el gas protector más importante para soldar hasta 2 mm. de espesor de acero inoxidable. Para mayores espesores se prefiere una mezcla argón-hidrógeno, especialmente si se desea la máxima velocidad de soldar. Además, esta mezcla permite un menor consumo de gas, puesto que el hidrógeno arde al encontrarse con el arco y forma con ello una capa protectora adicional.

Se recomienda DC (-) pero se puede soldar con AC y alta frecuencia.

Tal como se ha dicho el proceso TIG es el más apropiado para soldar acero inoxidable ya que no existe combustión de elementos de aleación ni pequeñas segregaciones de carbono en la zona influida por el calor. Sin embargo, antes de soldar conviene quitar todo vestigio de

suciedad. Debido al óxido superficial, los cordones aparecen coloreados, lo que puede ser quitado con soluciones de ácido nítrico o fluorhídrico.

La soldadura TIG es la más adecuada para solucionar problemas en la soldadura de acero inoxidable, en núcleos tubulares de paredes delgadas, como son los radiadores térmicos cuyos problemas son evitar la quemadura interior, y la contaminación del metal de aporte ya sea por el fundente o por el aire circundante.

El equipo para la elaboración y almacenamiento de comestibles debe ser limpiado fácil y perfectamente. Por esto las picaduras, porosidad, las inclusiones o las superficies toscas en el interior o exterior de los depósitos y tuberías son inaceptables. La soldadura TIG es quizás el procedimiento de soldadura más nítido y satisface admirablemente estas necesidades.

SOLDADURA DE ALUMINIOS (TIG)

Para soldar el aluminio se ha preferido el uso de corriente AC ya que combina la mayor cantidad de calor en el trabajo generado por la componente DC PD (70%) que tiene más capacidad, para romper la película de óxido de la pieza, resultando en una mejor soldadura.

Tanto rendimiento de las máquinas soldadoras como las variables del proceso, afectan la estabilidad de arco y con ello la calidad de la soldadura. Estas variables son: densidad de corriente, flujo de gas, longitud de arco, tipo de electrodo y metal de aporte. Gas Argón es generalmente usado para soldar este metal.

RECOMENDACIONES GENERALES SOLDADURA TIG

Espesor Metal	Diámetro Electrodo Tungsteno	Diámetro Varilla Aporte (*)	Amperaje (-)	Gas Tipo	Protector Flujo p.c./hr.
ALUMINIO SOLDADURA MANUAL CORRIENTE ALTERNA -- ALTA FRECUENCIA					
1/16"	1/16"	1/16"	60 - 100	Argón	15
1/8"	3/32" - 1/8"	3/32"	120 - 160	Argón	20
3/16"	1/8" - 5/32"	1/8"	180 - 240	Argón	20
1/4"	5/32" - 3/16"	3/16"	240 - 320	Argón	25
ACERO INOXIDABLE SOLDADURA MANUAL - CORRIENTE DIRECTA -- ALTA FRECUENCIA					
1/16"	1/16"	1/16"	40 - 70	Argón	15
1/8"	3/32"	3/32"	65 - 110	Argón	15
3/16"	3/32"	1/8"	100 - 150	Argón	20
1/4"	1/8"	5/32"	135 - 180	Argón	20
ACERO DULCE SOLDADURA MANUAL CORRIENTE DIRECTA -- POLARIDAD DIRECTA					
1/16"	1/16"	1/16"	60 - 90	Argón	15
1/8"	1/16" - 3/32"	3/32"	80 - 115	Argón	15
3/16"	3/32"	1/8"	115 - 170	Argón	20
1/4"	1/8"	5/32"	160 - 210	Argón	20

BIBLIOGRAFÍA:

- 1.- <https://joanbonetm.wordpress.com/2019/06/18/historia-de-la-soldadura/>
- 2.- Instituto nacional de seguridad e higiene en el trabajo, Ministerio de trabajo y asuntos sociales
España 2019.
- 3.- Manual de electrodos para soldar. Electrodo Infra, nuevos productos 2020.
- 4.- Manual OXGASA (Infra del Salvador S.A. DE C.V)
- 5.- Catálogo de electrodos comunes, especiales y gases para soldadura, Aga versión digital 2.0.
- 6.- <https://gasex.cl/argon/electrodo-de-tungsteno-en-la-soldadura-tig/>
España 2019.

2.5 PROCESO SUBMERGED ARC WELDING (SAW) O SOLDADURA POR ARCO SUMERGIDO (SAS).

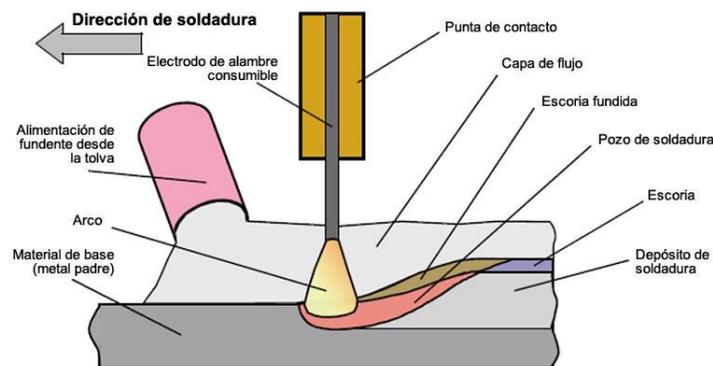
El proceso SAW se fundamenta en la fusión de un electrodo continuo, macizo o tubular, protegido por la acción de un fundente aplicado en forma granular o en polvo, así como el arco eléctrico alimentado por un equipo apropiado para el proceso (Martín, 2008).

El desarrollo de las soldaduras automática y semiautomática por arco sumergido es uno de los logros más importantes en el campo de la técnica de soldadura. Este proceso se caracteriza por el hecho de que el arco eléctrico se establece entre la punta del electrodo y la pieza bajo una capa de fundente de un espesor aproximado de 50-60 mm (Sola, 1998).

En la figura 2.5,1 se observa este proceso donde el arco eléctrico está sumergido en una capa de fundente que lo cubre totalmente protegiendo el metal depositado durante la soldadura. Además, al igual que en los demás procesos de soldadura por arco, este es un proceso en el cual el calor es aportado por un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo.

Una ventaja del proceso es que, estando el arco completamente encerrado, pueden utilizarse intensidades de corriente extremadamente elevadas (200 a 2000 Amperes) sin chisporroteo o arrastre de aire. Las intensidades elevadas producen una penetración profunda y el proceso es térmicamente eficiente, puesto que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha. Es un proceso de alta dilución, en el que aproximadamente se funde dos veces más metal base que electrodo. La cantidad de polvo fundente fundido durante la soldadura es aproximadamente la misma en peso que la de alambre fundido, y se deja sobre el cordón de soldadura como una capa de escoria vítrea. Bajo esta escoria el metal soldado tiene una superficie lisa, casi sin ondulaciones, debido al alto aporte de calor que produce un baño de soldadura grande que solidifica lentamente en contacto con la escoria relativamente fluida. Las soldaduras obtenidas por arco sumergido son notables por su apariencia limpia y contornos lisos. El polvo fundente no fundido durante la operación de soldadura es posible recuperarlo para utilizarla nuevamente, pero debe tenerse cuidado que no esté contaminado. Cuando se hace la soldadura en superficies inclinadas o cerca de los cantos es necesario un estante o un dispositivo similar para soportar el fundente (O'Brien, 2005).

La soldadura por arco sumergido, al fundir el metal base con una considerable profundidad de fusión, permite disminuir el ángulo de preparación de bordes a soldar y a veces sin realizar preparación previa.



Fuente. (Martín 2008)

Figura 2.5.1 Soldadura por arco sumergido

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

En la figura 2.5.2 se muestran los componentes de la instalación para este proceso de soldadura. La corriente eléctrica se conduce entre el electrodo y el metal fundido a través de un plasma gaseoso inmerso en el fundente. La potencia es suministrada por un generador, transformador – rectificador o un transformador y se conduce al alambre (electrodo) a través del tubo de contacto, produciéndose el arco entre aquel y el metal base. El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base, formando la soldadura que produce la unión. En los equipos de este tipo hay un mecanismo que tracciona el alambre y lo conduce a través del tubo de contacto y de la capa de fundente hasta el metal base. Los alambres utilizados son generalmente aceros de bajo carbono y de composición química perfectamente controlada; el alambre se encuentra usualmente enrollado en una bobina. El fundente se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura. Cuando se solidifica, se extrae el exceso para utilizarlo nuevamente y el fundido se elimina mediante un piqueteado. En los equipos modernos existe una aspiradora que absorbe el excedente de fundente y lo envía nuevamente a la tolva de alimentación (O'Brien, 2005).

Este procedimiento se aplica solamente a la soldadura de piezas en aceros al carbono, aleados o con baja aleación, y en aceros inoxidables o refractarios.

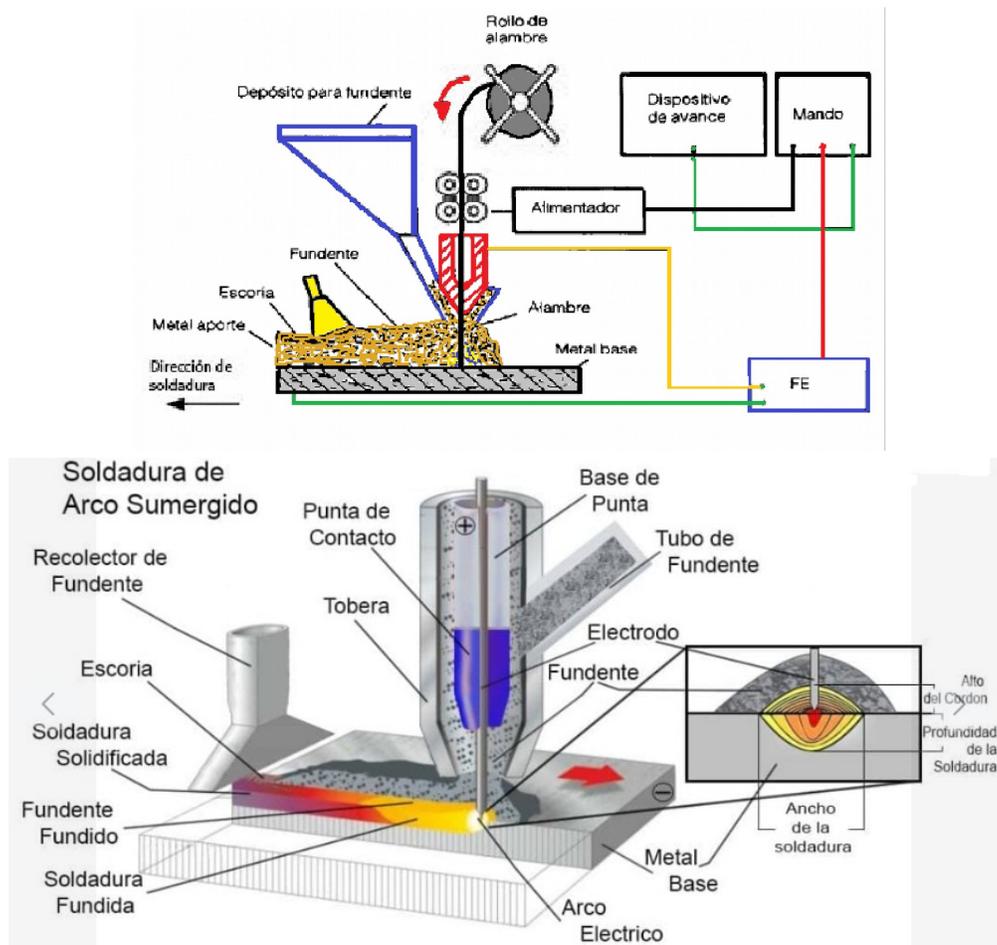


Figura 2.5.2 Esquemas de los componentes de la instalación del proceso SAW

Fuente. (Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002).

EQUIPO REQUERIDO PARA REALIZAR LA OPERACIÓN

El equipo de soldadura por arco sumergido consta de una máquina de soldar o fuente de energía, un alimentador de alambre y el sistema de control, antorcha de soldadura para soldadura automática o el conjunto de pistola y cable de soldadura para soldadura semiautomática, la tolva de flujo y el mecanismo de alimentación, generalmente un sistema de recuperación de flujo.

Existen varias formas de aplicación del proceso, estos pueden ser:

Semiautomático: Utiliza un dispositivo en forma de pistola de soldar manipulada manualmente que se encarga de alimentar el alambre y el fundente. La velocidad de avance puede darse de forma manual o mediante un pequeño mecanismo montado en dicha pistola.



Antorcha Profax para Arco Sumergido - Cono Fundente

Marca: Profax

La Antorcha Profax para Arco Sumergido - Cono Fundente cuenta con un diseño y tecnología de alta calidad. Está enfocada en generar rendimiento a tu productividad, mejorando los costos y reduciendo gastos de tu compañía.

Figura 2.5.3 Utiliza un equipamiento que realiza la soldadura sin requerir un operario que ajuste los controles.



FUENTE PARA ARCO SUMERGIDO DF-1000
⚡ Corriente de alimentación: 3Ph - 220/380/440V
⚡ Ciclo de trabajo: 1000A al 100%
⚡ Rango de corriente de soldadura: 200 - 1000A
⚡ Rango de voltaje de soldadura: 22.4 - 44V
TRACTOR DE ARCO SUMERGIDO DF-7S
⚡ Porta carrete de 25Kg

Figura 2.5.4 Emplea un equipamiento (tractor de soldadura con mecanismo de alimentación del alambre, mecanismo de avance y panel de control), este debe ser monitoreado por un operario. Fuente para arco sumergido, 1000 Amperios.

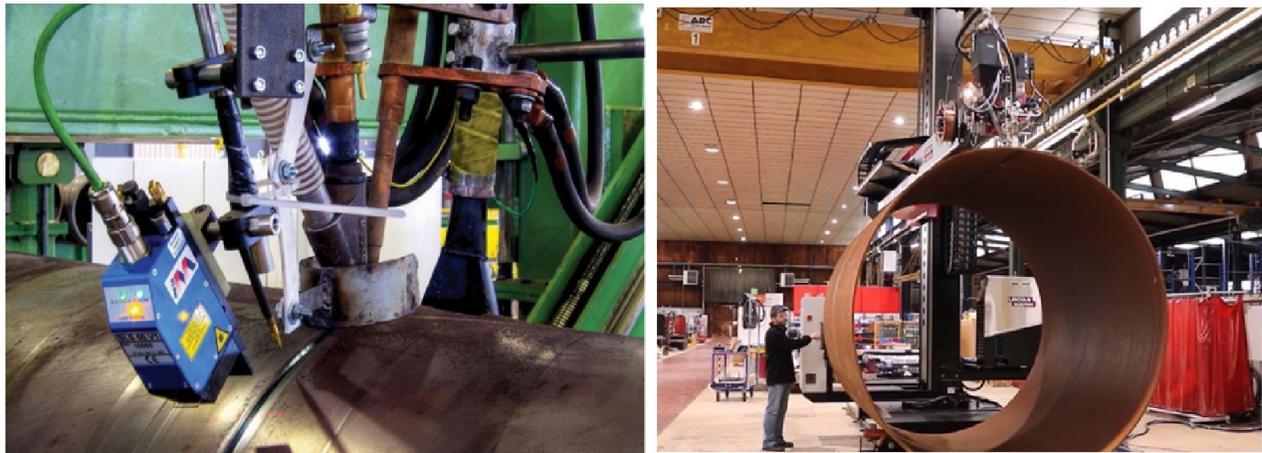


Figura 2.5.5 Equipo para soldadura en formato cilíndrico.
Fuente. Lincolnelectric.Submerged-Arc-Welding-Equipment

INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL RÉGIMEN DE SOLDADURA EN LA FORMA Y DIMENSIÓN DEL CORDÓN.

La selección de condiciones de soldadura más conveniente para el espesor de chapa y preparación de junta a soldar es muy importante, para lograr soldaduras libres de defectos. Los parámetros considerados son: (O'Brien, 2005; Tejeda, 2014; Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, 2002):

Polaridad:

Con corriente continua positiva, CC (+) se logra mayor penetración, mejor aspecto superficial y mayor resistencia a la porosidad (Polaridad inversa).

Con corriente continua negativa, CC (-) se obtiene mayor velocidad de deposición con menor penetración (Polaridad directa).

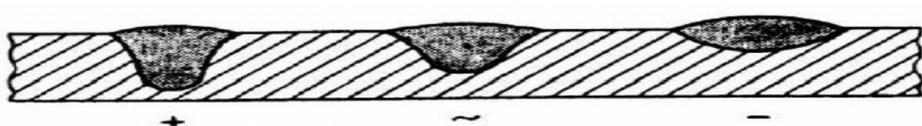


Figura 2.5.6: Influencia del tipo de corriente y polaridad sobre la forma del cordón.

Corriente de soldadura:

Con el aumento de la intensidad de la corriente de soldadura aumenta la penetración y la velocidad de deposición. También es importante mencionar que una intensidad excesiva produce un arco penetrante y mordeduras, o un cordón estrecho con refuerzo excesivo, por otro lado si la intensidad es demasiado baja el arco es inestable y se producirá falta de penetración.

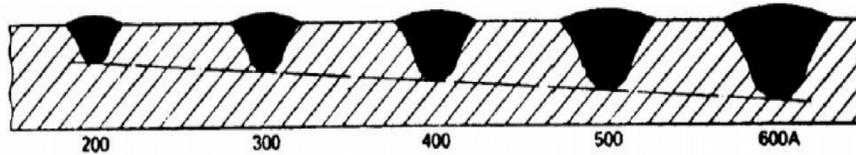


Figura 2.5.7: Influencia de la intensidad de corriente en el aspecto del cordón.

Tensión del arco:

Al aumentar la tensión se incrementan la dilución y el ancho del cordón, disminuyendo la sobremonta. Al mismo tiempo aumenta la cantidad de fundente que se funde con igual cantidad de alambre, lo que afecta a la composición química del metal de soldadura en el caso de emplear fundentes activos. El voltaje determina fundamentalmente la geometría del cordón; por cada volts que se aumente, se está aumentando la potencia de fusión en un 1 % y la dilución en conjunto con el gasto de fundente en un 10%.

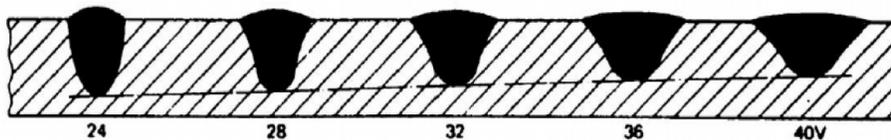


Figura 2.5.8 : Efecto de la tensión en el aspecto del cordón.

Velocidad de avance:

Al aumentar la velocidad de traslación del arco disminuye el calor aportado por unidad de longitud del cordón de soldadura, como también hay menor cantidad de aportación del metal y una disminución del refuerzo del cordón, y este aumento de velocidad de soldeo puede provocar un ligero aumento en la penetración.

Por otro lado si la velocidad es demasiado baja el cordón de soldadura tendrá un refuerzo excesivo que favorece la formación de grietas, y un baño de fusión de grandes dimensiones, con tendencia a formar inclusiones de escoria, y costuras con acabado más pobre.

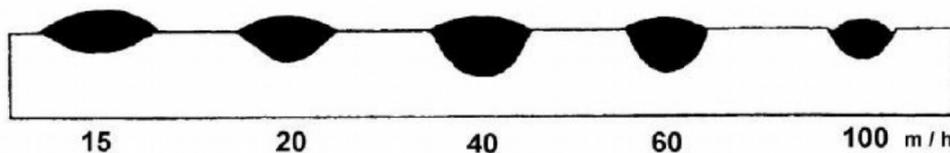


Figura Figura 2.5.9: Efecto de la velocidad de soldadura sobre el aspecto del cordón.

Es necesario mencionar la influencia de otros parámetros como el diámetro del alambre, aumentando el diámetro se reduce la penetración pero el arco se torna más inestable y se dificulta su encendido. Así como y el espesor de la capa de fundente, una cama de fundente de poco espesor puede producir porosidad por una inadecuada protección del metal fundido. Por otro lado, una cama muy gruesa reduce el aspecto del cordón y puede conducir a derrames del metal fundido en soldaduras circunferenciales y producir dificultades para la remoción de la escoria en chaflanes profundos.

El proceso SAW puede utilizar corriente alterna o continua, y la fuente de corriente puede estar regulada con una Curva de Característica Estática de Corriente Constante o de Voltaje Constante. La elección más común, o para las aplicaciones más usuales es trabajar con una fuente de corriente regulada en Voltaje Constante y con el electrodo consumible en polaridad positiva. La clase de corriente y la polaridad influyen en la composición química del metal aportado y en la forma del cordón (Martín, 2008).

VENTAJAS Y LIMITACIONES

Ventajas

El empleo de esta soldadura posibilita que las juntas pueden ser preparadas en “V” con poca profundidad debido a la elevada penetración del proceso que permite reducir notablemente, o incluso suprimir el achaflanado en ciertos casos, obteniéndose con esto un menor consumo de alambre y fundente, bajo precio de costo del cordón de soldadura, dado que la cantidad de metal a aportar es a menudo mucho más reducida que con los demás procedimientos de soldadura, es característico las altas velocidades debido a la elevada intensidad con que se opera en la mayoría de las aplicaciones, deformaciones reducidas, cordones de soldadura de muy buen aspecto, no es necesario proteger al operador de la máquina de la emisión de radiación, ya que el arco se encuentra sumergido en el fundente, evitándose además las salpicaduras del metal fundido, no hay escape de humo y el fundente actúa como un desoxidante protegiendo el arco y aportando elementos de aleación al cordón en el caso de emplear fundentes aleados, tiene un campo de aplicación muy extenso que permite usos muy variados como son: soldadura de chapas delgadas, soldadura de chapas espesas, soldadura de acero blando, aleados o inoxidable, trabajos de reconstrucción de piezas y de mantenimiento con los productos de aporte apropiados, de obtener juntas con excelentes características mecánicas (O'Brien, 2005; Air Liquide, 2016).

Limitaciones

Este proceso posee varias desventajas como: el tiempo de preparación mayor que otros, algunas soldaduras requieren algún tipo de respaldo para evitar la perforación del metal base, no permite la soldadura de chapas de poco espesor (inferior a 1,5 mm) teniendo en cuenta la fuerte penetración, está limitada, salvo a disposiciones particulares, a la ejecución de soldaduras situadas a la posición de soldadura plana y horizontal, no se aplica más que a los aceros al carbono, aleados o no, así como a los aceros inoxidables y refractarios, a partir del espesor de 16 mm, no se puede efectuar más el enlace de piezas borde a borde, es entonces necesaria una preparación de las piezas (chaflán) (O'Brien, 2005; Air Liquide, 2016).

APLICACIÓN

La soldadura por arco sumergido ha encontrado su principal aplicación en los aceros suaves de baja aleación, aunque con el desarrollo de fundentes adecuados el proceso se ha usado también para el cobre, aleaciones a base de aluminio y titanio, aceros de alta resistencia, aceros templados y revenidos y en muchos tipos de aceros inoxidable. También se aplica para recubrimientos duros y reconstrucción de piezas. Es un método utilizado principalmente para soldaduras horizontales de espesores por encima de 5mm, en que las soldaduras sean largas y rectas. Pueden soldarse espesores hasta doce milímetros sin preparación de bordes mientras que con preparación de bordes el espesor máximo a unir es prácticamente ilimitado (O'Brien, 2005).

Este método es ampliamente utilizado, tanto para soldaduras a tope como en T, en construcción naval e industrias de recipientes a presión, estructuras metálicas, tubos y tanques de almacenaje; para esta última finalidad se utilizan máquinas especiales autopropulsadas, con un dispositivo para contener el fundente, para soldar las costuras circulares.

BIBLIOGRAFÍA:

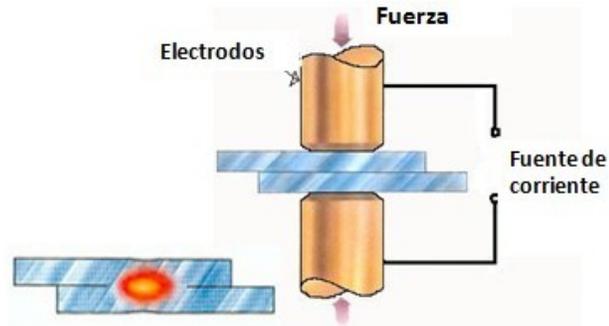
- 1.- Martín, Á. (2008). ``Soldeo por Arco Sumergido`` en Revista *SolySol [En Linea]*.
Disponible <http://www.solysol.com.es>[Accesado el 20 de abril de 2016].
- 2.- Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV, (2002) Principales Procesos de Soldadura. Cuba, Grupo de Tecnología de Soldadura y Recuperación de Piezas CIS-UCLV.
- 3.- Díaz, C., (2005) *Obtención de ferroaleaciones al cromo manganeso, mediante aluminotermia, para la fabricación de consumibles de soldadura*. Tesis de Grado. Cuba, CIS, UCLV.
- 4.- Burgo, J., (1998) *Tecnología de Soldadura*, Cuba, Editorial Pueblo y Educación.
- 5.- <https://www.codinter.com/co/producto/antorcha-profex-para-arco-sumergido-cono-fundente/>
- 6.- <https://es-la.facebook.com/soldamundoperu/photos/fuente-para-arco-sumergido-df-1000corriente-de-alimentaci%C3%B3n-3ph-220380440vciclo-/2031236763669550/>
- 7.- <https://www.permanentsteel.com/es/m/newsshow/submerged-arc-welding.html>

CAPÍTULO 3

SOLDADURA POR RESISTENCIA.

3.1 GENERALIDADES.

La soldadura por resistencia eléctrica se basa en el calentamiento que se produce en los materiales por el paso de una corriente eléctrica a través de ellos y la fuerza o presión que se hace sobre las superficies a unir mediante los electrodos. La resistencia que ofrecen los materiales al paso de la corriente eléctrica genera un calentamiento localizado hasta llegar a la temperatura adecuada para lograr la unión de los materiales, de forma que en ese momento se aplica la presión suficiente para que las piezas a unir queden soldadas.



Fuente: bearcat.es/la-soldadura-por-resistencia

FIGURA 3.1 Soldadura por puntos por resistencia.

Este tipo de soldadura es el más utilizado para la unión de láminas de acero de espesores pequeños o medianos, debido a sus buenas características, localización y rapidez. La unión localizada punto a punto frente a un cordón de soldadura continuo produce un menor calentamiento de las superficies de las chapas a soldar. Las máquinas permiten controlar y regular la corriente eléctrica según el espesor de las chapas y que es aplicada en el menor tiempo posible. Por ello, es importante que el equipo de soldadura disponga de la potencia eléctrica suficiente de acuerdo con los espesores a soldar para lograr la fusión del material y ser capaz de ejercer la presión necesaria para completar el proceso de soldadura. De este modo, en los procesos de soldadura por resistencia, los principales parámetros que influyen en el proceso son la intensidad de la corriente eléctrica, la presión en el punto y el tiempo empleado en el proceso. Otro parámetro fundamental, es la resistencia eléctrica de los materiales a unir, pero este parámetro no puede regularse ya que depende de la propia naturaleza de los materiales.

3.2 VARIANTES DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.

En particular el proceso de soldadura por resistencia tiene algunas variantes, las cuales se describen a continuación:

SOLDADURA POR PUNTOS

La soldadura por puntos es el proceso de soldadura por resistencia más usado para la unión de piezas formadas con chapas y láminas de espesores pequeños o medianos. En su aplicación más simple, la soldadura por puntos consiste en prensar dos o más piezas de metal laminado entre dos electrodos de cobre o de una aleación de cobre, y pasar una corriente eléctrica durante tiempo suficiente para dar lugar a la fusión en la zona de contacto de los electrodos y realizar la unión de las piezas metálicas (en un punto específico). La fabricación de piezas con este método es muy rápida. Generalmente los espesores del material alcanzan hasta 3mm, pero es posible soldar hasta 6mm o un poco más. Actualmente se fabrican varios productos aplicando soldadura por puntos tales como automóviles, muebles, herramientas, utensilios de cocina, etc.



Fuente: bearcat.es/la-soldadura-por-resistencia

FIGURA 3.2 Soldadura por puntos por resistencia.

La figura 3.2 muestra el proceso de soldadura por puntos por resistencia. Un punto de soldadura se produce mediante una corriente eléctrica (en amperes), la cual circula desde un electrodo al otro a través de las láminas a ser soldadas encontrando a su paso una resistencia, la cual genera energía que se convierte en calor. El calor producido es directamente proporcional al valor de la resistencia, la energía calorífica aplicada a la operación de soldadura depende del flujo de corriente, la resistencia del circuito y el intervalo de tiempo en que se aplica la corriente.

Esto se expresa mediante la ecuación 3.1:

$$H = RTI^2 \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde: H = calor generado, en Watts (W).
 I = corriente, en Ampers (A);
 R = resistencia eléctrica, en Ohms (Ω).
 T = tiempo, en segundos.

El tamaño y la forma del punto de soldadura se determina por medio de la punta del electrodo, la forma de electrodo más común es redonda; pero también se usan formas hexagonales, cuadradas y otras formas. La pepita de soldadura resultante tiene normalmente un diámetro de 5 a 10 mm, con una zona afectada por el calor que se extiende un poco más allá de la pepita dentro de los metales base. Si la soldadura se hace correctamente, su resistencia es comparable con la del metal circundante. El ciclo en una operación de soldadura por puntos se muestra la figura 3.3

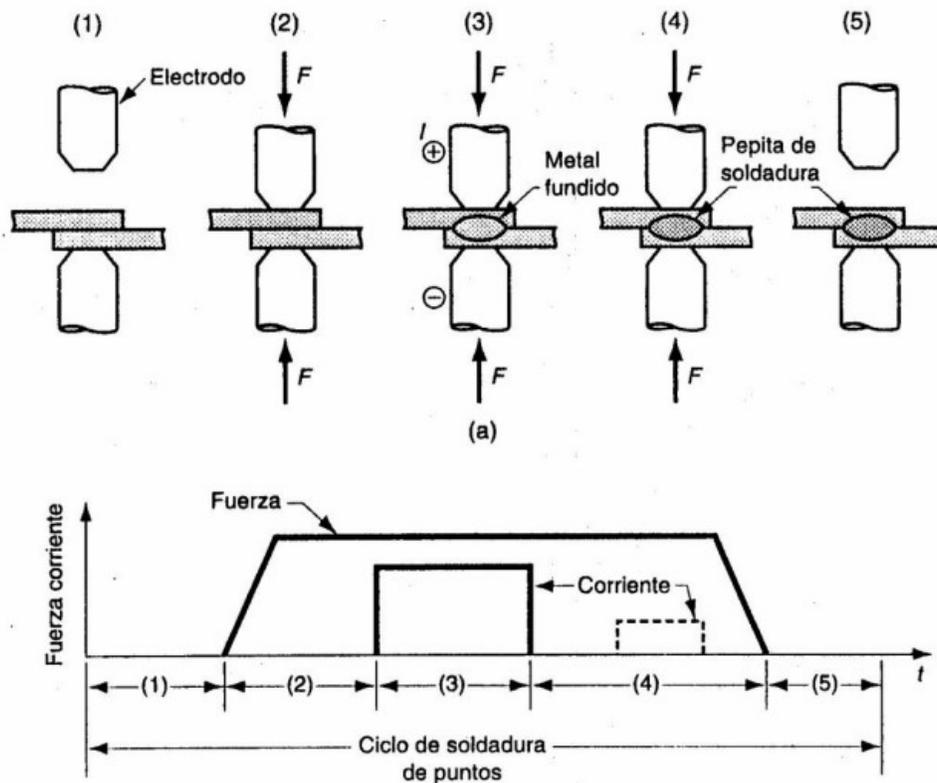


FIGURA 3.3: (a) Pasos en un ciclo de soldadura por puntos, y (b) gráfica de la fuerza de presión y la corriente durante el Ciclo.

Como se observa en la figura 3.3, la secuencia de soldadura por puntos es: (1) partes insertadas entre los electrodos abiertos, (2) los electrodos se cierran y se aplica una fuerza, (3) tiempo de soldadura (se activa la corriente), (4) se desactiva la corriente, pero se mantiene o se aumenta la fuerza (en ocasiones se aumenta una corriente reducida cerca del final de este paso para liberar la tensión en la región de la soldadura) y (5) se abren los electrodos y se remueve el ensamble soldado.

SOLDADURA ENGARGOLADA POR RESISTENCIA (COSTURA).

Cuando se requiere una soldadura hermética, un cordón de soldadura, se podría pensar en dar puntos uno junto a otro, "cosiendo" las piezas. La soldadura por costura consiste en el enlace continuo de dos piezas de lámina traslapadas. La unión se produce por el calentamiento obtenido por la resistencia de las piezas al paso de la corriente y la presión constante que se ejerce por dos electrodos circulares. Este proceso de soldadura es continuo, por lo que se emplean dos discos-electrodo (de cobre electrolítico) que, al girar, van efectuando un cordón de soldadura. El proceso produce uniones herméticas y sus aplicaciones industriales incluyen la producción de tanques de gasolina, silenciadores de automóviles y otros recipientes fabricados con láminas de metal. Técnicamente la soldadura engargolada por resistencia (RSEW resistance seam welding), es igual que la soldadura de puntos, excepto que los electrodos son en forma de discos o rodillos. Dado que la operación generalmente se realiza en forma continua, y no separada, las formas engargoladas deben estar a lo largo de una línea recta o uniformemente curva. Las esquinas agudas e irregularidades similares son difíciles de manejar. Así mismo, la distorsión de las piezas es el factor más significativo y frecuente en la soldadura engargolada por resistencia, por esta causa se requieren soportes bien diseñados para sostener las piezas de trabajo en la posición correcta y reducir así, la distorsión. El espaciamiento entre las pepitas de soldadura en la RSEW depende del movimiento de las ruedas de electrodos relacionado con la aplicación de la corriente de soldadura. En el método usual de operación, denominado soldadura de movimiento continuo, la rueda gira en forma continua a una velocidad constante y la corriente se activa a intervalos de tiempo que coinciden con el espaciamiento deseado entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado. Normalmente, la frecuencia de las descargas de corriente se establece para que se produzcan puntos de soldadura sobrepuestos. Pero si se reduce bastante la frecuencia, habrá espacios entre los puntos de soldadura y este método se denomina soldadura de puntos con rodillo. En otra variante, la corriente de soldadura permanece en un nivel constante (en lugar de activarse y desactivarse), por lo que se produce un engargolado de soldadura verdaderamente continuo. Estas variaciones se muestran en la figura 3.4. Una alternativa para la soldadura del movimiento continuo es la soldadura de movimiento intermitente, en la cual la rueda de electrodos se detiene periódicamente para hacer la soldadura por puntos. La cantidad de rotación de rueda entre las detenciones determina la distancia entre los puntos de soldadura a lo largo del engargolado, produciendo patrones similares a los de las piezas (a) y (b) de la figura 3.4 y la figura 3.5 en la que se muestra el equipo empleado, así como el proceso de soldadura por costura.

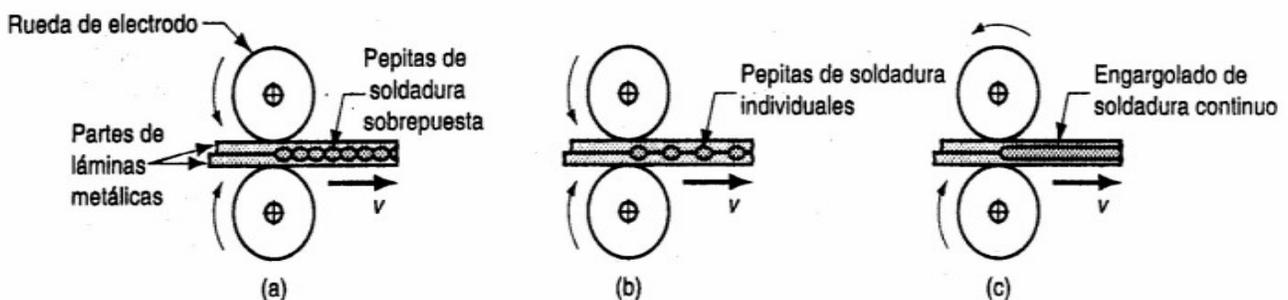


FIGURA 3.4: Diferentes tipos de engargolados producidos por ruedas de electrodos: (a) soldadura de engargolado por resistencia convencional, en la cual se producen puntos sobre puestos, (b) soldadura de puntos en rollo y (c) soldadura por resistencia continua.



FIGURA 3.5 Equipo y proceso de soldadura por costura.

SOLDADURA POR PROYECCIÓN (PROTUBERANCIA)

La Soldadura por Proyección (RPW resistense projection welding,) es un proceso de soldadura por resistencia en el cual ocurre la coalescencia en uno o más puntos de contacto relativamente pequeños en las piezas. Estos puntos de contacto se determinan mediante el diseño de las piezas que se van a unir y pueden consistir en proyecciones, grabados o intersecciones localizadas en las mismas. Un caso normal en el cual se sueldan dos piezas de lámina de metal se describe en la figura 3.6. La pieza superior se ha fabricado con dos puntos grabados para entrar en contacto con la otra pieza al principio del proceso. Puede argumentarse que la operación de grabado aumenta el costo de la pieza, pero este incremento queda más que compensado por los ahorros en el costo de la soldadura.

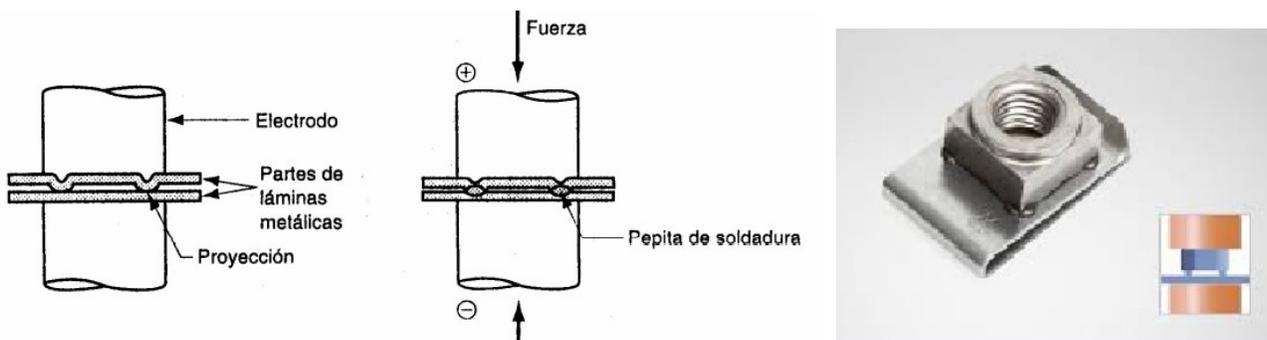


FIGURA 3.6 soldadura por proyección.

En la soldadura por proyección, la canalización o localización del paso de corriente se realiza mediante protuberancias o proyecciones practicadas en uno de los materiales a soldar. Las protuberancias pueden ser de diversas formas y en algunos casos las propias piezas presentan protuberancias. Una ventaja importante de la soldadura por proyección es que se pueden soldar varios puntos simultáneamente sin tener que recurrir a máquinas multipunto.

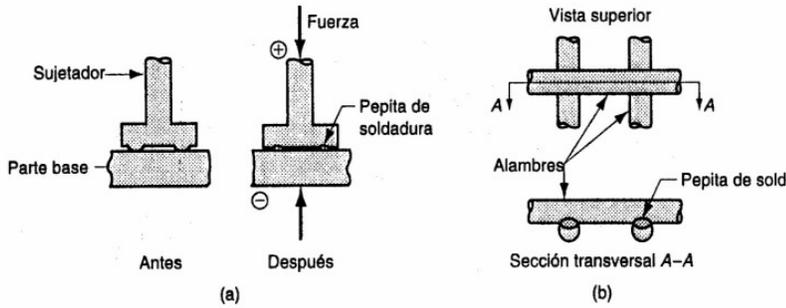


FIGURA 3.7 Dos variables de soldadura por proyección: (a) soldadura de un sujetador maquinado o formado sobre una parte de chapa de metal y (b) soldadura de alambre transversal.

La figura 3.7 muestra dos variables de la soldadura por proyección. En una, es posible unir permanentemente sujetadores con proyecciones maquinadas o formadas en láminas o placas mediante soldadura por resistencia (RW), lo que facilita las operaciones de ensamble subsecuentes. Otra variable, llamada soldadura de alambre transversal, se usa para fabricar productos de alambre soldados, tales como alambrados, carros para supermercado y parrillas de estufas. En este proceso, las superficies de los alambres redondos que hacen contacto funcionan como las proyecciones y permiten ubicar el calor de resistencia para la soldadura.

SOLDADURA INSTANTÁNEA

La soldadura instantánea (flash welding, FW), usada normalmente para uniones a tope, se ponen en contacto o se acercan las dos superficies que se van a unir y se aplica una corriente eléctrica para calentar las superficies hasta su punto de fusión, después de lo cual las superficies se oprimen juntas para formar la soldadura. Los dos pasos se detallan en la figura 3.8. Además del calentamiento por resistencia, se generan ciertos arcos (llamados destellos instantáneos de ahí el nombre) dependiendo del alcance del contacto entre las superficies, por lo que la soldadura instantánea se clasifica en ocasiones en el grupo de soldadura con arco eléctrico.

Por lo general, la corriente se detiene durante el recalado, se desborda un poco de metal de la unión, al igual que materiales contaminantes en las superficies, que después debe maquinarse para proporcionar una unión de tamaño uniforme. Las aplicaciones de la soldadura instantánea incluyen las soldaduras de tiras de acero en operaciones con laminadoras, la unión de extremos en el estirado de alambres y la soldadura de partes tubulares, así como en la unión de cintas de cierras cortantes. Los extremos que se van a unir deben tener las mismas secciones transversales. Para estos tipos de aplicaciones de alta producción, la soldadura instantánea es rápida y económica, pero el equipo es costoso.

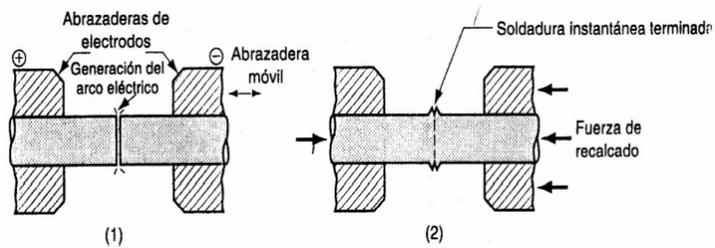


FIGURA 3.8 Soldadura instantánea (FW); (1) calentamiento mediante resistencia eléctrica y (2) recalcado (las piezas se presionan una contra la otra).

SOLDADURA A TOPE

Cuando en la unión de dos piezas, toda la superficie en contacto entre ellas forma parte de la soldadura, se le conoce como soldadura a tope. Este tipo de soldadura debe de cumplir con el objetivo común de todos los procesos de soldadura por resistencia, llevar a las superficies a soldar hasta la temperatura de fusión y aplicarles la presión de soldadura necesaria entre ellas según la sección a soldar. Este proceso es empleado principalmente para la unión de placas, tubos y piezas especiales. En el proceso los materiales son apretados entre sí por dos electrodos, discos y solda solo la parte por la que la corriente ha sido canalizada: un punto, varios puntos, un cordón, no toda la superficie del material. En la soldadura a tope, las piezas son sujetas por mordazas conectadas a la fuente de energía (transformador de potencia), la corriente pasa por toda la superficie de contacto entre materiales. En la figura 3.9 se muestra el proceso para soldar a tope.

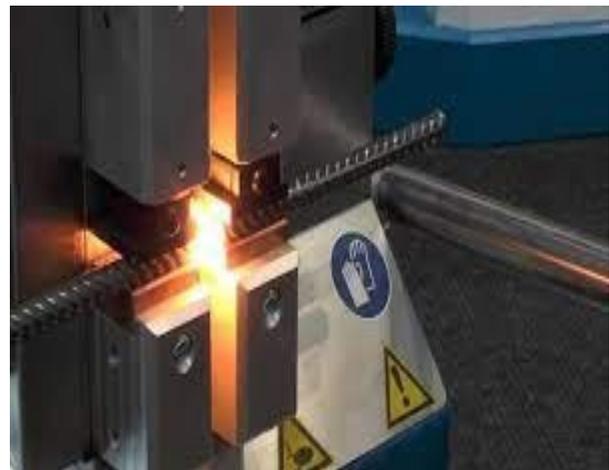
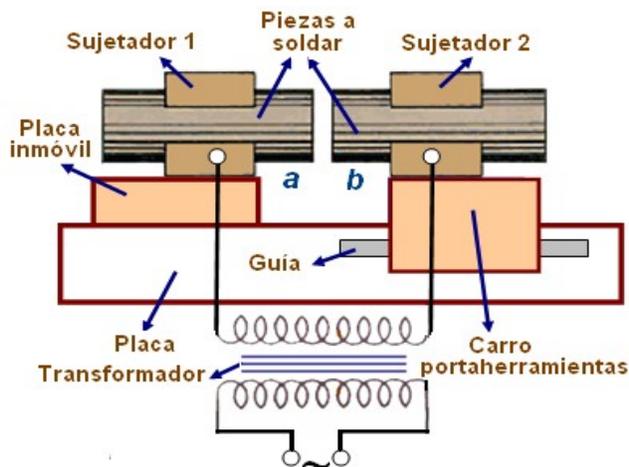


FIGURA 3.9 Proceso para soldar a tope.

La soldadura a tope se subdivide en:

- Tope por Resistencia Pura: Durante todo el tiempo de paso de corriente las dos piezas son apretadas entre sí por la máquina.
- Tope por chispas o chisporroteo: Durante el tiempo de paso de corriente las dos piezas no se mantienen completamente en contacto, sino mantenidas a una pequeña distancia que

produzca pequeños contactos. Estos contactos van saltando chispas (cierto arqueo eléctrico) y se va produciendo un calentamiento. Solo al final del recorrido de la mesa móvil se da un avance a presión de forja. La resistencia de la junta soldada es mayor en chisporroteo que en resistencia pura.

SOLDADURA POR CHISPORROTEO

Las superficies para soldar se colocan extremo a extremo. Este proceso se subdivide en precalentamiento, chispazo y abultamiento. El precalentamiento se lleva a cabo bajo una leve presión de soldadura. Una vez que se calientan los puntos de unión, comienzan los chispazos provocando su rápida fusión. Tras cesar los chispazos, se produce un abultamiento irregular hacia el exterior donde se expulsan óxidos e inclusiones. Algunos ejemplos de artículos en donde se aplica este tipo de soldadura son: En barras, cadenas, tuberías y vías ferroviarias. En la figura 3.10 se muestra un ejemplo de soldadura por chisporroteo.

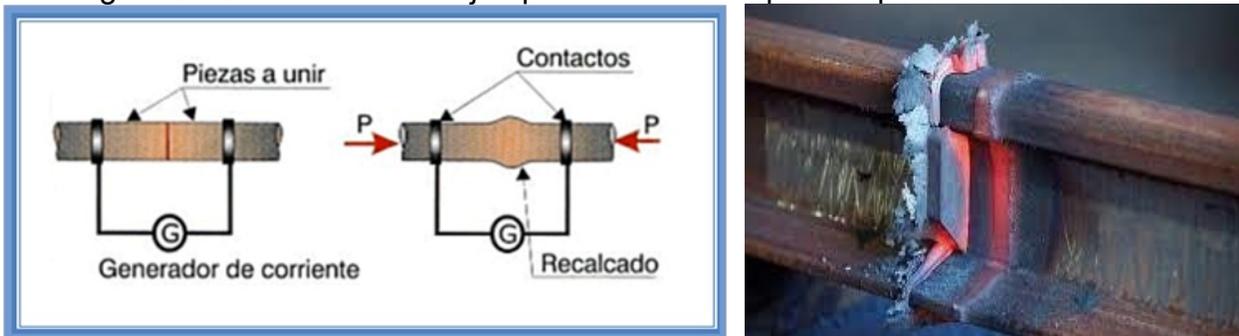


FIGURA 3.10 Soldar a tope por chisporroteo.

SOLDADURA POR RESISTENCIA DE ALTA FRECUENCIA

La soldadura por resistencia de alta frecuencia (high-frequency resistance welding, HFRW), es un proceso en el cual se usa una corriente alterna de alta frecuencia para el calentamiento, seguido de la aplicación rápida de una fuerza de recalcado para producir coalescencia, igual que en la figura 3.11 (a). Las frecuencias están en el rango de 500 KHz. y los electrodos hacen contacto con el trabajo en la vecindad inmediata de la unión soldada. En una variación de este proceso, denominada soldadura por inducción de alta frecuencia, (high-frequency induction welding, HFIW), la corriente de calentamiento se induce en las piezas mediante un rollo de inducción de alta frecuencia, igual que en la figura 3.11 (b). El rollo no hace contacto físico con el trabajo. Las aplicaciones principales de la soldadura por resistencia de alta frecuencia HFRW y de la soldadura por inducción de alta frecuencia HFIW son la soldadura empalmada de engargolados longitudinales en conductos y tubos metálicos. En la figura 3.11 se muestra un ejemplo de soldadura mediante engargolado de tubos por resistencia de alta frecuencia y por inducción de alta frecuencia.

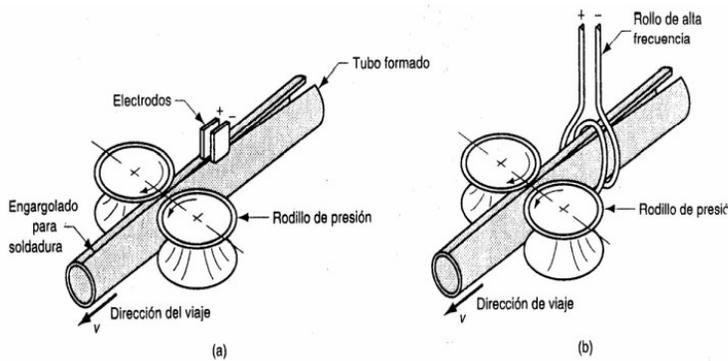


FIGURA 3.11 Soldadura de engargolados de tubos mediante; (a) soldadura por resistencia de alta frecuencia y (b) soldadura por inducción de alta frecuencia.

3.3 FACTORES QUE INTERVIENE PARA LA REALIZACIÓN DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA.

Los factores importantes para la formación apropiada del área fundida entre las piezas a ser soldadas son; la magnitud de la corriente, el tiempo durante el cual fluye, y la fuerza al presionar las piezas juntas. El valor óptimo de esos parámetros varía con el tipo de metal y su grosor. Un valor típico de corriente es de 10.000 amperes, por un tiempo de $\frac{1}{4}$ de segundo, y una fuerza en los electrodos de 600 libras. Los parámetros de soldadura por resistencia están disponibles a través de la sociedad americana de soldadura (AWS), de la asociación de fabricantes de soldadura por resistencia y de la mayoría de los fabricantes de máquinas para soldadura por resistencia.

CORRIENTE DE SOLDADURA ADECUADA

Una corriente de 10.000 amperes no está disponible en cualquier tomacorriente estándar. La máxima corriente disponible en los tomacorrientes de casa y oficinas es de 15 amperes. Aún en las fábricas donde se utilizan grandes cantidades de energía eléctrica, 200 amperes es la corriente disponible en los circuitos de distribución eléctrica. Sin embargo, para conseguir los 10.000 amperes necesarios para la soldadura por resistencia hay algunos dispositivos que deben usarse para aumentar la corriente desde un nivel relativamente bajo en la línea de energía. El dispositivo usado generalmente es un transformador. Los transformadores son considerados como un variador ya sea para aumentar o disminuir el voltaje, pero la corriente también puede ser transformada de la misma manera. Un transformador consta de 2 bobinas de alambre, llamadas primaria y secundaria, enrolladas en un núcleo de hierro. La energía es transferida del primario al secundario por medio de las propiedades magnéticas del hierro. El factor por el cual la corriente o voltaje es aumentada o disminuida es aproximadamente igual al cociente entre el número de vueltas del alambre en las bobinas formando los enrollados

primario y secundario del transformador. La figura 3.12 presenta el tipo de transformador usado en soldadura por resistencia.



FIGURA 3.12 Transformador ROMAN utilizado en la soldadura por resistencia.

DURACIÓN DEL TIEMPO DE LA CORRIENTE DE SOLDADURA

La duración del tiempo en que la corriente de soldadura fluye a través de las dos piezas de metal a ser soldadas es también un factor muy importante. Sin embargo, el dispositivo usado para encender y apagar la corriente es una parte crítica del sistema. Un interruptor operado manualmente puede ser considerado como un dispositivo de conmutación, pero será inadecuado porque opera a una velocidad relativamente lenta. Sin embargo, deben de usarse dispositivos electrónicos que no tengan partes móviles para realizar esta conmutación, existen dos dispositivos disponibles, el tubo de ignitrón, que ha sido utilizado durante muchos años es uno de ellos, y el rectificador controlado de silicio (SCR), recientemente desarrollado, es el otro y el más utilizado en la actualidad. Ambos operan con una pequeña señal eléctrica aplicada al dispositivo que les permite conectar en una pequeña fracción de segundo y conducir una gran cantidad de corriente. Removiendo la señal eléctrica les permite desconectarse nuevamente. La rapidez en el conectarse y desconectarse es posible porque no hay partes mecánicas en movimiento. Los tubos de ignitrón operan con el principio de ionización del vapor de mercurio, mientras los rectificadores controlados de silicio operan con el principio de los semiconductores de estado sólido similar a los transistores. La figura 3.13 presenta el SCR en forma física y simbólica.

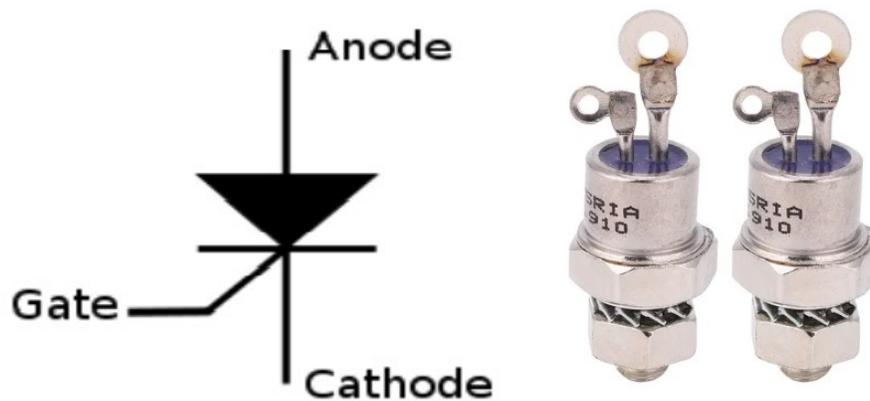


FIGURA 3.13 Símbolo del Rectificador Controlado de Silicio (SCR) y su presentación física.

OBTENCIÓN DE LA FUERZA EN LOS ELECTRODOS

El tercer factor crítico en la soldadura por resistencia es la fuerza de presión sobre los metales a soldar. Esta fuerza es necesaria para asegurar un buen contacto eléctrico entre las piezas que van a ser soldadas, y para mantener las piezas fijas hasta que el metal fundido que forma la junta sólida tenga tiempo de solidificarse. Dependiendo del tamaño y tipo de máquina soldadora, se usan varios métodos para la aplicación de fuerza de los electrodos, pero el más común es usar aire comprimido. En un cilindro con un pistón, el cilindro va rígidamente unido al marco de la máquina soldadora y el pistón movable está conectado al electrodo superior. El aire comprimido introducido en el cilindro desarrolla una fuerza en el pistón que, a su vez, empuja hacia abajo al electrodo contra el metal a ser fundido. La cantidad de la fuerza aplicada depende del área del pistón y de la presión del aire comprimido. En la figura 3.14 se presentan algunos de los cilindros neumáticos usados para soldadura por resistencia.



FIGURA 3.14 Cilindros utilizados para la aplicación de la fuerza de los electrodos.

3.4 SECUENCIA DE SOLDADURA.

Evidentemente no es posible que la corriente eléctrica circule a través de los electrodos para lograr una soldadura si antes no se cierra el circuito sujetando las láminas. Tal situación, trae la necesidad de establecer una secuencia que deberá cumplirse estrictamente en cualquier proceso de soldadura por resistencia. Uno de los electrodos (a veces los dos) es móvil para presionar las piezas entre sí. La secuencia básica de soldadura de un punto se muestra en la figura 3.15 y se detalla a continuación.

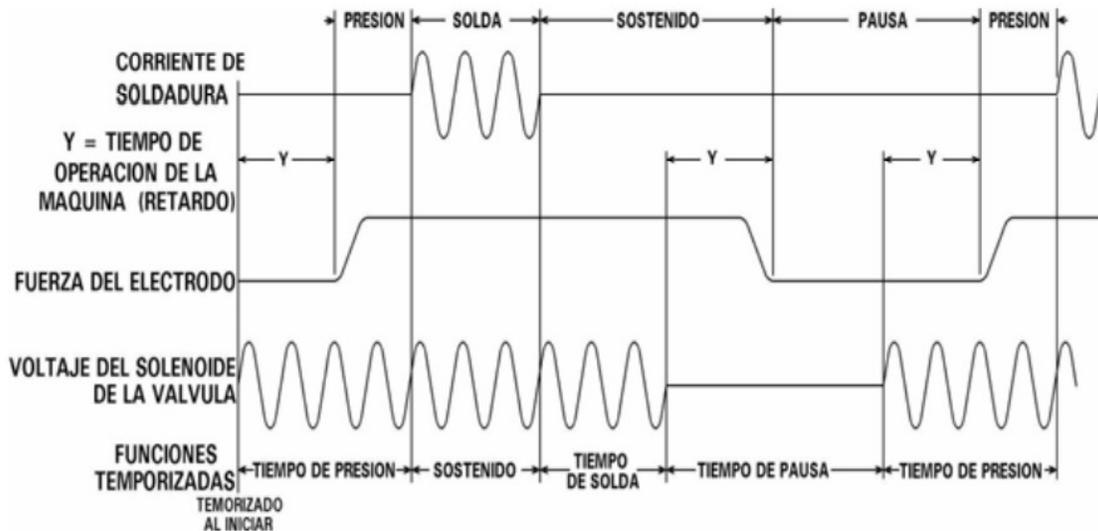


FIGURA 3.15 Secuencia básica de soldadura.

TIEMPO DE PRESIÓN

Es el intervalo de tiempo entre la aplicación inicial de la fuerza de los electrodos en el trabajo y la primera aplicación de la corriente. Nótese que esta es la definición del proceso. La definición del control es el intervalo de tiempo entre la activación de la secuencia y el inicio de la corriente de soldar. El tiempo de presión es necesario para retardar la corriente de soldadura hasta que la fuerza del electrodo haya alcanzado el nivel deseado. El electrodo móvil se mueve hasta sujetar los materiales y alcanzar la fuerza preestablecida.

TIEMPO DE SOLDADURA

Es el tiempo durante el cual es aplicada la corriente de soldadura a las piezas de trabajo para realizar la unión de estas. La corriente de soldadura empieza a circular a través de los electrodos y simultáneamente se incrementa muy rápido la temperatura entre láminas hasta lograr su fusión.

TIEMPO DE SOSTENIDO

Es el tiempo durante el cual la presión ejercida por el electrodo es mantenida en la pieza de trabajo después de que el último impulso de corriente de soldadura cesa. Durante el proceso de soldadura, al iniciarse el paso de la corriente, se inicia una ligera presión para establecer el contacto superficial que los electrodos deben ejercer, sin que se pierda la presión en la soldadura y debe continuar hasta fusión y solidificación de la soldadura, a esto es a lo que se le llama tiempo de sostenido.

TIEMPO DE PAUSA

Es el tiempo durante el cual los electrodos están desconectados del trabajo. El término es aplicable solamente donde el ciclo de soldar es repetitivo.

FUERZA DE LOS ELECTRODOS

Es el resultado de la presión de aire aplicada al pistón en el cual van montados los electrodos. El monto actual de la fuerza de los electrodos depende de la presión de aire efectiva, y del peso y diámetro del pistón. La mayoría de las máquinas soldadoras tiene cartas de fuerza de electrodos a un costado de estas, tabulando presión de aire contra fuerza de electrodos. Si no hay una carta disponible para la máquina, utilice la ecuación 3.1 para calcular la fuerza de estos:

$$F_e = .78D^2P \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

D es el Diámetro del Pistón (en pulgadas).

P es la presión de aire (en libras por pulgada cuadrada).

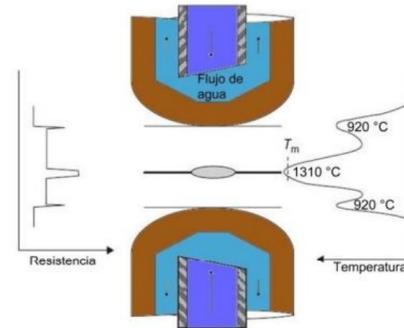
F_e es la Fuerza de Electrodos (en libras).

Puede ser necesario reajustar la velocidad de las válvulas del control cuando cambia la fuerza de los electrodos. Una aproximación muy lenta requerir mucho más tiempo de presión. Una aproximación muy rápida impacta los electrodos y acorta su vida, y también puede resultar en el daño de los soportes de los electrodos. Cuando se suelda con salientes ó proyecciones, un impacto fuerte dañará la proyección antes de realizar la soldadura y dará como resultado soldaduras pobres aun cuando los demás parámetros se hayan fijado correctamente.

ENFRIAMIENTO

El agua es utilizada para enfriar a los electrodos y evitar su desgaste, también tiene como función indispensable, realizar el enfriamiento de las piezas a soldar en la zona de contacto con los electrodos para que solidifique la lenteja fundida bajo presión durante el tiempo de sostenido inmediato posterior al de soldadura. La figura 3.16 presenta el enfriamiento de los electrodos.

FIGURA 3.16 Sistema de enfriamiento de los electrodos



Los principales parámetros que influyen en esta soldadura son los siguientes: Intensidad de corriente y tiempo. Estos dos parámetros están directamente relacionados, a mayor intensidad de corriente, mayor calentamiento del material se produce. Se puede disminuir el tiempo de soldadura aumentando la intensidad, o lo contrario, aumentar el tiempo de paso de corriente y disminuir la intensidad. Mayores espesores de chapa, necesitarán mayores cantidades de calor o de intensidad para llegar a la temperatura de forja. Cuando se disponga de diferentes espesores de chapa a soldar, se regulará la intensidad en función del espesor más pequeño. Si no se eligen correctamente la intensidad y el tiempo, un exceso de ellos puede provocar una fusión del material superior y la proyección de chispas con el consiguiente vaciado de la soldadura. También puede deteriorarse la cara activa del electrodo. La proyección de chispas no es más que la expulsión de parte del material fundido de la zona de la soldadura. Si al contrario se eligen valores demasiado pequeños, lo que ocurre es que no se llega a alcanzar la temperatura de forja y no se produce la unión, o si se produce es de escasa resistencia mecánica. El equipo de soldadura deberá disponer de un sistema de corte y temporización para suministrar la corriente en el momento y durante el tiempo preciso. Si las superficies de las chapas a soldar no están limpias de pinturas, aceites u otros productos, pueden interferir en el paso de la corriente eléctrica. La resistencia eléctrica depende de la naturaleza de los materiales a soldar. A mayor resistencia eléctrica ofrecida por el material, mayor calor se generará. Este parámetro es intrínseco a la naturaleza de los propios materiales y no se puede actuar sobre ella. La resistencia total es la suma de las resistencias individuales de cada una de las zonas, la de contacto de los electrodos, la de contacto de las chapas a unir y las ofrecidas por los materiales base de esas mismas chapas. En la resistencia total del conjunto influyen los materiales base, el espesor de las chapas, la limpieza y sección de la punta de los electrodos y la limpieza de las chapas. Presión de apriete. Cuando el material llega al estado líquido, es necesario ejercer la presión de apriete para que se forme la lenteja de soldadura. Las soldaduras de mayor calidad se consiguen con presiones elevadas, produciéndose huellas menores y mayor duración de los electrodos. Cuando la regulación del equipo lo permita, deben elegirse valores altos de corriente y presión, con tiempos de soldadura cortos. Para ejercer la presión de apriete existen diferentes configuraciones de los electrodos, en C o en X, las cuales aportan en mayor o menor medida las fuerzas de apriete. El sistema de apriete del equipo generalmente es de accionamiento neumático, pero también puede ser hidráulico o mecánico. Cuando la presión de apriete no es la correcta y existe un mal contacto entre electrodo y pieza, pueden producirse proyecciones o la creación de puntos sin resistencia mecánica.

3.5 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.

Los factores que afectan el proceso de soldadura por resistencia comúnmente son eléctricos y/o mecánicos, a continuación, se describen algunos de ellos.

FACTORES ELÉCTRICOS

Balance de corriente: Un problema frecuente, es la derivación de corriente fuera de la zona de soldadura, ocasionado al momento de mover la máquina hacia la pieza de trabajo o viceversa, sucede que los brazos o porta-electrodos accidentalmente tocan otras partes de la máquina, herramienta de sujeción o al propio material, causando fallas en el proceso.

Diseño del circuito secundario: Una desventaja de las máquinas para soldadura por resistencia es la poca flexibilidad para llevar los electrodos a la zona de soldadura, ya que estos se fabrican generalmente de cobre rígido. Esta condición, frecuentemente lleva a los ingenieros de diseño a desarrollar máquinas con circuito secundario muy grande y en consecuencia las pérdidas de energía por efectos reactivos se incrementan notablemente.

Resistencia del circuito secundario: Cuando no se tiene un adecuado programa de mantenimiento en las máquinas, cualquier problema en el circuito secundario del transformador, incrementará de manera importante la resistencia de contacto afectando directamente la corriente de soldadura.

Suministro de voltaje: Las máquinas para soldadura por resistencia trabajan en régimen transitorio, esto es, cada soldadura representa un corto circuito bajo control, pero finalmente es un corto circuito y cuando la capacidad de la subestación no es suficiente, en cada secuencia de soldadura se producen fuertes caídas de tensión que afectan la corriente de soldadura.

FACTORES MECÁNICOS

Desgaste de las piezas: Es natural el desgaste de las piezas en movimiento que haya en la máquina. Generalmente estos problemas afectan directamente la calidad de la soldadura porque alteran la posición de los electrodos, la presión de soldadura y la movilidad de los componentes de la máquina.

Sistema de enfriamiento: En la mayoría de las aplicaciones, la potencia eléctrica necesaria para el buen desempeño de las máquinas es del orden de decenas de miles de volts-ampers. Por lo anterior, los electrodos, porta-electrodos, brazos e incluso el transformador principal requieren enfriamiento a base de agua. El flujo de agua insuficiente puede dañar seriamente cualquier equipo de soldadura.

Desalineación de los electrodos: Ambos electrodos, fijo y móvil, deben de estar perfectamente alineados cuando sujetan la pieza de trabajo a fin de que la fuerza resultante sea cero. Frecuentemente los electrodos pierden su posición y forma original por que se aflojan o reciben algún golpe accidental y soldar bajo estas condiciones puede dañar seriamente las piezas de trabajo.

3.6 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.

Desde el punto de vista eléctrico, las máquinas de soldadura por resistencia se clasifican en equipos de energía directa y en equipos de energía almacenada. Los equipos de energía directa obtienen la energía eléctrica de la red, este tipo de equipos son los más utilizados debido a que son de menor costo, de fácil instalación y mantenimiento. Los equipos de energía almacenada acumulan y almacenan la energía eléctrica en un banco de condensadores y luego la descargan para realizar la soldadura. Desde el punto de vista mecánico funcional, los equipos de soldadura por resistencia se clasifican en equipos portátiles y de pedestal.

EQUIPOS PORTÁTILES

Los equipos de soldadura por resistencia portátiles son utilizados en lugares donde la estructura a soldar no puede ser movida debido a su tamaño o peso, en este caso se monta la pieza sobre algún dispositivo de sujeción y el equipo portátil se lleva hacia la pieza a soldar. Para trabajos pesados y grandes es difícil mover y (orientar) las piezas hacia las máquinas estacionarias. Para estos casos, se cuenta con pistolas portátiles de soldadura por resistencia en diferentes tamaños y configuraciones. Las pistolas son diseñadas con accesorios específicos para trabajar con personas (pistolas manuales) o con robots (pistolas robot), estos equipos son muy utilizados en el área de ensamble de automóviles. Una máquina de soldadura por resistencia portátil consiste en un armazón accionado por un cilindro neumático o hidráulico dependiendo de la fuerza que se requiera, de dos electrodos opuestos dentro de un mecanismo de tenazas. Cada unidad es ligera, por lo que un trabajador o un robot industrial pueden sostenerla y manipularla. La pistola está conectada a su propia fuente y control de energía, mediante cables eléctricos flexibles y mangueras de aire. Si es necesario, también se proporciona enfriamiento de los electrodos mediante una manguera con agua. Las pistolas portátiles para soldadura de puntos se usan ampliamente en las plantas de ensamble final de automóviles, para soldar las carrocerías de láminas metálicas. Algunas de estas pistolas son manejadas por trabajadores, pero los robots industriales se han convertido en la tecnología preferida. La figura 3.17 presenta un equipo de soldadura portátil manual y otro portátil robotizado.

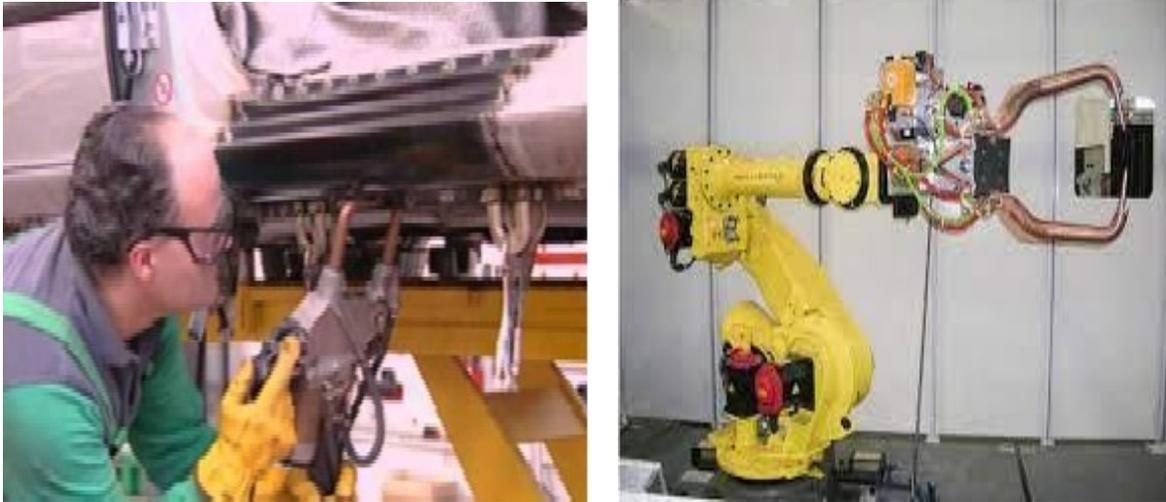


FIGURA 3.17 Equipo de soldadura portátil manual y robotizado.

Existen dos tipos de máquinas portátiles para soldar por resistencia, la de tipo X o tijera y la de tipo C. La figura 3.18 muestra un equipo tipo C y la figura 3.19 un equipo tipo tijera

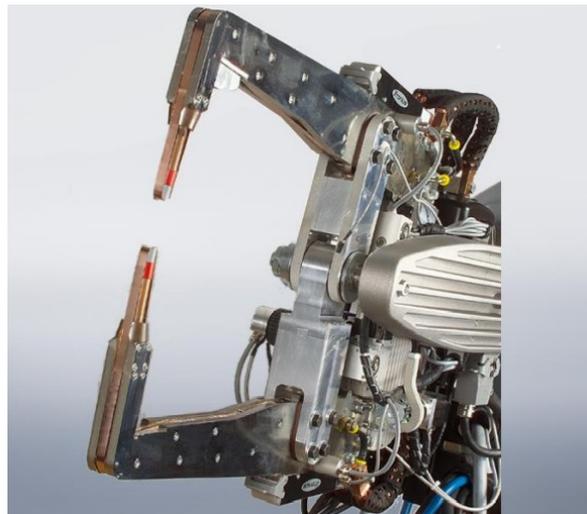


FIGURA 3.18 Máquina tipo C portátil para soldar por resistencia.



FIGURA 3.19: Máquina tipo TIJERA portátil para soldar por resistencia (puntos).

Entre las principales características de los equipos portátiles se encuentra que:

- Los transformadores de los equipos portátiles deben producir voltajes de circuito abierto de dos a cuatro veces mayores que las máquinas de pedestal, debido a que se añaden los cables entre el transformador y la pistola.
- La impedancia en un equipo de soldadura por resistencia portátil aumenta, por lo cual requiere un voltaje en el devanado secundario más alto en relación con un equipo de pedestal para producir la misma corriente.

EQUIPOS DE PEDESTAL

Los equipos de soldadura por resistencia de pedestal son equipos más robustos en comparación a los equipos portátiles. Este tipo de equipos son muy versátiles ya que pueden utilizarse como equipos para soldadura por puntos, soldadura por proyección (protuberancias) y soldadura por costura. Existen dos tipos básicos de equipos de soldadura por resistencia de pedestal, las de tipo balancín y tipo prensa. En la figura 3.20 se muestra una prensa de soldadura por resistencia de pedestal para soldar por puntos.



FIGURA 3.20

Máquina de pedestal para

En la figura 3.21 se muestran dos máquinas de soldadura por resistencia para soldar por costura, y en la figura 3.22 se muestra una prensa de soldadura por proyección.



FIGURA 3.21: Máquinas fijas para soldar por costura.

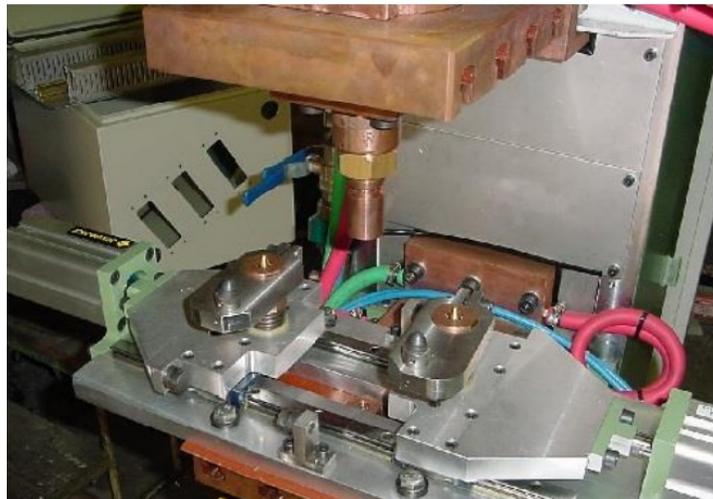


FIGURA 3.22: Máquina tipo prensa para soldar por proyección.

3.7 ELEMENTOS BÁSICOS DE UNA MÁQUINA DE SOLDADURA POR RESISTENCIA.

Actualmente una máquina de soldadura por resistencia está constituida por tres elementos básicos:

1. Un transformador para suministrar corriente de soldadura, dichos transformadores son de bajada, es decir, ofrecen un bajo voltaje y una muy alta corriente en el devanado secundario.

2. Un sistema de control para la corriente, el cual es capaz de ajustar y regular el tiempo e intensidad de corriente y accionar todos los componentes del equipo.
3. Un sistema mecánico que sujete las piezas a soldar el cual permita aplicar la fuerza de soldadura. Las características del sistema mecánico son la maniobrabilidad de la máquina, la cual tiene un rol muy importante en el proceso ya que de este sistema depende mucho la calidad de la soldadura. La figura 3.23 muestra los elementos básicos de una máquina de soldadura por resistencia.

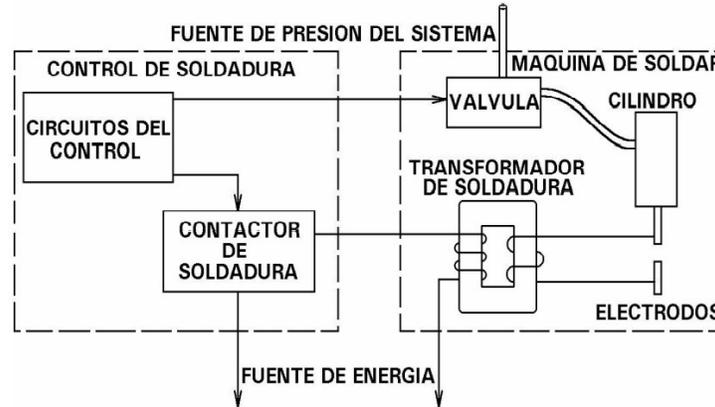


FIGURA 3.23 Elementos básicos de una máquina de soldadura por resistencia.

De manera específica, a continuación, se muestran los elementos de control que componen una máquina de soldadura por puntos para las principales variables del proceso: tiempo de soldadura, intensidad de corriente y fuerza entre electrodos.

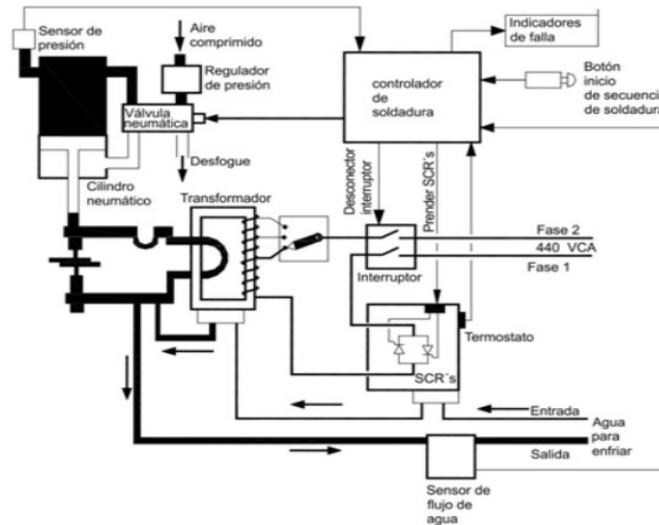


FIGURA 3.24 Esquema general de una máquina de soldadura por puntos

1. **Controlador de soldadura:** Es un dispositivo electrónico programable que establece la secuencia en la que operan el resto de los actuadores en función de algún programa previamente establecido y de señales de entrada.
2. **Regulador de presión:** Permite regular la presión de aire a un valor previamente establecido, en función de esta presión estará la fuerza entre electrodos.
3. **Válvula neumática:** Controla el avance y retroceso del cilindro.
4. **Cilindro neumático:** Controla la apertura y cierre de los electrodos.
5. **Interruptor:** Generalmente se trata de un interruptor termo magnético que ofrece protección al sistema de potencia ante situaciones de corto circuito y/o sobrecarga.
6. **Tiristores (SCRs):** Son dispositivos semiconductores que permiten el paso de corriente en un solo sentido. Funcionan como un interruptor que se controla por medio de señales de disparo, su función es ajustar la corriente de soldadura por medio del voltaje aplicado al transformador.
7. **Transformador de soldadura:** Su función es básicamente suministrar la corriente de soldadura a muy bajo voltaje.
8. **Sensor de flujo de agua:** Informa al controlador de soldadura cuando no hay flujo de agua en el sistema de enfriamiento de la máquina por medio de una señal discreta.
9. **Sensor de temperatura:** Mejor conocido como termostato, informa al controlador de soldadura cuando la temperatura del transformador o de los tiristores es muy excesiva.

3.8 ELECTRODOS.

Las principales funciones de los electrodos en el proceso de soldadura por resistencia son:

- Conducir la corriente de soldadura hacia los elementos a soldar.
- Transmitir la fuerza para la unión de las piezas.
- Fijar o colocar las piezas en alineación correcta.
- Eliminar el calor de soldadura.

Los electrodos que son utilizados para el proceso de soldadura por resistencia son de cobre, debido a que, comparado con la mayoría de los metales, el cobre tiene una resistencia eléctrica más baja y una conductividad térmica más alta, esto asegura que el calor será generado en las piezas de trabajo y no en los electrodos. Para generar calor, los electrodos de cobre pasan una corriente eléctrica a través de la pieza de trabajo, el calor generado dependerá de la resistencia eléctrica, de la conductividad térmica del metal y del tiempo en que la corriente es aplicada. La figura 3.25 muestra algunos de los tipos de electrodos de cobre que son empleados en el proceso de soldadura por resistencia por puntos.



FIGURA 3.25 Electrodo de cobre que son utilizados en la soldadura por resistencia.

VIDA DE UN ELECTRODO

La vida útil de un electrodo y el número de soldaduras que puede llegar a realizar depende mucho del tipo de corriente que se le aplique y de cómo se le aplique. El empleo de corrientes continuas procedentes de corrientes alternas con frecuencias de la red o de medias frecuencias rectificadas, así como trabajar con tensiones bajas y poco recortadas prolongan bastante la vida útil del electrodo. Los electrodos en el proceso de soldadura por resistencia se desgastan debido a los calentamientos e impactos repetitivos que sufre la cara o punta de este durante la aplicación de la soldadura, por lo tanto, la vida de un electrodo (números de puntos capaz de realizar) y su correspondiente desgaste, están determinados tanto por las descargas eléctricas y condiciones térmicas presentes en el proceso de soldadura. La figura 3.26 muestra tres cápsulas de electrodos que ya han cumplido su ciclo de vida útil.



FIGURA 3.26 Electrodo con vida útil cumplida.

Durante la aplicación de la soldadura es posible que se presente una interacción metalúrgica entre los electrodos y las placas a soldar debido al efecto joule originado en la resistencia eléctrica de contacto entre la cara del electrodo y la placa, esta resistencia eléctrica depende de la condición superficial de estos elementos y es la que determina la generación de calor y las reacciones metalúrgicas.

ALINEACIÓN DE LOS ELECTRODOS

Es necesario tener bien alineados a los electrodos para obtener soldaduras bien definidas y que sean paralelas a las caras de los electrodos, estas condiciones nos ayudaran a obtener puntos de soldadura de buena calidad. La figura 3.27 muestra la alineación correcta de los electrodos, donde las dos caras de los electrodos deben ponerse en contacto en toda su superficie cuando se encuentren aplicando la soldadura y así poder evitar la pérdida de densidad de corriente.

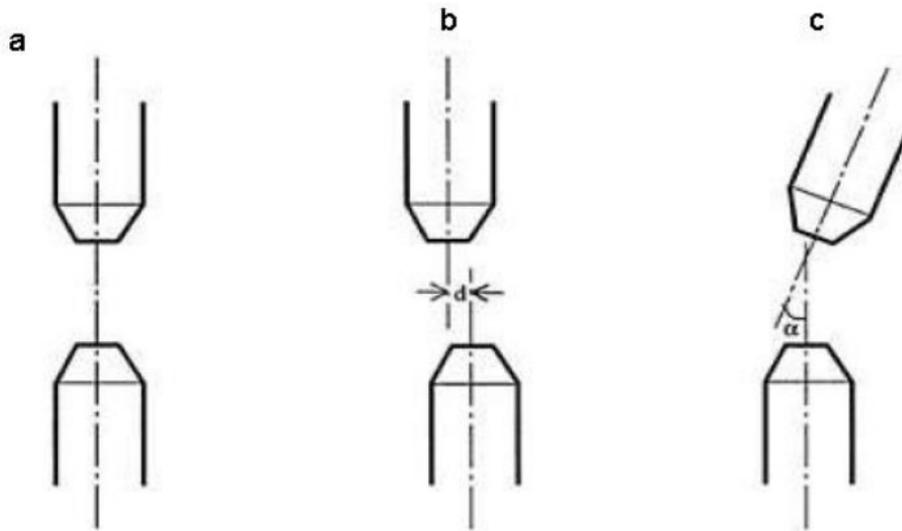


FIGURA 3.27: Alineación de los electrodos. a) Alineación axial correcta, b) electrodo desalineado axialmente, c) electrodo con desalineamiento angular.

La figura 3.27 b muestra un electrodo desalineado axialmente a una distancia b , en el cual existirá pérdida de densidad de corriente durante la aplicación de la soldadura y como consecuencia obtendremos un punto de soldadura elíptico.

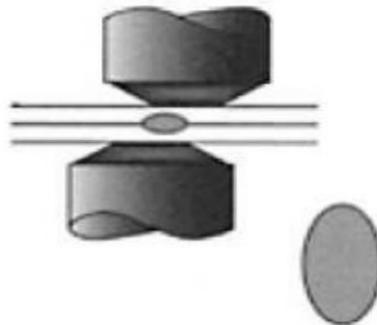


FIGURA 3.27 b, Punto de soldadura elíptico producido por un electrodo desalineado axialmente a una distancia.

La figura 3.27 c muestra un electrodo con desalineado angular, en el cual el punto de soldadura formado tendrá la forma de una media luna, es decir que el punto de soldadura será deficiente por lo cual la resistencia eléctrica del material a soldar se verá reducida.

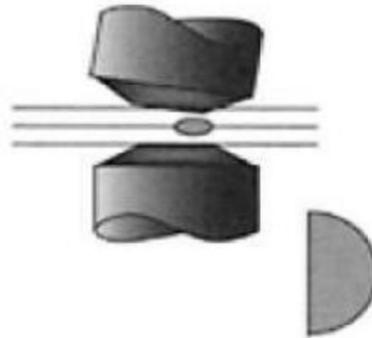


FIGURA3.27 c: Punto de soldadura producido por electrodos desalineados angularmente.

CARACTERÍSTICAS DE LA SOLDADURA

El resultado a conseguir durante la soldadura por puntos es una lenteja o pepita en el material fundido, entre las dos placas a unir con buena calidad. El diámetro de la lenteja de soldadura tiene que ser del 90% al 110% del diámetro de la cara activa del electrodo. El espesor de la lenteja de soldadura tiene que ser menor a la suma del espesor del material soldado, como se presenta en la siguiente tabla.

Espesor del metal [mm].	Diámetro del punto [mm].
0.40 - 0.59	3.0
0.60 - 0.79	3.5
0.80 - 1.39	4.0
1.40 - 1.99	4.5
2.00 - 2.49	5.0
2.50 - 2.99	5.5
3.00 - 3.49	6.0
3.50 - 3.99	6.5

Asimismo, las superficies de los materiales a soldar deben de estar limpias, libres de óxidos, pintura, grasas, aceites y de químicos u otros compuestos, también deben de tener una

superficie lisa y plana. Los aceros inoxidable no se corroen y por lo regular no requieren de una limpieza minuciosa antes de someterlos a la soldadura por resistencia.

CALIDAD DE LA SOLDADURA POR RESISTENCIA

La calidad de la soldadura a obtener depende principalmente de la aplicación que esta vaya a desempeñar. En general, la calidad de la soldadura por resistencia se determina a base de los siguientes criterios:

- Aspecto de la superficie.
- Tamaño del punto de soldadura.
- Identación de los electrodos.
- Resistencia eléctrica del material.
- Discontinuidades internas.
- Separación de las láminas y expulsión del metal.
- Espesor del material.

CAUSAS DE LOS DEFECTOS EN LA SOLDADURA POR RESISTENCIA

Existen varias condiciones indeseables que pueden provocar defectos en la aplicación de la soldadura, las cuales se describen a continuación:

1. Tiempo de sostenido muy corto dará como resultado la expulsión del material a soldar, electrodos quemados, malas soldaduras y provocará daños a los SCRS.
2. Tiempo de soldadura muy largo acortará la vida de los electrodos.
3. Usted no podrá juzgar la calidad de la soldadura únicamente observando el trabajo terminado, si no que se tendrá que realizar una prueba destructiva del mismo para corroborar la calidad de la soldadura.
4. Tiempo de soldadura muy corto dará como resultado soldaduras de baja calidad, asumiendo así que todos los demás factores estén normales.
5. Tiempo de retención muy corto puede dar como resultado expulsión de las superficies, engrosamiento de los electrodos y rupturas del metal.
6. Presión de soldadura muy baja puede provocar la expulsión del metal, daño en los electrodos (engrosamiento), y reducir la vida útil de los electrodos.
7. Superficie de contacto de electrodos muy pequeña dará como resultado puntos muy pequeños y un excesivo engrosamiento de los electrodos.
8. Una superficie de contacto de electrodos muy grande dará como resultado puntos muy grandes.
9. Un enfriamiento insuficiente del sistema dará como resultado un engrosamiento y acortará la vida útil de los electrodos, provocará una ruptura en la superficie y excesivas huellas en el material (en algunos casos).

10. Material a soldar sucio engrosa la superficie, acortará la vida útil de los electrodos y quemará la superficie de trabajo.
11. Una velocidad de acercamiento de los electrodos excesiva, causará un daño severo del equipo. En soldaduras por proyección, puede dañar la proyección de la soldadura dando como resultado una soldadura de muy baja calidad.
12. No haga una soldadura sobre el mismo punto dos veces para tratar de cubrir una soldadura mala. Para hacerlo efectivamente, la soldadura debe enfriarse y luego volver a realizarla con una corriente mucho más alta.

Así mismo, se deberá evitar incurrir en los siguientes errores al realizar la soldadura por resistencia:

1. Incorrecta alineación de los electrodos.
2. Desplazamiento de los elementos a soldar.
3. Desgaste excesivo de los electrodos, o mala elección de estos.
4. Incorrecto rectificado o geometría de las puntas de los electrodos.
5. Deficiente alineación de los elementos que trabajan a presión o de los electrodos.

Contemplando los puntos anteriores se evitará la realización de puntos de soldadura con menor resistencia mecánica debido a la alteración del área de contacto en la zona interior y a la expulsión del material fundido.

CUIDADOS DURANTE EL DESARROLLO DEL PROCESO DE SOLDADURA POR RESISTENCIA

Es necesario tener cuidados cuando se está trabajando con equipos de soldadura por resistencia ya que cualquier accidente puede ocurrir cuando el equipo es manejado incorrectamente o por personal no capacitado en el proceso.

Cuando se colocan, remplazan o alinean los electrodos, se debe cortar el suministro de energía eléctrica principal, cerrar las válvulas de aire comprimido y bloquear el flujo de agua del sistema de enfriamiento y refrigeración.

Durante la ejecución del proceso de soldadura por resistencia se debe de usar el equipo de seguridad y de protección personal adecuado como son lentes, casco, tapones auditivos, guantes de carnaza, zapatos aislantes, overol o ropa de mezclilla y una mascarilla cubre boca. Este equipo de protección personal es indispensable utilizarlo para evitar lesiones por quemaduras generadas por las chispas que proyecta la soldadura. No insertar las manos, dedos, brazos o alguna otra parte del cuerpo cuando los elementos mecánicos de la máquina se encuentren en movimiento, ya que podrían ser atrapados por los mismos causando lesiones serias en su cuerpo y en los elementos de la máquina. No tocar por ningún motivo ni por error algún dispositivo eléctrico o eléctrico de la máquina cuando se encuentre trabajando o energizada.

BIBLIOGRAFÍA

1.- la electrónica aplicada en el proceso de soldadura por resistencia.

tesis licenciado en electrónica, david juárez muñoz

facultad de ciencias de la electrónica.

benemérita universidad autónoma de puebla. marzo 2016.

2.- fundamentos de la soldadura por resistencia, m^a concepción perez garcía

centro zaragoza, instituto de investigación sobre vehículos, españa, nº 72 - abril / junio 2017.

CAPÍTULO 4

PROCESO DE SOLDADURA POR OXI-ACETILENO.

4.1 INTRODUCCIÓN.

La combinación oxígeno acetileno es indispensable en la industria, ya que permite la unión de metales ferrosos, utilizando el calor producido por la combustión de los gases. Ésta produce una llama con temperatura más alta que la producida por cualquier otra combinación de gas y oxígeno. La temperatura de la llama es aproximadamente de 6000 °F (3300 °C). Esta temperatura funde la mayoría de los metales usados en la industria, permite soldar piezas ferrosas y no ferrosas con o sin material de aporte. Mediante el uso de un soplete especial, se facilita el corte de materiales ferrosos de grandes espesores (hasta de 15 cm de espesor).

Las ventajas que se pueden lograr con este proceso son las siguientes:

- Mediante la combinación de oxígeno y acetileno se alcanza alta temperatura.
- Se puede soldar materiales ferrosos y no ferrosos, también sirve para cortar metales ferrosos.

Por otro lado, las desventajas que presenta el proceso son:

- Es un proceso más caro que el de oxígeno-propano.
- Produce deformaciones por la gran concentración de calor, por lo tanto no es recomendable para ciertos trabajos.
- Sólo se pueden soldar metales de bajo espesor.

Temperaturas alcanzadas con diferentes mezclas de gases.

Lista de diferentes combinaciones de gases, así como la temperatura que se puede alcanzar.

- Oxi-acetileno 5612 - 6332 °F (3100 - 3500 °C)
- Aire-acetileno 4172 - 4532 °F (2300 - 2500 °C)
- Oxi-hidrógeno 4140 - 4320 °F (2200 - 2400 °C)
- Oxi-gas de carbón 3600 - 3960 °F (1900 - 2200 °C)

4.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DE OXIGENO Y ACETILENO.

El oxígeno en forma gaseosa, generalmente es entregado al consumidor en cilindros de acero. Estos cilindros para uso normal se fabrican en varios tamaños, y el gas que contiene se comprime a 2200 psi o 154.5 kg/cm² a 70 °F (21 °C) temperatura ambiente. Los cilindros son corazas huecas, construidas especialmente para soportar las presiones del gas que contienen, además tienen roscas derechas.

NOTA: Debido a la alta presión que hay en un cilindro lleno, nunca se pare directamente frente a la descarga cuando esté abriendo la válvula del cilindro.

La válvula del cilindro de oxígeno debe de abrirse totalmente cuando el cilindro esté en uso para que permita un flujo sin restricciones y actúe como un sello o retén. Hay un dispositivo de seguridad que está localizado en la válvula por el lado opuesto a la conexión del regulador o descarga del cilindro. Este dispositivo de seguridad tiene forma de una tuerca hexagonal con pequeños barrenos. Detrás de esta tuerca se haya un disco de un material especial que se rompe si la presión interior aumenta demasiado, permitiendo al gas escapar por los agujeros de la tuerca. Si un cilindro, por accidente, es calentado, el gas interior se expande aumentando la presión que sufre el cilindro. Con el fin de evitar un accidente, se instala este dispositivo de seguridad.



Figura 2.4.1 Muestra los cilindros seccionados de acetileno y de oxígeno respectivamente.

Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de Ingeniería UNAM, 2002.

El cilindro de acetileno es generalmente más corto y más ancho que el de oxígeno. Se hace en varias secciones y lleva además roscas izquierdas (Figura 2.4.1).

El gas acetileno no debe de usarse a más de 15 psi (1.06 kg/cm²). Si esta presión se sobrepasa existe el riesgo de una explosión. El gas acetileno puede disolverse en acetona con el fin de darle mayor estabilidad, además para evitar el riesgo de explosión y permitir el almacenamiento de grandes cantidades el cilindro de acetileno se llena con una mezcla de asbesto, cemento y carbón o alguna otra mezcla similar. Las mitades de los cilindros son soldadas y se hornea todo junto hasta secar la pasta de relleno. Al secar, la mezcla queda en forma de panal, introduciendo un líquido llamado acetona dentro de los compartimientos de este panal. La acetona absorbe o disuelve al acetileno hasta veinticinco veces su propio volumen. El arreglo de panal tiene la ventaja de evitar la propagación de una llama que por accidente se encuentre en la superficie del cilindro, observe figura 2.4.1 .

NOTA: Los cilindros que contienen acetona líquida deben de conservarse siempre en posición vertical, ya que si se ponen en forma horizontal, la acetona fluiría hacia la válvula y puede salir sobre el área que se suelda. Esto es perjudicial para la soldadura.

Por otra parte, el gas acetileno es ligeramente venenoso y puede causar dolor de cabeza y náuseas si se inhala por largos periodos. Al igual que el cilindro de oxígeno, el de acetileno tiene un dispositivo de seguridad. Este dispositivo consiste de pequeños pernos insertados en la placa del cilindro. El número y localización de estos pernos varía, pero por lo menos hay cuatro: dos en la parte superior y dos en la inferior de cada cilindro. Los pernos se fijan en su lugar con un tipo especial de plomo que se funde a 200 °F (104 °C). Si el plomo se funde, el gas forzaría hacia fuera a los pernos. Por lo tanto, es muy importante mantener retirada la llama de los cilindros.

4.3 REGULADORES.

El propósito o función principal de un regulador es reducir una presión alta a una presión de trabajo baja y segura, y dar un flujo de gas continuo y uniforme.

NOTA. Los reguladores deben de estar libre de grasa o aceite, así como las manos, guantes y la herramienta. Cuando estas sustancias se ponen en contacto con el oxígeno a alta presión se descomponen, formando bióxidos de carbono y vapor de agua. Esta combinación es explosiva.

En la figura 2.4.2, se muestra el trabajo que se efectúa dentro de un regulador. El gas procedente del cilindro entra al regulador saliendo hacia la manguera que está conectada con el maneral. El gas a alta presión entra al cuerpo del regulador a través de una tobera pequeña controlada por una válvula y se introduce a la cámara del regulador. La presión en la cámara se eleva hasta vencer la tensión del resorte, cuando esto sucede el diafragma es flexionado hacia la derecha y la válvula que está unida a él, se cierra evitando que entre más gas a la cámara. A medida que el gas se escapa de la cámara por la abertura de las válvulas en el maneral, la presión disminuye. La tensión del resorte flexiona al diafragma hacia la izquierda reabriendo la válvula. Cuando se equilibran la tensión del resorte y la presión del gas en la cámara, se obtendrá un flujo de gas constante en el maneral. La posición del diafragma se controla balanceando las fuerzas de un resorte en compresión por un lado y la presión del gas por el otro.



Figura 2.4.2 *Parte interior de un regulador.*

Fuente.Talleres de Manufactura de la Facultad de Ingeniería UNAM, 2002.

Si se incorpora un tornillo ajustador de presión en un extremo del resorte para variar su presión, se puede obtener la presión que se desee en la descarga. Si el tornillo ajustador de presión está roscado hacia dentro, y se abre la válvula del cilindro, la fuerza total instantánea contra un diafragma estándar de 7 pulgadas cuadradas (45 cm²) es de 15,400 libras o más de 7 toneladas. Este impacto produce muy frecuentemente graves daños al regulador. Algunos fabricantes han instalado dispositivos que evitan este tipo de daños.

NOTA: Es muy importante verificar que el tornillo ajustador de presión esté totalmente afuera antes de abrir la válvula del cilindro.

El regulador de doble etapa, figura 2.4.3. La presión se reduce en dos pasos. En el primero, la tensión del resorte se ajusta por el fabricante de modo que la presión en la cámara de alta presión será una cantidad fija. Después, el gas pasa a una segunda cámara reductora que tiene su tornillo de ajuste y permite obtener la presión deseada en la salida del maneral dentro de la escala del regulador. Habrá menos variación en el flujo del gas con un regulador de doble etapa que con otro de una etapa.



Figura 2.4.3. *Regulador de doble etapa*

Fuente.Talleres de Manufactura de la Facultad de Ingeniería UNAM, 2002.

4.4 TIPOS DE FLAMA.

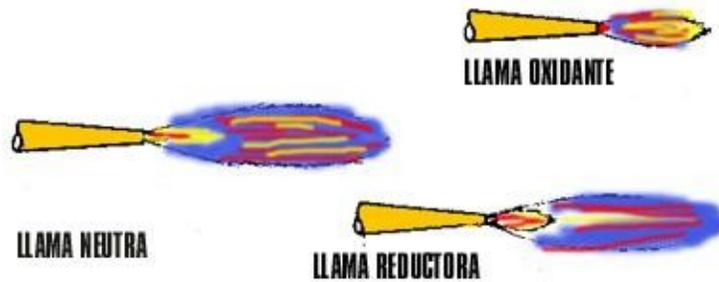


Figura 2.4.4. Tipos de llamas.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

El acetileno quemándose en el aire produce una llama larga y amarilla que libera grandes cantidades de carbón. Al agregarle oxígeno se obtiene una de las siguientes llamas:

- Llama Reductora. Es aquella llama que contiene un exceso de acetileno y consta de tres partes: cono exterior, cono interior y la flama.
- Llama Neutra. Consta de dos partes: el cono exterior y el cono interior, largo y redondeado. En esta llama, se ha alcanzado la mezcla adecuada de los gases para realizar una soldadura o un corte del material.
- Llama Oxidante. También consta de dos partes que son: cono exterior y cono interior puntiagudo. El cono exterior es de color púrpura y con sus extremos desiguales. Hay también un ruido excesivo por la salida de oxígeno en la boquilla. Este provoca un sonido áspero muy diferente del sonido suave de la llama neutra.

En ocasiones cuando se hace uso del equipo, se produce una llama en retroceso o una contra explosión. De las dos, la más peligrosa es la llama en retroceso, la cual se puede apreciar debido a que la llama del maneral desaparece con un fuerte estallido en la boquilla. En el caso de la contra explosión, la llama desaparece momentáneamente y reaparece generando una explosión. En ambos casos se sugiere cerrar las válvulas y revisar las condiciones en las que se encuentra el soplete revisando los siguientes puntos:

1. ¿Se dejó que la boquilla tocara el metal?
2. ¿Hay algún pedazo de metal tapando el orificio de la boquilla?
 3. ¿Está floja la boquilla?
 4. ¿Está sobrecalentada la boquilla?

4.5 PROCESOS DE CORTE CON OXI-ACETILENO.

El propósito del soplete de corte es proporcionar la llama para precalentar el material y producir el flujo de oxígeno puro para el corte. Con el accesorio para corte (soplete de corte) la válvula de oxígeno en el maneral no controla el abastecimiento de oxígeno, éste debe de

controlarse con la válvula del accesorio. Por esta razón, la válvula de oxígeno del maneral debe de estar completamente abierta todo el tiempo que esté usando el accesorio de corte. *Figura 2.4.5*

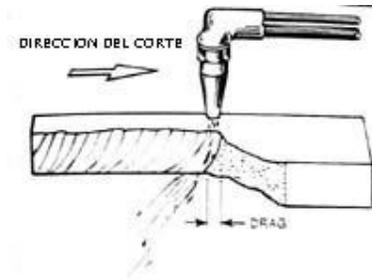


Figura 2.4.5. Corte con el soplete.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

NOTA: Asegúrese siempre, cuando pase de la operación de corte a la de soldadura, que las presiones sean reducidas en los reguladores y no en las válvulas, así mismo, cada vez que se use el soplete de corte deben de comprobarse las conexiones. En la tabla 2.6.1 se muestran las presiones de corte para el maneral SC-12.

Tabla de presiones para cortar con Oxiacetileno
BOQUILLAS SC-12

ESPESOR DEL METAL (mm)	TAMAÑO DE LA BOQUILLA	PRESIÓN EN REGULADOR		CONSUMO			VELOCIDAD DE CORTE (cm/min)	ANCHO DE LA RANURA (mm)	BROCAS LIMPIADORAS	
		Oxígeno (Kg/cm ²)	Acetileno (Kg/cm ²)	Oxígeno (m ³ /h) Cortando	Oxígeno (m ³ /h) Pre calentamiento	Acetileno (m ³ /h)			ORIFICIO DE CORTE	ORIFICIO PRECALENTAMIENTO
6.35	0	2.10	0.28	1.34	0.21	0.019	55.9	1.39	62	74
9.5	0	2.46	0.28	1.62	0.21	0.019	50.8	1.39	62	74
12.7	1	2.46	0.28	2.43	0.31	0.026	48.2	2.03	56	71
15.9	1	2.81	0.28	2.71	0.31	0.026	43.1	2.03	56	71
19.0	2	2.53	0.28	3.31	0.34	0.029	40.6	2.41	54	70
25.4	2	2.88	0.28	3.59	0.34	0.029	35.5	2.41	54	70
31.8	2	3.58	0.28	4.16	0.34	0.029	33.0	2.41	54	70
38.1	3	2.95	0.35	5.20	0.39	0.033	30.4	2.54	51	68
50.8	3	3.30	0.35	5.49	0.39	0.033	25.4	2.54	51	68
63.5	4	2.67	0.35	7.21	0.42	0.036	22.8	3.17	45	62
76.2	4	3.09	0.35	7.92	0.42	0.036	20.3	3.17	45	62
101.6	4	3.79	0.35	9.37	0.45	0.039	17.7	3.17	45	62
127.0	5	3.93	0.42	12.71	0.85	0.071	17.7	3.81	41	60
152.5	5	4.71	0.42	14.55	0.85	0.071	15.2	3.81	41	60
203.5	5	5.48	0.42	16.41	0.85	0.073	13.9	3.81	41	60
254	6	5.83	0.42	22.13	0.9	0.079	12.7	5.15	32	60
305	6	7.03	0.42	28.50	0.9	0.079	11.4	5.84	32	60
356	7	8.78	0.49	36.35	0.9	0.084	10.1	6.35	28	56

Tabla 2.4.1. Presiones de corte.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

4.6 PROCESOS DE SOLDADURA CON OXI-ACETILENO.

Las boquillas para soldar son fabricadas de cobre y vienen en varias medidas, permitiendo al soldador obtener diferentes tamaños de llama, lo que permitirá calentar más rápido el material. Las presiones que deben de usarse para cada boquilla de soldadura dependen del número que viene grabada en el cuerpo de la boquilla que corresponde a un diámetro de orificio por donde sale la llama, normalmente el proveedor suministra una tabla donde se indican las presiones que deben de usarse, (ver tabla 2.6.2).



Figura 2.4.6. Se muestra una boquilla para soldar.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

Para soldar con Oxiacetileno BOQUILLAS SERIES SW-200 Y MW-200

ESPESOR DEL METAL (mm)	TAMAÑO DE LA BOQUILLA	PRESIÓN EN REG.		BROCAS LIMPIADORAS ORIFICIO DE CORTE
		PRESIÓN (Kg/cm ²) CADA GAS	CONSUMO (m ³ /h) CADA GAS	
Metal muy delgado hasta 0.8 mm.	0	0.21	0.048	74
	1	0.21	0.065	71
	2	0.21	0.085	69
De 1.59 hasta 2.38 mm.	3	0.35	0.091	67
	4	0.35	0.122	63
3.18"	5	0.35	0.170	57
3.96"	6	0.35	0.255	56
4.76"	7	0.56	0.34	54
6.35"	8	0.56	0.48	52
9.5"	9	0.56	0.65	49

Las presiones mostradas son para 7.5 mts. de manguera de 6.35 mm. de diámetro interior; para largos mayores, las presiones deberán ser incrementadas.

Tabla 2.4.2. Presiones para soldar.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

4.7 VARILLAS DE SOLDADURA.

Cuando se hace un cordón sin varilla de soldadura, queda en la superficie del metal una depresión o deformación por el calor. Esta depresión es llamada penetración y se produce por el hundimiento del charco en el metal. Para llenar esta depresión, al menos hasta la superficie del metal, se usa la varilla de soldadura. Para poder producir soldadura con las mismas cualidades de los metales que se van a soldar, las varillas de soldadura deben de fabricarse en tantas variedades y tipos como metales hay. Para soldar acero, el tipo común de varilla es de acero dulce recubierta con cobre. Como regla general, use varillas de diámetro pequeño para metales de espesor pequeño, y varillas de diámetro más grande a medida que aumente el espesor del metal.

4.8 CUIDADOS CON EL OXI-ACETILENO.

Debido al alto riesgo que representa el uso del equipo de oxi-acetileno, se recomienda lo siguiente:

1. Si desconoce el uso del equipo favor de no utilizarlo.
2. Si conoce el uso del equipo considere las medidas de seguridad necesarias para evitar explosiones o incendios.
3. Retire todo material combustible que se encuentre en las cercanías del área de trabajo.
4. Verificar que no se presenten fugas en las conexiones.

Equipo de seguridad (figura 2.4.7):

- ✓ Gafas oscuras.
- ✓ Guantes.
- ✓ Peto.
- ✓ Polainas.
- ✓ Casco.
- ✓ Bata.
- ✓ Zapatos para trabajo en taller (preferentemente de piel).



Figura 2.4.7. Equipo de seguridad .

Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

4.9 PROCEDIMIENTOS DE PREPARACIÓN DE EQUIPO DE OXI-ACETILENO.

Es una operación básica que se debe dominar correctamente, es el procedimiento de preparación de equipo de oxi-gas, figura 2.4.8 , ya que el uso inapropiado puede causar accidentes de graves consecuencias.

Diagrama de conexión del equipo de Oxi-Acetileno.

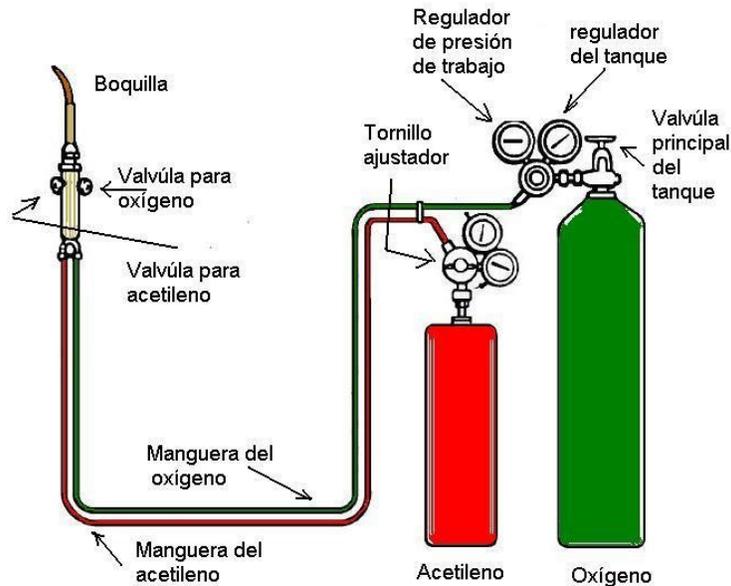


Figura 2.4.8. Equipo para soldadura .

Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

El diagrama muestra el código de colores para identificar los diferentes gases. El color verde pertenece al oxígeno, mientras que el color rojo pertenece al acetileno.

PROCEDIMIENTO.

1. Montaje de reguladores (figura 2.4.9).

a) Quitar la tapa de los cilindros.

b) Abrir y cerrar ligeramente las válvulas para limpiar impurezas.

Precaución. Antes de abrir el cilindro de acetileno comprobar que no existe fuego cercano.

Al manipularse los cilindros deben tenerse las manos limpias de grasa y aceite, pues estos pueden provocar combustión explosiva.

c) Conectar los reguladores en sus respectivos cilindros.

Observaciones. La tuerca conectora debe apretarse con la llave del equipo. Las carátulas deben quedar de tal forma que el operador pueda realizar las lecturas de presión con facilidad.

d) Aflojar la manija que regula el paso de gas con la presión apropiada de trabajo.

Precaución. Cuando se afloje la manija, hacerlo en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj.

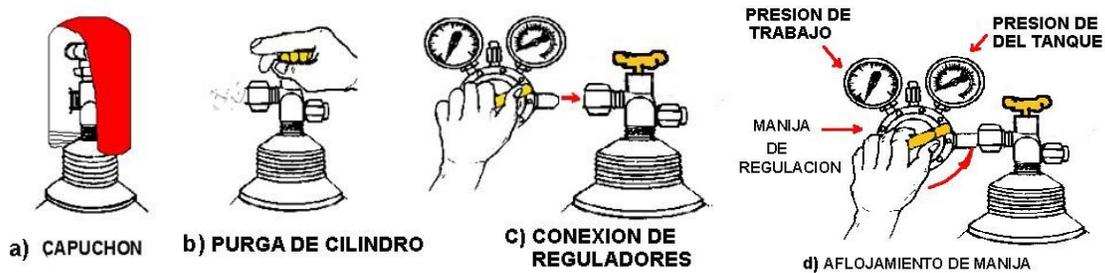


Figura 2.4.9. Preparación y montaje de equipo de oxi-acetileno, (a,b,c,d).
Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

2. Colocación de mangueras (figura 2.4.10).

- a) Conectar las mangueras a los reguladores.
- b) Conectar las mangueras al mango del soplete.

Observaciones. La manguera que conduce acetileno es de color rojo y tiene sus conectores con rosca izquierda. La manguera que conduce oxígeno es de color verde y sus conectores tienen rosca derecha.

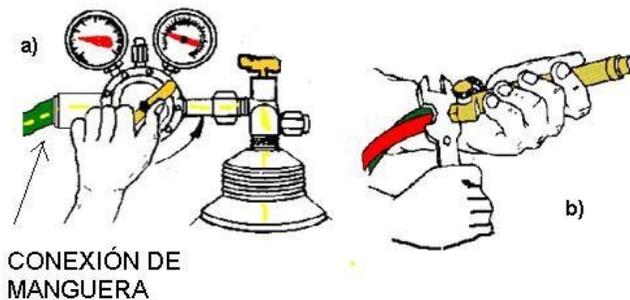


Figura 2.4.10. Colocación de mangueras a reguladores y maneral, a y b.
Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

3. Montaje de boquilla o soplete de corte (figura 2.4.11).

- a) Ajustar la boquilla manualmente.
- b) Colocar la boquilla en posición de trabajo.



Figura 2.4.11. Soplete de corte y boquilla para soldar.
Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

4. Regulación de presión de trabajo.
 - a) Abrir las válvulas de los cilindros.
 - b) Accionar las manijas de regulación del acetileno y oxígeno lentamente para obtener la presión de trabajo.

Nota: Para realizar soldadura con la boquilla 203, la presión debe ser de 0.25 kg/cm^2 para el acetileno y 1 kg/cm^2 para el oxígeno. Por otro lado, para realizar corte, la presión debe de ser 0.5 kg/cm^2 de acetileno y 2 kg/cm^2 para el oxígeno. (Estas presiones pueden varias dependiendo del número de boquilla y tipo de soplete a utilizar).

5. Encendido de la boquilla para soldar (figura 2.4.12).
 - a) Abrir la válvula del acetileno en el maneral, girar $1/4$ de vuelta.
 - b) Accionar el encendedor.

Precaución. Cuando encienda la llama, apuntarla sobre un sector libre y manipular el encendedor sin ahogar la llama.
 - c) Abrir lentamente las válvulas del maneral hasta obtener una flama neutra.

Observaciones. Es importante para el soldador distinguir entre flama neutra, oxidante y reductora.

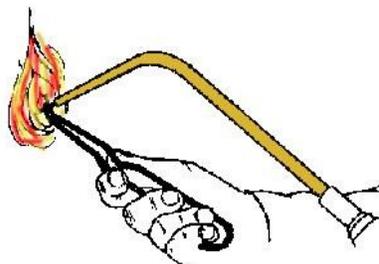


Figura 2.4.12. Encendido del soplete.
Fuente. Talleres de Manufactura de la Facultad de ingeniería UNAM, 2002.

Nota: Para encender el soplete de corte se procede a ajustar las presiones. Enseguida abrir $\frac{1}{4}$ de vuelta la válvula de acetileno del maneral y realizar el encendido, posteriormente abrir lentamente la válvula de oxígeno del maneral, regulando hasta obtener la flama deseada. Una recomendación es la siguiente, para obtener una flama neutra, ajustar lentamente la válvula de acetileno del maneral y la válvula de oxígeno que se encuentra en el soplete de corte. La palanca que contiene el soplete es para suministrar el chorro de oxígeno y acelerar el corte. Una vez regulada la flama, proceda a cortar o soldar según sea el caso. Ejemplos de soldadura con oxi-gas. *Figura 2.4.13*

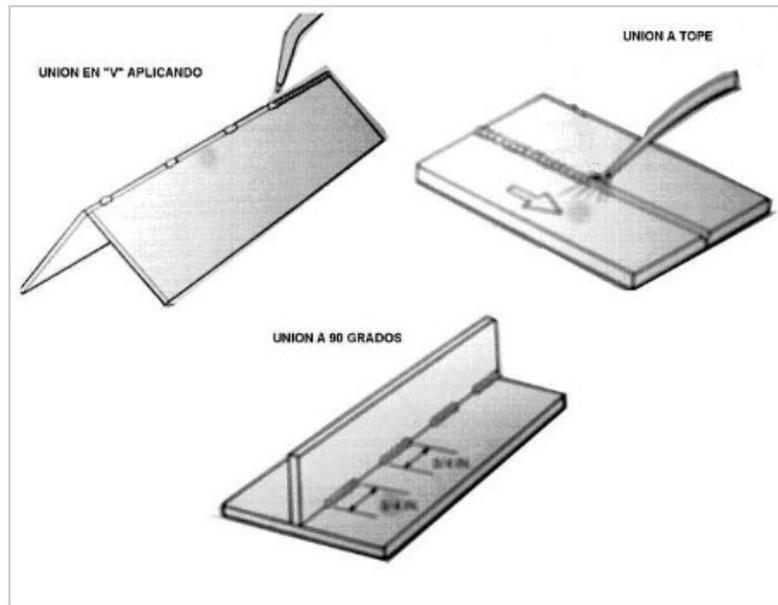
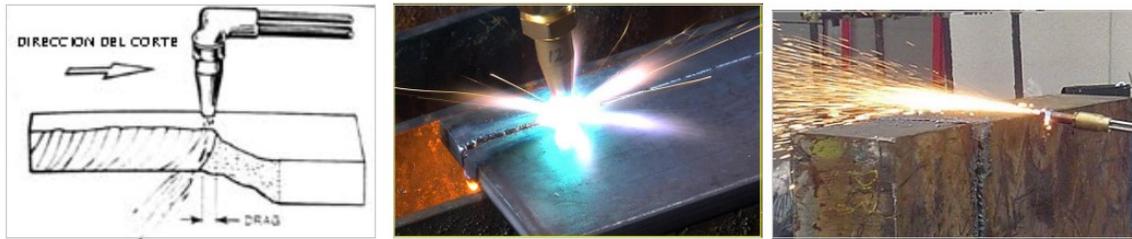


Figura 2.4.13. ejemplos de soldadura de oxi-gas.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

6. Proceso para apagar la flama.
 - a) Cerrar la válvula de acetileno del maneral y luego la de oxígeno, posteriormente cerrar las válvulas principales de los tanques.
 - b) Abrir las válvulas del maneral para sacar el gas que quedó en las mangueras.
 - c) Aflojar los tornillos ajustadores y poner las mangueras en su lugar.



Ejemplo de corte con oxi-gas.

Figura 2.4.13. ejemplos con soplete de corte.

Fuente. Union Carbide Canada Ltd , Canadian Liquid Air LTD, Meco St Louis. U.S.A.

BIBLIOGRAFÍA:

- Soldadura, James A. Pender, Soldadura, McGraw-Hill.
- Horwitz, *Soldadura, Aplicaciones y práctica*, México, Editorial Alfaomega, 1999.
- Sáinz, Luis I., y Fernando Escalante, *Nuevas tendencias del Estado contemporáneo*, México, UNAM, 1986.
- Manual de soldadura, tomos 1, 2, 3. México, Prentice Hall.

CAPÍTULO 5

SOLDADURA POR FRICCIÓN.

5.1 GENERALIDADES.

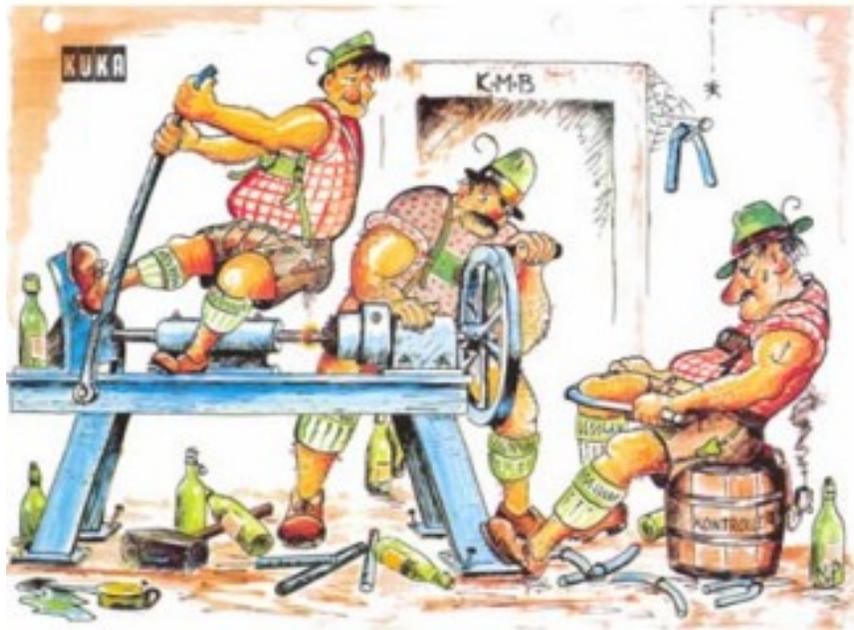
La soldadura por fricción rotativa es un método de soldadura que aprovecha el calor generado por la fricción mecánica entre dos piezas de metal en movimiento relativo, girando un componente con respecto a otro. Este proceso tiene grandes ventajas en la soldadura de aleaciones de aluminio que son difíciles de soldar por los procesos que involucran la fusión del material base. Mediante este proceso se pueden soldar secciones gruesas en una sola pasada, obteniéndose uniones con excelentes propiedades mecánicas.

ALGUNOS DATOS HISTÓRICOS

La soldadura por fricción rotativa es una técnica, inventada hace más de un siglo, si bien no se comienza a implantar hasta los años 70-s. Se podrían resaltar los siguientes hitos:

- 1891: 1ª patente (USA).
- 1957: 1ª aplicación industrial (USSR).
- A partir de los años 70-s: Implantado en Europa y USA.

En la viñeta inferior del fabricante alemán KUKA, aparecen 2 personas soldando en una máquina manual y otra realizando el ensayo de control a flexión.



5.2 SOLDADURA POR FRICCIÓN – AGITACIÓN.

La soldadura por fricción – agitación, (Friction Stir Welding, FSW), es un proceso de unión de dos piezas que se realiza en estado sólido y en el que una herramienta cilíndrica, con un perno en su extremo, denominado “PIN” se introduce en la zona de unión entre las dos piezas que se van a soldar. Durante este proceso, una vez que la herramienta ha adquirido la velocidad adecuada, penetra en la zona de unión (1 y 2) e iniciará el incremento de la temperatura debido al efecto de fricción, con lo que los materiales adquieren un estado plástico. En este momento la herramienta inicia el movimiento a lo largo de la zona de unión (3 y 4) desplazando el material que se encuentra en la cara anterior, hacia la cara posterior debido al movimiento rotatorio de la herramienta y al enfriar el material pasará de nuevo al estado sólido produciendo la unión de ambos materiales. Una vez que se ha concluido la soldadura se extrae la herramienta (5 y 6) quedando un agujero, correspondiente al “pin”. El cual puede ser eliminado colocando otro tipo de herramienta. A continuación se presenta el proceso en la figura 5.1.

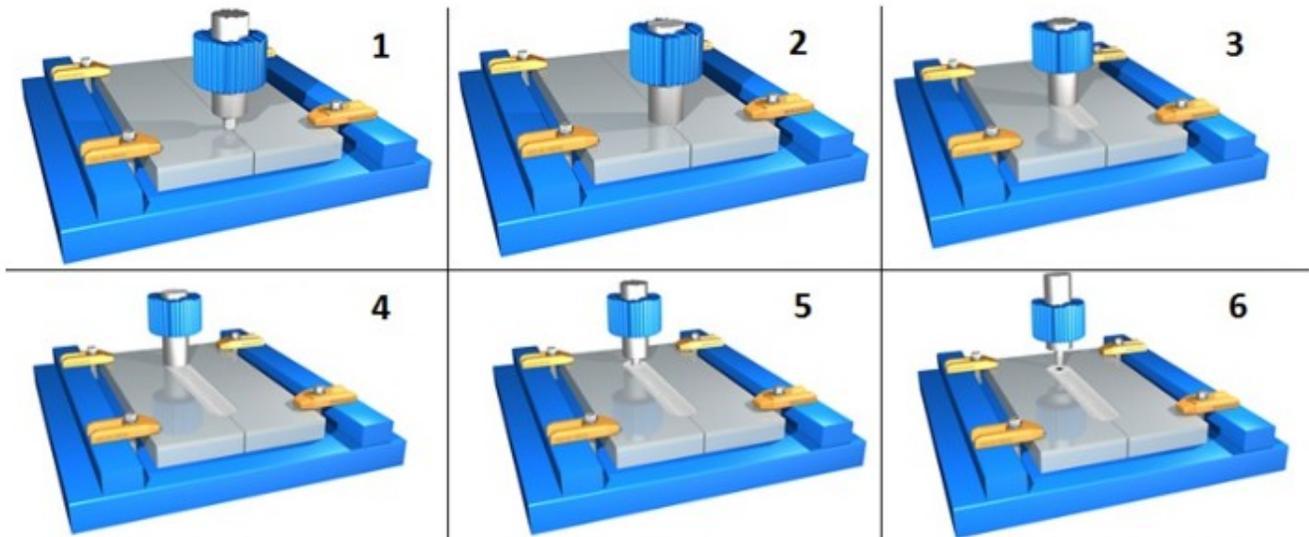


FIGURA 5.1 Soldadura por fricción - agitación.



FIGURA 5.2 Pieza obtenida por soldadura por fricción - agitación.

HERRAMIENTA EN EL PROCESO.

La herramienta constituye la parte fundamental del proceso de soldadura por fricción - agitación, se compone de dos cuerpos cilíndricos concéntricos, el de menor diámetro denominado "pin" es el que actúa en la interfase de la junta y produce la plastificación, agitación y mezcla del metal, el de mayor diámetro o "hombro" trabaja sobre la superficie de la junta y es el que precalienta y consolida el material plastificado. La combinación de ambos efectos produce la recristalización y coalescencia de las piezas. La forma y tamaño de la herramienta tiene gran influencia sobre la calidad de la unión. Durante el proceso, la herramienta está sometida a altas sollicitaciones mecánicas y a temperaturas próximas al punto de fusión del metal base, por lo cual el material y tratamiento empleado durante su fabricación son fundamentales para lograr mayor vida útil.



FIGURA 5.3 Diseño de hombros para soldadura por fricción - agitación.



FIGURA 5.4 Diseño de pin para soldadura por fricción - agitación.

5.3 SOLDADURA POR FRICCIÓN LINEAL.

La soldadura por fricción lineal es un proceso de unión en estado sólido y sin aporte de material, que consiste en rozar un componente sobre la superficie del otro al utilizar un movimiento lineal oscilatorio.

Este movimiento se produce normalmente utilizando pequeñas distancias de recorrido del orden de 1-3mm y a alta frecuencia (25-100Hz). Lo que genera calor por fricción en el plano de contacto, y por consiguiente se genera un estado plástico en un cierto volumen de material. Durante el proceso, una parte del material viscoelástico que se formó se desplaza hasta la periferia de la interfaz de contacto, lo que se suele llamar "flash" de material expulsado.(Figura 5.5).



FIGURA 5.5 Pieza obtenida por soldadura por fricción lineal.

SECUENCIA DEL PROCESO

- **Fase inicial:** Los dos materiales se ponen en contacto bajo presión, las dos superficies a unir normalmente son ásperas y el calor se genera por efecto del movimiento y de la fricción. El área de contacto aumenta perceptiblemente a través de esta fase debido al desgaste de la zona áspera. Si la velocidad de frotamiento es demasiado baja, el calor generado por la fricción no será lo bastante elevado y se perderá a través de la conducción y de la radiación. Esto conducirá a un insuficiente ablandamiento térmico de las piezas.

- **Fase de transición:** Si se ha producido el calor necesario durante la fase anterior para ablandar la interfaz del material, se generarán grandes partículas producto del desgaste y serán expelidas de la interfaz y la zona afectada por el calor se amplía para seguir con la fase III. El área de contacto alcanza el 100% del área de la sección transversal de las piezas en contacto. La capa plastificada (blanda) formada entre los dos materiales no puede soportar la carga axial.

- **Fase de equilibrio:** Después de la etapa II, las piezas comienzan a disminuir de tamaño como resultado del material expelido. El calor generado y la presión desarrollada durante esta etapa, provoca la unión de los componentes. En algunos casos la inestabilidad pueden aparecer en esta etapa, debido a la distribución desigual de la temperatura. Si la temperatura aumenta excesivamente en una sección de la interfaz lejos de la línea central de la oscilación, la capa plastificada crece en esa sección generando una mayor cantidad de material plástico expulsado fuera de las piezas, generando irregularidad en la unión y en el acabado superficial. Las fases del proceso son presentadas en la figura 5.6.

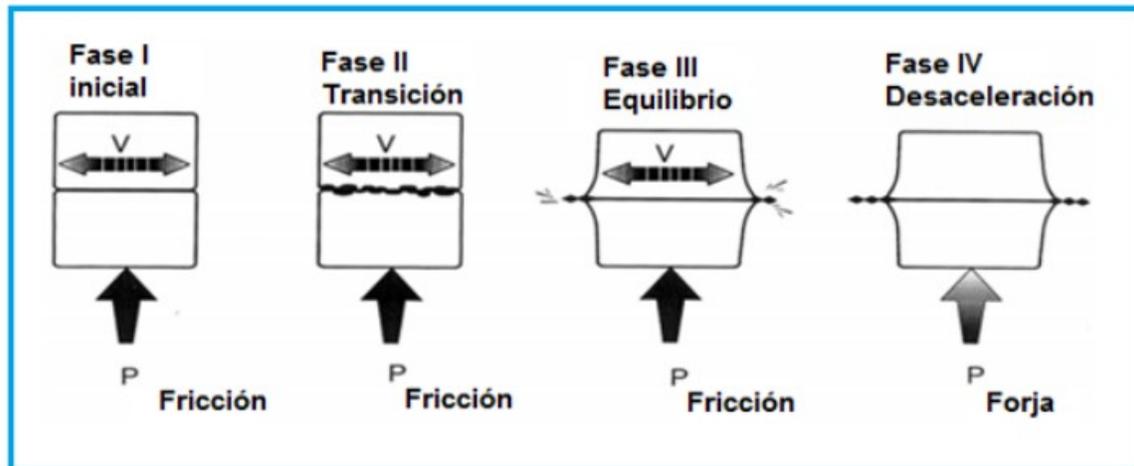


FIGURA 5.6 Fases del proceso de soldadura por fricción lineal.

5.4 SOLDADURA POR FRICCIÓN ROTACIONAL (FRW).

La soldadura por fricción rotacional FRW (Friction Rotary Welding) es una variante más de la soldadura por fricción, en la que el calor necesario para la soldadura se produce por el movimiento rotatorio relativo entre las dos superficies en contacto a unir. Este método se basa en la conversión directa de la energía mecánica en energía térmica para formar la soldadura, sin la aplicación de calor desde cualquier otra fuente.

La figura 5.7 muestra una soldadura por fricción típica, en la que una pieza no giratoria en contacto con una pieza de trabajo rotatoria a presión constante o en aumento permite que en la interfaz se alcance la temperatura de soldadura para hacer posible la unión. La velocidad de rotación, la presión axial y el tiempo de soldadura son las principales variables a controlar con el fin de proporcionar la necesaria combinación de calor y presión para formar la soldadura. Estos parámetros se ajustan de manera que la interfaz se calienta a un intervalo de temperatura, en el cual, el material alcance un estado plástico y la soldadura pueda ser realizada. Una vez que la fricción entre las superficies logra la temperatura adecuada, la presión axial se utiliza para llevar las interfaces de soldadura a un contacto íntimo. Durante esta última etapa del proceso, la difusión atómica se produce mientras las interfaces están en contacto, lo que permite una unión metalúrgica entre los dos materiales. La soldadura por fricción implica la generación de calor a través de la abrasión de fricción, la disipación de calor, la deformación plástica e interdifusión química.

Cinco factores cualitativos influyen en la calidad de una soldadura por fricción:

- Velocidad de rotación (rpm).
- Presión aplicada, tanto en el calentamiento como en la forja.
- Temperatura de las superficies.
- Propiedades del material.

e) Estado de las superficies de contacto (contaminación).

Los primeros tres factores dependen del proceso mientras que los últimos dos están relacionados exclusivamente con el material a unir.

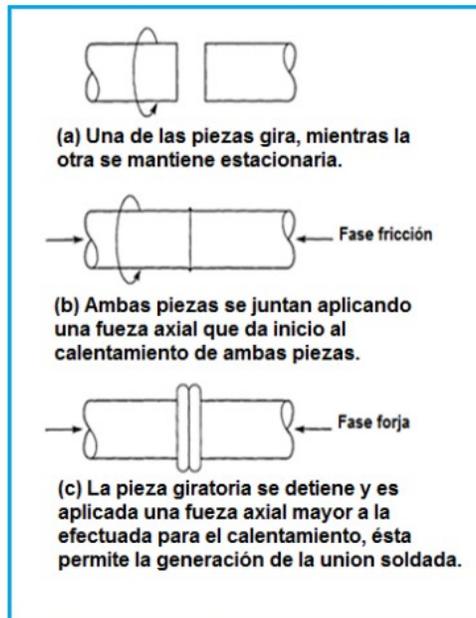


FIGURA 5.7 Etapas fundamentales de la soldadura por fricción rotativa.

Durante el proceso de soldadura por fricción rotacional (FRW), las variables que se tendrán que controlar serán:

- La velocidad de rotación.
- La presión aplicada en el calentamiento.
- La presión de forja.
- El tiempo de aplicación de la fuerza.

Teniendo claro que la presión de forja es mayor que la de calentamiento, la temperatura de la superficie es el parámetro crítico para asegurar buenas soldaduras y depende de las condiciones de transformación y los materiales que se desea unir. Aunque la temperatura de la superficie no se mide o controla directamente, los efectos de una temperatura insuficiente o excesiva son generalmente evidentes a simple vista al examinar la soldadura terminada.

En la mayor parte de las aplicaciones de la soldadura por fricción, una de las dos piezas de trabajo gira alrededor de un eje de simetría con las superficies de empalme perpendiculares a ese eje. Esto significa que, en el caso normal, una de las dos piezas de trabajo debe tener sección transversal circular o tubular en el punto de la unión. A continuación en la figura 5.8 se ilustrará disposiciones típicas para operaciones de una y varias soldaduras.

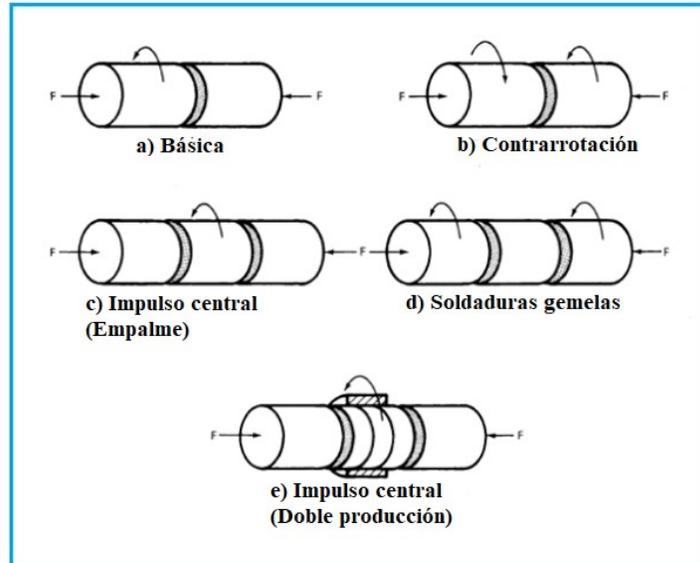


FIGURA 5.8 Etapas fundamentales de la soldadura por fricción rotativa.

Existen dos procesos básicos de soldadura por fricción rotacional, la soldadura por fricción directa y soldadura por fricción por inercia. La primera emplea un aporte continuo de energía, mientras que la segunda aprovecha la energía almacenada en un volante. La figura 5.9 presenta una pieza obtenida por soldadura por fricción rotativa y en la figura 5.10 un equipo para aplicación del proceso.



FIGURA 5.9 Rótula obtenida mediante soldadura por fricción rotativa.



FIGURA 5.10 Equipo de soldadura por fricción rotativa de 150 toneladas.

5.5 SOLDADURA POR FRICCIÓN DIRECTA.

En la soldadura por fricción directa Direct – Drive FRW (Direct – Drive Friction Welding), se utiliza una máquina semejante a un torno, equipada con un sistema que permite la aplicación de una presión axial controlada. El funcionamiento de estos equipos para la soldadura directa consta de una fase de fricción, donde se genera calor, una fase de frenado donde se termina la rotación y una fase de forja donde se aplica presión para unir las piezas. La figura 5.11 muestra un equipo de soldadura por fricción directa.



FIGURA 5.11 Equipo de soldadura por fricción directa.

Las principales variables en este proceso son:

- La velocidad rotacional.
- La presión de calentamiento.
- La presión de forja.
- La temperatura.
- La duración del calentamiento.

La selección de estas variables primarias deben ser consideradas con factores secundarios tales como la tasa de acumulación de presión durante el calentamiento y forja, la desaceleración durante el frenado y las propiedades de los materiales a soldar. Las soldaduras confiables de alta integridad se producen una vez que los parámetros de trabajo se han establecido adecuadamente. En la figura 5.12. se presenta la relación entre las variables del proceso de unión por fricción directa, como son la velocidad de rotación en las fases de fricción (calentamiento) y de forja, la presión axial empleada como una función del tiempo para la soldadura. El tiempo requerido para detener el husillo es también una variable importante porque afecta a la temperatura de soldadura.

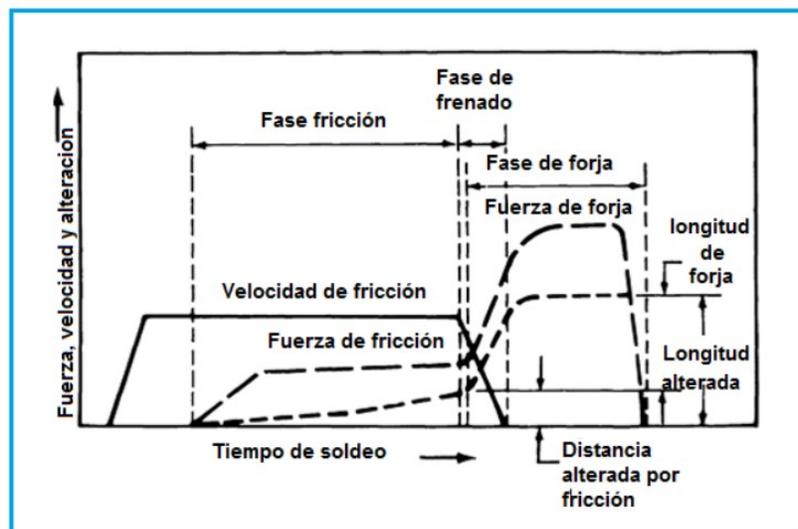


FIGURA 5.12 Diagrama de fases de la soldadura por fricción directa.

La fase de forjado implica la aplicación de una mayor presión entre las piezas a soldar, ésta se produce en algún punto de la etapa de parada, ya sea mientras el husillo está desacelerando o bien cuando éste ha dejado de girar al finalizar la etapa de parada. En el primer caso se producirá una fuerza de torsión aplicada a la soldadura, mientras que en el segundo caso, no existe fuerza de torsión, y la forja es afectada únicamente por la fuerza axial aplicada en el proceso.

INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS EN EL PROCESO

Influencia de la velocidad de rotacional (RPM). Se ha establecido que una soldadura satisfactoria puede ser realizada para una amplia gama de materiales y tamaños, con velocidades periféricas en el intervalo de 75 a 105 m/min. Las velocidades más bajas no son recomendables debido a los altos pares desarrollados, mientras que una velocidad más alta produce una amplia zona afectada por el calor. La velocidad de rotación tiene una influencia importante en la temperatura alcanzada en el proceso, así como en la soldadura de metales diferentes, donde es posible la formación de compuestos inter-metálicos.

Influencia de la presión axial. La presión es un parámetro importante en la soldadura por fricción, influye en el gradiente de temperatura, así como en el par motor y la potencia. La presión de calentamiento elegida debe ser la suficiente para mantener las superficies en contacto íntimo y evitar la contaminación atmosférica, dependiendo también de los materiales que se están soldando y su tamaño. La presión de forja depende de la resistencia en caliente de las aleaciones a unir. La presión elegida para la operación debe ser suficiente para consolidar la unión.

Influencia del tiempo de calentamiento. La duración del calentamiento se considera como el tercer parámetro básico del proceso, aunque depende de la velocidad de rotación y presión. La duración del calentamiento determina la entrada de energía en la unión y se rige por la deformación plástica de los materiales.

Selección de materiales para la soldadura. Una serie de materiales y sus combinaciones, tales como aceros al carbono de bajo, medio y alto nivel de carbono, aceros aleados, aceros rápidos, aceros inoxidable, cobre, aluminio y sus aleaciones respectivas están siendo ampliamente soldadas con este método. La tabla 5.13 sirve como una guía para la selección de parámetros para algunas de las combinaciones de materiales unidos comercialmente. Este cuadro indica los parámetros para un diámetro específico de barra y podría también ser utilizado para elaborar los parámetros para otros diámetros con ligeras modificaciones. Así, la velocidad de rotación puede ser determinada utilizando la condición de una velocidad periférica constante. Sin embargo, el material perdido que se especifica en la tabla 5.13 sería suficiente para la mayoría de las dimensiones que son soldadas por fricción en la práctica. La tabla 5.14 muestra los Parámetros de soldadura por fricción directa para materiales de distinta composición química.

Metales	Velocidad RPM	Fuerza axial KN	Material perdido mm	Tiempo seg.
Acero SAE 1018	4600	53	2,5	2
Acero SAE 1045	4600	62	2,5	2
Acero SAE 4140	4600	67	2,5	2
Inconel 718	1500	220	3,8	3
Acero inoxidable Martencítico	3000	90	2,5	2,5
Acero inoxidable 410	3000	80	2,5	2,5
Acero inoxidable 302	3500	80	2,5	2,5
Cobre comercial	8000	22	3,8	0,5
Aleación de cobre 260	7000	22	3,8	0,7
Aleación de titanio TIGAL-4V	6000	36	2,5	2
Aleación de aluminio 1100	5700	27	3,8	1

TABLA 5.13 Guía para la selección de parámetros en soldadura por fricción directa.

Barra de 25 mm de diámetro.

Tabla 5-14 Parámetros de soldadura por fricción directa para materiales de distinta composición química. Barras de 25 mm de diámetro.

Materiales	Velocidad RPM	Fuerza axial KN	Material perdido mm	Tiempo total seg.
Acero SAE 1018 con Cobre	800	22	3,8	1
Acero Rápido M2 con Acero SAE 1045	3000	180	2,5	3
Aleación Níquel 718 con Acero SAE 1045	1500	180	3,8	2,5
Acero inoxidable 302 con Acero SAE 1020	3000	80	2,5	2,5
Acero alto en Carbono con Acero SAE 1018	4600	53	2,5	2,5
Aluminio SAE 6061 con Acero inoxidable 302	5500	22	5,1	3
Cobre con Aleación de Aluminio 1100	2000	33	5,1	1

5.6 SOLDADURA POR FRICCIÓN POR INERCIA.

El método FRW por inercia (Inertia – Drive Friction Rotary Welding), utiliza un tipo de máquina similar a un torno, excepto el husillo que sostiene la pieza giratoria que está unida a un volante. El volante controla la entrada de energía a la soldadura. El momento de inercia del volante es una variable importante que se ajusta mediante la adición o eliminación en el volumen del volante. La cantidad de energía almacenada en el volante está controlada por su velocidad. Una vez que el cabezal gira a la velocidad requerida, el sistema de accionamiento se desacopla, dejando que el volante gire sólo por inercia. La presión axial se aplica entonces y se mantiene constante durante todo el proceso de soldadura, la energía cinética almacenada en el volante se disipa en forma de calor por fricción para producir la coalescencia entre las superficies empalmadas.



FIGURA 5-15 Equipo de soldadura por fricción por inercia.

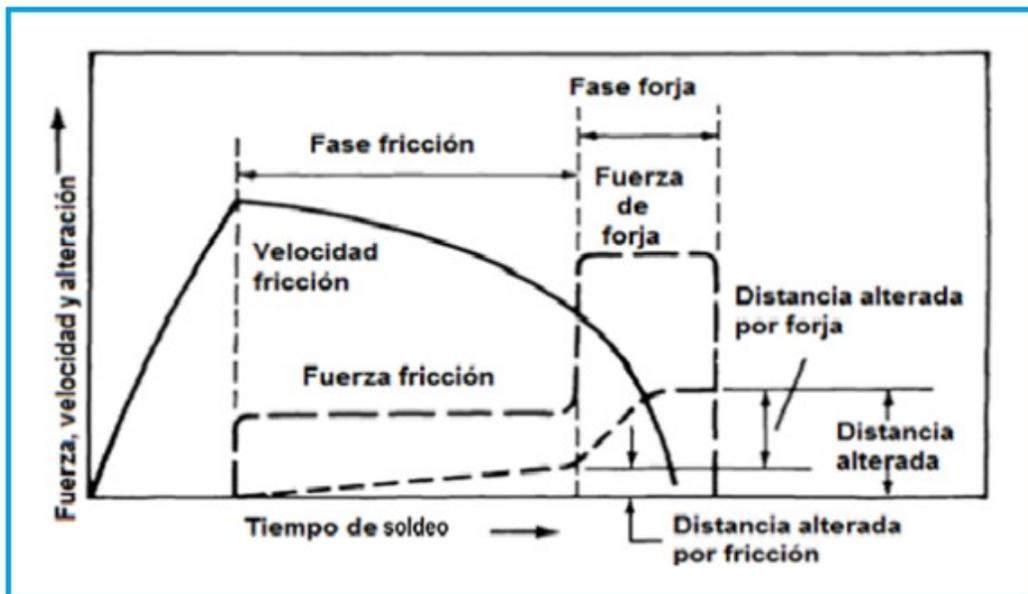


FIGURA 5-16 Diagrama de fases de la soldadura por fricción por inercia.

La presión aplicada reduce la velocidad de rotación, normalmente referida como una desaceleración. En algunos casos, cuando el cabezal se ha detenido o está cerca de llegar a una parada completa, se puede aplicar una presión mayor llamada presión de forja. La figura 5.17 ilustra el proceso de unión por inercia, donde la soldadura tiene lugar típicamente en dos etapas: la fricción y la forja. Sin embargo, también se puede omitir la fase de forja, trabajando sólo con una presión constante. La principal diferencia entre los métodos de transmisión directa y de inercia es la velocidad de fricción. En la soldadura por inercia, la velocidad de fricción disminuye continuamente durante la etapa de fricción, mientras que en la soldadura directa la velocidad de fricción permanece constante. Las variables que controlan las características de la soldadura por inercia son tres: la velocidad periférica a la cual gira la

pieza de trabajo, la presión axial y el tamaño del volante. Cada combinación de materiales tiene su propia gama de las variables de proceso óptimos, que se presentan a continuación.

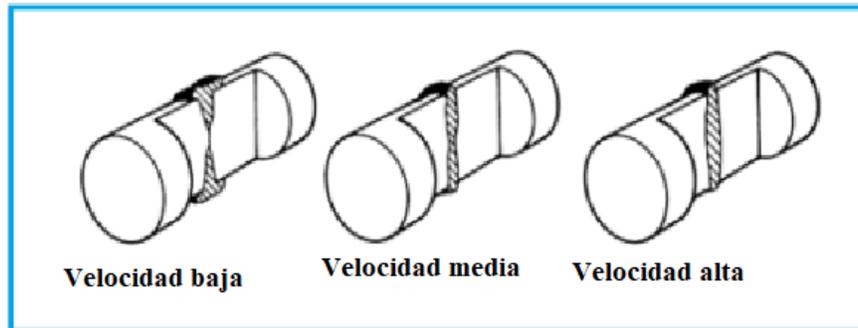


FIGURA 5-17 Influencia de la velocidad de rotación en el proceso de soldadura por fricción por inercia.

Influencia de la velocidad perimetral. Para cada combinación de materiales, existe una velocidad mínima de trabajo, por debajo de ésta los resultados de la soldadura no serán satisfactorios. El patrón de calentamiento en la soldadura por inercia, depende de una fuente de energía, una presión axial y principalmente la velocidad superficial. En el caso del acero de bajo carbono, a velocidades inferiores a 1,5 m/s, el patrón de la soldadura es estrecho, con forma de reloj de arena y con reducida unión en la sección central de las piezas. A velocidades mayores a 1,5 m/s la soldadura se desarrolla en forma plana en las superficies que friccionan y de grosor uniforme en toda la superficie de las piezas. A velocidades superiores a 4 m/s, la soldadura se redondea y es más gruesa hacia el centro. Mientras que las soldaduras satisfactorias se pueden realizar en aceros bajos en carbono por encima de 1,5 m/s, los aceros para herramientas requieren una velocidad mínima de 2.5 m/s

Influencia de la presión axial. La presión empleada para forzar a que las partes se unan tiene una influencia importante en los patrones de calentamiento. El uso de altas presiones axiales reduce la zona afectada por el calor y requiere de menor tiempo para la ejecución de la soldadura. La temperatura alcanzada en el proceso se rige por la presión axial, lo cual permite el control de la calidad de la soldadura y permite controlar la temperatura en la soldadura de materiales con diferentes temperaturas de fusión.

Influencia del tamaño del volante. La capacidad de potencia del volante está limitada sólo por la velocidad a la que puede ser retardado, parando en 0,5 segundos para los Aceros, 0,2 segundos para el Cobre y 0,1 segundos para el Tungsteno. Además, el volante suministra la fuerza de torsión de forja hacia el final del ciclo de soldadura. Por lo tanto, un material difícil de forjar requiere grandes volantes. Aunque el volante debe cumplir los requisitos mínimos de energía para la soldadura, una energía mayor suministrada por el volante (tanto como 200%) no afecta a la calidad de la soldadura. La energía adicional, por supuesto, provoca una mayor cantidad de rebaba o flash de material. La figura 5.18 muestra la influencia del tamaño del volante en el proceso.

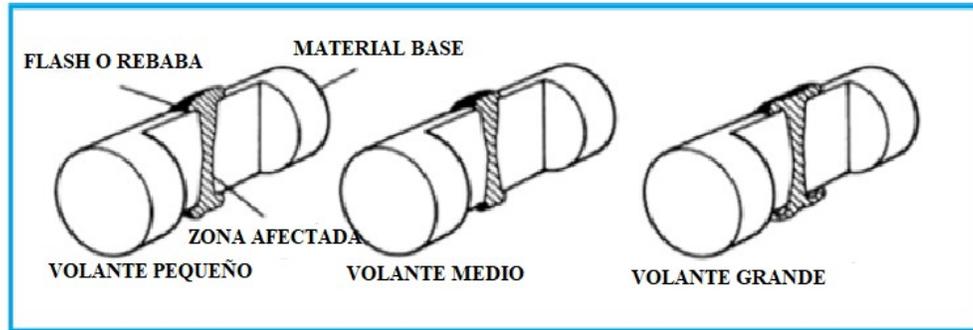


FIGURA 5-18 Influencia del tamaño del volante en el proceso de soldadura por fricción por inercia.

Selección de parámetros para la soldadura. La soldadura por inercia es un proceso muy tolerante, en el que una amplia gama de ajustes puede dar una unión satisfactoria. Las tablas 5.19 y 5.20 ilustran los parámetros recomendados para una amplia gama de materiales y su combinación, mientras que esta tabla sirve para seleccionar directamente las velocidades de rotación y la presión axial, el momento del volante de inercia se calcula a partir de los requerimientos de energía, utilizando la siguiente relación.

$$E=I\omega^2$$

Donde:

E: Energía requerida.

I: Momento polar de inercia.

ω : Velocidad angular.

Tabla 5.19 Parámetros de soldadura por fricción por inercia para materiales de igual composición química. Barras de 25 mm de diámetro.

Materiales	Velocidad RPM	Fuerza axial KN	Momento de inercia del volante Kg M ²	Energía requerida KJ	Material perdido mm	Tiempo seg
Acero SAE 1018	4600	53	0,28	33	2,5	2
Acero SAE 1045	4600	62	0,33	38	2,5	2
Acero SAE 4140	4600	67	0,35	41	2,5	2
Inconel 718	1500	220	5,48	68	3,8	3
Acero inoxidable martensítico	3000	90	0,84	41	2,5	2,5
Acero inoxidable 410	3000	80	0,84	41	2,5	2,5
Acero inoxidable 302	3500	80	0,59	41	2,5	2,5
Cobre comercial	8000	22	0,04	14	3,8	0,5
Aleación de cobre 260	7000	22	0,05	14	3,8	0,7
Aleación de titanio TIGAL-4V	6000	36	0,07	22	2,5	2
Aleación de aluminio 1100	5700	27	0,11	20	3,8	1
Aleación de aluminio 6061	5700	31	0,13	23	3,8	1

Tabla 5.20 Parámetros de soldadura por fricción por inercia para materiales de distinta composición química. Barras de 25 mm de diámetro.

Materiales	Velocidad RPM	Fuerza axial KN	Momento de inercia del volante Kg M ²	Energía requerida KJ	Material perdido mm	Tiempo seg
Acero SAE 1018 con Cobre	8000	22	0,06	20	3,8	1
Acero rápido M2 con Acero SAE 1045	3000	180	1,14	54	2,5	3
Níquel 718 con Acero SAE 1045	1500	180	5,48	68	3,8	2,5
Acero inoxidable 302 con Acero SAE 1020	3000	80	0,84	41	2,5	2,5
Acero alto en carbono con Acero SAE 1018	4600	53	0,35	41	2,5	2,5
Aluminio SAE 6061 con Acero inoxidable 302	5500	22	0,16	27	5,1	3
Cobre con Aleación de aluminio	2000	33	0,46	10	5,1	1

La rebaba o flash que se produce en el proceso depende del volante seleccionado y se debe determinar experimentalmente. Una vez que el sistema de volante y el tamaño de éste han sido seleccionados para un material dado, la rebaba es bastante exacta y reproducible.

5.7 APLICACIONES DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.

Los componentes soldados por fricción se encuentran en todas las áreas de la ingeniería, entre ellas se encuentran la industria aeroespacial, agrícola, automotriz, defensa o militar, marina y petrolera.

- ❖ Entre los componentes que se fabrican por el proceso de soldadura por fricción podemos encontrar engranajes, válvula de motor, tubos de ejes, componentes de transmisión de vehículos, varillas de suspensión y amortiguadores.
- ❖ Los fabricantes de equipos agrícolas con frecuencia sueldan por fricción vástagos de pistones hidráulicos, rodillos guía, engranes, bujes, ejes y componentes similares.
- ❖ En la industria se emplean muchas uniones aluminio/cobre soldadas por fricción. Los aceros inoxidables se sueldan por fricción a aceros al carbono en diversos tamaños para emplearse en sistemas de impulso marinos y en bombas de agua para uso doméstico e industrial. Es común sustituir piezas mecánicas fundidas y forjadas de alto costo monetario por ensambles soldados por fricción.

Aplicaciones en el área aeroespacial. En la industria aeroespacial se utiliza para la unión de estructuras en el fuselaje, Blisks (discos utilizados en turbinas). Ofrece significativos ahorros de costos en comparación con otros métodos, como el maquinado de bloques sólidos como materia prima.



FIGURA 5.21 Blisk de turbina de un avión, soldado por fricción agitación.



FIGURA 5.22 La industria de las turbinas de gas está volcada en una mejora para mayor eficiencia y seguridad, empleado soldadura por fricción.

Aplicaciones en el área de la construcción. Es utilizada para unir partes de maquinaria de construcción cuyos componentes típicos incluyen cilindros y varillas hidráulicas, piezas giratorias y rodillos de mando.



FIGURA 5.23 Variedad de ejes de pistones soldados por fricción.

Aplicaciones en el área eléctrica. Entre los componentes eléctricos soldados por fricción se encuentran una gran gama de piezas bimetálicas para la distribución de energía eléctrica y plantas generadoras de baja y media tensión.



FIGURA 5.24 Terminales eléctricos de aluminio – cobre.

Aplicaciones en el área automotriz. Una gran variedad de componentes para camiones y vehículos pesados se sueldan por fricción. Entre estos se encuentran ejes de dirección, engranajes de transmisión, válvulas de cilindros entre otros.

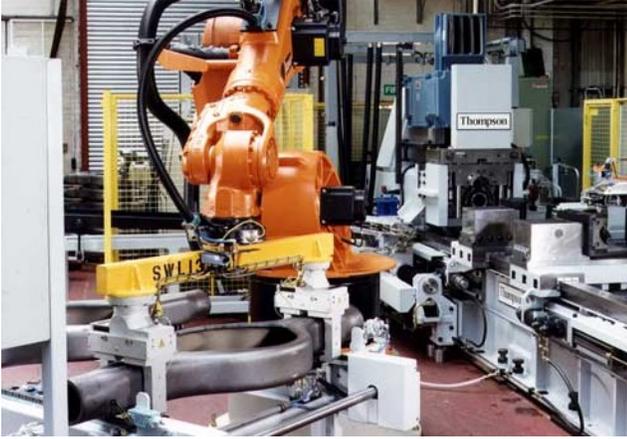


FIGURA 5.25 Válvulas y componentes automotrices soldados por fricción.

Aplicaciones en el área petrolera. La soldadura por fricción es utilizada en la fabricación de barras de perforación (drill rods) para pozos de agua y tubos API (drill pipes) utilizados en la exploración de campos de petróleo.



FIGURA 5.26 Drill rods soldados en sus extremos por fricción.



FIGURA 5.27 Diversos componentes fabricados por soldadura por fricción.

5.8 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LA SOLDADURA POR FRICCIÓN.

La soldadura por fricción, como cualquier otro proceso de soldadura, tiene ventajas y desventajas específicas, entre las cuales podemos encontrar:

Ventajas

1. No requiere de metal de aporte, ni gas protector.
2. El proceso es limpio desde el punto de vista ambiental, no se producen arcos, chispas, humo ni vapores generados cuando las piezas están limpias.
3. La soldadura por fricción es apropiada para soldar una gran variedad de los materiales de uso en ingeniería y además para la unión de varias combinaciones de materiales disímiles.
4. En la mayoría de los casos, la resistencia mecánica de la soldadura es equivalente o superior a la del más débil de los dos materiales que se unen.
5. No es necesario que el operador tenga habilidades o capacitación en el área de soldadura manual, aunque si es conveniente que adquiera conocimientos generales sobre aspectos generales de soldadura y sus propiedades.
6. El proceso es factible y fácil de automatizar para grandes volúmenes de producción.
7. Las soldaduras se producen con rapidez en comparación con otros procesos de soldadura.
8. Proceso apropiado y recomendado para altos volúmenes de producción.
9. Reducción de costos de producción para altos volúmenes de producción o en serie.

Limitaciones

1. En la mayoría de los casos, una de las piezas de trabajo debe tener un eje de simetría y poder girar alrededor de ese eje para facilitar y realizar el proceso.
2. La preparación, limpieza y alineación de las piezas de trabajo puede ser crucial para que el rozamiento y calentamiento sean uniformes y apropiado en el proceso.
3. La inversión de capital inicial para la adquisición del equipo y herramienta son elevados.
4. No es posible soldar materiales auto lubricados, o que no sean forjables.
5. La técnica no es aplicable en todos los materiales.

- Lopez González, L.R. (2013). Soldadura por fricción [Tesis de licenciatura, Universidad del Bío-Bío]. Chile.
- http://repositorio.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1091/1/Lopez_Gonzalez_Luis_Ricardo.pdf

CAPÍTULO 6

SOLDADURA POR HAS DE ELECTRONES.

6.1 FUNDAMENTOS DE LA SOLDADURA POR HAS DE ELECTRONES.

La soldadura por haz de electrones (EBW por su acrónimo en inglés, electron beam welding), es un proceso por fusión que utiliza la energía que aporta un haz de electrones para fundir el material a unir. La principal característica de este proceso es el estrecho y profundo cordón de soldadura que ofrece. Uno de los limitantes es la necesidad de una cámara de vacío para contener el cañón de haz de electrones y la pieza de trabajo. El principio de la tecnología se basa en un haz de electrones los cuales son acelerados por un voltaje muy alto y por lo cual se utiliza como una herramienta para el tratamiento de materiales tales como la soldadura. Hoy en día, el proceso de electrones está firmemente establecido en muchos campos de la industria; especialmente como tecnología de unión ya que ha sido generalmente aceptado por su fiabilidad y eficiencia, siendo la industria aeroespacial y de energía nuclear las primeras en utilizar esta tecnología.

Actualmente, el desarrollo del proceso de haz de electrones se concentra principalmente en la soldadura. El diseño de los cañones se ha perfeccionado de tal manera que se puede combinar control numérico por computadora para la deflexión del haz y el movimiento mecánico de las piezas de trabajo.

Tabla 6.1 – Desarrollo de la soldadura por haz de electrones.

AÑO	EVENTO
1879	Sir W. Crookes: fusiona un ánodo de platino en rayos catódicos.
1897	J. J. Thompson: muestra que los rayos catódicos eran haces de electrones.
1907	M. Pirani: patenta la fusión de haz de electrones.
1938	M. Ardenne: usa los haces de electrones como herramienta de trabajo.
1951	Patente Británica 727.460: Soldadura por puntos de alambre fino por haz de electrones; K. H. Steigerwald construye máquinas de soldadura por haz de electrones, principalmente para la perforación.
1954	J. A. Stohr: comienza a trabajar en la soldadura por haz de electrones.
1956	Heraeus: produce un cañón de electrones sin vacío.
1957	J. A. Stohr: presentación de J. A. Stohr de los resultados de la práctica de soldadura por haz de electrones de zirconio la "Conferencia de elementos combustibles" en París.
1958	W.L. Wyman reporta trabajo en EE.U; equipos Zeiss suministrados a Bettis; N. A. Olshansky reporta trabajo en la URSS; primer equipo comercial disponible en el Reino Unido.
1959	Primer informe de soldaduras con muy alta profundidad a anchura utilizando un equipo Steigerwald; primer reporte de obras en Japón con la máquina JEOL.
1968	Primera máquina de soldadura por haz de electrones en Polonia.

6.2

CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO.

El principio de esta tecnología se basa en un haz de electrones que es acelerado con un alto voltaje y puede ser utilizado como una herramienta para el tratamiento de materiales. Por su fiabilidad y eficiencia, su uso en soldadura y modificación de superficies es el más común y se encuentra ampliamente desarrollado tanto en términos de investigación y aplicaciones industriales. Es un proceso muy versátil que acepta unir diferentes grados de acero, así como 16 materiales no soldables por otros métodos de soldadura como son los metales refractarios (tungsteno, molibdeno, niobio) y metales activos químicamente (titanio, circonio, berilio). Es capaz de unir metales disímiles. Sin embargo, el proceso puede ser complicado cuando se

tienen metales totalmente diferentes, ya que influye su composición química, conductividad térmica, propiedades de solidificación, coeficiente de expansión térmica, entre otras características. En cuanto a los espesores de los materiales que se pueden unir abarcan rangos de láminas muy delgadas de 0.01 mm hasta muy gruesas de más de 250 mm en acero y más de 500 mm en aluminio. La relación entre la profundidad y la anchura de una soldadura se extiende hasta de 50:1. En algunos casos la soldadura por haz de electrones se lleva a cabo en un cámara vacío (con alto o bajo vacío) y en otros, el haz de electrones puede ser aplicado en condiciones atmosféricas normales. En comparación con otros métodos de unión, la soldadura por haz de electrones se caracteriza por:

- Una muy alta densidad de potencia de aproximadamente 10^7 W cm^2 en el foco del haz;
- La transferencia de energía se produce por conducción de calor a través de la superficie de la propia pieza de trabajo;
- No es necesaria ninguna preparación de borde, independientemente del grosor de la pieza de trabajo, tampoco se requiere metal de aporte;
 - Con altas velocidades de soldadura resultan estrechos cordones y reducidas zonas afectadas por el calor, así como poca distorsión de la pieza de trabajo;
- La distancia de trabajo variable permite trabajar con piezas de diferentes formas;
- Es posible el monitoreo computarizado y el control eléctrico y mecánico de los parámetros de soldadura;
- Los parámetros de soldadura se pueden operar en forma constante, y por lo tanto la calidad de las soldaduras producidas, son altamente reproducibles y consistentes;
- Cuando la soldadura se lleva a cabo en bajo vacío, los consumibles (gases, flujos) son necesarios para proteger el baño de fusión de la oxidación;
- Con voltajes de aceleración superiores a 60 kV se blindan con plomo las paredes de la máquina de soldadura con el fin de evitar la emisión de rayos X;
- Las potencias del haz mucho menores a 1 kW hasta 300 kW pueden soldar espesores de al menos 0.5 mm hasta 300 mm;

- Las máquinas están disponibles para soldar componentes variables de única vez, así como para el uso de operaciones de producción en masas como la industria automotriz;
- Se pueden realizar costuras simples de forma longitudinal, así como de componentes en tres dimensiones que requieren el uso de parámetros de soldadura programables y la manipulación de la pieza de trabajo;
- Los aceros estructurales, aceros aleados, metales no ferrosos e incluso metales especiales sensibles al gas se pueden soldar con éxito mediante este proceso.

6.3 BASES DEL PROCESO DE SOLDADURA CON HAZ DE ELECTRONES.

Para llevar a cabo el proceso de soldadura por haz de electrones, es necesario considerar algunos conceptos involucrados durante su desarrollo.

6.3.1 Electrón

Los átomos no son indivisibles, cada uno está compuesto de partículas subatómicas como son los electrones, protones y neutrones. El electrón, abreviado e⁻, fue descubierto en 1879 por el químico y físico inglés William Crookes. Durante las tres décadas posteriores, el trabajo del físico inglés J. J. Thomson y del físico estadounidense Robert A. Millikan estableció la masa y carga real del electrón. Los electrones son partículas elementales contenidas en cada átomo y llevan carga negativa. Son responsables de las propiedades mecánicas y químicas de los átomos, también actúan como portadores de energía de corriente eléctrica. La carga relativa es - 1, y la masa de un solo electrón es de 9.109×10^{-28} g [5.486×10^{-4} (0.0005486) uma]. De manera que, para fines prácticos, se considera insignificante la masa del electrón. El movimiento de las cargas, positivas y negativas, genera en todo el espacio un campo eléctrico y otro magnético variables que son los que constituyen la radiación. El campo magnético está asociado a los fenómenos electrodinámicos, y aparece siempre que existen corrientes eléctricas. Las cargas eléctricas móviles ejercen fuerzas magnéticas entre sí, además de las fuerzas puramente eléctricas o electrostáticas, definidas por la ley de Coulomb. Puesto que los electrones están en movimiento alrededor del núcleo atómico, y cada electrón parece,

además, estar en rotación constante alrededor de su propio eje, cada átomo presenta efectos magnéticos.

6.3.2 Haz de electrones

La herramienta de “haz de electrones” es un estrecho haz de electrones altamente acelerados, que permite obtener electrones libres para un haz, primero tienen que ser liberados de los átomos. Esto se consigue mediante el calentamiento de un electrodo emisor. Debido a su carga, los electrones pueden ser influenciados de dos maneras: en los campos eléctricos en los que son acelerados hacia el ánodo (electrodo positivo), actuando sobre ellos la llamada fuerza de Coulomb como se muestra en la figura 6.2.

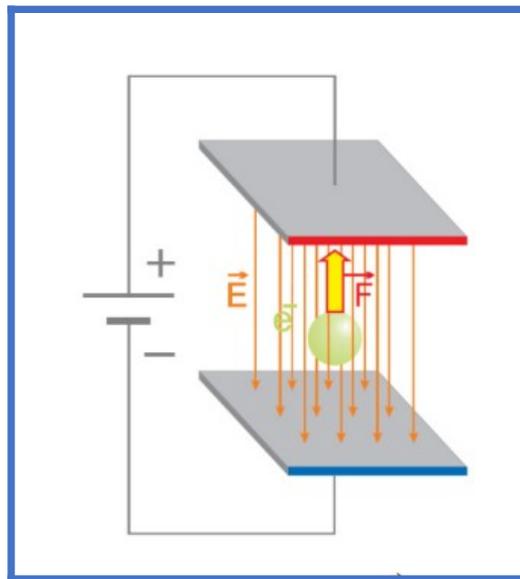


Figura 6.2 – Como resultado de la fuerza de Coulomb F^{\rightarrow} el electrón en el campo eléctrico E^{\rightarrow} experimenta una aceleración en la dirección del ánodo.

En las máquinas de haz de electrones también los electrones son acelerados por esta fuerza. En el proceso los electrones absorben energía que resulta en un incremento de velocidad. La cantidad de energía absorbida por un electrón durante este proceso está determinada principalmente por la diferencia de voltaje a través del cual pasa el electrón.

La segunda manera de actuar sobre los electrones es con campos magnéticos (figura 6.3): la llamada fuerza de Lorentz afecta la dirección del movimiento de los electrones. Son desviados perpendicularmente a su trayectoria y a las líneas de campo, sin cambiar su velocidad.

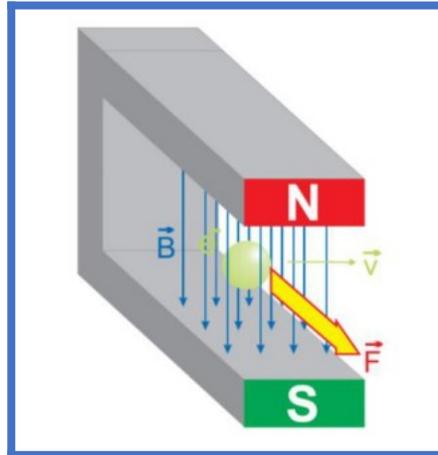


Figura 6.3 – La fuerza de Lorentz \vec{F} actúa sobre el electrón en un campo magnético \vec{B} y es perpendicular a la dirección de movimiento \vec{v} y a las líneas de campo.

En una máquina de soldadura, los campos magnéticos son utilizados en varios lugares. Se utilizan en la formación y desviación del haz y para la creación de lentes magnéticas. Los campos magnéticos parásitos del material que está siendo soldado tienen un efecto no deseado sobre el haz. Estos campos, por lo tanto, tienen que mantenerse lo más bajo posible.

Figura 6.4

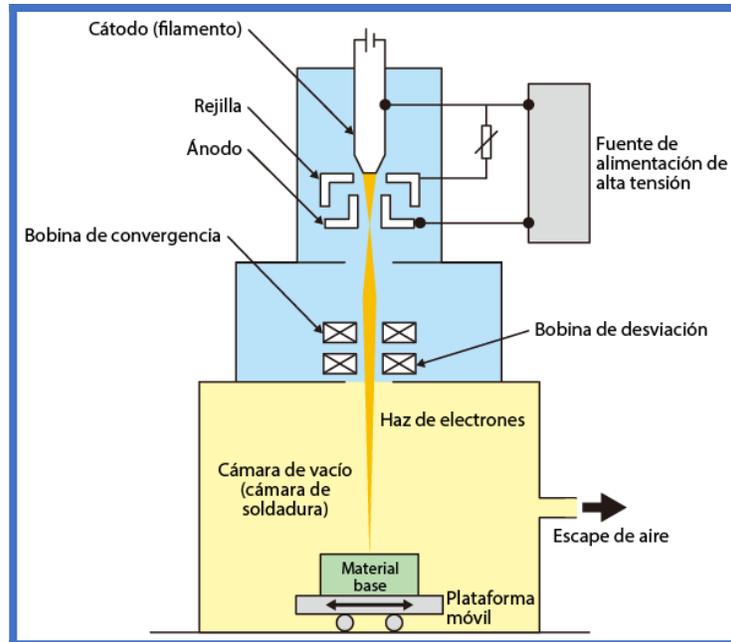


Figura 6.4 Representación del equipo de soldadura por haz de electrones.

Los campos eléctricos dentro de los átomos también tienen una influencia en los electrones. Cuando los electrones se encuentran con átomos (por ejemplo, una pieza de trabajo, o de aire) renuncian a una parte de su energía para estos átomos, aumentando su temperatura. Un haz de electrones en una atmósfera con un vacío pobre se vuelve más amplio como resultado de dispersión múltiple, dependiendo de la densidad. Por esta razón, es preferible trabajar con un vacío en las máquinas de electrones.

6.4 PENETRACIÓN DEL HAZ DE ELECTRONES DURANTE LA SOLDADURA

El efecto deseado del haz de electrones en la pieza de trabajo es que al calentar el material impacte en un área que sea lo más estrecha posible. Debe fundirse y en parte vaporizarse para crear una soldadura o para hacer agujeros. Si un haz de electrones impacta en un metal, los electrones penetran en él. La profundidad de penetración depende de la energía de los electrones (tensión de aceleración) y la densidad del metal. Normalmente, la profundidad de penetración es menor que 0.1 milímetros, y la mayoría de los electrones son capturados en el metal. Unos pocos electrones se dispersan de nuevo por los átomos y pueden dejar el metal de nuevo. La cantidad de estos electrones retrodispersados depende de la profundidad de

penetración y, por lo tanto, del material de la pieza de trabajo. Una fracción de la energía de los electrones se libera como los rayos X. Esta radiación no es intencional, pero no se puede evitar. En consecuencia, el equipo debe ser protegido para evitar riesgos de salud. Tradicionalmente, el blindaje se incorpora en la cámara de vacío. Aunque los electrones penetran menos de 0.1 milímetro en diferentes metales, es posible obtener profundidades de varios centímetros. El responsable de esto es el llamado efecto de profundidad de penetración, véase la figura 6.5. El haz de electrones calienta tanto el metal que el metal se funde e incluso se vaporiza en el centro. Un agujero capilar (ojo de cerradura o keyhole) en el metal fundido es creado por la presión de vapor permitiendo penetrar más el haz de electrones en la pieza de trabajo. Este efecto hace posible el uso de haz de electrones para crear soldaduras profundas y estrechas.

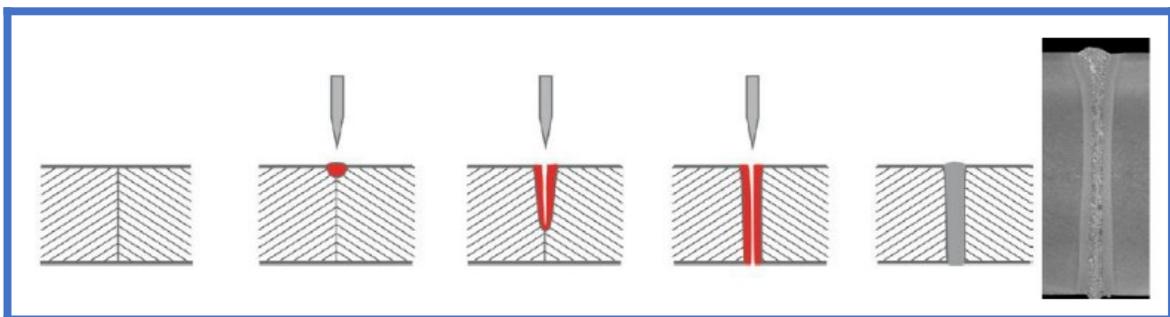


Figura 6.5 Efecto de penetración profunda: La fusión y la vaporización permiten que el haz de electrones penetre el material profundamente. El baño de soldadura (weld pool) penetra en la pieza de trabajo. Derecha: Micrografía de una soldadura de penetración completa en acero S355 de espesor 50 mm.

6.5 EQUIPO DE SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.

Dependiendo de la configuración del equipo, una columna de haz de electrones puede constar de varios componentes. Cada una cuenta con un cañón de electrones que puede alcanzar hasta 100 kW, con un cátodo de tungsteno que es acelerado en un rango de 10 a 200 kV a velocidades arriba de 100 km/s, un cilindro Wehnelt y el ánodo, una lente de enfoque y un deflector. Los electrones emitidos por el cátodo son agrupados en un haz donde son acelerados y enfocados a campos electrostáticos. El haz emerge a través del diafragma del ánodo y se extiende en forma cónica hasta que entra en el campo magnético de la lente de

enfoco. Después del enfoque realizado por el sistema de la lente, los electrones fluyen a través del sistema de bobinas de deflexión con el que los electrones son desviados electromagnéticamente en una forma cuasi-libre de inercia y por lo tanto pueden ser guiados a la pieza de trabajo (figura 6.6). Se cuenta con la opción de incorporar un deflector de centrado para ajustar que el haz pase a través del centro de la lente y así minimizar errores. Un astigmador permite optimizar la forma del haz (redondez). Para ciertos procesos, es útil emplear una lente adicional junto con una abertura. Existen otras posibles variaciones en la geometría del cañón de electrones, el tamaño del cátodo o la distancia entre el cañón de electrones y la lente, la distancia del objeto. La relación entre la distancia del objeto y la distancia de la imagen, o la distancia de trabajo, determina la escala de la imagen y por lo tanto el diámetro del punto del haz. La óptica magnética y el control electrónico también puede ser adaptado a las necesidades, proporcionando una relación óptima entre velocidad, precisión y costo.

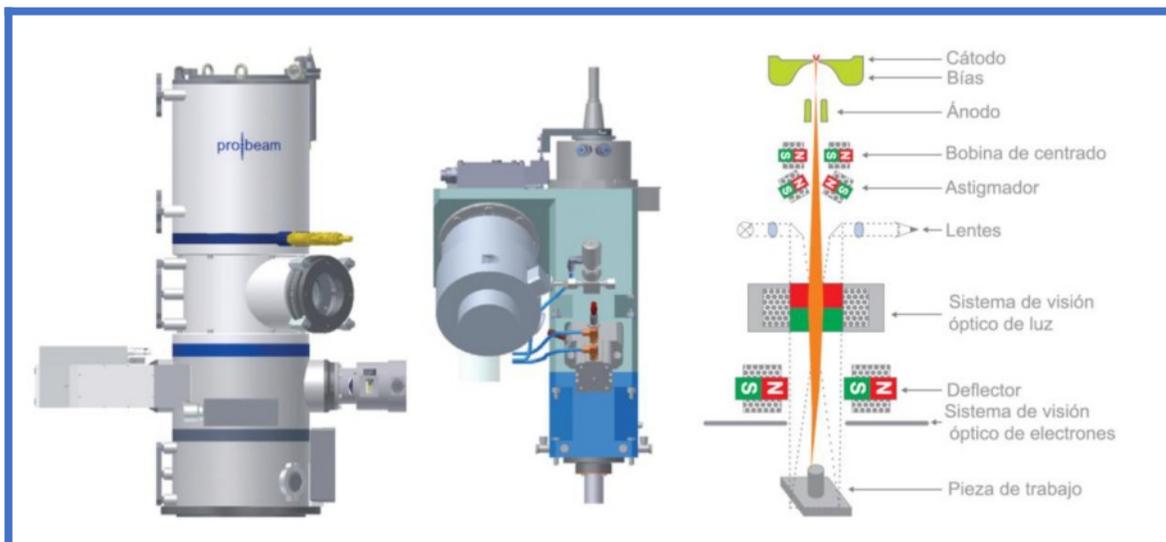


Figura 6.6 Columna de alto voltaje para altas potencias de haz (izquierda), la columna de bajo voltaje para potencias medias de haz (centro), diagrama de una columna de haz (derecha).

La mayoría de las columnas de haces de electrones están equipadas con sistemas de diagnóstico para la observación del proceso de soldadura. En la mayoría de los casos esto es un sistema luz-óptico con una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada) o telescopio. La interacción del haz de electrones con la superficie del material se muestra en la figura 6.7. El

haz de electrones incide sobre la superficie de la pieza, interactúa con los electrones del material y hace que las emisiones de:

- electrones retrodispersados (reflejados),
- electrones secundarios,
- electrones Auger,
- rayos X,
- fluorescencia de rayos,
- radiación térmica.

Cada tipo de radiación se emite desde diferentes profundidades del material variando su volumen, con el aumento de la energía del haz de electrones primarios (es decir, el incremento del voltaje de aceleración) aumenta la profundidad y el volumen de la zona de transmisión. Al mismo tiempo, el voltaje aumenta el diámetro de la zona siendo mayor que el diámetro del haz.

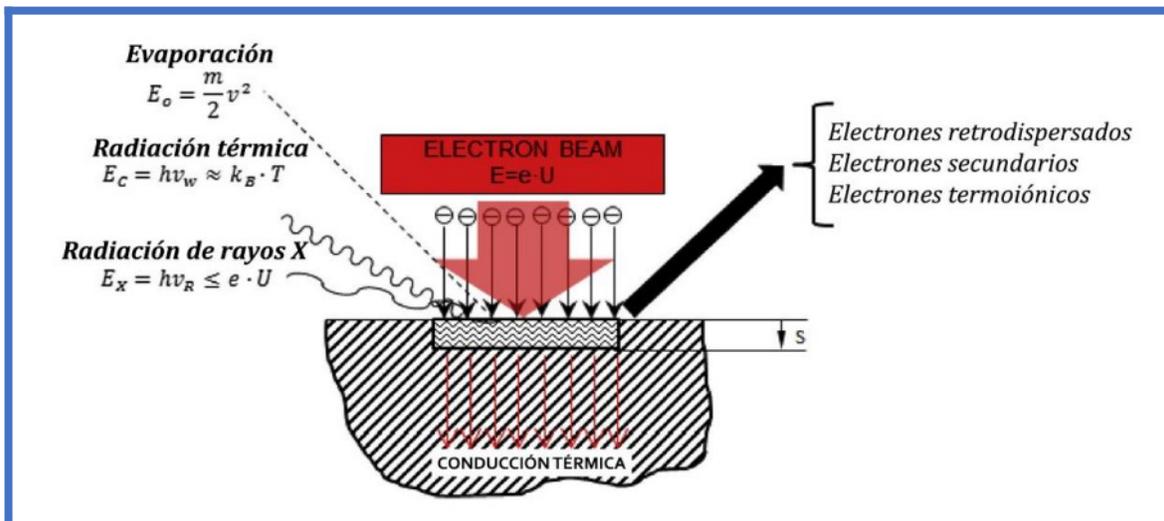


Figura 6.7 Esquema de la interacción entre el haz de electrones y la superficie del material soldado.

Asimismo, la profundidad de la penetración de los electrones se ve afectada por el número atómico (Z) del material de los componentes soldados, la densidad del material bombardeado (ρ), el espesor de material y el ángulo de incidencia (φ).

6.6 PARÁMETROS DE SOLDADURA.

Los parámetros básicos de la soldadura por haz de electrones incluyen el voltaje de aceleración, la corriente de soldadura, la velocidad de soldadura, el diámetro del haz que impacta en la superficie de la pieza de trabajo, la distancia focal de las lentes electromagnéticas, la corriente de las lentes electromagnéticas y el nivel de vacío en la cámara de trabajo. El voltaje de aceleración (KV) del haz de electrones, dependiendo del dispositivo, es de entre 10 y 200 KV. Cuanto mayor sea el voltaje de aceleración, mayor es la potencia del haz (para una corriente de haz constante) y mayor será la profundidad de penetración. Con eso también es posible observar la mejora de la forma del cordón de soldadura – las soldaduras se hacen más estrechas y los límites más profundos, los límites de fusión se vuelven más paralelos, lo que reduce tensiones de soldadura. Un voltaje de aceleración muy elevado puede causar socavados, irregularidades en la cara de la soldadura o un exceso de penetración en los cordones. La energía del electrón se puede expresar como: $E=V \cdot I$ donde V es el voltaje de aceleración e I es la corriente del haz de electrones. Un voltaje de aceleración superior permite manejar mayores distancias de trabajo y, por lo tanto, realizar un proceso más flexible y la posibilidad de soldar componentes con formas más complicadas. La corriente del haz de electrones (mA) afecta el cambio de densidad de potencia, y como resultado de eso, influye en la profundidad de penetración del material soldado. Un incremento en la corriente de haz de electrones se acompaña de una mayor profundidad de penetración. Para bajos valores de corriente del haz, aproximadamente 1-10 mA, los resultados son prácticamente los mismos que los obtenidos usando un proceso convencional de soldadura por arco. Una velocidad de soldadura (m/min) ajustada correctamente a la potencia del haz de electrones es decisiva para la energía lineal del proceso, por lo que afecta el proceso de aporte de calor e influye en la geometría de la soldadura, es decir, en la profundidad de penetración y el ancho de la cara de la soldadura. Un aumento en la velocidad de la soldadura es acompañado por una disminución en la profundidad de la penetración y en el ancho del cordón. El diámetro de un haz enfocado sobre la superficie de la pieza de trabajo (mm) es

decisivo para la densidad de potencia del haz y, por lo tanto, influye en la profundidad de penetración y la forma de la soldadura. Puede ser ajustado por la corriente del cátodo de control y la corriente de la bobina magnética enfocada con un rango de entre 0.01-10 mm. La distancia focal del haz de electrones (mm) es decisivo para la profundidad de penetración en un material a soldar, así como para la forma y calidad de la soldadura. Modificando la posición del enfoque del haz en relación con la superficie de la pieza de trabajo, sin cambiar los otros parámetros de soldadura, altera el diámetro del haz en la superficie de la pieza y, como consecuencia, cambia la densidad de potencia del haz. La corriente de las lentes de enfoque (mA) es decisiva para el diámetro y la localización del foco del haz, la distancia de trabajo constante y la potencia del haz. El vacío en la cámara de trabajo (mbar) es decisivo para la calidad de la junta soldada. Un alto vacío asegura mayor calidad en las juntas debido a la adecuada evaporación del metal de soldadura. La soldadura realizada en vacío está acompañada por la evaporación de los componentes de aleación de elevada presión de vapor, que puede reducir el contenido de los constituyentes en la soldadura. Una disminución en la presión de la cámara de trabajo reduce el diámetro del haz y disminuye la densidad de potencia.

6.7 SOLDABILIDAD DE LOS MATERIALES POR EL PROCESO DE HAZ DE ELECTRONES.

Dependiendo de la densidad del haz de electrones y del modo de operación del cañón de electrones (estacionario o haz pulsante), el aporte de calor a un material que se está soldando cambia dentro de un amplio intervalo. Como resultado, es posible soldar diversos metales y aleaciones, con diferentes espesores y formas. La flexibilidad de la soldadura por haz de electrones permite unir materiales soldables y poco soldables, así como de materiales totalmente insoldables por medio de métodos convencionales. Los pequeños esfuerzos y tensiones de soldadura causadas por la tecnología de haz de electrones la hacen útil para aleaciones que son susceptibles al agrietamiento como el AlCu. Debido a la alta dureza en la ZAC, es necesario aplicar un tratamiento térmico cuando se tienen que soldar aceros con un alto contenido de carbono. En la figura 6.8 se muestran las combinaciones de diferentes materiales que se pueden soldar mediante el proceso de haz de electrones.

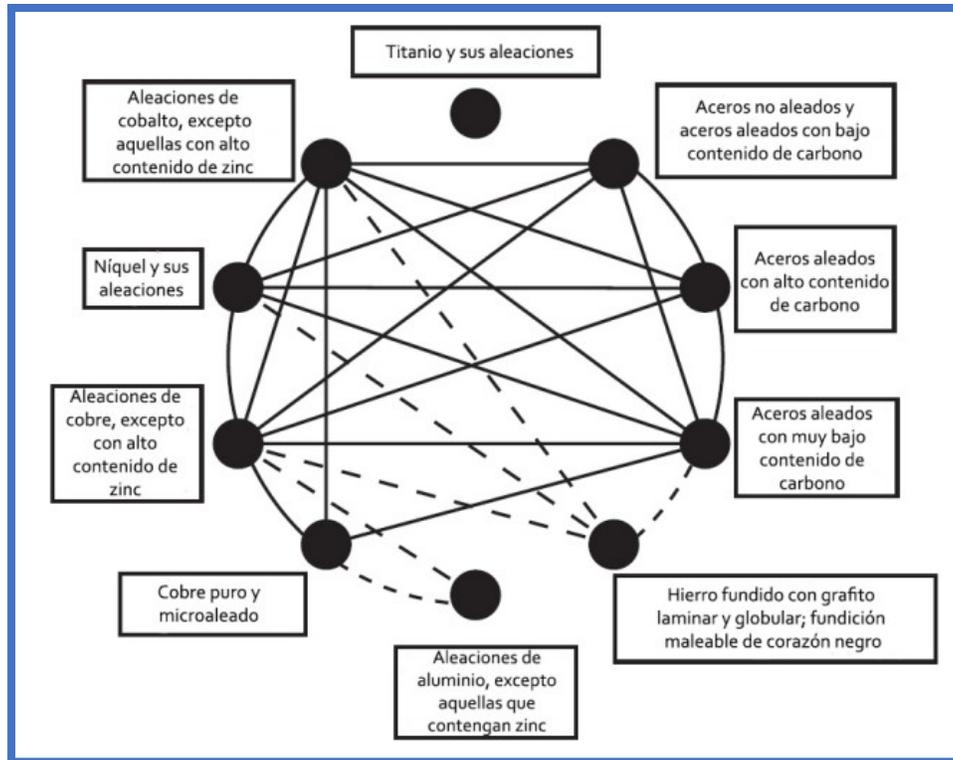


Figura 6.8 Combinaciones de soldaduras aptas para los diferentes materiales.

Idoneidad de la soldadura: ----- buena, - - - - - limitada

6.8 UNIONES DE SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES.

La soldadura por haz de electrones se utiliza para fundir y unir materiales base. Debido a que la soldadura se caracteriza por un punto pequeño con efectos térmicos mínimos, los acoplamientos sin separación son ideales. Sin embargo, cuando se suelda con una profundidad de penetración máxima de 3 a 5 mm (0.12" a 0.20"), se suelen permitir separaciones de hasta 0.1 mm (0.004"). Las penetraciones más profundas permiten un umbral de separación mayor. A una profundidad de penetración de 50 mm (1.97"), es posible soldar incluso con una separación de 3 mm (0.12") utilizando material de aportación (alambre de soldadura). La figura 6.9 muestra algunas uniones posibles mediante soldadura por haz de electrones.

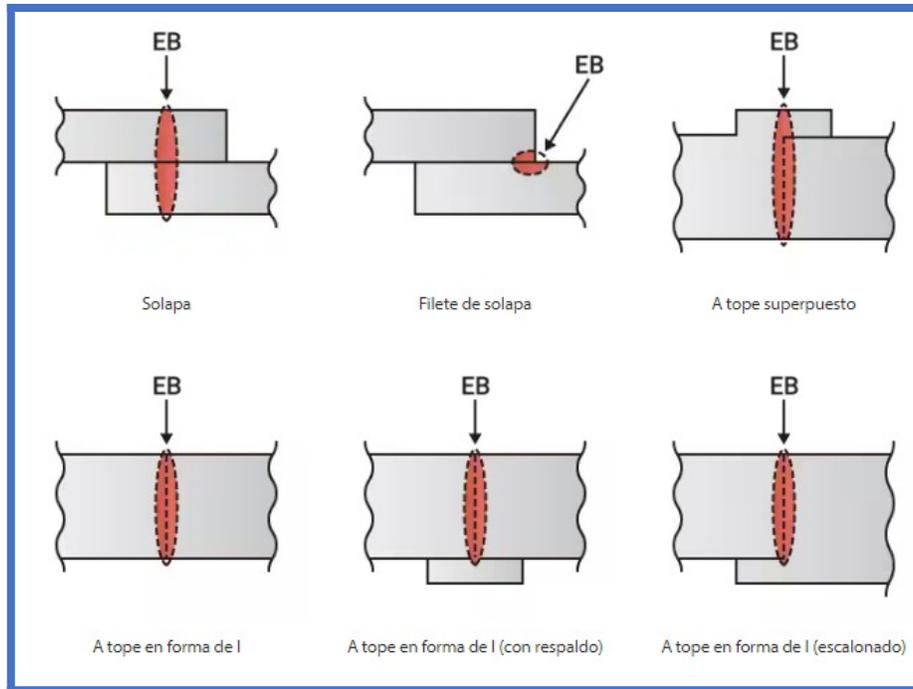


Figura 6.9 A y B Uniones de soldadura típicas posibles con la soldadura por haz de electrones (EB = HAZ DE ELECTRONES)

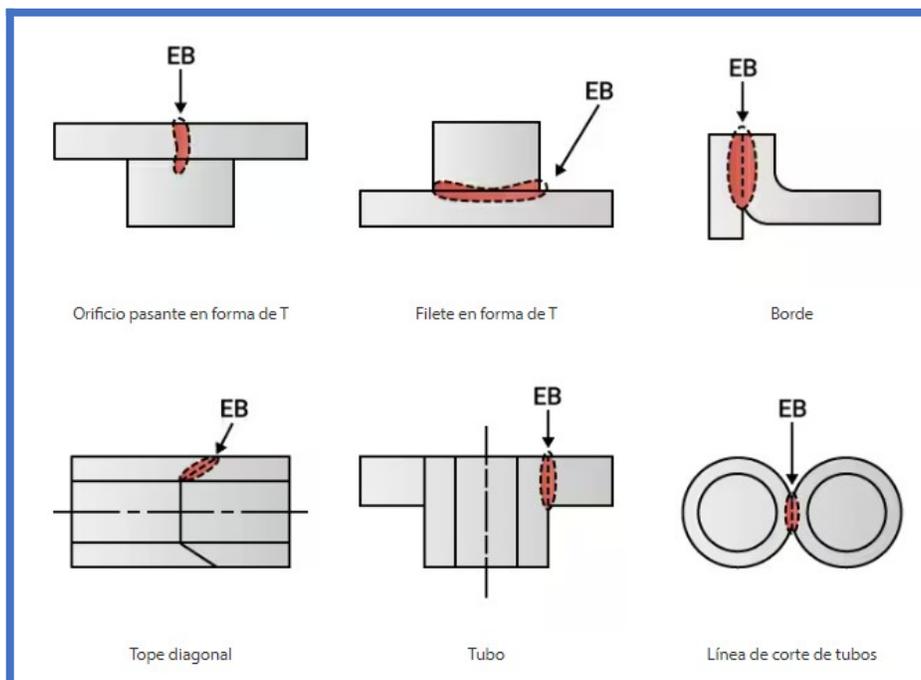


Figura 6.9 A y B Uniones de soldadura típicas posibles con la soldadura por haz de electrones (EB = HAZ DE ELECTRONES)

6.9 VENTAJAS DE LA UNIÓN POR HAZ DE ELECTRONES.

La soldadura por haz de electrones se utiliza en producción en masa y en la fabricación de elementos individuales. El proceso se lleva a cabo en cámaras de vacío que garantizan la estabilidad de los parámetros, la capacidad de repetición y la programación. Los dispositivos actuales alcanzan un voltaje de hasta 150 KV, valor que permite soldar juntas de aceros de hasta más de 100 mm (esto comparado con el máximo espesor de elementos soldados con tecnología láser, el cual asciende solamente a 20 mm). Por otra parte, en métodos convencionales se requieren más de un cordón de soldadura (multipasada) para asegurar la junta, en el proceso de haz de electrones no es necesario, logrando un proceso más eficaz y de calidad.

En la soldadura por haz de electrones una junta se hace con una sola pasada, sin metal de aporte, sin biselado y con el tiempo de soldadura de 1 metro en 8 min. El uso de un haz de electrones en los procesos de soldadura permite:

- Soldadura de metales que tienen varias propiedades físicoquímicas.
- Realización de soldaduras en zonas de difícil acceso en la pieza de trabajo.
 - La obtención de soldaduras estrechas debido a la alta densidad de potencia y la alta velocidad de soldadura (ancho de soldadura/relación de profundidad 01:10-01:50) con una limitada ZAC y la mínima deformación en la pieza de trabajo.
 - El uso de juntas a tope con la preparación cuadrada, sin biselar los bordes y sin la necesidad de utilizar metal de aporte. La soldadura por haz de electrones permite manejar resultados económicos significativos y un rápido retorno de la inversión como consecuencia de la coordinación adecuada.
- Aumento de la velocidad, la eficiencia y la posibilidad de automatización del proceso.
- Eliminación de consumibles de soldadura (metales de aporte, flujos y gases); - Mejora de la calidad del producto.
- Eliminación de distorsiones de soldadura.
- Posibilidad de soldar elementos después del mecanizado o tratamiento térmico.

6.10 DIFERENCIAS ENTRE SOLDADURA POR LÁSER Y POR HAZ DE ELECTRONES.

Tanto la soldadura por haz de electrones como la soldadura por láser son capaces de lograr una penetración profunda con una pequeña cantidad de calor. Con la soldadura por láser, no se requiere vacío, el equipo puede ser más pequeño que el de soldadura por haz de electrones y es posible

Alcanzar altas velocidades de soldadura.

Sin embargo, los rayos láser tienen una potencia más pequeña que los haces de electrones, por lo que la profundidad de penetración es menor, lo que hace que la soldadura por láser no sea adecuada para soldar placas gruesas. Además, si la reflectancia de la superficie del material base es alta, la eficiencia energética disminuirá.

En la tabla 6.10 se comparan varios aspectos de cada método. La comparación muestra que ambos métodos tienen ventajas y desventajas, y que las ventajas de cada método deben aprovecharse en consecuencia.

Tabla 6.10 Comparación entre la soldadura por haz de electrones y la soldadura por láser.

CARACTERÍSTICA	SOLDADURA POR HAZ DE ELECTRONES	SOLDADURA POR LÁSER	
		LÁSER CO ₂	LÁSER YAG
Dispositivo de fuente de calor.	Generador de alta tensión + cañón de electrones.	Resonador óptico con CO ₂	Resonador óptico con YAG
Rango de potencia del equipo disponible en el mercado.	3KW a 100KW	0.5 KW a 45KW	0.1 KW a 6 KW
Capacidad máxima de fusión.	Aprox. 150 mm (5.91") con 100 KW	Aprox. 30 mm (1.18") con 45 KW.	Aprox. 10 mm (0.39") con 6 KW.

Eficiencia energética del haz.	Aprox. 100%	Aprox. 20% pérdidas debido a reflexión y absorción del plasma.	Coefficiente de absorción superficial superior al CO ₂ con menor absorción del plasma.
Grosor de material práctico.	Aprox. 100 mm (3.94")	Pocos mm (1-3 mm)	Pocos mm (1-3 mm)
Atmósfera de soldadura	La soldadura debe realizarse en vacío.	Se requiere protección de gas inerte.	Se requiere protección de gas inerte.
Material de soldadura	Los indicados en la figura 6.8	Metales y otros materiales.	Metales y otros materiales.

6.11 ESTÁNDARES DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.

Los procesos en los que no se está bajo el control manual de la soldadura, tales como la soldadura por haz de electrones y soldadura láser, se establecen requisitos para los parámetros de las máquinas, operadores, así como para la calificación del proceso. Las normas actuales cubren una amplia variedad de temas como se muestra en la tabla 6.11

Tabla 6.11 Estándares de calificación del proceso de soldadura por haz de electrones.

ESTANDAR DE REFERENCIA	TÍTULO	ÁMBIT DE REGULACIÓN
ISO 14744	Welding. Acceptance inspection of electron beam welding machine.	Especifica los requisitos para la inspección de la aceptación de las máquinas de soldadura por haz de electrones.
EN1011-7	Welding. Recommendations for welding of metallic material – Part 7: Electron beam wlding.	Detalles sobre requisitos de calidad, instalaciones de producción de soldadura, así como la soldadura de algunos materiles.
EN ISO 3834	Quality requirements for fusion welding of metallic materials.	Define los requerimientos de calida integrales para la soldadura por fusión de materiles metálicos tanto en los talleres y en las obras de instalaciones en campo.
ISO 13919	Welding. Electron and laser-beam welded joints. Guidance on quality levels for imperfections	Da orientación sobre los niveles de calida de las imperfecciones en el haz de electrones y soldadura por láser. Se establecen tres niveles que se refieren a la calidad de la producción.
ISO 15609-3	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Welding procedure specification. Part 3: Electron beam welding.	Guía sobre los niveles de calidad de las imperfecciones en las juntas de acero y rayo láser. Tres niveles se dan, que se refieren a la calidad de la producción.
EN ISO 15607	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. General rules.	Especifica los requerimientos del contenido de las especificaciones del procedimiento de soldadura por haz de electrones.
ISO 15611	Specification and	Define las normas generales

	qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on previous welding experience.	para la especificación y calificación de los procedimientos de soldadura para materiales metálicos.
ISO 15612	Specification and qualification of welding.	Da la información necesaria para establecer los requisitos de soldadura basados en previas experiencias de soldadura.
ISO 15613	Specification and qualification of welding procedures for metallic materials. Qualification based on pre-production welding test.	Señala como una especificación del procedimiento de soldadura preliminar es calificada basándose en pruebas previas de soldadura.
ISO 14732	Welding personnel. Qualification testing of welding operators and weld setter for mechanized and automatic welding of metallic materials.	Especifica los requisitos para la calificación de los operadores de soldadura y también para los realizadores de soldadura mecanizada y automática.
AWS C7.1/MC7.1	An American National Standard. Recommended practice for electron beam welding and related processes.	Proporciona definiciones de proceso y los requisitos, las prácticas de seguridad y criterios de inspección para la soldadura por haz de electrones. También cubre las aplicaciones comunes de soldadura de haz de electrones. Incluye curvas de potencia para diversas aleaciones.
DVS	Technical Codes of electron beam welding	Documentos relativos a la limpieza, pruebas de seguridad y calidad para la verificación de la soldadura por haz de electrones, así como principios fundamentales para el diseño de componentes.

BIBLIOGRAFÍA

Adriana sthefania rodriguez liñan, (diciembre, 2016), estudio experimental de la soldadura por haz de electrones de aceros para aplicaciones automotrices, para obtener el grado de maestría en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en materiales en la universidad autónoma de nuevo león.

CAPÍTULO 7

SOLDADURA POR ULTRASONIDO.

7.1 GENERALIDADES.

La **soldadura ultrasónica** es un proceso relativamente nuevo. Consiste en una máquina con punta de base plana, donde se colocan los materiales uno encima de otro y después se baja la punta de la máquina, está emite una onda ultrasónica que mueve las moléculas de ambos materiales provocando que se fundan.

Los parámetros deben ser ajustados cada vez que se altera el espesor de la pared de los materiales a fundir.

Las piezas a soldar no se calientan hasta el punto de fusión, sino que se unen mediante la aplicación de presión y vibraciones mecánicas de alta frecuencia .

En contraste con la soldadura de plásticos, las vibraciones mecánicas usadas durante la soldadura ultrasónica de metales se introducen en sentido horizontal.

Durante la soldadura ultrasónica de metales, ocurre un proceso complejo que sufre de activa participación de las fuerzas estáticas, fuerzas de cizalladura oscilante y un aumento de la temperatura moderada en el área de soldadura. La magnitud de estos factores depende del grosor de las piezas, su estructura de superficie, y sus propiedades mecánicas.

Las piezas se colocan entre un elemento de la máquina fija, es decir, el yunque y el sonotrodo, que oscila horizontalmente durante el proceso de soldadura a alta frecuencia (normalmente 20 o 35 o 40 kHz).

La frecuencia de oscilación más comúnmente utilizada (frecuencia de trabajo) es de 20 kHz. Esta frecuencia es superior a las audibles para el oído humano y también permite el mejor uso posible de la energía. Para los procesos de soldadura que requieren sólo una pequeña cantidad de energía, una frecuencia de trabajo de 35 o 40 kHz puede ser utilizada.

La soldadura por ultrasonidos es una tecnología muy rentable, perfecta para artículos populares de consumo que se fabrican en grandes cantidades. Los tiempos del proceso de soldadura no superan el segundo. El método necesita poco mantenimiento y no perjudica el medio ambiente, ya que no se requieren aditivos como por ejemplo disolventes o pegamentos, lo que garantiza su limpieza, así como que no se producirá la más mínima alteración en la estructura o color de la pieza. La economía es un

valor añadido, ya que no se precisa de ningún complemento como tornillos, remaches o clips. Los ultrasonidos permiten soldar, transformar, remachar, rebordear, embutir y soldar por puntos.

La soldadura ultrasónica es un proceso moderno, descubierto por el científico Johan Arrendell. Este método se desarrolló en los años 1940. Por el contrario, la soldadura de metal por ultrasonidos se desarrolló en los años 1950 y, desde el momento en que los aparatos se empezaron a controlar por ordenador, esta técnica también empezó a aplicarse al plástico, donde ha logrado resultados rentables de alta calidad.

Tiene aplicaciones muy importantes ya que existen materiales que necesitan ser soldados pero no pueden ser llevados a altas temperaturas debido a que pueden ser presentados como un riesgo y/o alto factor de falla, entre estas aplicaciones se destacan:

Los explosivos pirotécnicos de alta gama, reactivos químicos, materiales eléctricos de nanotecnología, polímeros, entre otros.

Para la unión de los elementos, se puede utilizar todo tipo de termoplásticos sólidos y fibras sintéticas. En la soldadura por ultrasonido interviene una herramienta acústica que genera ondas sonoras de alta frecuencia. Al hacerlo, las piezas que se van a unir se someten a vibración y generan calor en la superficie de contacto por fricción, de modo que se funden y se unen entre sí. Los factores esenciales del proceso de soldadura por ultrasonidos son: material empleado, superficie de contacto, posición del cordón de soldadura, diseño de la unión y amplitud de la soldadura. Estos deben tenerse en cuenta a la hora de elegir la herramienta.

Técnicas de unión en plásticos. La unión entre componentes para crear un ensamble completo o ensamble parcial es una práctica muy común en la industria de la manufactura. Siendo metales y polímeros los materiales más utilizados para su aplicación en ensambles, ya sean sencillos o complejos según lo requiera el producto a desarrollar. Hasta la fecha, no obstante de los esfuerzos realizados por diseñadores y a pesar de la evolución de la tecnología, aún existen piezas cuyas características las hacen difíciles de manufacturar en un solo molde. Los métodos principales para la unión de componentes plásticos se pueden dividir en tres principales categorías. Unión mecánica, unión por adhesivos y a través de soldadura [1].

Soldadura por ultrasonido La técnica de soldadura por ultrasonido se ha utilizado efectivamente por más de 40 años en el área de plásticos. Actualmente se utiliza en una

amplia variedad de aplicaciones como en la industria automotriz, médica, electrónica, empaque, artículos del hogar, entre otros. Un ejemplo sencillo son los tubos con pasta para limpieza dental. Algunos otros ejemplos se pueden observar en la figura 7.1,



Figura 7,1. Aplicaciones de soldadura por ultrasonido, a) industria médica, b) industria automotriz, c) artículos del hogar. Fuente. internet.

La técnica de soldadura por ultrasonido se clasifica dentro del ramo de soldadura por fricción, el cual se utiliza para unir plásticos, metales y materiales compuestos. El proceso de soldadura de plásticos por ultrasonido consiste en la unión de materiales a través de vibraciones mecánicas de baja amplitud y de alta frecuencia para lo cual es necesario sujetar bajo presión las piezas. Dichas vibraciones generan una deformación en la superficie de las piezas debido al calor del movimiento mecánico, lo que provoca la unión molecular entre los materiales. Cabe señalar que el calor generado en la superficie de las piezas es suficiente para derretir el material y fusionarlas [2].

Un proceso típico de soldadura por ultrasonido comienza cuando una fuente de energía eléctrica cambia 60Hz a una frecuencia de ultrasonido alta de 20 a 40 KHZ. Una vez generada la energía eléctrica, se utiliza un convertidor para transformarla en energía mecánica. El convertidor es un transductor piezoeléctrico el cual es alimentado a través de corriente de altas frecuencias de la fuente de energía para generar vibraciones mecánicas a la misma frecuencia. Estas vibraciones son transmitidas a un intensificador (Booster), el cual ayuda a amplificar o disminuir la vibración. Para transmitir la energía al

área de unión de las piezas se utiliza un sonotrodo, en este punto se utiliza el calor generado por la fricción para, temporalmente, derretir el plástico, lo que causa la fusión de los materiales. Este proceso ofrece diversas ventajas ya que es un proceso rápido, el cual realiza el proceso de soldado en fracciones de segundo; es un proceso limpio y no requiere de otros aportes para realizar el proceso de soldadura [3].

Los parámetros principales utilizados en soldadura por ultrasonido son la frecuencia de vibración, amplitud de vibración, fuerza de sujeción y tiempo de ciclo. Todos estos datos varían dependiendo del material y la geometría de las piezas a ser unidas. El método de soldadura por ultrasonido se aplica eficientemente en materiales termoplásticos amorfos y semicristalinos. En la figura 7.2 se muestran los principales componentes que conforman el equipo de soldadura por ultrasonido. [4].

Figura 7,2. Componentes principales del equipo por ultrasonido.

Fuente. Manual de la compañía de Branson ultrasonics .

7.2 DEFINICIONES

A continuación se muestran algunas definiciones utilizadas previamente durante la descripción de un proceso de soldadura por ultrasonido [5].

Ultrasonido. Es una rama de la acústica que analiza las ondas de sonido en gases, líquidos y sólidos en frecuencias altas, por encima del oído humano, es decir, por encima de 20Khz.

Amplitud. Es la cantidad de expansión o contracción que realiza el sonotrodo.

Frecuencia. Es el número de ciclos por unidad de tiempo, donde 1Hz = 1 ciclo por segundo.

Punto nodal. Es la cantidad de expansión o contracción.

Convertidor. Convierte los pulsos eléctricos de alta frecuencia en vibraciones mecánicas con la ayuda de un componente piezoeléctrico.

Intensificador. Una vez obtenidas las vibraciones mecánicas del convertidor, pasan al intensificador para aumentar o disminuir la amplitud de las vibraciones.

Sonotrodo. Su función principal es transferir la vibración mecánica a los componentes a ser unidos. Pueden tener diferentes formas y tamaños. El material principal del cual se fabrican son titanio y aluminio.

Algunas de las definiciones anteriormente mencionadas se pueden observar en la figura 7.3.

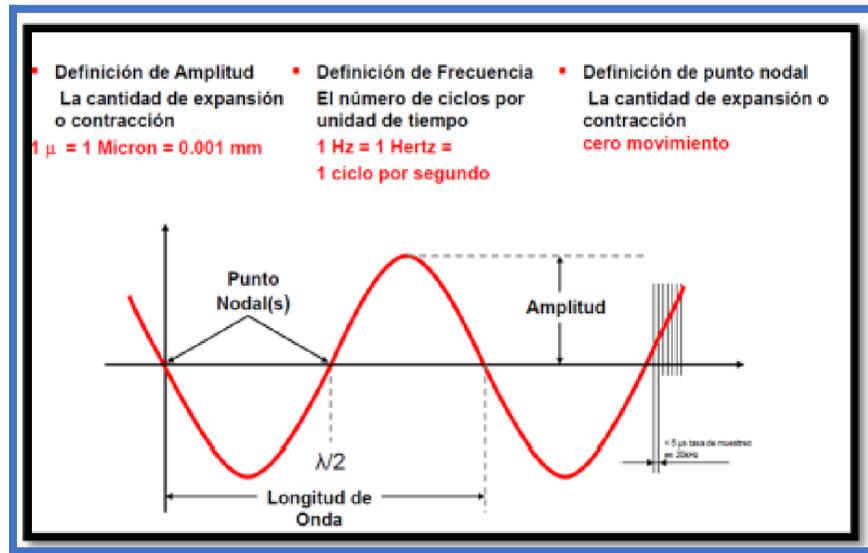


Figura 7,3. Definiciones de amplitud, frecuencia y punto nodal.

Fuente. Manual del equipo Herrmann Ultrasonics [5].

A continuación, en la figura 7,4 se muestran un ensamble de stack, en el cual se muestran las diferentes posiciones del sonotrodo, obtenido del manual de la compañía Herrmann ultrasonics [5]

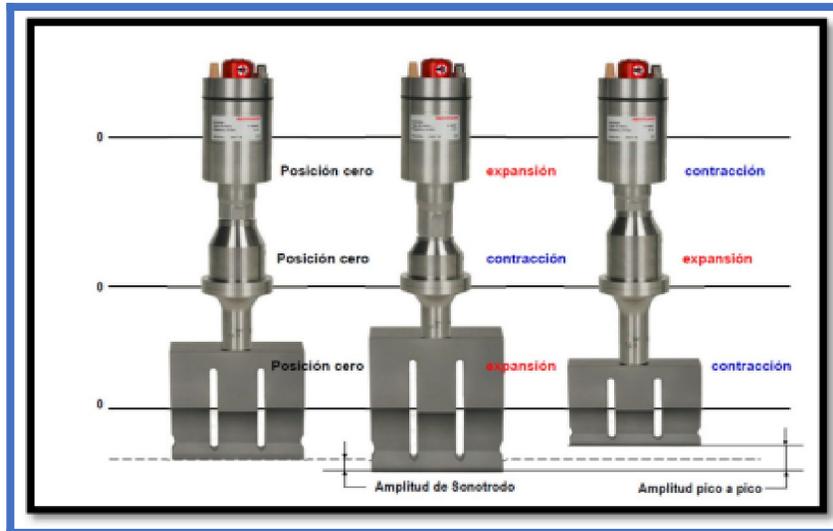


Figura 7.4 Expansión y contracción de stack.

Fuente. Manual del equipo Herrmann Ultrasonics [5].

7.3 SOLDADURA POR ULTRASONIDO EN PLÁSTICOS.

¿Cómo funciona la soldadura por ultrasonidos de plásticos?

Consiste en fundir dos o más piezas o materiales mediante la aplicación de calor en las superficies límite para lograr su unión permanentemente.

En la soldadura por ultrasonido de termoplásticos, se transmiten vibraciones mecánicas ultrasónicas a las piezas de plástico durante un cierto período de tiempo, a una cierta frecuencia y amplitud, así como con una cierta presión. La vibración crea fricción a nivel molecular y, por lo tanto, genera calor en el propio material. Las uniones moleculares del plástico se rompen por efecto del calor y la vibración. Ese proceso se acelera por sí solo durante el ciclo de soldadura. El material se plastifica, se ablanda y se funde. Si se interrumpe la aplicación del sonido, el termoplástico se vuelve a enfriar rápidamente por la falta de suministro de energía y se solidifica. Al hacerlo, las moléculas se vuelven a unir en ambas piezas de plástico. Durante este proceso de endurecimiento, la presión de unión existente debe mantenerse durante un breve tiempo para lograr una estructura homogénea del material y unir el plástico de forma permanente.

¿Qué plásticos se pueden soldar con ultrasonidos y qué materiales se pueden combinar?

Los ultrasonidos permiten unir de forma fuerte y segura piezas moldeadas, así como soldar o sellar láminas y textiles técnicos. Los materiales de unión deben consistir principalmente en termoplásticos, que se pueden dividir en materiales semicristalinos y amorfos. Los termoplásticos semicristalinos incluyen POM, CA, LCP, PEEK, PA, PBT, PE, PPS, PP, PTFE. Y entre los plásticos amorfos se encuentran , por ejemplo ABS, MABS, PMMA, PC, PET, PS o PVC. Los ultrasonidos son particularmente adecuados para soldar materiales del mismo tipo, pero también pueden hacerse combinaciones.

¿Qué requisitos puede cumplir la tecnología de soldadura por ultrasonidos?

La soldadura con ultrasonidos debe considerarse como tecnología de procesos para una aplicación en los casos en los que la costura de soldadura deba ofrecer una alta resistencia mecánica, pues las piezas unidas con ultrasonidos son resistentes a la tensión y las cargas mecánicas. Además, la unión es muy resistente al desgarro. La costura está sellada herméticamente contra el agua, la presión y el vacío.

Sin embargo, los altos niveles de hermeticidad o resistencia de la tecnología ultrasónica no son sus únicas ventajas. Otro argumento a favor de la soldadura por ultrasonidos es que se trata de un proceso de unión especialmente rápido y eficiente en cuanto a materiales. La soldadura de ultrasonido se pone en marcha extremadamente rápido: solo hay que encender un ordenador.

Otro plus: las costuras soldadas con ultrasonidos también son visual y estéticamente muy atractivas. No tienen marcas, las piezas moldeadas no se deforman y la soldadura en sí es muy precisa. Ver figura 7.5.

Figura 7. 5 Requisitos de soldadura por ultrasonidos .

Fuente. <https://www.rincoultrasonics.com>

Las piezas moldeadas deben tener un diseño adecuado para los ultrasonidos.

Para garantizar que dos piezas moldeadas puedan soldarse de forma reproducible y con un buena resistencia en poco tiempo, una de las dos piezas moldeadas debe contar con unas puntas de material afiladas. Figura 7. 6

Estas puntas, llamadas direccionadores de energía o costuras de apriete, dirigen la vibración de los ultrasonidos hacia la segunda pieza moldeada. Así, las dos piezas moldeadas se funden al mismo tiempo en la costura y se unen de forma permanente.

Si no se disponen direccionadores de energía ni costuras de apriete, se produce una soldadura superficial en lugar de una costura. Como resultado, la resistencia de la soldadura es deficiente, el tiempo de soldadura aumenta significativamente y no se pueden descartar daños en los componentes.

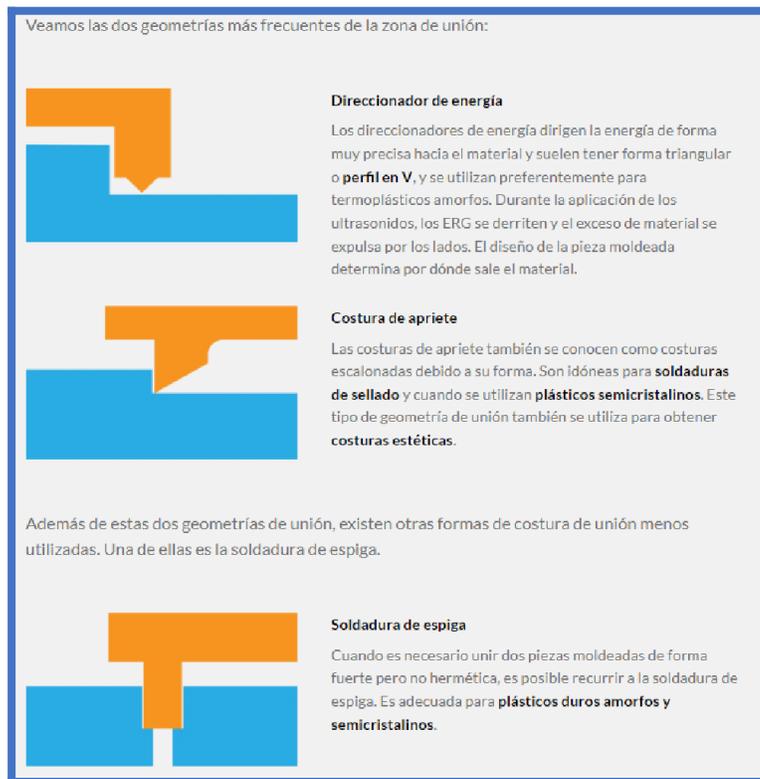


Figura 7. 6 Puntas utilizadas para el ultrasonido .

Fuente. <https://www.rincoultrasonics.com>

7.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

Ventajas. Es un proceso rápido, económico, fácil de automatizar y es buena opción para producción en masa. Produce uniones consistentes de alta fuerza con equipo compacto. Los tiempos de soldadura son menores comparados con otros métodos y no hay necesidad de elaborar sistemas de ventilación para remover humo o calor. El proceso es eficiente en energía y resulta en alta productividad con costos bajos comparado con otros métodos de ensamble. El herramental se puede cambiar fácilmente en contraste con otros métodos de soldadura, resultando en un incremento de flexibilidad y versatilidad. Es una técnica altamente utilizada en la industria médica debido a que no genera contaminantes o fuentes de degradación en la soldadura la cual pudiera afectar la biocompatibilidad del aparato médico [6].

Desventajas Se complica para realizar uniones grandes de aproximadamente 250mm x 300mm, ya que no se pueden soldar en una sola operación. Además, dependiendo de las piezas a ser soldadas, los costos de herramental y fixturas, pueden ser altos [6].

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Grewell, A. Benatar "Welding of plastics: Fundamentals and new developments", Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa state University, (2007) 49–52.
- [2] Mohd Azam Musa, Wan Ahmad Najmuddin, "A review on ultrasonic welding capability: Break away from traditional plastic", Applied Mechanics and Materials Vols. 789-790 (2015).
- [3] D. E. a. L. J. Bond, Ultrasonics, Third ed. Boca Raton London New York: CRC Press (Taylor & Francis Group), 2012.
- [4]. Branson Ultrasonic corporation. Instruction Manual. 100-412-196 REV. 05.
- [5]. Herrmann Ultraschalltechnik GmbH & Co. KG. Training manual.
- [6]. Michael J. Throughton. Handbook of plastics joining, Second edition. The Welding Institute, Cambridge, UK. 2008.

Universidad industrial de santander facultad de ingenierías fisicoquímicas escuela de ingeniería metalúrgica y ciencia de materiales soldadura por ultrasonido o ultrasónica presentado por: avendaño, monsalveiván, moreno acosta, rincón, ortiz, 2014.

[**Soldadura ultrasónica - Wikipedia, la enciclopedia libre**](#)

[Wikipedia](#)

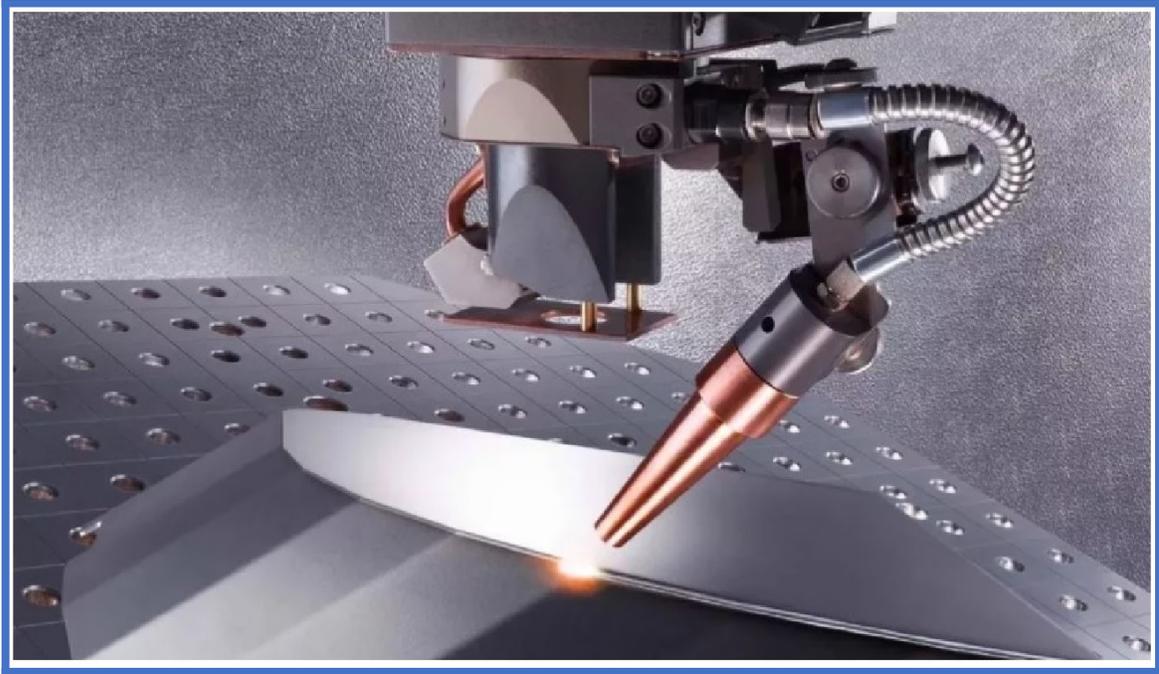
https://es.wikipedia.org/wiki/Soldadura_ultrasónica

<https://www.telsonic.com/es/soldadura-de-metal/soldadura-de-cordon-y-soldadura-de-terminal/>

<https://www.rincoultrasonics.com/es/conocimientos-sobre-ultrasonidos/soldadura-por-ultrasonidos/#requisitos-para-la-tecnolog%C3%ADa-de-soldadura-por-ultrasonidos>

CAPÍTULO 8

SOLDADURA LÁSER.



Fuente. :<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding>.

8.1 GENERALIDADES.

La soldadura láser usa un rayo de luz de alta intensidad para crear un charco de soldadura fundida

para fundir los materiales entre sí. Es un proceso sin contacto, tiene baja entrada de calor con relación a otros procesos de fusión, ofrece altas velocidades de procesamiento y produce zonas profundas de fusión en una sola pasada.

Los dos procesos más eficientes de soldadura por láser:

Hay dos formas de soldadura láser: soldadura por conducción de calor y soldadura ojo de cerradura.

En la soldadura por conducción de calor, el rayo láser funde las piezas a unir a lo largo de una junta común, y los materiales fundidos fluyen juntos y se solidifican para formar la soldadura. Usada para unir partes de pared delgada, la soldadura por conducción de calor usa láseres de estado sólido de onda pulsada o continua.

En la soldadura por conducción de calor, la energía se acopla a la pieza de trabajo únicamente mediante conducción de calor. Por esta razón, la profundidad de la soldadura va de unas cuantas décimas de milímetro a 1 milímetro. La conductividad de calor del material limita la profundidad máxima de la soldadura, y el ancho de la soldadura siempre es mayor que su profundidad. La soldadura láser por conducción de calor se usa para soldaduras de esquinas en las superficies visibles de cajas de dispositivos, así como en otras aplicaciones en electrónica.

La soldadura ojo de cerradura (vea la Figura 8,1) requiere densidades de potencia sumamente altas de alrededor de 1 megawatt por centímetro cuadrado. Ésta se usa en aplicaciones que requieren soldaduras profundas, o donde deben soldarse simultáneamente varias capas de material.

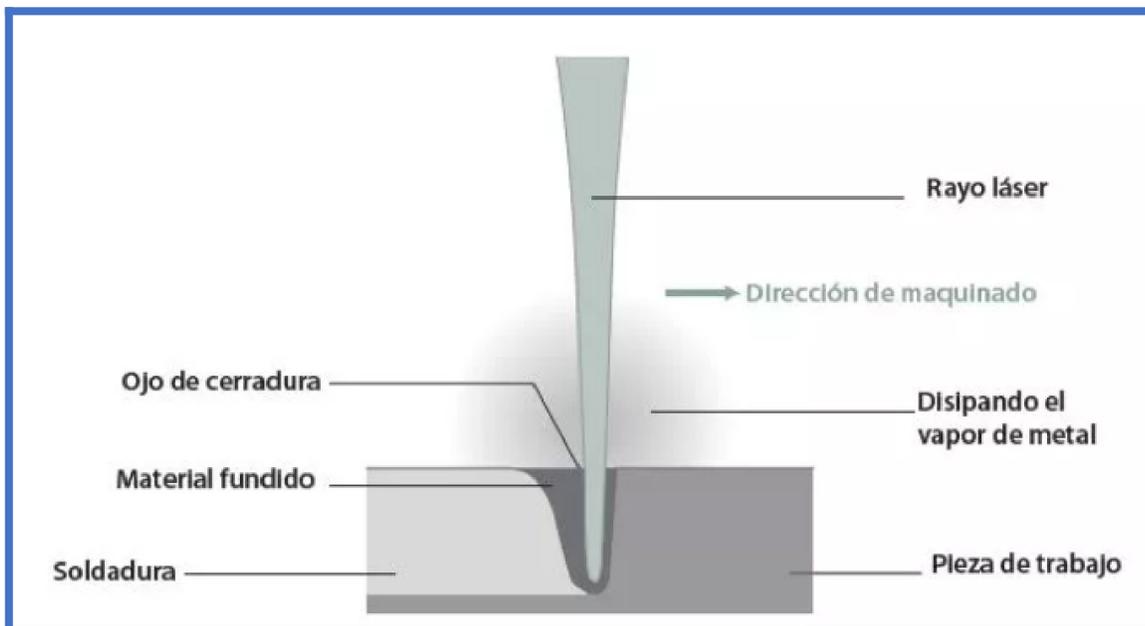


FIGURA 8,1. La soldadura ojo de cerradura requiere densidades de potencia sumamente altas y se usa en aplicaciones que requieren soldaduras profundas. Fuente.

<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding>.

En este proceso, el rayo láser no sólo funde el metal sino que además produce vapor. El vapor dispersante ejerce presión en el metal fundido y lo desplaza parcialmente. Mientras tanto, el material continúa fundiéndose. El resultado es un agujero profundo y angosto (u ojo de cerradura) lleno de vapor, rodeado de metal fundido.

Conforme el rayo láser avanza a lo largo de la junta de soldadura, el ojo de cerradura se mueve con él por la pieza de trabajo. El metal fundido fluye alrededor del ojo de cerradura y se solidifica en su recorrido. Esto produce una soldadura profunda y angosta con una estructura interna uniforme. La profundidad de la soldadura puede exceder 10 veces el ancho de la soldadura. El material fundido absorbe al rayo láser casi por completo, y la eficiencia del proceso de soldadura aumenta. El vapor en el ojo de cerradura también absorbe luz láser y es ionizado parcialmente. Esto da como resultado la formación de plasma, el cual también aporta energía a la pieza de trabajo. Como resultado, la soldadura de penetración profunda se distingue por su gran eficiencia y sus rápidas velocidades de soldadura. Gracias a la alta velocidad, la zona afectada por el calor (HAZ, por sus siglas en inglés) es pequeña y la distorsión es mínima.

8.2 COMPARACIÓN DE LA SOLDADURA LÁSER.

Comparada con otros procesos, la soldadura láser ofrece la calidad de soldadura más alta, la entrada de calor más baja y la mayor penetración en una sola pasada (vea la Figura 8,2). Ésta tiene uno de los rangos más altos de combinaciones de material y geometrías de partes, es sumamente controlable y repetible y es una de las más fáciles de automatizar. Todo esto permite nuevos diseños de juntas, y pueden producirse piezas a un ritmo más alto con menos procesamiento posterior a la soldadura.

La soldadura láser también tiene una de las inversiones iniciales, costos de herramental y requerimientos de preparación de juntas de soldadura más altos. Todo esto debe considerarse al seleccionar la soldadura láser como el método de unión para su proceso de producción.

CARACTERÍSTICAS	LÁSER	RAYO DE ELECTRONES	PUNTO POR RESISTENCIA	ARCO DE GAS TUNGSTENO	FRICCIÓN	DESCARGA CAPACITIVA
Calidad de la soldadura	Excelente	Excelente	Aceptable	Buena	Buena	Excelente
Velocidad de la soldadura	Alta	Alta	Moderada	Moderada	Moderada	Muy alta
Entrada de calor en la parte soldada	Baja	Baja	Moderada	Muy alta	Moderada	Baja
Requerimientos de ajuste de la junta de soldadura	Altos	Altos	Bajos	Bajos	Moderados	Altos
Penetración de la soldadura	Alta	Alta	Baja	Moderada	Alta	Baja
Rango de materiales disímiles	Amplio	Amplio	Reducido	Reducido	Amplio	Amplio
Rango de geometrías/ tamaños de partes	Amplio	Moderado	Amplio	Amplio	Reducido	Reducido
Controlabilidad	Muy buena	Buena	Aceptable	Aceptable	Moderada	Moderada
Facilidad de automatización	Excelente	Moderada	Excelente	Aceptable	Buena	Buena
Costos iniciales	Altos	Altos	Bajos	Bajos	Moderados	Altos
Costos de operación/mantenimiento	Moderados	Altos	Moderados	Bajos	Bajos	Moderados
Costos de herramienta	Altos	Muy altos	Moderados	Moderados	Bajos	Muy altos

FIGURA 8,2. La soldadura láser ofrece excelente calidad, alta velocidad y alta penetración. Los requerimientos de ajuste también son altos. Fuente.

<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding>.

8.3 COSIDERACIÓN DE LAS UNIONES CO LÁSER.

La soldadura de penetración profunda permite a una sola soldadura reemplazar soldaduras múltiples en diferentes diseños de junta. La Figura 8,3 muestra algunas configuraciones típicas de juntas de soldadura láser. Las soldaduras a tope no requieren chaflán para piezas más gruesas, las juntas en T pueden soldarse desde un solo lado con resistencia plena, y las soldaduras a solape pueden

soldarse a través de la chapa superior o a lo largo de la costura. Esto permite flexibilidad al diseñar piezas y ubicaciones de la soldadura.

La soldadura a tope requiere alta precisión en la posición de las piezas. Los tamaños típicos de puntos de soldadura son de 50 a 900 μm de diámetro. La tolerancia en la posición permisible debe ser menor a la mitad del diámetro del rayo para asegurar que el rayo láser interactúe con ambos lados de la junta. La separación permisible típicamente es 10% del material más delgado o menos del 50% del diámetro del rayo de soldadura. Por lo tanto, la fijación es crítica en estas configuraciones de uniones para asegurar una alta repetibilidad en la calidad de la soldadura.

Modos comunes de considerar esto son diseñar la pieza para que se adapte a la prensa o diseñar una fijación robusta. En algunos casos se puede usar un sistema de visión para asegurar el posicionamiento de las piezas, pero esto agregará tiempo de ciclo y complejidad a la programación para producción. También es importante seleccionar el tamaño de punto correcto de soldadura en la pieza. Tamaños de punto más grandes dan cabida a mayores variaciones pero requieren mayor entrada de energía para lograr la misma profundidad de penetración de soldadura.

La soldadura a tope tiene muchos beneficios. La resistencia de la soldadura es determinada por la cantidad de soldadura a lo largo de la costura, por lo que la cantidad de penetración determina la cantidad de resistencia de la soldadura. Soldaduras angostas y profundas requieren menos entrada de calor, lo cual crea una HAZ pequeña y limita la distorsión. Además permite el uso de menos material debido a que no es necesario material de aporte.

La soldadura a solape tiene muchas consideraciones diferentes. La separación permisible típicamente es 10% del espesor del material de arriba. El ancho de soldadura y la fusión en la interfase entre los dos materiales determina la resistencia de la soldadura. Comparadas con las juntas a tope, las configuraciones a solape llevan a una entrada de calor más alta, una HAZ más grande y mayor distorsión.

Si suelda a través de la chapa superior (3 en la Figura 8,3), el rayo láser debe penetrar a través de la chapa superior y hacia la chapa inferior, y toda esa energía gastada al penetrar la chapa superior no agrega resistencia de soldadura. Las soldaduras a solape deben ser más anchas para aumentar su resistencia. Esto requiere más entrada de energía, que se logra ya sea mediante un tamaño de punto más grande o por oscilación con un tamaño de punto más pequeño. Si una distorsión mínima es crítica, la soldadura sólo debe penetrar parcialmente la chapa inferior. Si las aplicaciones requieren entradas de calor bajas y baja potencia o velocidades altas de procesamiento, las juntas de penetración parcial pueden ser ideales.

Con soldaduras de penetración parcial, la penetración mínima en la chapa inferior debe estar entre 20% y 50% para materiales delgados y 0.5 mm para materiales más gruesos, para asegurar una fusión repetible que considere la variación en la producción. El diseño más fácil para la soldadura es tener el material más delgado arriba y el material más grueso abajo. Si la chapa superior es más gruesa, la penetración parcial en la chapa inferior se vuelve más difícil de controlar, lo que también hace más difícil mantener una superficie libre de defectos en el lado trasero de la soldadura.

No obstante, la soldadura a solape tiene muchos beneficios. Ésta no requiere alta exactitud en la posición, lo cual permite fijación sin requerimientos estrictos de posicionamiento. Comparada con la soldadura a tope, la soldadura a solape tiene una ventana de procesos más grande, principalmente debido a que la profundidad de penetración es más flexible.

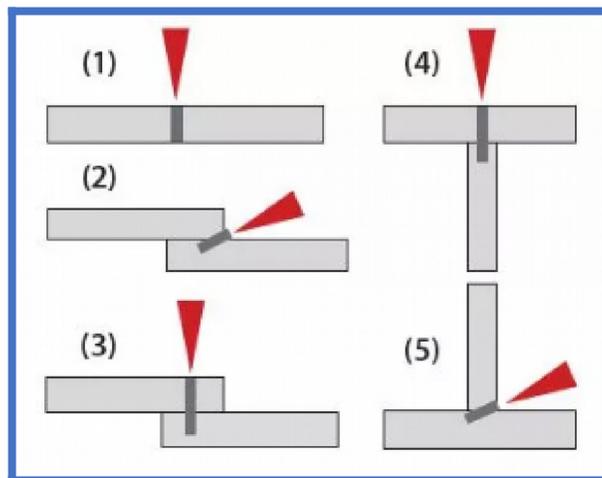


FIGURA 8.3 La soldadura láser ofrece diversas configuraciones de juntas: a tope (1); a solape, ya sea a lo largo de la costura (2) o a través de la chapa superior (3); y en T, a través de la chapa superior (4) o desde un solo lado (5). Fuente.

<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenspeanl/article/laserwelding>.

8.4 UNIONES Y POSTPROCESAMIENTO.

La soldadura láser también permite acceso a juntas que anteriormente no eran factibles. Debido a que es un proceso sin contacto, es posible la soldadura en agujeros y en espacios estrechos si se considera el ancho del rayo cuando alcanza el enfoque. Esto permite flexibilidad en el diseño de la junta, y pueden diseñarse las partes con menos material.

En muchos casos no se necesita tratamiento térmico posterior a la soldadura, debido a la HAZ pequeña de la soldadura láser y a la entrada pequeña de calor global. Además hay poca protuberancia de la soldadura en el lado superior o posterior de la soldadura que necesite maquinarse después de la soldadura. El proceso puede tener soldadura mínima para crear soldaduras visualmente limpias, especialmente con la adición de gases de protección. Esto elimina la necesidad de hacer mucho maquinado y limpieza posterior a la soldadura.

Consideraciones del diseño de fijaciones

El diseño de fijaciones necesita ser mucho más exacto para la soldadura láser que para procesos de soldadura más tradicionales. Debido a que se trata de un proceso sin contacto, el herramental puede estar más cerca de la pieza, pero el herramental también debe hacer todo el control de tolerancia y posicionamiento. El proceso no tiene contacto adicional como en la soldadura por resistencia y ultrasónica donde los electrodos agregan presión para asegurar que no haya separación. El láser además produce un charco fundido pequeño y repetible, y requiere tolerancias mucho más reducidas. Todo esto debe considerarse al diseñar piezas y sistemas de fijación.

La Figura 8,4 muestra una fijación rígida para una soldadura de esquinas. Este estilo de fijación es común para la soldadura a tope y soldaduras de bordes para piezas tubulares o rectangulares. Las abrazaderas están muy cerca de la costura y aplican presión para asegurar una separación mínima. No hay herramental arriba de la junta que pudiera interactuar con el rayo de soldadura cuando éste logra el enfoque.

La configuración además brinda espacio para una boquilla de gas de protección si se requiere gas de protección por propósitos estéticos o por razones metalúrgicas en ciertos metales como el titanio. Las

fijaciones deben retener de manera repetible la junta en la misma posición Z con relación al rayo, de forma que el rayo láser esté en la misma posición de foco. Esto es crítico para obtener la misma densidad de potencia y asegurar resultados repetibles.

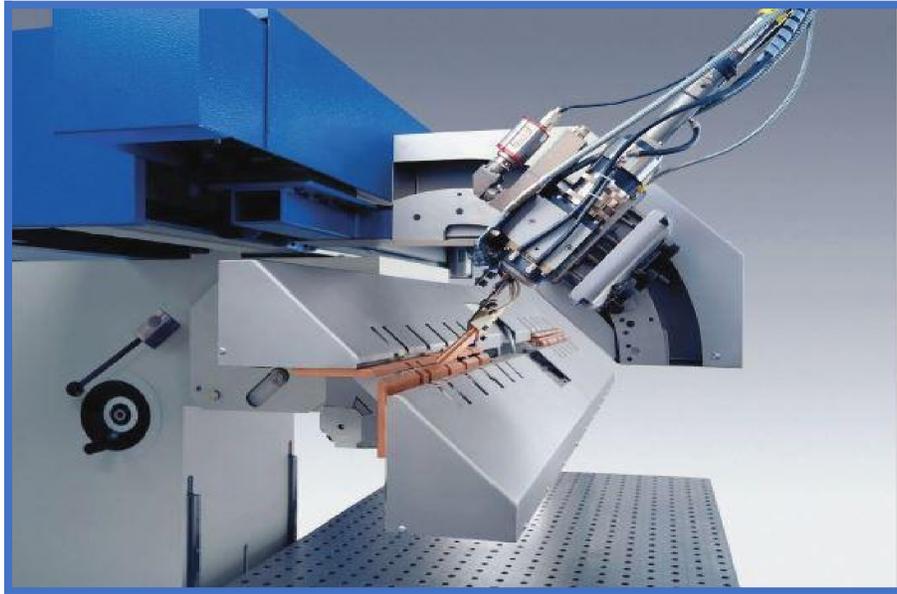


Figura 8.4 Esta fijación rígida asegure una soldadura de esquinas repetible.

Fuente. <https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding>.

La soldadura a solape requiere fijaciones menos robustas. La Figura 8,5 muestra un diseño de fijación típico. En lugar de sujeciones largas y rígidas para retener toda la costura en su sitio, varios clamps aseguran el contacto apropiado entre las dos chapas en un área grande.

Ese tipo de fijaciones pueden ser automatizadas con abrazaderas neumáticas. En el ejemplo, un dispositivo óptico de escaneo suelda rápidamente todas las juntas requeridas. Espejos galvanométricos—espejos de alta velocidad dentro del dispositivo óptico de soldadura—posicionan el rayo para soldar y brindar todo el movimiento para la profundidad de soldadura. Esto permite una trayectoria sencilla de robot.

Para soldaduras especialmente críticas, una sola fijación, diseñada con la trayectoria de soldadura, puede asegurar el ajuste ideal de la pieza. El método de fijación tiene costos de herramental más altos

pero también es muy robusto y repetible. Al aplicar una carga grande uniformemente en toda la superficie de la pieza, dicha fijación puede ser ideal para piezas estampadas con grandes variaciones en la superficie.



Figura 8.5 Esta fijación de soldadura a solape usa varias abrazaderas para asegurar el contacto apropiado entre dos chapas. Fuente.

<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding>.

8.5 LIBERANDO LA CREATIVIDAD.

La soldadura láser permite creatividad y cierta libertad en el diseño de piezas, siempre y cuando se consideren todas las variables esenciales. Por ejemplo, ¿qué tamaño de punto se necesita para un proceso dado? Tamaños de punto más grandes ofrecen más área fundida y una profundidad más grande de foco, pero requieren más energía para lograr las mismas profundidades de soldadura.

De manera similar, ¿qué configuración de junta es mejor? La soldadura a tope requiere exactitud y repetibilidad del proceso, pero puede lograr soldaduras fuertes con entrada de calor mínima. Por el contrario, la soldadura a solape requiere fijaciones menos exactas y tiene una ventana de procesos más grande, pero requiere más entrada de calor para lograr soldaduras más fuertes.

Con todas las consideraciones de proceso de la soldadura láser también vienen innumerables oportunidades. Es una excelente herramienta para hacer avanzar a la manufactura con nuevos diseños creativos de piezas que no sólo aumenten la calidad sino que también—gracias al menor número de pasos de manufactura, incluyendo menos procesamiento secundario—tengan el potencial de reducir costos dramáticamente.

¿Qué materiales se pueden unir con la ayuda de la soldadura láser?

La soldadura láser permite unir una gran variedad de materiales. En este caso, con frecuencia se sueldan acero y aluminio. Aunque las uniones de cobre, cobre-cobre y aluminio-cobre, que a menudo son necesarias en la fabricación de baterías, también pueden soldarse con las fuentes de rayos láser más novedosas y con longitudes de onda adaptadas, por ejemplo, en el espectro verde o azul.

8.6 SOLDADURA DE REVESTIMIENTO LÁSER.

La soldadura de revestimiento por láser con materiales adicionales en forma de polvo o hilo puede utilizarse para reparaciones, protección contra el desgaste y la corrosión, y fabricación de componentes 3D (additive Manufacturing). Figura 8.6.

¿Cómo funciona la soldadura de revestimiento láser?

En el caso de la soldadura de revestimiento por láser, un láser proporciona la fuente de calor. Durante el procedimiento, se genera una capa superficial mediante la fundición y aplicación simultánea de casi cualquier material. El material puede introducirse en forma de polvo como, por ejemplo, polvo metálico o como alambre de soldadura. En el caso de la soldadura de revestimiento por láser con polvo, el láser calienta la pieza de forma desenfocada y la funde localmente. Al mismo tiempo, se introduce un material inerte mezclado con polvo fino de metal. El polvo metálico se funde en el punto calentado y se solda con la superficie de la pieza. La soldadura de revestimiento por láser con hilo es un proceso de impresión 3D eficiente en cuanto a materiales para la fabricación de componentes metálicos.



Figura 8.6 La fabricación aditiva con alimentación de hilo ofrece importantes ventajas en la producción de componentes geoméricamente complejos y de gran tamaño.

Soldadura de revestimiento con láser: las ventajas del proceso

- **Reparación en lugar de sustitución:** Incluso pequeños daños o el uso normal de componentes caros y complejos conlleva a menudo enormes gastos ya que resulta necesario sustituir las piezas afectadas. Por tanto, merece la pena repararlas. La soldadura de revestimiento por láser es el proceso ideal para ello.
- **Superficies funcionales:** En la soldadura de revestimiento láser, una amplia gama de materiales permite realizar una adaptación óptima de las superficies a diferentes funciones, por ejemplo, para la protección contra el desgaste y la corrosión.
- **La producción generativa de componentes** o elementos funcionales se está implementando cada vez más en el sector de la producción industrial. En el sector de las piezas grandes, como elementos de turbinas, la instalación de elementos funcionales mediante la soldadura de revestimiento por láser con polvo supone grandes ahorros en la producción. El proceso no requiere ninguna herramienta adicional y, por tanto, permite un fácil manejo.
- **Menor entrada de calor en la zona de soldadura:** La deformación se mantiene dentro de las tolerancias y la estructura hermética del material aplicado satisface o supera las exigencias

para múltiples aplicaciones en piezas originales. La soldadura de revestimiento con láser permite así un menor aporte de calor y una alta calidad.

Productos láser en México

Una soldadora láser es una herramienta de soldadura que utiliza un haz de luz láser para unir dos piezas de metal. Algunas de las ventajas de una soldadora láser son:

- **Precisión:** Una soldadora láser puede producir una soldadura muy precisa y de alta calidad, lo que puede ser especialmente importante en aplicaciones de alta precisión, como la fabricación de equipos médicos o electrónicos.
- **Velocidad:** Las soldadoras láser pueden producir soldaduras rápidas y eficientes, lo que puede aumentar la productividad y reducir los tiempos de inactividad.
- **Menos daño térmico:** La soldadura láser produce un calor muy concentrado y preciso, lo que reduce la cantidad de calor que se transfiere a las piezas de metal circundantes. Esto puede ayudar a reducir la deformación, el agrietamiento y otros tipos de daño térmico que pueden ocurrir durante la soldadura.
- **Control de la energía:** Las soldaduras láser permiten un control preciso de la energía del láser, lo que significa que se pueden ajustar las características de la soldadura, como la profundidad y el ancho de la soldadura, para adaptarse a diferentes aplicaciones.



Tabla de Capacidades

Material	Gas	Espesor MM	1000W	1500W
Aluminio	N2	1.0	X	X
		1.2	X	X
		1.5		X
		2.0		
		2.5		
Inoxidable	Ar	0.5	X	X
		0.8	X	X
		1.0	X	X
		1.2	X	X
		1.5	X	X
		2.0		X
		2.5		
Acero Suave	CO2	0.5	X	X
		0.8	X	X
		1.0	X	X
		1.2	X	X
		1.5	X	X
		2.0		X
		2.5		
Galvanizado	Ar	0.5	X	X
		0.8	X	X
		1.0	X	X
		1.2	X	X
		1.5		X
2.0				
2.5				

BIBLIOGRAFÍA

<https://www.thefabricator.com/thefabricatorenespanol/article/laserwelding/consideraciones-esenciales-para-la-soldadura-laser>

<https://www.kuka.com/es-mx/productos-servicios/tecnolog%C3%adas-de-procesamiento/soldadura-de-revestimiento-l%C3%A1ser>

<https://www.soldadorasmexico.com.mx/soldadoras-l%C3%A1ser/>

<https://www.rincoultrasonics.com/es/conocimientos-sobre-ultrasonidos/soldadura-por-ultrasonidos/#requisitos-para-la-tecnolog%C3%Ada-de-soldadura-por-ultrasonidos>.

CAPÍTULO 9

SOLDADURA CON EXPLOSIVOS.

9.1 INTRODUCCIÓN.

La soldadura por explosión es una técnica especializada y única que utiliza la energía de los explosivos para crear uniones firmes entre los metales sin la aplicación de calor extremo. A diferencia de los métodos de soldadura tradicionales, este proceso no requiere la fusión de los materiales base, lo que lo hace valioso en situaciones donde el calor elevado puede ser dañino o impracticable. Este método innovador se utiliza en diversas industrias, desde la fabricación de componentes aeroespaciales hasta la reparación de estructuras submarinas.

La soldadura por explosivos EXW (EXplosion Welding), también conocida como soldadura por detonación, es un proceso de soldadura de alta energía que se utiliza para unir metales que normalmente son difíciles de soldar. Este método se basa en el uso de explosivos para generar una onda de choque que puede forzar la unión de dos superficies metálicas. El proceso de soldadura por explosivos comienza con la colocación de un explosivo sobre una de las piezas de metal que se van a unir. El explosivo se detona, generando una onda de choque que viaja a través del metal. Esta onda de choque genera una presión extremadamente alta que puede forzar la unión de las dos superficies metálicas. Un aspecto importante por destacar de la soldadura por explosivos es su capacidad para unir metales que normalmente son difíciles de soldar. Esto incluye metales como el acero inoxidable, el cobre y el aluminio. Además, la soldadura por explosivos puede ser utilizada para unir metales de diferentes tipos, lo que no es posible con otros métodos de soldadura. Sin embargo, la soldadura por explosivos también tiene sus desafíos. El proceso requiere una gran cantidad de energía y puede ser peligroso si no se realiza correctamente. Además, la soldadura por explosivos puede no ser adecuada para todas las aplicaciones, ya que el proceso puede causar deformaciones en las piezas de metal. La soldadura por explosivos depende en gran medida de los parámetros de soldadura, como la distancia de separación, la velocidad de

detonación, el tratamiento de la superficie y la carga explosiva. Esta soldadura puede unir grandes áreas debido a la alta energía disponible en los explosivos. Es importante mencionar que, aunque el proceso crea soldaduras fuertes y limpias, también produce ruidos increíblemente fuertes que limitan el lugar donde se puede realizar el proceso. De hecho, la soldadura por explosión debe realizarse en lugares extremadamente aislados o remotos. En los últimos años, innovadores de la industria e investigadores han tratado de establecer la calidad de la soldadura por explosión al tiempo que hacen que esas uniones sean más fáciles, seguras y rentables de hacer.

Historia del proceso.

Aunque muchas técnicas de soldadura tienen siglos de antigüedad, la soldadura por explosión es un proceso relativamente reciente, desarrollado en las décadas posteriores a la Segunda Guerra Mundial. Los orígenes de esta técnica se remontan a la Primera Guerra Mundial, cuando se observó que fragmentos de metralla se soldaban al blindaje debido a las fuerzas explosivas (figura 7.1). La ausencia de calor extremo en la metralla condujo a investigaciones de laboratorio después de la Segunda Guerra Mundial para replicar el proceso. El fenómeno, descubierto por Lavrentiev al final de la Segunda Guerra Mundial, es una forma eficaz de unir dos materiales similares o diferentes. En los años 70, la soldadura explosiva se utilizó intensivamente en un intento de desarrollar una ruta de fabricación económicamente eficaz para compuestos de matriz metálica. Luego la actividad empezó a disminuir. Pero existe la esperanza de reanimar el interés en utilizar el método porque parece ser una manera fácil de unir materiales en forma de láminas y placas de grandes espesores.



Figura 9.1 Evidencias de la Adherencia de metales por explosivos

9.2 ¿QUÉ ES LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS?.

La soldadura explosiva es uno de los procesos importantes para unir placas metálicas que emplean una alta tasa de deformación energética generada por la detonación de un explosivo. La soldadura por explosión es un proceso de soldadura de estado sólido que se realiza al colocar placas con una distancia de separación fija y la soldadura se logra mediante una colisión a alta velocidad (figura 7.2). El chorro de metal, que se forma antes del punto de colisión, es vital para obtener una unión sólida porque limpia y activa las superficies metálicas antes de la soldadura. Además, el comportamiento hidrodinámico de los metales bajo una tasa de deformación extremadamente alta y una presión alta da como resultado una estructura ondulada en la interfaz soldada. La soldadura explosiva presenta beneficios singulares al unir metales que normalmente serían considerados incompatibles, como es el

caso del titanio, el circonio y el acero. Estos materiales son ampliamente empleados en la actualidad para la construcción de recipientes destinados a procesos químicos. Aunque podría asumirse intuitivamente que las considerables presiones generadas por diversos tipos de explosivos en los procesos de unión y formación podrían unir las placas metálicas con tal fuerza que se lograría una soldadura natural, se ha demostrado que una alta presión por sí sola no es suficiente para lograr una unión metálica satisfactoria.

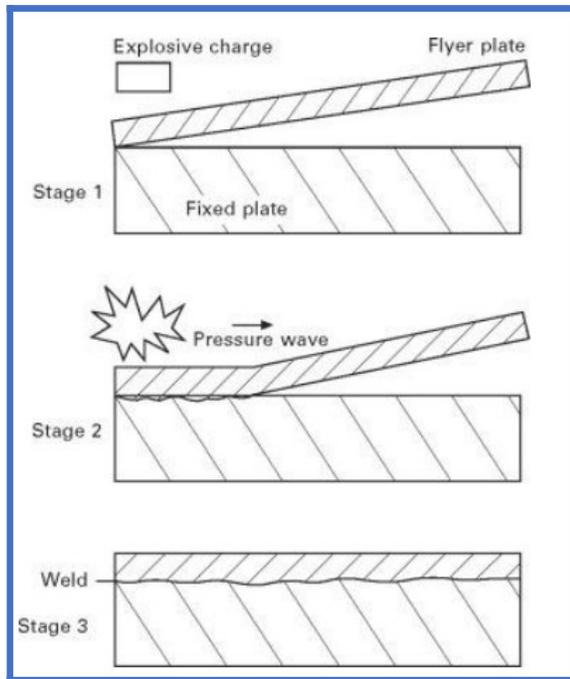


Figura 9.2 Soldadura de metales por explosivos

9.3 ¿CÓMO ES EL MECANISMO DE UNIÓN EN LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS?.

A diferencia de otros métodos de unión, la soldadura por explosión no se basa en la fusión o deformación plástica, sino que se logra al impulsar la placa de revestimiento contra el material del sustrato mediante la energía generada por una detonación explosiva. La explosión genera un impacto de alta energía entre los dos metales.

Es esencial que las piezas a unir estén dispuestas en el ángulo correcto entre sí antes de que la onda de choque explosiva impulse los dos metales a una velocidad de aproximadamente 100 m/s. La presión interfacial elevada en el punto de contacto (o frente de colisión) entre la placa de revestimiento y la placa de sustrato debe superar el límite elástico de ambos materiales para que ocurra la deformación plástica dentro de las capas superficiales. Un chorro de metal altamente blando se forma en el frente de colisión y se proyecta delante de él mientras avanza rápidamente a través de la interfaz de soldadura. A medida que el chorro de plasma avanza, limpia exhaustivamente las superficies, facilitando así la formación de una unión en fase sólida entre los dos materiales a medida que sus átomos se unen. La técnica de soldadura explosiva ha encontrado una aplicación significativa en el revestimiento de placas de bajo costo, generalmente de acero al carbono, con materiales más costosos y resistentes a la corrosión. Estas placas revestidas se emplean comúnmente en las industrias química y petroquímica, específicamente como placas tubulares para intercambiadores de calor. Debido a que la unión se realiza en la fase sólida, se logra la soldadura de metales con diferentes puntos de fusión. Entre las capas de revestimiento comúnmente depositadas sobre placas de acero se encuentran aleaciones de aluminio, bronce, cobre, titanio, níquel y circonio. Además, la soldadura explosiva se puede utilizar como método para reparar o tapar tubos en intercambiadores de calor en el lugar, especialmente cuando los métodos de soldadura convencionales resultan difíciles de aplicar.

9.4 EL PROCESO DE LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS.

Preparación de las Superficies:

- Las superficies de las piezas a unir se limpian a fondo para eliminar cualquier contaminante, como óxidos, grasas o aceites.

- Las superficies deben ser planas y estar en contacto íntimo antes de la soldadura.

Diseño de la Junta:

- Se diseña la junta específica que se va a soldar por explosivos. Esto incluye la configuración de las piezas y la forma de la interfaz de unión.

Colocación de la Carga Explosiva:

- Se coloca una capa delgada de material explosivo entre las superficies de las piezas que se van a unir. Este explosivo actúa como un medio para crear la unión.

Colocación de Laminillas o Placas Intermedias (si es necesario):

- En algunos casos, se requiere colocar laminillas o placas intermedias entre las piezas para mejorar la calidad de la unión y facilitar la transmisión de la onda de choque generada por la explosión.

Iniciación de la Explosión:

- La carga explosiva se inicia mediante un iniciador, que puede ser un cordón detonante o algún otro dispositivo seguro para este propósito.

Generación de la Onda de Choque:

- La explosión genera una onda de choque que viaja a través del material, forzando la unión entre las piezas. La onda de choque produce una limpieza superficial y provoca la deformación plástica de las superficies.

Unión de las Piezas:

- La onda de choque provoca la unión de las piezas en un estado semisólido o plástico. La presión generada durante la explosión ayuda a crear una conexión metalúrgica entre las superficies.

Inspección Post-Soldadura:

- Se realiza una inspección para verificar la calidad de la unión. Esto puede incluir pruebas no destructivas, como radiografías, ultrasonidos o inspección visual.

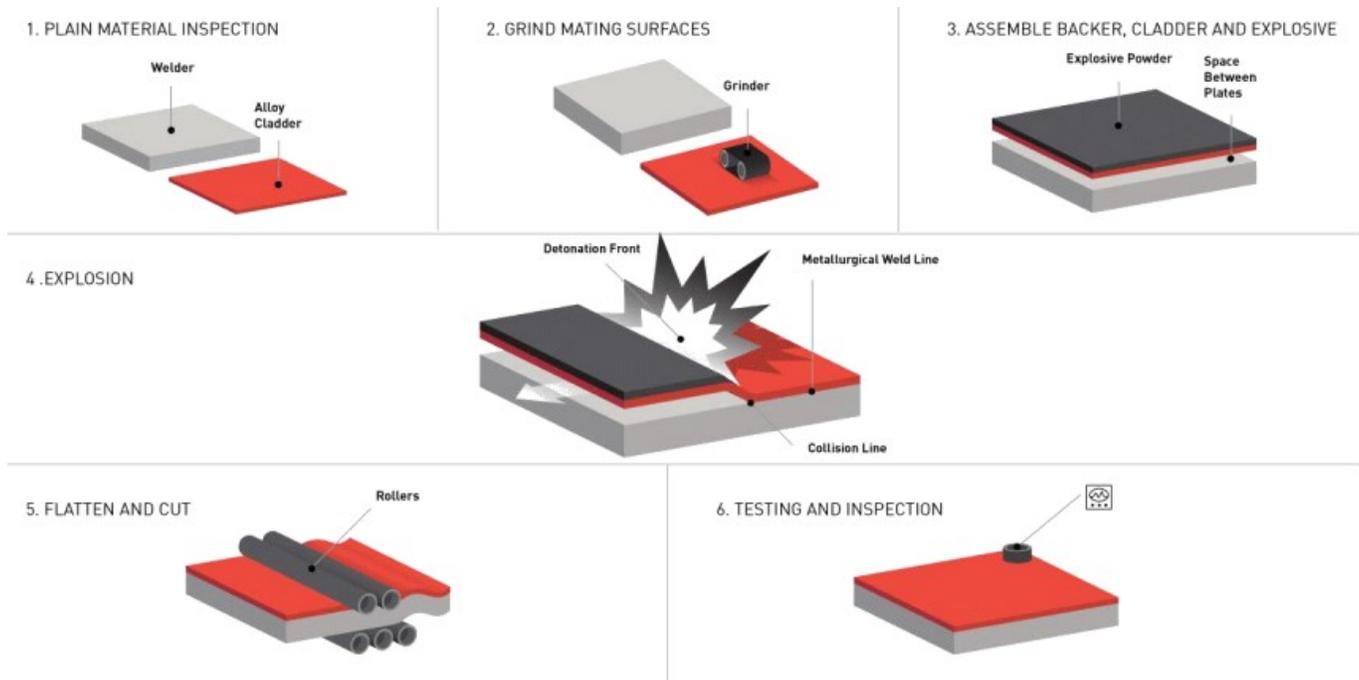


Figura 9.3 Proceso de soldadura mediante explosivos.

9.5 DEFORMACIÓN DURANTE LA SOLDADURA POR EXPLOSIVOS.

En el proceso de soldadura explosiva, se desencadenan varios fenómenos críticos debido a la detonación del explosivo, como la liberación de grandes cantidades de productos gaseosos, colisiones de alto impacto entre superficies de contacto, altas temperaturas, generación de calor y deformación plástica en las placas metálicas. Estos eventos ocurren en un lapso extremadamente corto, del orden de microsegundos. La deformación plástica, causada por la alta presión de impacto, se considera crucial para lograr una adhesión efectiva en la interfaz de soldadura. Esta deformación plástica se produce cuando la presión en el frente de colisión supera el límite elástico de los materiales, permitiendo un contacto íntimo que favorece la reacción atómica entre las superficies de contacto. La formación de ondas en la soldadura

explosiva es la manifestación distintiva de la deformación plástica, y esta deformación contribuye al refinamiento del grano. La intensa deformación plástica cerca de la interfaz de soldadura se refleja en un alto valor de dureza, según estudios de microdureza. La cantidad de deformación plástica disminuye gradualmente a medida que nos alejamos de la interfaz de soldadura. La figura 7.4 muestra micrografías de unión de metales mediante soldadura por explosivos.

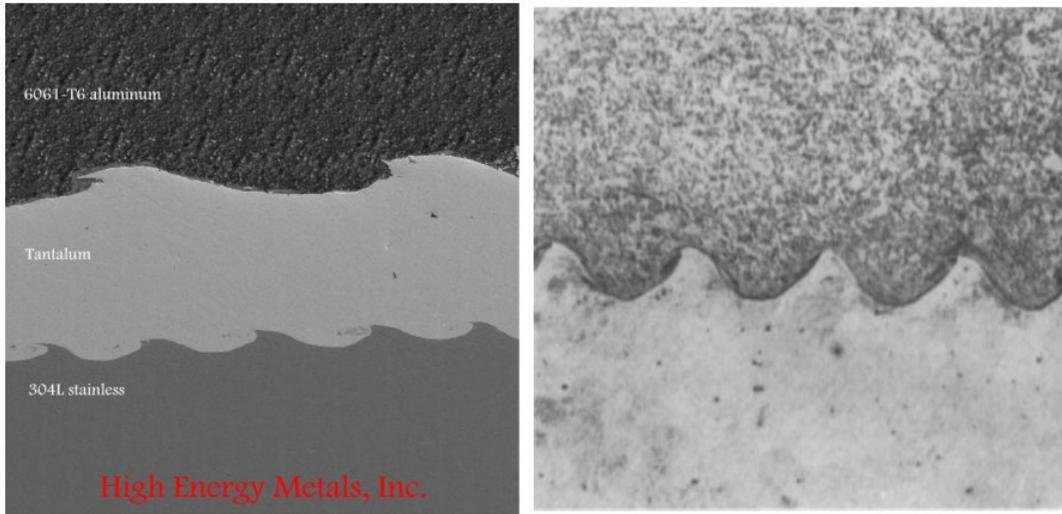


Figura 9.3 Micrografías de unión de metales mediante soldadura por explosivos.

BIBLIOGRAFÍA

Ing. Rafael Antonio Pérez García: Soldadura al estado sólido, Explosion Welding.

Estudios de Posgrado e Investigación , CONACYT.

L. Jeffus, Soldadura: principios y aplicaciones, Madrid: Para ninfo, 2009.

R. W. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry and Metallurgy, John Wiley & Sons, Inc., 2008.

International Organization for Standardization, ISO 857-2:2005 Welding and allied processes -- Vocabulary -- Part 2: Soldering and brazing processes and related terms, Geneva, 2012.

<https://triclاد.com/explosion-welding/>