

JAVIER OLAVARRIETA DEL CASTILLO

RIESGOS HIGIÉNICOS EXISTENTES EN LAS OPERACIONES DE SOLDADURA CON ARCO ELÉCTRICO

JAVIER OLAVARRIETA DEL CASTILLO

RIESGOS HIGIÉNICOS
EXISTENTES EN LAS
OPERACIONES DE SOLDADURA
CON ARCO ELÉCTRICO



Edita: Instituto Cántabro de Seguridad y Salud en el Trabajo (ICASST)

Autor: Javier Olavarrieta del Castillo

Diseño y maquetación: Magnavista

Imprime: Cervantina

Depósito Legal: SA-524-2011

PRÓLOGO

El Instituto Cántabro de Seguridad y Salud en el Trabajo, en el marco de la Estrategia Cántabra de Seguridad y Salud en el Trabajo 2008-2012, como herramienta fundamental que permite ordenar y mejorar los procesos de que se valen los responsables de la prevención de riesgos laborales para alcanzar los objetivos generales de reducción de la siniestralidad y mejorar continua de las condiciones de trabajo, apoya y refuerza a las instituciones dedicadas a la prevención de riesgos laborales, y contribuye a la difusión de la cultura preventiva.

En base a ello, el Instituto (ICASST) apoya de una forma muy directa a la Asociación de Técnicos Superiores de Prevención de Riesgos Laborales, Asociación Profesional sin ánimo de lucro, que nace a principios del año 1999 ante la demanda de los profesionales de nivel superior para un desempeño más eficaz y eficiente de las tareas que les encomienda la normativa aplicable.

Destacar que uno de los actos más relevantes y conocidos que impulsa anualmente esta Asociación es la celebración del Memorial Pérez Rebanal, el cual, en su X edición celebrada el día 19 de noviembre de 2010, entregó los premios a los mejores estudios en materia de Prevención, fomentando la divulgación de los conocimientos que en la materia tienen las personas dedicadas a este ámbito.

El ganador del accésit en esta convocatoria fue D. Javier Olavarrieta del Castillo, cuyo trabajo “Riesgos higiénicos existentes en las operaciones de soldadura con arco eléctrico” se presenta a continuación confiando sirva de guía concreta y específica sobre los riesgos específicos de la soldadura al arco.

D. Amalio Sánchez Grande
Director del Instituto Cántabro de Seguridad y Salud en el Trabajo

ÍNDICE

1	Introducción.....	8
2	Conceptos técnicos.....	14
2.1	Soldadura al arco.....	14
2.2	Clases de soldadura al arco.....	16
2.3	Instalaciones, equipos y productos empleados.....	29
2.4	Aplicaciones.....	32
3	Evaluación de los riesgos higiénicos en los procesos de soldadura.....	40
3.1	Contaminantes químicos.....	40
3.2	Contaminantes físicos.....	61
4	Criterios de valoración.....	72
4.1	Contaminantes químicos.....	72
4.2	Contaminantes físicos.....	76
5	Medidas preventivas.....	88
5.1	Contaminantes físicos.....	88
5.2	Contaminantes químicos.....	98
5.2.1	Ventilación del proceso.....	103
5.2.2	Otras medidas.....	115
5.2.3	Vigilancia de la salud.....	116
	Anexos.....	122
	Anexo I: Normativa aplicable.....	122
	Anexo II: Bibliografía consultada.....	124







INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

Desde antiguo se ha venido cumpliendo el aforismo que reza soldar es bueno, pero no soldar es mejor. Esta sentencia no es otra cosa que un fiel reflejo de la expresiva sabiduría existente de la antigua técnica de la soldadura, interpretada como una operación de ensamblaje, muy utilizada en el sector de la calderería, de la chapa hechurada y como operación de reparación de piezas rotas. La soldadura, a la par que solucionaba la unión de componente metálicos, introducía en el metal base nuevos problemas derivados de la fragilidad del cordón de soldadura y de la zona afectada por el calor y problemas corrosivos originados por las heterogeneidades creadas en el proceso de unión.

Hacia la mitad del siglo pasado la ciencia metalúrgica experimentó un notable incremento que ha servido de base a una tecnología desbordada. El conocimiento amplio y profundo del fenómeno de la solidificación del baño de soldadura, aparecido en los cordones y en los puntos, las investigaciones de las modificaciones microestructurales llevadas a cabo en la zona afectada por el calor de la soldadura y la posibilidad de crear, “in situ”, atmósferas inertes y reductoras en el momento de la unión, han contribuido a diseñar sustanciales mejoras en los procedimientos convencionales de la soldadura. La incidencia de la nueva tecnología del automatismo en el ámbito de la soldadura también ha aportado revolucionarios resultados: los robots, con su sorprendente y perfeccionada técnica, implican rapidez, precisión y seguridad en su actuación.

Actualmente la soldadura, como procedimiento de unión entre partes de objetos metálicos, constituye el procedimiento de conformación metálica más versátil. Existe una gran variedad de aparatos, instalaciones, accesorios... metálicos de formas más o menos complejas, que se han fabricado gracias a la introducción del proceso de unión por soldadura en alguna de sus etapas del proceso productivo.

Es importante que todo este avance tecnológico existente en los procesos de soldadura, lleve consigo un desarrollo paralelo en la mejora continua de las condiciones de trabajo. La sociedad actual, así lo demanda.

Existe, en la actualidad, una política de la Comunidad Europea tendente a conseguir su expansión económica, mediante una adecuada actividad industrial

que considere tanto los aspectos productivos como los de prevención de unas mínimas condiciones de seguridad e higiene en el puesto de trabajo. Datos estadísticos proporcionados por la propia C.E., revelan la existencia de unos 40 millones de puestos de trabajo ocupados por europeos dentro del sector industrial, de los cuales 600.000 guardan relación directa con actividades que incluyen la existencia de etapas en las que tienen lugar procesos de soldadura.

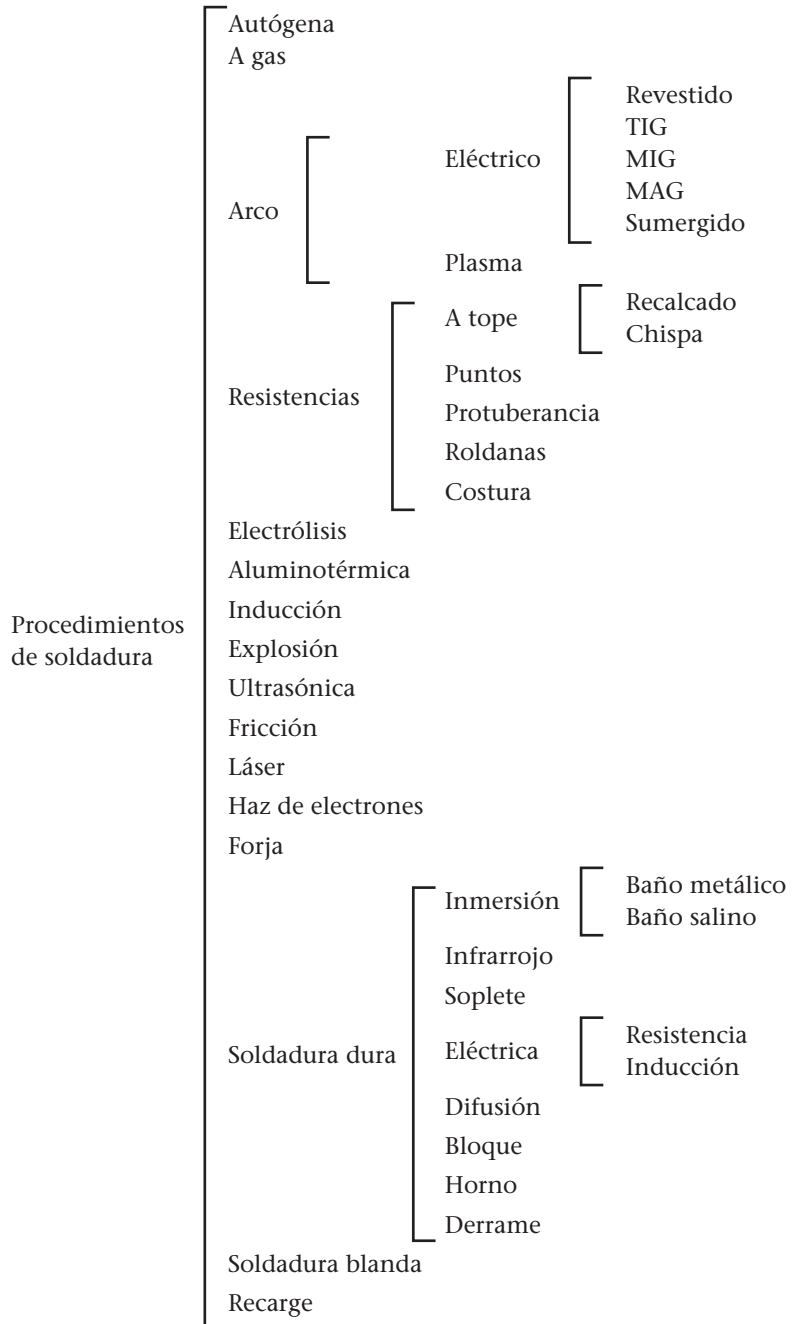
El trabajo de un soldador se realiza en unas condiciones que pueden resultar nocivas para su salud. El análisis global de una jornada laboral cualquiera en la vida de un soldador profesional, nos hace ver que puede estar expuesto a varios factores de riesgo a la vez. Entre estos cabe citar como los más importantes:

- Exposición a las sustancias tóxicas, que pueden ser gases y humos metálicos.
- Radiaciones no ionizantes emitidas por las piezas recalentadas.
- Ruido originado.
- Carga térmica.

Todos estos factores se trataran de abordar en este estudio, sin olvidar mencionar aquellos aspectos que guardan mas intima relación con la seguridad.

Dada la gran cantidad de procedimientos de soldadura que existen actualmente (*Ver tabla 1*), este trabajo se centrará en debatir los riesgos higiénicos específicos de la soldadura al arco.

Tabla 1. Procedimientos de soldadura





2

CONCEPTOS
TÉCNICOS

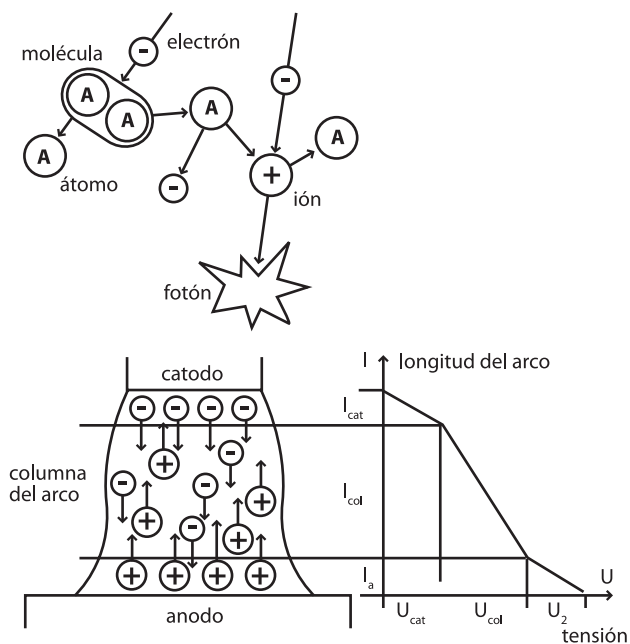
2. CONCEPTOS TÉCNICOS

Para tratar de identificar, valorar y evaluar los riesgos de una actividad tal y como la L.P.R.L. dice, es preceptivo conocer el proceso de trabajo lo mejor posible. Con objeto de llegar a esta meta en los siguientes apartados se describirán las clases de soldadura por arco más importantes, la composición normal de los materiales a trabajar, elementos más importantes en el proceso de soldadura, etc.

2.1. SOLDADURA AL ARCO

El arco eléctrico es una corriente eléctrica que salta, a través del aire o de un gas, entre dos cuerpos conductores llamados electrodos. Se establece el calentarse las moléculas de gas que rodean el electrodo negativo, haciendo que se liberen electrones cargados de electricidad negativa, que serán atraídos por el otro electrodo cargado positivamente.

Figura 1. Procesos físicos en un arco eléctrico



Aplicando una tensión en determinadas condiciones, se puede originar una corriente electrónica que, debido especialmente a la ionización por choque, cumple las condiciones necesarias para la ionización de la columna de gas existente entre los electrodos o entre el electrodo y la pieza de trabajo, ya que, según la teoría de los iones, las moléculas neutras de gas están sometidas a la descomposición de iones de gas. De aquí que este gas ionizado constituya el verdadero camino por el que se efectúa la marcha o migración de la electricidad. En el interior de la columna gaseosa, los electrones (negativos) avanzan con enorme velocidad hacia el polo positivo. Este extraordinario y rápido movimiento de los electrones o de los iones se debe a su elevada energía cinética. Estas partículas aceleradas, al chocar con las moléculas neutras que contiene la corriente de gas, producen inmediatamente, como consecuencia, su descomposición en iones electropositivos y electronegativos, los cuales, por su parte, quedan igualmente a la disposición del transporte o a la migración de la electricidad. La columna de gas adquiere en este momento una media luminosidad, y entra una intensa radiación que produce arco eléctrico o voltaico. Los átomos cargados positivamente (cationes) son atraídos por el polo negativo (cátodo), que por el choque de los iones se calienta considerablemente. Este proceso de descomposición de los átomos en iones y electrones se denomina *ionización*.

El choque de los electrones con el polo positivo (ánodo) que ha tenido lugar en la distancia aérea con una velocidad muy elevada, se produce con extraordinaria violencia cinética se transforma en calor en el lugar del choque.

Los elementos de un arco eléctrico para soldadura con electrodo desnudo son: el núcleo del arco, la columna de vapor (arco propiamente dicho), la llama y el cráter o parte de la pieza fundida por el arco.

El arco eléctrico, que puede considerarse como un conductor móvil, no siempre sigue el camino más corto entre el electrodo y la pieza de trabajo, sino que es desviado lateralmente con movimientos más o menos violentos, fenómeno éste que estorba mucho el proceso de soldadura y muchas veces lo hace imposible, atribuyéndose al llamado efecto de soplado magnético, que, además, es la causa del mal encendido de los electrodos incandescentes.

El electrodo es el elemento esencial en la soldadura eléctrica, sirve como conductor de la corriente y como metal de aportación. Puede ser desnudo o revisado.

Los electrodos desnudos son varillas de metal, de pequeño diámetro, muy poco empleados en soldadura normal por los inconvenientes que presentan, siendo los más destacados: dificultad en el encendido y mantenimiento del arco, cordón irregular de soldadura, imposibilidad de soldar en posiciones que no sean la horizontal, pérdida de elementos de aleación por oxidación y nitruración del acero base y malas cualidades mecánicas de la soldadura conseguida.

2.2. CLASES DE SOLDADURA AL ARCO

TIG

El procedimiento TIG se emplea una corriente de gas inerte para proteger la soldadura. El arco se hace saltar entre un electrodo de tungsteno y el material base y, por una boquilla que rodea al electrodo, se hace llegar helio o argón, de modo que envuelva completamente al electrodo, el arco y a la masa fundida del metal y elimine toda atmósfera oxidante.

Figura 2. Esquema general de la soldadura TIG

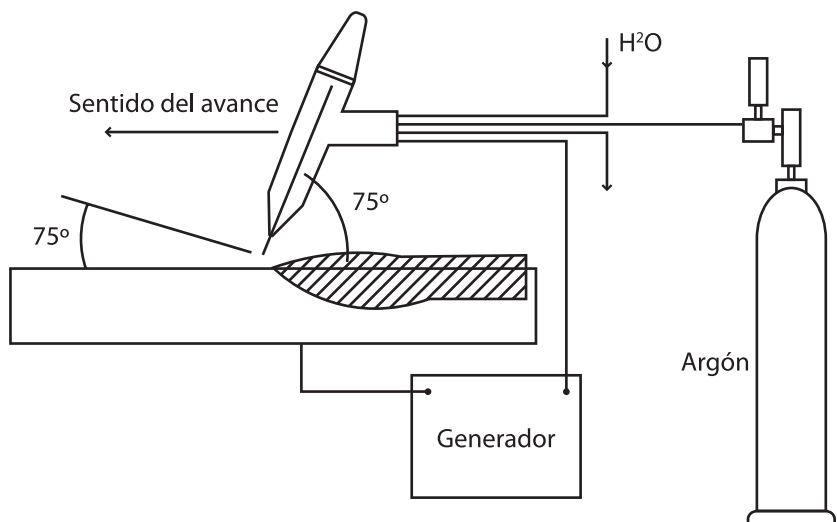


Figura 3. Detalle de una soldadura TIG

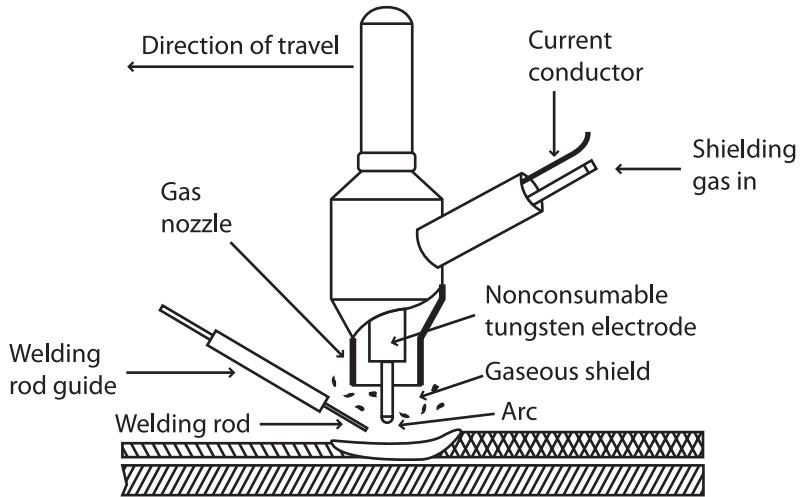
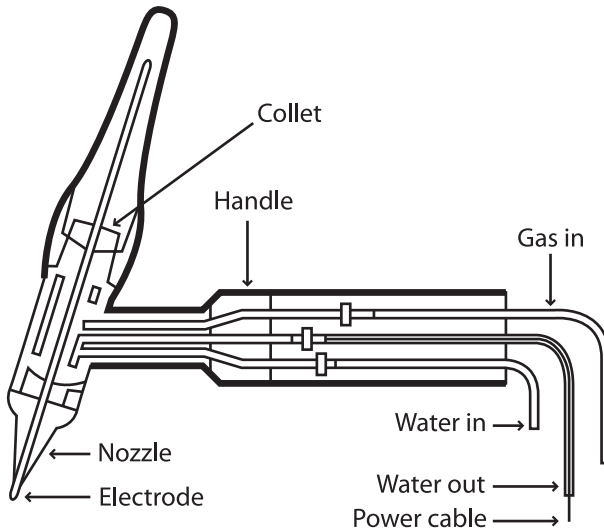


Figura 4. Detalle de una pistola de soldar TIG



Como gas protector pueden emplearse también las siguientes mezclas: argón-6% hidrogeno para níquel y sus aleaciones, argón-15% hidrógeno, para acero inoxidable y nitrógeno, que no presenta, según parece, contraindicaciones y rebaja considerablemente el coste de la soldadura.

Los valores de la corriente para esta soldadura son los reflejados en la *tabla 2*, para soldar acero, cobre, níquel y titanio.

Tabla 2.

Diámetro electrodo mm	1	1,5	2,5	3,2	4
c.c.p.d.	20/80	70/150	150/150	250/400	400/500
c.c.p.i.	---	10/20	15/030	25/40	40/50

Para soldar aluminio, y sus aleaciones, los valores de la corriente, que ha de ser alterna, son los indicados en la *tabla 3*.

Tabla 3.

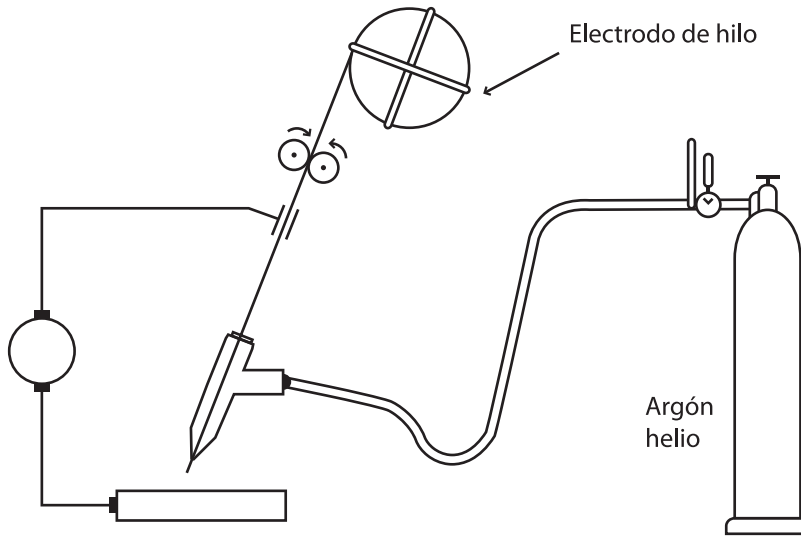
Diámetro electrodo mm	1	1,5	2,5	3,2	4
Corriente alterna A	20/50	50/100	100/120	160/250	200/300

MIG

Si se utiliza una atmósfera protectora de gas inerte y una varilla de metal de aportación, y se hace saltar el arco entre éste y el material a soldar, se tiene el muy conocido proceso de soldadura con arco de electrodo metálico: MIG. El arco no sólo funde el metal a unir sino también el metal del electrodo, alimentando así la soldadura con el metal de aportación. Los electrodos metálicos se consumen rápidamente y hay que interrumpir la operación para reemplazarlos o alimentarlos con hilo. La tracción del hilo, cuando su diámetro es de menos de 1 mm, puede realizarse a mano; para diámetros mayores es necesario montar un motor que puede incorporarse a la pistola.

La corriente ha de ser continua, conectándose el electrodo en el polo positivo. Con el hilo o pistola conectado al hilo positivo (+) tiene mayor penetración el

Figura 5. Esquema general de la soldadura MIG



metal aportado, porque las gotas calientes se desprenden de este metal a gran velocidad, suministrando al mismo tiempo mucho calor al metal base. También es ejercida una buena acción limpiadora.

Como generador se emplea una máquina de soldar de corriente continua y de tipo estático.

Como gases protectores se utilizan los siguientes: argón y helio, argón y cloro, y nitrógeno. Trabajando con una misma intensidad todos los gases, el helio es el que origina mayor tensión en el arco.

MAG

Si el gas utilizado en la soldadura es activo, como el dióxido de carbono, el procedimiento de soldadura se denomina MAG.

El gas CO_2 utilizado en la soldadura debe tener un grado de pureza muy elevado: el contenido mínimo de CO_2 debe ser de un 99,7%, al mismo tiempo que debe estar exento de humedad.

Ventajas que tiene sobre los demás gases: es mucho más barato, tienen mayor penetración y la forma del cordón es buena y no tiene mordeduras.

En la *tabla 4* se aprecian los principales gases y mezclas de gases utilizados en la soldadura MIG y MAG y sus principales aplicaciones.

Tabla 4.

GASES	APLICACIONES
Argón	Aluminio y magnesio
Helio	Aluminio, magnesio y cobre. Con este gas se destruye el riesgo de porosidad
Helio + argón (80 % + 20 %) hasta (50 % + 50 %)	Aluminio, magnesio y aleaciones de cobre
Argón + 1 a 2 % de CO ₂	Aceros inoxidables, aceros aleados y también para algunas aleaciones de cobre
Argón + 3 a 5 % de CO ₂	Aceros inoxidables, aceros aleados y aceros al carbono. Se requieren varillas desoxidantes
Argón + 20 a 30 % de CO ₂	Aceros, para obtener transferencia por cortocircuito
Argón + 5 % O ₂ + 15 % CO ₂	Aceros al carbono. Se requiere varilla altamente desoxidante
CO ₂	Aceros al carbono y débilmente aleados, varilla desoxidante, es del todo esencial el uso de varilla especial
CO ₂ + 3 a 10 % O ₂	El mismo campo de aplicación que el CO ₂
CO ₂ + 20 % O ₂	El mismo campo de aplicación, sólo se utiliza en Japón
Argón + 25 a 30 % N ₂	Para soldar cobre

Durante los últimos años el proceso MAG (metal y gas activo, tal como el dióxido de carbono) ha ido aumentando en la industria.

El MAG en realidad es el MIG con una atmósfera de argón y cantidades del orden del 2% de oxígeno, porcentaje suficiente para crear una atmósfera protectora con cierto carácter oxidante. Las principales razones para esta tendencia son:

- Mayor economía del procedimiento MAG comparado con los otros sistemas.
- Alta versatilidad de aplicaciones en talleres de construcción metálica.
- Alta calidad de la unión de soldadura.

En el mercado el proceso MAG compete con ventaja con la soldadura clásica a arco eléctrico con electrodo recubierto.

Con la soldadura MAG y totalmente mecanizada se reducen sensiblemente los tiempos muertos de limpieza y posicionado.

Electrodo revestido (SMAW)

En los electrodos revestidos se distinguen: una parte metálica o alma y el revestimiento que rodea. Este revestimiento tiene, entre otras, las misiones de facilitar el encendido y dar estabilidad al arco. Además protege el metal de la oxidación y nitruración, protegiendo el baño hasta su total solidificación.

Figura 6. Esquema general de la soldadura SMAW

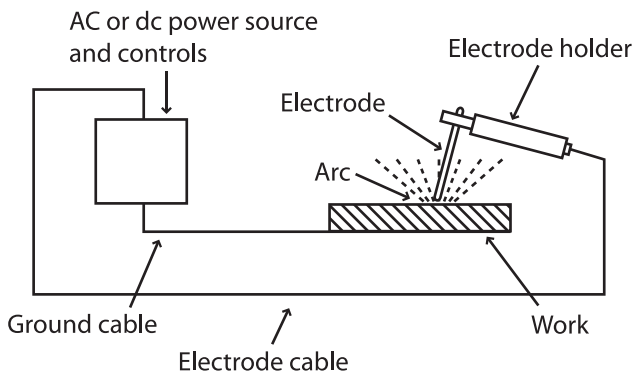
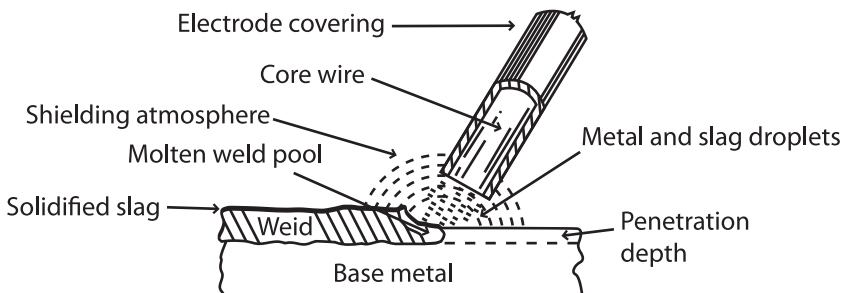


Figura 7. Detalle de una soldadura SMAW



El revestimiento favorece también la formación del cordón y añade elementos necesarios al metal de aportación que no tiene el electrodo. La escoria líquida se alea con las impurezas del baño de fusión y lo transforma en sales que salen a la superficie al solidificarse el cordón.

El revestimiento de los electrodos puede ser: oxidante, ácido, neutro, rutilo, con escoria viscosa o con escoria fluida, orgánico y básico. Los revestimientos más empleados son los de rutilo y los básicos. Los tipos rutilo (óxidos minerales de titanio con ferroaleación y escorificantes a base de sílice) son poco empleados y los básicos puros (carbonato y fluoruro de calcio con ferroaleaciones y escorificantes) presentan mayor dificultad operatoria.

Soldando con electrodos revestidos se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Utilizar electrodos secos.
- Soldar, siempre que sea posible, con corriente continua, conectando el electrodo al polo positivo.
- Mantener el arco lo más corto posible.
- Utilizar un diámetro de electrodo igual al espesor de la chapa, en soldaduras de una sola pasada.
- Usar el mínimo aporte térmico posible.
- Limpiar y desengrasar las zonas a soldar.
- Dejar enfriar la pieza a temperatura ambiente entre pasada y pasada.
- Eliminar cuidadosamente la escoria entre pasadas.
- Utilizar pasta decapante para desoxidar los cordones de soldadura.
- La composición química del electrodo debe ser lo más similar posible a la del metal básico.

Soldadura con electrodo tubular (FCAW)

Este tipo de soldadura es semejante al revestido, pero con la salvedad de que el recubrimiento protector es interior. Existen dos clases de soldadura con electrodo tubular:

- Con protección gaseosa (*Ver figura 8*).
- Sin protección gaseosa (*Ver figura 9*).

Figura 8.

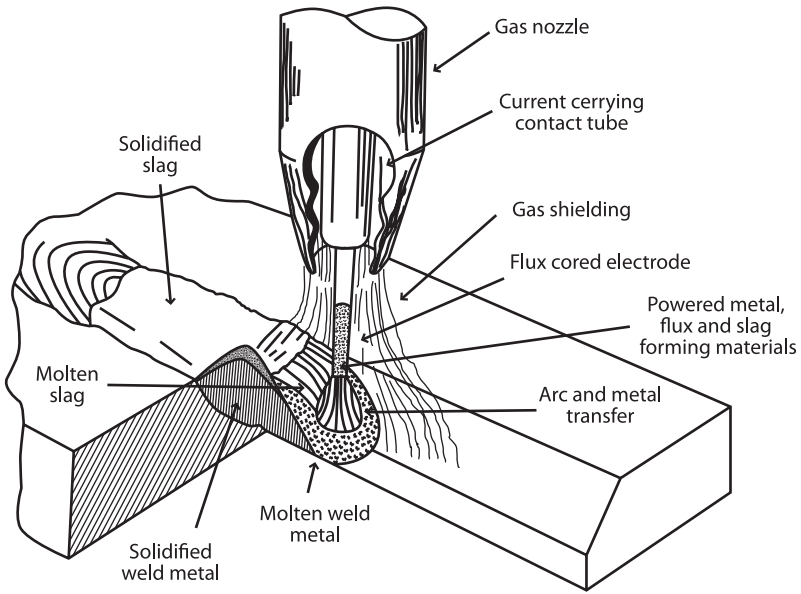
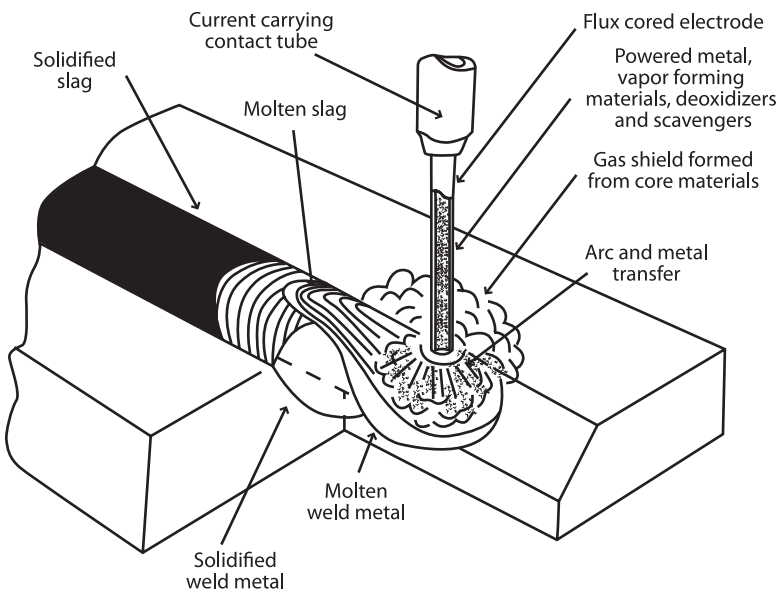


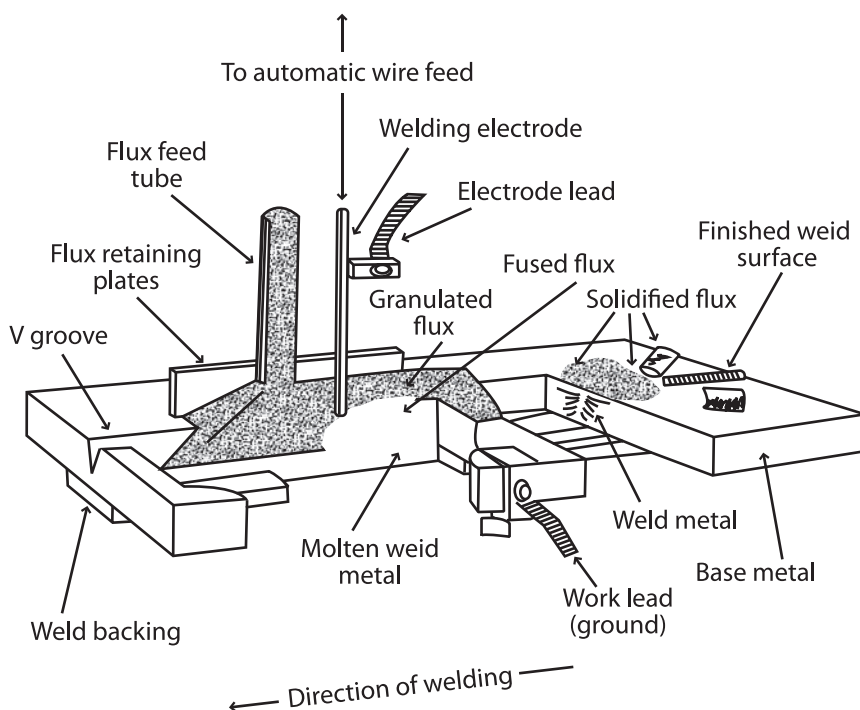
Figura 9.



Soldadura con arco sumergido

El procedimiento de soldadura con arco sumergido utiliza el metal de aportación en forma de varillas o bobinas de alambres desnudos y el arco y el metal fundido permanecen debajo de una capa de fundente pulverizado (flux), que protege de la corrosión. En una sola pasada se sueldan gruesas planchas.

Figura 10.



Este procedimiento fue puesto a punto entre 1935 y 1940, tanto en los Estados Unidos como en Rusia. Se aplica principalmente al acero y, según su principio, el arco se establece entre un hilo continuo (generalmente cobreado) que se introduce en un polvo llamado fundente y la pieza de soldadura cubierta con este polvo.

El hilo va enrollado en una bobina llamada devanadera. Un poco por encima de la superficie de la pieza, pasa a través de un depósito conectado al generador

de corriente. El hilo se va desenrollando a medida que se va fundiendo, estando regulados, el avance del portaelectrodo con relación a la pieza, así como la longitud del arco, por medio de dispositivos automáticos.

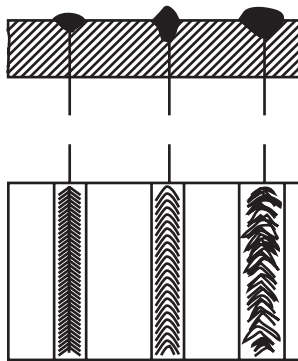
Los parámetros operacionales en orden de importancia son:

Intensidad de la corriente de soldadura

El amperaje es el parámetro que tiene mayor influencia, porque alimenta la velocidad del alambre a la medida de su fusión y permite regular la penetración del depósito según la intensidad aplicada.

Al aumentar la intensidad de corriente se consigue una mayor fusión y aumento de penetración en la profundidad del metal básico.

Figura 11. Esquema de tres soldaduras con arco sumergido de menor a mayor intensidad



Fuerza electromotriz

El objeto principal del voltaje en soldadura con arco sumergido es la variación de la longitud del arco entre el alambre electrodo y el metal de soldadura en fusión, determinando así la forma del cordón, su sección transversal y la apariencia externa.

Los efectos del voltaje se pueden demostrar en esta forma:

- Al aumentar la fuerza electromotriz aplicada y, por lo tanto, la intensidad de corriente, se obtiene una mayor longitud del arco.
- Si por el contrario, se aplica menor intensidad, se obtiene menor longitud de arco.

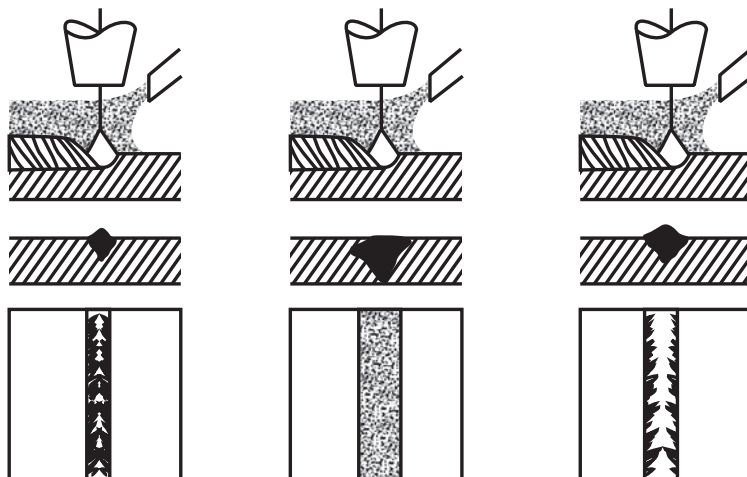
Velocidad de avance de soldadura

La velocidad de avance es el ajuste del ancho del cordón y el límite de penetración.

Esto está relacionado con la intensidad y tensión de soldadura (amperaje – voltaje) y tipo de fundente.

En las siguientes figuras (Ver figura 12) se muestra un esquema de las soldaduras efectuadas a diferentes velocidades.

Figura 12. A mayor intensidad de corriente mayor velocidad de avance y penetración



Alambre electrodo

El diámetro del alambre condiciona la cantidad de material de depósito en una unión. Ahora el uso de más o menos depósito depende del tipo de junta y espesor de la misma y, por supuesto, de más o menos corriente de soldadura: un alambre electrodo de más diámetro necesita más amperaje que uno de menor diámetro.

El fundente, del que existen varias calidades según las aplicaciones está constituido por una mezcla granulada de una composición análoga a la de los revestimientos de los electrodos manuales, siendo su objetivo, no solamente proteger el baño de fusión contra los gases de la atmósfera, sino también aportar elementos que mejoren la calidad del metal. Se suele utilizar una gran cantidad de fundente, pero éste, después del enfriamiento de la junta, es aspirado y devuelto a los recuperadores.

Se aplican intensidades de corriente muy elevadas, que pueden llegar hasta 2.000 o 3.000 A, gracias a las particularidades siguientes:

- La corriente solo recorre una pequeña longitud del electrodo, ya que el hilo restante apenas se calienta.
- El arco se haya recubierto por una espesa capa de flujo que lo hace invisible, de manera que no se produce deslumbramiento alguno; un arco de más de 300 A, que fuese visible, exigiría enormes precauciones a causa de la intensidad de la luz producida, especialmente en forma de rayos ultravioletas e infrarrojos.

Los materiales a los que se les ha aplicado este procedimiento son el acero dulce o débilmente aleado. Sin embargo, se ha conseguido también soldar piezas de aleaciones de cobre, de aluminio o de titanio, naturalmente mediante el empleo de fundentes especiales.

Soldadura por plasma

Desde el punto de vista técnico, el termino plasma significa la ionización o, eventualmente, la disociación de un gas convertido en conductor de la electricidad. El plasma está considerado de hecho como un cuarto estado de la materia, totalmente diferenciado de los otros tres.

El estado de plasma se obtiene mediante el establecimiento de un arco eléctrico de elevada potencia entre un cátodo y un ánodo en forma de tobera, en el interior de una antorcha refrigerada.

El plasma se genera en la pistola de soldar y se concentra por efecto térmico o por efecto magnético. Entre los dos electrodos de la pistola se aplica un generador de alta frecuencia y se introduce el gas plasmageno. Un extremo de la cámara es un electrodo de material conductor perforado en su centro para proporcionar un chorro de plasma. En la figura siguientes (*Ver figura 13*) se muestra la diferencia de focalización del arco entre un TIG y una soldadura con plasma.

La diferencia de temperaturas en la zona del arco entre una soldadura hecha con cualquiera de los tipos anteriores y la de plasma se observa en la figura (*Ver figura 14*). Así, se constata que la mayor focalización del arco en la soldadura por plasma provoca un aumento en general de las temperaturas cerca de la embocadura de la pistola. Con este hecho se consigue una mayor precisión y calidad en los trabajos.

Figura 13.

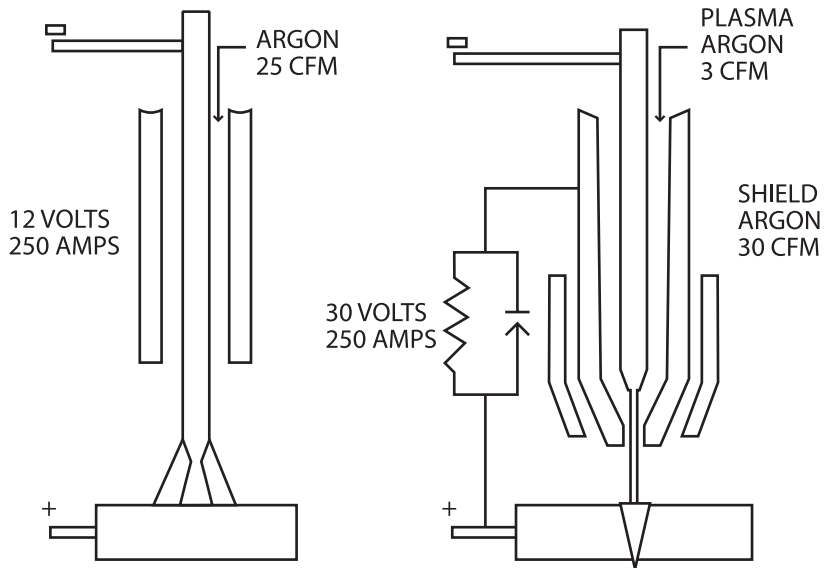
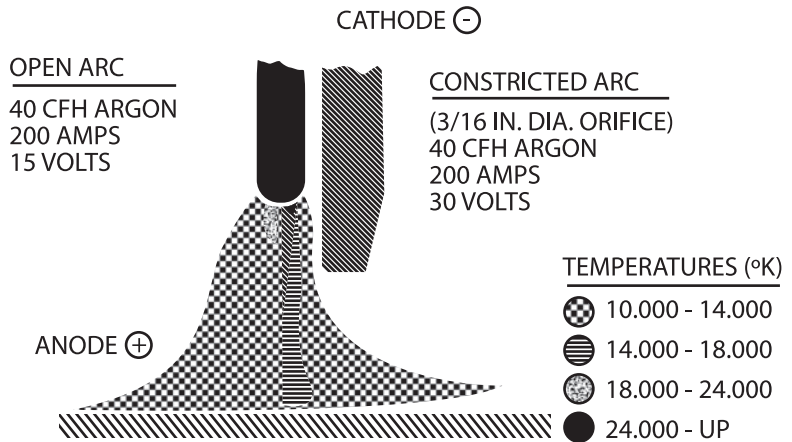


Figura 14.



2.3. INSTALACIONES, EQUIPOS Y PRODUCTOS EMPLEADOS

Seguidamente describiré los principales elementos de la instalación de soldadura eléctrica con arco protegido, por el interés que esto tiene en lo que afecta a la seguridad e higiene del trabajador.

Generadores

Para soldar con arco eléctrico se necesita un generador que puede ser: generador de corriente continua de voltaje variable, generador de corriente continua de voltaje constante, transformador de corriente alterna o rectificador.

La corriente del primer material se ajusta modificando la tensión del generador. La intensidad y la fuerza electromotriz en el arco, además del ajuste, depende de la longitud del arco.

En el generador de corriente continua de voltaje constante, el ajuste de la tensión se realiza ya mediante resistencias en serie con cada arco.

La corriente alterna suministrada por transformadores se ajusta variando la reactancia.

En soldadura se utilizan tanto la corriente continua como la corriente alterna. La primera se genera mediante las dinamos y los rectificadores y la segunda mediante los alternadores o se puede obtener de la red general de suministro ajustando el valor de la fuerza electromotriz en los transformadores de la corriente eléctrica.

Para el establecimiento del arco, el equipo ha de suministrar al inicio del mismo una tensión alta y un corto amperaje; por el contrario para el mantenimiento del arco solo precisa de una tensión baja y una alta intensidad para poder fundir el electrodo.

La característica principal de un equipo de soldadura es la tensión en vacío que puede suministrar, ya que es la que limita el tipo de electrodos que puede soldar. Los equipos de corriente continua suelen suministrar 80 voltios de tensión de vacío normalmente. Los equipos de alterna no suelen sobrepasar los 60 voltios.

Una vez establecido el arco las tensiones de funcionamiento no superan los 50 voltios en ningún caso. Dadas estas tensiones el riesgo eléctrico está muy disminuido, solo en aquellos casos en que el suelo este mojado, o el soldador está mal aislado pueden dar lugar a algún tipo de accidente.

Fundentes

El fundente o los polvos de soldar son unos productos que disuelven las impurezas existentes en la superficie del baño de fusión y que también reaccionan con las impurezas (generalmente óxidos) formados durante el proceso de soldadura. El producto de la reacción del fundente con estas impurezas es una escoria fácil del fundir. En realidad los fundentes suelen ser óxidos de carácter ácido que reaccionan con los óxidos metálicos de carácter básico, dando sales.

Estos fundentes son necesarios únicamente para metales que se oxidan fácil e intensamente y en los que la acción reductora de la llama soldante no alcanza por si sola para reducir los óxidos en la medida suficiente; producen al mismo tiempo la conveniente fluidez del baño de fusión.

El fundente más sencillo es el bórax ($\text{Na}_2 \text{B}_4 \text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2 \text{O}$). Además, se encuentra como componente de muchas mezclas fundentes constituidas sobre base ácida, como ácido bórico ($\text{B}_2 \text{O}_3$), vidrio soluble (silicato soluble de potasa), polvos de vidrio y otras materias que constan, en gran parte, de óxido silíceo (SiO_2) y forman escorias espesas vítreas, a menudo difíciles de eliminar e insolubles en agua. Además del ortofosfato ácido de disodio ($\text{Na}_2 \text{HPO}_4$) y el fosfato sódico amónico ($\text{NaNH}_4 \cdot \text{HPO}_4$) que desempeñan un papel con mucha importancia para la soldadura del cobre y sus aleaciones. Una mezcla, en partes iguales, de vidrio soluble, ácido bórico y bórax constituye un buen fundente para aceros inoxidable, aceros que contienen cromo y níquel.

Electrodos

Los electrodos de soldar (varillas o alambre), llamados electrodos, sirven, al contrario para el alambre para la soldadura autógena, no solo de material de relleno, sino que deben cumplir una de requisitos importantes. Los esfuerzos del fabricante tienden forzosamente a fabricar electrodos que, refundidos en el arco, den un producto soldado que no difiera notablemente del material de construcción en cuanto a la estructura y a los valores de calidad mecánico-tecnológicos.

Desde el punto de vista de **los materiales**, los electrodos para la soldadura por arco pueden clasificarse en:

- Electrodos de carbono.
- Electrodos metálicos.

Según **el fin** a que han de destinarse los electrodos se clasifican:

- Electrodos para soldadura de unión.
- Electrodos para usar como material de aportación.
- Electrodos para separar y cortar.

En cuanto a **la clase de metal**, hay que distinguir entre:

- Electrodos de acero bajo en carbono.
- Electrodos de aceros especiales (incluso aceros aleados, metales duros, etc.).
- Electrodos de fundición, para soldaduras en caliente.
- Electrodos de metales no férricos: para metales ligeros (aluminio y aleaciones); para metales pesados (cobre, bronce, níquel, etc.).
- Electrodos de tungsteno que llevan una proporción de torio.

Según su **fabricación y aspecto exterior** pueden distinguirse:

- Electrodos desnudos.
- Electrodos recubiertos.

Los electrodos desnudos a su vez se subdividen en:

- Varillas moldeadas para fundición y también para metal fundido.
- Alambres laminados para materiales duros.
- Electrodos tubulares; tubitos metálicos con relleno de una aleación.
- Alambres estirados.

Los electrodos recubiertos, a su vez, se subdividen en:

- Cubierta delgada obtenida por una sola inmersión en la pasta.
- Cubierta de espesor medio.
- Cubierta de gran espesor, hechos mediante varias inmersiones en la pasta.

Otros equipos normalmente utilizados en cualquier soldadura al arco son las pistolas o portaelectrodos, cableado de alimentación, botellas de gases licuados, etc.

2.4. APLICACIONES

Soldadura del acero

El metal más común es el acero, y dentro de ellos los aceros al carbono, por su facilidad de compra en diferentes espesores y dimensiones.

Los aceros al carbono contienen, aparte de hierro, carbono, magnesio, fósforo y azufre. El carbono suele ir en porcentajes de 0,10 a 0,30 % cuando se trata de piezas que se van a soldar. El magnesio oscila entre 0,5 y 1,5 %, mientras que el fósforo y el azufre son impurezas no deseadas.

Los aceros de baja aleación se usan para aplicaciones específicas e incorporan aleantes específicos, como la chapa de caldera (DIN 15 Mo 3) que, gracias a la adición de un 0,3 % de molibdeno, resiste mucho mejor el servicio a temperatura que el acero al carbono.

Cuando se desea mejorar la resistencia a la corrosión y disminuir la tendencia a la oxidación del acero, se usan los aceros inoxidable, que son aceros aleados con alto contenido en cromo y níquel. Los aceros inoxidable más usados en las caldererías son los aceros inoxidable austeníticos, que aparte de un 18 % de cromo tienen también un 8 % de níquel (por ejemplo AISI-308). El precio de estos aceros puede ser de 1,80-3,00 €/Kg frente a las 0,50-1,00 €/Kg. De los aceros al carbono.

Los aceros al carbono y de baja aleación pueden ser oxicortados, los aceros inoxidable no, aunque existen adaptaciones de este proceso de corte, como el soplete de polvos. Actualmente el corte térmico de los aceros inoxidable se hace mediante el uso del proceso plasma.

En diseños en los que el peso del equipo es relevante se suele usar aluminio, que a una interesante resistencia a la corrosión une una baja densidad. Para aumentar la resistencia mecánica del aluminio se le alea con otros metales, como el cobre. El aluminio y sus aleaciones se cortan con el plasma, es imposible hacerlo con oxicorte.

También aunque su presencia está disminuyendo, existen en el mercado aceros con una proporción significativa de plomo. Estos aceros se utilizan gracias a su fácil mecanizado.

Existe una gran cantidad de sistemas para la unión de piezas de acero de pequeño espesor, pero al aumentar éste los procesos disponibles disminuyen hasta

que, para estructuras realmente pesadas construidas con placas de 300 mm o incluso más gruesas, las técnicas disponibles se reducen a tres o cuatro. Así, por ejemplo, se puede confeccionar una tabla (*Ver tabla 5*) de la idoneidad de cada proceso a la hora de soldar chapas de acero al carbono.

A veces el método elegido como el más adecuado se puede demostrar como menos apropiado para la producción que otro sistema que tenga una puntuación inferior en la escala.

De modo general, cualquier proceso automático es superior y más económico si se prevé una producción masiva. Si la producción prevista es solamente de lotes individuales o de escasas unidades, debe hacerse una evaluación más precisa entre los sistemas manuales y automáticos.

Tabla 5.

Sistema	Puntuación
Sistemas por resistencia (por puntos, protuberancias, solape, etc.)	100
Soldadura oxiacetilénica manual	95
Sistema MIG manual	95
Soldadura por arco manual	85
Sistema MIG automático (en caso de ser aplicable)	80
Soldadura al latón, con soplete	60
Soldadura al latón, por inducción	55
Soldadura a la plata, con soplete	50
Soldadura a la plata, por inducción	45
Soldadura eléctrica al latón o a la plata en atmósfera gaseosa	40
Soldadura por microplasma	35
Sistemas TIG manuales	30
Sistemas TIG automáticos	15
Sistemas oxiacetilénicos automáticos	10
Soldadura al arco de carbón	8
Soldadura al latón con arco de carbón	3
Soldadura con hidrógeno atómico	2
Soldadura blanda	1

Soldadura de la fundición

La fundición se suelda, principalmente, por los siguientes procedimientos:

- Soldadura oxiacetilénica.
- Soldadura con electrodo revestido.
- Soldadura MIG.

La fundición es una aleación base hierro con 2 % en carbono y elevados porcentajes en silicio. En la soldadura de la fundición se debe evitar la eliminación del carbono; por este motivo se suele soldar con metal de aportación. Para soldar la fundición, normalmente se requieren altos precalentamientos, los cuales pueden producir distorsión de la pieza y formación de óxidos. Estos defectos son muy poco deseables cuando es importante el control dimensional. La magnitud del precalentamiento aumenta con el tamaño de la pieza de fundición. Con piezas de fundición de gran tamaño pueden ser necesarios días para el enfriamiento y el calentamiento lento.

La soldadura con electrodos revestidos se ha utilizado para la reparación de fundiciones durante muchos años y también se ha utilizado para la fabricación de piezas de fundición. Este proceso con electrodo revestido tiene la ventaja de mayores velocidades de soldadura respecto a la soldadura oxiacetilénica y puede ser usado para reparar grandes piezas in situ cuando es imposible aplicar un precalentamiento generalizado. Las particulares características de la soldadura con electrodo y las características metalúrgicas de la fundición han conducido al desarrollo de electrodos especiales para este procedimiento. Mientras que con la soldadura oxiacetilénica siempre es necesario cierto grado de precalentamiento para subir la temperatura de la unión de forma que la llama oxiacetilénica pueda fundir la fundición más fácilmente, el hecho de cebar un arco con electrodo en la superficie causa un pequeño baño de fusión que produce un cierto precalentamiento. Sin embargo, el proceso con electrodo revestido tiene la desventaja de causar mucha más penetración que la soldadura oxiacetilénica.

Durante algunos años los procesos de soldadura MIG usando aleaciones de níquel o de cobre y protección de gas argón se han aplicado a la soldadura de fundición. Es necesario utilizar la técnica de cortocircuito para garantizar bajas penetraciones y bajas diluciones y, generalmente, se producen menos carburos en la zona afectada que con la soldadura con electrodos recubiertos. Otra ventaja de la soldadura MIG es que puede ser automatizada y, por lo tanto, es ideal en trabajos repetitivos. Tal como se ha comentado en el apartado de soldadura con electrodos, pueden emplearse alambres base níquel, ya sea níquel puro o

níquel-hierro, aleaciones base cobre y también alambres de acero, pero en este último caso el cordón depositado no será mecanizable. Estos hilos en algunos casos son macizos y en otros tubulares.

En la fundición se pueden también emplear otros procedimientos de soldadura como la soldadura TIG, la soldadura por arco sumergido, la soldadura por fricción, la soldadura por difusión y la soldadura por haz electrónico, pero no están tan extendidas en la industria.

Soldadura del cobre

En principio existen tres tipos de cobre: el cobre desoxidado al vacío, el cobre desoxidado con fósforo y el cobre con partículas de óxido cuproso. Este último presenta dificultades al soldarlo, pues las partículas de óxido cuproso forman con el cobre base un eutéctico de bajo punto de fusión, que fragiliza la soldadura.

El cobre se suelda por los siguientes procedimientos:

- Soldadura blanda.
- Soldadura dura.
- Forja.
- MIG con baja tensión.
- Soldadura por resistencia eléctrica.
- Soldadura a la llama oxiacetilénica.
- Soldadura aluminotérmica.

Soldadura del latón

Los latones se sueldan mediante:

- Soplete oxiacetilénico.
- MIG.
- Resistencia eléctrica.

Es mucho más fácil soldar el latón que el cobre. Su conductividad calorífica es 2,5 a 3 veces la del acero y, por tanto, $2/3$ inferior a la del cobre, por lo que casi siempre se aplica una llama del tamaño de la utilizada para la soldadura del acero. La fusión mucho más fluida en el baño de latón, los fenómenos de tensión esencialmente menores, la menor eliminación de calor y el peligro de recalentamiento no tan grande como en el cobre, son todos ellos factores que aumentan su soldabilidad, prescindiendo de que sirve casi únicamente para soldar chapas delgadas y tubos, raras veces para espesores de paredes de más de 10 mm.

En el procedimiento MIG de soldadura del latón no se utiliza esta aleación como metal de aportación sino alambroón de cobre (Cu + 5 % Sn) o cuproaluminio (Cu + 6 % Al).

Soldadura del bronce

El bronce tiene un grave inconveniente para soldarlo: pierde rápidamente parte de su resistencia y ductilidad conforme aumenta la temperatura y se resquebraja, al menor descuido, bajo el propio peso del cuerpo. La resistencia del bronce a 600 °C es únicamente del 20 % del material a temperatura ambiente. En el proceso de la soldadura las piezas de trabajo de bronce deben colocarse, antes de iniciar la unión, sobre un soporte fuerte y firme, para que no sufra cambios de posición.

En la soldadura al arco del bronce (MIG) el metal de aportación generalmente contiene 8 % de cinc y 0,5 % de fósforo.

Soldadura del aluminio

El aluminio se puede soldar por:

- Forja.
- Resistencia eléctrica.
- MIG.
- TIG.
- Llama oxiacetilénica.
- Soldadura blanda.
- Soldadura dura.

La soldadura con arco protegido con gases inertes cada día tienen mayor interés para el aluminio y sus aleaciones.

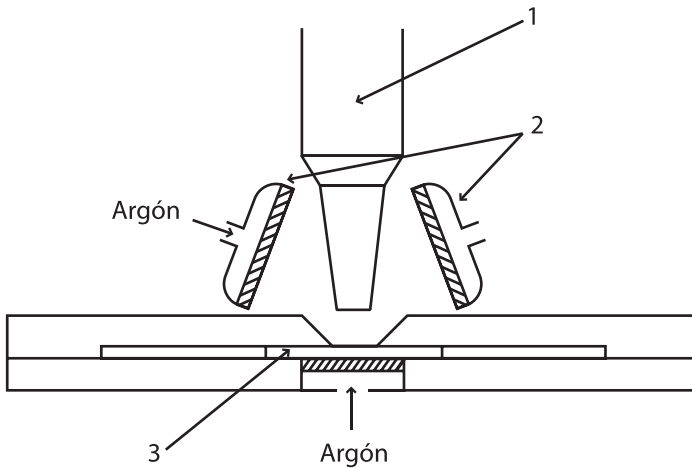
En la soldadura con gas la preparación de los bordes de la pieza de trabajo para la soldadura es análoga a la del acero. Los tubos deben ser soldados a tope. Los bordes a soldar deben limpiarse escrupulosamente de grasa, aceite y óxidos mediante limas, cepillos y rasquetas, que deben estar siempre preparados únicamente para el aluminio. Como desengrasante se recomienda el tricloroetileno.

Soldadura del titanio

A temperaturas próximas a su punto de fusión absorbe fácilmente oxígeno y nitrógeno, haciéndose entonces extremadamente frágil. Por eso su empleo

en las estructuras soldadas sólo ha podido realizarse gracias a la soldadura de argón.

Figura 15. Detalle de soldadura de Titanio



Soldadura del galvanizado

El arco galvanizado por inmersión en caliente se obtiene introduciendo la chapa de acero, o la pieza de acero ya fabricada, en un horno que contiene el cinc en estado líquido

Para soldar acero galvanizado se puede utilizar la soldadura al arco, la soldadura oxiacetilénica y la soldadura por resistencia.

Cuando se sueldan aceros galvanizados empleando la protección de dióxido de carbono, se produce una mayor cantidad de proyecciones que cuando el acero está sin galvanizar. Estas partículas proyectadas pueden quedar adheridas a las piezas a soldar o en la pistola. En el primer caso se origina un aspecto superficial poco satisfactorio, y en el segundo se provocan trastornos en la salida de gases. La adherencia de estas partículas puede paliarse mediante el empleo de aerosoles a base de silicio, grafito o petróleo, cuya aplicación previa a la soldadura evita la fuerte adherencia y permite limpiar, con un simple cepillado, tanto la pieza como la tobera de la pistola.



3

EVALUACIÓN DE LOS
RIESGOS HIGIÉNICOS
EN LOS PROCESOS DE
SOLDADURA

3. EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS HIGIÉNICOS EN LOS PROCESOS DE SOLDADURA

En este apartado se identificarán, valorarán y se darán soluciones sobre los riesgos higiénicos más importantes que pueden surgir en cualquier proceso de soldadura al arco.

Identificación de riesgos

Este es el paso inicial que dar para realizar una correcta evaluación del puesto de soldador. Si hiciéramos una encuesta higiénica de un puesto de soldador cualquiera, nos saldrían una serie de riesgos relevantes a tener en cuenta:

- **Contaminantes químicos:**

- a. Humos metálicos.
- b. Gases.
- c. Contaminantes existentes en el soldeo de piezas con recubrimiento.

- **Contaminantes físicos:**

- a. Radiaciones no ionizantes.
- b. Ruido.
- c. Calor.

3.1. CONTAMINANTES QUÍMICOS

La alta densidad de energía del arco produce un considerable aumento de la temperatura en los materiales que se emplean en los procesos de soldeo. Esta elevación de la temperatura produce la emisión de vapores metálicos y de fundentes, que contaminan el ambiente del soldador. El arco también puede producir gases tóxicos. Estas contaminaciones del ambiente que respira el soldador pueden causarle problemas respiratorios y otras enfermedades, si el tiempo a que estuviese expuesto fuese excesivo.

a. Humos metálicos

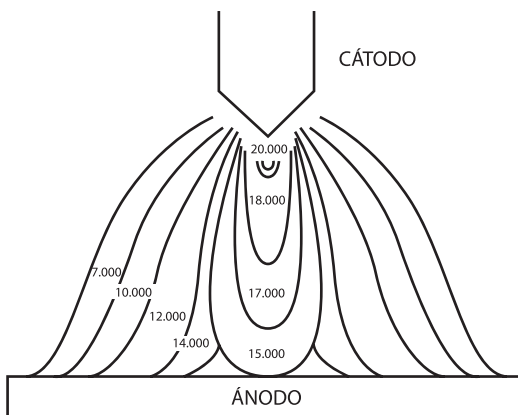
Primeramente es importante conocer las características del arco que influyen más directamente en la formación de los humos metálicos:

Conceptos básicos

Temperaturas en el arco

Con el fin de automantener un arco de corriente elevada, los gases del arco deben estar ionizados. Esto significa el mantenimiento de gas a altas temperaturas. En este estado los átomos de gas en el arco liberan electrones, que son los que conducen la mayoría de la corriente del arco moviéndose a lo largo del mismo entre los dos electrodos. Según los electrones se mueven en el arco, colisionan con otros átomos elevando y manteniendo la temperatura del plasma. Las investigaciones han demostrado que la temperatura de los gases del arco es del orden de los 20.000 °C; esencialmente la misma temperatura que en la superficie del sol. Esto explica la naturaleza e intensidad de la radiación electromagnética. La temperatura del arco es tanto mayor cuanto más elevada sea la densidad de corriente; lo que normalmente ocurre en las proximidades de la punta del electrodo. Una representación de la distribución de temperaturas en un arco de argón (*Ver figura 16*).

Figura 16.



En algunas situaciones, el aire se introduce en el arco, o en la región de altas temperaturas del gas de protección, pudiendo tomar parte en las reacciones químicas que forman los humos tóxicos.

Gran parte del calor de los gases calientes que rodean al arco y que elevan la temperatura del aire adyacente, son la causa de que éste aparezca con la forma de un penacho de gas caliente. Esta corriente de gas emergente (penacho de humo) transporta rápidamente las partículas de humo y gases al ambiente.

Temperaturas en las superficies de los electrodos

En comparación con la temperatura del plasma en el arco, la mayoría de los metales utilizados en ingeniería funden e incluso hierven a temperaturas mucho más bajas (*Ver tabla 6*).

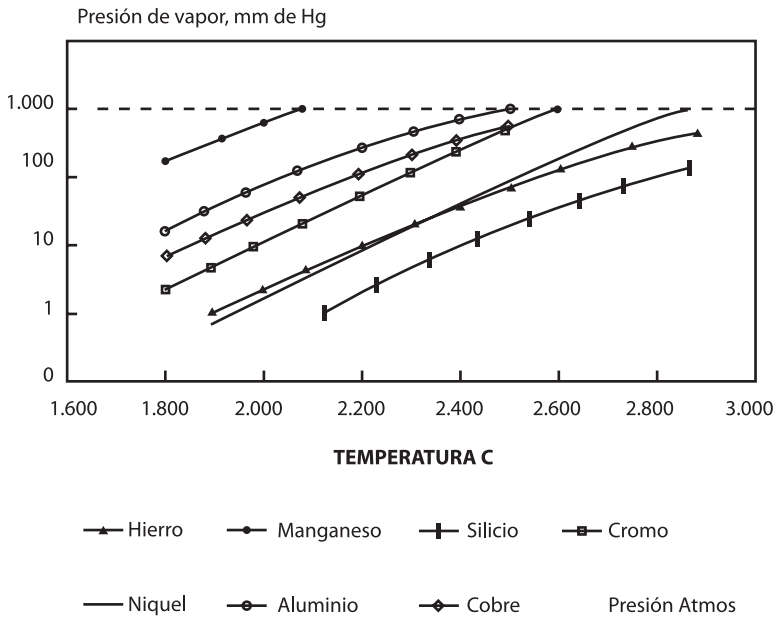
Tabla 6. Puntos de fusión y puntos de ebullición de los metales más comunes

Metal	Punto de Fusión (°C)	Punto de Ebullición (°C)
Aluminio	660	2.520
Cadmio	321	767
Cobre	1.085	2.560
Hierro	1.536	2.860
Plomo	327	1.750
Manganeso	1.244	2.060
Molibdeno	2.612	4.610
Níquel	1.455	2.915
Silicio	1.412	3.270
Tungsteno	3.387	5.555
Zinc	420	911

En las proximidades de las superficies del electrodo, se presentan abruptos cambios de temperatura entre el arco y el material del electrodo. El calor del arco se disipa por conducción en el interior del electrodo, por radiación del arco o superficie del electrodo, o bien por convección en el gas de protección. La temperatura en las superficies del electrodo ha sido objeto de numerosas investigaciones. Aunque los datos sean diferentes según las versiones, todos coinciden que la temperatura es apreciablemente mayor que la de fusión y próxima a la del punto de ebullición del material del electrodo. Como se ve en la siguiente figura (*Ver figura 17*), al aumentar la temperatura también lo hace

la presión de vapor. Estos vapores son la fuente de los humos en el soldeo. Los vapores llegan a la atmósfera, se oxidan con el oxígeno atmosférico, condensándose en forma de pequeñas partículas sólidas de humo.

Figura 17.



Otra fuente de los humos es el fundente empleado en algunos procesos de soldeo, tales como SMAW y FCAW. Los fundentes están compuestos, principalmente, por óxidos metálicos tales como SiO_2 , MgO , CaO , TiO_2 , etc., aunque algunos contienen cantidades de fluoruros (en particular CaF_2). Ejemplos de composiciones típicas de fundentes se dan en la siguiente tabla (Ver tabla 7). Los materiales de los fundentes, que han sido diseñados para cumplir diferentes funciones, también se calientan por el arco a elevadas temperaturas y se disocian y/o vaporizan contribuyendo a la producción de humos.

Tabla 7. Composiciones de fundentes típicos de FCAW.

Composición o elemento	Composición, % en peso			
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 4
	E70T-1	E70T-5	E70T-4	E70T-6
	Protección con CO ₂		Autoprotegido	
SiO ₂	21,0	7,5	0,5	4,2
Al	---	---	15,4	1,4
Al ₂ O ₃	2,1	0,5	---	---
TiO ₂	40,5	---	---	14,7
CaO	0,7	3,2	---	4,0
MgO	---	---	12,6	2,2
Na ₂ O	1,6	---	0,2	---
K ₂ O	1,4	0,5	0,4	---
C	0,6	1,1	1,2	0,6
CO ₂	0,5	2,5	0,4	2,1
Fe	20,1	55,0	4,0	50,5
Mn	15,8	7,2	3,0	7,9
CaF ₂	---	20,5	63,5	22,0

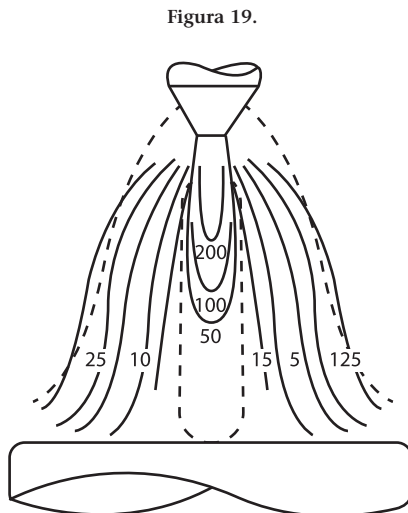
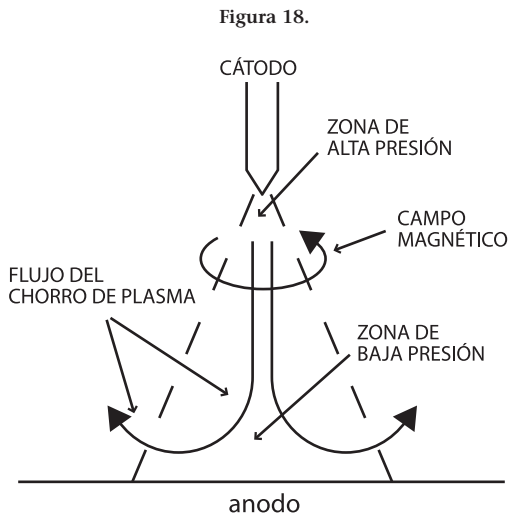
Chorros de plasma

Potentes chorros de plasma se producen en el arco por efecto electromagnético. La corriente que pasa por un conductor eléctrico produce un campo magnético circular, con el centro del conductor como ejemplo.

El campo y la corriente reaccionan produciendo una fuerza sobre el conductor orientada radialmente hacia el centro. En las descargas de los arcos eléctricos en un gas, donde las partículas son sensibles a esta fuerza, se desarrolla una presión de gas en el eje del arco. La magnitud de esta presión aumenta según lo hace la densidad de corriente. En los arcos de soldeo la columna de plasma no es cilíndrica. El arco está constreñido en el electrodo de tungsteno o en el alambre, de tal forma que la corriente queda confinada en una pequeña área. En la superficie del baño de soldadura no se da este caso. Aquí la corriente se esparce en un área relativamente grande. Simplemente, el arco toma una forma cónica con la parte próxima al electrodo a una presión elevada, mientras que la parte del arco próximo al baño de soldadura se encuentra a una presión de gas más baja (Ver figura 18). El resultado de esta diferencia de presión es una gran velocidad del chorro de plasma. Bajo ciertas condiciones la velocidad del

chorro de plasma puede aproximarse a la del sonido. La figura siguiente (Ver figura 19) muestra las velocidades del gas calculadas en un arco de 200 A.

Desde el punto de vista de la generación de humos, es importante señalar que tales velocidades de los chorros de gas son muy eficaces en la retirada de gases y vapores contaminantes del arco propulsándolos al ambiente.



Una vez que se tiene conciencia de estos conceptos, paso directamente a tratar más ampliamente los matices importantes a estudiar en la generación del humo de soldadura.

Conceptos específicos

Proceso de generación de humos

Diferentes fenómenos físicos y químicos deben ser considerados, tales como:

- Temperatura de las superficies de metal fundidas.
- Presión de vapor de los elementos que constituyen la aleación.
- Reacción química entre el metal fundido y el gas de protección.
- Transporte de los vapores desde las superficies del metal fundido a la atmósfera del arco.
- Vaporización del fundente.
- Descomposición del vapor del fundente en el arco.
- Retirada de los vapores del arco por la acción del plasma.

La mayoría del humo se produce en la superficie del electrodo o en las superficies de las partículas en su camino a través del arco. Se piensa que el baño de soldadura opera a temperaturas ligeramente inferiores. La evidencia de la anterior lo tenemos en el proceso GTAW donde se produce una relativamente baja tasa de generación de humos.

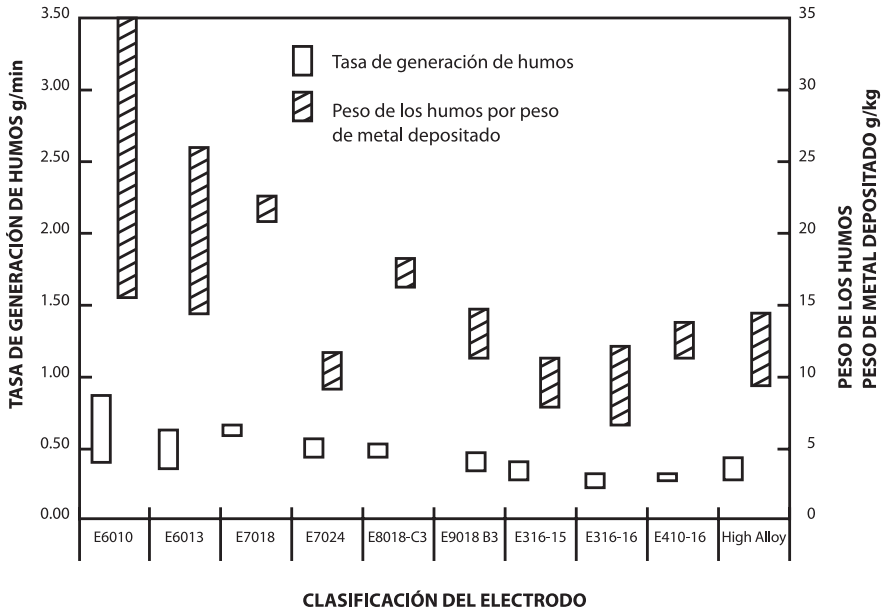
Niveles de generación de humos en los diferentes procesos

Los diferentes procesos producen distintas tasas de generación de humos y gases. También debe resaltarse que diferentes electrodos con la misma clasificación técnica, fabricados por distintas compañías o por la misma compañía para diferentes aplicaciones, puede que no produzcan humos con la misma tasa o incluso con la misma composición.

1. Soldeo por arco con electrodo revestido

Las tasas de este proceso varían ligeramente con la composición del revestimiento y las características de operación del electrodo. La figura siguiente (*Ver figura 20*) ilustra la magnitud de la tasa de producción de humo de los electrodos para aceros dulces, de baja aleación, inoxidable y de alta aleación. Las tasas están en el rango de 0,5 a 1 g/min.

Figura 20.



2. Soldeo por arco con alambre tubular

En los alambres tubulares la tasa depende de la composición del fundente, condiciones de soldeo y de si el electrodo esta autoprottegido o no (E70T-1 está protegido con gas, E70T-4 es autoprottegido), (Ver figura 21). Se ve que las tasas son mayores que en el caso de los electrodos revestidos. Los alambres tubulares están pensados, para trabajar con corrientes de soldeo más elevadas y, por lo tanto, depositan más metal de soldadura por minuto. Debido a esta superior tasa de deposición, la relación entre el peso de humo y peso de metal depositado puede ser inferior que con electrodos revestidos.

3. Soldeo por arco con gas (MAG)

Este proceso se emplea para aceros dulces de baja aleación, inoxidables y para materiales no féreos tales como aleaciones base níquel, cobre, aluminio y materiales de alta aleación. Las tasas son relativamente bajas durante el soldeo de los aceros, independientemente del gas protector (Ver figura 22). Con el aluminio, la tasa tiene una amplia gama de valores como se ve en la Las tasas mayores se obtienen con los consumibles de aleación Al-Si. Las tasas típicas son del orden de 0,5 g/min.

Figura 21.

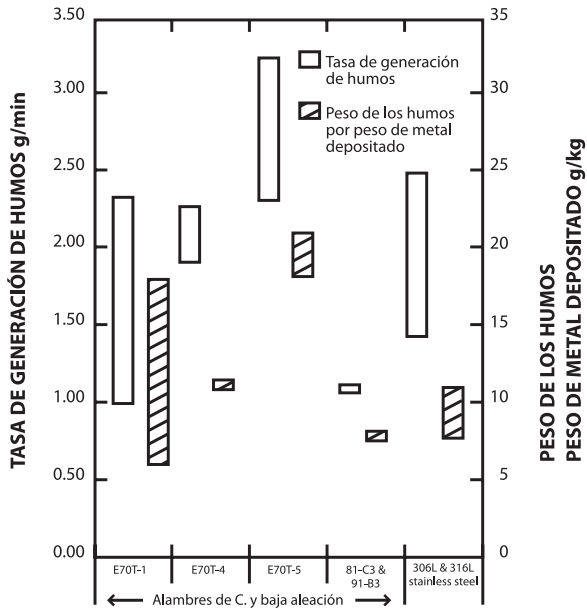
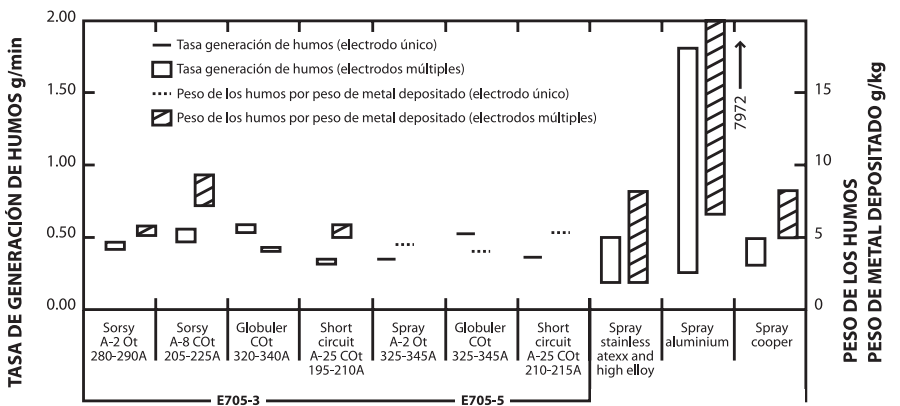


Figura 22.



Estudios llevados a cabo en distintas condiciones de operación han permitido establecer las siguientes conclusiones:

- Al aumentar la potencia de soldadura existe un incremento apreciable en el volumen de humos.
- De los distintos parámetros, la tensión es la que ejerce una mayor importancia, ya que su reducción permite rebajar de forma eficaz la cantidad de humo.
- Cuando la concentración de elementos aleantes desciende, la cantidad relativa de humo aumenta.
- Un aumento en la concentración de los componentes activos del gas de operación, al igual que un aumento del caudal, hace que la cantidad de humo aumente ligeramente.
- El flujo gaseoso que mana de la antorcha de trabajo depende del diseño de la boquilla. Si este es defectuoso o poco adecuado puede producir soldaduras con poros, con poca adherencia, y todo ello origina una mayor cantidad de humos.

4. Soldadura por arco MIG

El proceso MIG suele desarrollarse en unas condiciones de presencia de humos, cuyos valores son apreciablemente menores a los del procedimiento MAG. En casos especiales, como soldadura en interiores de depósitos, en trabajos con cobre, materiales de aporte con gran cantidad de níquel o con S-AlSi 5 y S-Al 99,5 Ti, hay que vigilar la generación de humos de soldadura.

5. Soldadura TIG

Diversos estudios estadísticos sobre las concentraciones de emisión, revelan que este procedimiento de soldadura no suele presentar problemas de toxicidad en lo que a la producción de humos metálicos se refiere. De todas formas hay que tener presente que algunos electrodos de volframio contienen concentraciones de torio que es un material radiactivo.

6. Soldeo por arco sumergido SAW

Las tasas de humos son bajas debido a que el arco trabaja todo el tiempo dentro del flux o fundente.

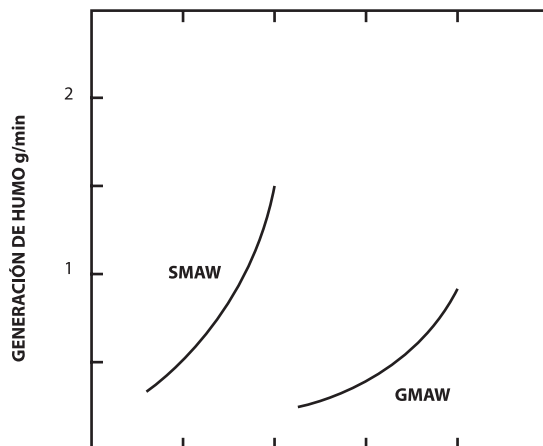
Efectos de las variables de soldeo sobre la tasa de generación de humos

1. Corriente de soldeo

Esta es la variable de mayor importancia (*Ver figura 23*). La tasa de humo es aproximadamente proporcional al cuadrado del valor de la corriente para los tres procesos (SMAW, FCAW y GMAW). Además esto puede ser la causa de

dilemas en cuanto a productividad porque la corriente también afecta al rendimiento de los procesos. Cuanto mayor sea la corriente, mayor será la tasa de deposición del electrodo. Lo anterior supone que reducir la corriente para disminuir la tasa de humos sea algo inaceptable en muchas ocasiones.

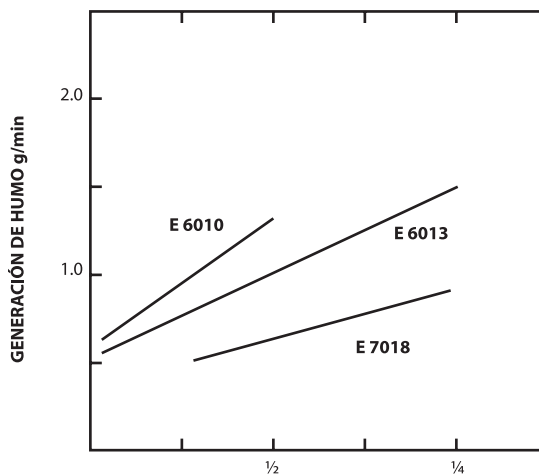
Figura 23.



2. Longitud del arco

La tasa de humo aumenta en menor cuantía, más o menos linealmente, con la longitud del arco (Ver figura 24).

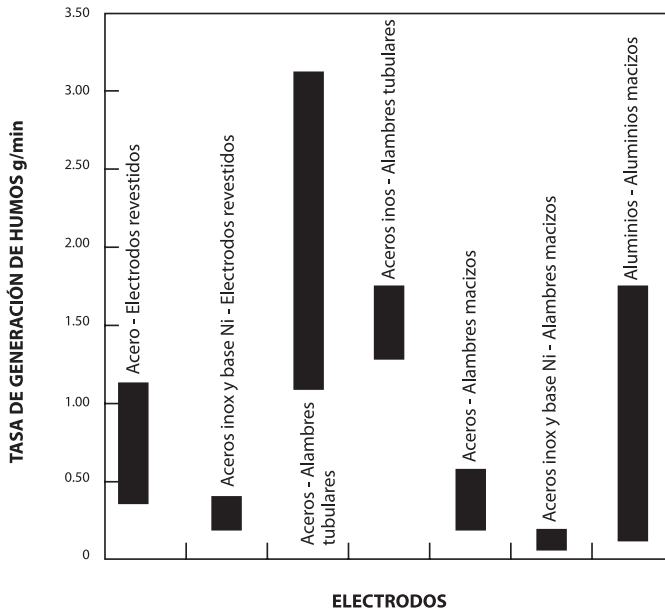
Figura 24.



3. Relación electrodos/alambres

En la figura (Ver figura 25) se muestran los rangos típicos de las tasas de humos para diferentes procesos de soldeo y consumibles.

Figura 25.



Naturaleza de los humos generados

El humo se produce por la condensación de vapores que forman partículas sólidas. Las partículas formadas son muy pequeñas pero con tendencia a aglomerarse. Distintos estudios han encontrado que las partículas tienen, esencialmente, un diámetro de 1μ o inferiores. El significado de esto es que el humo en este rango de dimensiones es muy respirable.

La composición química, así como la concentración total, es de gran importancia para el higienista. Se supone, que la mayoría de los metales están en forma de óxidos. Las partículas metálicas se combinan rápidamente con el oxígeno en las proximidades del arco. El calcio, sodio y potasio se combinan a menudo con el flúor formando fluoruros. La figura siguiente muestra la concentración de elementos en el humo de un SMAW.

Es significativo el hecho de que el humo es una mezcla de contaminantes y debe ser considerado como tal cuando se evalúa su toxicidad.

Tabla 8. Concentración de diferentes metales en función del tipo de material

Electrodo	Concentración, % en peso									
	Fe	Mn	Si	Ni	Cu	Cr	Mo	Al	Mg	F
Acero al C y de Baja Aleación										
E6010	47,5	3,0	5,7	---	---	---	---	---	---	---
E6013	61,4	5,1	12,2	---	---	---	---	---	---	---
E7018	26,1	4,5	< 0,2	---	---	---	---	---	---	---
E7024	30,2	5,3	18,3	---	---	---	---	---	---	---
E8018-C3	45,2	7,2	---	0,3	---	0,1	< 0,1	---	---	---
E9018-B3	21,9	5,9	---	0,1	---	1,6	< 0,1	---	---	---
Acero Inoxidable y de Alta Aleación										
E316-15	8,4	7,7	---	1,1	---	5,8	< 0,1	---	---	---
E316-16	10,0	8,8	---	1,5	---	6,5	< 0,1	---	---	---
ENiCu-2	0,1	2,1	---	4,2	6,2	---	---	---	---	---
Inconel 625	0,6	---	---	4,6	0,7	5,9	2,1	---	---	---
Haynes C-276	0,3	0,3	---	1,1	---	2,5	0,6	1,0	1,4	5,9
Haynes 25	---	4,6	---	1,8	---	6,9	---	1,1	0,1	7,7

A continuación se especifican en una lista, las sustancias más comunes presentes en los humos y su efecto sobre las personas:

- **Bario (Ba):** La inhalación de óxido de bario produce irritación en nariz y garganta. Puede causar náuseas, vómitos, diarrea, riesgo de problemas cardíacos, fatiga muscular y calambres.
- **Berilio (Be):** Altamente tóxico en su forma metálica o como compuesto. Por ejemplo: óxido de berilio, presente en ciertas aleaciones de cobre, puede causar beriliosis, una enfermedad pulmonar.
- **Calcio (Ca):** Aparece en los humos de soldadura en forma de óxidos al soldar con electrodos básicos y alambres tubulares con fundente básico. En concentraciones altas de óxido de calcio puede irritar las mucosas, pero no constituye un peligro durante la soldadura.
- **Cromo (Cr):** Al soldar aceros aleados al cromo, como aceros inoxidables, se forma cromo trivalente y hexavalente mediante oxidación. Ambas formas

irritan las membranas, causan fiebre metálica y afectan las vías respiratorias y los pulmones. El cromo hexavalente aumenta el riesgo de cáncer (según los criterios de la ACGIH tiene la categoría A1). Este se forma principalmente al soldar con electrodos revestidos.

- *Cobre (Cu)*: Presente tanto en el metal base como en el de aportación, produce al ser inhalado, fiebre metálica y una enfermedad pulmonar llamada “copperosis”.
- *Flúor (F)*: Los compuestos derivados del flúor se forman durante la soldadura con electrodos básicos. Igualmente con alambres tubulares básicos. Su inhalación produce irritación leve del tracto respiratorio y envenenamiento general agudo o crónico.
- *Hierro (Fe)*: El óxido de hierro se presenta en el humo al soldar metales ferrosos. La exposición prolongada al óxido de hierro puede provocar, en algunos casos, trastornos pulmonares y siderosis. La siderosis se detiene al cesar la exposición al óxido de hierro.
- *Plomo (Pb)*: Es escaso en los humos de soldadura, excepto al soldar chapas con ciertos tratamientos superficiales. El plomo aparece como un compuesto en el revestimiento de los electrodos. Su aspiración causa dolores de cabeza, fatiga, dolores musculares, calambres, inapetencia y adelgazamiento. En altas concentraciones provoca anemia y pérdidas de memoria.
- *Manganeso (Mn)*: Elemento aleante en aceros y electrodos. El humo conteniendo altas concentraciones de manganeso es tóxico. Los síntomas de envenenamiento son: irritación de las mucosas, temblor, rigidez muscular, decaimiento y disminución de la capacidad muscular. El sistema nervioso y el respiratorio pueden verse afectados. También puede producir fiebre metálica.
- *Molibdeno (Mb)*: El respirar humos que lo contengan puede irritar los órganos respiratorios. La exposición prolongada puede causar dolores articulares y daños al hígado.
- *Níquel (Ni)*: Se presenta principalmente en los aceros inoxidables y su óxido puede causar fiebre metálica. Según la ACGIH tiene símbolo A5. Causa neumoconiosis.
- *Silicio (Si)*: Algunas formas de óxido (cuarzo) pueden provocar silicosis. Sin embargo no existen evidencias de su presencia en concentraciones nocivas en los humos de soldadura.

b. Gases

Hay dos tipos de riesgos asociados a las operaciones de soldeo asociados a los gases.

- Gases tóxicos.
- Gases asfixiantes.

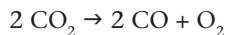
Gases tóxicos

Los gases tóxicos nunca se emplean como parte de los procesos de soldeo, excepto pequeñas adicciones especiales a niveles por debajo de los que se consideran perjudiciales. Sin embargo, los procesos de soldeo pueden producir gases tóxicos. Los ejemplos más usuales se dan a continuación.

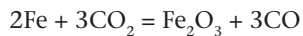
1. Monóxido de Carbono

El monóxido de carbono puede producirse cuando se suelda acero si el dióxido de carbono se emplea como gas protector, o en el proceso SMAW con algunos tipos de electrodos que contienen carbonatos en su revestimiento. Dos reacciones son posibles dependiendo de las condiciones del arco:

a) El dióxido de carbono se descompone formando dióxido de carbono y oxígeno.



b) El oxígeno liberado en la reacción anterior puede reaccionar con los vapores metálicos (o con el baño de metal fundido) influyendo en la cantidad de monóxido de carbono que se produce.



La relación CO/CO_2 es de alrededor de 0,5 y la cantidad de monóxido de carbono aumenta ligeramente cuando lo hace la temperatura. En cualquier caso, existe una posibilidad alta de que se forme monóxido de carbono. La presencia de vapores de silicio de manganeso en el arco tiende a aumentar la relación CO/CO_2 hasta valores teóricos del orden de 1.000.

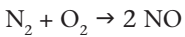
La generación de monóxido de carbono alcanza sus tasas más altas en el soldeo de aceros por el proceso GMAW empleando dióxido de carbono como gas de protección. Cuando se emplean mezclas de argón/dióxido de carbono para el soldeo de aceros, en cualquier condición establecida la tasa de generación de monóxido aumenta según lo haga la concentración de dióxido de carbono. El proceso FCAW con dióxido de carbono como gas protector y el proceso SMAW con electrodos cuyo revestimiento contenga altas proporciones de calcio, también producen monóxido como subproducto.

2. Óxidos de nitrógeno

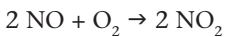
Los óxidos de nitrógeno (óxido nítrico y dióxido de nitrógeno) se detectan en las proximidades de las operaciones de soldeo.

Aunque el oxígeno y el nitrógeno no reaccionan químicamente a temperatura ambiente, se combinan a altas temperaturas en el arco, una vez los gases se hayan introducido en la envolvente gaseosa de protección. La reacción para que se forme los óxidos de nitrógeno tiene dos pasos:

Paso 1. Por encima de 1.200 °C, esta reacción se efectúa hacia la derecha formándose cantidades importantes de óxido nítrico.



Paso 2. Cuando el óxido nítrico se diluye en el aire el gas se oxida formándose dióxido de nitrógeno.



A temperaturas por debajo de 500 °C las condiciones de equilibrio favorecen la formación de dióxido de nitrógeno. La velocidad de reacción no es rápida, sin embargo, algo de óxido nítrico puede permanecer en las proximidades a la zona en que se suelda.

La *tabla 9* muestra concentraciones de dióxido de nitrógeno medidas en el interior y exterior del casco de soldador en los procesos SMAW, FCAW Y GMAW. La concentración medida a 2 m de un arco GTAW se indica en la *tabla 10*.

Tabla 9.

Proceso	Gas protector	Metal de aporte	Nº de ensayos	NO ₂ (ppm)	
				Interior del casco	Exterior del casco
SMAW (a)	Ninguno	E7018 5/32"	5	1,48 (0,43-2,55)	1,62 (1,07-2,34)
			9	0,9 (ND (b)-1,7)	3,6 (0,43-2,8)
			10	0,8 (0,2-1,1)	1,3 (0,4-2,8)
			11	0,37 (ND-2,55)	0,8 (ND-1,7)
FCAW	CO ₂	E70T-2	9	0,54 (ND-0,91)	2,3 (1,7-4,25)
	Ninguno	E70T-4	5	1,36 (ND-2,55)	7,19 (3,4-10,8)
GMAW (c)	Ar-2%CO ₂	E60S-3	10	1,1 (ND-3)	2,1 (0,2-4,5)
	Ar-25%CO ₂	E60S-3	11	0,33 (ND-1,07)	0,5 (0,21-0,85)

a) 28 V y 215 A b) No detectado c) 32 V y 200-400 A

Tabla 10.

Gas protector	Oxido de nitrógeno, ppm
Helio	0,3 (a)
Helio	0,5 (a)
Helio	0,3
Argón	2,5
Argón	3,0 (a)
Argón	3,0 (a)
Argón	2,5

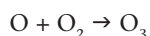
110 A, corriente continua, polaridad directa, electrodos de 3/32", sin metal de aporte y caudal de gas protector de 15 pies3/hora. (a) Doble caudal de gas protector.

3. Ozono

El ozono O₃, se genera cuando la radiación ultravioleta del arco disocia la molécula de oxígeno en oxígeno atómico:



El oxígeno atómico libre puede reaccionar con el oxígeno molecular y formar una molécula de ozono:



Se necesitan al menos 7 eV de energía de la radiación ultravioleta para la formación de ozono. La energía de radiación está en proporción inversa a la longitud de onda. Los 7 eV se corresponden a una $\lambda = 175$ nm. Ondas cortas de radiaciones entre 130 y 175 nm son las más efectivas en la formación de ozono.

Cuando la radiación UV de un arco se emite en el aire, esta se deteriora rápidamente. Longitudes más cortas de 175 nm se deterioran más rápidamente que las radiaciones de mayor longitud de onda. Así, las radiaciones de ondas más cortas generan más ozono. Éste asciende en la cortina con el aire caliente, con otros gases calientes y el humo de soldadura.

A temperaturas mayores de 500 °C, el ozono se descompone rápidamente a través de la colisión térmica con otras moléculas. En concentraciones de uno o varios ppm y a 200 °C, la vida media del ozono es aproximadamente de 24 horas.

Efectos sobre las personas

En la última década la sensibilización de la sociedad hacia la conservación de la capa de ozono en la atmósfera, ha sido patente. El ozono existe de forma natural en la atmósfera. Algunas de las radiaciones UV procedentes del sol son absorbidas por la capa de ozono. Pero es, sobre la superficie de la tierra donde este gas puede causar daños a las personas. Concentraciones altas pueden ser perjudiciales para el trabajador que este expuesto

Las personas inhalamos aire que contiene ozono en concentraciones inferiores a 0,05 ppm. En niveles próximos a 0,1 ppm, se tiene sensación de sequedad e irritación de las fosas nasales y la garganta se acartonada después de un periodo corto de exposición. En niveles entre 0,1 y 1 ppm el ozono causa congestión nasal y algunas veces jadeo o punzadas en el pecho. Otros síntomas incluyen toses, dolor de garganta, fatiga y dolores de cabeza.

Las consecuencias de largos periodos de exposición a niveles bajos de ozono (0,1 a 1 ppm) no han sido establecidas con certeza. Se sospecha, sin embargo, que exposiciones largas pueden originar bronquitis crónica y enfisema en personas con buena salud. También se sospecha que el ozono puede ser cancerígeno.

Comparación del riesgo existente en los diferentes procesos de soldadura

1. Soldadura MAG

La soldadura MAG del acero al carbono con 80% Ar + 2% de CO₂ ó 98% de Ar + 2% O₂ produce más o menos la misma cantidad, o niveles mayores de emisión de ozono que la soldadura TIG de los aceros inoxidables. Usando CO₂ en la soldadura de aceros al carbono se obtienen unas emisiones más bajas de 0,3, mientras se eleva la emisión de monóxido de carbono.

Además de por el gas de protección, las emisiones de ozono se ven afectadas por la intensidad y el tipo del metal transferido en el arco. El caudal del gas de protección no tiene un gran efecto. Hay un riesgo de exposición a niveles de ozono durante la soldadura MAG de los aceros al carbono e inoxidables usando arco corto.

2. Soldadura MIG del aluminio

Los niveles de emisión del ozono durante la soldadura MIG del aluminio son mucho mayores que los anteriormente descritos. La emisión de ozono depende de los aleantes del hilo de soldadura. Hilos con aleaciones de Mg producen menos emisiones que los aleados con Si ó los de Al puro. Además, la emisión

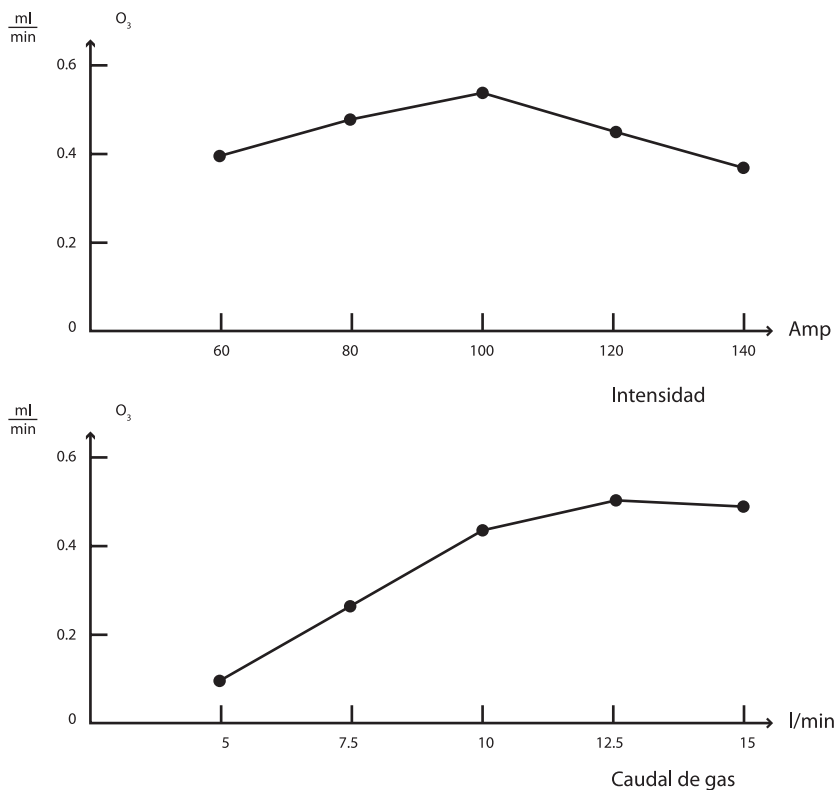
de ozono se ve afectada también por el diámetro del hilo, intensidad y tipo de gas de protección.

3. Soldadura TIG de los aceros inoxidable y del aluminio

En la soldadura TIG de los aceros inoxidable con argón como gas de protección y corriente continua se producen las más altas emisiones de ozono. Los valores más bajos de emisión se generan durante la soldadura TIG del aluminio con corriente alterna y argón como gas de protección. La razón de esto es que la corriente alterna produce gran cantidad de NO, con lo cual gran parte del ozono formado se transforma en NO_2 y O_2 .

Durante la soldadura TIG la cantidad de ozono depende en gran medida del caudal de gas de protección y de la intensidad. Otros factores de importancia son la longitud del arco, la longitud libre del electrodo, el diámetro de la tobera y el tipo de gas usado (Ver figura 26).

Figura 26.



Gases asfixiantes

El problema de los gases no tóxicos quizás sea de más alto riesgo para la mayoría de los soldadores, especialmente cuando las operaciones se llevan a cabo en recintos confinados.

Los gases de protección se emplean con los procesos GTAW, GMAW y FCAW. Los más comunes son argón, helio y dióxido de carbono. El volumen del gas de protección depende del proceso y de las condiciones de soldeo, encontrándose normalmente en el rango de los 10 a 25 litros/min. La vida no es posible en cualquiera de dichos gases. El aire respirable contiene 21% de O₂ y la vida es posible sin problemas hasta un mínimo del 19%. Con el 16% de O₂ el nivel es insuficiente para mantener la vida.

Cuando el soldeo está confinado en espacios sin ventilación adecuada, los gases de protección diluyen el oxígeno respirable a bajos niveles que resultan peligrosos y pueden provocar la asfixia del soldador.

c. Contaminantes existentes en el soldeo de piezas con recubrimiento

En algunos casos las superficies de los materiales a soldar son tratadas o terminadas para dotarlas de una protección anticorrosiva. Estos procesos incluyen pintado, esmaltado, galvanizado, fosfatado, cadmiado o aceitado. La exigencia de conocer los compuestos que uno se puede encontrar en el metal básico a la hora de realizar la soldadura, es importante de cara a afrontar los problemas derivados de una posible exposición a gases nocivos. A continuación se enumeran algunos de los recubrimientos más usuales y los riesgos asociados con ellos:

Fosfatado

Se usa para obtener protección contra la corrosión o como un imprimador de base para la pintura. Al soldar láminas o planchas fosfatadas se forma fosfina (PH₃) la cual es extremadamente nociva.

Galvanizado

Se emplea como protección anticorrosiva. Durante la soldadura los óxidos de zinc pueden causar fiebre metálica.

Cadmiado

El óxido de cadmio aparece en el humo de soldar planchas cadmiadas (como protección anticorrosiva). Es muy tóxico, los síntomas de envenenamiento son: dificultades respiratorias, sequedad, tos, dolores pectorales y fiebre metálica. Estos síntomas sólo aparecen un día o dos, después de la exposición, una

persona expuesta frecuentemente a cadmio puede sufrir edema pulmonar y probablemente enfisema. El hígado y riñones pueden también ser afectados.

Pinturas y plásticos

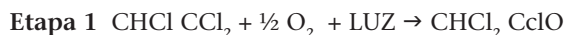
Las pinturas pueden contener plomo, cobre, cromo, zinc y de los tipos marinos, mercurio, etc. Los revestimientos plásticos pueden contener metales. Ejemplos de estos son los imprimadores utilizados para proteger las superficies contra la corrosión.

Contaminantes superficiales

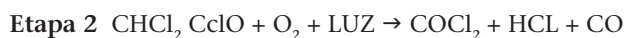
La pieza a soldar puede estar recubierta por óxido o aceite. El aceite se descompone durante la soldadura evaporándose. Sin embargo, no existen evidencias de su nocividad en los niveles considerados. No obstante el aceite debe ser eliminado a priori de la soldadura para evitar la formación de poros. Un método corriente es emplear un solvente.

Fosgeno

Los hidrocarburos clorinados han sido ampliamente utilizados para efectuar operaciones de limpieza. Ejemplo de ellos son: tricloroetileno, tetracloroetileno y cloroformo metílico. Estos agentes desengrasantes son muy volátiles, especialmente cuando el calor del arco eleva su temperatura. Gases tóxicos tales como el fosgeno, cloruro de hidrógeno, cloruro de dicloroacetilénico y cloro, pueden producirse en función de la forma del hidrocarburo. El proceso supone la oxidación de los hidrocarburos clorados volatilizados. La reacción es la siguiente:



tricloroetileno cloruro dicloroacetilénico



cloruro fosgeno

Otros revestimientos que pueden causar problemas son el cromado y el niquelado.

3.2. CONTAMINANTES FÍSICOS

a. Radiaciones no ionizantes

Como se sabe, las radiaciones son fenómenos físicos consistentes en la emisión, propagación y absorción de energía por parte de la materia, tanto en forma de ondas (radiaciones sonoras electromagnéticas) como de partículas subatómicas (corpúsculares).

Las radiaciones electromagnéticas vienen determinadas:

- Por su frecuencia (ν).
- Por su longitud de onda (λ).
- Por su energía (E).

Pudiendo clasificarse de acuerdo con lo expuesto en: *radiaciones ionizantes (IR)* y *no ionizantes (RNI)* tal como se expone en la *tabla 11* de acuerdo con sus características.

Tabla 11.

Radiaciones Electromagnéticas			
Tipo de radiación	Frecuencia	Longitud de onda	Energía/fotón
IONIZANTE	> 3.000 THz	< 100 nm	> 12,4 eV
NO IONIZANTE	≤ 3.000 THz	≥100 nm	≤ 12,4 eV
Ultravioleta (UV)	3.000-750 THz	100-400 nm	12,4-3,1 eV
Visible	750-385 THz	400-780 nm	3,1-1,59 eV
Infrarroja (IR)	385-0,3 THz	0,78-1.000 μm	1.590-24 meV
Microondas	300-0,1 GHz	1-1.000 mm	1.240-1,24 μeV
Radiofrecuencias	300-0,1 MHz	1-3.000 m	1.240-0,41 neV

Los procesos de soldadura constituyen una de las ocupaciones que presentan mayor peligro para el ojo, en razón a que durante esta actividad se generan las mayores intensidades dentro del espectro de radiaciones ópticas. Las temperaturas que se producen en el arco hace fundir los electrodos y el material base destinado a soldar.

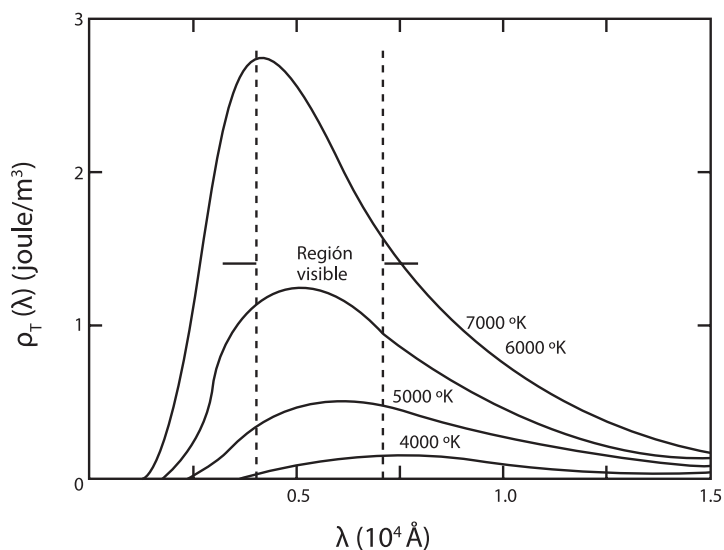
Físicamente, cuando un cuerpo está a una determinada temperatura éste emite una radiación llamada radiación térmica. La materia en un estado condensado (es decir, sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. Los detalles

del espectro son casi independientes del material particular del cual se compone el cuerpo, pero dependen fuertemente de la temperatura. A temperaturas ordinarias, la mayoría de los cuerpos no son visibles por la luz que emiten sino por la luz que reflejan. Sin embargo, a muy altas temperaturas, los cuerpos son luminosos por sí mismos. En un cuarto oscuro se les puede ver brillar; pero aún a temperaturas de varios miles de grados Kelvin (temperaturas desarrolladas en el arco), más del 90% de la radiación térmica es invisible para nosotros, empezando por la parte correspondiente al infrarrojo del espectro electromagnético.

En términos generales, la forma detallada del espectro de radiación térmica emitida por un cuerpo caliente, depende de la composición del mismo. Sin embargo, experimentalmente se encuentra que solo hay una clase de cuerpos que emiten espectros térmicos de características universales. Estos son los llamados cuerpos negros.

Aunque el comportamiento de las sustancias presentes en la naturaleza (y por tanto, en un proceso de soldadura) discrepa exactamente de las leyes del cuerpo negro, se puede decir sin riesgo a equivocarse que, en general, cualquier sustancia a medida que aumenta su temperatura la longitud de onda máxima emitida decrece en el espectro o, lo que es lo mismo, la frecuencia aumenta (más o menos linealmente). Este hecho se puede observar en la siguiente figura (Ver figura 27).

Figura 27. Curva de Planck que relaciona la densidad de energía en función de la longitud de onda, para varias temperaturas



Todas estas disquisiciones son importantes a la hora de elegir una protección adecuada en función de la temperatura que se va a alcanzar en el arco.

Efectos sobre las personas

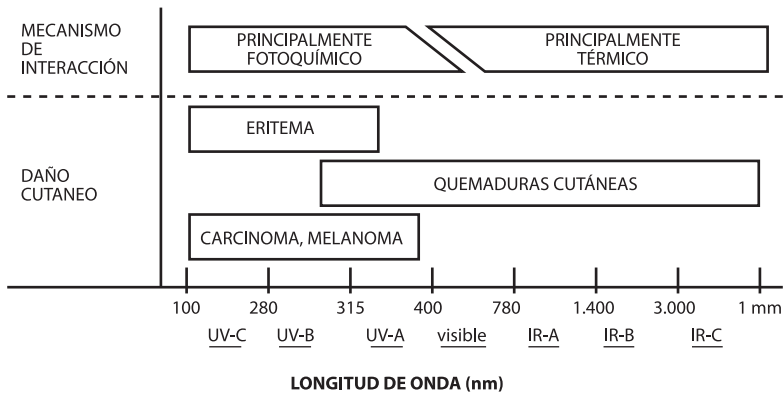
Los principales efectos de las radiaciones ópticas en los ojos, vienen descrito en la siguiente figura (Ver figura 28), en función de la longitud de onda que emita el arco.

Figura 28.

REGIÓN DEL ESPECTRO (CIE)	LESIÓN PRODUCIDA	
UV-C y UV-B 200 a 315 nm		Fotoqueratitis Fotoconjuntivitis
UV-B 280 a 315 nm		Catarata Fotoquímica
UV-A 315 a 400 nm		Catarata térmica Daño fotoquímico corneal
VISIBLE 400 a 780 nm		Quemaduras retinianas fotoquímicas y térmicas
IR-A 780 a 1.400 nm		Catarata térmica Quemadura retiniana térmica
IR-B e IR-C 1.400 a 1 mm		Quemadura corneal Catarata térmica

Los principales efectos de las radiaciones ópticas en la piel, vienen descritos en la siguiente figura (Ver figura 29), en función de la longitud de onda que emita el arco.

Figura 29.



b. Ruido

En un proceso de soldadura al arco la principal causa directa de emisión de ruido es la expansión que sufre el gas protector o el circundante ante la existencia del arco eléctrico. Esta expansión es la perturbación inicial, propagándose luego en forma de vibración periódica de presión a través del medio envolvente.

La soldadura además es una tarea que suele estar ligada a procesos de calderería y metalurgia que en general, son sectores ruidosos por definición. Este matiz puede convertirse en un riesgo para el oído del soldador, cuando cercano a él, en otros puestos de trabajo, se está generando continuamente ruido que, indirectamente eleva su nivel de exposición.

Efectos del ruido sobre las personas

La exposición al ruido produce sobre las personas una serie de alteraciones diversas, que pueden clasificarse en tres grupos:

- Efectos psicológicos.
- Interferencias conversacionales.
- Efectos fisiológicos.

1. Efectos psicológicos

Como efectos particulares más conocidos, se pueden citar que el trabajo intelectual se ve dificultado en un ambiente ruidoso; en general, se ha detectado un entorpecimiento de muchas funciones psíquicas y motrices; el ruido aumenta la irritabilidad y la agresividad de las personas, y produce alteraciones del sueño en las mismas.

2. Interferencias conversacionales

Dentro del segundo tipo citado, las interferencias en la comunicación dan lugar a errores en la transmisión de órdenes, y a una disminución de la seguridad en el puesto de trabajo.

3. Efectos fisiológicos

Entre los efectos fisiológicos, se ha comprobado que el ruido produce un aumento de la presión sanguínea, acelera la actividad cardiaca, modifica la circulación periférica, eleva el metabolismo, y produce trastornos digestivos. Todos estos efectos son reflejos del sistema nervioso vegetativo por un aumento de actividad del simpático. Hay cuatro tipos de daños:

1. Daños auditivos

Quizá el daño más significativo producido por el ruido, es el daño auditivo, y es éste el que más directamente pretende atajar el R.D. 286/2006. Los efectos del ruido sobre la audición son básicamente dos: la sordera temporal, y la sordera permanente.

La audición normal, que puede definirse como la capacidad media de un grupo de personas representativo de la población, es un valor promedio, ya que la audición normal de cada persona es distinta y abarca un espacio de 15 dB a ambos lados del valor medio. Dado que el oído humano oye a distintas frecuencias, y cada una de ellas de forma distinta, cuando el ruido es producido por alguna circunstancia diferente de las normales de la industria, y al objeto de definir los medios de protección adecuados, habría que evaluar el ruido a las distintas frecuencias a las que se han originado los ruidos. Hoy en día se consideran como frecuencias adecuadas a medir, las de 250, 500, 1.000, 2.000, 4.000 y 8.000 Hz.

Las mediciones del umbral de audición se efectúan con el audiómetro. Este tipo de medidas no se realizan en este estudio.

2. Sordera temporal

La sordera temporal se produce como consecuencia de la exposición a altos niveles de ruido, y consiste en una elevación del umbral de audición como un mecanismo de autodefensa frente a la agresión que supone el ruido. Tras un periodo de descanso, el nivel umbral de audición vuelve a sus niveles anteriores a la exposición. La norma ISO, define el desplazamiento transitorio del umbral como “una elevación del nivel del umbral auditivo, a raíz de una exposición al ruido, en la que se aprecia un retorno progresivo del nivel anterior a la exposición, con recuperación total en menos de 10 días”.

3. Sordera permanente

En la sordera permanente, el desplazamiento del umbral de audición se produce sin un retorno al valor anterior, una vez eliminado el ruido, y es consecuencia del deterioro producido en el oído interno o zona coclear. No hay forma de recuperar la capacidad auditiva y se produce una sordera de percepción.

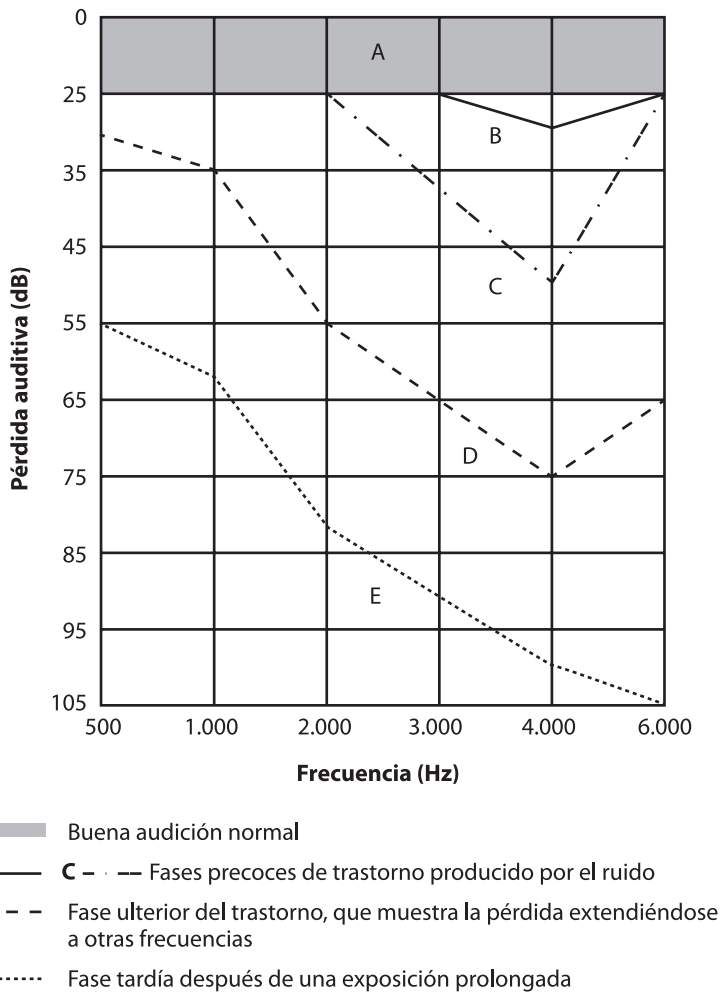
En este tipo de sorderas, cuando el daño es de origen laboral por una exposición continuada a niveles elevados de ruido, se produce una pérdida de capacidad auditiva que comienza en la frecuencia de 4.000 Hz y que posteriormente,

si persiste la agresión, dicha pérdida se va extendiendo progresivamente a frecuencias inferiores y superiores (Ver figura 30).

La forma de un audiograma no es absolutamente típica pero siempre presenta el pico de 4.000 Hz que es típico de la sordera profesional.

La evolución de este proceso puede variar de unas personas a otras, siendo en unas más rápida que en otras.

Figura 30.



4. Presbiacusia

No es la exposición laboral la única causa del desplazamiento del umbral auditivo, se sabe que la agudeza auditiva disminuye generalmente con la edad. Este es un proceso natural que se conoce con el nombre de presbiacusia y que no se da en todas las personas. La presbiacusia es un proceso fisiológico pero hoy en día, dado el nivel sonoro de la vida cotidiana, la “socioacusia”, también constituye un factor añadido en su desarrollo.

La presbiacusia es un factor a tener en cuenta a la hora de valorar una deficiencia auditiva de origen laboral sobretodo en personas de cierta edad.

Además de la sordera de percepción citada, se pueden presentar sorderas de transmisión que consisten en la obstaculización de la transmisión del sonido. Este tipo de patología se presenta generalmente en el oído medio, debido a una anquilosis, bien sea del tímpano (esclerosis), bien de la cadena de huesos (artrosis). Esta sordera de transmisión, también, puede presentarse en el oído externo como consecuencia de la presencia de un tapón de cerumen.

c. Calor

En un proceso de soldadura al arco existen varios aspectos que pueden potenciar la gravedad de los posibles riesgos derivados de la exposición al calor:

- La presencia de una fuente de calor radiante, cual es el arco eléctrico. La distribución de temperaturas que puede llegar a alcanzar éste viene expuesta en la figura de la página 41 (*Ver figura 16*). La relativa proximidad del trabajador a la zona de soldadura intensifica la magnitud de la temperatura a la que está expuesto. De todas formas, este incremento de la temperatura no es muy grande debido a que la fuente de calor (arco eléctrico) es, en cierta forma puntual.
- La necesidad que existe en ocasiones de hacer un precalentamiento inicial de la pieza antes de proceder a su soldadura. Las temperaturas usuales son de 90 °C para piezas de acero al carbono gruesas (100 mm) y pueden llegar hasta los 150 °C para piezas de acero de baja aleación. El precalentamiento evita que aparezcan fisuras en el cordón, típicas de la soldadura hecha con las piezas a temperatura ambiente con de terminados aceros. Las temperaturas alcanzadas y las dimensiones de las piezas precalentadas (superficies radiantes), hace que las condiciones de trabajo se endurezcan, especialmente en espacios confinados. Los aceros austeníticos (AISI 304, 316, etc.) no se precalientan.

- Las radiaciones que emite el arco eléctrico (UV, infrarrojas) son tan intensas que pueden llegar a producir quemaduras en la piel del soldador.
- La necesidad de utilizar equipos de protección individual por parte del soldador, contribuye a dificultar la evaporación del sudor, con el consiguiente aumento de su temperatura corporal: manguitos, polainas, guantes y mandiles que, generalmente son de cuero o de material tupido, más otros EPI's como pantallas, etc., son normalmente los equipos utilizados.

Efectos del calor sobre el cuerpo humano

La reacción de la persona ante un ambiente térmico no presenta una respuesta homogénea en todos los casos ya que mientras para unos puede significar una simple molestia para otros puede presentar unas manifestaciones concretas características del estrés térmico.

El aumento de la temperatura del ambiente provoca igualmente el aumento de la temperatura corporal de las personas expuestas al mismo. Sobre este aumento el cuerpo reacciona con la sudoración y el incremento del riego sanguíneo para facilitar la pérdida de calor por convección a través de la piel, que a su vez son causa de una serie de trastornos, tales como la pérdida de elementos básicos para el cuerpo (agua, sodio, potasio, etc.) motivada por la sudoración o la bajada de tensión provocada por la vasodilatación que puede dar lugar a que no llegue riego suficiente de sangre a órganos vitales del cuerpo como el cerebro, produciendo los típicos desmayos o lipotimias.

De acuerdo con lo expuesto, en el presente cuadro se señalan los efectos patológicos más importantes producidos por el calor (*Ver tabla 12*).

Tabla 12.

Accidentes y trastornos producidos por problemas de termorregulación	
Accidentes	Trastornos
<ul style="list-style-type: none"> - Quemaduras - Golpe de calor - Hiperpirexia 	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad circulatoria (sincope - térmico) - Déficit salino - Afecciones cutáneas - Deshidratación - Anhidrosis

Los factores que determinan un ambiente térmico y que son causantes del grado de confort o desconfort del mismo son: **temperatura seca, humedad del aire, temperatura radiante media, velocidad del aire, metabolismo del cuerpo y ropa.**



4

CRITERIOS DE
VALORACIÓN

4. CRITERIOS DE VALORACIÓN

En este apartado se mostraran los criterios que se pueden seguir a la hora de calificar la gravedad de cada riesgo determinado.

4.1. CONTAMINANTES QUÍMICOS

A la hora de realizar los correspondientes muestreos hay que tener bien presente las diferentes condiciones de trabajo. Las principales variables que pueden ser fijadas son las siguientes:

- Respecto al material básico al que se va a soldar.
- Respecto al tipo de soldadura, posibles gases protectores y cantidad de material de aportación que se usen. En cada tipo de soldadura se puede medir el consumo del electrodo durante el tiempo de muestreo mediante dos procedimientos:
 - Para tipos de soldadura en los que se use carrete automático, se pesará el mismo antes y después de la medición.
 - Para soldadura con electrodos revestidos y tubulares se contara el número de electrodos consumidos durante el muestreo, teniendo en cuenta lo que se desperdicia de colilla.
- Respecto al lugar físico determinado donde se puedan realizar los trabajos. Habrá que considerar sobremanera aquellos soldeos que se hagan en recintos confinado.
- Respecto a la eficacia del sistema de extracción localizada, si existiese.
- Respecto a la posible colocación postural del soldador.

Además de estos criterios se adoptaran otros para buscar una mayor representatividad y exactitud en las mediciones:

- Los filtros de captación de la muestra se colocaran lo más cerca posible de las vías respiratorias del soldador y en el interior de la pantalla.
- Los criterios para la elección de los soportes y el caudal de las bombas, para la toma de muestras están estandarizados para los diferentes contaminantes (humos totales, cationes metálicos y gases).
- En cada puesto de trabajo se obtendrán una o varias muestras sucesivas, con el fin de abarcar el máximo tiempo de trabajo y obtener así, una medición lo más real posible.

- Se harán mediciones ambientales para conocer la exposición a los contaminantes de otros trabajadores que estuvieran próximos y la exposición de los mismo soldadores en el intervalo de tiempo en el cual no están soldando.
- En todas las mediciones se conservara una muestra “blanco”.

Una vez efectuadas las mediciones se aplicaran los valores limites umbrales contenidos en el Documento de limites de exposición profesional para Agentes Químicos en España. Estos valores VLA-ED, suponen la concentración media ponderada en el mismo tiempo para una jornada de 8 horas al día o 40 horas a la semana, a la cual pueden verse expuestos día tras día los trabajadores a lo largo de su vida laboral sin sufrir efectos adversos.

La valoración higiénica de los puestos de trabajo se puede realizar de varias formas. Seguidamente se citan dos, la primera basada en la aplicación de la norma UNE-689 y la segunda en el cálculo del índice %EMP:

1) La norma UNE-689 “Guía para la evaluación de la exposición a agentes químicos por comparación con el valor límite” propone a nivel informativo (Anexos C y G) dos sistemas de toma de decisiones. Uno de ellos permite, con un número reducido de muestras, decidir sobre si el riesgo que supone la exposición es aceptable, inaceptable o incierto. La Sistemática es la siguiente:

- 1- Obtener una concentración media de una jornada (C_8)
- 2- Dividir la C_8 por el valor del límite VLA-ED, obteniendo un índice de exposición $I_1 = C_8 / (VLA-ED)$
- 3- Decidir según el resultado de la siguiente forma:
 - $I_1 \leq 0,1$, El riesgo es aceptable. Puede considerarse que es improbable que supere el valor límite.
 - $I_1 > 1$, El riesgo es inaceptable y debe procederse a corregir la exposición.
 - $0,1 < I_1 \leq 1$, Debe procederse a obtener dos C_8 más para disponer en total de tres índices (I) y seguir el procedimiento en (4)
- 4- I_1 e I_2 e $I_3 \leq 0,25$. El riesgo es aceptable.
- 5- I_1 o I_2 o $I_3 > 1$. Corregir la exposición.

6- I_1 e I_2 e $I_3 \leq 1$ pero no se cumple (4). Hallar la media geométrica de los tres índices.

$$MG = \sqrt[3]{I_1 + I_2 + I_3}$$

7- $MG \leq 0.5$. Riesgo aceptable.

8- $MG > 0.5$. Riesgo incierto. Obtener un nuevo índice y seguir el procedimiento desde (4)

Esta metódica que se basa en las probabilidades de superar el valor límite asumiendo un determinado error, normalmente a favor de la filosofía preventiva, no asegura cual es el valor de la concentración media ambiental más probable, sino que establece, que con gran probabilidad se superará o no el valor límite.

2) % EMP (porcentaje de la dosis máxima permisible)

$$\% \text{ EMP} = \frac{\text{Concentración}}{\text{VLA} - \text{ED}} \times \frac{\text{Tiempo o exposición}}{8 \text{ horas}} \times 100$$

Los criterios son:

- < 10: No expuesto.
- 10 – 40: Poco apreciable. No es preciso adoptar medidas.
- 40 – 70: Expuesto. Exposición significativa. Seguimiento ambiental y biológico.
- 70 – 130: Nivel de acción. Exposición límite. Necesita adoptar medidas correctoras y seguimiento ambiental y biológico.
- 130 – 200: Sobreexposición. Necesario adoptar medidas correctoras a corto plazo. Seguimiento ambiental y biológico personal.
- > 200: Situación crítica. Actuar de inmediato para corregir la situación. Muestreos ambientales y biológicos periódicos. Distribución y uso obligatorio de EPI's.

Para aquellos contaminantes con efectos aditivos, la dosis total se corresponde a la suma de las dosis parciales.

Por último se representan los valores VLA-ED de las sustancias que nos podemos encontrar en cualquier proceso de soldadura al arco (*Ver tabla 14*).

Tabla 14.

Contaminante	VLA-ED (en mg/m³)
Humos metálicos	
Humos totales de soldadura	5
Óxido de hierro (Humos y polvo)	5
Manganeso elemental	0,2
Óxido de níquel	1
Cromo VI	0,05 . C2
Humos de cobre	0,2
Óxido de zinc	5
Plomo	0,15
Óxido de magnesio	10
Óxido de aluminio	10
Sílice, humos	2
Molibdeno	5
Gases	
Ozono (trabajos fuertes)	0,05
Ozono (trabajos moderados)	0,08
Ozono (trabajos ligeros)	0,1
Monóxido de carbono	29
Dióxido de carbono	9.150
Dióxido de nitrógeno	5,7
Monóxido de nitrógeno	31 ppm
Recubrimientos	
Fosfina	100 ppm
Fosgeno	0,08

4.2. CONTAMINANTES FÍSICOS

a. Radiaciones no ionizantes

Para tratar de valorar los riesgos que tiene el soldador de recibir las diferentes radiaciones, se deben tener presentes las siguientes cuestiones:

- Tipo de acero.
- Intensidad de corriente o caudal del gas o de los gases.
- Posición y distancia del operario con relación al baño de fusión y al arco eléctrico.
- Iluminación del local, si es recinto cerrado o protegido.
- Sensibilidad óptica del soldador.
- Sensibilidad o hábitos propios de cada soldador.
- Curva experimental de la sensibilidad del ojo humano.
- Tipo de trabajo a realizar, en cuanto a exactitud y calidad.
- Intensidad en la franja del visible, que deja pasar la pantalla del soldador de cara a disminuir su fatiga visual.
- Presencia de otros soldadores cerca del puesto de trabajo (*Ver foto*).



Además habrá que valorar la peligrosidad que existe para **otros trabajadores** por el hecho de encontrarse cerca de los puestos de soldadores. Para ello se observará:

- Proximidad de estas personas a los puestos de soldadores.
- Existencia de superficies que pudieran reflejar la radiación del arco hacia estas personas.
- Uso de protección visual.
- Tiempo de exposición cerca de los soldadores.

b. Ruido

A la hora de realizar los correspondientes muestreos hay que tener bien presentes las condiciones de trabajo. Las principales variables son las siguientes:

- Respecto al tipo de soldadura.
- Respecto a las dimensiones del taller donde se realice el soldeo.
- Respecto al esquema del trabajo del soldador (tiempo de exposición, ciclos de trabajo, etc.).
- Respecto a operaciones que se estén realizando cerca del soldador y que puedan originar un aumento en los niveles de ruido.
- Etc.

Los equipos de medición a usar serán:

- Dosímetros acoplados al soldador, con el micrófono situado lo más cerca posible del oído y cuidándose de que el mismo quede dentro de la pantalla.
- Sonómetros para efectuar mediciones de ambiente.
- Calibrador para efectuar una calibración de los aparatos antes y después de cada medición.

Una vez efectuadas todas las mediciones, la valoración se elaborara siguiendo las premisas que dicta el R.D. 286/2006 sobre exposición de trabajadores al ruido.

Definiciones y conceptos generales

En este apartado se definen los conceptos más utilizados en la elaboración de este informe, y que están sacados del ANEXO I del Real Decreto antes mencionado.

- **Nivel de presión acústica continuo equivalente A ($L_{Aeq,t}$)**

Es el nivel en decibelios A obtenido a lo largo de un tiempo t , entre t_1 y t_2 , y viene dado por la fórmula:

$$L_{Aeq,t} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} = \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 \right]$$

Donde :

$P_0 \equiv$ presión acústica de referencia ($2 \cdot 10^{-5}$ pascuales).

$P_A \equiv$ presión acústica instantánea en dB (A).

Este valor lo da directamente el aparato utilizado.

- **Nivel diario equivalente ($L_{Aeq,d(t)}$)**

El valor anterior, se transforma en un ruido equivalente para toda la jornada (8 horas), por medio de la siguiente ecuación:

$$L_{Aeq,d(t)} = L_{Aeq,t} + 10 \cdot \log \left(\frac{T}{8} \right)$$

- **Nivel diario equivalente global ($L_{Aeq,d}$)**

Este valor se calcula cuando el trabajador está sometido a "m" ruidos diferentes ($L_{Aeq,d}$):

$$L_{Aeq,d} = 10 \cdot \log \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{i=m} T_i \cdot 10^{0,1L_{Aeq,d(i)}}$$

- **Nivel de pico**

Es el nivel de presión acústica máximo, obtenido a lo largo de toda la medición. Su valor viene dado en decibelios dB(C).

Valoración del riesgo

La valoración de la exposición al ruido, comprenderá la determinación para cada puesto de trabajo con riesgo, de los valores $L_{Aeq,d}$ y nivel de pico si procede, lo que permitirá clasificar cada puesto, en uno de los tres riesgos previstos en el R.D. 286/2006 antes indicado, y que resumimos en la siguiente tabla (*Ver tabla 15*):

Tabla 15.

OBLIGACIONES DEL EMPRESARIO	Valor inferior de exposición	Valor superior de exposición	Valor límite de exposición
	80 dB(A) $<L_{eq} \leq 85$ dB(A) $L_{pico} \geq 135$ dB(C)	85 dB(A) $<L_{eq} \leq 87$ dB(A) $L_{pico} \geq 137$ dB(C)	$L_{eq} > 87$ dB(A) $L_{pico} \geq 140$ dB(C)
Evaluación inicial de los puestos existentes	SI	SI	SI
Evaluación inicial de los puestos de nueva creación o modificación	SI	SI	SI
Evaluación periódica de los puestos existentes	Cada 3 años	Cada año	Cada año
Informar y formar a los trabajadores sobre los riesgos y medidas preventivas y de los resultados del control auditivo	SI	SI	SI
Suministrar protectores auditivos.	A quien lo solicite	A todos	A todos
Obligar a usar protectores auditivos	---	SI	SI
Control médico inicial a los trabajadores.	SI	SI	SI
Control médico periódico a los trabajadores	Cada 5 años	Cada 3 años	Cada 3 años
Desarrollar un programa de medidas técnicas y organizativas encaminadas a reducir el nivel de ruido.	---	SI	SI
Señalizar la obligación de usar protectores auditivos	---	SI	SI
Registrar y archivar resultados de evaluaciones técnicas y controles médicos	SI ⁽¹⁾	SI ⁽¹⁾	SI ⁽¹⁾
Delimitar los puestos de trabajo y restringir el acceso	---	---	SI

(1) Mantener archivados durante 30 años los datos de las evaluaciones y controles médicos

c. Calor

Para estudiar el clima termohigrométrico del ambiente del trabajo hay diversos métodos de valoración estandarizados:

Método Fanger de confort térmico

Este método incluye la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre – medio ambiente y que, por tanto contribuyen a la sensación de confort; estas variables son:

- Nivel de actividad (M).
- Características del vestido.
- Temperatura seca del aire (Ta).
- Humedad relativa (Hr).
- Temperatura radiante media (TRM).
- Velocidad del aire (Va).

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo.

El equilibrio térmico en sí mismo, esta sin embargo lejos de proporcionar sensación de confort; en efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en amplísima gama de combinaciones de situaciones ambientales y tasas de actividad, pero solo una estrecha franja de las mismas conducen a situaciones que el propio sujeto califique de confortables.

La finalidad del método es calcular el índice de valor medio (IMV). Fanger utiliza la siguiente escala numérica de sensaciones (*Ver tabla 16*).

Tabla 16.

IMV	Sensación
- 3	Muy frío
- 2	Frío
- 1	Ligeramente frío
0	Neutro (confortable)
1	Ligeramente caluroso
2	Caluroso
3	Muy caluroso

Una vez que se tiene calculado el IMV (NTP-74) se puede efectuar una valoración consultando la figura siguiente que arroja el porcentaje de insatisfechos, que fue obtenida en un estudio estadístico de 1.296 personas expuestas durante 3 horas a un ambiente determinado.

Método de temperatura efectiva

Las variables que se deben medir para llevar a la práctica este método son:

- Temperatura seca del aire (T_a).
- Humedad relativa (Hr).
- Velocidad del aire (V_a).

Una vez realizadas las mediciones se interpolan a las gráficas respectivas, en las que las zonas resaltadas delimitan las condiciones más óptimas.

Figura 31. Zona de confort para un hombre vestido y en reposo

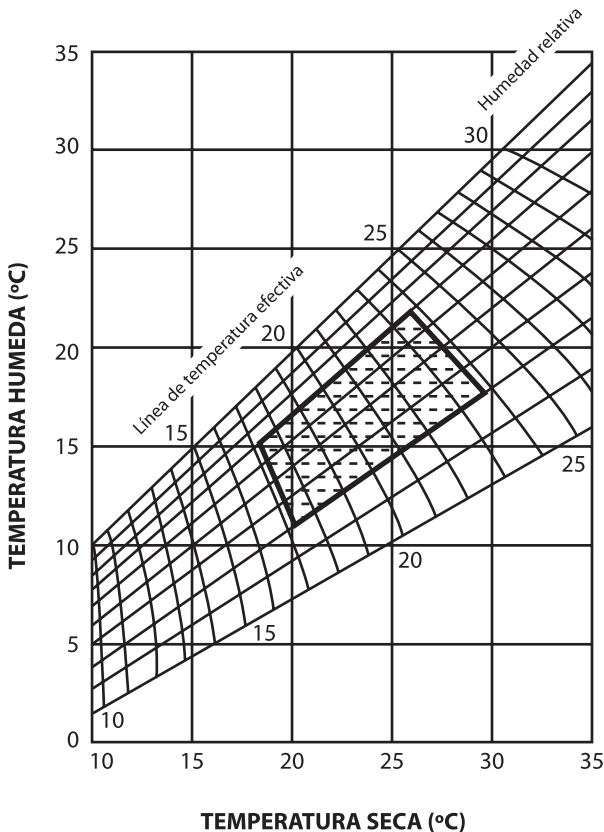
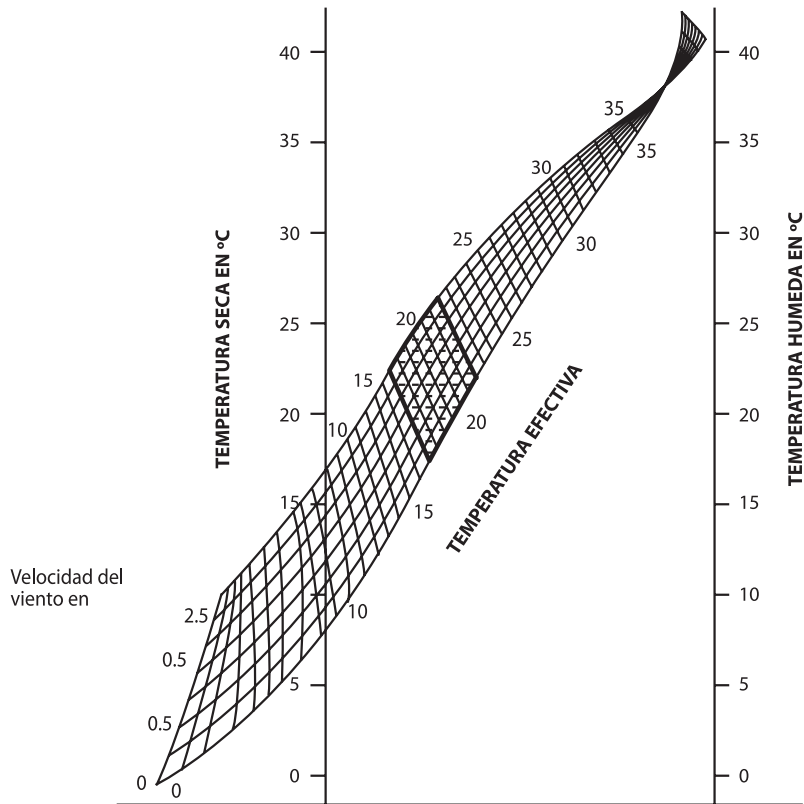


Figura 32. Zona de confort para un hombre vestido y en reposo, con inclusión del movimiento del aire



Método de estrés térmico: índice WBGT

El índice WBGT, se utiliza, por su sencillez para discriminar rápidamente si es o no admisible la situación de riesgo de estrés térmico, aunque su cálculo permite a menudo tomar decisiones, en cuanto a las posibles medidas preventivas que hay que aplicar.

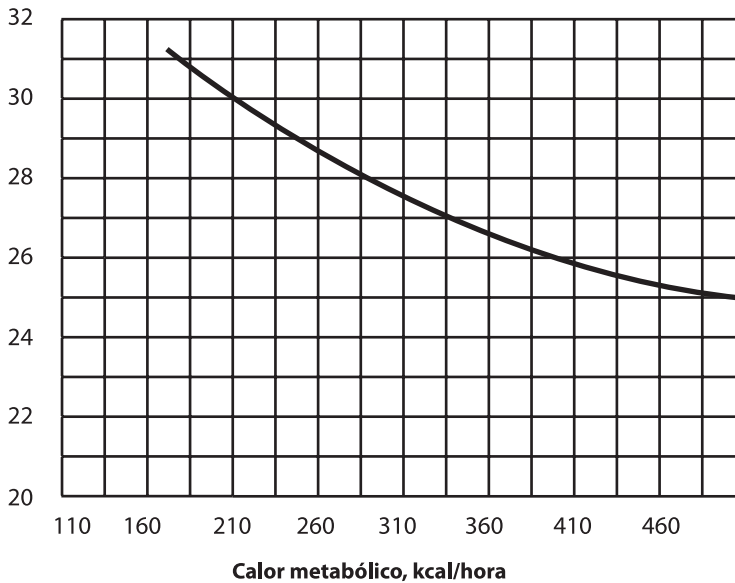
El índice WBGT se calcula a partir de la combinación de cuatro parámetros ambientales:

- Nivel de actividad (M).
- Temperatura seca del aire (Ta).
- Humedad relativa (Hr).
- Temperatura radiante media (TRM).

Este índice, expresa las características del ambiente y no debe sobrepasar un cierto valor límite que depende del calor metabólico que el individuo genera durante el trabajo (M). en la figura siguiente (*Ver figura 33*) se puede observar mediante la lectura en la curva correspondiente el máximo que puede alcanzar el índice WBGT según el valor que adopta M.

Figura 33.

WBGT, °C



El método también posibilita la adecuación de regímenes de trabajo-descanso.

Método de estrés térmico

Este método limita estrictamente el tiempo de permanencia en condiciones en las que la agresión térmica sea muy intensa, y cuál es la anulación del preceptivo periodo de reposo que debe seguir a la exposición antes de que pueda volver al trabajo.

El método se basa en el cálculo de la magnitud de los intercambios térmicos entre el hombre y el ambiente por medio de los tres mecanismos fundamentales: convección, radiación y evaporación. La cantidad de calor que el individuo debería eliminar por evaporación para alcanzar el equilibrio térmico sería:

$$E_{req} = M + C + R \text{ (en Kcal/h)}$$

Donde: M = calor generado por el organismo.

C = calor ganado o perdido por convección.

R = calor ganado por radiación.

El tiempo máximo de permanencia en el ambiente considerado, en minutos será:

$$t_{ex} = \frac{3.600}{E_{req} - E_{max}}$$

En una zona de reposo debe cumplirse que E_{max} sea superior a E_{req} , y el tiempo mínimo necesario de permanencia en la zona, t_r vendrá dado por:

$$t_r = \frac{3.600}{E_{max} - E_{req}}$$

La puesta en práctica del presente método exige el conocimiento de:

- Temperatura de rocío.
- Temperatura seca del aire (T_a).
- Velocidad del aire (V_a).
- Temperatura radiante media (TRM).

El cálculo de las diferentes magnitudes se hace mediante lectura directa en nomogramas.

Para medir todas estas magnitudes utilizadas en los diferentes métodos serán necesarios:

T_a	→	termómetro seco.
T_H	→	termómetro de bulbo húmedo.
V_a	→	anemómetro.
T_{RM}	→	globotermómetro.
M	→	existen tablas.

La elección de uno u otro método depende del grado de severidad de cada condición de trabajo. Tendremos que buscar aquel que más se amolde a nuestra situación.



5

MEDIDAS
PREVENTIVAS

5. MEDIDAS PREVENTIVAS

En este apartado se tratarán de buscar soluciones generales a los problemas que hayan podido surgir de la valoración efectuada del puesto. Se darán un abanico de medidas para cada riesgo, con el objeto de elegir la que fuera más adecuada en cada situación planteada.

Seguiré el mismo esquema que en los apartados anteriores, tratando cada riesgo por separado.

5.1. CONTAMINANTES FÍSICOS

a. Radiaciones no ionizantes

Tal y como ya se ha mencionado el riesgo de exposición a radiaciones la puede sufrir tanto el propio soldador como otro trabajador que tenga su puesto cercano a él. Por tanto se tratarán por separado.

Soldador

- Riesgo de lesiones oculares y quemaduras en la cara.

Para evitar este riesgo sólo existe un procedimiento posible, el empleo de la careta de soldadura o pantalla, a cuya imagen ha estado ligado inherentemente la figura del soldador.

Según el sistema de fijación empleado se clasifican en:

1. Pantallas de mano.

En las que el operario debe mantener sujeta la pantalla con una mano, mientras con la otra suelda. Poco a poco estas pantallas se van utilizándose menos por las incomodidades y posibles peligros que presentan a la hora de trabajar en situaciones específicas.

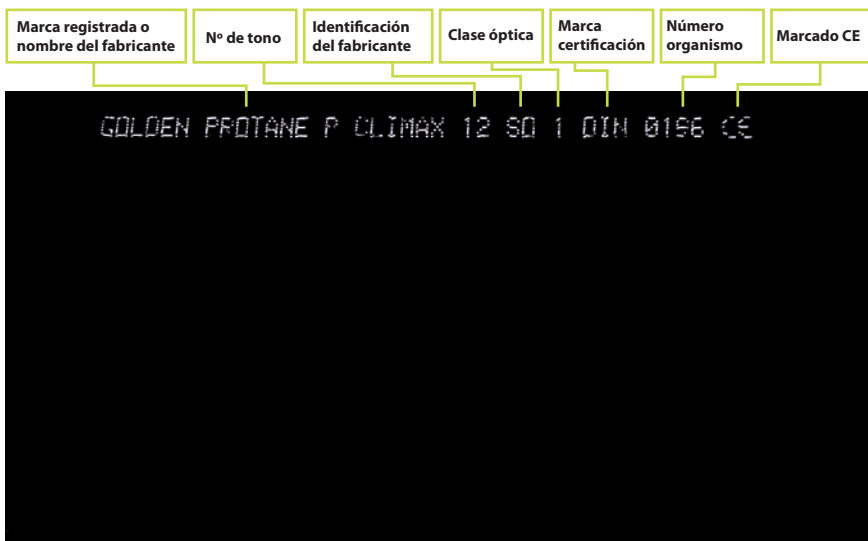
2. Pantallas de cabeza.

En las que el trabajador se ajusta la pantalla a la cabeza, con la posibilidad de levantarla en el momento en que lo requiera.

Las partes de las que consta una pantalla son:

- Cuerpo de la pantalla. Armazón rígido y opaco que debe cubrir por completo toda la cara del operario con el fin de evitar las quemaduras originadas por los rayos U.V.
- Filtros. Cristales inactínicos que se sitúan en una placa soporte. Situada sobre el ángulo visual, y que vienen clasificadas según el grado de protección.
- La identificación de estos oculares filtrantes (cristales inactínicos), se efectúa según la Norma Técnica Reglamentaria, con la numeración que a continuación se detalla (*Ver figura 34*) y con una anchura no superior a 5 mm.

Figura 34.



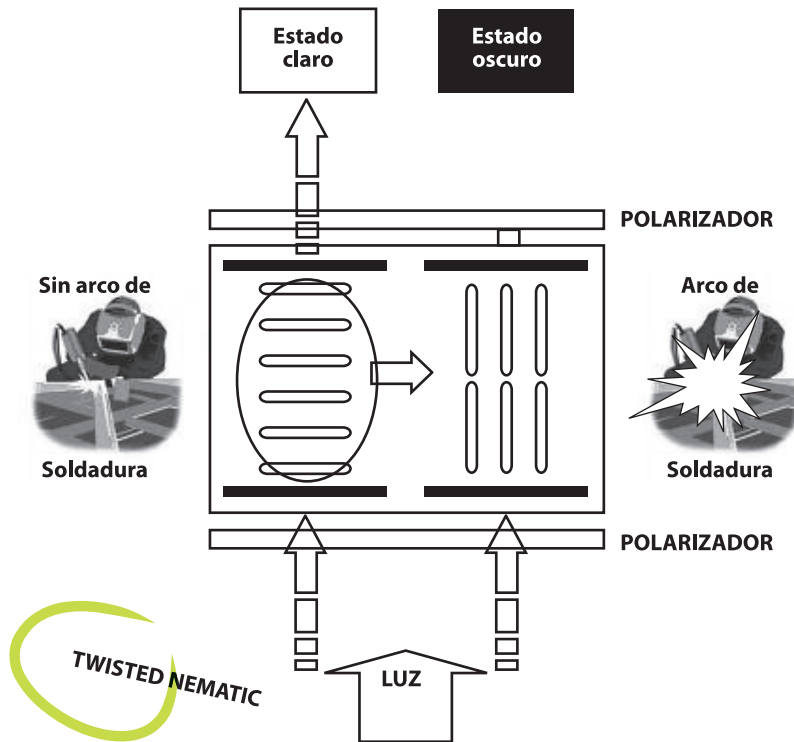
Como la producción de las radiaciones depende directamente del proceso de soldadura al arco y la intensidad empleada, la elección del filtro adecuado se verá supeditado a estas magnitudes. Por ejemplo en la EN-169 se muestra una tabla con esta consideración (Ver tabla 17).

Tabla 17.

Proceso	Intensidad de corriente, en Amperios																					
	1,5	6	10	15	30	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600	
Electrodos revestidos						8	9	10	11	12							13	14				
MAG						8	9	10	11	12							13	14				
TIG				8	9	10	11	12	13													
MIG con metales pesados								9	10	11	12	13	14									
MIG con aleaciones ligeras									10	11	12	13	14									
Resanado con arco-aire									10	11	12	13	14	15								
Corte por chorro de plasma								9	10	11	12	13										
Soldeo por arco microplasma	4	5	6	7	8	9	10	11	12													
Proceso	1,5	6	10	15	30	40	60	70	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500	600	

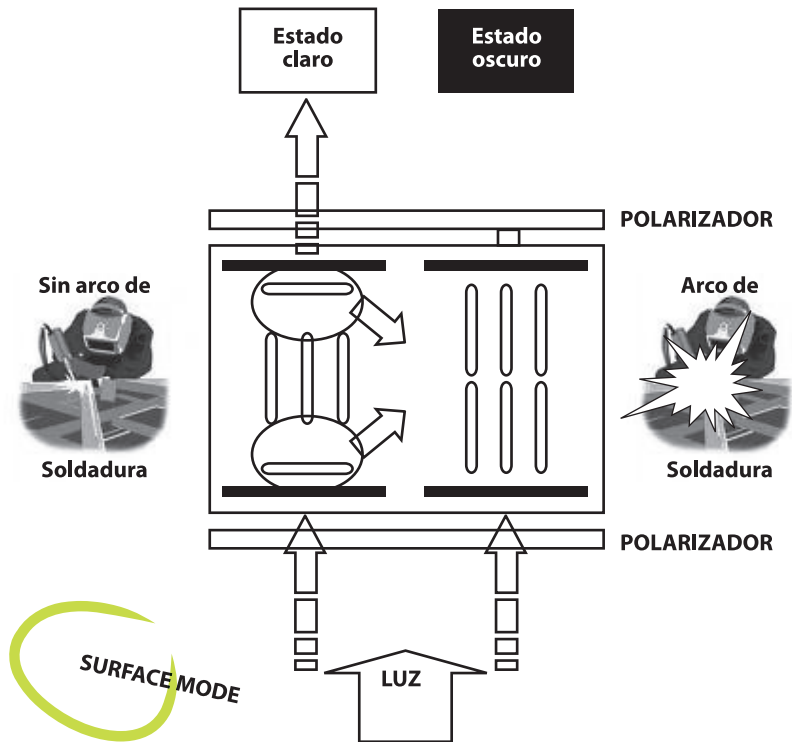
En la actualidad el diseño de las caretas persigue mejorar las condiciones de trabajo del soldador. Así las nuevas pantallas que salen al mercado incorporan filtros electrónicos que se oscurecen instantáneamente al aparecer el arco eléctrico. Estos filtros son cristales líquidos, cuyas moléculas en posición normal, se encuentran en reposo con sus ejes en paralelo a las superficies externas de los displays. Al aplicar un impulso de alto voltaje, las moléculas se polarizan en la dirección adecuada con objeto de oscurecer el filtro (Ver figura 35).

Figura 35.



Además, la técnica actual busca que el tiempo de oscurecimiento de la pantalla sea el menor posible de cara a mejorar al máximo las condiciones de trabajo del soldador. Con este fin, salen caretas en las cuales sólo las moléculas de cristal líquido adyacentes a las superficies externas reposan en paralelo. El área central del display permanece ocupada por moléculas orientadas perpendicularmente a las superficies externas del mismo. Al recibir el impulso eléctrico, sólo las moléculas adyacentes a las superficies externas necesitan rotar 90° para el oscurecimiento (Ver figura 36). Se han llegado a obtener con esta tecnología tiempos de oscurecimiento inferiores a 0.04 milésimas de segundo.

Figura 36.



Con el uso de estas pantallas se pueden obtener diferentes ventajas:

- Mejorar la seguridad del soldador.
 - Utilizando estos filtros se pueden efectuar las operaciones de picado de escoria que obligaban al operario a levantar la careta y, por tanto, a usar gafas de protección contra proyecciones debajo de la misma.
 - Estos filtros cubren todos los niveles de protección hasta DIN 14.
 - El operario en cada momento sabe dónde va efectuar la soldadura, con lo cual la careta no tendrá que levantarla para nada, disminuyendo la molestia que esto suponía.
- Mejorar la calidad del trabajo.
 - Pudiendo llegar a acceder a lugares difíciles sin necesidad de subir la careta.
 - Aumentando la producción.

En la *foto* siguiente se muestra una pantalla con filtro electrónico.



- Riesgo de quemaduras en otras partes del cuerpo.

La radiación U.V. que emite el arco eléctrico puede llegar a originar quemaduras en las partes del cuerpo que el soldador tenga desprotegidas. Así las prendas de protección individual a usar son:

- Guantes que ofrezcan protección y resistencia a la radiación y a la proyección de metales en fusión.



- Cierres de cuello o cualquier otra prenda que tape la zona que quede descubierta desde el mono de trabajo hasta la pantalla.
- Mono de trabajo que tape por completo el cuerpo y que este hecho de material ignífugo contra proyección de metales en fusión.
- Manguitos que ofrezcan protección y resistencia a la radiación y proyección de metales en fusión.

Protección colectiva

- Riesgo de lesiones oculares y posibles quemaduras.

Pueden darse dos situaciones normalmente:

1. Que el soldador necesite un ayudante cerca de él, en cuyo caso dicho ayudante usará también pantalla con filtro ocular.
2. Que existan personas en otros puestos de trabajo adyacentes. En este caso para proteger a estas personas se aislarán los puestos de los soldadores con unas cortinas o lamas que absorben los rayos U.V. (200-380 nm) y la luz azul (380-530 nm). Los rayos infrarrojos y visibles (> 720 nm) no son peligrosos a más de 2 metros de la fuente de emisión, por lo que esta será la distancia a la cual deberán colocarse las cortinas. Las cortinas a utilizar son recomendables que sean transparentes para tener siempre visible al soldador.



Esta protección es también efectiva cuando comparten varios soldadores el mismo espacio de trabajo. Aislar el puesto sería la solución de cara a evitar los posibles reflejos entre ellos. Cualquier otro sistema que absorbe las radiaciones sería igualmente válido.

b. Ruido

Si las mediciones efectuadas arrojan valores peligrosos y por encima de los niveles límite que marca el R.D. 286/2006, hay que actuar sobre alguna de las tres fases en que se puede intervenir.

- Sobre el foco que origina el ruido.
- Sobre el medio que existe entre el foco y el oído del soldador.
- Directamente sobre el receptor, que en este caso es el soldador.

Tal y como se ha explicado en apartado anteriores, la operación de soldadura en sí misma, no constituye un foco de ruido muy elevado. Es normal, que el ambiente del soldador se vea “contaminado” por otros puestos, que provoquen niveles tan altos, que el propio ruido que ocasione el soldador sea insignificante y no influya de manera importante en una posible medición.

Si ocurre este hecho hay que actuar directamente sobre esos puestos:

- Sobre el foco:
 - Diseñando el proceso de otra forma, buscando métodos menos ruidos.
 - Aislando el proceso anteponiendo barreras acústicas.
- Sobre el medio:
 - Aumentando la distancia física entre emisor y receptor de tal forma que el nivel de ruido se atenúe lo suficiente.
- Sobre el soldador:
 - Disminución del tiempo de exposición.
 - Proporcionarle protección personal compatible con la pantalla.

Si se diera el hecho de que los niveles de ruido los causa exclusivamente **el propio soldador** existen algunas posibles soluciones:

- Sobre el foco:
 - Diseñando el proceso de soldadura de otra forma. Por ejemplo, variando la intensidad hasta un punto en el cual la expansión del gas sea menos ruidosa.
- Sobre el medio:
 - Facilitarle al soldador los medios adecuados para que se sitúe a la mayor distancia del arco que sea posible.
- Sobre el soldador:
 - Disminución del tiempo de exposición.
 - Adecuación de protección personal. Debido al uso de la pantalla es aconsejable que se utilicen tapones o tapones con banda incorporada.

c. Calor

Los resultados obtenidos con los diferentes métodos de valoración expuestos, nos proporcionarían las pautas generales a la hora de aplicar las medidas correctoras para cada caso.

Estas pautas consistirán en jugar con las diferentes variables termohigrométricas determinantes para cada puesto, con el fin de obtener una situación ventajosa desde el punto de vista del clima de trabajo.

Así, un puesto que haya sido evaluado por el método **WBGT**, y se obtenga a la hora de interpolar en la curva un punto que supere los valores permitidos, será una situación no deseable. Con una disminución de la humedad relativa del ambiente, mediante la introducción de aire seco en el lugar de trabajo, se podría, por ejemplo entrar en unos valores aceptables.

Siendo un poco más específicos, si tenemos en cuenta que las aportaciones térmicas del ambiente pueden proceder del exterior (calor solar) o de alguna fuente de calor interna de la empresa, se comprenderá que los sistemas de corrección y control del ambiente deberán ir encaminados en primer lugar a actuar sobre las fuentes de calor, para continuar con estudios de acondicionamiento del aire y actuaciones sobre el individuo, recurriendo en último lugar, si no se ha podido lograr un ambiente térmico permisible, a los medios de protección individual.

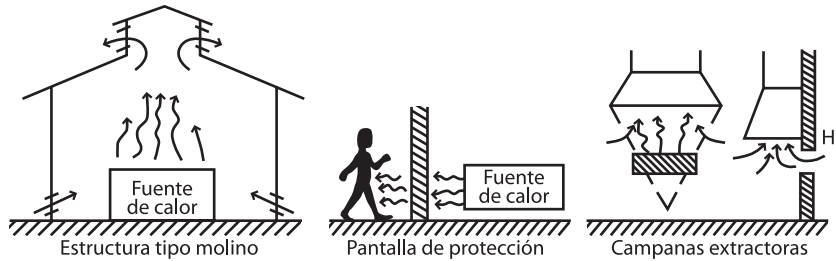
En la siguiente tabla (*Ver tabla 18*) se señalan las diferentes formas de actuación contra el estrés térmico.

Tabla 18.

Formas de actuación frente al estrés térmico		
Actuación sobre las fuentes de calor	· Protección contra las fuentes de calor exteriores	· Tabiques opacos · Tabiques de vidrio
	· Protección contra las fuentes de calor interiores	· Convectivas: campanas extractoras o estudio de edificios · Radiactivas: pantallas
Actuación sobre el medio	· Ventilación de locales · Acondicionamiento de aire	
Actuación sobre el individuo	· Reducción de la producción de calor metabólico · Limitación de la duración de la exposición · Creación de un micro-clima en el puesto de trabajo · Control médico · Protección individual	

En la siguiente figura (*Ver figura 36*) se representan diferentes formas de controlar el calor producido en operaciones industriales, cuando este es transmitido por convección, mediante aberturas o huecos dispuestos en la parte superior del edificio para facilitar el escape del aire caliente y aberturas inferiores para facilitar la entrada de aire fresco, o mediante campanas extractoras situadas encima de las fuentes de calor.

Figura 37.



A mi juicio los dos principales problemas que se encuentra un soldador en relación con su clima de trabajo son:

- En general, mal diseño de las naves que no tienen en cuenta la importancia de la ventilación general.
- La necesidad, ligada con la seguridad, del soldador de equiparse con protección individual (mandiles, manguitos, guantes, etc.). Este factor se estimaría en 1,1 clo si estamos hablando del método **Fanger** y una modificación de -2°C en el índice **WBGT**. Habrá que buscar pues tejidos de protección para estas prendas que permitan la evaporación del sudor y circulación del aire interior. Esta última medida es más difícil de poner en marcha, ya que existe un pulso entre la seguridad y las condiciones ambientales del puesto de trabajo.

5.2. CONTAMINANTES QUÍMICOS

En esta sección se enumerarán algunas de las posibles soluciones a los riesgos planteados en relación con la formación de los distintos contaminantes químicos. Se ofrecerá asimismo, algún ejemplo de dichas aplicaciones. Por último se entrará más en profundidad en el tema de la instalación de aspiración localizada, principal y más eficaz medida, a priori, en la disipación de los contaminantes ambientales.

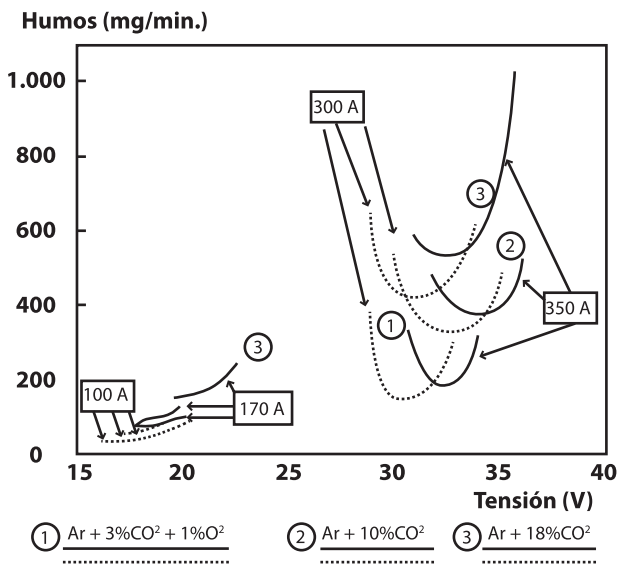
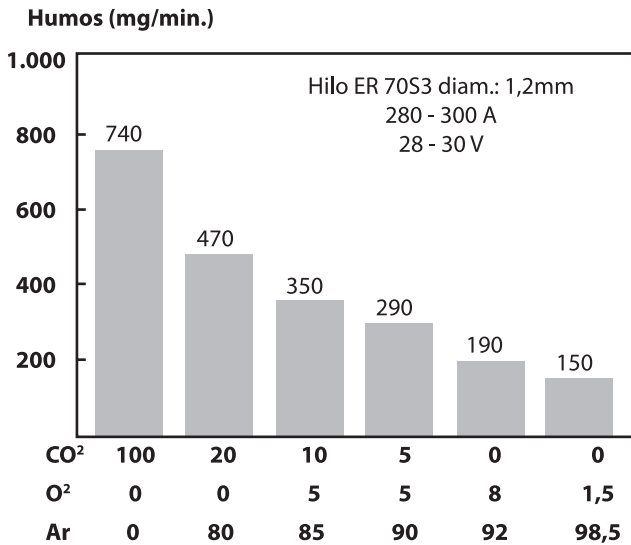
Las siguientes alteraciones del proceso de soldadura, pueden ayudar a reducir los niveles de humo y gases y pueden ser utilizadas en combinación con otros métodos.

MIG/MAG

Es aconsejable, para reducir las tasas de humo, usar un gas de protección lo menos oxidante posible, que sea compatible con las exigencias operatorias. En

base a esta conclusión hay diferentes mezclas de gases de protección destinadas a la soldadura MIG/MAG. Se comprueba experimentalmente que usando un gas de protección con mayor contenido en argón y menor en CO_2 , la tasa de humos se reduce notablemente (Ver figura 38).

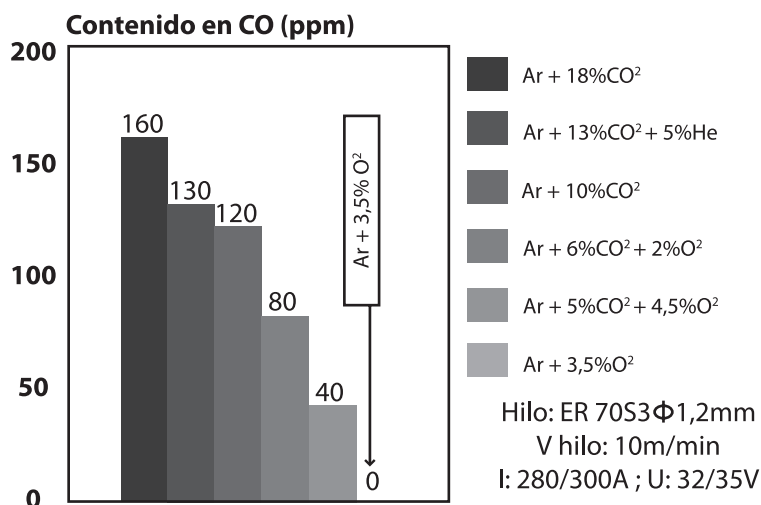
Figura 38.



Soldadura con hilos tubulares

En la soldadura con hilos tubulares se dispone de un mayor grado de libertad, que permite considerar el desarrollo del par de hilos tubulares/gas, cuya utilización no provoca la formación de CO. Como la cantidad de CO formada esta en relación directa con el contenido en CO₂ del gas de protección (*Ver figura 39*) había que adaptar la formula de los hilos para que tuviesen las propiedades operativas requeridas con un gas que no tuviese nada de CO₂.

Figura 39.



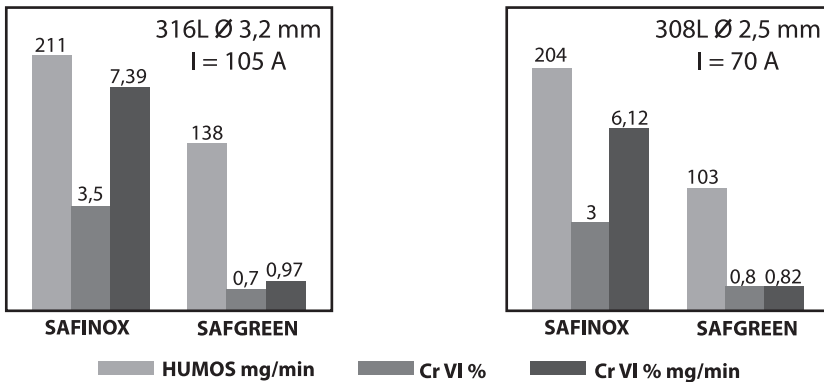
Para reducir el nivel de humo el gas de protección debe de ser lo menos oxidante posible.

Soldadura con electrodos revestidos

La tasa de emisión de humos depende fuertemente de la naturaleza del revestimiento. Los electrodos de rutilo tienen una tasa entre el 0.8 y el 1 % de la tasa de metal depositado, mientras que los electrodos básicos la tasa está entre el 1.5 y el 2 %.

La elección entre aquellos electrodos fuertemente aleados y electrodos para la soldadura de acero inoxidable, irá en beneficio de aquellos que produzcan humos con menor concentración de Cr VI (*Ver figura 40*).

Figura 40.

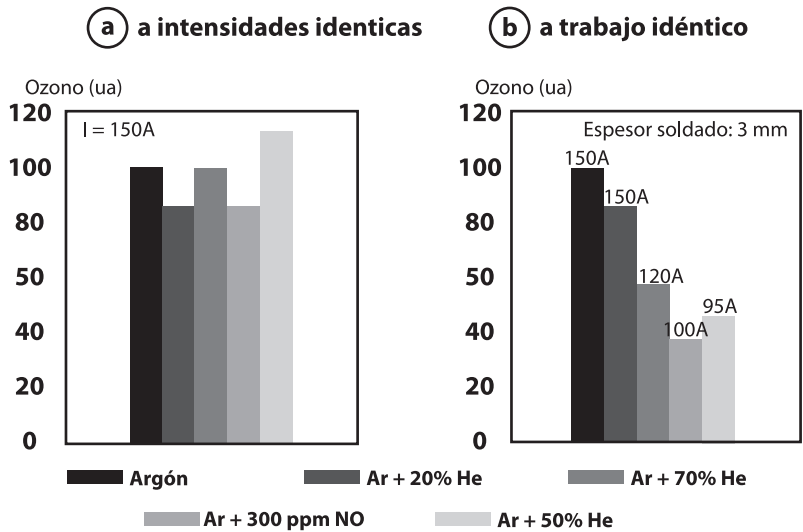
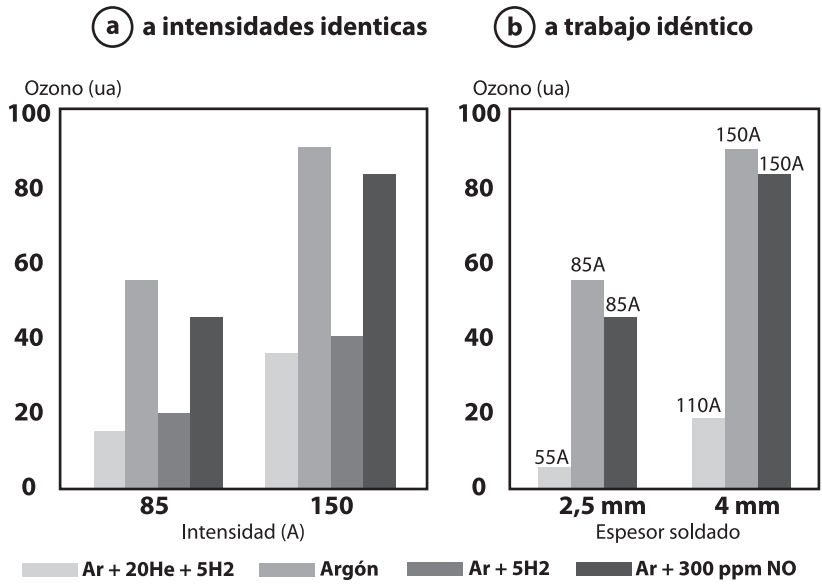


	Humos mg/min	Cr VI %	Cr Tot %	Fe %	Ni %	Mn %	Mo %	Na %	K %	Li %
Safinox 308L Ø 2,5 mm	204	3,0	5,6	8	0,6	5,9	-	2,4	32	0,06
Safinox 308L Ø 2,5 mm	103	0,8	6,7	9	0,65	5,7	-	1,5	1	5,6
Safinox 308L Ø 2,5 mm	211	3,5	5,8	5,5	0,55	5,8	0,48	3,0	28	0
Safinox 308L Ø 2,5 mm	138	0,7	5,4	5,3	0,78	5,3	0,65	0,8	0,6	5,1

Soldadura TIG

El principal riesgo es la formación de ozono. Para reducir al mínimo la emisión de ozono hay que minimizar al máximo posible la radiación en la banda espectral de 130-180 nm. Esto se puede conseguir sustituyendo el helio por el argón. También se puede reducir de una forma considerable utilizando mezclas gaseosas con la cantidad máxima de helio e hidrógeno. Por último se pueden introducir en el gas moléculas gaseosas, las cuales tienen un gran poder de reacción contra el ozono, llegando a provocar su destrucción. Estas premisas se pueden ver en la figura siguiente (*Ver figura 41*).

Figura 41.



Otras consideraciones de carácter general para disminuir la concentración de humos en la soldadura son:

Se buscarán los procesos que producen los niveles de humo más bajos:

- SAW.
- Cambio del modo de transferencia de la gota.

Los modos en orden de mayor producción a menor producción de humo son:

Spray > Globular > Arco > Cortocircuito

- Modificar los parámetros de soldadura: reducir la corriente, bajar el factor de marcha, etc.
- Utilizar fuentes de corriente con tecnología moderna.

5.2.1. Ventilación del proceso

Se mantendrá una ventilación general adecuada para diluir concentraciones de humo peligrosas. Esta ventilación tendrá las suficientes renovaciones de aire para conseguir reducir la concentración ambiental al mínimo.

También existen sistemas de limpieza de aire como extractores estáticos (*Ver foto página siguiente*) sistemas de limpieza de aire centralizados que captan, filtran y recirculan el aire. Para ser efectivos tienen que ser diseñados para efectuar un mínimo de 5 ó 6 renovaciones/hora.

Los sistemas que limpian y recirculan el aire ambiente deben de ser utilizados en combinación con otros métodos de control de humos, ya que normalmente no son capaces de diluir los contaminantes antes de que alcancen la zona de respiración.

A continuación se tratarán las alternativas a la ventilación general para reducir el riesgo por inhalación de humos de soldadura.

Extracción localizada

Durante los últimos 20 años la experiencia ha demostrado que la ventilación mediante la extracción de humos en su origen es el método más eficaz para resolver el problema de exposición del soldador a humos de soldadura y otros contaminantes químicos.

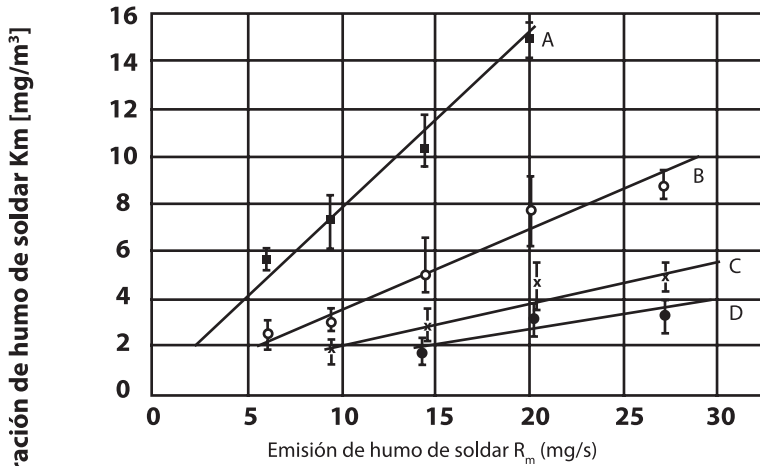


En estudios como los efectuados en la figura siguiente (*Ver figura 42*) se comprueba experimentalmente que la combinación de una buena ventilación natural con la aspiración localizada es el mejor método para reducir la concentración de humos de soldar.

- Requisitos a cumplir por los equipos de extracción de humos.

Para resolver los problemas de los humos y justificar las inversiones y los costos de funcionamiento de una instalación, hay que tomar en consideración diversos aspectos:

Figura 42.



Influencia de los tipos de ventilación en la reducción del volumen de los humos de soldadura en la zona de respiración, en función de la cantidad emitida.

A - Su medida de protección

B - Con cambio de aire dos veces por hora

C - Con aspiración local

D - Con aspiración local y cambio de aire dos veces por hora

a. Extracción

El cabezal para la aspiración y el flujo de aire tienen que tener el diseño y dimensiones adecuadas para aspirar el humo. En procesos de soldadura protegidos por gas, por ejemplo en los procedimientos TIG, la extracción de humos no debe influir en la función del gas protector.

b. Comodidad de utilización

El equipo tiene que ser fácil de usar. La experiencia muestra que el equipo ha de ser revisado y mantenido correctamente. Para motivar al soldador el equipo ha de ser fácil de trasladar y de utilizar.

c. Flexibilidad

La inversión en el equipo de extracción de humos debe hacerse tomando en consideración el procedimiento de soldadura, las construcciones a soldar y las áreas de trabajo.

d. Recirculación

Entre la gama de productos y sus aplicaciones de que se disponen hoy día los sistemas se tratan de dos formas diferentes: los sistemas fijos extraen el humo hacia el exterior y el aire evacuado se repone con aire fresco procedente del exterior. Los grupos móviles y portátiles recirculan el humo a través de una filtración mecánica de las partículas. El resultado, no obstante, no es posible calcularlo exactamente. Esto se debe a la dificultad de asegurar un funciona-

miento eficaz de los filtros durante su vida de servicio. Si se sabe que en lugares cerrados (tanques, virolas, etc.) la recirculación no es general permitida.

- **Diferentes sistemas y equipos de extracción.**

Existe la tendencia a que la extracción de humos se convierte en una parte integral del equipo y método de soldadura, y no de un sistema de ventilación separado. No obstante, es importante considerar las implicaciones que la extracción del humo de soldadura tiene sobre el sistema general de ventilación de un taller, especialmente cuando, para extraer los humos de soldadura se requieren grandes volúmenes de aire. En realidad, el volumen de aire extraído puede variar entre 125 y 1.000 m³/h por soldador, dependiendo del sistema y los productos elegidos.

Existen dos métodos básicos para atrapar el humo en el lugar donde se efectúa la soldadura:

Gran volumen

Extracción con bajo grado de vacío (LVE), 1.000 m³/h. la extracción se efectúa con la ayuda de la fuerza de ascensión de los gases generados por el proceso de soldadura y la convección de un volumen de aire. Se necesita un segundo volumen de aire para producir un tiro suficiente en la campana, para atrapar el humo y dirigirlo hacia el conducto de salida.

Pequeño volumen

Extracción con elevado grado de vacío (HVE), 50-100 m³/h. Mediante este método los humos se arrastran dentro de la boquilla por la fuerza dinámica de la velocidad de la corriente de aire extraído (0,5 a 2 m/seg en el punto de soldadura, alcanzando los 25 m/seg en la campana). Para alcanzar este objetivo la boquilla tiene que estar situada de unos 20 a 50 mm del punto de soldadura.

- **Dispositivos para la extracción y boquillas.**

Los métodos existentes en el mercado son:

- Extracción mediante una toma integrada en la pistola.
- Boquillas en mangueras de extracción desplazables.
- Campanas colocadas en un brazo giratorio.
- Campanas fijas o boquillas modificadas para que se adapten a la pieza.
- Mesas de soldadura.



Extracción integrada en la pistola

Esto se puede conseguir de dos formas:

- Utilizando una pistola con extracción integrada.
- Acoplando una boquilla de aspiración a la pistola existente.

Tabla 19.

Ventajas	Desventajas
Volumen de aire: la extracción se efectúa muy próxima al origen de los humos, por lo que el caudal de aire será de 150 a 250 m ³ /h	Peso: algunas de las pistolas existentes pueden ser voluminosas y pesadas dependiendo del amperaje
Flexibilidad: las pistolas con extracción integrada han de conectarse a un equipo de alto grado de vacío. Las mangueras serán de 20 a 25 mm de diámetro. Alcance desde la válvula 10 m, máximo alcance desde los conductos fijos aproximadamente 55 m	Gas protector: el flujo y la velocidad del aire han de regularse correctamente, de forma que la extracción de humos no perturbe la acción del gas protector
La aspiración estará siempre en funcionamiento mientras se esté soldando	Según la posición de la pistola de soldar la extracción puede ser más o menos eficaz

Boquillas de extracción desplazables (Boquereles)

Se dispone en el mercado de diversas boquillas de extracción desplazables, en diferentes tamaños y diseños, dependiendo de los procedimientos de soldadura, la pieza de trabajo y la capacidad. La boquilla queda adherida mediante una brida magnética. En materiales no férricos es corriente usar una bomba de vacío.

Tabla 20.

Ventajas	Desventajas
Volumen de aire: la extracción se efectúa próxima al origen de los humos (entre 100 y 250 mm), por lo que el caudal de aire será de 400 a 600 m ³ /h	Situación: la boquilla tiene que estar a unos 20 o 50 mm del origen de los humos
Flexibilidad: las pistolas con extracción integrada han de conectarse a un equipo de alto grado de vacío. Las mangueras serán de 20 a 25 mm de diámetro. Alcance desde la válvula 10 m, máximo alcance desde los conductos fijos aproximadamente 55 m	Gas protector: el flujo y la velocidad del aire han de regularse correctamente. No es adecuada para soldadura TIG
Utilización: las boquillas son fáciles de usar. Pueden utilizarse en construcciones complicadas, así como en chapas metálicas lisas	

Campana de extracción

Las campanas están montadas sobre brazos giratorios fijados a la pared o en grupo móviles. El alcance del brazo oscila entre 2 y 8 m y puede moverse tanto horizontalmente como verticalmente.

Tabla 21.

Ventajas	Desventajas
Posición: la campana puede situarse a 300-500 mm del origen de los humos	Volumen de aire: El caudal de aire será de 1.000 m ³ /h, lo que significa que debe considerarse una ventilación adicional
Gas protector: la velocidad del aire en el lugar de soldadura es muy baja. No tiene ningún efecto sobre el gas protector	Dimensiones: utilizando una extracción con bajo grado de acción, se necesita una conducción de diámetro 150 a 600 mm en la pared
Utilización: se coloca fácilmente en la posición adecuada. Puede usarse en todos los procesos de soldadura	Flexibilidad: únicamente puede utilizarse dentro del alcance dado. Es de difícil uso en construcciones complicadas y en espacios reducidos.



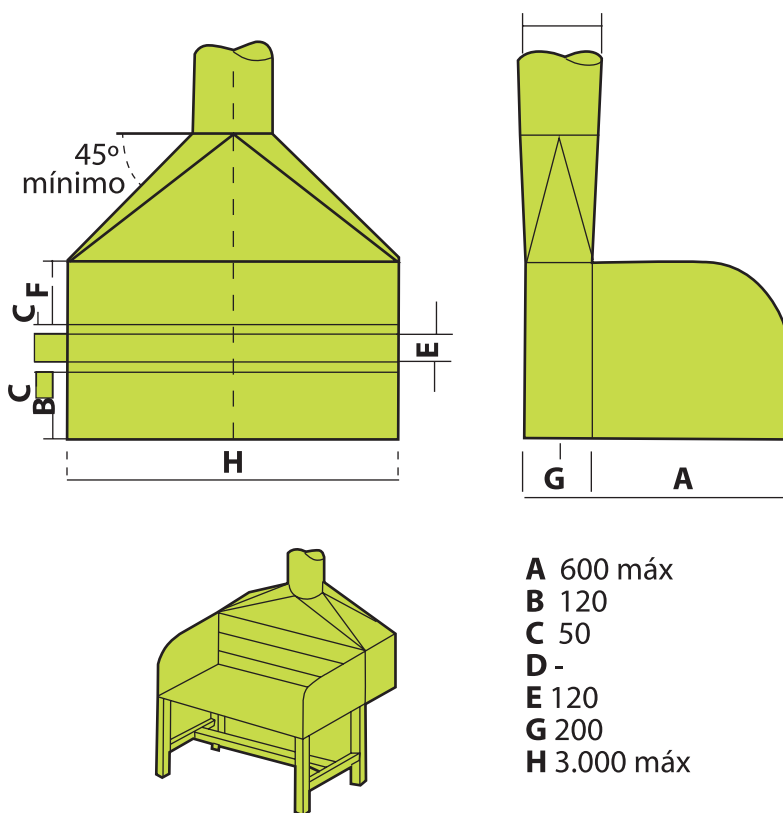
Campanas fijas o boquillas adaptadas a las piezas

En la soldadura de piezas o conjuntos en útiles o gálipos de armado, puede considerarse la opción de tener una instalación permanente de extracción por boquillas adaptadas a la pieza.

Mesas de soldadura

Cuando se dispone de una zona fija en el taller para trabajos de soldadura se puede diseñar una campana fija sobre la mesa o una mesa de soldadura con aspiración frontal y las siguientes características.

Figura 43. Mesa fija de soldadura con extracción posterior. Cotas recomendadas

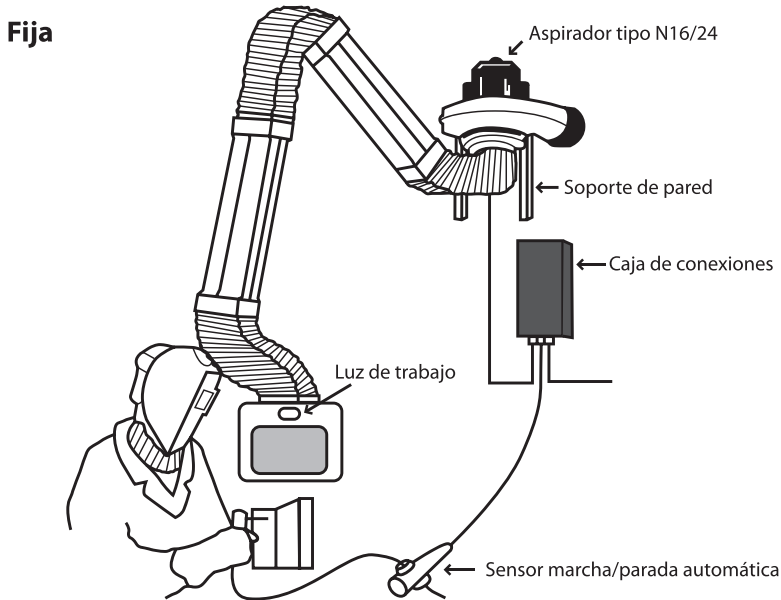


• Equipos y aplicaciones

Brazo giratorio con ventilador (LVE)

Un brazo giratorio es un elemento versátil para la mayoría de los procesos de soldadura. El brazo puede equiparse con una luz. Para evitar la extracción de aire y el ruido se puede equipar al ventilador un sistema de arranque-paro. El aire extraído se expulsa sin filtrar a la atmósfera.

Figura 44. Brazo giratorio



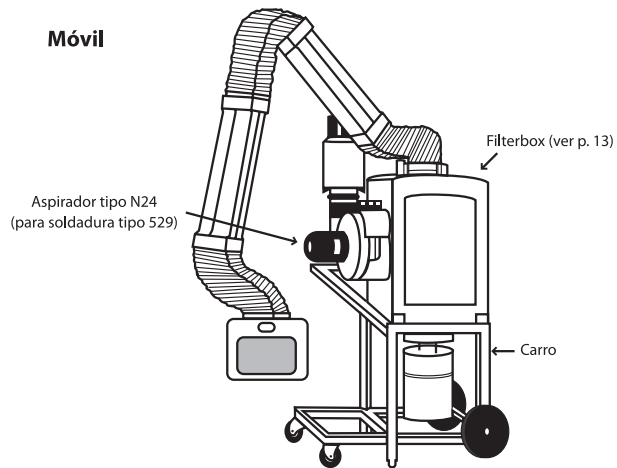
Aplicaciones:

- Como un punto de extracción en un sistema centralizado.
- En pequeños talleres con poco soldadores.
- En puestos fijos de soldadura.
- Para soldadura TIG.

Grupo móvil con brazo giratorio (LVE)

El grupo tiene también una gran flexibilidad y es muy versátil para diferentes procesos de soldadura. En la mayoría de los casos se usa para un solo soldador. Se emplea la recirculación de aire, después de filtrado al taller. Debido a su peso se utiliza en el suelo, desplazable sobre ruedas.

Figura 45. Grupo móvil



Una variante de este sistema en el que no se filtra el aire extraído es comúnmente usado en soldaduras en recintos con poca ventilación y en los que el soldador debe acceder. Lo constituye un ventilador desplazable unido a unas mangueras y una campana que diluirán el ambiente. En estos casos en alguna ocasión se juega con invertir el motor del ventilador para “impulsar” aire limpio al interior del recinto.



Aplicaciones:

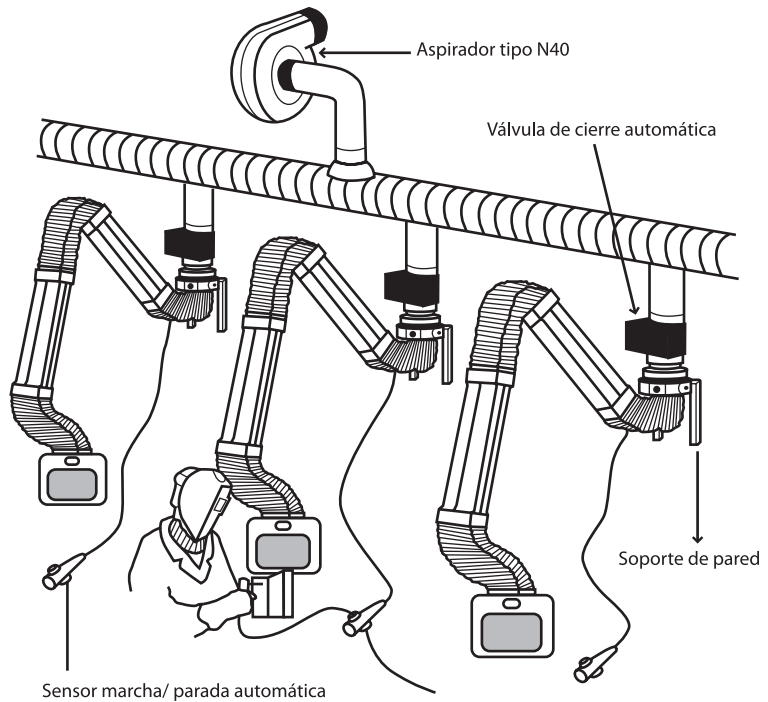
- Como un punto de extracción en un sistema individual.
- En pequeños talleres con poco soldadores.
- En puestos móviles de soldadura.
- En recintos con poca ventilación y/o confinados.
- Para soldadura TIG.

Sistema centralizado con brazos giratorios (MVE)

Básicamente el sistema deberá tener las mismas ventajas que un brazo giratorio con ventilador. Dependiendo del número de brazos giratorios y de campanas, la instalación necesitará unas prestaciones mayores. Los brazos giratorios pueden equiparse con válvulas automáticas, para impedir un exceso de ventilación así como reducir el ruido y el consumo eléctrico.

Figura 46.

Sistema centralizado



Aplicaciones:

- En talleres con cierto soldadores.
- En puestos fijos de soldadura.
- Escuelas de aprendizaje.

5.2.2. Otras medidas

Existen otros tipos de medidas de carácter colectivo que se pueden aplicar para reducir el riesgo:

Reducción del tiempo de exposición

Aplicando factores organizativos para posibilitar la rotación de trabajadores sobre todo en los trabajos más penosos, así como instaurar descansos periódicos a lo largo de la jornada laboral.

Sustitución de productos

En ocasiones se puede estudiar la posibilidad de elegir materias primas y consumibles que contengan menos contenido en la aleación de metales considerados como más peligrosos.

Alejamiento al foco de emisión

En ocasiones el soldador puede interponer una mayor distancia entre sus vías respiratorias y el foco de soldadura cambiando de posturas, eligiendo un cristal o pantalla más adecuado que facilite la visión, usando una pantalla que incorpore un mayor cerramiento en la zona de la barbilla, etc.

Mantenimiento

Llevar a cabo una limpieza de las instalaciones para evitar la propagación del polvo depositado en el suelo al ambiente, realizar un mantenimiento de las bocas de las pistolas de soldadura (para evitar que el flujo de gas protector produzca poros en la soldadura con el consiguiente aumento del nivel de tasas de humo).

Equipos de protección individual

- Debido a la incomodidad que representa el uso de mascarillas existe la alternativa de equipar a los soldadores con un equipo autónomo de aporte de aire a través de la pantalla de soldar. Esta protección está compuesta por una bomba (1) que recoge aire pasándolo a través de un filtro de carbón activo (2) y, una vez limpio, penetra por la parte trasera de la pantalla (3) creando una leve presión positiva en su interior que impide la entrada de los humos procedentes de la soldadura. El equipo lo lleva fijado el trabajador a su cintura mediante un arnés, pudiéndolo desconectar de la pantalla

mediante dispositivo de conexión rápida. Es un equipo que da plena libertad al trabajador pero que tiene los inconvenientes de realizar un mantenimiento adecuado de los filtros y la imposibilidad de usarlos en recintos con reducida ventilación (*Ver foto en página siguiente*).

- Como última de las opciones posibles se encuentra la de usar **mascarillas autofiltrantes** para partículas tipo FFP (1, 2 o 3 según el nivel de concentración). Esta medida está desaconsejada en zonas con poca ventilación y deficiencia de oxígeno. Existen en el mercado mascarillas equipadas con filtros de carbón activo, especial para soldadores para filtrar, básicamente el ozono. Una característica imprescindible de toda mascarilla es que sea cómoda y disponga de válvula exhaladora.

5.2.3. Vigilancia de la salud

Se hace muy relevante la necesidad de llevar una vigilancia de la salud adecuada para este colectivo. Según se definen en la siguiente tabla (*Ver tabla 22*) el soldador tiene riesgo de desarrollar una EEPP según los condicionantes que marquen su trayectoria laboral.

En relación con la inhalación de humos de soldadura, tal como se indica en la tabla anterior, actualmente se dispone de los siguientes protocolos aprobados por las autoridades sanitarias:

- Protocolos de aplicación general a todos los soldadores:
 - “Silicosis y otras neumoconiosis”.
 - “Asma laboral”.
- Protocolos de aplicación a soldadores expuestos a ciertos contaminantes:
 - “Plomo”.
 - “Amianto”.

En los casos de exposición a otros posibles contaminantes diferentes a los señalados, como pueden ser el cromo, el níquel, el cadmio, el cobre, etc. cuyos protocolos específicos se encuentran en periodo de elaboración, será el propio personal médico de los servicios de prevención el que determine el protocolo a aplicar según su criterio profesional. Así, se puede significar que hay ciertos metales que disponen de VLB (valor límite biológico) por lo que se tratará de efectuar pruebas determinadas a los soldadores para llevar a cabo una comparación con dichos valores.



Tabla 22. Humos de soldadura y enfermedades profesionales

Referencias expresas a actividades de soldadura en el cuadro de enfermedades profesionales aprobado por el R.D. 1299/2066 (*)			
Actividades mencionadas	Enfermedades indicadas	Código	
Soldadores	Rinoconjuntivitis	4 I 01 26	
	Urticarias, angiodemas	4 I 02 26	
	Asma	4 I 03 26	
	Alveolitis alérgica extrínseca	4 I 04 26	
	Síndrome de disfunción de la vía reactiva	4 I 05 26	
	Fibrosis intersticial difusa	4 I 06 26	
	Fiebre de los metales	4 I 07 26	
	Neumopatía intersticial difusa	4 I 08 26	
Trabajos de soldadura y corte	Enfermedades causadas por Óxido de carbono (CO)	1 T 01 04	
Soldadura de arco	Enfermedades causadas por Óxido de nitrógeno	1 T 03 04	
Soldadura y oxicorte de aceros inoxidable	Enfermedades causadas por Cromo III	1 A 04 13	
	Enfermedades causadas por Níquel	1 A 08 09	
	Neoplasia maligna de cavidad nasal	Por Cromo VI	6 I 01 13
		Por Níquel	6 K 01 08
	Neoplasia maligna de bronquio y pulmón	Por Cromo VI	6 I 02 13
		Por Níquel	6 K 03 08
	Cáncer primitivo de etmoides y de los senos de la cara	6 K 02 08	
Soldadura de objetos de plomo o sus aleaciones	Enfermedades causadas por Plomo	1 A 09 02	
Estañado con aleaciones de Plomo	Enfermedades causadas por Plomo	1 A 09 03	
Trabajos con soplete de materias recubiertas con pinturas plumbíferas	Enfermedades causadas por Plomo	1 A 09 11	
Soldadura con compuestos de Mn	Enfermedades causadas por Manganeso (Mn)	1 A 06 06	
Soldadura con electrodos de Mn	Enfermedades causadas por Manganeso (Mn)	1 A 06 15	
Soldadura y oxicorte de piezas con Cadmio	Enfermedades causadas por Cadmio	1 A 03 06	
	Neoplasia maligna de bronquio, pulmón y próstata	6 G 01 06	
Soldaduras con Antimonio	Enfermedades causadas por Antimonio	1 B 01 03	
	Enfermedades causadas por Antimonio	4 G 01 03	
Utilización de acroleína en la soldadura de piezas metálicas	Enfermedades causadas por Aldehídos	1 G 01 11	
Soldadura de piezas que hayan sido limpiadas con hidrocarburos clorados	Enfermedades causadas por Oxicloruro de carbono (Fosgeno)	1 T 02 06	





ANEXOS

ANEXOS

ANEXO I. NORMATIVA APLICABLE

La adopción de medidas correctoras con el fin de mejorar las condiciones de trabajo en el puesto de soldador, tiene su sustento claro en los requerimientos que fija la relativamente “moderna” **Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL)** del 8 de noviembre de 1995 y sus disposiciones complementarias a las que se refiere el Artículo 1 de esta ley.

Seguidamente enumeraremos los preceptos de la Ley y de los diferentes Reglamentos que guarden más directa relación con los problemas que se puede encontrar un soldador en su puesto, en materia de seguridad e higiene.

Ley de Prevención de Riesgos Laborales

1. **Art. 4.7º:** definición de “condición de trabajo” y la alusión que hace en el punto b) a los agentes físicos y químicos.
2. **Art. 6.b):** establecimiento de limitaciones o prohibiciones que afectarán a las operaciones, los procesos y las exposiciones laborales que entrañen riesgos, en las distintas normas reglamentarias a las que apela dicho artículo.
3. **Art. 8.b):** trata la necesidad de que el INSHT edite documentos informativos con carácter de ley (como los Límites de Exposición a Sustancias Químicas).
4. **Art. 15.h):** por el cual se prioriza la protección colectiva a la individual. Este punto se enfatiza en el **Art. 17.2.**
5. **Art. 22:** en el que se cita la importancia de la vigilancia periódica de la salud.
6. **Art. 41:** en el cual se insta a los fabricantes, importadores y suministradores de los productos y sustancias químicas, a envasar, etiquetar y suministrar la debida información sobre los riesgos para la seguridad o la salud que su utilización comporten.
7. **Art. 47.9:** Por el cual se define como infracción grave la superación de los límites de exposición a los agentes nocivos que conforme a la normativa sobre prevención de riesgos laborales origine riesgo de daños graves para la seguridad y salud de los trabajadores, sin adoptar las medidas preventivas adecuadas.

8. Art. 48.9: en el que se adjudica con el rango de infracción muy grave, superar los límites de exposición a los agentes nocivos que, conforme a la normativa sobre prevención de riesgos laborales, originen riesgos de daños para la salud de los trabajadores sin adoptar las medidas adecuadas, cuando se trate de riesgos graves e inminentes.

Normativa específica implicada

- 1. R.D. 486/1997:** sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. Los aspectos más importantes a destacar: Anexo III. Condiciones ambientales de los lugares de trabajo.
- 2. O.M. de 9 de abril de 1986:** que aprueba el Reglamento para la prevención y protección de salud de los trabajadores por la presencia de Plomo metálico y sus componentes iónicos en el centro de trabajo.
En el Artículo 1 menciona la soldadura con plomo en locales cerrados.
- 3. R.D. 665/1997:** sobre la protección contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. El motivo de añadir este R.D. es que en la soldadura de acero inoxidable pueden darse concentraciones de Cromo VI, que está confirmado que tiene efectos cancerígenos en el hombre. Así según el documento de límites de exposición profesional para Agentes Químicos en España, el Cromo VI tiene la categoría C1 (carcinógenos confirmados en el humano, según múltiples estudios epidemiológicos).
- 4. R.D. 773/1997:** sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. En el Anexo I donde se cita una lista indicativa de EPI's, vienen nombrados todos los complementos que debe llevar un soldador: protectores del oído, gafas de montura universal, pantallas para soldadura, equipos filtrantes de partículas, equipos filtrantes de gases, equipos respiratorios con casco o pantalla para la soldadura, guantes aislantes, manoplas, polainas, calzado aislante, mandiles, etc.
- 5. R.D. 363/1995:** sobre clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas sobre todo el Art. 23 que alude a la exigencia de que todas las sustancias sospechosas de originar riesgos a los trabajadores, vayan acompañadas de unas fichas de datos de seguridad tan importantes de cara al hecho de manejar el producto adecuadamente.

6. **R.D. 374/2001:** sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo.
7. **R.D. 286/2006:** sobre medidas de protección de los trabajadores frente a los riesgos derivados de su exposición al ruido. Importantes son los Artículos 5 y 6 donde se citan los diferentes límites de nivel sonoro permisibles.
8. **R.D. 486/2010:** sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a radiaciones ópticas artificiales.

ANEXO II. BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

En este anexo se citan las fuentes consultadas para la realización de este trabajo:

Libros

- PÉRE MOLERA SOLÁ. *Soldadura Industrial: clases y aplicaciones.*
- JOSÉ M^a CORTÉS DÍAZ. *Técnicas en prevención de riesgos laborales.*
- EISBREG-RESNICK. *Física Cuántica.*
- JESÚS MARÍA ROJAS LABIANO. *El soldador y los humos de soldadura (Publicación del OSALAN).*

Artículos

- H. SVENDSEN. Técnicas y experiencias en sistemas de extracción de humos.
- JESÚS GARCÍA ZAYAS Y FERNANDO SAÍNZ GORNES. Técnicas de evaluación, control y prevención de la contaminación de la atmósfera en el soldeo por arco con gas protector.
- C. BONNET. Mejora en las condiciones de trabajo de los soldadores por disminución de humos procedentes de productos consumibles.
- DEAN T. LOVLOUDES. Humos de soldadura y sus soluciones.
- J.F.P. GOMES Y M.L.C. RIBEIRO. Análisis de humos de soldadura.
- G. ENGBLOM Y A. BERMEJO. Paquete de seguridad.
- D.G. HOWDEN. Origen y magnitud de los humos y gases nocivos de soldeo.
- OLA RUNNEERSTAN Y ANTONIO BERMEJO. Los problemas del ozono en el soldeo eléctrico por arco con protección gaseosa.

Colaboraciones

- Sistemas de ventilación. Empresa AERASPIRATOS.
- Productos, sistemas y soluciones para mejorar los puestos de trabajo. Empresa NEDERMAN.
- COFLUCAM, S.L. empresa radicada en Cantabria especializada en la fabricación de instalaciones de fluidos a presión.

La importancia de la soldadura como técnica de unión de metales es determinante dentro del sector de la metalurgia en el contexto socioeconómico actual. El presente libro tiene, entre otros objetivos, describir los riesgos higiénicos existentes en el proceso de soldadura eléctrica al arco, que es en esencia, la técnica de soldadura más usada en la industria.

Desde el punto de vista de la seguridad, la actividad de soldadura eléctrica al arco origina accidentes leves, graves, mortales e incluso con resultados muy aparentes, como los incendios provocados por una partícula incandescente originada en el proceso. Pero no sólo hay que quedarse en la superficie. Está demostrado que un soldador a lo largo de su vida laboral o, incluso fuera de ella, es un trabajador con elevada probabilidad de contraer una enfermedad laboral a largo plazo. Factores como los humos, los gases, las radiaciones no ionizantes, el ruido e incluso el calor tienen la culpa. Desvelar los condicionantes que rodean a cada uno de estos contaminantes y las medidas preventivas a adoptar para minimizar los riesgos es el propósito fundamental de este trabajo.

