

E-BOOK

Saneado de cordones de soldadura y eliminación de proyecciones

Saneado de cordones de soldadura y eliminación de proyecciones

Introducción

La **soldadura por arco eléctrico** se emplea en un sinnúmero de aplicaciones con la finalidad de unir componentes metálicos, que van desde partes de una máquina hasta conexiones de tuberías submarinas o tanques de almacenamiento usados en la industria petroquímica.

Factores como las propiedades del metal base, su espesor y tamaño, o el tipo de junta, determinarán la selección de un proceso de soldadura u otro. Cada uno tiene sus ventajas y desventajas, pero lo que está claro es que todos dejan un **cordón de soldadura** de forma y anchura variable en toda la zona de unión, y algunos pueden llegar a generar gran cantidad de **proyecciones o salpicaduras** (Figura 1).

Las salpicaduras son defectos inherentes al proceso, y además de suponer un desperdicio de material y un peligro para el operario, dejan un **mal acabado en la pieza final**. En el caso de los cordones de soldadura, estos pueden conducir al **fallo por agrietamiento o impedir un encaje preciso** con otras piezas, ambos motivos para su mecanizado. El uso de **discos abrasivos** es quizás la mejor opción para remover este material no deseado.

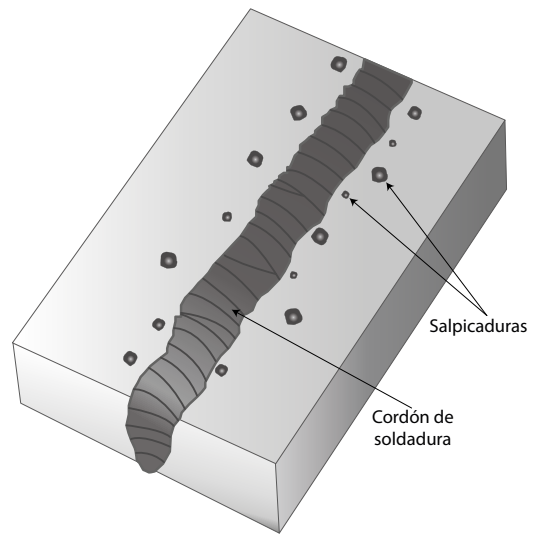


Figura 1: Representación de las salpicaduras y el cordón después de la soldadura

¿En qué consiste la soldadura por arco?

Se trata de un proceso de unión por fusión en donde el calor requerido para soldar las piezas se obtiene de una fuente de alimentación de corriente alterna (AC) o continua (DC). Tanto el elemento que sostiene el electrodo como la abrazadera de tierra unida al metal base se conectan a la fuente, y al momento de establecer el contacto entre electrodo-pieza, se cierra el circuito por donde fluye la corriente. Al separar el electrodo de la pieza, se genera un **arco eléctrico** por efecto termoiónico (emisión de electrones del metal por el aumento de temperatura en el punto de contacto). El arco **provoca una descarga** eléctrica de alta intensidad y se mantiene por el intercambio de cargas con el circuito **hasta que el calor aportado sea el necesario para efectuar la soldadura**.

El **inicio del arco** por contacto entre electrodo-pieza es lo más común, pero también puede iniciarse **sin contacto, aplicando una elevada tensión** ($\sim 10^4$ V) de corta duración (milisegundos) **que ioniza los gases del entorno** y por emisión termoiónica se genera calor. Este sería el caso del proceso GTAW.

Tipos de soldadura por arco

Una forma de clasificar los tipos de soldadura por arco es **en función de si el electrodo** (filamento metálico con unas características específicas) **se consume o no durante el soldeo**. A continuación, se exponen los procesos más extendidos a nivel industrial, haciendo hincapié en las características del cordón y las salpicaduras generadas:

> Electrodo consumible

> Por arco y metal protegido

(*Shielded Metal Arc Welding, SMAW*).

Es un proceso de soldadura manual bastante popular en la fabricación de maquinaria y en las industrias naval, petroquímica, y de construcción; principalmente para tareas de mantenimiento y reparación.

El arco se genera por contacto entre la pieza de trabajo y un electrodo revestido con un **fundente**, el cual

se descompone con el calor y emite gases para evitar la contaminación de la zona de unión. El fundente, además, **forma escoria** (que luego debe eliminarse), para proteger la unión del oxígeno presente en la atmósfera (*Figura 2*); también ayuda a mantener el arco, y según su composición, puede aportar elementos de aleación a la soldadura.

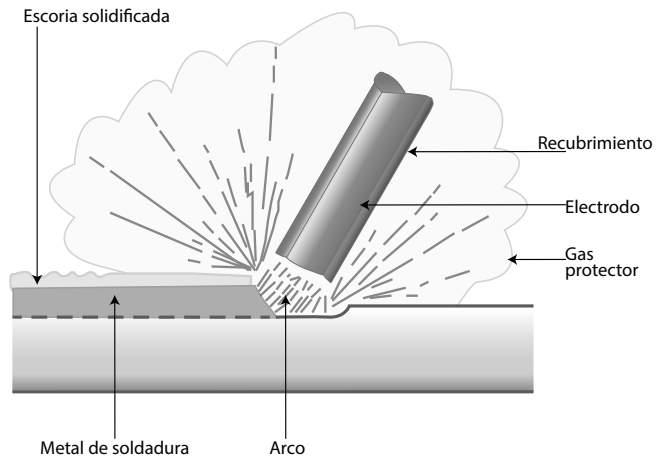


Figura 2: Soldadura por arco y metal protegido

A medida que se genera calor, el electrodo y el metal base de la zona inmediata del arco se funden para formar el **cordón de soldadura**, cuya composición es una **mezcla de metal base, metal del electrodo y sustancias del recubrimiento**. Según la naturaleza de esta mezcla, será **más o menos complicado eliminar** el cordón durante el posterior proceso de limpieza y acabado. Por ejemplo, un cordón formado por una mezcla de metal base AISI304 (acero inoxidable) frente a una mezcla de metal base S235JR (acero de bajo carbono no aleado) será más complicado de remover debido a su mayor dureza.

Luego, dependiendo de la habilidad del operario, el **cordón** puede tener múltiples pasadas y su anchura y calidad pueden variar. La **cantidad de salpicaduras** generadas también **dependerá de la técnica del soldador**, además de otros factores como: la soldabilidad y pureza del metal base, el tipo de fundente, la relación entre tensión y amperaje, o la limpieza de la superficie a soldar (aceites, líneas de rotulador o polvo pueden provocar salpicaduras).

Todos estos aspectos hacen que el cordón sea distinto y la cantidad de salpicaduras variable. He aquí que la necesidad de **seleccionar un abrasivo de calidad** para evitar un consumo excesivo del mismo durante el mecanizado.

> **Por arco sumergido** (*Submerged Arc Welding, SAW*). Este proceso se emplea en una amplia gama de aplicaciones industriales como en calderas, vagones cisterna, oleoductos, o tanques de almacenamiento. Las soldaduras normalmente son largas y su trayecto suele estar automatizado.

Aquí también se utiliza un fundente, pero en forma granular, más conocido como **flux** y formado por óxidos de silicio, calcio y manganeso, junto a otros componentes. El flux se deposita por gravedad sobre la zona de soldadura y **brinda protección al arco**, el cual es generado por contacto entre la pieza y el electrodo en forma de hilo que es alimentado de forma continua desde un carrete (*Figura 3*).

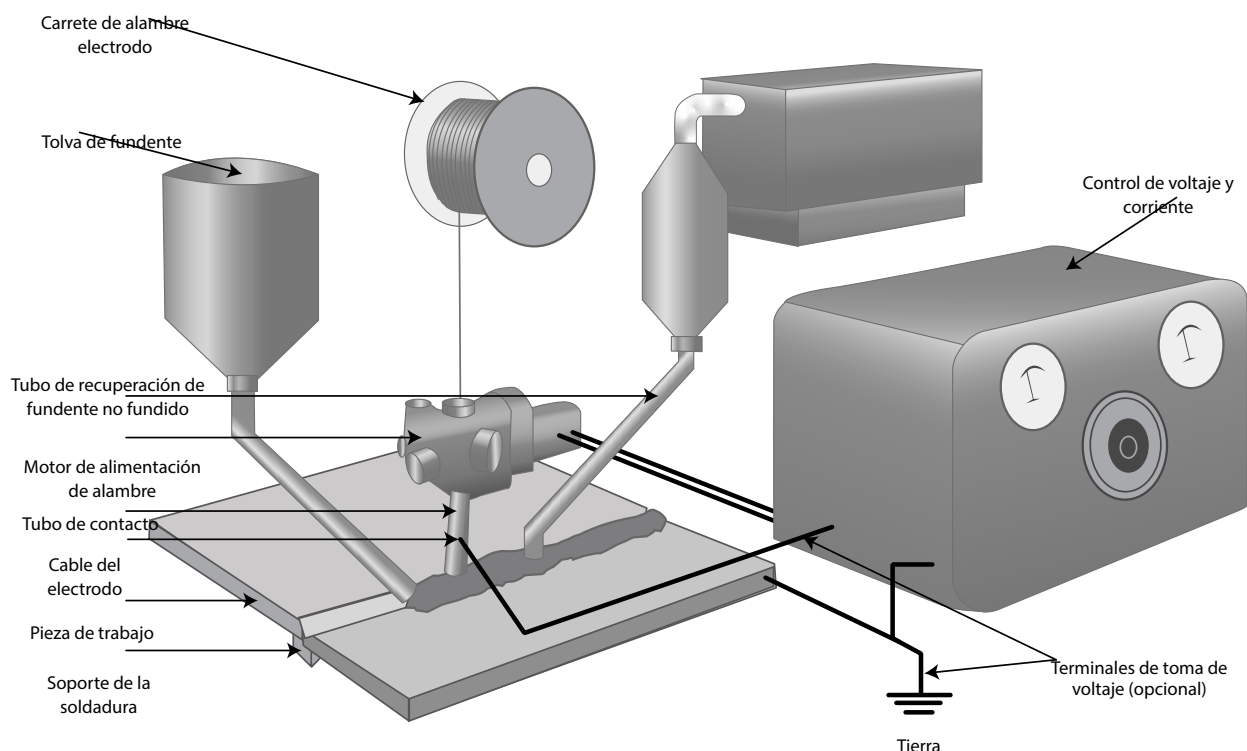


Figura 3: Soldadura por arco sumergido

Al estar el arco eléctrico sumergido dentro del flux, la mayoría de las chispas, humos y salpicaduras generadas quedan confinadas en esa zona. Por tanto, la **cantidad de salpicaduras** en este tipo de soldadura es **muy baja**.

En cuanto al **cordón de soldadura**, este suele tener un buen aspecto. Es **continuo y homogéneo**, y su calidad no depende directamente de la precisión del operario. Además, al formarse debajo del flux, queda protegido contra la contaminación atmosférica y sus **propiedades mecánicas**, como la tenacidad o la ductilidad, son **constantes** a lo largo de la línea de unión.

> **Por arco metálico y gas** (*Gas Metal Arc Welding, GMAW*). Se trata de un proceso rápido, versátil, económico y de alta productividad (unas dos veces más que SMAW). Es ampliamente empleado para la soldadura de chapa en la industria automotriz y en todo tipo de líneas de montaje, ya que ofrece la posibilidad de ser automatizado con facilidad y se presta para incorporarse a brazos robóticos.

A diferencia de los procesos anteriores, aquí se utiliza una pistola o antorcha de carrete que guía el electrodo (sin revestimiento y en forma de hilo) y permite la salida un **gas protector** (normalmente argón, helio o dióxido de carbono). El arco se inicia por contacto y el gas cubre el electrodo fundido mientras se deposita en la zona de unión (*Figura 4*). De esta manera, se **evita que el área soldada sea atacada por el nitrógeno o el oxígeno** contenidos en la atmósfera, lo que a su vez previene la formación de poros y la fragilización del metal.

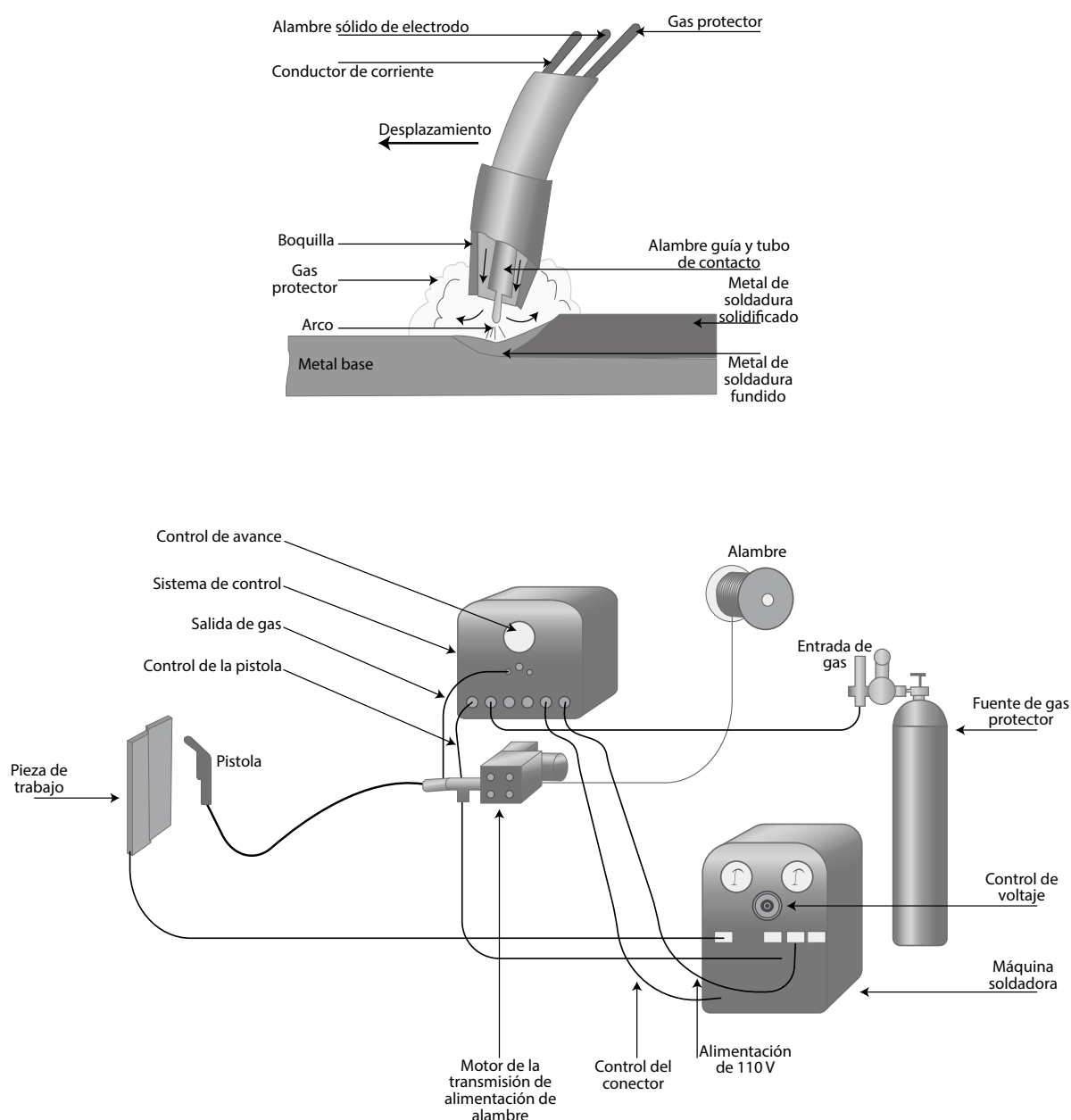


Figura 4: Soldadura por arco metálico y gas

Se distinguen tres **métodos de transferencia** del metal de aporte (electrodo) hacia el área de soldadura:

1. **Por pulverización.** Pequeñas gotas de metal de aporte se transportan a muy altas velocidades (cientos por segundo) hacia la zona de unión. Al ser una transferencia tan rápida, **las salpicaduras son casi inexistentes y el cordón** obtenido es **de alta calidad**. El gas protector utilizado es el argón; el **helio** no porque **produce cordones más anchos** y una penetración menos profunda.
2. Por **cortocircuito**. El metal se transfiere en forma de gotas individuales (más de 50 por segundo) cuando la punta del electrodo toca el baño de soldadura y hace cortocircuito. Este método de transferencia genera una **cantidad de salpicaduras moderada** y deja un **cordón de buena calidad**. Al emplearse el dióxido de carbono (CO_2) como gas protector, el arco generado es más intenso y las salpicaduras pueden verse incrementadas.
3. Transferencia **globular**. En este caso, las gotas son más grandes (se les conoce como glóbulos) y se transfieren por gravedad o por cortocircuito. Cuando caen sobre el área de soldadura, dejan una superficie irregular y suelen producir **bastantes salpicaduras**. El resultado final del proceso es un **cordón de gran anchura**. Al igual que en el método previo, el gas utilizado es el CO_2 .

> Electrodo consumible

La **soldadura por arco de tungsteno y gas** (*Gas Tungsten Arc Welding, GTAW*) es la más conocida. Se suele emplear para juntas de alta calidad en centrales nucleares y químicas, en la construcción de aeronaves y vehículos espaciales, o en las industrias automotriz y de la alimentación.

Como indica el nombre del apartado, el electrodo de tungsteno (también conocido como wolframio) no se consume ya que funde a temperaturas muy superiores ($\sim 3400^\circ\text{C}$) a la de los metales de trabajo. Si bien es cierto que se parece a la soldadura GMAW en cuanto al uso de una antorcha y un gas (argón o helio) que protege el baño de fusión, en lugar de un electrodo continuo se emplea una varilla de aporte que se fusiona con el metal base (Figura 5). Inclusive, en juntas de ajuste preciso, la soldadura se realiza directamente entre las partes sin necesidad del metal de aporte.

Otra diferencia significativa entre el proceso GMAW y el GTAW es el inicio del arco. En el primer caso se hace por contacto y en el segundo sin contacto (ambos casos son comentados previamente).

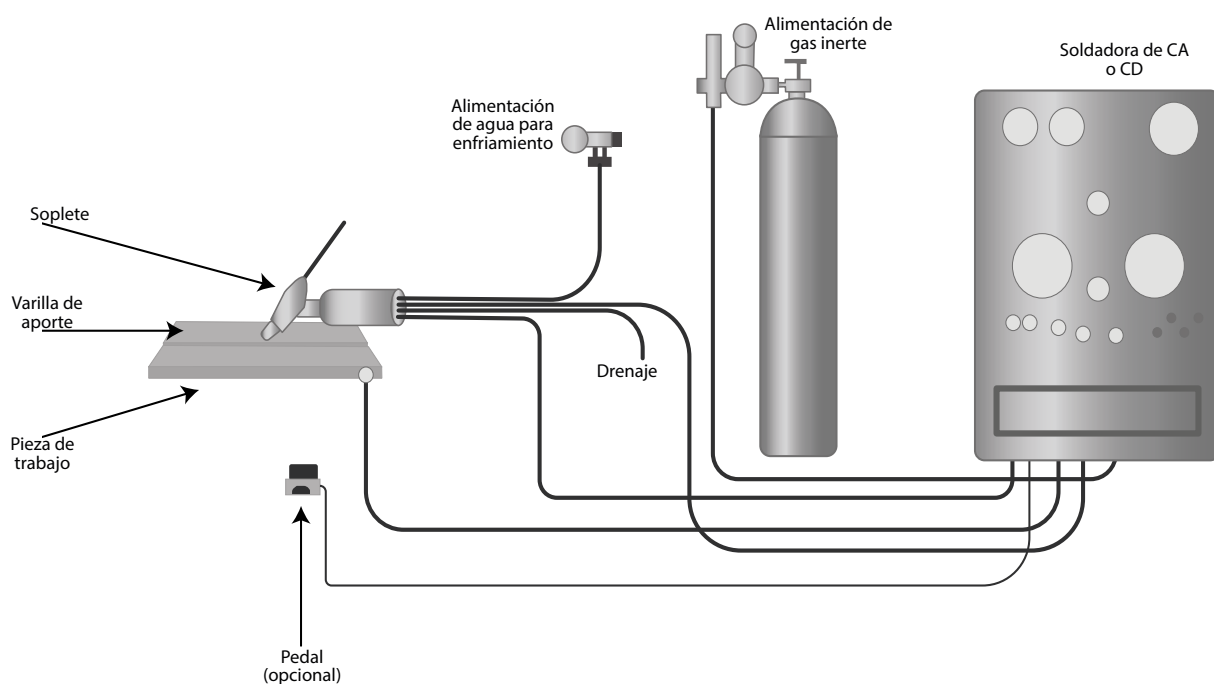
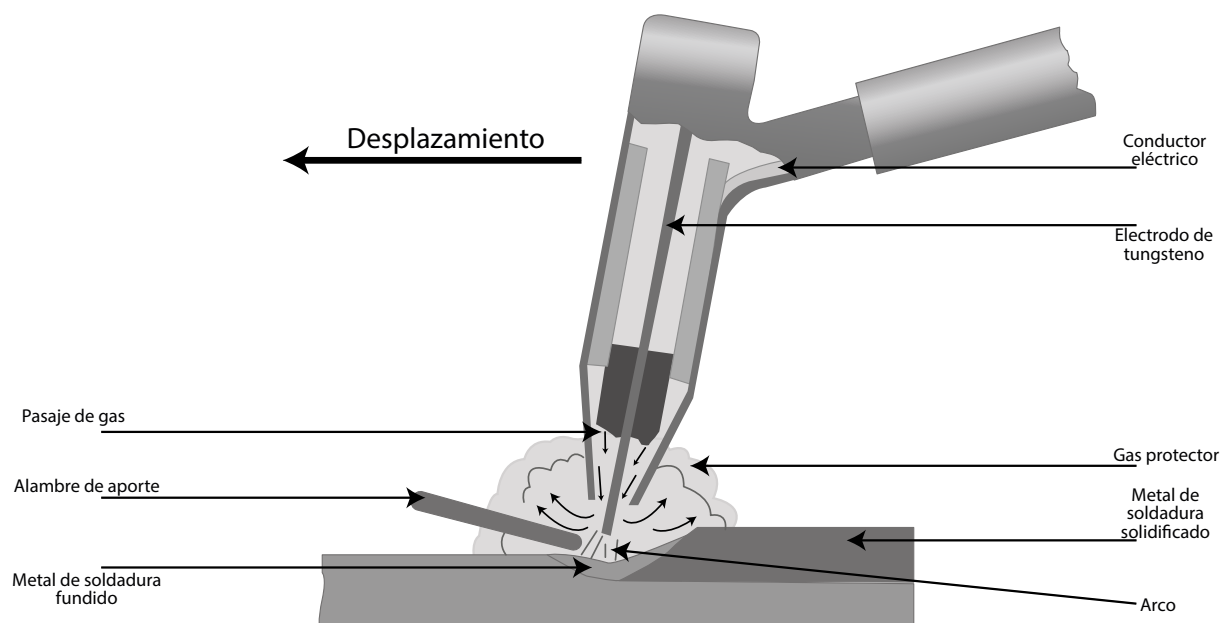


Figura 5: Soldadura por arco de tungsteno y gas

En la siguiente tabla se presenta un resumen de las características del cordón de soldadura y la cantidad de salpicaduras generadas en cada uno de los procesos explicados anteriormente.

PROCESO	RESIDUO A ELIMINAR
SMAW (manual)	> Salpicaduras: Cantidad alta-moderada. Formas y tamaños groseros. Depende de la habilidad del soldador. > Cordón: En general de buena calidad. Depende de la habilidad del soldador.
SAW (semiautomático/automático)	> Salpicaduras: Cantidad alta-moderada en transferencia globular y por cortocircuito. Muy baja cantidad en transferencia por pulverización. > Cordón: Buena calidad. Homogéneo. Con propiedades constantes.
GMAW (semiautomático/automático)	> Salpicaduras: Muy baja cantidad. Tamaños pequeños. > Cordón: En general de buena calidad. Ambos dependen del tipo de gas utilizado. El argón da mejores resultados y disminuye las salpicaduras; el helio puede aumentar la anchura del cordón; y el CO₂ aumenta la anchura y tiende a generar más salpicaduras.
GTAW (manual/automático)	> Salpicaduras: Muy baja cantidad. > Cordón: Buena calidad. Si el proceso no está automatizado, la habilidad del soldador cobra mayor importancia en el resultado final.

5 motivos para eliminar o minimizar las salpicaduras

- > Quedan resolidificadas en la superficie de la pieza soldada y **dejan un mal acabado**. Una superficie heterogénea supone un **inconveniente a la hora de aplicar una pintura u otro tipo de recubrimiento** después del soldeo.
- > Pueden formar **cráteres** sobre el metal base y llegar a convertirse en **zonas potenciales de contaminación o corrosión**. Algunos fluidos tienden a concentrarse en estos cráteres hasta penetrar y debilitar la estructura del material por medio de reacciones electroquímicas. **En aceros inoxidables**, esto **puede conducir a la corrosión por picaduras** (pérdida de la capa protectora de óxido de cromo), y eventualmente, causar el fallo mecánico de la estructura.
- > Suponen una **pérdida de material**, pues son partículas de metal en estado fundido que **se reparten** aleatoriamente por toda la zona de trabajo. Además de quedar adheridas **sobre la superficie de la pieza**, también van a parar **hacia el equipo de soldadura**, pudiendo llegar a dañarlo.
- > Muy peligrosas para los trabajadores. **Pueden quemar la ropa y causar quemaduras**. En los procesos manuales o semiautomáticos, los soldadores deben llevar el equipo de protección necesario para evitar accidentes.
- > **Disminuyen la producción**, ya que deben ser eliminadas una vez concluida la operación de soldadura. Lo ideal sería no tener salpicaduras, pero es algo inherente al proceso. Por tanto, **es necesario una etapa de acabado**. Y una de las formas más rápidas y económicas es **mediante abrasivos**.

5 motivos para eliminar el cordón de soldadura

> **Agrietamiento.** Son distintas las causas que pueden conducir al agrietamiento, el cual se produce tanto **en frío** (después de haber soldado la pieza) **o en caliente** (cuando el proceso de solidificación aun no ha concluido). **Tensiones residuales** debidas a los cambios de temperatura o cambios microestructurales que pueda experimentar el material durante la solidificación de la unión, **conducirán al fallo por agrietamiento.**

La **presencia de hidrógeno atómico** también **contribuye a la generación de tensiones residuales**, ya que puede difundir hacia la estructura del metal y aumentar su volumen y presión interna (es decir, se generan tensiones de compresión porque el material intenta volver a su estado inicial). El agrietamiento producido por esta vía se conoce como fragilización por hidrógeno y es un **problema muy común en las estructuras de acero soldadas.**

Eliminando el cordón de soldadura en la etapa de desbaste y acabado, se conseguirá aliviar las tensiones residuales presentes en su interior y **se aumentará la vida útil del componente.**

> **Propiedades distintas a la del metal base.** El cordón de soldadura no solo está formado por el metal base, sino por otros componentes como las sustancias contenidas en el fundente (casos SMAW y SAW). Esto hace que sus propiedades varíen (en muchos casos para mal), lo cual **puede afectar al rendimiento en servicio del componente.** Por este motivo, el cordón debe ser rectificado hasta que la unión quede nivelada y sea uniforme, pues así se logrará una mayor homogeneidad en las propiedades y en el acabado.

> **Porosidad.** Casi inevitable en las uniones soldadas, las porosidades pueden conducir a la corrosión. Se forman durante las reacciones químicas y electroquímicas del proceso, y en los gases que quedan atrapados durante la solidificación. Cualquier fluido puede entrar por los poros y **causar la corrosión, seguida por un eventual fallo de la pieza.** De hecho, son una de las zonas por donde penetra el hidrógeno que provoca la fragilización del metal; otro motivo de peso para eliminar el cordón.

> **Tolerancias y aplicación de recubrimientos.** En muchas aplicaciones, las piezas soldadas deben ensamblarse a otras y/o deben pasar por una etapa en donde se les aplica un recubrimiento. Para tales fines, es muy importante **acondicionar la unión mediante un rectificado y acabado.**

> **Estética.** Muy importante en aplicaciones en las que la pieza soldada sea expuesta como si estuviera hecha de un solo componente; de aspecto liso, homogéneo, brillante y atractivo. En estos casos, se requiere de un **acabado** lo suficientemente **fino.**

La formación de cada uno de estos defectos depende de las características del material a soldar, el electrodo, el fundente (casos SMAW y SAW), y de los parámetros configurables del proceso como el amperaje, la velocidad de soldeo o la intensidad de corriente.

Materiales

Con los cuatro procesos comentados a lo largo del texto se puede soldar cualquier material metálico que sea susceptible a unirse, y una vez unido, proporcione la integridad estructural necesaria para una determinada aplicación (que sea soldable).

A continuación, se presenta una tabla con los **materiales que se pueden soldar con cada técnica** y se comentan algunas particularidades y recomendaciones a tener en cuenta antes de la selección del tipo de soldadura.

PROCESO	MATERIALES	COMENTARIOS / RECOMENDACIONES
SMAW	> Aceros > Fundiciones	> Muy adecuado para aceros al carbono, inoxidables, y de baja y alta aleación. También para fundiciones dúctiles. > Solo se pueden soldar chapas de más 1,5 mm de espesor; el rango de espesor habitual oscila entre 3 y 19 mm.
SAW	Férricos > Aceros > Fundiciones No férricos > Algunas aleaciones de níquel (ej. monel), aluminio y cobre.	> Ideal para soldaduras rectas y largas en chapa gruesa con espesores entre 5 y 50 mm. > Muy buenos resultados en aceros al carbono, inoxidables o de baja aleación.
GMAW	Férricos > Aceros > Fundiciones No férricos > Aluminio y sus aleaciones > Cobre y sus aleaciones > Magnesio y sus aleaciones > Níquel y sus aleaciones > Titanio y sus aleaciones	> Debido a las bajas temperaturas del proceso, solo es adecuado para chapas de menos de 6 mm de espesor. > Se recomienda emplear argón de alta pureza solo para aleaciones de titanio, aluminio, cobre y níquel. > Para aceros, el argón puro produce cordones irregulares. Se recomienda usar una mezcla de argón (<5%) con oxígeno. > Los métodos de transferencia globular y por cortocircuito solo se pueden emplear en metales férricos. > El método de pulverización es el más adecuado para el aluminio y sus aleaciones y para los aceros inoxidables.
GTAW	Férricos > Aceros > Fundiciones No férricos > Aluminio y sus aleaciones > Cobre y sus aleaciones > Magnesio y sus aleaciones > Níquel y sus aleaciones > Titanio y sus aleaciones	> Ideal para aceros inoxidables y aleaciones de aluminio, magnesio y titanio. > Para las aleaciones de aluminio y magnesio es preferible usar corriente alterna porque tiene una acción limpiadora que remueve los óxidos y mejora la calidad de la soldadura. > Es muy importante mantener el metal de aporte libre de contaminación y humedad para evitar un cordón de mala calidad.

Procesos de eliminación del cordones y salpicaduras

Nos encontramos con dos casos muy diferentes entre sí.

- > **Procesos automáticos:** Cada vez están más extendidos, son aquellos en los que no hay una intervención directa del operario a la hora de eliminar el material. Esto ayuda a que los costes de repaso sean menores y tengan menos peso en el coste final del producto. Además, al no haber una intervención directa del operario, las posibles lesiones que se puedan producir son inexistentes. Tiene un inconveniente muy claro y marcado, el trabajo tiene que ser repetitivo ya que se deberá destinar un tiempo a la programación de la máquina.
- > **Procesos manuales:** Vienen determinados por la actuación directa del operario sobre el proceso de rebarbado de los cordones y las salpicaduras. La gran ventaja de este modo de trabajo es la polivalencia que nos da, pero tanto los costes, como los tiempos de retrabajo son claramente más elevados, además de generar acabados más heterogéneos. Pero en mayor o menor medida siempre están presentes.

En la siguiente tabla se pueden ver de forma más clara las principales diferencias de cada uno:

		Manual	Automático
Seguridad	Polvo	••	•••
	Ruido	•	•••
	Ergonomía	•••	•
Productividad	Rapidez	•••	••
	Homogeneidad	•••	•
	Calidad	••	•
	Polivalencia	•	•••
Rentabilidad	Inversión	•	•
	Mantenimiento	••	••
	Coste pieza	•	•••
••• Positivo •• Regular • Negativo			

Maquinaria

Básicamente existen dos tipos de máquinas para este proceso:

> **Máquinas manuales:** Mayoritariamente amoladoras angulares, neumáticas o eléctricas. Muy polivalentes y de fácil uso. Requieren de un gran esfuerzo físico por parte del operario que suele degenerar en lesiones a largo plazo. La peligrosidad de este tipo de máquinas es bastante alta. Además de todo esto, el mantenimiento de este tipo de maquinaria es bastante costoso y que al tener un tamaño muy reducido todos sus componentes sufren un gran desgaste.



Lijado con una amoladora angular

> **Máquinas automáticas:** Este tipo de máquinas trabajan con una banda sin fin que recorre todo el largo del cordón que se quiere eliminar, dejándolo a nivel con el resto de la pieza. A la vez que rectifica el cordón, elimina las proyecciones adyacentes. Son máquinas que una vez configuradas pueden utilizarlas cualquier persona sin necesidad de una práctica previa y que son totalmente autónomas.



Lijado con una máquina automática con banda

Diferentes formatos de abrasivos para trabajar

Aquí veremos las diferentes formas y opciones de que disponemos para el repaso de cordones y proyecciones.

> **Bandas de lija:** Principalmente presentes en procesos automáticos, es el consumible más rentable actualmente debido a su alta carga de abrasivo y la homogeneidad de presiones a la que trabaja. Solo pueden trabajar en plano y su ventaja viene de la vida útil que tiene por lo que no es recomendable si el proceso no es continuo.



> **Discos de desbaste:** Son probablemente los más conocidos y extendidos actualmente. Su composición puede variar de óxido de aluminio a circonio o incluso granos cerámicos y van destinados al trabajo manual. Es un producto económico, pero por contra muy ruidoso y de acabados muy pobres. Además, es excesivamente exigente con el operario y suele generar unos tiempos de proceso muy lentos.



> **Discos de láminas:** Al igual que el anterior, su uso va enfocado a las aplicaciones manuales. Se trata de diferentes capas formadas por pequeñas hojas de lija que van regenerándose con el uso. Pueden ser de corindón, circonio o grano cerámico. Es una herramienta muy polivalente, económica y fácil de utilizar. Por otro lado, no es el abrasivo más rápido ni más seguro que se puede encontrar hoy en día.



> **Discos de fibra:** Son la alternativa más efectiva para acelerar los tiempos de proceso. Su polivalencia es elevada pero su vida es más limitada en el tiempo, aunque su capacidad de corte es la mayor de todas las que se analizan en este apartado.



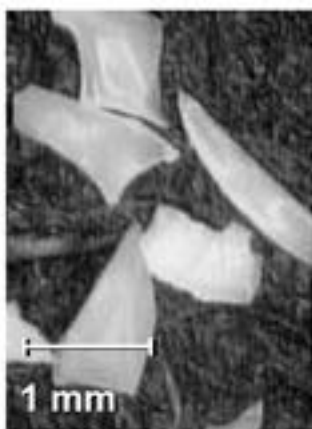
En la tabla adjunta, se puede ver las principales diferencias entre ellos:

		Banda	Disco desbaste	Disco láminas	Disco fibra
Seguridad	Polvo	•	...	••	••
	Ruido	•	...	•	••
	Ergonomía	...	•	...	...
Productividad	Rapidez	...	••	••	...
	Corte	...	••	•	...
	Acabado	...	•	••	••
	Polivalencia	•	••	...	••
Rentabilidad	Precio	...	••	•	••
	Coste/Piezas	•	...	••	••
	Tasa horaria	•	...	••	••
... Positivo •• Regular • Negativo					

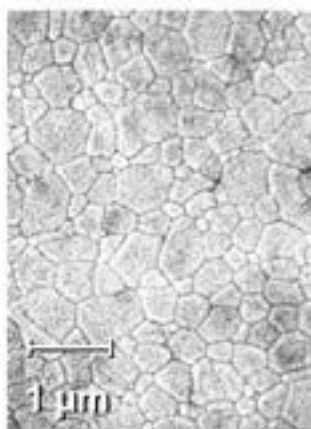
Abrasivos más adecuados para el saneado

Dados los últimos avances tecnológicos el enfoque será en los dos granos más efectivos para esta labor, la tecnología de grano cerámico y la tecnología de micro replicación de grano.

- > **Grano cerámico:** Este revolucionario abrasivo se obtiene de forma sintética mediante la sinterización de un gel basado en un fino polvo de Al_2O_3 . Esta técnica confiere al grano cerámico una alta dureza (propia del $AlOx$) además de incrementar notablemente su tenacidad. Su característica más notable es la de romperse generando nuevas aristas de corte que le confieren una gran tasa de arranque de viruta. Todas estas características lo convierten en un material abrasivo excepcional para el saneado de soldaduras.



Micrografía:
Grano Cerámico, grano 24



Micrografía del Grano Cerámico

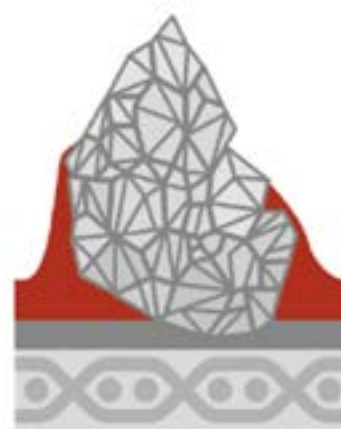


Figura esquemática del Grano
Cerámico

> **Grano cerámico micro replicado:** Es la última aportación tecnológica del mundo del abrasivo a la industria. Partiendo de la misma base que se tiene para la fabricación del grano cerámico, este gel es moldeado para presentar una estructura triangular perfecta. Esto permite el total control sobre la forma del grano y maximiza las tasas de desbaste de material.



Micrografía:
Grano Cerámico micro replicado



Micrografía del Grano Cerámico
micro replicado



Figura esquemática del Grano
Cerámico micro replicado

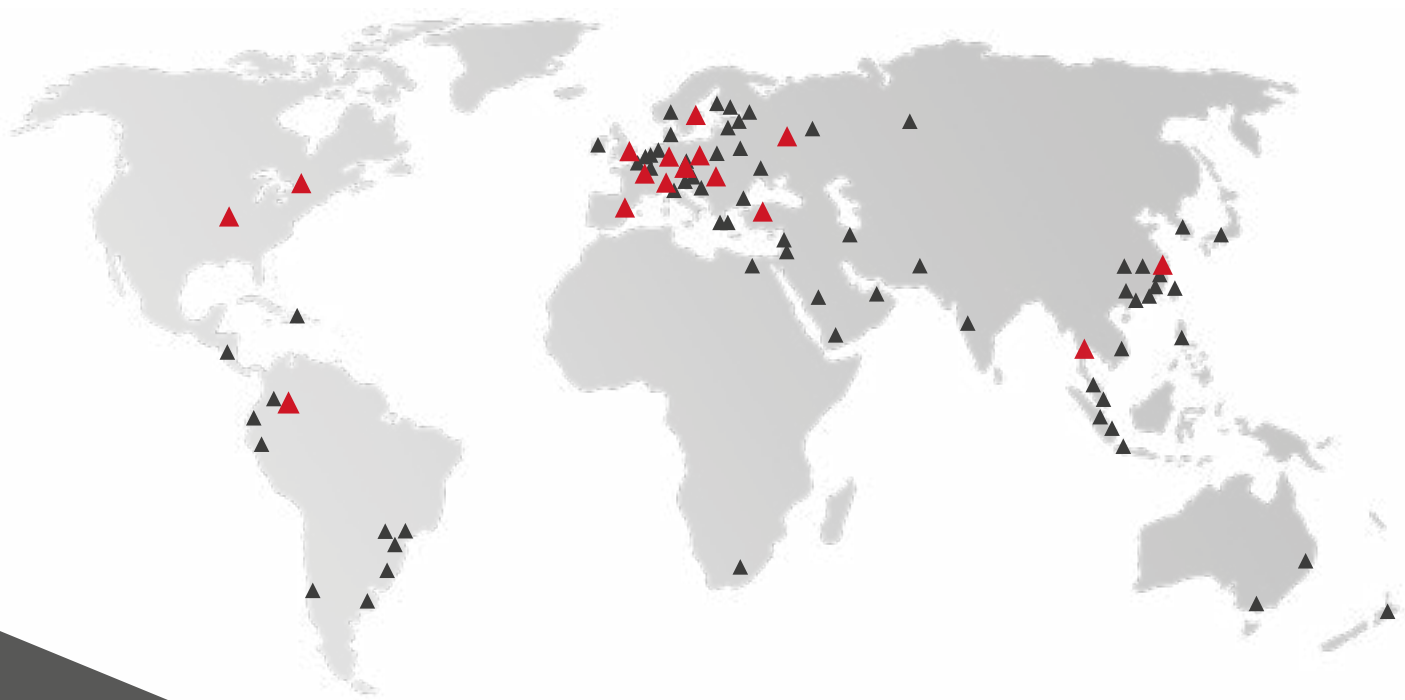
Como se ha explicado en el transcurso del e-book es muy importante valorar todos los aspectos explicados sobre las tipologías, los motivos y los procesos de eliminación de soldadura, las diferentes técnicas y maquinaria para poder seleccionar la herramienta de lijado que mejor se adapte al trabajo de saneado de cordones de soldadura y eliminación de proyecciones. De esta forma se va a obtener el resultado deseado para el acabado, así como la calidad de la pieza.

¿Te gustaría saber más sobre esta aplicación?

¡Contáctanos para más información!



Líder mundial en abrasivos



▲ Filial
▲ Socios Comerciales

**DESCUBRE MÁS CONTENIDOS
EN NUESTRO BLOG**

www.vsmabrasivos.com/blog

VSM · VITEX ABRASIVOS IBERICA, S.A.U.

Ctra. Molins de Rei, 79A - Nave 8
08191 Rubí - Barcelona - Spain

Tel. +34 93 697 34 11

sales@vsmabrasivos.es

www.vsmabrasivos.com

VSM · LATINOAMÉRICA S.A.S.

Carrera 9 No. 115-06 - Edif. Tierra Firme P. 17
Bogotá - Colombia

Tel. +57 1 639 84 89

sales@vsmabrasivos-latinamerica.com

www.vsmabrasivos.com