

DOCUMENTOS

Los riesgos de la soldadura y su prevención



Los riesgos de la soldadura y su prevención

Manuel Bernaola Alonso

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (CNNT). INSHT

Para llevar a cabo una evaluación aceptable de la exposición por inhalación a humos en operaciones de soldadura es necesario tanto un amplio conocimiento de los diferentes tipos y técnicas de soldeo como analizar los principales factores que influyen, como son, entre otros: las condiciones, qué trabajador las realiza, si se utiliza electrodo o no y sus propiedades, el ritmo de trabajo, etc.

La evaluación del riesgo químico es una técnica tan variada y de tantos matices que requiere forzosamente el análisis “in situ” o la realización de la encuesta higiénica y, sin embargo, corre el riesgo de convertirse en un procedimiento rutinario de Higiene “de sillón”.

Por tal motivo, no es suficiente recomendar la aplicación de los principios preventivos y adoptar las medidas de control habituales. Además, habrá que llevar a cabo una vigilancia continuada en cuanto al cumplimiento normativo en materia de seguridad y salud laboral.

Si la Ley 31/1995 de 8 de noviembre, sobre Prevención de Riesgos Laborales, marca las bases en cuanto a garantías y responsabilidades que se precisan para establecer un adecuado nivel de protección de la salud y seguridad de los trabajadores, existe, no obstante, más legislación aplicable derivada de ésta y en lo referente a riesgo químico y su evaluación. No hay que olvidar, ya que se emplean equipos y máquinas, el Real Decreto 1215/1997, de equipos de trabajo, ni el Real Decreto 1435/1992 (modificado por el Real Decreto 56/1995) en cuanto a la declaración de conformidad de máquinas y el examen CE de tipo.

1. Generalidades

Soldadura es la unión de dos piezas metálicas entre sí por calor, de igual o distinta naturaleza, a veces con presión y con

interposición o no de material de aporte. La fuente de calor puede ser: el arco eléctrico, la llama por combustión de gas y las resistencias eléctrica o mecánica. La soldadura, con más de 80 tipos diferentes, une y da

continuidad y homogeneidad estructural sin que signifique una identidad química.

En general, la soldadura se caracteriza por: las múltiples técnicas de soldar, la

gran cantidad de metales y las muchas sustancias usadas para protección, como aislantes o aglutinantes.

Por lo tanto, para la evaluación del riesgo higiénico se tendrá en cuenta:

- Tipo de soldadura.
- Metal de base (tipo de revestimiento).
- Metal de aporte y protección (gases, escorias, fundentes, desoxidantes...).
- Tiempo e intensidad de la exposición.
- Eficacia y suficiencia de la ventilación.

Las diferentes soldaduras pueden dividirse en dos grandes grupos:

a) Homogénea: sin aporte de metal (el metal se funde por una fuente de energía que permite la unión por presión) o con aporte del mismo material que el de las piezas a unir.

b) Heterogénea: se funde un metal de naturaleza diferente a las piezas a unir, previamente decapadas, y que permanecen sólidas en la operación.

Así, la soldadura autógena es homogénea, independiente de la técnica de fusión, y la de estaño es heterogénea blanda.

Por otro lado, según la forma de trabajar se puede distinguir:

- Soldadura con aporte de metal: blandas y fuertes, con soplete o con arco eléctrico.
- Soldadura sin aporte de metal: eléctrica por puntos, por inducción, por frotamiento o láser.



La soldadura puede hacerse:

- Con fusión: oxigas, arco eléctrico, resistencia eléctrica, partículas de alta energía, electro escoria, aluminotermia.
- Sin fusión: soldadura fuerte, soldadura blanda.

2. Tipos de soldadura

A continuación, se describen someramente las principales y más conocidas formas de soldadura de metales y aleaciones. Además de destacar las diferencias entre unas y otras también se advierte de los posibles riesgos específicos que cada una de ellas puede generar.

Soldadura oxigas (acetilénica)

El calor procede de la combustión de un gas (acetileno, metano) en presencia de oxígeno o aire y con un soplete manual, que provoca la fusión del metal de base sin necesidad de electrodo. No obstante y si es necesario, se puede aportar un metal como relleno de la soldadura

de composición similar al de base. El material de aporte es el mismo metal o una aleación que baje el punto de fusión; el uso de fundentes químicos disminuye la oxidación.

Los riesgos higiénicos son: falta de oxígeno en el aire, CO, gases nitrosos, fugas de acetileno, gases que proceden de los fundentes y humos metálicos.

La mezcla de gases puede ser:

- aire + gas natural que alcanza los 2700°C
- aire + acetileno hasta 2000°C
- oxígeno + acetileno hasta los 3100°C
- oxígeno + hidrógeno hasta los 3000°C
- otros gases como propano, butano...

Corte térmico-oxicorte

Es un corte del metal por fusión y se puede hacer con oxígeno, mediante plasma o al arco.

Con oxígeno se hace sobre aceros (al manganeso o al carbono) que contienen poco cromo. El metal caliente y expuesto al oxígeno se oxida y funde. La llama acetilénica, de hidrógeno, gas natural o propano, da calor suficiente para vaporizar y separar el metal.

El corte con plasma se basa en establecer un arco de temperatura muy elevada y de gran velocidad entre el electrodo que se encuentra en el soplete y la pieza a cortar.

El corte con arco se emplea para metales no féreos, tipo acero no oxidable o de alto contenido en cromo o tungsteno.

Los riesgos higiénicos son: ozono y gases nitrosos, humos metálicos, ruido y radiación UV y productos de descomposición (fosgeno) por acción de esta sobre hidrocarburos clorados que pueda haber en la zona.

Soldaduras fuerte y blanda

Se trata de la unión de piezas metálicas sin que participen en la unión ya que tiene lugar a una temperatura de trabajo inferior a la de fusión de estos, y en la que el material de aporte está en estado líquido.

Si la temperatura de fusión es inferior a 450° C, se la denomina soldadura blanda (plomo con estaño) y, si es superior, hasta 600 - 700° C, se la llama soldadura fuerte (plata en aleaciones ternarias con cobre y cinc o cuaternarias con cobre, cinc y cadmio).

La soldadura fuerte se efectúa sobre aceros (inoxidables, al carbono...), cobre y sus compuestos, metales preciosos y en aleaciones duras como las de carburo de tungsteno. El material de relleno puede ser alambre, punta, hilo, pasta, polvo o placa, y hay que emplear fundente a menos que

se realice el vacío, dado que la oxidación de la zona de soldadura puede provocar una debilitación de esta. En la soldadura fuerte el calor necesario se produce por soplete, inducción, baño, resistencia o soldadores eléctricos manuales.

Los ingredientes más usuales son: boratos, fluoruros, cloruros, ácidos bórico y calcinado o álcalis y agua (de hidratación o añadida a la pasta de los fundentes).

Soldadura manual de arco eléctrico (MMA)

La soldadura de Arco Eléctrico es, de todos los diferentes procesos de soldadura al arco, la más antigua y versátil. Un arco eléctrico se mantiene entre la punta de un electrodo recubierto y la pieza. A 4000° C las gotas de metal derretido son transferidas a través del arco y se convierten en un cordón de soldadura. El electrodo se fija sobre una pinza porta-electrodos de mango aislado.

La varilla consta de un alma metálica (electrodo consumible) rodeada de un revestimiento que aísla eléctricamente al metal (evitando cebaduras en la paredes) y con la ventaja de ionizar la atmósfera (arco estable, permite el uso de corriente alterna), proteger el metal de fusión contra la oxidación y producir una escoria que retrase la solidificación del metal y preservar contra las radiaciones. La escoria también ayuda a dar forma al cordón de soldadura, en especial, en la soldadura vertical y sobre cabeza, y se retira al final por "picado".

El recubrimiento ofrece diversas funciones:

- Generación de gases protectores: evitan la penetración del aire.
- Producción de escoria: evitan la formación de óxidos de nitrógeno, con-

trolan la velocidad de enfriamiento y eliminan óxidos perjudiciales.

- Sustancias aislantes: mejoran las propiedades físicas.
- Aglutinante: proporcionan al electrodo una cubierta resistente.

El revestimiento puede ser:

- Oxidante: óxido de hierro con o sin óxido de manganeso
- Neutro: óxidos de hierro, manganeso y hierro/manganeso
- Ácidos: contienen sílice
- Básico: carbonato cálcico u otros carbonatos básicos, espatofluor
- Celulósico: celulosa y materias orgánicas
- Rutilo orgánico e inorgánico: rutilo y otros derivados del óxido de titanio

La soldadura al arco puede estar protegida con atmósfera de gas inerte o activo, de plasma o sumergido. Los procesos de soldadura automáticos son del tipo resistencia eléctrica o electrodo continuo.

La contaminación del ambiente con la soldadura con arco eléctrico dependerá de:

- La intensidad de la fuente de calor (arco),
- la volatilización de los metales fundidos,
- la fusión y volatilización de los recubrimientos de los electrodos,
- la combustión de las sustancias que recubren el material a soldar.

A su vez el grado de contaminación dependerá de:

- Número de electrodos consumidos: velocidad de fusión, diámetro y cantidad de superficie a soldar
- Densidad de corriente utilizada
- Humedad del revestimiento del electrodo
- Ventilación del local
- Revestimiento del metal de base
- Tipo de metal a soldar

En la tabla 1 se da información sobre la identificación de una serie de electrodos con revestimiento y posibles aplicaciones.

Procesos MIG o MAG

Las soldaduras MIG (metal gas inerte) o MAG (metal gas activo) producen un arco eléctrico sostenido entre un alambre sólido que funciona como electrodo continuo y la pieza de trabajo. El arco y la soldadura fundida son protegidos por un chorro de gas inerte o activo. La emisión de UV es considerable en aleaciones ligeras y el problema se agrava al ser reflectantes el baño de fusión y el entorno. Además, se producen gases nitrosos y ozono en cierta concentración. (Esquema 1)

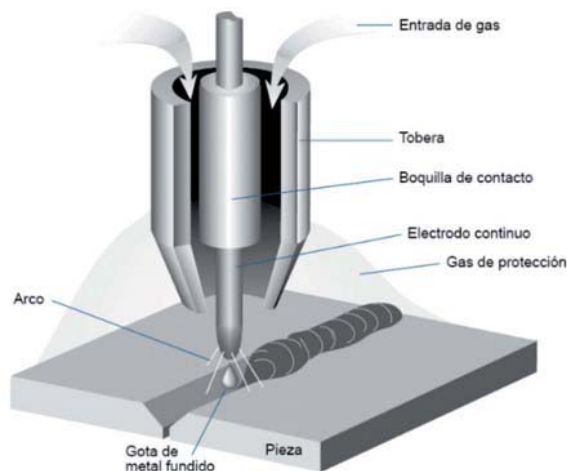
La soldadura MIG es más productiva que la MMA porque el soldador no tiene que parar para reemplazar el electrodo consumido. Por kilogramo de electrodo cubierto, sólo un 65% se aprovecha como parte de la soldadura. Los alambres sólido y tubular incrementan la eficiencia de la soldadura en un 80-95 %.

El proceso MIG opera en corriente continua (CC) normalmente con el

■ **Tabla 1** ■ **Identificación y aplicaciones de electrodos revestidos**

Clasificación AWS	Tipo de revestimiento	Corriente y polaridad	Posición a soldar
E-6010	Celulósico sódico	CC, EP	P.V.SC.H
E-6011	Celulósico potásico	CA,CC,EP	P.V.SC.H
E-6012	Rutílico sódico	CA,CC,EN	P.V.SC.H
E-6013	Rutílico potásico	CA,CC,AP	P.V.SC.H
E-7014	Rutílico H.P.	CA,CC,AP	P.V.SC.H
E-7015	Rutílico sódico B.H.	CC,EP	P.V.SC.H
E-7016	Rutílico potásico B.H.	CA,CC,EP	P.V.SC.H
E-7018	Rutílico potásico B.H., H.P.	CA,CC,EP	P.V.SC.H
E-6020	Óxido de hierro	CA,CC,AP	P.H. Filete
E-7024	Rutílico H.P.	CA,CC,AP	P.H. Filete
E-7027	Óxido de hierro H.P.	CA,CC,AP	P.H. Filete
Nomenclatura: HP Hierro en polvo BH Bajo hidrógeno	CC: Corriente continua CA: Corriente alterna AP: Ambas polaridades	EP: Electrodo positivo EN: Electrodo negativo SC: Sobrecabeza	P: Plana V: Vertical H: Horizontal

■ **Esquema 1** ■ **Soldadura MIG o MAG**



alambre como electrodo positivo y se conoce como "Polaridad Negativa". La "Polaridad Positiva" no se suele dar por su baja transferencia de metal de aporte. Las corrientes de soldadura van de 50 a 600 amperios, con voltajes de 15V a 32V. La estabilidad del arco la dan, entre otros factores, el voltaje y una velocidad de alimentación del alambre constantes.

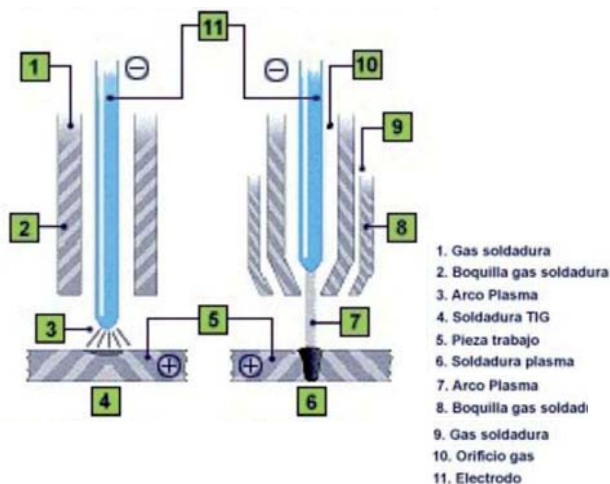
La soldadura MIG que es muy versátil, se ha convertido en un proceso aplicable a todos los metales comercialmente importantes tales como el acero, aluminio,

acero inoxidable y cobre, entre otros, y materiales de cierto espesor se pueden soldar en cualquier posición ("suelo", vertical y sobre cabeza).

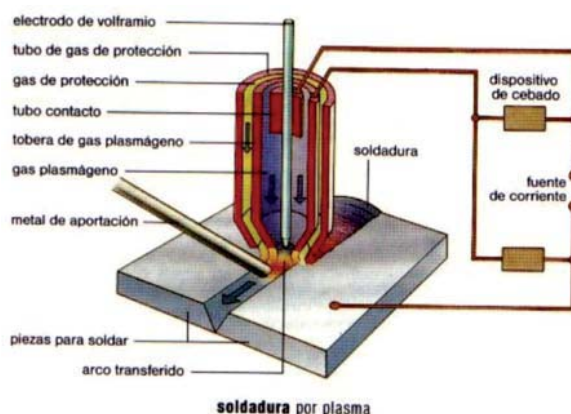
Los factores que determinan la forma en que los metales se transfieren son: la corriente de soldadura, el diámetro del alambre, la distancia del arco (voltaje), las características de la fuente de potencia y el gas utilizado.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) dispone de dos códigos diferen-

Esquema 2 Soldaduras TIG y por arco de plasma



Esquema 3 Soldadura por arco de plasma



tes, según sean aleaciones de acero con bajo o alto contenido de carbón (acero dulce).

La soldadura TIG es una variante de la MIG pero el electrodo de tungsteno no es consumible por lo que hay que añadir varilla de aporte para que funda y suelde el metal de base. Emite una cantidad considerable de radiación ultravioleta y de gases nitrosos.

La influencia del gas en el arco eléctrico puede ser:

- El CO_2 causa más turbulencias en la transferencia del metal con tendencia a formar cordones abultados y con mayor riesgo de salpicaduras.
- Las mezclas de gases tipo Argón hacen la transferencia de metal más estable y uniforme, formando un buen cordón y reducen las salpicaduras y los humos.

El aumento del voltaje del arco tiende a incrementar la fluidez, hace las soldaduras más rasas, afecta a la penetración de los bordes y genera más salpicaduras. Los voltajes altos reducen la penetración con posible pérdida de elementos que forman parte de la aleación.

Soldadura por arco de plasma

La soldadura por arco de plasma es muy similar a una evolución de la soldadura TIG. Se diseñó para incrementar la productividad. Produce radiación UV y el nivel de ruido es considerable. (Esquemas 2 y 3).

En la soldadura por arco de plasma, el uso de gas es más complejo. Dos gases separados trabajan de forma diferente. Un gas envuelve el electrodo de tungsteno y forma el núcleo del arco de plasma y otro hace de pantalla y da protección a la soldadura fundida. Según los tipos se trabaja con baja o alta intensidad (desde 0,1 a más de 100 amperios).

En el proceso TIG el arco con forma cónica se creaba entre el electrodo y la pieza. En este caso el arco eléctrico pasa por un orificio, situado en la boquilla de la pistola, y da lugar a una columna de plasma de forma cilíndrica que concentra una gran densidad de energía. Según los casos, se logra aumentar las velocidades de soldadura (hasta 1m/minuto y más según el espesor) o aumentar la penetración de los cordones y, en general, dar gran estabilidad al arco y un mejor control de la distorsión.

En resumen, la soldadura al arco eléctrico tipo MIG/MAG, TIG y Plasma utilizan gases de protección que pueden ser simples o mezcla de varios. Los gases pueden ser: Argón, Helio, CO_2 , Oxígeno, Hidrógeno y Nitrógeno, y solo los dos primeros considerados como inertes no desarrollan actividad química de forma que al resto se les conoce como gases activos. Los tres primeros se pueden usar de forma simple si hay compatibilidad con el proceso de soldadura y el material a soldar lo permite. En el resto de ocasiones se emplean mezclas de dos o más gases. En el Cuadro 1 se dan datos sobre el uso de estos gases en las soldaduras MIG/MAG y TIG.

Soldadura por arco sumergido

Es un proceso en el que el calor lo aporta un arco eléctrico generado entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo. El arco sumergido en una capa de fundente granulado protege el metal depositado durante la soldadura. El arco, completamente encerrado, usa intensidades de corriente muy elevadas, sin chisporroteo o arrastre de aire, produce una penetración profunda y el proceso es térmicamente deficiente ya que la mayor parte del arco está bajo la superficie de la plancha.

■ Cuadro 1 ■ Uso de gases en soldaduras MIG /MAG y TIG

Argón	Fácil de ionizar	
	Facilita el cebado	
	Es la base de todas las mezclas	
Helio	Proporciona un arco rígido	
	Aumenta la velocidad de soldadura	
Nitrógeno	Si es compatible con el metal a soldar (aceros inoxidable al nitrógeno), mejora las propiedades de la unión	
Oxígeno	MIG/MAG	Facilita la fluidez del baño de fusión
	MIG/MAG	Mejora el desprendimiento de las gotas de hilo
	TIG	No se usa, ya que oxida y contamina el electrodo, lo que dificulta el proceso
CO ₂	MIG/MAG	Aumenta la viscosidad del baño
		Aumenta la penetración
		Aumenta las proyecciones
	TIG	No se usa, ya que oxida y contamina el electrodo, lo que dificulta el proceso
Hidrógeno	Si es compatible con el metal a soldar (aceros inoxidables austénicos), aumenta la velocidad de soldadura y la penetración	

Es un proceso de alta dilución al fundir dos veces más de metal base que de electrodo. Trabaja a intensidades de 200 a 2000 amperios, si bien por la metalurgia del depósito se prefiere depositar el metal en capas como resultante del recalentamiento a intensidades menores.

En un arco abierto y a intensidades superiores a 300 amperios hay que tomar precauciones por la intensa fuente de radiación infrarroja y ultravioleta. En el arco sumergido, al no ser visible el arco, no es necesario.

La cantidad de polvo fundente usado es la misma que la de alambre fundido y queda sobre el cordón de soldadura formando una capa de escoria vítrea. La soldadura tiene apariencia y contornos lisos. El polvo fundente no fundido se recupera teniendo cuidado de que no esté contaminado. Si se hacen soldaduras sobre superficies inclinadas o cerca de los cantos, es necesario un estante o similar para soportar el fundente.

El arco se produce entre el electrodo y el metal de base. El calor del arco funde el electrodo, el fundente y parte del metal base, formando el baño que producirá la junta. La corriente eléctrica circula entre el electrodo y el baño fundido a través de un plasma gaseoso inmerso en el fundente. Los alambres son aceros de bajo carbono y están enrollados en bobinas.

El fundente se va depositando delante del arco a medida que avanza la soldadura al solidificar, se extrae el exceso para utilizarlo de nuevo y el fundido se elimina por piqueteado y cepillado. Los equipos modernos disponen de aspiradora que absorbe el excedente de fundente y lo envía de nuevo a la tolva de alimentación.

Se usa en aceros aleados suaves y con fundentes adecuados en aleaciones de aluminio y titanio, aceros de alta re-

sistencia, templados y revenidos y algunos aceros inoxidables. El método se usa principalmente en soldaduras horizontales de espesores superiores a 5 mm en los que las soldaduras sean largas y rectas. Se pueden soldar espesores de hasta 12 mm.

Es una soldadura que se usa en construcción naval, recipientes a presión, estructuras metálicas, tubos y tanques de almacenamiento, etc.

Soldadura por haz de electrones

La soldadura por haz de electrones se diferencia de otros procesos de soldadura por concentrar mayor cantidad de energía en zonas reducidas. La densidad de energía elevada se logra por concentración de un haz de electrones de alta velocidad, producido por un cañón de electrones. El impacto de los electrones de alta velocidad sobre la pieza aumenta la temperatura en la zona de impacto y la fuente de calor se utiliza en distintas aplicaciones (soldadura, fusión, tratamientos térmicos, etc.). El proceso se realiza en una cámara de vacío para evitar la dispersión de los electrones en una atmósfera normal.

Soldadura por fricción

La soldadura por fricción es un proceso en fase total de penetración sólida usada para unir láminas de metal (sobre todo para aluminio) sin llegar a la fusión. Se inventó, patentó y desarrolló con fines industriales en el Welding Institute, en Cambridge (R.U.).

En la soldadura por fricción, un cilindro de sección plana y un rotor perfilado son suavemente aproximados a las áreas enfrentadas de tope. Las partes se aseguran a una mesa de respaldo para evitar que se separen por la fuerza a la que son sometidas. El calor de la fricción entre el cilindro rotatorio de alta resistencia al desgaste y las piezas a soldar causan que los materiales se suavicen sin llegar al punto de fusión permitiendo al cilindro rotatorio seguir la línea de soldadura a través de las piezas.

La soldadura por fricción se puede usar para unir láminas y planchas de aluminio, sin usar material de aporte o gases, con materiales de espesor entre 1,6 y 30 mm, con penetración total y sin porosidad.



Esquema 4 Riesgos específicos de soldadura



Soldadura por electro escoria

El arco se crea entre la pieza y un electrodo. Cuando el fundente, colocado entre las juntas, se derrite, se produce un baño de escoria cada vez más profundo. Al aumentar la temperatura del baño de escoria y, por tanto, sus capacidades eléctricas, el arco se extingue, se apaga, y la corriente se conduce a través del cordón de escoria que cubre las juntas, donde la energía para la soldadura

se produce a través de la resistencia generada.

La cantidad de energía aplicada es tal que el proceso de enfriamiento es tan lento que altera la granulometría de la zona afectada y limita el método.

Soldadura de resistencia por puntos

La soldadura por resistencia de electro-punto es un proceso muy sencillo de unión

de láminas metálicas y de uso frecuente en la industria (automotriz, electrodomésticos, conductos, etc.). Las soldaduras son mecánicamente muy resistentes, rápidas y fáciles de ejecutar, siendo casi automático.

Para generar calor los electrodos de cobre (de baja resistencia) pasan una corriente eléctrica a través de la pieza de trabajo, el calor generado dependerá de la resistencia eléctrica y la conductividad térmica del metal y el tiempo de aplicación de la corriente.

Cuando estos electrodos se calientan mucho, se pueden formar marcas de calor sobre la superficie del metal. Para prevenir este problema los electrodos se enfrían con agua que fluye por dentro de los electrodos.

Las láminas metálicas que se van a soldar se colocan entre los electrodos que las presionan fuertemente asegurando el contacto y una corriente de bajo voltaje y alto amperaje (kilovoltios-amperios).

3. Riesgos específicos en soldadura

En el esquema 4 se representan de forma general los riesgos específicos típicos de la soldadura:

- Riesgo eléctrico
- Riesgo de incendio o explosión
- Quemaduras por contacto, proyección de partículas incandescentes, etc.
- Riesgos higiénicos:
 - Gases: ozono, óxidos de nitrógeno, óxido de carbono, etc.
 - Humos metálicos: hierro, manganeso, cromo, níquel, cadmio, cinc, cobre, estaño y fluoruros, sílice

amorfa o formaldehído. Dependerá del material de base y del estado de su superficie, del electrodo y su recubrimiento, el tipo de atmósfera de trabajo y de las características propias del proceso.

- Radiación ultravioleta.
- Ruido y microclima.

Los factores a considerar en la evaluación de riesgos de la soldadura se esquematizan en el Cuadro 2.

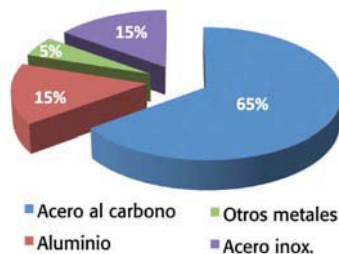
Como se puede ver, entre los múltiples factores que influyen en la emisión y composición de los humos de soldadura están:

- Procedimiento de soldadura
- Diámetro del electrodo o hilo
- Tipo de revestimiento y espesor del electrodo o flujo de gas en el protegido
- Composición del hilo o electrodo
- Parámetros de soldadura: intensidad, voltaje, extensión del arco, velocidad de desplazamiento
- Factor de marcha de la instalación (cociente de tiempos efectivo de soldadura y total de trabajo)
- Posición de la soldadura: horizontal, en ángulo, vertical montante.
- Caudal y composición del gas protector
- Composición del metal de base y el calentado previo
- Revestimientos (con cinc, plomo, cadmio, etc.) o contaminantes sobre el

■ Cuadro 2 ■ Factores de riesgo en soldadura

	Factores de riesgo
Soldadura	El procedimiento usado y las posibilidades de cambio Metal de aporte Parámetros de la soldadura Naturaleza de la operación Gas de protección y/o inerte
Piezas	Dimensiones Peso Importancia de la serie Revestimiento de la superficie (aceite, pintura, grasa)
Soldador	Cualificación Ritmo de trabajo Posiciones para la soldadura Desplazamiento alrededor de la pieza
Puesto de trabajo	Situación respecto de los elementos que constituyen el local Alimentación de piezas antes y después de la operación Presencia de dispositivos de situación Presencia de dispositivos anexos (precalentamiento de las piezas). Trabajos contiguos que requieren ventilación

■ Figura 1 ■ Metales que se sueldan con más frecuencia

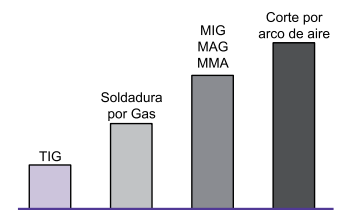


metal de base (sales, grasa, restos de disolventes).

Hay otros factores a tener en cuenta, como son:

- Fuentes de calor, ya que a temperaturas elevadas se combinan el nitrógeno y el oxígeno del aire y se genera NO_x e incluso ozono
- Volatilización de metales fundidos y metales de aporte

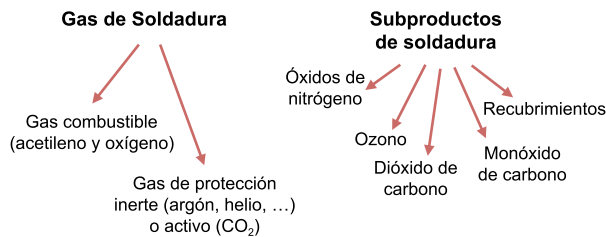
■ Figura 2 ■ Niveles relativos de producción de humos en diferentes procesos



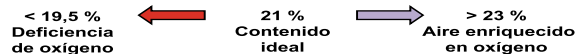
- Fusión y volatilidad de los fundentes y revestimiento del electrodo
- Combustión de productos que recubren los metales sobre los que actúa
- Impurezas de carburo cálcico para la producción de acetileno, y que se puede generar amoníaco y fosgeno.

En las Figuras 1 y 2 se pueden ver los metales que con más frecuencia se sueldan y los niveles relativos de humos que

Esquema 5 Posibles gases generados



Esquema 6 Influencia del oxígeno



Causas más comunes:

- Desplazamiento / dilución de aire por otro gas
- Consumo de oxígeno por combustión
- Lugar de trabajo: espacio confinado, taller con poca ventilación

Importancia de la ventilación:

- Prevención de acumulación de gases
- Mantenimiento de los niveles de oxígeno

Abrir ventanas, puertas y utilizar extracción localizada

generan las soldaduras más habituales. En los Esquemas 5 y 6 se representan los posibles gases presentes y la influencia del contenido de oxígeno en el aire durante el soldeo.

A continuación, se citan algunos de los contaminantes que pueden aparecer en el ambiente durante las operaciones de soldadura, según el tipo y las condiciones de trabajo que tengan lugar:

- **Zinc:** se utiliza en metales galvanizados, bronce y otras aleaciones.
- **Berilio:** se usa como aleación en cobre y otros metales.
- **Oxido de Hierro:** es el principal elemento en la aleación del acero.
- **Plomo:** Se libera en el proceso de cortado soldado en metales de aleación de plomo o pintados con pinturas en base a éste.
- **Otros metales:** estaño, manganeso, cobre, aluminio, cadmio, cromo y níquel (inoxidable).
- **Fluoruros:** están presentes en los recubrimientos de algunos electrodos utilizados en soldadura.
- **Disolventes de hidrocarburos clorados:** usados como desengrasante. El calor y la radiación ultravioleta generados por el arco descomponen el vapor y se forma gas fosgeno muy tóxico.
- **Monóxido de Carbono:** se forma por la combustión incompleta de los

combustibles. Soldadura y corte producen gran cantidad de CO, que no se aprecia por los sentidos.

- **Ozono:** se produce por la luz ultravioleta de la soldadura al arco.
- **Gases nitrosos:** por calor al combinarse el oxígeno y nitrógeno del aire.

4. Medidas de protección colectiva en el control de riesgos en soldadura

- Cabina de soldadura
- Ventilación localizada en puesto fijo
- Ventilación localizada en puesto móvil
- Aspiración acoplada al útil
- Ventilación general

Las extracciones localizadas pueden ser:

- Cabinas o mesas de aspiración: sin que requiera ajustes o cambios en la colocación por parte del trabajador
- Móviles u orientables: que requieren la intervención del operario

No se recomienda el uso de campanas de bóveda o techo en el caso de humos y gases de soldadura.

La protección individual frente a contaminantes químicos puede ser necesaria,

en especial, en trabajos en espacios confinados.

5. Evaluación de la exposición en operaciones de soldadura. Ejemplo

En un taller de 30x10x6 m, 10 trabajadores realizan operaciones de soldadura eléctrica al arco con electrodo revestido sobre chapas de acero al carbono. Los electrodos de rutilo son de 4mm de diámetro y 350 mm de longitud y, según información del fabricante, se necesitan treinta y seis (36) para depositar 1 kg de metal. Se consumen unos 25 electrodos por soldador y hora, en una jornada de 8 horas/día.

a) P (gramos depositados por electrodo): $1000 / 36 = 27,7$ g/electrodo.

De forma general, se puede considerar, en primera aproximación, que los electrodos de rutilo tienen un coeficiente de emisión de humos comprendido entre el 0,8% y el 1% del coeficiente de metal depositado mientras que, para los electrodos básicos, está entre el 1,5% y el 2%.

Por tablas, se estima que se generan unos 7,4 mg de humos (hg) por gramo de electrodo depositado, es decir, un 0,8 %.

$$E = 25 \times 10 = 250 \text{ electrodos / hora}$$

$$T = 8 \text{ horas}$$

$$V_0 = 30 \times 10 \times 6 = 1800 \text{ m}^3$$

Considerando un valor de concentración igual al del valor límite (5 mg/m^3) y aplicando la fórmula que predice los m^3 para diluir la concentración hasta C (humos totales/ m^3), se obtiene:

$$C = E.P.hg.T / (V_o + RT) =$$
 siendo R el caudal de renovación en m^3 / h

$$R = (E.P.hg / C - V_o) / T = (250 \times 27,7 \times 7,4 / 5 - 1800) / 8 = 10025 \text{ m}^3/\text{h}$$

Aplicando un factor de seguridad por ventilación efectiva de 4 serían unos **40100 m^3/h** , es decir, unas 22 renovaciones de aire por hora.

b) Según el Instituto de Soldadura y al tratarse de electrodos de baja toxicidad se requieren unos $2000 \text{ m}^3/\text{h}$ ($0,55 \text{ m}^3/\text{s}$) por kilogramo de electrodo consumido. Como el electrodo pesa, según fabricante, $0,045 \text{ kg}$:

$0,045 \times 250 = 11,25 \text{ kg/h}$ y, por tanto, se necesitan $2000 \times 11,25 =$ **22500 m^3/h**

c) Por otro lado, el Manual de Ventilación Industrial de la ACGIH recomienda un caudal de $0,71 \text{ m}^3 / \text{s}$ por soldador, si el diámetro de electrodo es de 5 mm (considerando una campana rectangular apoyada en una mesa en un sistema VEL); es decir, en este caso:

$0,71 \times 3600 =$ **2560 m^3 / h** por soldador

Alternativamente sugiere en espacios despejados un caudal de $0,83 \text{ m}^3/\text{s}$ por cada kg / h de electrodo consumido.

En este caso: $250 \times 0,045 = 11,25 \text{ Kg/h}$;

Caudal = $0,83 \times 11,25 \times 3600 = 33615 \text{ m}^3/\text{h}$. (10-58 Ventilación Industrial)



d) La American Welding Society establece una ventilación de aire de unos $56 \text{ m}^3/\text{m}$ ($3360 \text{ m}^3/\text{h}$) por soldador de eléctrica o de 4 renovaciones /hora, escogiendo el mayor de ambos:

$56 \text{ m}^3/\text{m} \times 60 \times 10 = 33600 \text{ m}^3/\text{h}$

4 renovaciones /hora $\times 1800 \times 10 =$ **72000 m^3/h**

Como puede verse, los resultados obtenidos siguiendo diferentes métodos pueden variar bastante, en función de qué parámetros se tienen en cuenta a la hora de estimar los caudales.

6. Toma de muestras de humos de soldadura y valores de referencia

Para la toma de muestras de humos de soldadura se deben tener en cuenta las normas y métodos siguientes:

Seguridad e higiene en el soldeo y procesos afines. Muestreo de partículas en suspensión y gases en la zona de respiración del operario. Parte 1: Muestreo de partículas en suspensión. (ISO 10882-1:2001).

Seguridad e higiene en el soldeo y procesos afines. Muestreo de partículas en suspensión y de gases en la zona de respiración del operario. Parte 2: Muestreo de gases. (ISO 10882-2:2000).

Seguridad e higiene en el soldeo y procesos afines. Método de laboratorio para el muestreo de humos y gases. Parte 4: Hoja de datos de humos (ISO 15011-4:2006).

A la hora de tomar muestras de humos de soldadura, se deben tener en cuenta las normas y métodos establecidos

Tabla 2 ■ Clasificación de los consumibles de soldeo según su tasa de emisión de humo y el valor límite calculado del humo de soldeo

Valor límite del humo del soldeo mg/m ³	Tasa de emisión de humo mg/s	< 3	3 a 8	8 a 15	15 a 25	> 25
	Clasificación del consumible de soldeo	a	b	c	d	e
> 4,5	5	5a	5b	5c	5d	5e
3,5 a 4,5	4	4a	4b	4c	4d	4e
2,5 a 3,5	3	3a	3b	3c	3d	3e
1,5 a 2,5	2	2a	2b	2c	2d	2e
0,5 a 1,5	1	1a	1b	1c	1d	1e
< 0,5	0	0a	0b	0c	0d	0e

Determinación de materia particulada (total y fracción respirable) en aire. Método gravimétrico MTA/MA-014/A 88. INSHT.

Métodos de toma de muestras de contaminantes químicos en aire (Volúmenes 1 y 2) INSHT.

Los LEP del INSHT han retirado para el año 2011 lo siguiente:

Soldadura, humos VLA-ED: 5 mg/m³

“La composición y cantidad de los humos y el total de partículas dependen de la aleación que se suelda y los electrodos que se usan. Las evaluaciones basadas en la concentración de humo son generalmente adecuadas si en la varilla para soldar el metal o el revestimiento del metal no hay agentes químicos con valor límite establecido sensiblemente inferior al de humos totales. En caso contrario debe procederse a determinar si se sobrepasan los Límites de Exposición Profesional específicos”.

Norma ISO 15011-4:2006 (Se reproduce la tabla F.1 como Tabla 2).

ANEXO F (Informativo). Ejemplo de sistema de clasificación de consumibles de soldeo

Los consumibles de soldeo pueden clasificarse, para su uso en la evaluación del riesgo, según su tasa de emisión de humo y la toxicidad del humo que pro-

ducen, utilizando un valor límite calculado del componente clave del humo de soldeo (véase el apartado D.2.1) o valor límite aditivo del humo de soldeo (véase el apartado D.2.2) como indicador de la toxicidad del humo, como aparece indicado en la Tabla 2 (Tabla F.1 de la norma ISO 15011-4:2006).

La letra de clasificación del consumible de soldeo proporciona una indicación de la proporción de la emisión de humo (siendo “a” la menor, “e” la mayor). El número de la clasificación del consumible de soldeo proporciona una indicación de la toxicidad relativa del humo de soldeo (siendo “0” el más peligroso, “5” el menos) y proporciona una indicación directa de la concentración aproximada de humo de soldeo por debajo de la cual la exposición personal debería controlarse (por ejemplo, “1” significa que la concentración de humo de soldeo debería controlarse por debajo de 1 mg/m³).

Puede utilizarse también de un modo simplista para clasificar los consumibles según el riesgo percibido asociado con su uso.

Finalmente, puede utilizarse como base para proporcionar orientación sobre los requisitos de ventilación. Sin embargo, esto no se recomienda ya que las medidas de control, incluida la ventilación, dependen de la situación total del soldeo. En particular, el riesgo de exposición depende no sólo de la emisión de humo, sino también de otros factores,

como la situación del soldeo, el tiempo de arco y la posición del soldador. Por tanto, las medidas de control adecuadas deberían evaluarse teniendo en consideración todos esos factores.

D.2 Limitación del análisis químico al componente clave del humo de soldeo

D.2.1 *Tal y como se menciona en el apartado D.1.1.1, un método común para la evaluación del riesgo en el soldeo es medir la concentración de todos los agentes químicos que tengan relevancia para la higiene laboral, presentes en el aire que respira el soldador, y comparar los resultados obtenidos con los valores límite correspondientes para esas sustancias. Sin embargo, el análisis químico es relativamente caro, y el coste del análisis puede ser más alto si es necesario medir un número elevado de componentes. Otro medio de reducir costes, excepto cuando los requisitos nacionales especifiquen el uso de valores límite aditivos (3.1), es limitar el análisis químico de las muestras de exposición personal al componente clave del humo de soldeo (3.3).*

D.2.2 *Si la evaluación de la exposición debe realizarse mediante el análisis químico de las muestras de exposición personal para el componente clave del humo de soldeo y la comparación de los resultados con el valor límite correspondiente para dicha sustancia, se calcula el valor límite del componente clave del humo de soldeo utilizando la ecuación (D.1). Luego se determina la exposición al componente clave del humo de soldeo y se comparan los resultados con el valor límite para el componente clave del humo de soldeo, para determinar si las medidas de control son lo suficientemente correctas como para asegurar que los soldadores no están expuestos a un nivel excesivo de cualquier agente químico presente en el humo.*

7. Conclusiones

Para proceder a evaluar la exposición por inhalación a humos de soldadura de un trabajador es necesario tener un conocimiento amplio de la técnica de soldado, de las condiciones, del trabajador que la efectúa y de las posibilidades de mejora, para así verificar si las condiciones en las que se realiza son correctas y señalar, en su caso, las correcciones que precisa. Por tal motivo no se puede hacer una evaluación del riesgo fiable mediante la Higiene sólo de despacho y ordenador que cada día prolifera más y será necesario tener en cuenta la información y los detalles precisos.

Por otro lado y en relación con la supresión del valor límite de 5 mg/m³ para humos de soldadura de la lista de LEP para el año 2011 cabe decir lo siguiente:

1º) Con este valor se resolvía la mayoría de las evaluaciones por exposición a humos de soldadura en muchas de sus aplicaciones de soldadura (como se ha visto del orden de un 65% e incluso más). Al eliminarlo hay que pasar, en todos los casos, a un estudio más detallado, metal por metal o contaminante potencialmente presente lo que encarece el análisis y lo hace más lento

Evaluar la exposición a los humos de soldadura permite verificar si las condiciones laborales son aceptables y, en su caso, corregir deficiencias

si no se dispone de técnicas analíticas avanzadas.

2º) No facilita la aplicación de métodos simplificados de evaluación que desde hace muchos años se vienen aplicando como algunos de los que se basan en regular el ritmo de trabajo o, lo que es lo mismo, controlar el número de electrodos consumidos, para no llegar a alcanzar ese valor límite.

3º) No siempre es fácil para el evaluador obtener la información precisa tanto del estado de los materiales a soldar como del electrodo en cuestión ya que la materia prima puede variar continuamente, incluso en el día, y entendiéndose que las condiciones de aplicación y de trabajo pueden variar en mucho a las de ensayo como en las que se propone en la Norma ISO 15011-4:2006 (sólo depende del electrodo). Además, es de sobra conocido que existen aplicaciones de soldadura en las que no hay aporte de metal y por tanto no se cuenta con tal información.

4º) Favorece el desarrollo de la Higiene de "despacho" en la que a partir de ciertos valores se decide sobre las medidas de protección colectiva e individual a adoptar en determinados escenarios, lo que teóricamente puede ser aceptable para ampliar la ficha de datos de seguridad de los materiales, pero no ayuda para nada a la vigilancia "in situ" del cumplimiento de la legislación en materia de seguridad y salud en el trabajo y en la que la simplicidad y el ahorro de medios debe ser una prioridad.

Mi agradecimiento a Abdelkader Benrokia por sus explicaciones y aclaraciones sobre soldadura, en Argelia. ●

■ Bibliografía ■

- INSHT. ET.103 Riesgos en operaciones de soldadura.
- INSHT. NTP nº 494 Soldadura eléctrica al arco: normas de seguridad .
- INRS. ED 122. *Le brassage tendre. Fiche pratique de sécurité*
- INRS. *Opérations de soudage à l'arc et de coupage. Guide pratique de ventilation nº 7.*
- INRS. ED 83. *Le soudage manuel à l'arc avec des électrodes enrobées.*
- Foment de Treball Nacional. Evaluación cualitativa de riesgos higiénicos. Operaciones básicas de soldadura (2009). Fichas y Metodología. <http://www.foment.com/prevencion/documentos/libros/soldadura/index.h3p>
- Foment de Treball Nacional. Desplegable operaciones de soldadura por oxigás, al arco eléctrico y por resistencia. http://www.foment.com/prevencion/newsletter/hemeroteca/45/05_publicaciones_foment.htm
- Foment de Treball Nacional. Desplegable operaciones de soldadura por oxigás, al arco eléctrico y por resistencia. http://www.foment.com/prevencion/documentos/tripticosyfolletos/triptico_soldadura_cast.pdf
- Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales. Estudio para la evaluación de riesgos en soldadura: MIG, MAG, TIG, soldadura por electrodo y trabajos en espacios confinados. Cepyme Aragón. http://www.conectapyme.com/gabinete/publicaciones/trabajo_seguridad_soldadura.pdf