

SALUD Y SEGURIDAD EN LA SOLDADURA

**Tamara Ma. Ortiz Méndez
Rafael Quintana Puchol**

**EDITORIAL
Feijóo**

ISBN: 959-250-031-2



Título: Salud y seguridad en la soldadura

Autores: Ing. Tamara Ma. Ortiz Méndez
Dr. Rafael Quintana Puchol

Edición: Liset Ravelo Romero

Diseño de portada: Carolina Vilches Monzón

© Editorial Feijoo, 2001

ISBN: 959-250-031-2

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un estudio teórico acerca de los aspectos que afectan la salud y seguridad en los operarios de soldadura y corte. Se dan a conocer los riesgos a la salud que provoca la realización del proceso de soldadura, se enfatiza en los daños provocados por el humo producto de este proceso y se señalan algunas de las medidas que pueden tomarse para eliminar o disminuir estos efectos nocivos.

Introducción	5
Capítulo 1. Riesgos para la salud provocados por los procesos de soldadura y corte	8
1.1. Aspectos generales de la generación de humo durante el proceso de soldadura	9
1.1.1. Gases constituyentes del humo de soldadura	13
1.1.2. Partículas constituyentes del humo de soldadura	19
1.2. Enfermedades provocadas por la circulación de los humos de soldadura	22
1.2.1. Alteraciones pulmonares	22
1.2.2. Intoxicación provocada por la inhalación de vapores de cobre y zinc	25
1.2.3. Manganismo	26
1.2.4. Saturnismo	26
1.2.5. Intoxicación por cadmio	27
1.2.6. Daños provocados por la inhalación de CO	27
1.2.7. Daños provocados por los gases de protección, helio, argón y sus mezclas	27
1.2.8. Daños provocados por el ozono	28
1.2.9. Daños provocados por los gases nitrosos	29
1.2.10. Daños provocados por la inhalación de berilio	29
1.2.11. Daños provocados por los compuestos de cobalto	29
1.2.12. Daños provocados por el vanadio	30
1.2.13. otras afectaciones provocadas por la soldadura y el corte	30
1.3. Límites de exposición a los humos de soldadura	31
1.4. Enfermedades del sistema óseo-muscular provocadas por el proceso de soldadura	34
1.5. Campo electromagnético creado durante el proceso de soldadura. Afectaciones a la salud	35
1.6. Radiaciones generadas durante el proceso de soldadura. Afectaciones a la salud	38
1.7. Afectaciones de la capacidad auditiva	42
1.8. Riesgos de afectaciones por choque eléctrico durante el proceso de soldadura	42
1.9. Riesgo de exposición al calor	45
1.10. Riesgo de explosiones e incendios	45
Capítulo II. Seguridad y protección en la soldadura	47
2.1. Medidas de seguridad para prevenir la inhalación de humo	48
2.1.1. Método de ventilación para la eliminación del humo	50
2.1.2. Método de filtrado para la eliminación del humo	56
2.2. Medidas a tomar cuando se sueldan aceros inoxidables	66
2.3. Medidas de seguridad para trabajar en espacios confinados	67
2.4. Medidas para prevenir las afectaciones al sistema óseo-muscular	68
2.5. Medidas de seguridad para prevenir la exposición a las radiaciones	69
2.6. Medidas de seguridad para prevenir la exposición al calor	72
2.7. Medidas de seguridad para prevenir las afectaciones auditivas	73
2.8. Medidas de seguridad para evitar el choque eléctrico	73
2.9. Medidas de seguridad a aplicar durante los procesos en que se utilizan gases comprimidos	78
2.10. Medidas de seguridad contra los incendios o explosiones	83
2.11. Medidas de seguridad para la soldadura de contenedores	83
2.12. Medidas de seguridad para otros procesos especiales de soldadura	85
Bibliografía	86

INTRODUCCIÓN

La soldadura es actualmente una de las principales ocupaciones con que cuenta la Industria Mecánica Nacional. Durante todos estos años se ha estado realizando una serie de inversiones en ella, con el objetivo de aumentar sus capacidades de producción, así como diversificar la misma. Sin embargo, la protección e higiene del trabajo han estado un tanto alejadas de los planes en que merecen realmente estar; esto ha repercutido en un aumento de los accidentes vinculados con las operaciones de soldadura.

Aunque el aspecto de las afectaciones a la salud y seguridad de los trabajadores vinculados con el proceso de soldadura ha estado históricamente ligado a los procesos de fabricación mediante este método, no es común que en la bibliografía relacionada con el tema aparezcan con frecuencia referencias a las afectaciones que provocan estos procesos en el ser humano, aunque de forma aislada sí ha podido encontrarse información relacionada con esto.

En la búsqueda de datos acerca de este tema de la salud y la seguridad en la soldadura se ha podido comprobar³⁵ que el conocimiento de los factores dañinos de este proceso se remonta a los finales del siglo XIX, momento en que se crean las condiciones técnicas que hacen posible la realización del proceso de soldadura por fusión. Hasta este momento no existía ninguna fuente de energía eléctrica que pudiera sostener la descarga de un arco, a pesar de que este fenómeno fue descubierto a principio del siglo XIX por Humphry Davy cuando dirigía experimentos químicos con baterías.

Luego, a finales de este siglo, se inventó el motor eléctrico, con el cual se crearon las posibilidades para la realización del proceso de soldadura por arco y por esta época (último cuarto del siglo XIX) comenzaron a presentarse patentes para la fabricación de equipos de soldadura, entre estas la patente de Estados Unidos (U.S. 471,242) que se concedió a Auguste De Meritens, el 22 de marzo de 1892, la cual incluía información acerca de la protección del operario y que revela un conocimiento acerca de los efectos de las radiaciones del arco y de los humos que se generan durante la ejecución del proceso, ya que habla de un vidrio de colores para proteger la vista y un dispositivo de ventilación adaptable para captar las partículas volátiles provenientes del arco. Con esto queda claro que De Meritens estaba consciente de la producción de radiaciones y humos por el arco en la soldadura.

Cuando comenzó el siglo XX la soldadura eléctrica y oxiacetilénica empezaba a encontrar un lugar dentro de la industria, y esto provocó numerosas innovaciones. La primera guerra mundial aceleró este proceso y a finales del primer cuarto de siglo la soldadura por arco ya era un proceso bien establecido. También sucedió así con la soldadura y el corte oxiacetilénico. Fue en este momento que comenzaron a aparecer trabajos investigativos y publicaciones acerca de la seguridad en la soldadura. En la Enciclopedia de la soldadura, publicada en el año 1921 en Chicago, se relaciona lo siguiente:

....Los rayos del arco eléctrico son de tal grado de intensidad que el ojo desnudo o la piel no deben exponerse a ellos dentro de 20 pies del punto en que el arco está en funcionamiento. Los rayos del arco eléctrico son más dañinos que los rayos de la luz del sol de la misma intensidad. Las lesiones causadas por la luz del arco son debidas a la intensidad de la luz y no a su composición. El efecto de exposición a esta es similar a las quemaduras de sol, es doloroso, temporal y en ningún caso los daños son permanentes. Donde los operadores están usando el arco eléctrico debe ser una práctica habitual, para proporcionar seguridad a los demás trabajadores, el uso de

pantallas portátiles, para que la luz del arco no interfiriera a otros hombres que trabajan en la vecindad...

En el mismo libro se hacen las declaraciones siguientes, relacionadas con la soldadura y el corte oxiacetilénico y aplicables igualmente a cualquier soldadura y proceso de corte en uso en el momento:

... Las tiendas pobemente ventiladas y los humos no van bien juntos. El monóxido de carbono proveniente de la quema de la leña es venenoso y causa vértigo, vómitos y a veces hasta trae consigo desmayos. Este humo también se produce cuando se suelda. Para soldar materiales galvanizados y aleaciones que contienen zinc se requiere de accesorios para eliminar los humos de zinc. Las pinturas deben eliminarse del metal a soldar, y también deben limpiarse las piezas grasientas o aceitosas antes de soldar, tanto para aliviar al soldador, como por razones de riesgo de fuego...

Durante el período comprendido a partir de la década de 1920 hasta el principio de la Segunda Guerra Mundial, la soldadura oxiacetilénica y por arco con electrodo revestido eran los procesos principales utilizados en la unión de los metales. La soldadura por arco con protección gaseosa, con electrodo de tungsteno y metálico estaba aún por desarrollarse y la soldadura por arco sumergido ganaba importancia dentro de la producción. Muchas compañías ofrecían informaciones acerca de las prácticas seguras de estos procesos en sus publicaciones. Estas consistían en informaciones sobre factores tales como la protección de los ojos, la ventilación y la prevención de fuego.

En junio de 1943, la Sociedad de Soldadura Americana, la Asociación Internacional de Acetileno, la Asociación Nacional de los Fabricantes Eléctricos y la División de Normas Obreras de los EUA en la Sección de Labor pidió autorización a la Asociación de las Normas Americanas para comenzar el desarrollo de "La norma de guerra americana para seguridad en la soldadura eléctrica, con gases y el corte". El proyecto se comenzó y se organizó un comité de guerra. La primera edición de la norma fue aceptada el 9 de mayo de 1944, y emitió como documento el Z49.1-1944 con el nombre de "Seguridad en la Soldadura Eléctrica, a Gas y el Corte". Esta norma se ha revisado muchas veces y aún se reedita cada cierto tiempo.

Bajo el patrocinio de la Sociedad de la Soldadura Americana, se organizó un comité para preparar la primera norma en período de paz, en marzo de 1946. Esta se publicó en 1950 por la AWS. En 1958, la norma se reeditó con un título más corto, "Seguridad en la Soldadura y el Corte". Esta edición apareció en 1967. La versión actual se publicó en 1988, y es la norma ANSI/ASC Z49. 1. Aunque la apariencia de la última edición es diferente de las versiones originales, el volumen es el mismo. Se presta más atención a la ventilación y además, el texto se ha reestructurado para lograr una lectura más fácil. Sin embargo se aprecia la continuidad en las enseñanzas de seguridad en la soldadura.

La seguridad del trabajo ha ido evolucionando, al principio su campo de acción se limitaba a los factores mecánicos y ambientales, posteriormente el hombre fue el objeto de su más cuidadoso estudio. Se descubre el factor humano y su importancia se pone de relieve al analizar los casos de accidentes del trabajo.

Por otra parte, hay que señalar que en la actualidad un aspecto importante que limita la protección en los trabajadores de soldadura, sobre todo para países pobres, tiene que ver con el alto precio de los equipos de protección. Muchas industrias a causa de no disponer de los capitales suficientes o en ocasiones para no hacer inversiones que afecten sus ganancias, no crean las condiciones necesarias de protección, a riesgo de

afectar la salud de los trabajadores. Una dificultad que tienen que afrontar las industrias de los países pobres es la relacionada con la transferencia de tecnología en el campo de la protección. En ocasiones los equipos y medios son desarrollados por transnacionales y estos de ningún modo se ponen a la disposición de la mayoría de los países, incluso ni a los acostumbrados altos precios.

Apunta a ser una posible solución la robotización, ya que de este modo en aquellos lugares y trabajos donde el hombre se expondría a altos riesgos podría ser sustituido por robots. Ello a su vez crea el inconveniente de que sólo es económica su utilización para producciones en series o para piezas que lleven soldaduras extensas. Además la inserción del hombre en la industria robotizada exige de este un ritmo de trabajo y una monotonía de funciones y movimientos que pueden a largo plazo afectar su salud mental. Por otra parte la robótica no es apropiada para la mayoría de los países del 3er mundo, primero porque no están creadas las condiciones tecnológicas y segundo porque esto traería un problema mayor al ya existente, puesto que los trabajadores serían sencillamente desplazados de sus puestos, lo cual es una causa más para el desempleo.

Más factible a las industrias de nuestros países parece ser la consideración de los tipos de procesos y materiales que para cada caso puedan ser utilizados, es decir, que en la elaboración de la tecnología se tengan en cuenta los riesgos y las formas para que estos sean los mínimos posibles. Un aspecto que debe ser considerado es la cultura de los trabajadores en este sentido, el conocimiento por parte de los soldadores y otros trabajadores relacionados con el proceso de las medidas de seguridad, lo cual es un elemento que debe asegurarse al máximo y puede contribuir a que la exposición a los riesgos sea la mínima inevitable.

CAPÍTULO I. RIESGOS PARA LA SALUD PROVOCADOS POR LOS PROCESOS DE SOLDADURA Y CORTE

En la soldadura, de forma general, el desafío consiste en la continuidad del material, o lo que llamamos la ausencia de defectos físicos y/o topoquímicos; también en la productividad a lograr en los distintos procesos, y en muchos casos se le suma a lo anterior la necesidad de acercarse todo lo posible a la homogeneidad química y mecánica de la junta respecto al material a soldar. Para lograr estas metas ya existe un elevado nivel de conocimiento y experiencias dentro de todas las ramas de la técnica que intervienen en el proceso de soldadura, tales como el equipamiento, los materiales para soldar y los procedimientos a seguir. Además pudiera añadirse que se cuenta con abundante literatura científica en estos campos.

Si se hace este análisis tomando como centro al soldador, se puede decir que a pesar de que se ha avanzado mucho en su calificación, lo que aumenta su cultura y profesionalismo, aún no se puede ser tan optimista en lo que a su salud y seguridad se refiere. Esto se debe a que, por causas económicas o de desconocimiento, en muchas ocasiones no se tienen en cuenta los riesgos que impone la realización de los procesos de soldadura, ni se toman las medidas de seguridad para la protección de los soldadores y demás operarios.

Son alarmantes los datos acerca de los riesgos a la salud humana que trae consigo la realización, sin la protección necesaria, de la labor de soldadura. Son también impresionantes las cifras de dolencias y el número de soldadores que las padecen debido, sobre todo, a la ausencia de utilización de la protección necesaria para este trabajo. Algo que ilustra lo dicho anteriormente es que debido a los riesgos de enfermedades profesionales a que están sometidos los soldadores, ellos se incluyen dentro de un grupo llamado de sobre riesgo, con una elevada tasa de jubilación temprana a causa de las dolencias adquiridas en la ejecución de su trabajo. Esto también provoca la escasez de soldadores calificados que se mantengan de forma estable, con lo que se afecta seriamente el proceso de producción. En lo adelante se analizará en qué consisten los riesgos a la salud que trae consigo la realización de los procesos de soldadura.

En el esquema aparecen los riesgos más frecuentes relacionados con el proceso de soldadura.

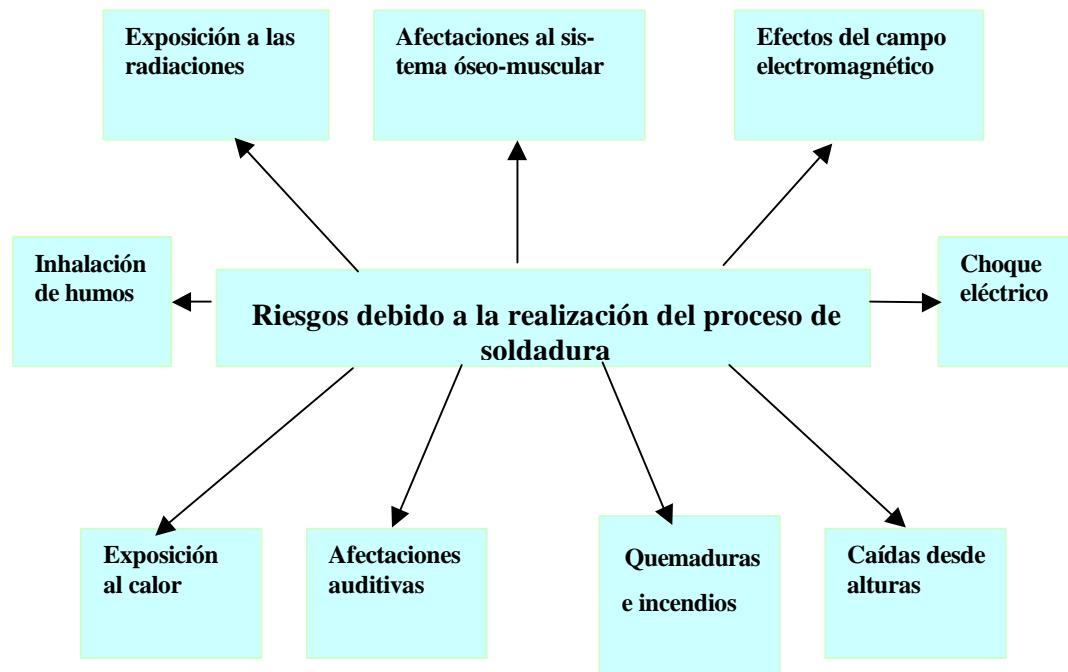


Fig.1. Riesgos para la salud debido al proceso de soldadura

1.1. Aspectos generales de la generación de humo durante el proceso de soldadura

La soldadura por arco es un proceso común, en el cual se produce un aumento significativo del humo en el medio inmediato del soldador, afectando así su confort y su salud.⁴⁷

El humo de soldadura es una mezcla de partículas finas y gases suspendidos en el aire. En la figura 1.1 se muestra el rango de estas partículas comparadas con otras naturales e industriales.

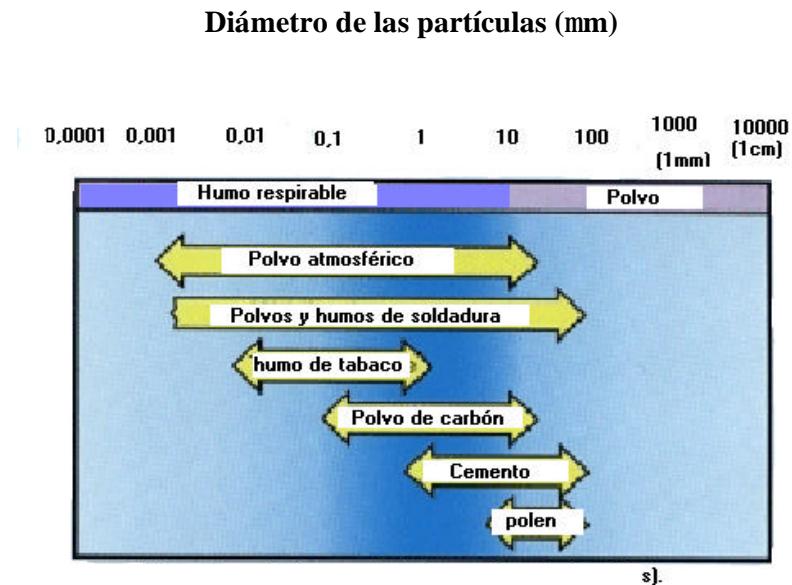


Fig1.1. Dimensiones de las partículas naturales e industriales

Aproximadamente de un 0,5 al 1 % de los consumibles de la soldadura al arco se convierte en polvos y humos contaminantes. En el Reino Unido, por ejemplo, donde se gastan 70 000 toneladas de consumibles de soldadura anualmente, se plantea que esto equivale a 1 000 kg de humo y polvo por soldador. Otra estadística preocupante es que en la soldadura manual y MIG la concentración de humos dentro de la careta con frecuencia excede los límites permisibles si no se toman las medidas de prevención.³

Estudios realizados en Dinamarca y Reino Unido demuestran que los niveles de partículas pueden llegar a 20 mg/m³ dentro de la careta. Con estos niveles el soldador inhalaría 0,5 g de partículas en una jornada laboral y en un año llegaría a 100 g.

Más del 90 % del humo proviene de la vaporización del electrodo, alambre o varilla consumible que se transfiere a través del arco o llama. El rango de tamaño de las partículas de soldadura entra dentro de los tipos más familiares de humo. La fracción respirable de partículas (especialmente menores de 3 µm) son potencialmente las más dañinas y ellas pueden penetrar hasta los pulmones.

El riesgo a la salud del soldador, debido a la inhalación de humo, depende de los siguientes factores:⁵²

- La composición
- La concentración
- El tiempo de exposición del soldador
- La susceptibilidad del soldador

Otros factores que influyen en la generación de humo son la polaridad de la corriente y el tipo de revestimiento. Si se suelda con corriente continua y polaridad invertida se obtiene la máxima generación de humo en el proceso. Si, por ejemplo, se utilizaran electrodos básicos (B>1) (proceso SMAW), el cambio de polaridad directa a inversa puede suponer un incremento de hasta un 50 % en la producción de humo. Al soldar con electrodos de rutilo disminuye significativamente la generación de humo

Para muchos procesos de soldadura por arco y por gas, la concentración de humo en la vecindad inmediata al depósito se encuentra bien por encima de sus límites de exposición (que se verán más adelante). La cantidad de humo generada está determinada primeramente por el proceso de soldadura, los consumibles y el procedimiento de soldadura. Sin embargo, existen otros aspectos que también influyen en el grado de exposición del soldador al humo.⁵²

- Posición de soldadura
- Ubicación y tipo de área de trabajo
- Duración de la exposición

De esta forma queda claro que el soldador, usando el mismo proceso, puede estar expuesto a diferentes niveles de humo, los que para cada labor podrían, por esta razón, ser fijados individualmente. A continuación se describe cómo influyen los factores antes mencionados en la generación de humos.

Posición de soldadura: La posición de soldadura también afecta la generación de humo. Si se suelda en posición inclinada se está expuesto aproximadamente a un 15-30 % menos de humo por unidad de tiempo que cuando se realizan trabajos en posición plana. Esto se encuentra relacionado con la proximidad del soldador a la corriente de humo. Como el soldador normalmente se inclina sobre la pieza de trabajo, la posición plana induce al mayor nivel de humo en la zona de respiración. El soldador debe adoptar una posición de trabajo que asegure que su cabeza esté lejos de la corriente de humo.

Ubicación y tipo de área de trabajo: La soldadura en grandes talleres o en exteriores previene la aglomeración de humo y gases. Sin embargo, en un taller pequeño el humo no se dispersa y el soldador puede estar sujeto a altos promedios de exposición. Trabajar en espacios confinados requiere de un sistema de ventilación eficiente para controlar la exposición y evitar el desplazamiento del oxígeno de la atmósfera de trabajo.

Duración de la exposición: El concepto de Límite de Exposición Ocupacional (OELS) dado en Job Knowledge for Welders no. 31 da una relación de las concentraciones promedio para un período de 9 horas. La exposición puede ser intermitente, fundamentalmente durante el período de formación del arco. Además, como el patrón de trabajo (tiempo de arco) varía diariamente, las exposiciones promedio pueden en muchas ocasiones sólo ser tasadas con muestras frecuentes.⁵² Desde hace varios años, las legislaciones en materia de toxicidad por el humo de soldadura se han ido perfeccionando y los países desarrollados en temas de higiene y seguridad laboral han establecido los niveles máximos de contaminantes cada vez más bajos, disponiendo también de normas que permiten evaluar el grado de riesgo higiénico producido por la inhalación de humos metálicos.⁷

Luego de analizar los distintos factores que afectan la generación de humo se analizarán las causas generadoras de este, inherentes al propio proceso, las cuales no siempre son fácilmente evaluables.

Las fuentes para la generación del humo de soldadura son:

- Gases utilizados u originados durante el propio proceso de soldeo.
- Humos metálicos producidos por la evaporación de metales o a partir del revestimiento de los electrodos.
- Humos originados por la evaporación de sustancias procedentes de la pieza de trabajo.

Esto se encuentra estrechamente relacionado con las condiciones ambientales del puesto de trabajo y en definitiva con el sistema de ventilación o de eliminación de humo empleado mientras se desarrollan los trabajos de soldadura.

Es lógico que con bajos contenidos de contaminantes producidos por los electrodos empleados, puedan obtenerse unas condiciones higiénicas más favorables, pero también es evidente que adecuados sistemas de renovación de aire pueden ser perfectamente compatibles con altas concentraciones de humo originadas por los consumibles y por tanto debe buscarse una solución de compromiso entre la productividad que se desea alcanzar y la cantidad de humo producido.

Algunas investigaciones sobre el contenido de los humos y el aumento generado por la soldadura y el corte van en progreso. No existen aún métodos estandarizados para la medición de los humos durante la soldadura con alambre tubular y esto dificulta los datos de humos para diferentes varillas en este proceso en específico.

La composición de los humos varía, pero en general contienen partículas finas de metal y sus óxidos, óxidos del material fundente, gases como el óxido de nitrógeno, el ozono y el monóxido de carbono, así como las mezclas de los gases de protección. El tamaño de las partículas está principalmente comprendido entre 0,1 a 2 micras, siendo la mayoría inferior a una micra.⁵⁸

Las partículas con dimensiones por debajo de la escala de una micra quedan flotando en el aire por períodos prolongados.³

Si el humo de soldadura no puede ser eliminado, deben ser adoptadas medidas de control como las siguientes:

- Modificación del proceso de soldadura
- Mejora en las prácticas laborales
- Ventilación
- Uso de equipamiento de protección respiratoria (RPE)

La selección del proceso se realiza normalmente sobre la base de la calidad del cordón, la economía y las posibilidades de equipamiento. Sin embargo, si otros procesos pueden ser usados hay que tener en consideración que algunos tales como SAW y TIG generan significativamente menor cantidad de humo que el SMAW, MIG Y FCAW. Los fabricantes de consumibles en ocasiones entregan información del humo que estos generan, lo cual puede ser usado en la selección de las varillas de soldadura para un empleo específico.

Una mejora sustancial puede obtenerse con la ubicación de la pieza de trabajo de forma que el soldador pueda evitar la corriente de humo que se eleva del depósito. En la fabricación a gran escala la secuencia de soldadura debe ser organizada para minimizar la ejecución de la soldadura en espacios cerrados o confinados.

El uso de RPE no debe ser considerado hasta que la efectividad de todas las otras técnicas haya sido explorada.

Según el efecto sobre el organismo humano de los componentes del humo de soldadura, estos se clasifican como aparece en la figura siguiente.

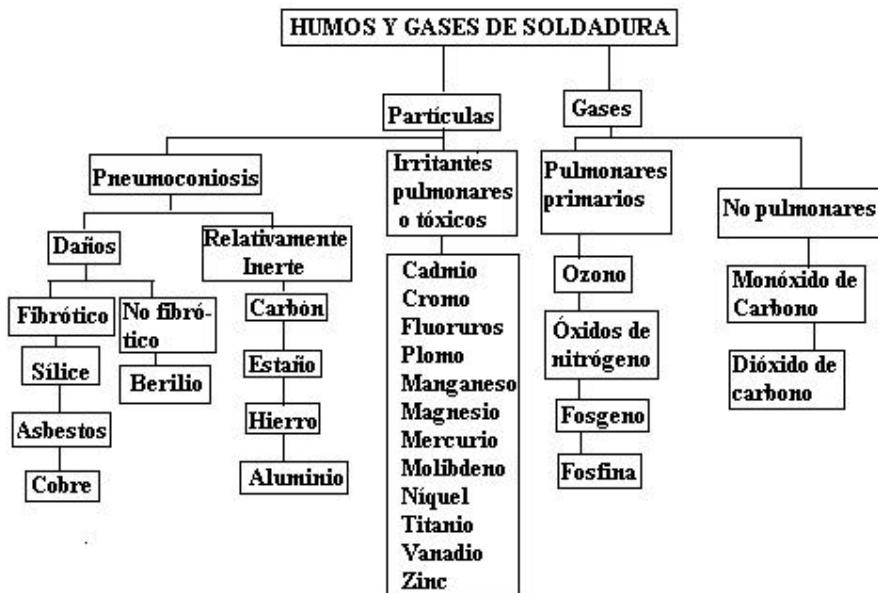


Fig. 1.2. Elementos químicos agresivos sobre el organismo humano.

En los epígrafes siguientes se amplía la información acerca de los efectos específicos de los distintos compuestos y gases sobre la salud.

1.1.1. Gases constituyentes del humo de soldadura

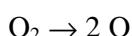
En la soldadura se generan distintos tipos de gases, entre los que están los siguientes: CO₂, CO, NO₂, argón, helio, óxido nitroso, ozono, entre otros.²³ Algunos de estos gases se generan debido a la reacción de los componentes del aire (75 % de N₂ y 23 % de O₂) a las altas temperaturas del arco y en las zonas cercanas a él. También influyen los gases de protección utilizados como el CO₂ y el helio en las soldaduras con protección gaseosa. Otra fuente de generación de gases son los compuestos existentes en el recubrimiento de los electrodos o los materiales o fundentes contenidos en el alma del alambre tubular, también de los fundentes utilizados para la soldadura a gases (OAW), la soldadura fuerte y la soldadura por arco sumergido (SAW) y por electroescoria (ESW).

Los gases más comunes que aparecen como componentes del humo de soldadura son: el ozono, los gases nitrosos y el dióxido de carbono, aunque existen otros que se presentan en ocasiones particulares y en dependencia de las características específicas del proceso que se está realizando, como por ejemplo el gas fosgeno, los fluoruros, etc.

A continuación se refieren las características de estos gases.

Ozono

El ozono se genera cuando la radiación ultravioleta del arco descompone las moléculas de oxígeno en átomos libres, los cuales reaccionan con otras moléculas de oxígeno y forman las moléculas de ozono.³⁷



La energía mínima necesaria para disolver una molécula de oxígeno corresponde a una radiación de longitud de onda de unos 175 nm. Las radiaciones de ondas más cortas, que generan mayor volumen de ozono, se forman principalmente en las proximidades del arco, puesto que la radiación ultravioleta del arco disipa su energía rápidamente, aunque este gas también se forma a una distancia de pocos metros del arco (el ozono se descompone rápidamente a temperaturas superiores de 500 °C, pero a temperatura ambiente es muy estable).^{23, 54}

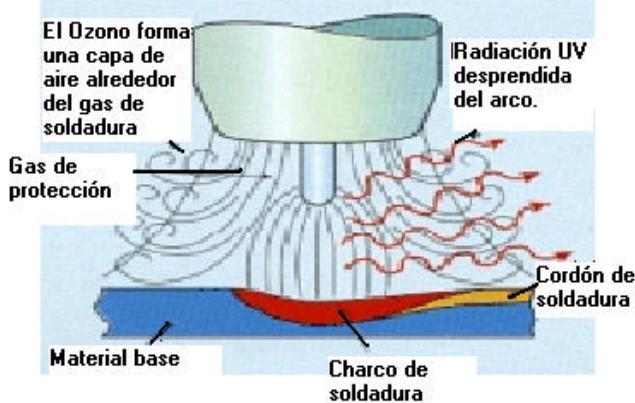


Fig. 1.3. Formación del ozono durante la soldadura con protección gaseosa

El ozono de alta reactividad se disipa como resultado de la interacción catalítica con partículas de humo y reacciona con los óxidos nítricos, formándose de esta forma el dióxido de nitrógeno.

De los gases presentes en las operaciones de soldadura por arco y otros procesos relacionados, el ozono es el de mayor interés. Este gas, cuya presencia en las altas capas de la atmósfera es tan necesaria, debido a que nos protege de las radiaciones ultravioletas del sol tiene, sin embargo, un efecto nocivo cuando está presente en nuestra atmósfera de respiración.

El ozono que se forma alrededor del arco es tremadamente estable a temperatura ambiente y, aunque incoloro, se detecta por su olor picante, tan característico de todos los talleres de soldadura, y que puede ser olido en una concentración baja, 0,02-0,05 ppm, pero que el olfato humano se acostumbra a él en corto tiempo, por lo que el olor no es un buen indicador de su concentración. El ozono en concentraciones más altas produce síntomas tales como irritación o quemadura en la garganta, accesos de tos, dolor en el pecho y fatiga respiratoria, afectándose también las membranas mucosas.

En la soldadura TIG de los aceros inoxidables con argón como gas de protección y corriente directa se producen las más altas emisiones de O₃. Los valores más bajos de emisión de ozono se producen durante la soldadura TIG del aluminio con argón como gas de protección y corriente alterna, con amperaje sobre los 200 A. La razón de esto es que la corriente alterna de alta intensidad genera óxido nítrico (NO), con lo cual parte del ozono formado se transforma en dióxido de nitrógeno (NO₂) y oxígeno (O₂). Durante la soldadura TIG la cantidad de ozono que se genera depende en gran medida del caudal de gas de protección y de la intensidad.

Otros factores de importancia son la longitud del arco, el diámetro de la tobera de gas y el tipo de gas usado.

La soldadura MAG del acero al carbono con 80 % Ar + 20 % CO₂ y de los aceros inoxidables con 98 % Ar + 2 % CO₂ ó 98% 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. Si se usa CO₂ como gas de protección en la soldadura de los aceros al carbono se obtienen unas emisiones más bajas de O₃, mientras se eleva la emisión de monóxido de carbono (CO). Las emisiones de humo de soldadura son también mucho mayores durante la soldadura con CO₂ a altas intensidades.

Además de por el gas de protección, las emisiones de ozono se ven afectadas por la intensidad y el tipo de transferencia en el arco. Los resultados de estos estudios indican que hay un riesgo de exposición a niveles de ozono durante la soldadura MAG de los aceros al carbono e inoxidables usando arco corto o spray. El caudal de gas de protección no tiene gran efecto. Además, durante la soldadura MAG, un cambio en el voltaje del arco produce una gran diferencia en la emisión de ozono y humos.

Los coeficientes de dilución, NHL (m³/min.), medidos para el ozono en la zona alrededor del arco de soldadura, se muestran en la tabla 1. El coeficiente de dilución se puede explicar de esta forma: por ejemplo, para un NHL = 30 significa que se necesitan 30 m³ de aire para diluir la emisión de ozono hasta un nivel no perjudicial.

Tabla 1.1. Coeficientes de dilución del ozono

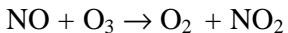
Material	Gas	Intensidad	NHL
Acero al carbono	CO ₂	80/120	4 - 12
Acero al carbono	Ar + 20 % CO ₂	80/120	8 - 28
Acero al carbono	Ar + 20 % CO ₂	150/125	30 - 60
Acero inoxidable	Ar + 2 % O ₂ /CO ₂	80/120	10 - 20
Acero inoxidable	Ar + 2 % O ₂	200/300	40 - 60

Los niveles de emisión de ozono durante la soldadura MIG del aluminio son mucho mayores que los anteriormente escritos. Los resultados de los estudios realizados confirman que los riesgos a exposiciones peligrosas de ozono son los más altos en este tipo de proceso. Así, en la soldadura MIG con 250 A, en los alrededores del arco se necesitan de 200 a 450 m³ de aire para diluir el ozono emitido hasta un nivel no perjudicial a la salud.

La emisión de ozono depende de los elementos aleantes del alambre o varilla de soldadura. Consumibles con aleaciones de magnesio producen menos ozono que los aleados con silicio o los de aluminio puro. Además la emisión de ozono se ve afectada también por el diámetro del hilo, la intensidad y el tipo de gas de protección.

Anteriormente ya se ha señalado que el ozono no es un problema en la soldadura con electrodo revestido (SMAW). Esto se debe sencillamente a que el recubrimiento del electrodo produce durante el soldeo un elevado nivel de monóxido de nitrógeno, el cual

reacciona con el ozono que se genera para dar lugar a la formación de oxígeno de acuerdo con la ecuación siguiente:



Esta reacción se produce rápidamente a temperatura ambiente. El otro producto de la reacción, el NO_2 , tiene como ya se vio anteriormente, un límite umbral admisible 50 veces superior al del ozono y no llega, por tanto, a alcanzar concentraciones dañinas para el soldador.

Este fenómeno es, como ya se ha dicho, el que hace que los niveles de ozono durante la soldadura TIG del aluminio sean más bajos, debido al empleo de corriente alterna que genera mayor cantidad de NO. El monóxido de carbono y el hidrógeno también pueden reducir el nivel de ozono pero con una efectividad muchísimo menor.

Eliminación del ozono con mezclas de gases de protección con NO

La estrecha relación entre el NO y el nivel de ozono fue observada desde los primeros estudios realizados sobre este tema.³¹ Tras intensas investigaciones, se comprobó que la adición controlada de un máximo de 300 ppm de NO al gas de protección permite reducir el nivel de ozono que respira el soldador en un valor de hasta un 90 % del total. Sobre esta base se ha patentado una familia de gases de protección que se comercializa y que sustituye en sus aplicaciones al argón y sus mezclas, pero con la ventaja de que produce un entorno de trabajo menos tóxico para el soldador.

Los trabajos realizados en este sentido han sido comprobados por importantes institutos de soldadura europeos, entre ellos el Welding Institute (Inglaterra), el Institut de Soudure (Francia), etc. Estos nuevos gases se han venido usando en varios países europeos, en la industria automovilística, naval, calderería y todas aquellas que emplean la soldadura con protección gaseosa.

La concentración de NO en el gas de protección deberá tener un nivel tal que la cantidad de este en la pistola sea igual a la cantidad de ozono generado por unidad de tiempo. La pequeña cantidad de NO añadida (0,03 %) en los gases de protección aumenta ligeramente los niveles de NO_2 durante la soldadura. El NO_2 tiene también efectos fisiológicos sobre el cuerpo humano, pero los niveles deben ser 50 veces mayores que los de ozono para tener los mismos efectos.

Esta mezcla de NO con los gases de protección es conocida comercialmente con el nombre de MISON, comercializado por la firma europea llamada AGA.

Durante la soldadura TIG de los aceros inoxidables, las cantidades de ozono emitidas son bastante más bajas cuando se usa MISON sustituyendo al argón como gas de protección. Las cantidades de NO_2 generadas son ligeramente más altas. Los resultados indican que la emisión total de ozono y NO_2 se reduce cuando se usa MISON como gas de protección. La magnitud de la reducción depende, entre otros factores, de los parámetros de soldadura. En general, se puede esperar que se produzca una reducción de un 30 % a un 90 % en la emisión total.

El postflujo de gas también tiene influencia en el efecto de reducción de ozono de MISON. Un aumento del postflujo de gas disminuye la emisión de ozono, puesto que el NO reacciona extremadamente rápido con el ozono igualmente si se extingue el arco. Si se usa argón como gas de protección el postflujo de gas no tiene mayor efecto sobre las emisiones de ozono.

Se concluye que las concentraciones de ozono en la zona de respiración de los soldadores se ve significativamente reducida cuando se usa MISON como gas de protección en vez de argón, y aunque la concentración de NO₂ aumenta ligeramente los valores medidos en la ecuación suma estos nos indican que la carga ambiental sobre el soldador disminuye en un valor medio tres veces menor.

Durante la soldadura TIG del aluminio con corriente alterna, MISON también tiene un buen efecto de reducción del ozono para niveles de intensidad normal. A niveles por encima de 200 A, sin embargo, MISON no reduce el nivel de ozono de forma significativa. Eso es debido al NO que se genera de forma natural y que reduce el nivel de ozono.

En el Instituto de Soldadura Danés (Sweiscentralen) se ha desarrollado un gran número de estudios sobre humos y emisiones de ozono, usando diferentes gases de protección. Los resultados indican que las emisiones de ozono están estrechamente relacionadas con la estabilidad y la forma de transferencia de las gotas en el arco. Un arco estable produce poco humo, pero altas emisiones de ozono y viceversa. En todos los casos estudiados los gases MISON producen una reducción significativa de la cantidad de ozono emitida. La emisión de los gases nitrosos (NO₂ y NO) aumenta como era de esperar, aunque fue en general más baja en comparación con la soldadura en que se usa electrodo revestido y con la soldadura oxiacetilénica.

El ozono en la soldadura MAG con alambres tubulares

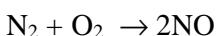
En general se produce mayor cantidad de humo durante la soldadura con alambre tubular que con alambre macizo. Esto se debe a que la estabilidad del arco es más pobre, y también porque la transferencia de metal es diferente. Debido a que la emisión de humo es más elevada, se podría esperar que las emisiones de ozono fueran más bajas o que no existieran durante la soldadura con hilos tubulares. Sin embargo, este no es el caso.

Las emisiones de ozono dependen del tipo de gas usado. Si se usa CO₂ las emisiones de ozono son bajas mientras que las emisiones de humo son altas. Si se usa MISON 20 como gas de protección la emisión de humos y ozono es mas baja.³¹

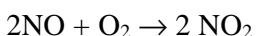
Gases nitrosos

Los gases nitrosos que se generan durante la soldadura, como ya se ha dicho anteriormente, son el óxido nítrico(NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), los cuales se forman cuando el oxígeno y el nitrógeno del aire circundante entran en contacto con el arco a elevada temperatura. Si el flujo de gas para la protección es muy bajo o el arco es muy largo ocurre la interrupción de este y el aire puede entrar en él. Esta es una causa más para que la soldadura por arco eléctrico sólo deba ser utilizada en lugares bien ventilados.⁶

Durante la soldadura, cuando el oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire se ponen en contacto con el arco o con el metal base caliente se produce la reacción siguiente:³¹



Parte del NO generado en la zona de soldadura se puede transformar a bajas temperaturas en dióxido de nitrógeno NO₂, al reaccionar con el oxígeno del aire de la manera siguiente:



Este gas generado puede provocar efectos nocivos a la salud, los cuales se verán más adelante.

Gas fosgeno (COCl₂)

Este es un gas incoloro, de olor débil. Estos gases pueden formarse a partir de recubrimientos e impurezas como son los hidrocarburos clorinados, los cuales deben evitarse, ya que pueden formar este gas el cual tiene una elevada toxicidad.⁶

Dióxido de carbono (CO₂).

Este es el gas más común^{54,47} producido por la desintegración del recubrimiento del electrodo o de los materiales del alambre tubular. También se utiliza como gas protector del baño de soldadura en los procesos con protección gaseosa. Este gas es clasificado²⁴ como un asfixiante simple cuando se encuentra a concentraciones tales que provoquen la insuficiencia de oxígeno en la atmósfera. No tiene efectos tóxicos específicos pero actúa impidiendo la entrada del oxígeno en los pulmones. Los signos y síntomas cuando ocurre su inhalación a altas concentraciones son similares a los que preceden a la asfixia, es decir, dolor de cabeza, disnea, acortamiento de la respiración, debilidad muscular, somnolencia y zumbido en los oídos. El oxígeno puede ser disminuido en dos tercios de su porcentaje normal en el aire antes de que se desarrollen síntomas apreciables y este, a su vez, requiere la presencia de un asfixiante simple en una concentración del 33 % de la mezcla aire-gas. Cuando este alcanza una concentración del 50 % se producen síntomas marcados de asfixia, y con una concentración de 75 % puede ser fatal en cuestión de minutos. Además, este gas afecta e irrita las vías respiratorias. Cuando se realiza la soldadura con gases de protección (GMAW o GTAW) es importante tener en cuenta el riesgo de que estos pueden desplazar el aire fresco en lugares confinados y provocar falta de aire o asfixia al soldador.

Monóxido de carbono (CO)

El monóxido de carbono puede formarse a partir de la disociación por calor del CO₂ en la zona de altas temperaturas cercanas al arco. La concentración de monóxido de carbono puede ser alta cuando la soldadura se realiza en lugares confinados y pobremente ventilados, a distancias cercanas al arco de soldadura.

El CO se produce por combinación parcial del carbono con el oxígeno. En la soldadura MAG, el CO se genera a partir de la descomposición del CO₂.³¹ Por tanto, cuanto mayor es el caudal de protección, mayor el nivel de CO. Con CO₂ puro como gas de protección se obtienen valores de CO del orden de 2 a 3 veces los valores obtenidos con una mezcla de 80 % Ar + 20 CO₂. El nivel es mayor con un incremento del contenido de CO₂ y con la alta corriente, sobre todo en el caso de FCAW

El efecto que provoca el monóxido de carbono viene dado porque sus moléculas reemplazan el oxígeno de la hemoglobina y esto impide, por tanto, el transporte de oxígeno en la sangre y bloquea su capacidad de oxigenar los órganos y las células.

La emisión de ozono depende del tipo de gas usado, si se usa CO₂ es baja mientras que las emisiones de humo son altas. A continuación se representa la forma de absorción y de eliminación de los contaminantes.

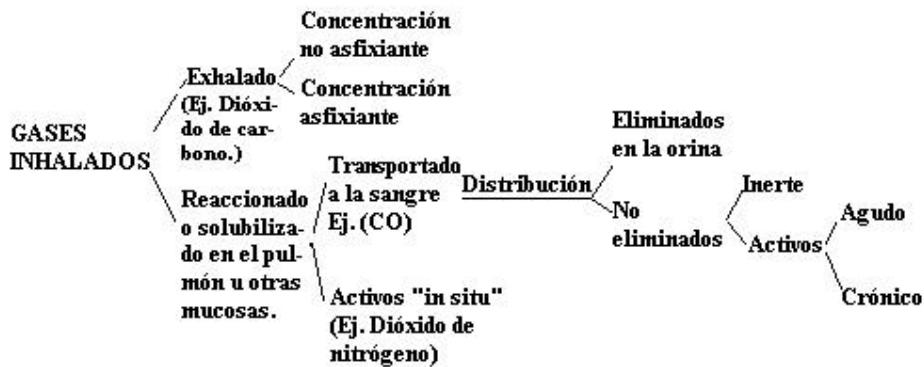


Fig. 1.4. Mecanismos de absorción y eliminación de los gases componentes del humo de soldadura

1.1.2. Partículas constituyentes del humo de soldadura

En el arco de soldadura, en la zona de mancha catódica, donde el metal está en forma de vapor, la temperatura es muy alta (7 000-10 000 K) y las gotas de metal están sobrecalentadas muy por encima de la temperatura de ebullición del acero ($\approx 3\ 000\ K$).⁵⁴

Al condensarse este vapor en la vecindad del arco se crean partículas muy pequeñas (0,001-0,1 μm), las cuales se difunden como moléculas de un gas (movimiento browniano) y una cantidad de ellas se aglomera para formar agregados con un tamaño de 0,5-2 μm .

Estas partículas microscópicas son visibles en forma de humo con una determinada concentración, pero no lo son luego de difundirse en el aire. Cuando presentan dimensiones por debajo de 1 μm quedan flotando por períodos prolongados y se asientan (descienden o precipitan) muy lentamente, esto provoca que sean ampliamente distribuidas por el taller, lo que afecta la calidad del aire que respiran los demás trabajadores que allí laboran.⁵⁴

En la soldadura por arco se genera un arco eléctrico entre el electrodo y la pieza de trabajo, con la excepción del proceso GTAW donde el metal fundido es transferido en forma de microgotas desde el electrodo hasta el baño metálico en el metal base, según se representa en la figura 1.6.

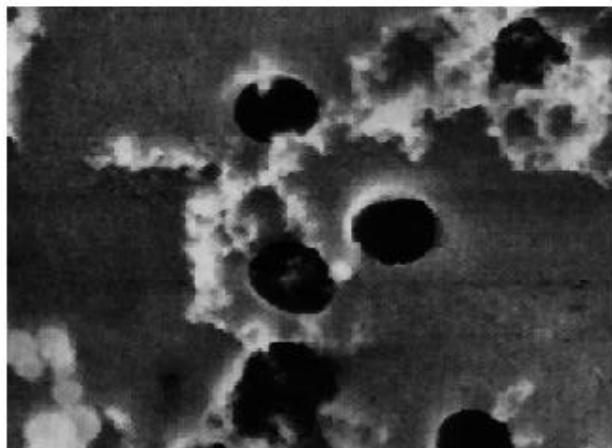
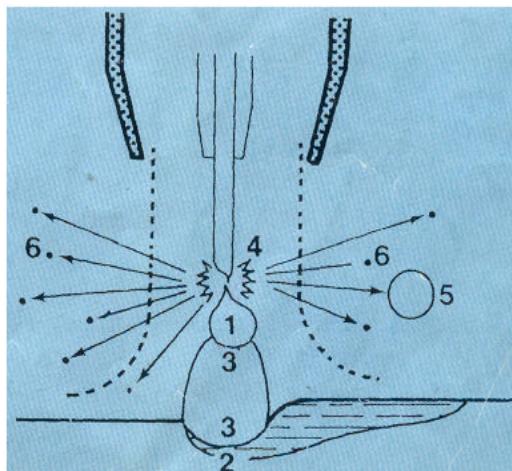


Fig. 1.5. Micrografía de las partículas colectadas en un filtro de poros de 0,4 micrómetros.

Puede apreciarse la formación de cadenas de partículas muy pequeñas.

Además, algunas partículas grandes son expulsadas cuando las microgotas son separadas del consumible. Junto con las salpicaduras grandes, ellas causan un incremento del área total desde la cual la vaporización toma lugar e incrementa la cantidad de humo.



- 1- Pequeñas gotas en la punta del electrodo durante la transferencia.
- 2- Baño de soldadura.
- 3- Columna de arco.
- 4- Explosión del alambre.
- 5- Partículas grandes de salpicaduras.
- 6- Partículas finas del metal lanzadas por la explosión del alambre.

Fig. 1.6. Ejemplo de la generación de partículas durante la soldadura por arco.

Para proteger el metal fundido se lanza sobre el arco un gas de soldadura (GMAW o GTAW), o también este puede generarse a partir del revestimiento del consumible en el proceso con electrodo revestido. Fuera de esta atmósfera de soldadura las partículas pueden reaccionar con el oxígeno en el aire circundante. Por esta razón las partículas de humo consisten principalmente en óxidos metálicos y otras partículas producidas por el revestimiento o fundente, según el tipo de proceso.

Las partículas microscópicas son visibles en forma de humo con alta concentración pero no después de alguna dilución. Ellas se asientan muy lentamente y se mantienen suspendidas en el aire por un tiempo considerable. Como resultado de esto, son ampliamente distribuidas por el taller y, por tanto, afectan la calidad del aire de otros trabajadores.

La composición de las partículas de humo se corresponde, más o menos directamente y en dependencia de la volatilidad de las sustancias, con la composición del consumible que se utilice. El metal base contribuye muy poco a la formación de humo. La varilla o el alma metálica tienen, por lo general, aproximadamente la composición del metal base y en la soldadura de acero de bajo carbono suele hallarse mayormente óxido de Fe. En los casos de acero aleado y acero inoxidable se encuentran óxidos de Mn, de Cr y de Ni. A partir de las aleaciones de aluminio se obtienen óxidos de aluminio y magnesio, mayormente.

En general, cuando se suelda con electrodos de acero al carbono en superficies limpias, el humo generado tiene un alto contenido de óxido de hierro y pequeñas cantidades de óxido de calcio, de titanio y sílice amorfa. El humo contenido cuando se suelda con electrodos del tipo de bajo hidrógeno contiene los óxidos antes mencionados más fluoruros. Cuando se suelda con electrodos de acero inoxidable, el óxido de hierro es bajo, pero aparecen óxidos de cromo y níquel y también fluoruros.

En la soldadura SMAW se usan electrodos y en la FCAW alambres tubulares con fundente entre los componentes del alma o núcleo del alambre. En estos casos provienen del recubrimiento o el fundente compuestos de elementos tales como calcio, fluoruros, dióxido de titanio y de bario.

El fabricante de electrodos debe suministrar la llamada Hoja de Datos de Seguridad del Material (MSDS)⁴⁷ en cada paquete de metal de aporte, en la cual se muestra la composición del recubrimiento del electrodo, los fundentes o el fundente del alambre tubular y puede también incluir la composición de las partículas producidas por la fusión del electrodo en el arco.

En la soldadura con alambre tubular (FCAW), se produce la mayor cantidad de partículas y, por tanto, de humo; esto es mayor en los electrodos autoprotegidos. El proceso GMAW produce mucha menos concentración de partículas y el proceso por arco sumergido produce una cantidad muy pequeña, así como el GTAW y el plasma.

La soldadura en materiales pintados o recubiertos genera una elevada contribución de humo. Ejemplo de elementos que se generan a partir de las pinturas son: plomo, zinc, cromo y sustancias orgánicas. El humo generado a partir del recubrimiento puede contener óxidos de zinc, plomo, cromo o cadmio.

La Sociedad Americana de Soldadura (AWS) ha desarrollado un método estandarizado para la medición y determinación de las partículas producidas por los diferentes procesos de soldadura. Este método se encuentra explicado en el documento de la AWS llamado “Método de muestreo de partículas generadas por la soldadura y procesos relacionados a ella.” Mediante el uso de esta técnica pueden hacerse mediciones para determinar la contaminación.

Existe una variedad de metales que no deben ser soldados sin el uso de sistemas de extracción mecánicos, debido a que las partículas creadas por la vaporización de los metales tienen un alto potencial de riesgo. Los metales que crean una contaminación atmosférica riesgosa son el cromo, el níquel, el berilio, el latón, el bronce, el cadmio, el cobalto, el cobre, el plomo, el manganeso, el vanadio y el zinc. Ninguno de ellos debe ser soldado sin emplear ventilación mecánica.

Algunos de los metales anteriormente mencionados pueden ser usados para recubrimientos de las planchas de acero, como son el cadmio, el zinc, el plomo, el cromo, el níquel y el cobre, entre los más comunes.

Otros recubrimientos tales como pinturas, barnices, plásticos y aceites pueden generar contaminación. El recubrimiento debe ser eliminado del área a soldar o debe usarse ventilación mecánica.

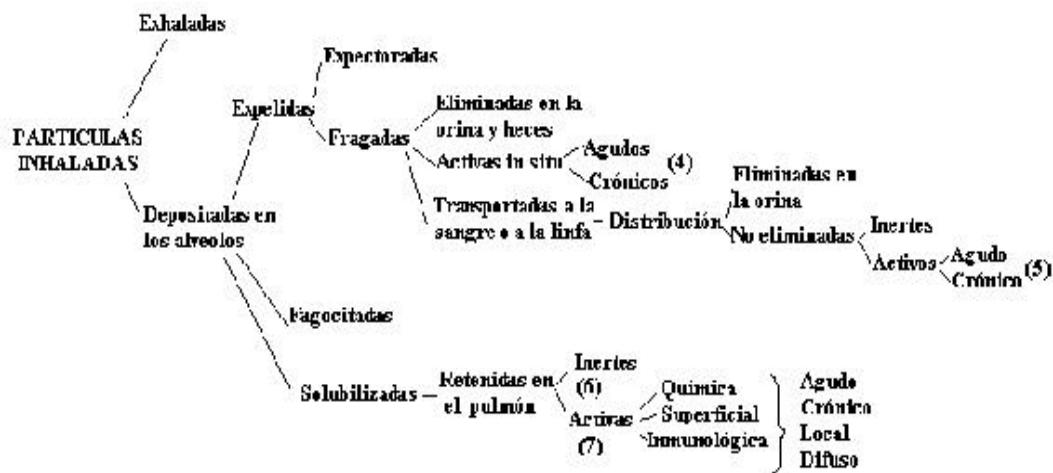


Fig. 1.7. Mecanismos de absorción y eliminación de los gases componentes del humo de soldadura

1.2. Enfermedades provocadas por la inhalación de los humos de soldadura

Primero que todo es necesario explicar en qué consiste lo que llamamos enfermedad profesional. Se le llama así a las alteraciones de la salud patológicamente definidas, generadas por razón de la actividad laboral en trabajadores que en forma habitual se exponen a factores que producen enfermedades y están presentes en el medio laboral o en determinadas profesiones u ocupaciones.³⁰

Dentro de la soldadura existen varias enfermedades que la bibliografía médica^{6, 7} reconoce como provocadas por la realización del proceso, entre ellas se encuentran las que a continuación se relacionan.

1.2.1. Alteraciones pulmonares

a) Agudas:

Edema agudo de pulmón: Es provocado por los vapores nitrosos cuando la soldadura se efectúa en un lugar cerrado. Asimismo, hay que tomar precauciones cuando se trabaja sobre piezas recubiertas con cadmio y en el caso de metales que hayan sufrido un desengrasado con disolventes clorados. Estos disolventes, a altas temperaturas o por acción de los rayos ultravioletas, pueden descomponerse, dando lugar a compuestos clorados nocivos para las vías respiratorias lo que implica que tales sustancias no deben manejarse nunca cerca de un puesto de trabajo. A veces la sintomatología es la de una bronconeumonía.

b) Crónicas

Neumopatía crónica (considerada como neumoconiosis): Es ocasionada por la penetración en los pulmones de óxido de hierro y bióxido de silicio. La frecuencia de la siderosis es mínima en los soldadores. En cuanto a la silicosis, es controvertida; se han observado casos irrefutables, uno de los cuales pudo confirmarse histológicamente. No

hay que olvidar que a altas temperaturas el silicio contenido en ciertos revestimientos puede combinarse directamente con el oxígeno del aire para formar bióxido de silicio y, por tanto, silicio libre.

La silicosis es una enfermedad profesional causada por la inhalación continua de partículas microscópicas de sílice libre (SiO_2), que produce una afección pulmonar caracterizada por una fibrosis difusa, progresiva e irreversible.²

Existen varios minerales o rocas que contienen sílice libre (SiO_2). Según Deming, en su obra *Química General*, la sílice es el elemento más abundante en la naturaleza después del oxígeno y otros metales. El cuarzo es una forma cristalina de la sílice libre. Existen muchos minerales que comúnmente conocemos y que contienen un porcentaje más o menos elevado de sílice libre, entre ellos están la arena, el granito, el caolín, la cristobalita, el feldespato, etc.

La sílice libre se encuentra también combinada con algunas bases, tales como: Al_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , etc., formando entonces los llamados silicatos, los cuales pueden ocasionar una patología profesional pulmonar conocida con el nombre de silicatosis, que difiere de la verdadera silicosis, que como ya dijimos se debe a la acción directa o indirecta de la sílice libre sobre el parénquima pulmonar, lo que determina una fibrosis difusa o reticular, primero, y luego nodular. No obstante, existen todavía algunos puntos no definidos entre la silicosis y la silicatosis, pues hay autores que estiman, con razón, que la silicatosis produce un cuadro pulmonar muy semejante a la silicosis, por lo que se le debe considerar como una verdadera neumoconiosis.

En la industria hay muchos trabajadores expuestos a la inhalación de sílice libre, lo cual debemos conocer para poder relacionar una simple bronquitis o estado catarral de las vías respiratorias bajas con un posible estadio precoz de la silicosis.

La fibrosis pulmonar silicótica tiene una característica muy frecuente en su evolución, y es su lento desarrollo y la ausencia de sintomatología en los estadios precoces de la enfermedad. Esto lo demuestran los exámenes radiográficos, donde podemos ver imágenes pulmonares de fibrosis en trabajadores con aparente buen estado de salud. Esta etapa silenciosa puede durar varios años y depende de factores como la cantidad de polvo inhalado, el porcentaje de sílice, etc. No obstante, hay casos de evolución muy rápida, como sucede en los trabajadores que laboran con chorros de arena para limpiar o desinrustar metales (conocido por sandblasting), a causa de las pequeñas dimensiones de las partículas de sílice.

Muchos autores citan como síntoma precoz y primero la disnea de esfuerzo, pero tomando la experiencia de los médicos cubanos avezados en esta enfermedad, se aprecia que se hallan con más frecuencia la tos seca y otros signos de bronquitis, lo cual hace muy difícil el diagnóstico diferencial de esta afección en su etapa inicial. Durante el reconocimiento físico sólo se encuentran signos de bronquitis, tales como estertores roncos y sibilantes.

Progresivamente estos síntomas se hacen más marcados, la disnea se presenta al realizar esfuerzos cada vez más ligeros, la tos se hace húmeda, se presentan dolores torácicos, astenia y adelgazamiento. La respiración se acelera un poco y la espiración es prolongada. Cuando se presenta el esputo hemoptoico se debe pensar de inmediato en una complicación: la sílico-tuberculosis.

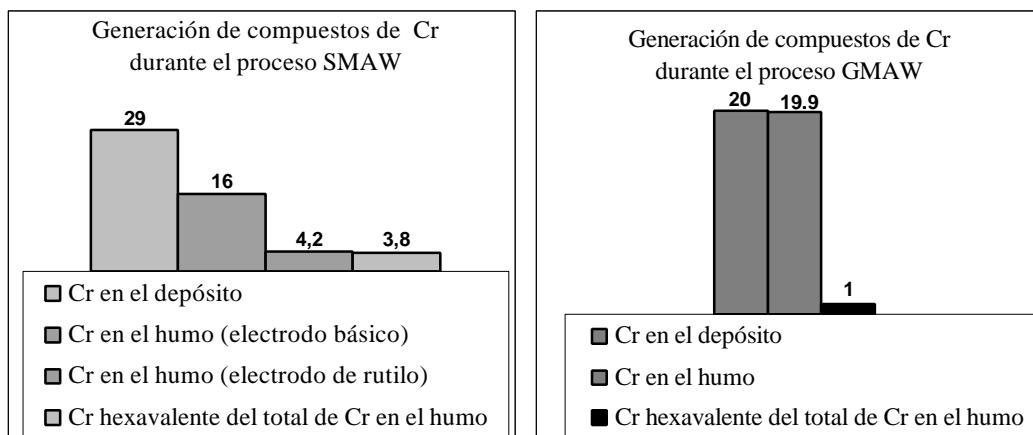
La evolución de la enfermedad depende de la edad; es dos veces más rápida entre los 30 y 40 años que de los 50 a los 60. La silicosis disminuye notablemente el curso normal de la vida. Como ya se ha dicho, esta enfermedad es progresiva, irreversible, e incapaz

de regresar espontáneamente o por vía terapéutica. El número de casos de silicosis que se complica con tuberculosis oscila entre un 17 y un 40 %, según los diferentes autores. Muchos casos terminan en una insuficiencia cardíaca derecha.



Fig. 1.8. Contaminación de los pulmones debido a la inhalación de partículas

Por otra parte existen otras alteraciones pulmonares provocadas por la inhalación de partículas procedentes de los humos de soldadura y que causan afectaciones serias a la salud; por ejemplo ha sido demostrado que el cromo hexavalente y algunas impurezas de níquel (este último en forma de partículas muy finas o en estado trivalente) pueden causar cáncer, particularmente de pulmón.^{33, 54} Los efectos dañinos menos serios incluyen la inflamación crónica de los pulmones, alergias y daños corrosivos de las vías respiratorias. Debe prestarse especial atención para controlar los humos que contengan estos compuestos. Los valores límites normados por diferentes países para esa sustancia son extremadamente estrictos, por ejemplo, el valor límite higiénico (calculado como el contenido promedio de inhalación durante un día completo de trabajo) en Suiza es de 0,02 mg/m³ para cromatos cancerígenos y 0,1 mg/m³ para impurezas de níquel. La generación de estos compuestos depende en gran medida, además de los consumibles que se utilicen, del proceso de soldadura que se emplee.



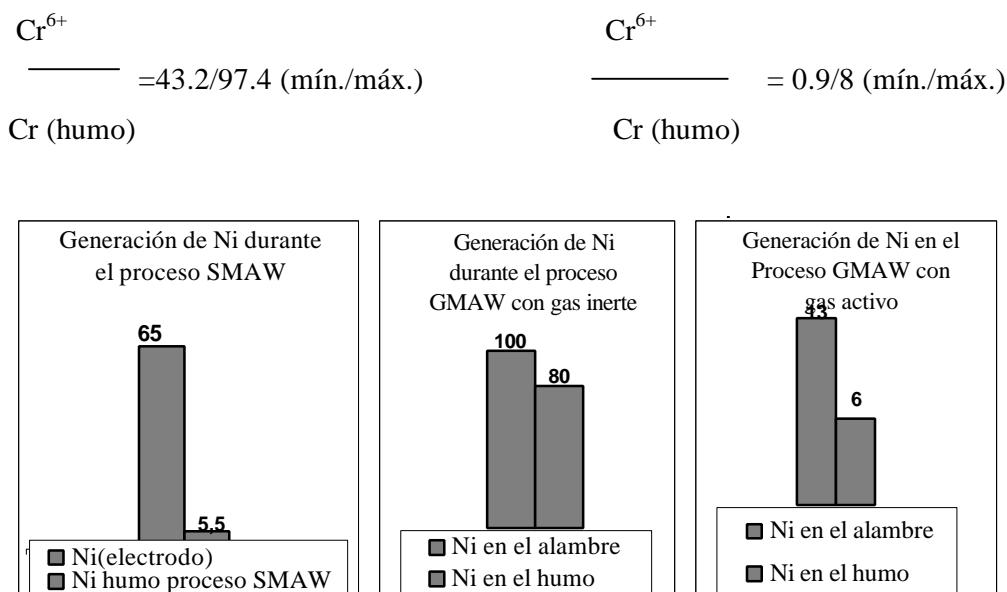


Fig. 1.9. Generación de compuestos de cromo y níquel en dependencia de los procesos y del tipo de consumible

Es vital prevenir la respiración de las personas en aire contaminado con estas impurezas referidas anteriormente. Siempre que sea posible, este debe ser eliminado del lugar de soldadura usándose extracción. En el proceso de soldadura manual por arco (SMAW) de estos aceros se produce una generación de óxidos de cromo, principalmente hexavalente, que supera los 2 mg/m^3 . En el caso del proceso con protección gaseosa y electrodo metálico (GMAW) solo de un 10 a 15 % del óxido de cromo que se genera es hexavalente, lo que significa que este proceso es menos dañino, desde este punto de vista, en la soldadura de los aceros inoxidables. La cantidad de partículas de compuestos de cromo y níquel en el humo también depende del proceso que se utilice como se ve en los gráficos que aparecen anteriormente.

1.2.2. Intoxicación provocada por la inhalación de vapores de cobre y zinc

Generalmente la toxicidad de los metales es proporcional a la facilidad de ser absorbidos por el ser humano. Un metal disuelto de manera iónica puede absorberse más fácilmente que en su estado elemental. Los efectos tóxicos dependen también del grado de oxidación en que se encuentre el metal (mientras mayor, más toxicidad). Igualmente la toxicidad varía según la capacidad de enlace para formar compuestos organometálicos en los organismos vivos.^{60, 61} Dentro del organismo estos metales se unen a ligandas que contienen átomos de azufre, oxígeno y nitrógeno produciendo alteraciones en los ácidos nucleicos, proteínas y enzimas. Su grado de toxicidad se incrementa cuando se acumulan en órganos purificadores como son el hígado, el intestino, los riñones y otros.

La noche siguiente a una soldadura u oxicorte de piezas galvanizadas en espacio cerrado es relativamente frecuente que aparezcan síntomas como fiebre y escalofríos^{30, 54} debido a la inhalación de vapores de zinc, aunque también se ha observado tras la inhalación de vapores de cobre. Ello causa síntomas similares a los de la influenza provocando una enfermedad llamada fiebre metálica.

Lo anterior ocurre muy comúnmente cuando se sueldan aceros galvanizados; los síntomas comienzan algunas horas después de la exposición a esos óxidos y consisten en sed excesiva, tos, dolor de cabeza, dolor en los músculos y fiebre. La recuperación total ocurre por lo general dentro de uno o dos días, sin efectos posteriores.

1.2.3. Manganesismo

Se adquiere casi de modo exclusivo por la inhalación del polvo muy fino o de los vapores del manganeso. Es posible que este tipo de intoxicación pase inadvertida con frecuencia, porque los trastornos que produce no le son inherentes. La otra vía de entrada al organismo es la digestiva, por medio de las partículas que, llegadas a la cavidad bucal se degluten en la saliva.^{6, 7, 30}

La acción tóxica por efecto de la absorción prolongada de los productos altera la función y estructura de los núcleos grises de la base del cerebro, lo que determina lesiones de tipo degenerativo y vascular.

El cuadro clínico fundamental del manganesismo crónico se evidencia con el cuadro extrapiramidal (pérdida del equilibrio tónico muscular del que depende la justa posición de los miembros, temblor de estos) debido a las lesiones de los núcleos centrales. Asimismo, se asocian signos piramidales y síntomas neurovegetativos que explican el polimorfismo de las manifestaciones nerviosas que se presentan en esta afección. También el manganeso puede ejercer una acción irritativa y tóxica sobre el tejido pulmonar y provocar la neumonía que ocasiona una intoxicación aguda.

Los síntomas son predominantemente sensitivos y neurovegetativos: astenia, fatigas, dolores de diversas localizaciones, sobre todo cefaleas y dolores lumbares, calambres en las extremidades inferiores, mareos, disminución de la potencia sexual que puede alternar con períodos de excitación, somnolencia invencible que a veces se asocia a insomnio nocturno, sudoración excesiva, anorexia, cambios del carácter, y otros.

1.2.4. Saturnismo

Puede aparecer en el curso de un trabajo sobre metales recubiertos de minio o durante el oxicorte. Los obreros que realizan labores como las soldaduras con plomo, presentan un riesgo particular.^{1, 2}

Los síntomas principales de este tipo de intoxicación están dados por los trastornos del sistema nervioso, cambios de los órganos, del sistema cardiovascular y del aparato digestivo.

Los humos y vapores de plomo, sus compuestos y los polvos de este metal, penetran al organismo por vía digestiva y respiratoria. Las intoxicaciones profesionales ocasionadas por el plomo están relacionadas en la mayoría de los casos con la penetración en el organismo a través de la vía inhalatoria; en este aspecto la absorción se produce con facilidad y los síntomas tienden a desarrollarse con rapidez.

El plomo circula en la sangre en forma de suspensión coloidal de fosfatos o albuminatos. Se sedimenta primero en todos los tejidos y se concentra finalmente en los huesos, hígado y riñones, donde se crea el depósito de su fosfato-tribásico insoluble.

Los síntomas principales están dados por los trastornos del sistema nervioso y cambio de los órganos hemocitopoyéticos, del sistema cardiovascular y del aparato digestivo.

Los trastornos del sistema nervioso se manifiestan con fuertes dolores de cabeza, mareos, fatigas elevadas, irritabilidad, debilitamiento de la memoria y perturbación no muy acusada del sueño. Además se puede advertir una elevación del nivel de excitabilidad de los analizadores olfativos, gustativos y visuales. En formas graves de intoxicación estos trastornos funcionales se pueden traducir en alteraciones orgánicas que van acompañadas de parálisis (nervio radial sobre todo) y encefalopatías saturninas, aunque esto no es muy común que se presente.

La determinación de la coproporfirina III en orina, demostrará si existe o no una exposición del trabajador al plomo o sus compuestos.

1.2.5. Intoxicación por cadmio

El cadmio se encuentra en el proceso de soldadura, ya sea procedente de la superficie a soldar o como componente de la varilla.¹

La inhalación de los humos o polvos de cadmio ejerce su acción principalmente en el tracto respiratorio, también pueden ser afectados los riñones. Una breve exposición a concentraciones elevadas puede dar lugar a edema pulmonar y provocar incluso la muerte. Por lo general, el edema no es masivo, y se encuentra una pequeña sufusión pleural. En casos fatales se ha comunicado degeneración grasa del hígado y alteraciones inflamatorias agudas en los riñones.

Entre los síntomas se encuentran tos pertinaz, la que va seguida en un plazo corto de tiempo (sólo varias horas) de cefalalgia, mareos y sensación de constricción torácica, con dolor acompañado de dificultad respiratoria.

1.2.6. Daños provocados por la inhalación de CO

El monóxido de carbono se combina con la hemoglobina de la sangre, la cual tiene una afinidad 300 veces mayor con este gas que con el oxígeno.^{30, 60} Al llegar al pulmón, para la regeneración de la hemoglobina, la carboxihemoglobina formada no se purifica al menos que el aire que se respire esté exento de CO. Se produce un aumento gradual de la concentración de carboxihemoglobina, con la consiguiente hipoxia de los tejidos. Si se está en una atmósfera con 600-800 ppm de CO, en menos de una hora se producen efectos desagradables tales como cefaleas, náuseas y otros. Una exposición de una hora, y aún menos, a concentraciones de 1 000-1 200 ppm puede ser muy peligrosa e incluye la pérdida del conocimiento. Sobre 1 500 ppm (0,15 %) se producen efectos fatales. El CO no ocasiona intoxicaciones crónicas y casi siempre basta la exposición al aire puro durante un tiempo suficiente para permitir la recuperación total. Estados avanzados de intoxicación requieren atención médica, con suministro de oxígeno que tenga un pequeño porcentaje de CO₂ y respiración artificial en los casos más serios. En ocasiones se plantea que su límite permisible es de 10 ppm.

1.2.7. Daños provocados por los gases de protección, helio, argón y sus mezclas

Los daños provocados por los gases de protección,²³ en este caso por los gases nobles, vienen dados porque estos pueden desplazar el aire de la zona de respiración, sobre todo cuando se suelda en lugares confinados. El argón es un asfixiante simple²⁴ que produce efectos similares a los de la inacción de CO₂ y, como se conoce, su inhalación puede provocar la asfixia del soldador debido a la falta de oxígeno en la atmósfera en que se encuentra respirando. Se le llama espacio confinado²⁷ a un espacio relativamente pequeño o restringido como pueden ser los tanques, depósitos, compartimentos, recipientes a presión, calderas, pequeñas habitaciones, o cualquier lugar cerrado que pueda tener pobre ventilación.

1.2.8. Daños provocados por el ozono

El ozono es un gas muy peligroso ya que en niveles alrededor de los 0,08 ppm produce sequedad e irritación de las fosas nasales. En niveles por encima del valor máximo admisible (0,1 ppm) produce congestión nasal, punzadas en el pecho, dolores de cabeza y dificultad respiratoria. Una exposición por encima de dicho valor límite puede originar, a largo plazo, bronquitis crónicas y enfisemas. Como ya se ha señalado anteriormente, el mayor porcentaje de O₃ se forma alrededor del arco de soldadura, a unos 10-15 cm del mismo, habiéndose medido en esa zona concentraciones de hasta 7 ppm.

La bibliografía consultada describe distintos síntomas para varias concentraciones de ozono como puede observarse en la tabla 1.²⁸

Tabla 1.2 . Síntomas que provoca la inhalación de ozono a distintas concentraciones

Concentración de Ozono	Síntomas	Comentarios adicionales
0,1 ppm	Ninguno	Es el valor límite admisible (TLV)
0,3 ppm	Picazón e irritación en la garganta	Puede agravarse si existiera asma
0,5 ppm	Garganta seca, irritación de la nariz y la garganta, tos, dolor en el pecho, dificultad para respirar, fatiga, dolor de cabeza y náuseas.	La severidad de los síntomas aumenta con los niveles de actividad física.
0,9 ppm	Irritación en los ojos, nariz y garganta, congestión pulmonar, falta de aire y sueño.	Se han visto estos niveles de ozono cuando se suelda en tiendas cerradas.
1,0 ppm	Irritación en los ojos, nariz y garganta, debilidad, aumento del pulso, disminución de la capacidad pulmonar. La exposición por largos períodos puede provocar bronquitis y enfisemas.	Esta es la concentración máxima admisible.

Es evidente que no todos los procesos de soldadura generan el mismo nivel de ozono, por ejemplo, la soldadura con electrodo manual produce un nivel de ozono muy bajo, por cuanto el revestimiento de los electrodos reduce este nivel.³¹

La unidad usada para medir la emisión de gases es mL/min., es decir, la cantidad de sustancia emitida por unidad de tiempo.

Para comparar distintos procesos de soldadura se emplea el coeficiente de dilución o el valor higiénico nominal de demanda del aire (NHAD en inglés o NHL en alemán), que es la cantidad teórica de aire requerido por unidad de tiempo para diluir los contaminantes, llevándolos al valor límite umbral. Este valor se deduce dividiendo el valor de la emisión medida de la sustancia en cuestión por su valor límite umbral y se mide en m³/min.

1.2.9. Daños provocados por los gases nitrosos

Entre todos los derivados del nitrógeno, el que tiene más importancia desde el punto de vista de la patología producida es el dióxido de nitrógeno.⁶ Reacciona con la humedad de los tejidos pulmonares y con el O₂ del aire para formar ácido nítrico y una pequeña proporción de ácido nitroso que con el álcalis del suero sanguíneo se transforman en los nitratos y nitritos correspondientes.

Estos nitritos pueden provocar dilatación arterial, reducción de la presión arterial con vértigos y cefaleas, pero estas reacciones no tienen mucha importancia frente a la irritación de los tejidos pulmonares que producen los edemas pulmonares y consecuencias casi siempre fatales.

Los gases nitrosos no son muy tóxicos, pero sí muy peligrosos a causa de su acción irritante que no es notoria enseguida. El proceso de hidrólisis es relativamente lento y por ello su acción es retardada. La irritación de los pulmones no es dolorosa pero es más peligrosa que la de las vías respiratorias superiores. Una persona puede respirar sin mayores molestias inmediatas una concentración de gases nitrosos suficiente para causar la muerte por edema pulmonar unas horas más tarde.

También se ha demostrado que de los gases nitrosos el dióxido nítrico puede causar irritaciones en las membranas mucosas.⁶⁰

1.2.10. Daños provocados por la inhalación de berilio

Estos compuestos entran al cuerpo a través de la inhalación de humos que los contengan y actúan localmente en la piel, también pueden llegar a provocar úlceras, nasofaringitis, bronquitis, y en casos serios puede causar una neumoconiosis aguda, con tos, escaso esputo, fiebre baja, disnea y dolores.²⁴

Estos síntomas se presentan generalmente en el primer o segundo mes de comenzado el trabajo y la recuperación requiere de dos meses. Esta afectación puede complicarse con edemas pulmonares, por lo que hay que considerarla como de elevado peligro para la vida.

1.2.11. Daños provocados por los compuestos de cobalto

Se conoce que estos compuestos no tienen una severa agresividad hacia el organismo humano. Se ha demostrado²⁴ que el cobalto produce dermatitis y hipersensibilidad de la

piel. También se han dado casos de cambios hematológicos, digestivos y pulmonares a causa de estos compuestos.

1.2.12. Daños provocados por el vanadio

Los compuestos de vanadio actúan principalmente como irritantes del tracto respiratorio. Se conoce que exposiciones prolongadas pueden conducir a complicaciones pulmonares.²⁴ Los signos y síntomas de envenenamiento por compuestos de vanadio son: palidez, ennegrecimiento de la lengua, paroxismos de tos, disnea y dolor en el pecho, bronquitis, temblor en las manos, entre otros.

1.2.13. Otras afectaciones provocadas por la soldadura y el corte

Otras afectaciones que suelen incidir en los soldadores, aunque no se pueden imputar definitivamente al trabajo de soldadura son las que aparecen a continuación.³⁰

Alteraciones sanguíneas: Anemia, síndrome hemorrágico, poliglobulina, hemopatía maligna. Diferentes autores han observado hipersideremia. Hay que hacer notar que un soldador con siderosis pulmonar e hipersideremia puede fallecer finalmente por hemocromatosis.

Trastornos digestivos: Son más frecuentes entre los soldadores eléctricos que entre los soldadores a gas. Aparte de los casos de saturnismo relacionados con el trabajo, la imputabilidad de estos trastornos es dudosa. Cabría preguntarse si no están favorecidos por factores físicos como la posición del obrero, los malos hábitos alimentarios y el consumo de bebidas heladas.

Alteraciones endocrinas: Se han mencionado el disfuncionalismo tiroideo y la impotencia sexual, pero en ningún caso se ha demostrado la etiología profesional.

Alteraciones nerviosas: Cefaleas, insomnio y astenia en los obreros que trabajan en espacios cerrados.

Afectaciones cardiovasculares: De las observaciones realizadas no se puede concluir que el trabajo de soldadura provoque alteraciones en el aparato circulatorio. Los signos de sufrimiento miocárdico, cuando los hay, son siempre secundarios a una afección pulmonar, pero está casi demostrado que los gases de la soldadura pueden agravar lesiones preexistentes.

Afectaciones cutáneas: Se han descritos eritemas actínicos a causa de los rayos ultravioletas. Se han observado dermatosis pigmentadas y alteraciones vasculares; con ciertos derivados metálicos también son posibles manifestaciones alérgicas.

Otra causa para la aparición de afectaciones en la piel es el contacto con objetos metálicos que contengan cromo y níquel, lo cual provoca daños corrosivos en ella (las llamadas quemaduras de cromo) y además trae consigo eczemas alérgicos de contacto, los que en exposiciones prolongadas pueden extenderse por todo el cuerpo. Es por tanto especialmente importante, durante la soldadura de aceros inoxidables, evitar el contacto con la piel de estos metales, usando guantes y otras ropas protectoras. También el polvo fino de compuestos de cromo y níquel que está en el aire circundante puede pegarse a la piel y producir daños también por esta vía.

El gas fosgeno se produce,^{6,54} como se ha dicho anteriormente, por la soldadura sobre piezas que fueron limpiadas con disolventes clorados. Este compuesto reacciona con la

humedad de las mucosas produciendo ácido clorhídrico el cual ejerce su acción retardada produciendo líquido en los pulmones. Quizás ni siquiera se note el problema hasta horas después de haber terminado de soldar, pero el líquido en los pulmones puede ocasionar la muerte.

1.3. Límites de exposición a los humos de soldadura

En la actualidad existe preocupación por la exposición continua del soldador a humos que pueden conducir a enfermedades pulmonares crónicas e incluso a la muerte por enfermedades como cáncer de pulmón.³⁷ Esta preocupación ha aumentado en los últimos tiempos a causa del descubrimiento de que algunos de los componentes del humo de soldadura, como cromo hexavalente y compuestos de níquel, pueden ser cancerígenos.

Los límites de exposición permisibles están definidos como la concentración promedio máxima en el aire para la respiración durante un período de 8 horas. Este es en algunas ocasiones también definido para un período corto o como un nivel máximo que no debe ser excedido.⁵⁴

Para determinar si los niveles de humo de la soldadura exceden cierto límite de exposición³ es necesario llevar a cabo una auditoría de seguridad personal, lo cual implica tomar muestras de humo en el interior de la careta y hacer un análisis químico de los materiales componentes. Ello puede ser muy caro pero una alternativa puede obtenerse mediante una valoración simplificada, usando los datos del fabricante del electrodo, alambre o varilla, para calcular el nivel de exposición; aunque estos datos no siempre son dados como información del consumible. Debemos destacar que este método no es exacto para estimar el nivel de exposición pero puede ayudar para juzgar si es necesario algún tipo de control.

Proteger al soldador de una exposición excesiva a los humos de soldadura es ahora obligatorio en la legislación laboral de muchos países y, en general, los límites de exposición difieren en dependencia del país o la organización que los establezca, como veremos a continuación:

La siguiente tabla indica la exposición máxima legislada en una jornada laboral de 8 horas en el Reino Unido.

Tabla 1.3. Valores límites de exposición para los humos y gases de soldadura en países pertenecientes a los países de la mancomunidad británica

Sustancias	Límites de exposición
Humos de soldadura	5 mg/m ³
Fluoruros	2,5 mg/m ³
Óxido de hierro, humo	5 mg/m ³
Humo de óxido de zinc	5 mg/m ³
Humo de manganeso	1 mg/m ³

Pentóxido de vanadio	0,05 mg/m ³
Ozono	0,01 ppm
Compuestos de cromo III	0,5 mg/m ³
Dióxido de nitrógeno	3 ppm
Compuesto soluble de bario	0,5 mg/m ³
Monóxido de carbono	50 ppm
Humo de cobre	0,20 mg/m ³
Humo de óxido de cadmio	0,05 mg/m ³

A continuación se muestran los límites de exposición de algunos países miembros del Instituto Internacional de Soldadura (IIW)

Tabla 1.4. Valores límites de exposición para los humos y gases de soldadura, según el Instituto Internacional de Soldadura (IIW)⁵⁴

Sustancias	Límites de exposición
Partículas	(mg/m ³)
Humo de óxido de aluminio	4-10
Compuestos solubles de bario	0,5
Humo de cadmio	0,01-0,05
Cromo	0,05-0,5
Cromo hexavalente	0,02-0,05
Humo de cobre	0,1-0,2
Fluoruros	0,2-2,5
Óxidos de hierro	3,5-6
Humo de compuestos de plomo	0,05-0,15
Humo de óxidos de manganeso	0,3-2,5
Humo de níquel	0,1-1
Humo de óxido de zinc	5

Gases	ppm
Monóxido de carbono (CO)	30-50
Dióxido de carbono (CO ₂)	500
Óxido nitroso (NO)	2
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	2-3
Ozono (O ₃)	0,1

Medida de la toxicidad sobre el cuerpo humano

La medida de la toxicidad de una sustancia viene dada por las concentraciones máximas admisibles recomendables.³¹

La Conferencia Americana de Higiene Industrial de Gases del Medio Ambiente (ACGIH), cuyas directrices se siguen en España, da las definiciones siguientes:

TLV – TWA:

Concentración media para una jornada de 8 horas, durante 5 días laborales, a que puede estar expuesto un trabajador día tras día sin efectos adversos.

TLV – STEL:

Concentración media ponderada en un tiempo de 15 minutos que no se debe sobrepasar, aún cuando la media ponderada en el tiempo que corresponde a las 8 horas sea inferior al TLV – TWA. Es la concentración máxima a que se puede estar expuesto sin sufrir irritación, daño irreversible en tejidos o narcosis. Este límite complementa al TLV – TWA.

TLV – C:

Concentración que no se debe sobrepasar en ningún momento durante el trabajo. En la práctica, si no es posible realizar una medida instantánea de TLV – C, se puede fijar en exposiciones cortas mediante un muestreo durante 15 minutos, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación inmediatamente.

En función de la acción fisiológica de la sustancia pueden ser pertinentes 1 ó 2 categorías de TLV. Por ejemplo, para los gases irritantes solamente es adecuada la categoría TLV- C. En cualquier caso, en la práctica de la higiene industrial se considera que si sobrepasa cualquiera de estos valores TLV se presume que existe un riesgo potencial.

Conforme a las anteriores definiciones la ACGIH adopta los valores que aparecen en la tabla 1.5.

Tabla 1.5. Concentraciones máximas de las sustancias en el cuerpo humano (para los gases).

Sustancias	TLV –TWA (ppm)	TLV – TWA (ppm)	TLV – C (ppm)
NO ₂ (dióxido de	3	5	-

nitrógeno)			
NO (óxido nítrico)	25	-	-
CO (monóxido de carbono)	50	400	-
O₃ (ozono)	-	-	0,1

De esta tabla se concluye que los higienistas industriales consideran más tóxico al ozono que a otros gases que se generan normalmente, puesto que su límite máximo admisible es mucho más bajo:

- 50 veces menor que para el NO₂.
 - 4 000 veces menor que para el CO₂,
 - 250 veces menor que para el NO,
- si fueran comparables.

1.4. Enfermedades del sistema óseo-muscular provocadas por el proceso de soldadura

La soldadura manual incluye una exposición a factores severos los cuales pueden contribuir potencialmente a desarrollar problemas crónicos en el sistema óseo-muscular de los soldadores,²⁶ entre los que se encuentran:

- Maniobrar objetos pesados.
- Maniobrar equipamiento de soldadura pesado.
- Posiciones de trabajo difíciles.
- Cargas musculares estáticas.
- Requerimientos de precisión manual rigurosos.
- Alta intensidad de trabajo.
- Alto grado de uniformidad.

Los problemas ergonómicos relacionados con la soldadura son un asunto que ha comenzado a provocar interés a escala internacional, a través del Instituto Internacional de Soldadura (IIW), de su comisión de salud y seguridad.

¿Cuán comunes son los problemas del sistema óseo-muscular?

La literatura científica contiene poca información acerca del predominio de afectaciones al sistema óseo-muscular. Sin embargo el trabajo hecho por el grupo de estudio de riesgos a la salud (HRSG) en condiciones de trabajo, en la comisión de Suiza (1990), ha generado algunos datos relevantes. En este caso fue examinado el registro nacional, estudiándose las ocupaciones con mayores niveles de riesgo en términos de accidentes ocupacionales y enfermedades.

De acuerdo con el estudio de las razones de ausentismo en 1988, según refiere el HRSG, los soldadores significaron el mayor promedio, debido a dolores en la espina lumbar. Esto significa que las enfermedades del sistema óseo-muscular son el principal

factor que afecta la alta tasa de incidencia de enfermedades entre los soldadores. Los astilleros son ejemplos típicos donde se hace más común esta afectación.

También han sido estudiadas estadísticas relacionadas con los retiros tempranos (antes de los 65 años) por el grupo de HRSG. Los soldadores están en lo que podría ser llamado un grupo de sobre riesgo (de 90 %) en este contexto, comparado con la fuerza de trabajo masculina en general. Las enfermedades del sistema óseo-muscular constituyeron el principal diagnóstico que lleva a los soldadores a un retiro temprano (49 %). En un estudio realizado en astilleros holandeses y fábricas de calderas (Wander, 1988), se concluyó que la principal razón para que estos trabajadores dejen la compañía con la pensión permanente fue las enfermedades en el sistema óseo-muscular.

Las causas por las cuales los soldadores adquieren esta enfermedad ya ha sido estudiada durante un estudio epidemiológico (Hagbing y Wegman, 1987), donde se pudo ver que existe un riesgo significativamente elevado de dolor en el hombro debido a la inflamación en el músculo rotatorio de la muñeca entre los trabajadores cuya labor es muy común que se realice con los brazos elevados (sobre todo en astilleros).

En un estudio de la fatiga muscular durante la soldadura se obtuvo como resultado que el músculo *supraspinatus* es particularmente forzado durante el trabajo de soldadura y que la habilidad en esta labor no produce inmunidad a la fatiga en posiciones difíciles. En este estudio se determinó que la afección llamada *tendinitis supraespinatus* es una causa común de dolores en el hombro, frecuentemente reportada por los soldadores. Un análisis clínico-epidemiológico (Herberts *et al.* 1984) de esta dolencia entre soldadores de astilleros reveló que prevalece a razón de un 18 %. En 1991, en otra investigación clínica, se demostró que en un grupo de 58 soldadores todos tienen desviaciones en sus sistemas de articulación. Este síntoma está comprendido en un 63 % en el cuello, 65 % en el hombro, 59 % en la cintura y 46 % en la rodilla. Los diagnósticos más comunes entre los soldadores son la atrofia del músculo del hombro y la contracción de la mano.

1.5. Campo electromagnético creado durante el proceso de soldadura. Afectaciones a la salud

Los seres vivientes, tanto plantas como animales, son estructuras bioeléctricas.^{5,51,53} Toda célula viva se comporta como un dipolo, ya que la distribución asimétrica de cargas hace que el interior celular sea negativo respecto al exterior. La diferencia de potencial a través de la membrana es variable en diversos tipos de células, encontrándose valores frecuentes entre -10 y -100 mV. En los animales y los seres humanos en particular son frecuentes las manifestaciones eléctricas que se valoran con fines de diagnósticos médicos como son el electrocardiograma, el electroencefalograma, el electromiograma y el electrorretinograma, entre otros menos comunes.

Por otro lado, producto de la evolución planetaria, la Tierra se encuentra rodeada de un campo magnético estático de un valor promedio de 500 mG y con manifestaciones naturales esporádicas de tormentas magnéticas de origen solar que pueden alcanzar 50 mG. Por tanto, los seres vivientes han estado sometidos por millones de años a influencias magnéticas de origen natural.

Sin embargo, producto del desarrollo tecnológico de la humanidad, desde el descubrimiento de la energía eléctrica y las telecomunicaciones se empezó a poblar nuestro planeta de muy diversas ondas pertenecientes al espectro electromagnético, entre ellas los llamados campos electromagnéticos de frecuencia extremadamente baja

debido a la corriente alterna y otras de mucho mayor frecuencia como las ondas de radio, televisión y radar.

Por tanto, los seres vivientes estamos expuestos a gran variedad de ondas, lo cual hace necesario comentar muy brevemente las características del espectro electromagnético y la caracterización de los campos magnéticos de origen eléctrico, natural y artificial.

La magnitud del campo eléctrico, medido frecuentemente en voltio/metro (V/m), está en proporción directa al voltaje y decrece a medida que aumenta la distancia. El campo magnético se mide en dos unidades; en el llamado sistema cegesimal es el Gauss, abreviado como G, y en el sistema internacional corresponde al Tesla (T). El Tesla es una unidad de campo magnético 10 000 veces mayor que el Gauss. Dada su magnitud, es frecuente la unidad de miligauss (mG) y el microtesla (μ T) para describir los campos magnéticos asociados a la corriente eléctrica.

Las ondas presentes en la naturaleza y aquellas artificiales producto de la tecnología humana, pueden colocarse con fines descriptivos, en forma ordenada, de acuerdo con la frecuencia de oscilación. Se habla entonces del espectro electromagnético, que abarca desde ondas de frecuencia extremadamente baja, menores de mil ciclos por segundo hasta las de muy elevada frecuencia, de miles de millones de Hz.

En el grupo de radiaciones de frecuencia más baja del espectro están las ondas magnéticas originadas por la corriente eléctrica, normalmente de 60 Hz. No importa que sea en una línea de alta tensión o proveniente de un tubo fluorescente o de la rasuradora eléctrica, la frecuencia es la misma.

En el extremo superior del espectro electromagnético están las ondas de alta frecuencia, tales como rayos gamma y los rayos X, conocidas por su peligrosidad. Si se toma como referencia la luz visible, que son ondas electromagnéticas para las cuales el ojo tiene receptores especializados en la retina, a mayor frecuencia se encuentran las radiaciones ionizantes y por debajo, las radiaciones no ionizantes que por tener baja energía no logran producir radicales libres ni romper las moléculas de ADN que forman el material genético celular.

Además de las ondas magnéticas oscilantes asociadas a la corriente eléctrica, entre el grupo de radiaciones no ionizantes, pero de mucho mayor frecuencia, están las ondas de radio (AM y FM) y de televisión (VHF y UHF), además de las conocidas micro-ondas usadas en hornos y también para telecomunicaciones.

En forma similar al campo eléctrico, el campo magnético depende de una variable eléctrica y de la distancia. Su magnitud está relacionada directamente con el flujo de corriente (medido en amperios) y decrece también rápidamente con la distancia.

Es interesante anotar que aunque el campo eléctrico se puede aislar, no hay barreras para el campo magnético. Sobre la base de lo anterior se deduce que dondequiera que haya corriente alterna, necesariamente habrá un campo magnético en los alrededores. Esto incluye todo sistema eléctrico, desde la generación en las plantas, subestaciones elevadoras, líneas de transmisión, subestaciones reductoras, líneas de distribución, transformadores, líneas primarias y secundarias, hasta el aparato que utilice la corriente: horno, cocina, TV, radio, plancha, computadora, secadora, fluorescente, bombillo, calentador, motores, etc. En otras palabras, siempre que un dispositivo o aparato use electricidad hay flujo de corriente y se generará un campo magnético oscilatorio acoplado.

La investigación experimental ha demostrado que el efecto de los campos magnéticos generados por la corriente eléctrica (CEM) sobre los seres vivientes está determinado por la intensidad, frecuencia y acumulación de la exposición.⁵¹ Sin embargo no se conoce hasta qué grado sea capaz de alterar la homeostasis y entonces, superada la capacidad de adaptación del individuo, se pueda instaurar una condición patológica. Sobre los posibles mecanismos de acción tan solo existe una serie de hipótesis bajo estudio.

Los estudios epidemiológicos hasta la fecha son insuficientes y como aún no son conclusivos, se está en una fase controversial desde el punto de vista científico. Los CEM se han relacionado sobre todo con ciertos tipos de cáncer del sistema nervioso central, principalmente gliomas, diversos tipos de leucemia y cáncer mamario. Sin embargo, dado que no hay reproducibilidad en los estudios y que existen críticas metodológicas, en lugar de claridad las nuevas investigaciones han contribuido a la confusión. Los efectos sobre la esterilidad, el aborto y las malformaciones congénitas, no arrojan en el balance general resultados positivos e igual pasa con las alteraciones en el comportamiento humano.

Un problema adicional sobre los efectos de los CEM en la salud, generado por esta situación indefinida, es la divulgación de estudios aislados sobre un tema muy especializado que en forma alarmista se presenta al gran público a través de los medios de información. Se hace necesario, por tanto, un análisis fundamentado en una amplia y actualizada base bibliográfica.

Como se ha dicho, el campo magnético crea en el momento en que una corriente eléctrica fluye a través de un conductor.⁵³ Cuando la persona se expone a un campo magnético se inducen corrientes eléctricas de circuito cerrado y perpendiculares a la dirección del campo. Estas corrientes, producto de acciones indirectas del campo magnético, son imperceptibles y están por debajo de los cambios eléctricos asociados a la conducción nerviosa, la contracción muscular y la actividad cardiaca.

Ahora se verá cómo se comporta en el caso de los soldadores. El asunto más reciente y de especial interés es la cuestión de si el campo electromagnético generado por la soldadura puede ser nocivo. El término “Radiación electromagnética” despierta alta sensibilidad.

Ambos campos, eléctrico y magnético, pueden producir fuerzas. Por voltajes alternos y corrientes alternas se crean campos alternos. Estos son capaces de transferir energía a sus alrededores. Esta energía, que puede ser transferida, aumenta con el incremento de la intensidad del campo y la frecuencia. Así, de esta forma, pueden generarse en el ambiente calor, voltaje y corrientes eléctricas.

Los cables de soldadura se rodean a sí mismos con un alto campo magnético, debido a que ellos son conductores simples, los cuales están frecuentemente separados y a la alta corriente. Si los conductores de suministro y retorno para un consumidor eléctrico están juntos, los campos magnéticos producidos por las corrientes serán ampliamente compensados entre sí. Algo semejante se aplica en los conductores trifásicos.

Efecto en el ser humano

A pesar de que no ha podido ser probado, son alarmantes los reportes que hablan de la relación entre el campo electromagnético y el incremento de los riesgos de leucemia y

tumores de bronquios.⁵³ Entre los grupos de riesgos que se mencionan se incluye a los soldadores.

Estudios epidemiológicos indican que puede existir relación entre la exposición ocupacional a campos magnéticos de baja frecuencia y el incremento de la incidencia de cáncer. Los grupos de riesgos son aquellos que están expuestos a campos electromagnéticos que provienen de líneas de energía o de sus situaciones de trabajo. Los soldadores se encuentran entre los grupos de trabajadores que están expuestos a las mayores intensidades de campo. La soldadura por arco requiere de alta corriente. El equipamiento de soldadura puede estar cerca del soldador y los cables de soldadura encontrarse, además, en contacto directo con su cuerpo. En el área alrededor del cable de soldadura el campo magnético excede los 200 μT . Este es un valor claramente alto, debido a que es inusual que este exceda de 1 μT en un oficio normal. A forma de comparación, es interesante saber que el campo magnético estático de la tierra tiene una energía de unos 50 μT .

Diferentes ejemplos de campos electromagnéticos de 50 Hz

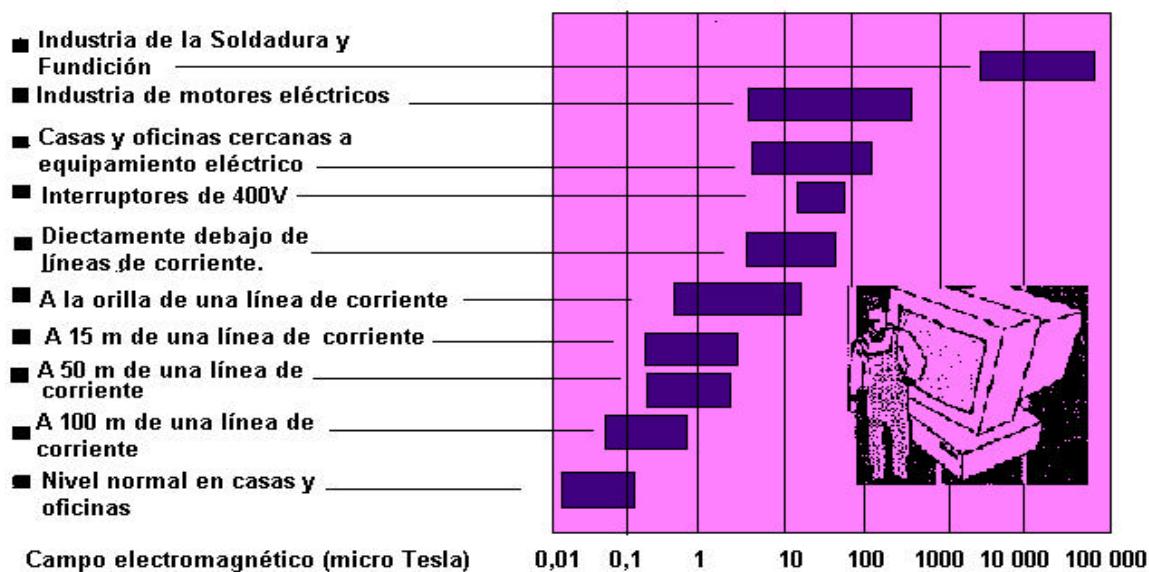


Fig. 1.10. Campos magnéticos en distintos oficios

Los campos electromagnéticos más poderosos se crean durante la soldadura por resistencia, donde la corriente puede llegar a 10 kA y el campo magnético a ser mayor de 1000 μT en un área determinada. La corriente alterna es la más común aunque también puede usarse la corriente directa.

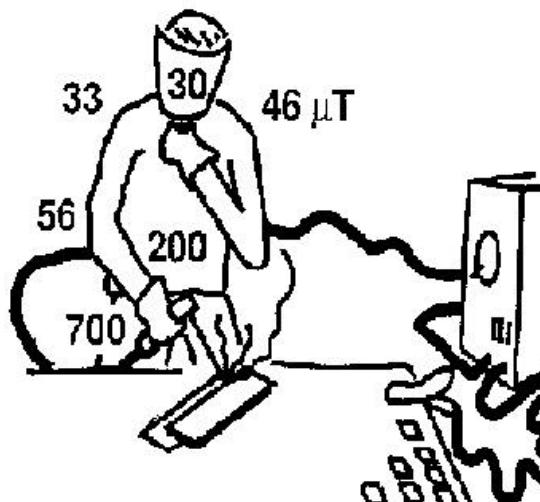


Fig.1.11. Valores de los campos magnéticos que afectan al soldador durante el proceso de soldadura manual con electrodo revestido (SMAW)

1.6. Radiaciones generadas durante el proceso de soldadura. Afectaciones a la salud

En todos los tipos de soldadura es esencial que el soldador se proteja de las radiaciones ultravioletas e infrarrojas invisibles y de la poderosa luz azul visible.^{34,38} Estas radiaciones pueden causar distintas afectaciones a la vista y otros órganos.

Las enfermedades oftálmicas más comunes debido a estas radiaciones son la queratitis, la conjuntivitis y las cataratas. La queratitis es una inflamación de la córnea caracterizada por infiltración con matidez de la superficie y disminución de la transparencia. Sus síntomas son dolor, lagrimeo, fotofobia y disminución de la visión. Se distinguen tres variedades: superficial, profunda y úlcera de córnea.. Se conoce que la radiación ultravioleta emitida por el arco de soldadura puede causar numerosas y pequeñas quemaduras en la cornea y también provocar conjuntivitis, la que se presenta cuando se inflama la conjuntiva, una delicada membrana que tapiza los párpados y cubre la porción anterior del globo ocular. Sus síntomas son el enrojecimiento por inyección vascular, molestias, secreciones diversas y fotofobia, que no es más que una sensación ocular desagradable que se experimenta bajo el efecto de la luz. La exposición prolongada puede provocar la aparición de otra afección llamada catarata, que se caracteriza por la aparición de una opacidad blanca o grisácea y por la disminución de la vista o visión de puntos y manchas negras. Las cataratas se producen cuando el cristalino se vuelve opaco a causa de un proceso degenerativo de su tejido constitutivo. En casos extremos puede conducir a la pérdida completa de la visión. La radiación infrarroja puede causar daños térmicos permanentes y la intensa luz azul visible puede además causar daños en la retina.

Es frecuente observar en los soldadores^{33,38} la llamada oftalmía eléctrica o golpe del arco, la cual aparece de 4 a 8 h después de terminar el trabajo. Se trata de una sensación luminosa muy viva que persiste con los ojos cerrados, lagrimeo, conjuntivitis y dolor intenso.

Otra literatura consultada clasifica las afectaciones provocadas a la vista debido a las radiaciones de soldadura^{6,7} como alteraciones oculares, las cuales se explican como aparece a continuación:

a) Agudas:

Aparte de las heridas y las quemaduras banales por proyecciones de cuerpos extraños, la causa más habitual es un exceso de luz, que generalmente proviene del arco eléctrico. Existen dos formas clínicas:

1. La queratoconjuntivitis u oftalmía eléctrica: Se instaura de inmediato una ambliopía pasajera y después de algunas horas de latencia, una queratoconjuntivitis. El individuo aqueja fuertes dolores con una sensación de granos de arena acompañada de fotofobia. Hay lagrimeo, se observan lesiones palpebrales, epidermatitis actínica con edema, a la que seguirán pigmentaciones conjuntivales como es el enrojecimiento y el edema de la parte descubierta y corneal, apreciándose una pequeña erosión. Es normal la regresión en unos cuantos días.
2. El fototraumatismo retiniano o deslumbramiento eléctrico: Las alteraciones aparecen en el mismo momento o poco después de la exposición. El principal síntoma es una sensación de deslumbramiento; es decir, una sensación luminosa intensa, que se siente incluso con los ojos cerrados. Por lo general es de corta duración, pero pueden superponerse otros síntomas como son: disminución de la agudeza visual, estrechamiento del campo visual y alteraciones de la visión de los colores. Trastornos todos ellos que desaparecen normalmente en unos cuantos días. Sin embargo, las lesiones retinianas pueden persistir con reducción de la visión e incluso atrofia óptica; en esta forma no hay lesión anatómica del segmento anterior, pero puede combinarse con queratoconjuntivitis.

b) Crónicas:

La escleritis difusa: se observa preferentemente en los soldadores con soplete (OAW) y ocurre debido al calor y a la luz. Se caracteriza por tensión de los globos (dolorosa a la presión), miosis y visión debilitada. La catarata es una secuela poco común; se observa a menudo en obreros relacionados con la soldadura oxiacetilénica. Se atribuye a los rayos infrarrojos.

Los trabajadores expuestos a las radiaciones ultravioletas, en particular los soldadores por arco eléctrico, pueden presentar diversas patologías además de los trastornos oculares, como por ejemplo: trastornos sexuales (a veces atribuidos al Mn), y también lesiones de la piel.

Los rayos ultravioletas están presentes en la industria en diferentes procesos, pero son más evidentes en la soldadura y, sobre todo, en la soldadura por arco eléctrico. Los rayos ultravioletas emitidos por el arco eléctrico tienen una intensidad cien veces más fuerte que en la soldadura a gases. Aunque en la soldadura por arco la temperatura oscila entre 3 000 y 6 000 °C, la radiación calórica (infrarroja) es relativamente débil, ya que a 1 m de distancia la temperatura ambiental sólo se eleva 2 °C en 10 min.

La soldadura GMAW produce la radiación ultravioleta más poderosa, especialmente cuando se sueldan materiales inoxidables y aluminio, y este efecto es reforzado por la reflexión en el metal depositado. Durante este tipo de soldadura, la radiación ultravioleta puede ser de 30 a 40 veces más fuerte que la producida por la soldadura con electrodo revestido. La soldadura GTAW produce la segunda más poderosa radiación ultravioleta.

Las radiaciones infrarrojas^{7,25} son ondas electromagnéticas emitidas por cualquier superficie a cierta temperatura. La intensidad de esta radiación depende de la temperatura de la superficie. En sí la radiación infrarroja difiere de los rayos luminosos, de los rayos X y de los rayos ultravioletas, solamente por su longitud de onda. Lo

misma que las demás radiaciones señaladas, la infrarroja puede ser reflejada, absorbida y transmitida cuando incide sobre otros elementos. La mayoría de las fuentes industriales donde se producen altas temperaturas, contienen en su espectro una cantidad muy considerable de rayos infrarrojos, que casi predominan sobre la radiación visible y la ultravioleta. Además, las fuentes con una temperatura inferior a 600 °C emiten sólo radiaciones infrarrojas. Los efectos que pueden producir los rayos infrarrojos son trastornos funcionales u orgánicos en los trabajadores expuestos, desde una discreta hipertermia general hasta la producción de quemaduras y opacidades del cristalino (cataratas).

La tabla 1.6 muestra las distintas radiaciones con sus respectivos intervalos de longitud de onda y las lesiones que pueden causar al ojo humano.

Tabla 1.6. Daños a los ojos provocado por las radiaciones

Tipo de radiación	Daños provocados a la vista
UV-A (315-380 nm)	Niveles altos o exposiciones prolongadas pueden causar cataratas
UV-B (280-315 nm)	Cataratas, quemaduras cutáneas
UV-C (100-280 nm)	Daño de la córnea y el cristalino. Pérdida de visión
Luz azul (400-480 nm)	Daño de la retina, pérdida de visión
IR-A (700-1 400 nm)	Daño de la retina
IR-B (1 400-3 000 nm)	Daño de la córnea y el cristalino
IR-C (3 000 nm-1 mm)	Quemaduras, pérdida de visión

donde: IR- radiación infrarroja
UV- radiación ultravioleta.

En la figura 1.10 se pueden apreciar los efectos de las radiaciones sobre el ojo. La córnea es afectada por radiación ultravioleta, principalmente para UV lejanos e IR medios. El cristalino se ve dañado por los efectos de UV cercanos y por los infrarrojos, principalmente medios. Otros tipos de radiaciones peligrosas no son absorbidos por la córnea o el cristalino, sino que se focalizan directamente en la retina. Este puede ser el caso de la luz visible (daño fotoquímico) así como IR cercano. La retina tiene una

capacidad muy limitada de cicatrización, incluso niveles bajos de energía pueden dañarla irreversiblemente. La radiación infrarroja puede actuar en conjunción con la luz azul aumentando la posibilidad de daño fotoquímico sobre la retina. Cuando el nivel de radiación es muy alto, si la temperatura de la córnea y el cristalino aumentan y su refrigeración mediante los vasos sanguíneos no es suficiente, los rayos infrarrojos pueden aumentar la posibilidad de daño de estos órganos por los rayos ultravioletas.

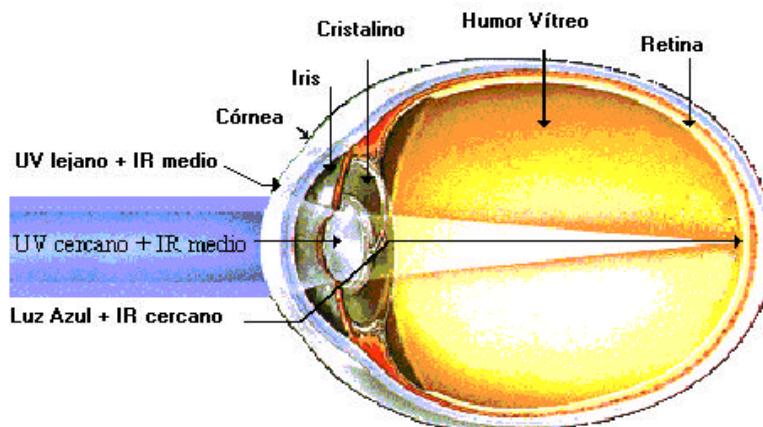


Fig. 1.12. Daños provocados a las distintas zonas de los ojos a causa de las radiaciones

El daño a los ojos no es el único causado por la radiación ultravioleta, esta también causa enrojecimiento en la piel y quemaduras, y puede, luego de largos períodos de exposición, causar daños malignos en la piel (cáncer de piel). La garganta y los brazos son los más vulnerables a esta afección.

1.7. Afectaciones de la capacidad auditiva

El concepto de sordera profesional en el caso de los soldadores se refiere a que las anomalías de la audición son relativamente frecuentes en estos trabajadores, sobre todo a causa de los procesos relacionados con la soldadura y no a ella misma (esmerilado, martillado, etc), pero a veces están relacionadas con un riesgo de vecindad.^{3,10,49}

En las operaciones de soldadura, corte y en los procesos relacionados el ruido proviene de la fuente de energía y mayormente de operaciones complementarias a la soldadura, tales como el esmerilado, el cizallado, el martillado, etc. Ciertos procesos de soldeo y corte, como el proceso por plasma y algunos de resistencia eléctrica generan ruidos superiores a los 90 dB.

Se conoce que el ruido excesivo representa un riesgo para la salud y la exposición a este puede causar pérdidas en la audición, estas pueden ser parciales, temporales o permanentes. El tiempo requerido para que la pérdida de la audición sea permanente depende de varios factores, entre los que están la susceptibilidad del individuo, el nivel del ruido y la duración de la exposición. Además, hay evidencia de que el ruido excesivo afecta otras funciones corporales.

Entre los procesos que pueden ser muy ruidosos están el arco aire y el arco plasma. Los motores de los generadores pueden producir también ruido excesivo.

Una medida para conocer si el nivel de ruido está en la zona dañina a la salud es que necesitemos hacer un esfuerzo, elevar la voz al hablar, para ser escuchados.

Las anomalías de la audición son relativamente frecuentes pero a veces están relacionadas con un riesgo de vecindad.³⁰

Una forma muy simple de reducir el ruido es alejando la fuente del operario, en caso de ser posible.

1.8. Riesgos de afectaciones por choque eléctrico durante el proceso de soldadura

Los instrumentos, las herramientas y el equipamiento electrodoméstico que manipulamos y usamos en nuestros hogares, talleres y fábricas diariamente están de alguna forma encapsulados para prevenir el uso por las partes vivas de contacto.²⁷ Muchos de ellos están diseñados acorde a uno de estos dos principios:

- Clase I. Equipamiento en el cual todas las partes vivas están conectadas a tierra a través de un conductor verde y amarillo.
- Clase II. Equipamiento el cual tiene aislamiento doble o reforzado entre las partes vivas y el usuario.

En la soldadura manual por arco eléctrico el soldador cierra la parte viva del circuito de soldadura con el electrodo (en algunos casos, dos o más electrodos), la tenaza y la pieza de trabajo. El hecho indiscutible de que la soldadura por arco requiere un arco abierto, hace este proceso mucho más arriesgado que un barrenador eléctrico portátil o un equipo electrodoméstico.

Tanto el soldador, como todo el personal relacionado con el proceso de soldadura debe tener conocimiento de la naturaleza de la soldadura y los riesgos que provoca para de esta forma tomar todas las precauciones necesarias y prevenir accidentes.

El efecto de la corriente sobre el cuerpo humano depende de los aspectos siguientes:

- El valor de la corriente.
- La duración de flujo de corriente
- El trayecto de la corriente a través del cuerpo.
- La frecuencia de la corriente.

El valor de la corriente

En el cuerpo humano existen impulsos eléctricos de acuerdo con una función determinada, pero al mismo tiempo es vulnerable al paso de la corriente a través de él. En determinadas circunstancias la corriente alterna de más de 10-20 mA puede ser peligrosa y de 30-40 mA, mortal, no siendo así para un campo de corriente de 0,5 mA el cual es apenas perceptible. Un incremento de la corriente podría causar reacciones incontroladas, dolores y fibrilaciones ventriculares. El riesgo de daños aumenta con el valor de la corriente y la duración del flujo de corriente, como se aprecia en la figura 1.13.

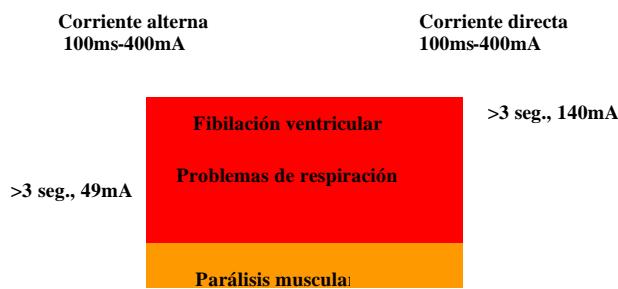


Fig. 1.13. Efectos del paso de la corriente en el cuerpo humano en dependencia de la intensidad y el tipo de corriente

La duración del flujo de corriente

Con el incremento de la duración del flujo de corriente, son mayores los riesgos de quemaduras de los tejidos y de la fibrilación ventricular, los cuales son considerados la causa principal de muerte por choque eléctrico (Véase Fig. 1.12)

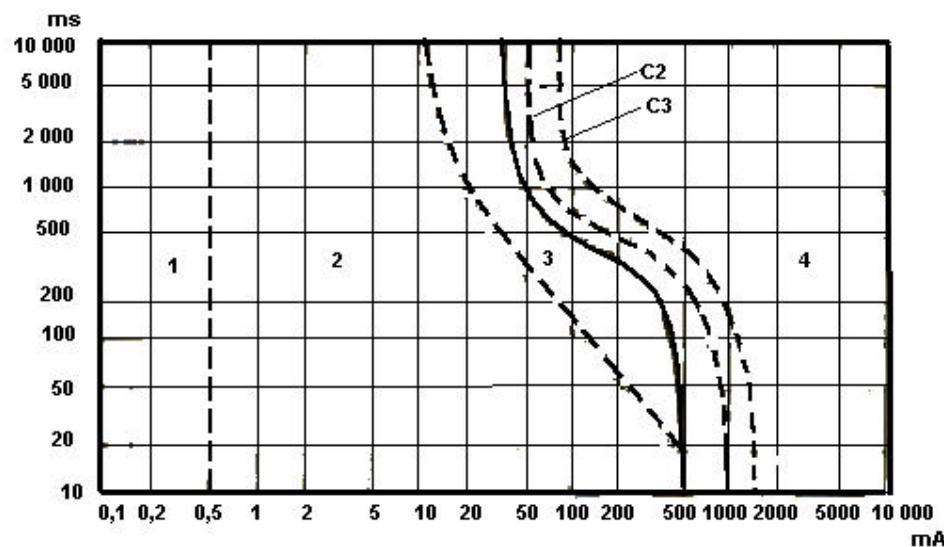


Fig.1.14. Zonas tiempo/corriente de efectos de la corriente alterna, 1500 Hz, en seres humanos.

Zona 1: Normalmente no hay reacción.

Zona 2: Normalmente no hay efectos fisiológicos dañinos.

Zona 3: Normalmente no existen daños orgánicos. En esta zona se producen contracciones musculares, dificultades en la respiración, alteraciones reversibles de formación de fibrilación y paros cardiacos transitorios sin fibrilación ventricular que aumentan con la magnitud y el tiempo.

Zona 4: Además de los efectos de la zona 3, la probabilidad de fibrilación ventricular aumenta hasta el 5 % (curva C2), hasta el 50 % (curva C3), por encima del 50 % después de la curva C3. Con el aumento de la magnitud y el tiempo pueden ocurrir

efectos patofisiológicos tales como paros cardiacos, paros respiratorios y quemaduras severas.

El trayecto de la corriente a través del cuerpo

Para un trayecto determinado a través del cuerpo, el daño depende ante todo del tiempo y la magnitud de la corriente. Existe una real diferencia del riesgo en dependencia de cuál es el trayecto a través del cuerpo que toma la corriente. La figura 1.12 describe la situación que se presenta si la corriente fluye desde el brazo izquierdo a los pies. Si el trayecto es de mano a mano el efecto equivale al de esta figura, para valores de corrientes 2,5 veces mayor, y desde la mano izquierda al pecho, sólo con 2/3 del valor se produce el mismo efecto.

Otro de los factores que influyen en el efecto de la corriente es la frecuencia. Los valores de la figura 1.12 son representativos en frecuencia de 15-100 Hz. Para frecuencias mayores o menores que estas los efectos son menos dañinos. Para que la corriente directa logre el mismo efecto que la corriente alterna es necesario que tenga valores cuatro veces mayores que esta, si la onda es menor que en un 10 %.

Los parámetros que tienen un mayor efecto en el flujo de corriente son el voltaje y la impedancia del cuerpo. La relación entre la corriente y el voltaje no es lineal porque la impedancia del cuerpo humano varía según el voltaje de toque. En la figura 1.13 el número indica el valor de la impedancia en el cuerpo humano para una trayectoria dada, comparada con la trayectoria de mano a mano.

El arco de soldadura requiere voltajes en vacío los cuales son un poco mayores que el nivel de voltaje considerado totalmente seguro (menor de 50 V).

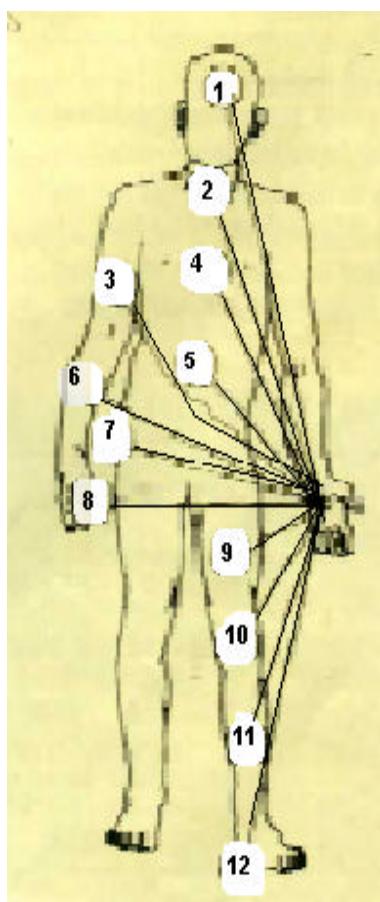


Fig. 1.15. Impedancia interna del cuerpo humano en función de la corriente.

El número significa el porcentaje de impedancia en el cuerpo humano para el trayecto de la corriente por todo el cuerpo del hombre, en relación con el trayecto de mano a mano.

El número que no está entre paréntesis se refiere a la trayectoria de la corriente desde una mano a la parte del cuerpo en cuestión.

El número que está entre paréntesis se refiere a la relación del trayecto entre las dos manos y la parte del cuerpo correspondiente.

1. 50(30)
2. 40(20)
3. 60
4. 45(23)
5. 50(25)
6. 75
7. 55(30)
8. 100
9. 60(35)

1.9. Riesgo de exposición al calor

Los soldadores en ocasiones requieren trabajar con altas temperaturas de precalentamiento, como en el caso de la soldadura de materiales especiales, donde la temperatura de precalentamiento es muy alta y el soldador puede entrar en contacto con el aire caliente. Esto trae consigo afectaciones pulmonares severas (ver epígrafe 1.2.1) que pueden llegar a crónicas. Otro órgano dañado puede ser la piel, con quemaduras de alto grado.

1.10. Riesgo de explosiones e incendios

Un gran número de fuegos en plantas industriales son causados debido al corte y la soldadura con equipamiento portátil, en áreas no específicamente diseñadas o aprobadas para este trabajo.^{47,49,10,17,18} Los tres elementos del triángulo del fuego (combustible, calor y oxígeno) están presentes en la mayoría de las operaciones de soldadura. El calor proviene del arco, la antorcha o el metal caliente. El combustible, del gas combustible empleado, o de otros combustibles presentes en el área de soldadura. El oxígeno está presente en el aire, pero puede ser enriquecido con el oxígeno usado con el gas combustible para la soldadura a gases (OAW). Muchos fuegos industriales han sido causados por salpicaduras, que son pequeñas cantidades de metal fundido oxidado, y que viajan hasta 40 pies (13m) desde el puesto de trabajo. Estas salpicaduras pueden caer en grietas, huecos de tuberías u otras aberturas pequeñas del suelo o divisiones y así comenzar el fuego sin ser notado por un tiempo. También pueden impactarse contra mangueras, reguladores o cilindros.

Las piezas calientes de metal pueden entrar en contacto con materiales combustibles y provocar fuegos. También pueden ocurrir fuegos y explosiones cuando el calor es transmitido a través de las paredes de contenedores hacia atmósferas inflamables o combustibles dentro del contenedor.

Cualquier sustancia combustible o inflamable es susceptible a la ignición en el corte y la soldadura. Estos procesos no pueden realizarse cuando los metales están en contacto con aislamientos de espuma de goma de uretano. Todos los aislantes de espumas orgánicas deben ser considerados combustibles, esté o no indicado.

CAPÍTULO II. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN EN LA SOLDADURA

En el ámbito de la actividad industrial la soldadura constituye uno de los procesos en los que interviene una mayor cantidad de variables a tener en cuenta a la hora de planificar la seguridad de las operaciones.¹⁰

El análisis de los riesgos, realizado en el capítulo anterior, es una tarea obligada en cualquier estudio de seguridad, ya que solamente conociéndolos se podrán definir y especificar las medidas preventivas oportunas.

El proceso de soldadura^{49,48} se lleva a cabo tanto en puestos fijos, en una producción en serie, como en operaciones de montaje de piezas sin puesto fijo, en fábricas y en montajes de obras, siendo estas últimas las de riesgos más frecuentes. Es por ello que al soldador le afectan todos los riesgos inherentes a los trabajadores de montaje, agravándose su situación por la incomodidad que supone el empleo de las protecciones personales, que son necesarias para protegerse de los factores nocivos ocasionados por el proceso de soldadura.

Una vez conocidos y clasificados los tipos de riesgo a los que se enfrenta el personal durante la realización del proceso de soldadura, existen las condiciones para definir las medidas de prevención y protección que se deben aplicar, las cuales deben estar recogidas en la planificación de la producción.

La dirección del taller de soldadura es responsable de proveer a los trabajadores con un entrenamiento que garantice su conducta segura en las actividades diarias así como la capacidad de detectar cuándo está frente a un riesgo y cómo protegerse del mismo. Los soldadores y otros trabajadores relacionados con este trabajo tienen la obligación de aprender y realizar las prácticas seguras y obedecer las medidas de seguridad y las regulaciones establecidas a ese respecto. En el taller deben existir los medios que garanticen la seguridad, como son: extinguidores de fuego, equipos de salvamento, equipamiento para primeros auxilios y otros; además del personal entrenado para utilizar estos equipos adecuadamente.

Existe una gran variedad de medios de protección que el soldador y demás personal que trabaje relacionado con este proceso debe usar. En la figura 2.1 aparece una parte del equipamiento de soldadura que debe utilizar un soldador para su protección personal.

En la soldadura, además de las protecciones personales de los trabajadores directamente involucrados en las tareas de soldeo, se deben adoptar medidas de protección colectivas, dado que también el entorno del soldador, es decir, los operarios que laboran en las proximidades, se encuentran sometidos a los riesgos producidos por los procesos de soldadura. Todas las áreas deben proveerse de la correspondiente señalización que indique los trabajos que se están llevando a cabo, así como de las protecciones de uso obligatorio (casco, filtros oculares, etc.).

Todo el cuerpo del soldador está sometido a la posible acción de agentes agresivos, por lo que debe protegerse integralmente, con especial atención a los ojos y a su sistema respiratorio, que merecen un desarrollo aparte y que se tratan más adelante.

Existen numerosas medidas para contrarrestar los riesgos que genera el proceso de soldadura, muchas de las cuales se referirán en los próximos epígrafes.

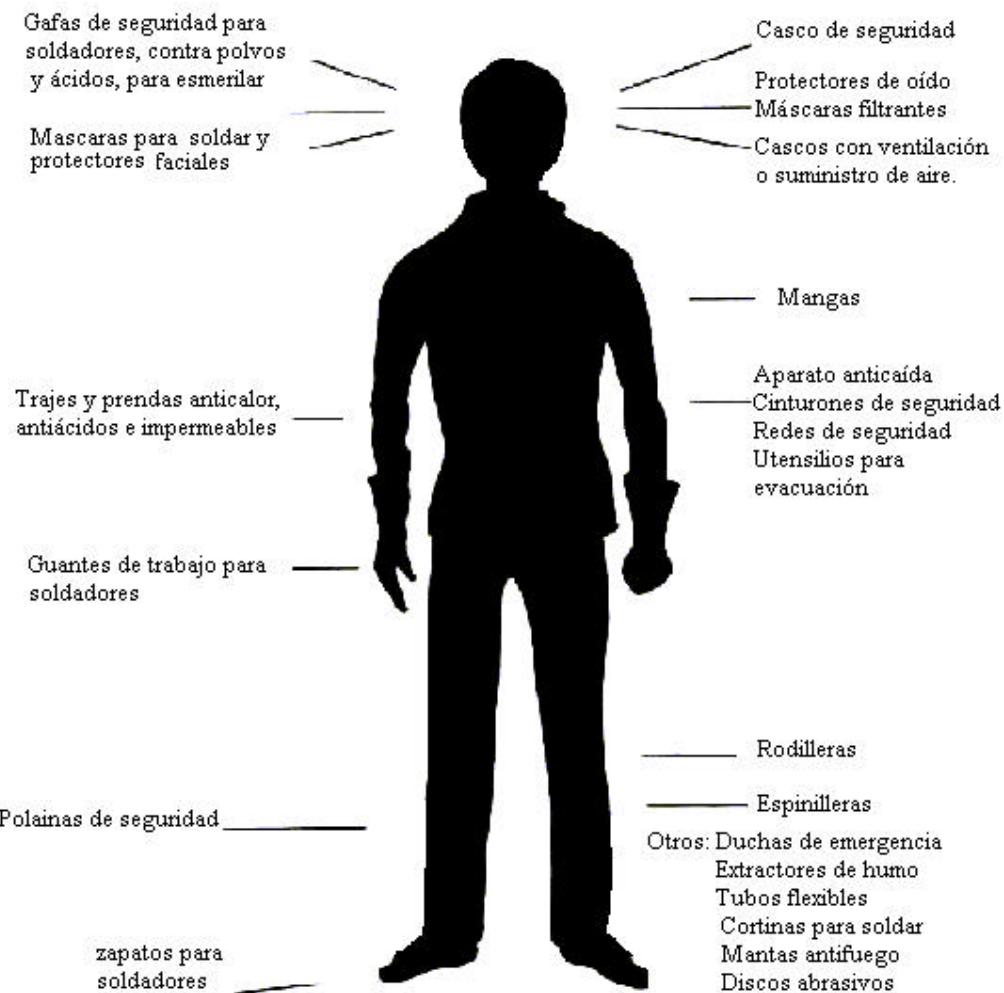


Fig. 2.1. Aditamentos necesarios para la protección personal del soldador

2.1. Medidas de seguridad para prevenir la inhalación de humo

Se ha indicado que uno de los principales riesgos que afectan a los soldadores y a los demás trabajadores de su entorno, son los que actúan sobre el sistema respiratorio en forma de humos y gases.⁴⁹

La eliminación de estos riesgos exige que los humos no alcancen la zona respiratoria. Se deben tener en cuenta para este análisis la posición del soldador con respecto a la dirección del flujo de humo y la utilización de los distintos tipos de ventilación y de protección respiratoria.

Es usual que aceros estructurales viejos hayan sido recubiertos con muchas capas de pinturas, las cuales pueden contener plomo. El calor del arco o la llama causará la volatilización de este recubrimiento y se producirá un humo contenido de plomo. Este debe ser eliminado del área del arco. En estos casos debe emplearse ventilación o protección respiratoria directa al soldador.

Posición del soldador

La tendencia natural del soldador es inclinarse sobre la pieza, en esta posición respira el humo formado durante el soldeo. Sin embargo, si adopta una postura en la que su cabeza no esté directamente sobre el humo, la cantidad de contaminantes inhalados será mucho menor.

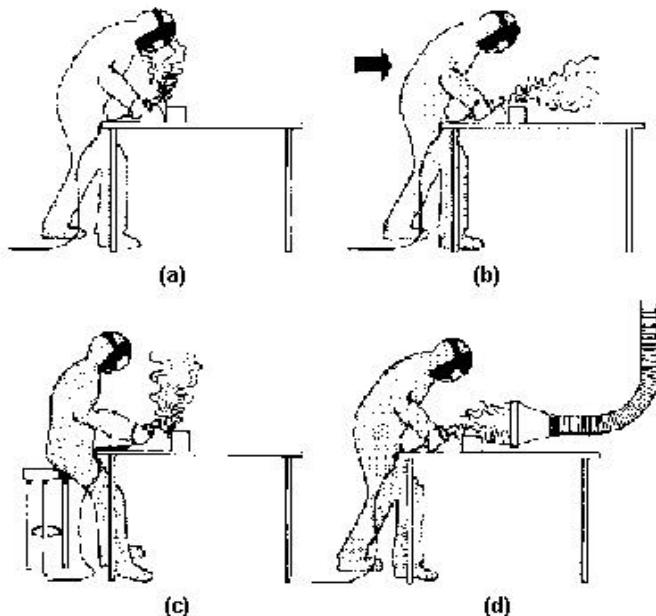


Fig. 2.2. Ubicación del soldador con respecto al humo. a) excesiva exposición a los humos de soldeo, b) ventilación general, c) posición de soldeo adecuada, d) extracción localizada

Precauciones a tener en cuenta cuando se soldan piezas recubiertas o desengrasadas

Cuando las superficies recubiertas se sueldan se producen gases nocivos,⁴⁹ por ello tales recubrimientos deberán ser eliminados antes del soldeo en una franja de 25-50 mm a ambos lados de la unión. Si esto no es posible, se debe instalar una ventilación más potente en el puesto de trabajo. La mayor parte de los recubrimientos puede quitarse mediante el esmerilado.

El cadmio debe ser eliminado químicamente debido a su alto nivel de toxicidad. Por ello deben tomarse precauciones estrictas durante el soldeo de materiales cadmiados. Estas deben incluir el empleo de una mascarilla y un sistema eficiente de extracción de humos.

Para desengrasar las piezas se debe evitar la utilización de sustancias como el benceno o disolventes clorados. Las operaciones de limpieza de las superficies se deben llevar a cabo en talleres separados de la zona de soldeo y dotados de suficientes sistemas de ventilación. Antes de realizar el soldeo de una pieza desengrasada debe dejarse secar hasta que todo el disolvente se haya evaporado.

Entre las medidas a seguir para prevenir la inhalación de humos de soldadura están:

- Usar el proceso de soldadura más seguro para el trabajo, teniendo en cuenta las particularidades de la generación de humo de cada proceso.

- La soldadura con varilla maciza produce mucho menos humo que la soldadura con varilla de núcleo fundente (FCAW).
- Usar sistemas de ventilación o equipamiento de protección respiratoria siempre que sea necesario.
- Usar varillas de soldar que produzcan bajo aporte de humo. El 90 % de este proviene de la varilla. Las pistolas para soldar que extraen el humo pueden captar el 95 % de este.
- Se debe someter al trabajador a una evaluación médica para asegurarse de que puede usar el equipamiento de respiración y recibir la adecuada capacitación para su uso. Asimismo, el respirador deberá almacenarse y limpiarse correctamente.¹⁰
- Una mejora sustancial con respecto a la inhalación de los humos puede obtenerse con la ubicación de la pieza de trabajo de forma que al soldador le sea posible evitar la corriente de humo que se eleva del depósito. También se debe evitar la soldadura en espacios cerrados y confinados.^{23,49}
- En la fabricación a gran escala, la secuencia de soldadura debe ser organizada para minimizar la ejecución de la soldadura en espacios confinados o poco ventilados.

2.1.1. Método de ventilación para la eliminación del humo

Una ventilación adecuada⁴⁷ significa suficiente ventilación para que las concentraciones peligrosas de contaminantes del aire estén por debajo de los límites permisibles. El tipo de ventilación más efectivo depende de:

1. El volumen y la configuración del espacio donde se realice la soldadura.
2. El número y tipo de operaciones generadoras de contaminantes.
3. Los niveles permisibles de los contaminantes e inflamables tóxicos específicos que pueden generarse.
4. El flujo natural de aire y las condiciones atmosféricas en el lugar donde se realiza el trabajo.
5. La ubicación de las zonas de respiración de los soldadores y demás personas en relación con la contaminación, los contaminantes y la fuente.

La ventilación puede ser dividida en cuatro categorías distintas:^{12, 47}

1. Ventilación natural: La ventilación natural ocurre cuando la soldadura se realiza al aire libre o dentro de talleres de soldadura suficientemente grandes, con un espacio de 10 000 pie³ (284 m³) por soldador; si existe una altura de techo de más de 16 pies (5 m) y el espacio de soldadura no contiene divisiones u otras barreras estructurales que obstruyan la ventilación, y finalmente si la soldadura no está hecha en áreas confinadas. En los casos que se suelden materiales peligrosos debe complementarse con otro tipo de ventilación.
2. Ventilación mecánica general: En este caso se utilizan extractores de techo, de pared u otros similares, y deben usarse cuando no se cumplen las condiciones anteriores. Este tipo de ventilación se recomienda para mantener bajo el nivel de contaminantes atmosféricos y prevenir la acumulación de mezclas de los gases explosivos. Es usada para puestos de soldadura individuales. Si este tipo de ventilación no fuera suficiente para mantener las concentraciones de contaminantes por debajo de los límites recomendados, entonces debe usarse extracción local o ventilación forzada

3. Ventilación local: En esta se requiere del uso de campanas fijas o móviles, ubicadas tan cerca como sea posible de la zona de trabajo, y que sean capaces de capturar suficientes contaminantes para mantener el nivel por debajo de los requerimientos. En este sistema se utilizan conductos grandes en la vecindad general del equipamiento del proceso de soldadura. La ventilación de extracción local puede ser obtenida por cuatro métodos diferentes:

1. Usar campanas de movimiento libre ubicadas cerca del arco.
2. Un cierre fijo con una tapa y no menos de dos caras alrededor del soldador con suficiente razón de flujo de aire.
3. Un banco de ventilación de 100 pie³/min. (47 m³/min.) por pie² o m² de superficie.
4. Un extractor de humo de alta velocidad y bajo volumen junto a la pistola de soldadura.

Este último sistema se basa en la colección de humo tan cerca como sea posible del punto de generación. Este método se ha hecho muy efectivo para la soldadura semiautomática y robotizada, particularmente cuando se usan electrodos tubulares. En GMAW, la boquilla del eductor se ata directamente al arma de la soldadura (Fig. 2.5), o en el caso de electrodos recubiertos, se posiciona a una distancia desde $\frac{3}{4}$ pulg. (19 mm) a $1\frac{1}{2}$ pulg. (38 mm) del arco. La extracción de humo en la fuente fue originalmente desarrollada en Suecia y ha ganado popularidad. Actualmente constituye el segundo método más usado en el mundo industrializado, después de la ventilación general. Este sistema se usa ampliamente en los Estados Unidos, Canadá, Suecia, Dinamarca, Noruega, Finlandia, Italia, Alemania y África del Sur, y su aceptación está creciendo rápidamente en otras partes del mundo. Este sistema ha demostrado su eficacia desde el punto de vista que reduce la necesidad de unidades de aire voluminosas que suministren aire frío o caliente para reemplazar el aire extraído. También para este tipo de sistema los costos del combustible y la energía son menores que en los otros tipos de ventilación.

En todos los casos en los que se use extracción local, el aire extraído debe ser filtrado antes de ser eliminado hacia la atmósfera o retornado al taller de soldadura.

El uso de campanas móviles de extracción local provee de más detalles concernientes al diseño de la tobera y las velocidades de flujo de aire para cumplir con los requerimientos de extracción.

Otra forma de ventilación local es la forzada, la cual consiste en un sistema de movimiento del aire como es un ventilador ubicado de forma que el aire incida en ángulo recto con el soldador, atravesando su cara. Este puede producir velocidades de aproximadamente 100 pie/min. (30 m/min.) y normalmente se encuentra a una distancia de 2 pies (0,6 m) directamente frente al área de trabajo. La velocidad del aire es relativamente fácil de medir utilizando un velocímetro o medidor de flujo de aire, por lo cual resulta sencillo chequear la eficiencia de la ventilación local forzada.

Existe un método para determinar si se está protegiendo adecuadamente al soldador con los sistemas de ventilación. Este se realiza colectando muestras de aire de la zona de respiración del soldador, dentro del casco. Este aire es colectado por instrumentos especializados durante un período determinado. Luego las muestras se analizan químicamente con instrumentos calibrados, los cuales determinan un valor de concentración de todos los elementos que se encuentran en la zona de respiración del

soldador. Los trabajos analíticos para determinar si existe o no peligro de elementos perjudiciales para el soldador deben ser hechos con personal altamente calificado, que esté familiarizado con las operaciones de soldadura, las pruebas y las técnicas de muestreo.

Como la generación de humo se ha comprobado que aumenta con la intensidad de corriente y esta será mayor en dependencia del diámetro del electrodo, existe por tanto una relación entre el diámetro del electrodo y el flujo de aire necesario para evacuar el humo procedente de la fuente. A continuación se relacionan algunos requerimientos de ventilación en dependencia del diámetro del electrodo que se utilice en el proceso por arco manual.³⁶

Tabla 2.1. Requerimientos de ventilación en dependencia del diámetro del electrodo

Diámetro del electrodo(mm)	Ventilación requerida m ³ /mm
Menor o igual a 4,8	57
6,4	100
9,6	128
Flux cored	
3,2	128

A continuación se pueden apreciar algunos de los dispositivos utilizados para la eliminación de humos basados en los principios que se explicaron anteriormente.⁵²



Fig.2.3. Ventilación general



Fig.2.4. Ventilación local de salida

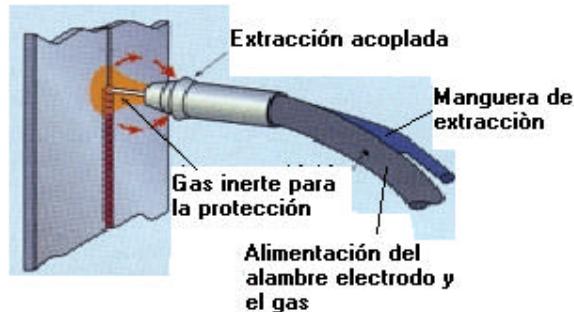


Fig.2.5. Pistola con extracción de humo

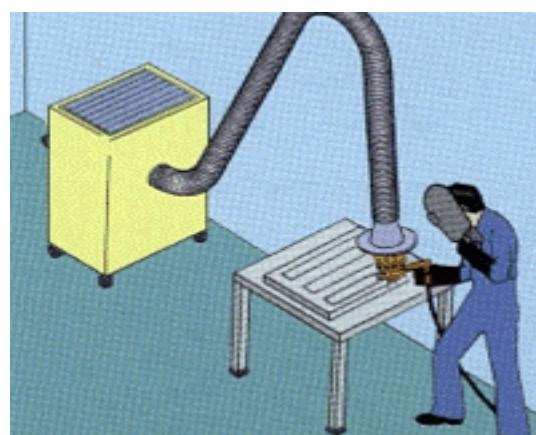


Fig.2.6. Extracción local en el puesto

En dependencia de la ubicación y movilidad de los sistemas de ventilación también existen las clasificaciones siguientes:

Sistemas de extracción semimóviles En los casos en los que el soldador deba desplazarse durante su trabajo, por ejemplo al soldar piezas muy grandes, no es posible el empleo de mesas o bancos de soldeo con extracción fija, debiendo recurrir a bocas de aspiración desplazables como la esquematizada en la figura 2.7; muchas veces estos sistemas poseen un dispositivo de fijación magnética. Cuando se emplea este tipo de campana es importante para su eficiencia que la distancia (distancia x en la figura) entre la boca de aspiración y el punto de soldeo no sea superior a lo previsto en el diseño del extractor.

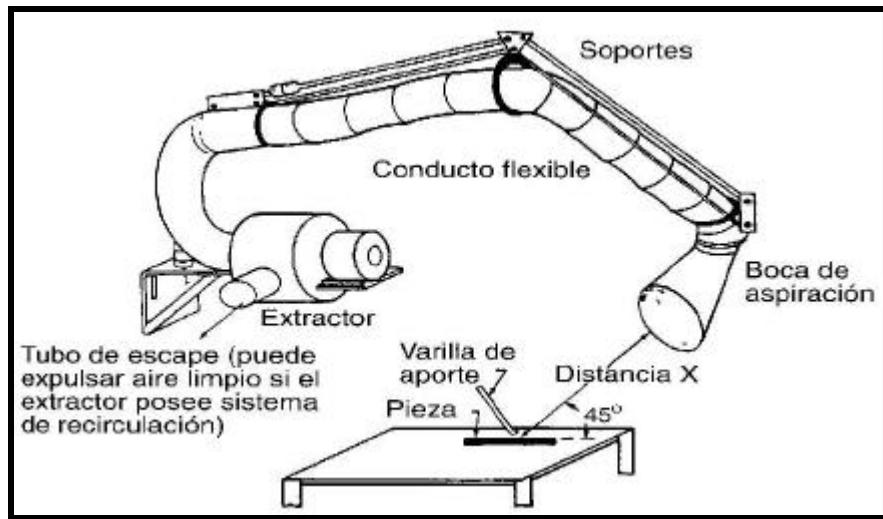


Figura 2.7. Sistemas de extracción semimóviles

Sistemas portátiles o móviles: Son especialmente adecuados cuando se realiza el soldeo en diferentes lugares. Estas unidades suelen extraer el humo de soldeo, lo filtran y lo devuelven limpio a la atmósfera de trabajo.

Sistemas fijos en bancos de soldo: Los bancos o mesas de trabajo suelen estar provistos de extractores fijos, que pueden ser de aspiración por la parte superior, inferior o trasera. La extracción por la parte inferior no es siempre eficaz ya que se opone a la ascensión natural de los humos, teniendo en muchos casos que complementarse con sistemas de aspiración posterior o superior.

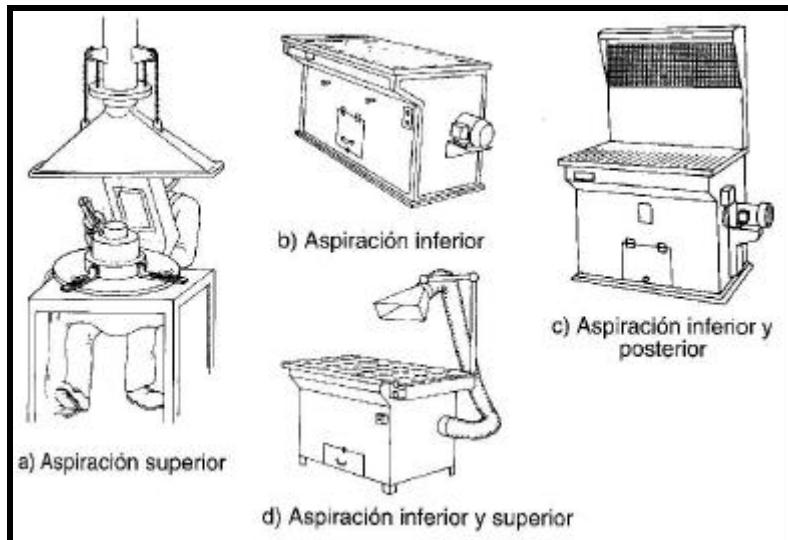


Fig. 2.8. Sistemas de extracción fijos en bancos de soldo.

Sistemas de protección personal El equipamiento personal de protección respiratoria (RPE) debe ser siempre el medio menos preferido de control, debido a que este sólo protege al que lo usa.

Existen dos tipos de RPE:

- Respiratorio: Es el aire del taller el que se suministra pero este es limpiado antes de ser inhalado.

- Suplemento de aire: El aire que se suministra está aparte del aire del taller.

Mascarilla: Si no es posible retirar el humo de soldeo de la atmósfera antes de su llegada al soldador, o en el caso de soldar materiales que produzcan humos muy tóxicos, se pueden utilizar mascarillas como la que se muestra en la figura siguiente.



Fig. 2.9. Mascarilla

Sistemas incorporados a las caretas de protección En este caso las propias caretas de protección llevan incorporadas un sistema de impulsión del aire limpio. En estos sistemas el aire se toma del exterior, se filtra e impulsa directamente sobre la nariz y boca del soldador.

Sistemas de suministro de aire: Cuando se requiere realizar el soldeo en zonas cerradas con atmósferas venenosas o irrespirables (pero no explosivas o inflamables) se puede suministrar aire a la zona de respiración del soldador desde cilindros o botellas como la representada en la figura 2.10.

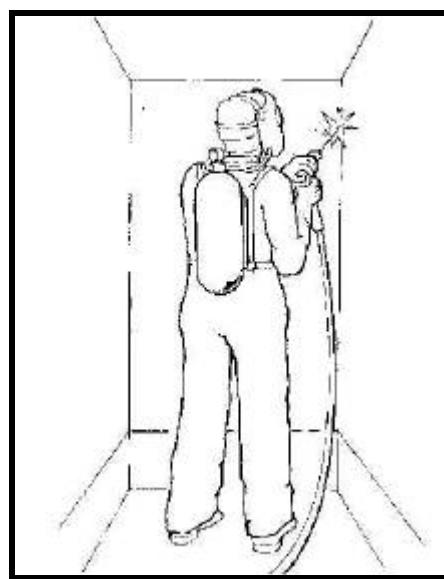


Fig. 2.10. Sistemas de respiración

Al trabajar con los sistemas de ventilación general o con equipamiento de protección respiratoria se deben tener en cuenta las medidas de seguridad siguientes:

- Chequear que el equipamiento esté trabajando correctamente y que tenga un mantenimiento regular, como por ejemplo, limpieza y cambios periódicos de los filtros acordes con las recomendaciones del fabricante.
- Colocación de campanas o boquillas de extracción para capturar el humo sin perturbar el gas de soldadura.
- Cuando se sueldan estructuras grandes hay que reubicar la campana a intervalos apropiados para asegurar que el humo sea extraído con efectividad.
- Consultar expertos en la selección del respirador.
- Cada soldador debe, en caso de ser necesario, ser acoplado personalmente con un equipamiento de protección respiratoria para asegurar que este provea de una protección adecuada.
- El personal debe ser entrenado en el uso del respirador, su mantenimiento y limpieza.
- Asegurar la existencia de sistemas para el control del equipamiento y del entrenamiento adecuado para su uso.

Existen regulaciones, establecidas por organismos internacionales, que estipulan el empleo de los diferentes métodos de protección al soldador de la inhalación de humos nocivos a su salud. A continuación aparecen las regulaciones establecidas por el Instituto Internacional de Soldadura (IIW).

Tabla 2.2. Guía para la selección de la ventilación adecuada

Método	Material base	Contaminante crítico	Ventilación recomendada
SMAW	Acero de bajo C	Específico	LE
	Acero inoxidable	Específico + Cr (VI)	LE+FAS/CAS
GMAW	Acero de bajo C	Específico	LE/FEG
	Acero inoxidable	Específico + Cr, Ni, ozono	LE+FEG+FES/CAS
	Aluminio	Ozono	LE+FEG+FES/CAS
GMAW pulsado	Todos los metales	Específico + ozono	LE+FEG+FES/CAS
GTAW	Acero inoxidable	Ozono	LE
	Aluminio	Ozono	LE
FCAW	Acero de bajo C	Específico + Bario	LE + FEG
	Acero inoxidable	Específico + Cr(VI)	LE+FEG+FES/CAS

En espacios confinados siempre hay que usar ventilación forzada o suministro de aire en la careta.

LE: Extracción local, Ej. campana flexible (flujo mínimo de 700 m³/h).

FEG: Pistola de extracción de humo

FAS: Suministro de aire filtrado en la careta de soldadura.

CAS: Suministro de aire comprimido en el casco.

2.1.2. Método de filtrado para la eliminación del humo

Es un problema frecuente en talleres y zonas de trabajo de soldadura, la degradación de la calidad ambiental, motivada por los humos y gases producidos por las emanaciones ocasionadas por la fusión de los materiales de aporte y de los mismos metales a soldar.¹⁶

La solución más común consiste en despedir el aire viciado al exterior, lo cual si bien soluciona el problema inmediato, significa expulsar al exterior elementos contaminantes, acción que las legislaciones medioambientales al respecto restringen severamente. Además, en los talleres donde existe climatización, significa expulsar al exterior un aire climatizado y, por tanto, derrochar así la energía utilizada para llevarlo a esa condición. La solución óptima consiste en depurar y reciclar el aire ambiente, mediante sistemas de filtrado adecuados.

Es creciente la necesidad de filtrar el aire capturado. La tendencia actual es filtrar los contaminantes extraídos antes de que el aire sea liberado al ambiente.²⁵ Más aún, hay muchas situaciones en soldadura en las cuales los conductos fijos de ventilación y los equipos de extracción en la fuente no son viables. En tales casos uno debe contar con extractores móviles y portátiles con filtros integrados, que filtran y reciclan el aire. Una ventaja adicional de filtrar los humos de la soldadura utilizando instalaciones fijas es, o al menos ha sido, el ahorro de energía al reciclar el aire caliente después de su purificación. Sin embargo, una cantidad cada vez mayor de autoridades prohíbe la recirculación del aire para filtros fijos durante la soldadura. Suiza, Noruega, Dinamarca ya lo hacen así.

Para purificar los humos de la soldadura es necesario tener la tecnología para el filtrado tanto de gases como de partículas. Debido a sus características diferentes, es necesaria una selección del método eficiente para el filtrado.

Para obtener el filtrado óptimo de los humos de soldadura es necesario, frecuentemente, el uso de un filtro combinado, es decir, una unidad de filtrado en la que se utilicen un grupo de técnicas de filtrado, entre las que se encuentran las que se relacionan a continuación.

I- Separación de partículas

El filtrado de los humos de soldadura se ha centrado fundamentalmente en la eliminación de partículas dado que los gases reciclados pueden ser eliminados a través de la recirculación general. Si la ventilación general está correctamente dimensionada y el espacio asignado a cada soldador excede los 300 m³, por ejemplo 10 x 7,5 x 4 m, la concentración promedio del gas está por debajo del límite. Además, es más difícil filtrar continua y seguramente los gases que separar las partículas.

Principalmente, hay 5 principios para la separación de partículas de soldadura.

- 1) Separación centrífuga (ciclón).
- 2) Separación mecánica (filtros absolutos).
- 3) Separación electrostática.
- 4) Separación magnética.
- 5) Separación húmeda (condensación).

Entre otras cosas, la elección del método está determinada por:

- Las características de las partículas (masa, tamaño, humedad).
- Volumen de contaminación generado por unidad de tiempo.
- Velocidad de las partículas (dependiente de la técnica de extracción empleada).

1-Separación centrífuga (cyclones).

Un ciclón es semejante a tambor cilíndrico. Debido a su inercia, la fuerza centrífuga lanza las partículas más grandes contra la pared interior del tambor donde pierden movimiento y caen dentro de un contenedor de colección. Los ciclones tienen buenas propiedades de separación para partículas mayores de $10 \mu\text{m}$ y, por tanto, se ve claramente que no son útiles para los humos de soldadura. Sin embargo, tales filtros son utilizados como filtros para salpicadura de soldadura y similares. También funcionan bien como filtros de polvo para trituración y otros trabajos de terminación en talleres de soldadura.

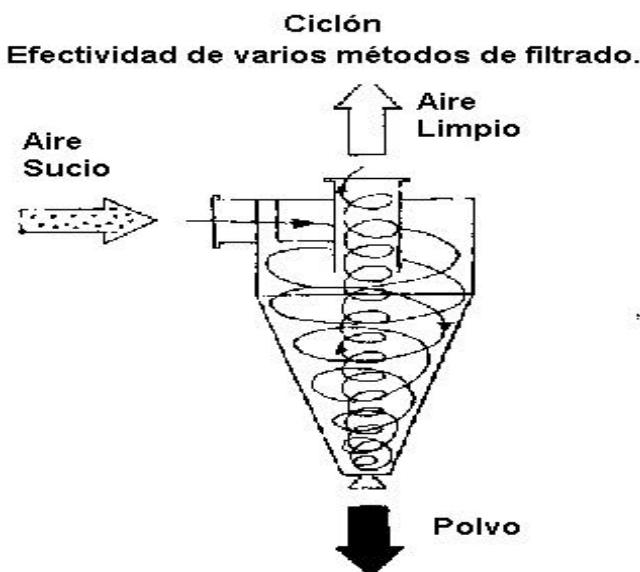


Fig. 2.11. Principio de separación centrífuga (ciclón)

2-Separación mecánica (filtro absoluto).

En un filtro mecánico, absoluto, las partículas de tamaño pequeño y mediano son filtradas mediante su introducción y extracción a través de un material de filtro mecánico hecho de celulosa textil, poliéster, o papel de fibra de vidrio. La elección del material y su consistencia dependen de los tipos de humo y polvo.

De hecho, hay 4 principios de separación los cuales trabajan juntos, simultáneamente, en un filtro absoluto. Esto viene dado por el tamaño de las partículas.

- a) Principio de tamiz
- b) Impacto
- c) Intercepción
- d) Difusión

La capacidad de separación total es la suma de los efectos de los varios principios de separación.

a) Principio de Tamiz: Usando este principio las partículas son atrapadas debido a que estas son geométricamente mayores que los poros en el separador y no pueden pasar por él (Fig.2.12 a).

b) Impacto: Saca utilidad de la inercia de las partículas. Como la corriente de aire se curva alrededor de las fibras o granos, la partícula trata de mantener su camino original

y se pega a la fibra o grano. El efecto disminuye para partículas pequeñas y es insignificante para partículas con diámetro menor que $1\mu\text{m}$. Fig. 2.12 b)

c) Intercepción: Una partícula pequeña y ligera, elevada por una corriente de aire puede encontrarse encerrada en la fibra o grano del filtro chocando rápidamente entre ellas. La fuerza de atracción es la de Van der Waal. Esto se aplica principalmente a partículas de dimensiones mayores que $1\mu\text{m}$. Fig. 2.12 c)

d) Difusión: Las partículas menores que $1\mu\text{m}$ comienzan a actuar como moléculas y a oscilar. Esto es comúnmente llamado movimiento browniano. Las partículas pueden ser captadas en este movimiento debido a que chocan con las fibras o granos.

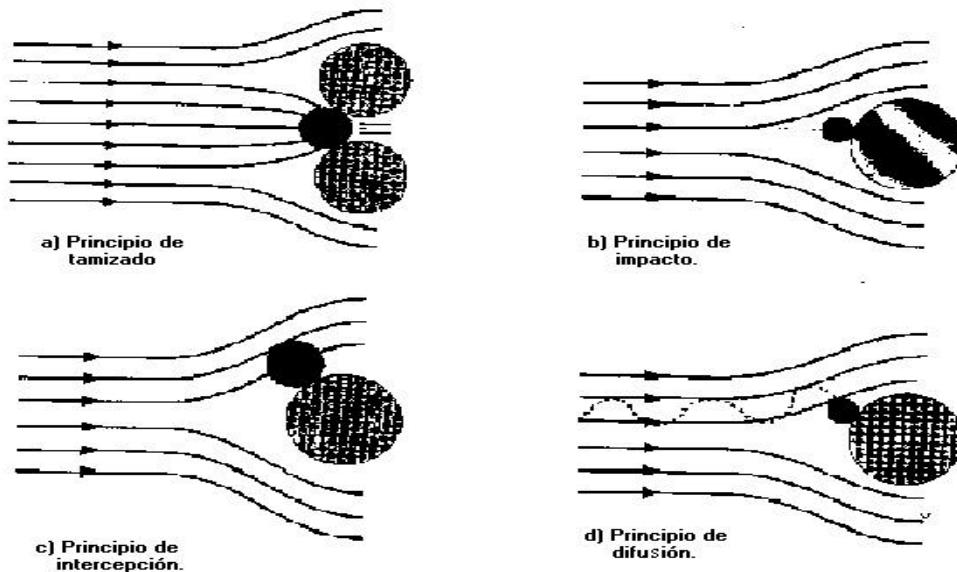


Fig. 2.12. Principio de separación del filtro absoluto

Desde el punto de vista constructivo existen diferencias entre:

- Filtro de bolsa / Filtro de manguera: Están construidos de una capa simple de material y son mayormente usados para limpiar grandes volúmenes de aire, antes de expeler el aire hacia la atmósfera.
- Filtros panel: Están hechos de un material denso, plegado, montado en una armadura el cual se ubica en ángulo recto con el flujo de aire.

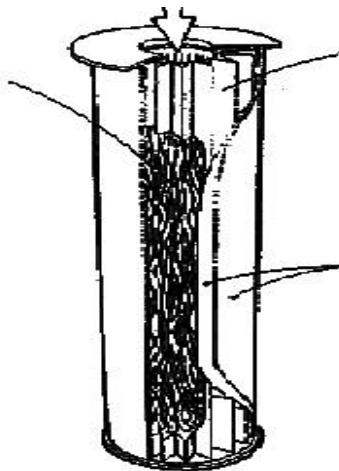


Fig. 2.13. Esquema del filtro panel

- Filtros cassette: Consisten también en un material plegado pero están construidos con cartuchos de filtros con un flujo de aire radial o axial a través de ellos o una combinación de estos. Este es el tipo de filtro más común usado para partículas de humo de soldadura.

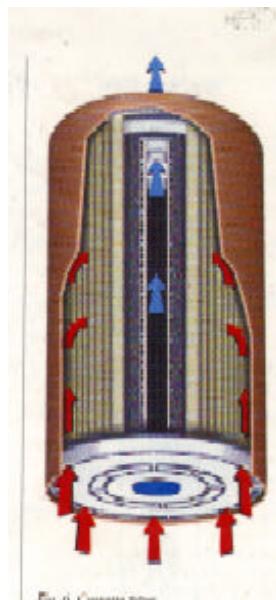


Fig.2.14. Filtro cassette

En el filtrado de superficie, las partículas chocan con la superficie del filtro y se forma una costra concentrada. En el caso de filtración profunda, las partículas penetran en el filtro antes de chocar. El filtro mecánico puede ser limpiado por vibraciones mecánicas, aire pulsado o combinaciones de ambas.

3- Separación electrostática

Una alternativa al filtro mecánico es el filtro electrostático el cual está diseñado para partículas de tamaño mediano y pequeño, por debajo de $0,01\mu\text{m}$, las cuales se cargan

eléctricamente y pasan a través de un campo de alto voltaje. Las partículas son entonces atraídas y colectadas por un sistema de placas cargadas contrariamente a las partículas.

Las celdas del filtro se limpian por lavado con detergente. Las partículas mayores son comúnmente separadas de forma mecánica por prefiltros antes de que la corriente de aire entre en el campo de alto voltaje. La caída de presión en un filtro electrostático es mucho menor que en un filtro mecánico, lo cual es una ventaja a la hora de su selección.

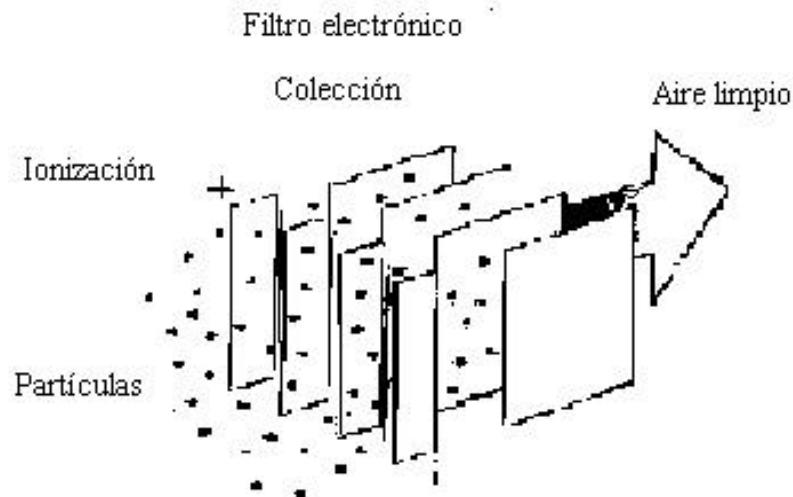


Fig. 2.15. Esquema del filtro electrostático

Los sistemas básicos de filtración que podríamos definir como mecánicos (filtrinas sintéticas, bolsas textiles), si bien son económicos en su inversión inicial, su eficacia es muy limitada (en cuanto al tamaño de las partículas que retiene) y su mantenimiento (reposición de elementos filtrantes no recuperables) es más costoso.⁵ Es por esto que la depuración electrostática aparece como la solución al problema, debido a sus características peculiares:

- 1-Máxima eficacia. Retiene hasta un 98 % de las partículas de 0,3 micrones.
- 2-Mínimo costo de mantenimiento. Los prefiltros metálicos y las propias células electrostáticas, son lavables casi indefinidamente.

Su principio de funcionamiento es el siguiente:

- a) Un ventilador aspira los humos, gases y partículas producidos en la soldadura.
- b) Un prefiltro de malla metálica retiene las partículas de mayor tamaño.
- c) La célula ionizadora, bajo una tensión de 10.000 V, carga electrostáticamente todas las partículas a su paso por la misma.
- d) Estas partículas fuertemente ionizadas son captadas y retenidas en la siguiente célula colectora, alimentada a 5.000 V.

El aire, totalmente depurado, es devuelto al ambiente de la misma zona.

4- Separación magnética

Las partículas magnéticas pueden ser separadas en un campo magnético. Si se pone un filtro magnético, el cual comprende varillas ferromagnéticas finas en un campo magnético homogéneo, con un poderoso gradiente, se separan las partículas finas magnéticas de una corriente de aire.

5- Separación húmeda (condensación)

Un proceso de condensación, por ejemplo de vapor de agua, se simplifica si el vapor puede condensarse alrededor de una superficie, como puede ser una partícula. De este modo se forma una pequeña gota, la cual es mucho más fácil de separar que una partícula.

De los métodos anteriores, los filtros mecánicos y electrostáticos son los más comúnmente utilizados para los humos de soldadura. Además de estos dos métodos, los ciclones (separación centrífuga) son utilizados a veces para el prefiltrado. Las áreas en las cuales pueden ser usados los distintos métodos dependen del tamaño de la partícula.

II- Separación de gases

De forma general existen 4 métodos principales de filtrado de fracciones de gases de los humos de soldadura.

- 1) Condensación
- 2) Combustión (térmica y catalítica)
- 3) Absorción
- 4) Adsorción

El primer método no es adecuado para CO₂ y NO, siendo estos los gases que más comúnmente se necesita filtrar. Por otra parte, los otros tres métodos tienen la ventaja de poder filtrar esos gases.

1-Condensación:

Este método requiere que el gas contaminado sea enfriado, a veces en combinación con un incremento en su presión total. Esto da lugar a que una proporción determinada de los contaminantes sea licuada y solidificada. Sin embargo, como ya se mencionó, este método es inadecuado para monóxido de carbono y gases nitrosos, ya que estos gases son muy volátiles y se encuentran en concentraciones muy pequeñas.

2-Combustión:

Cuando los contaminantes combustionan son oxidados por el oxígeno del aire como resultado de las altas temperaturas. Con la combustión térmica la temperatura alcanzada generalmente está entre 600-1000 °C, mientras que con la catalítica, con menor energía de activación para la oxidación, se reduce la temperatura referida a 200-400 °C. La ventaja de la combustión catalítica es que requiere considerablemente menor energía, la desventaja es la alta sensibilidad del catalizador como veneno. Además, si el aire de retorno caliente no ha pasado a través de un intercambiador de calor, este puede hacer no confortable el medio ambiente de trabajo.

3-Absorción:

Este método está basado en la solubilidad del contaminante en un líquido. En este caso se obtiene una óptima eficiencia cuando la superficie con la cual el contaminante entra en contacto tiene la mayor área de superficie posible. El agua es el líquido más común

para el lavado de gases. Por medio de la combinación del proceso de absorción física con reacciones químicas, la solubilidad por lo general puede incrementarse y mejorar así el efecto de separación. De esta forma la disociación en agua de permanganato de potasio ($KMnO_4$) por ejemplo, puede tener un alto efecto oxidante y alcalinizante.

El principio de lavado de gases no es tan atractivo cuando trae consigo el reciclado de ventilación. El aire tratado puede tener un contenido de agua sustancialmente elevado o un alto contenido de solvente orgánico, si este fue usado como líquido limpiador. Además, la instalación de lavado de gases es generalmente consumidora de espacio y, por tanto, se dificulta su manejo.

4-Adsorción:

La adsorción está basada en el principio de que los contaminantes en forma gaseosa se convierten en material sólido. Los adsorbentes adecuados son de materiales altamente porosos con grandes superficies internas. En la tabla 1 se dan ejemplos de algunos adsorbentes comunes.

Tabla 2.3. Materiales adsorbentes y sus superficies específicas

Material	Superficie específica
Carbón activo	100-1 500
Polímero	300-800
Óxido de aluminio activado	200-400
Silica Gel	300-800
Zeolita	700-1 100

Existen dos tipos de adsorción:

- Física: En la adsorción física se une el gas adsorbido, relativamente débil, a la superficie del adsorbente. El proceso es reversible. El material adsorbente generalmente puede ser limpiado por calor.

- Química: En la adsorción química el contaminante en fase gaseosa pasa a través de una reacción química en el proceso de adsorción. De esta forma se puede obtener una separación considerablemente alta por la saturación del portador altamente poroso con una reacción química adecuada. El cloruro de sodio ($NaClO_2$) y el permanganato de potasio ($KMnO_4$) son ejemplos típicos. Cualesquiera de esas dos moléculas reaccionan irreversiblemente y son consumidas en el proceso de la reacción o actúan como catalizador y aumentan la velocidad del proceso sin haber sido consumidas.

Sistema de alto vacío y extracción multipropósito en los talleres de soldadura

La forma más común de eliminar humos de soldadura es usar un brazo extractor de humo, utilizando la técnica de alto-vacío, ejemplo: la presión de succión baja, pero comparativamente grandes volúmenes de aire.⁴¹

Sin embargo, la técnica de alto-vacío ha venido incrementando su desarrollo, cumpliendo con los requerimientos prácticos de ventilación asociados con los trabajos de soldadura.

A continuación se verá cuáles son las diferencias y cuál es el carácter distintivo del equipamiento de alto-vacío.

Primero es necesario conocer los requerimientos para la eliminación de los diferentes humos y polvos en los talleres de soldadura.

Si se imagina que las partículas de humo de soldadura tienen el tamaño de un grano de arena con una velocidad de un globo aerostático en ascenso, la partícula de polvo del esmerilado puede ser comparada con una pelota de fútbol con la velocidad de un disco de hockey sobre hielo.

Además, las partículas del humo de soldadura se mantienen mucho más tiempo suspendidas (existe por tanto distribución por el taller) que las partículas del esmerilado, que se asientan rápidamente sobre el suelo. En otras palabras, existen condiciones completamente diferentes las cuales crean requerimientos diferentes a la hora de seleccionar el método de ventilación.

La captura del polvo de esmerilado requiere de una tecnología de alto-vacío, por ejemplo, succión elevada con alta velocidad y flujo de aire, pero un relativo bajo volumen de aire, preferiblemente que abarque el punto de trabajo de forma cerrada, con boquilla o extracción integrada en la herramienta de esmerilado.

El humo de soldadura es más fácil de capturar. Los flujos de aire típicos que se requieren para la captura del aire de soldadura están entre 0,3 y 1 m/s.

Los flujos de aire típicos que se requieren para la captura del polvo del esmerilado, lijado y otros procesos de acabado en los lugares de soldadura están entre 2,5 y 10 m/s (la mayor velocidad para esmerilado), mientras se recomiendan aproximadamente 20 m/s para la transportación del polvo en los canales de ventilación.

En la siguiente tabla se hace una comparación entre la técnica de bajo-vacío y la técnica de alto-vacío.

Tabla 2.4. Especificaciones típicas para técnicas de bajo-vacío y de alto-vacío

Parámetros	Bajo-vacío	Alto-vacío
- Presión de succión	700-1 500 PA	4 000-20 000 PA
- Velocidad del aire	10-11 m/s	20-25 m/s
- Volumen del aire	700-1 000 m ³ /h	150-250 m ³ /h
- Dimensión de la manguera	75-200 mm	25-60 mm
- Distancia de captura	300-400 mm	50 mm

Requerimientos prácticos para equipamientos de alto-vacío para la soldadura.

- Cuando se usa la técnica de alto-vacío en combinación con una antorcha de extracción, es importante que esta tenga facilidades de ajuste del volumen de aire en función de prevenir disturbios del gas de soldadura.
- La antorcha de soldadura debe ser lo más ligera posible.

- Cuando se usan boquillas para la extracción de humo de soldadura debe ser usada la correcta, según el tipo de trabajo y, si es necesario, con un brazo de balance.

Un ejemplo de sistema de alto-vacío es el utilizado por la firma ESAB, el cual se compone de tres partes diferentes:

- 1- Unidad de vacío
- 2- Filtros y preseparadores
- 3- Accesorios

Las unidades de vacío varían dentro del rango de 150-4 000 m³/h, produciendo un rango de presión de succión de hasta 6 000 Pa.

Por otra parte es importante señalar que existen diferentes tipos de preseparadores para la separación de partículas grandes y la neblina de aceite. Los accesorios comprenden válvulas automáticas, mangueras, brazo oscilante, brazo de equilibrio, boquilla de extracción y antorchas de soldadura con extracción integrada.

Existe una técnica que ha ido ganando en popularidad y es el llamado sistema de alto-vacío, el cual puede ser de 4 tipos diferentes:

- 1- Sistema estacionario
- 2- Sistema semiestacionario
- 3- Unidad móvil
- 4- Unidad portátil

El sistema estacionario consiste en una unidad de vacío central de alta capacidad con un filtro autolimiante, desde el cual salen conductos a diferentes lugares de trabajo. El número de puntos de extracción es virtualmente limitado y puede ser combinado en paralelo.

Los sistemas semiestacionarios también consisten en una unidad de vacío central de alta capacidad con un filtro, pero con un diseño compacto para la manipulación y construcción. Se utiliza una manguera flexible y un sistema de acoplado para la distribución a los diferentes sitios de trabajo. Esto es adecuado para sitios en que se construye y otros lugares donde no puede ser establecida una instalación fija.

La unidad móvil con filtros limpiables es dimensionada para uno o más puntos de extracción, produciendo así una unidad de extracción flexible para la soldadura y el esmerilado.

La unidad portátil está especialmente diseñada para situar la extracción en la antorcha. Esas unidades pueden ser automáticamente controladas por el gatillo de la antorcha de soldadura y pueden también ser equipadas por un indicador de filtro opcional. Diseñado para la soldadura de alta eficiencia MIG/MAG, este tipo de unidad es en ocasiones la única alternativa para la soldadura en espacios estrechos. El tamaño de la unidad hace posible acoplarla a la máquina de soldadura que se esté usando. El cartucho de filtro disponible es completamente cerrado en busca de la mayor higiene.

La técnica de alto-vacío puede ser utilizada para diferentes tipos de aplicaciones. En la práctica, esto significa que la instalación de alto-vacío puede ser utilizada para la extracción en diferentes tipos de trabajo en los talleres de soldadura, tales como:

- Soldadura
- Esmerilado
- Limpieza del lugar de trabajo
- Taladrado
- Lijado
- Otros procesos de acabado

El rango de accesorios es cuidadosamente diseñado para hacer posible las diferentes aplicaciones de la extracción opcional.

Entre las características del equipamiento de alto-vacío están:

- Una de las principales ventajas de este equipamiento es, como ya ha sido mencionado, el hecho de que es idóneo en requerimientos multipropósitos para la extracción en los talleres de soldadura.
- Siempre se puede adecuar la extracción en la herramienta de trabajo, más aún en espacios cerrados.
- Los costos de operación son bajos porque el bajo volumen de aire por punto de extracción y el principio de filtro central autolimpiante hacen posible la colección central de impurezas.
- Los costos de la labor son ampliamente reducidos por el uso de válvulas automáticas las cuales se abren para la extracción cuando la soldadura, el esmerilado u otras operaciones comienzan. Como el factor intermitente total (ejemplo: la proporción entre el uso de herramientas en uso simultáneo y el número total de herramientas) es 30 % para trabajos de soldadura y 15-28 % para el esmerilado, la capacidad de vacío y filtrado de la unidad puede ser dimensionada de acuerdo con esto.
- El largo alcance y la gran área de trabajo se hacen posibles mediante el uso de mangueras y brazos oscilantes de succión flexibles.
- El brazo oscilante y el brazo de equilibrio reservan el espacio del piso y minimizan el desgaste y rotura de las mangueras.

En resumen, las tres principales ventajas del sistema de alto-vacío son:

- 1- Uso multipropósito.
- 2- La extracción es adecuado siempre para grandes espacios de trabajo y áreas confinadas.
- 3- Bajos costos de operación.

2.2. Medidas a tomar cuando se sueldan aceros inoxidables

Como ya se ha explicado en epígrafes anteriores, existe un elevado nivel de riesgo para el soldador cuando se suelda acero inoxidable debido a la composición del humo, que es extremadamente peligrosa. Este no es el único riesgo de afección que trae consigo la soldadura de este tipo de material, ya que está demostrado que también puede causar daños a la piel tales como eccemas o quemaduras de cromo, cuando se produce reiterado contacto de la piel con el material.

La protección para daños en la piel cuando se sueldan materiales inoxidables se realiza mediante guantes protectores, protector de garganta y otras ropa de protección. En

resumen, la soldadura en materiales inoxidables crea condiciones ambientales extremas, las cuales deben ser tratadas con el uso de las mejores técnicas existentes. Se recomiendan seguimientos periódicos y mediciones de los riesgos medioambientales.

2.3. Medidas de seguridad para trabajar en espacios confinados

Cuando se suelda en espacios confinados deben tenerse cuidados especiales a causa de la generación de humos o gases tóxicos producto del proceso de soldadura.⁴⁷ Los riesgos potenciales al realizar la soldadura en estos lugares pueden estar dados por la deficiencia de oxígeno o su exceso, los gases nocivos a la salud, los gases inflamables y explosivos y un humo denso con partículas sólidas que causan serias afectaciones a la salud. La soldadura, el corte por llama y otros procesos relacionados nunca deben comenzar sin tomarse las precauciones necesarias. Además, el equipamiento no debe nunca ponerse dentro de un área confinada.

Cuando se precalientan las piezas para soldarlas, usando como fuente de calor la combustión de gases, puede producirse monóxido de carbono, el cual debe ser extraído del lugar de trabajo debido a que de lo contrario representa un riesgo serio para los trabajadores que allí se encuentren.

Debe ser asignado un centinela en el exterior del área confinada, con el objetivo de velar continuamente a los soldadores y los demás trabajadores, y este debe intercambiar mensajes continuamente con quienes estén dentro.

Antes de entrar a un espacio confinado deben tomarse precauciones especiales para determinar si es adecuada o no la atmósfera dentro de este lugar. En ocasiones allí pueden desarrollarse altas concentraciones de gases explosivos. Esto ocurre si la antorcha de acetileno se deja abandonada dentro del compartimento, si están encerrados productos en descomposición o si existe alguna fuga de gas dentro de este. La atmósfera dentro del área encerrada debe ser probada antes de entrar al área de trabajo. En estos casos pueden usarse explosímetros para tomar muestras de la atmósfera del área encerrada y determinar los gases que están allí presentes.

Otro problema relacionado con los trabajos de soldadura en espacios confinados es la posibilidad de creación de atmósferas enriquecidas de oxígeno. Tales atmósferas se producen a causa de que se haya quedado dentro del local la antorcha de oxicorte y exista escape en la línea de oxígeno. Normalmente la atmósfera contiene aproximadamente 21 % de oxígeno, y si esta cantidad se excede en un 5 % o más, la atmósfera enriquecida podría combustionar y hasta explotar. En estos casos el inicio del arco o el encendido de la llama sería extremadamente riesgoso, las ropas, paños engrasados u otros elementos combustibles pueden quemar rápidamente y crear condiciones peligrosas.

El oxígeno almacenado a presión no debe usarse nunca para ventilar un área confinada. También se pueden utilizar instrumentos portátiles, indicadores de la concentración de oxígeno.

La deficiencia de oxígeno es también un riesgo potencial en la realización de trabajos de soldadura en espacios confinados. Cuando se utilizan procesos con gases protectores como son el argón y el dióxido de carbono, hay que tener presente que ambos pesan 1½ veces más que el oxígeno y lo desplazan, por lo que la atmósfera de respiración del soldador se hace deficiente de oxígeno y si el contenido de este se reduce en un 5 % o más pueden ocurrirle afectaciones graves. Es recomendable que la atmósfera de un área cerrada en la que se suelda sea monitoreada con un indicador portátil de oxígeno.

En este trabajo de soldadura en espacios confinados debe usarse ventilación mecánica y emplearse sistemas de extracción de aire y de suplemento de aire fresco en la careta.

Una persona calificada adecuadamente debe fijar los riesgos y determinar los pasos requeridos para hacer un trabajo seguro y saber las precauciones recomendadas a tener en cuenta durante la operación de soldadura.

Otras de las medidas a tomar para soldar en espacios confinados son:

- Asegurar la ventilación adecuada y, si es necesario, usar protección personal.
- Asegurarse de que ninguno de los accesorios utilizados dentro del área contenga sustancias inflamables, tóxicas o explosivas.
- Asegurarse de que los cilindros de gas no estén en lugares cerrados.

2.4. Medidas para prevenir las afectaciones al sistema óseo-muscular

Es evidente que una estrategia para la eliminación de los problemas de salud está en recurrir a la robotización y mecanización. Esto puede realmente producir una solución viable en algunos tipos de producción y en algunos países con recursos para esto, sin embargo, está claro que la soldadura manual en muchos casos continuará siendo competitiva y que, por tanto, es de gran importancia mejorar las condiciones de ergonomía en la soldadura manual o semiautomática en función de reducir los riesgos de padecimientos crónicos en el sistema óseo-muscular.

El levantamiento frecuente de piezas de trabajo pesadas (por encima de 3 kg) requiere de un equipo de levantamiento. Este puede ser una grúa para la transportación, con puente levadizo, o un posicionador de piezas. También es muy frecuente que el equipamiento de soldadura tenga un peso elevado. Es necesario que los cables a ser soportados, además de la pistola de soldadura, sean lo más ligeros posible. La extracción integrada en la pistola MIG debe estar estandarizada. Esta inicialmente era muy pesada y voluminosa pero ha ido optimizándose hasta lograr que sea muy ligera. Otro aspecto a tener en cuenta es que las mangueras deben ser fácilmente girables. Máquinas tales como esmeriladoras de ángulo deben estar suspendidas de un soporte y su peso encontrarse balanceado.

Toda la soldadura debe ser realizada en una zona óptima. Deben evitarse las posiciones de soldadura por encima o por debajo del nivel del hombro, que requieran flexión o torsión. Este aspecto puede facilitarse mediante el uso de posicionadores de piezas de trabajo para el caso en que vayan a soldarse piezas grandes. La versión computarizada de estos posicionadores es extremadamente versátil.

La mejor forma de obtener una alta precisión manual es facilitando que el trabajo sea hecho en zonas óptimas. La fatiga muscular incrementa el temblor de la mano y reduce así la capacidad del soldador si el equipamiento de soldadura es muy pesado o si no existe una rutina razonable descanso-trabajo.

En la soldadura semiautomática existe el riesgo de que la secuencia de soldadura sea muy larga y, por tanto, alta la intensidad de trabajo (por ejemplo de varios minutos). El sistema óseo-muscular humano no está apto para soportar grandes cargas estáticas y esto es muy importante tenerlo en cuenta a la hora de diseñar la jornada de trabajo, ya que debe haber oportunidad para pequeñas pausas. Por otra parte, el patrón de movimiento estereotípico debe también evitarse, lo cual se puede lograr cambiando el tipo de pieza y extendiendo así la variedad del contenido de trabajo del soldador. Es obvio

que esto puede contradecirse con varios aspectos de la calidad de la soldadura, por lo cual debe buscarse un compromiso adecuado entre las medidas de seguridad y la tecnología a utilizar para lograr que no se produzcan afectaciones al sistema óseo-muscular del soldador.

2.5. Medidas de seguridad para prevenir la exposición a las radiaciones

Como se ha explicado en el capítulo anterior, el arco eléctrico es una fuente muy poderosa de luz: visible, ultravioleta e infrarroja; es por ello necesario que los soldadores y demás operarios que laboran en las cercanías del arco, utilicen la protección adecuada.⁴⁷

La brillantez y el espectro exacto de un arco de soldadura dependen del proceso que se emplee, los metales en el arco, la atmósfera del arco, la longitud de este y la corriente de soldadura. A mayor corriente y voltaje de arco es más intensa la luz proveniente de este. Como toda radiación, la luminosa del arco disminuye con el cuadrado de la distancia. Aquellos procesos que producen humo alrededor del arco tienen menor brillo en este ya que el humo va a actuar como filtro.

El espectro del arco de soldadura es similar al del sol, por lo que la exposición de la piel o los ojos tendrá efectos muy similares. Si se usara electrodo de tungsteno toriado (proceso GTAW), los soldadores estarían sujetos a emisiones de rayos X provenientes del arco. Esta radiación es momentánea y estudios exhaustivos han demostrado que la preocupación en este caso es innecesaria.

El calor es radiado a partir del arco en forma de radiación infrarroja. Esta radiación no provoca daños si se utiliza la ropa adecuada y la necesaria protección a los ojos. Deben colocarse pantallas alrededor del área de soldadura para minimizar la radiación luminosa, de forma que las personas que trabajen en los alrededores estén protegidas de esta. Los filtros y áreas circundantes al lugar de soldadura especialmente las cassetas de soldadura deben estar pintados con un acabado opaco, que absorba la radiación ultravioleta, aunque debe evitarse un alto contraste entre las áreas brillantes y las oscuras. Esa pintura debe tener una baja reflectividad a la radiación ultravioleta. Se recomienda el color pastel claro de la pintura de óxido de zinc y óxido de titanio. No deben ser usadas pinturas negras ni brillantes.

Protección a los ojos

Los soldadores deben usar cascos de protección con filtros especiales. Se recomienda para su fabricación la fibra de vidrio, por su peso ligero. El cristal de filtro usado depende del proceso de soldadura que se emplee, el tipo de metal base y la corriente de soldadura.

Asimismo, el filtro debe ser capaz de dejar pasar en el campo visible una intensidad suficiente para que el soldador pueda seguir sin fatiga el comportamiento del electrodo o de la boquilla en el momento de la fusión.

Existe un método ideal pero muy caro para la protección eficiente de los ojos del soldador, que consiste en un casco de soldadura con un visor que se autooscurce, el cual filtra luz en el momento en que se rompe el arco. El soldador puede mirar perfectamente con el casco o sin este. Otra ventaja de este casco es que aumenta la productividad y el confort ya que el visor no necesita abrirse o cerrarse y ambos brazos quedan libres. Esto elimina las afectaciones de los músculos del cuello provocadas por la contracción de este al bajar y subir la careta.



Fig. 2.16. Casco de soldadura

Tabla 2.5. Guía para la selección del filtro⁴⁹ de acuerdo con ANSI/ASCEZ49.1-94.

Operación de soldadura y corte	Espesor del metal (mm)	Corriente de soldadura (A)	No. mínimo de filtros a usar.	No. de filtro adecuado ⁽¹⁾
SMAW		Menor de 60	7	-
		60-120	8	10
		160-250	10	12
		250-550	11	14
GMAW y FCAW		Menor de 60	7	-
		60-160	10	11
		160-250	10	12
		250-550	10	14
GTAW		Menor de 50	8	10
		50-150	8	12
		150-500	10	14
Plasma		Menor de 20	6	6-8
		20-100	8	10
		100-400	10	12

		400-800	11	14	
OAW (acero)	4			4-5	
	4-13			5-6	
	Mayor de 13			6-8	
Oxicorte (acero)	Menor de 25			3-4	
	25-150			4-5	
	Mayor de 150			5-6	
Arco aire		Menor de 500	10	12	
		500-1000	11	14	
Corte por plasma ²		Menor de 300	8	9	
		300-400	9	12	
		400-800	10	14	
Soldadura fuerte con soplete				3-4	
Soldadura blanda con soplete				2	

(1)- Para seleccionar el filtro más adecuado se debe elegir primero el más oscuro (con no. mayor); si se ve con dificultad, seleccionar entonces un filtro más claro (con no. menor) hasta conseguir una buena visión. El hecho de utilizar un vidrio más opaco no proporcionará una protección mejor, y hasta puede ser perjudicial puesto que obliga a acercarse más a la fuente de radiación, lo cual será nocivo para la higiene respiratoria. No deben seleccionarse filtros menores a los mínimos recomendados.

(2)- Se pueden seleccionar filtros menores cuando la operación se realiza con mesas de agua.

Las radiaciones luminosas del arco pueden causar serios daños a la salud de los soldadores y del personal que los rodea, por lo que se deben tener en cuenta las medidas de prevención siguientes:^{7,10,43}

1- Uso de espejuelos de protección con cristales adecuados para la absorción de la radiación ultravioleta (preferiblemente verdes).

2- Uso de guantes y delantales apropiados.

3- El ayudante-soldador debe usar también los mismos medios de protección.

4- Si la soldadura se realiza siempre en un local fijo, las paredes y techos deben pintarse con pinturas especiales que absorban los rayos ultravioletas.

5- Aislar el sitio de soldadura del resto del taller y de los trabajadores vecinos por medio de parabanes incombustibles de 2 m de altura, con el fin de evitar la propagación de la radiación ultravioleta.

6- Usar caretas provistas de filtro de radiaciones, cubrefiltro y antecristal.

7- Las áreas de soldeo deberán delimitarse por medio de pantallas que impidan el paso de radiaciones y de chispas. Por lo tanto, estas pantallas deberán ser preferentemente de color oscuro para que no reflejen las radiaciones y de un material incombustible. Estas pantallas se colocarán de una manera que permitan la circulación de aire por su parte interior.

2.6. Medidas de seguridad para prevenir la exposición al calor

El soldador debe usar ropa protectora, la cual ayuda a aislarlo del calor excesivo. Estas ropas presentan características específicas como, por ejemplo, que no tengan aberturas, para evitar que los rayos del arco entren en contacto con la piel. Son preferibles las prendas oscuras, con el fin de impedir reflejos. Estas ropas deben ser usadas también por las personas que trabajen cerca del lugar en que se realiza la soldadura.⁴⁷

Para la soldadura de régimen ligero, normalmente 200 A o menos, pueden reducirse los niveles de protección. La ropa de lana es mejor para este fin que la de algodón (que se desintegra con la radiación ultravioleta), ya que no se desintegrará tan rápidamente con la radiación del arco ni con el fuego. Para regímenes ligeros deben usarse guantes de tela. Para régimen de trabajo severo se requiere el uso de ropas protectoras más seguras, como por ejemplo, guantes y delantal de cuero. Cuando se suelda en posición horizontal o sobre la cabeza se requiere este tipo de ropa. En todos los casos deben usarse protectores de cabeza.

La ropa debe mantenerse seca, así como los guantes. Se recomiendan zapatos altos (botas), con protectores en la punta. Las ropas de cuero deben estar curtidas al cromo.

Los guantes de cuero no deben ser usados para transportar objetos calientes, ya que pueden endurecerse y agrietarse. Estos deben mantenerse limpios y sin grasas. Es necesario chequear que las caretas de soldadura estén libres de grietas y reemplazar el filtro cuando este se encuentre dañado.

El metal fundido, chispas, escorias, y las superficies de trabajo calientes que se producen durante la soldadura, el corte y otros procesos relacionados pueden causar quemaduras si no se emplean las medidas preventivas²⁰ que se relacionan a continuación:

- Los obreros deben llevar ropa protectora hecha de material resistente.
- No deben llevar pantalones con dobladillos, ni tener bolsillos abiertos ya que en ellos pueden retenerse metal fundido o chispas.
- Deben usar zapatos protectores, polainas de cuero, delantales y guantes resistentes para soldar.
- Al soldar sobre la cabeza o en espacios confinados, deben usar tapones en los oídos para impedir que las salpicaduras penetren en ellos.
- Mantener la ropa libre de grasa y aceite y limpia de materiales combustibles.



Fig. 2.17. Delantal de soldadura

- Antes de abandonar el área de trabajo, deben marcarse las piezas calientes para alertar a otras personas de este riesgo.

2.7. Medidas de seguridad para contrarrestar las afectaciones auditivas

Existen dos buenas razones por las cuales deben usarse protectores o tapones auditivos:

- Para evitar la entrada de salpicaduras en los oídos.
- Para prevenir la pérdida de audición como resultado del trabajo constante alrededor de equipos ruidosos, fuentes de corriente y procesos de altos niveles de ruido como por ejemplo el corte por plasma.



Fig. 2.18. Protectores auditivos

Como ocurre con la exposición de la vista a las radiaciones, la magnitud de tiempo que se esté expuesto a altos niveles de ruido determina la extensión del daño en los oídos. Si no es posible reducir el nivel de ruido (trasladándose el operario o el equipamiento, utilizando aisladores de sonido, etc.) entonces es necesario utilizar protectores de oído. Esta protección debe utilizarse para cualquier trabajo que sobrepase los 90 dBA.

2.8. Medidas de seguridad para evitar el choque eléctrico

Las descargas eléctricas pueden causar la muerte,^{10,12,47} lo que significa que no aplicar las medidas de seguridad contra este riesgo puede ser fatal. Como ya se dijo en el capítulo anterior, el riesgo de choque eléctrico está asociado con el equipamiento eléctrico. Esto incluye todos los tipos de equipos energizados eléctricamente. En una

máquina de soldadura convencional por lo general el voltaje interno (115 V) es mayor que el voltaje de salida.

Los tipos de contacto eléctrico que pueden existir en el equipamiento para la soldadura son:

- 1- Contactos directos con los elementos eléctricos, tales como cables, tenazas o portaelectrodos, fuentes de alimentación, etc.
- 2- Contactos eléctricos indirectos por fallo en el aislamiento contra los choques eléctricos.

Solamente deben usarse máquinas reconocidas y estandarizadas a escala nacional. En Estados Unidos las máquinas de soldadura deben estar reconocidas por la Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos (NEMA), en la sección de aparatos de soldadura. Esto viene descrito en la documentación de la máquina. Las especificaciones NEMA establecen, en las máquinas de soldadura, los requerimientos de servicio y los de voltaje en vacíos máximos. En Canadá se requiere, para ciertos tipos de máquinas de soldadura, ser reconocidas por la Asociación de Normas Canadienses. En algunas partes de los EUA es necesario, para fuentes de corriente tipo transformadores, estar aprobados por Underwriter Laboratories. En Cuba, todas las medidas de seguridad y protección de los equipos están regidas y controladas por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, además de esto la Oficina Nacional de Normalización, a través del sistema de normas NC-ISO, también fiscaliza todas estas regulaciones desde el punto de vista normativo.

Para cumplir con los requerimientos que imponen las distintas instituciones en el ámbito internacional, relacionados con la seguridad en las operaciones de soldadura, como por ejemplo el Acta de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), documento que establece las leyes al respecto en los Estados Unidos, los fabricantes han realizado variaciones para mejorar la seguridad de las máquinas, entre las que están los recubrimientos de los terminales de salida con nuevos dispositivos aisladores. También se han implantado los orificios de ventilación pequeños, de forma que el soldador no pueda entrar en contacto con el alto voltaje existente dentro del equipamiento. Se han cambiado las formas de las cajas protectoras de los equipos por lo que, en la zona de alto voltaje, se requieren herramientas para abrirlas.

En la soldadura manual con electrodo revestido solamente pueden ser usadas las tenazas aislantes. Las pistolas para la soldadura semiautomática, en procesos continuos de alimentación del alambre, deben tener interruptores de control de bajo voltaje, de forma que el alto voltaje no pase a las manos del soldador. En el caso del equipamiento de soldadura totalmente automático se permiten los altos voltajes, pero estos se encuentran en zonas inaccesibles para el operario durante la operación normal de soldadura.

Con respecto a la instalación de las máquinas de soldadura, esta debe ser hecha en concordancia con el Código Eléctrico Internacional y los demás códigos locales. Las instrucciones de instalación están incluidas en el manual del fabricante, que acompaña a la máquina de soldadura. Este manual da, además, las dimensiones de los cables de corriente que deben ser usados para conectar la máquina a la línea principal. La máquina de soldadura tipo motor generador prioriza la separación completa de la energía primaria y el circuito de soldadura, debido a que el generador está mecánicamente conectado al motor eléctrico. Sin embargo, la caja y la estructura soporte deben estar conectadas a tierra desde las líneas principales del alto voltaje. En las máquinas transformadoras y rectificadoras, los enrollados primarios y secundarios del transformador están eléctricamente aislados entre sí. Este aislamiento puede

estropiarse en determinado período de tiempo si no se realizan las prácticas de mantenimiento adecuadas. La estructura metálica y la caja de los transformadores y de las máquinas transformador-rectificador deben conectarse a tierra. El terminal de trabajo de soldadura no debe ser conectado a tierra. Es correcto emplear en todas las fuentes de energía los interruptores de desconexión, de forma que ellas puedan ser desconectadas de las líneas principales de mantenimiento.

Es extremadamente importante, cuando la máquina de soldadura tipo transformador trabaja en paralelo, que las fases de la línea de corriente trifásica estén seguramente identificadas. Esto asegurará que las máquinas estén en la misma fase, lo que puede chequearse de una forma relativamente fácil, conectando las salidas de trabajo juntas y midiendo el voltaje entre la tenaza del electrodo y las dos máquinas. Este voltaje debe ser prácticamente cero. Si es el doble del voltaje del circuito abierto, esto significa que la conexión secundaria o la primaria están invertidas. Si el voltaje es aproximadamente 1½ veces el voltaje normal de circuito abierto, esto significa que las máquinas están conectadas a diferentes fases de la línea de corriente trifásica. Estas conexiones deben realizarse antes de comenzar la soldadura.

En la fabricación por soldadura de grandes ensambles soldados, tales como barcos, edificaciones o piezas estructurales, es normal trabajar con varias máquinas de soldadura conectadas. Es extremadamente importante que estas máquinas tengan la misma polaridad, lo cual puede chequearse midiendo el voltaje entre las tenazas de los electrodos de las diferentes máquinas. Esta situación puede también ocurrir con respecto a las fuentes de corriente directa cuando ellas están conectadas para un ensamble soldado común. Si una máquina está conectada en polaridad normal y la otra en polaridad invertida el voltaje entre las tenazas de los electrodos será el doble del voltaje normal del circuito abierto. Deben tomarse precauciones para asegurar que todas las máquinas estén en igual polaridad cuando se conectan a un conjunto soldado común. No deben permitirse soldaduras simultáneas con corriente directa y corriente alterna en la misma unión soldada.

Las tenazas del electrodo de soldadura deben estar conectadas a las máquinas con cables flexibles, diseñados para aplicaciones de soldadura. No debe haber empalmes en el cable electrodo hasta tres metros de distancia de la tenaza. Los empalmes, si se usan, deben estar aislados.

Es importante ubicar las máquinas de soldadura donde tengan una ventilación adecuada y que los puertos de ventilación estén localizados de forma que no sean obstruidos.

Los cables guías del electrodo y de trabajo no deben enrollarse alrededor de la máquina de soldadura, ni del soldador. Las tenazas del electrodo no deben quedar colgando donde ellas puedan accidentalmente entrar en contacto con otra parte del circuito. Los electrodos deben ser eliminados de las tenazas cuando no estén en uso y ser tirados en el lugar adecuado para ello. Es absolutamente esencial que los cables de potencia o primarios que salen de la máquina de soldadura no se entremezclen o entren en contacto de alguna forma con los cables de soldadura.

La máquina de soldadura debe mantenerse seca, y si se humedece debe ser adecuadamente secada por un personal de mantenimiento eléctrico competente. Además, el área de trabajo debe mantenerse seca, los soldadores nunca deben trabajar en áreas mojadas, debido a que esto reduce su resistencia y aumenta el potencial de riesgo de choque eléctrico. Si fuera necesario hacerlo, se deben utilizar botas de goma y pararse sobre una plataforma aislada.

Los soldadores nunca deben reparar las máquinas de soldadura o equipamientos asociados, y deben ser instruidos de no usar herramientas para abrir las cajas protectoras de las máquinas de soldadura ni realizar mantenimiento en las tenazas de los electrodos, en las pistolas de soldadura, en el alimentador de alambre y otros equipos o accesorios. Este trabajo debe realizarlo el personal de mantenimiento calificado para ello.

La utilización de equipos eléctricos, esmeriladoras y equipos de corte puede producir accidentes indirectos por combustión de vapores inflamables, y también accidentes al personal operario por contactos eléctricos directos o indirectos, por lo cual deben tomarse precauciones durante su uso.

Algunas reglas fundamentales para garantizar la seguridad de los soldadores y operarios son las siguientes: [11,24,47,48,49](#)

- 1- Antes de comenzar un trabajo, o utilizar una máquina, deben leerse atentamente las instrucciones del fabricante, las recomendaciones de seguridad de las máquinas, las especificaciones técnicas de los electrodos y los materiales base, así como las recomendaciones del Jefe de Seguridad o las recogidas en el Manual de Seguridad.
 - 2- Nunca deben tocarse las zonas cargadas eléctricamente que no posean un aislante adecuado, ni cerrarse un circuito eléctrico con el cuerpo.
 - 3- Los cables deben poseer la sección necesaria para soportar la intensidad de corriente utilizada ya que la sobrecarga sostenida puede causar fallos en el cable, lo que puede traer consigo un posible choque eléctrico o riesgo de fuego. También debe tenerse en cuenta la distancia desde la fuente de energía de la máquina de soldeo hasta el puesto de trabajo, teniéndose en cuenta las recomendaciones de la tabla siguiente:

Tabla 2.6. Sección mínima necesaria de los cables de soldadura

Para utilizar esta tabla se debe seleccionar la intensidad que va a circular por el cable y trazar una línea horizontal, seleccionar la distancia desde la máquina al lugar de trabajo y trazar una vertical. La sección de cable recomendada será la señalada por el corte de ambas líneas. Ejemplo: si se va realizar el soldeo con 150 A y a 25 m de distancia de la fuente, la sección del cable deberá ser de 35 mm².

- 4- La fuente de alimentación de las máquinas de soldeo debe estar provista de interruptores diferenciales que protejan a los operarios de los posibles contactos eléctricos indirectos.
- 5- Las cubiertas de las fuentes de soldar deben estar conectadas a tierra para evitar descargas a los operarios por una derivación del circuito de alimentación. La línea de trabajo no es la línea a tierra. Esta sólo se usa para completar el circuito de la soldadura. Se requiere de una conexión separada para llevar a tierra el equipo. No puede equivocarse la línea de trabajo con la conexión a tierra.
- 6- Se deben mantener las fuentes de energía en buen estado, realizando el mantenimiento adecuado para cada máquina y evitando cualquier acumulación de polvo.
- 7- Utilizar guantes aislantes de la electricidad, que se encuentren secos, para el manejo de los equipos de soldeo. Utilizar también prendas secas y realizar los trabajos sobre suelo seco y aislado o utilizando botas de seguridad, que pueden ser zapatos con suelas de gomas.
- 8- Cuando se va a realizar el soldeo en ambientes peligrosos (en atmósfera húmeda, en espacios muy reducidos, etc.) el voltaje en vacío debe limitarse a 50 V en corriente alterna y 75 V en corriente directa.
- 9- Asegurarse de que todas las conexiones eléctricas estén firmes, limpias y secas. No debe permitirse que agua, grasa o suciedad se acumule en los tapones, enchufes o unidades eléctricas. La humedad conduce la electricidad.
- 10- Cuando varios soldadores están trabajando con arcos de polaridades diferentes, o cuando se están usando varias máquinas de corriente alterna, los voltajes del circuito abierto pueden ser la suma de estos. La adición de los voltajes aumenta la severidad del choque eléctrico.
- 11- La fuente de alimentación de las máquinas de soldeo debe estar provista de interruptores diferenciales que protejan a los operarios de los posibles contactos eléctricos indirectos.
- 12- No intentar reparar o desconectar ningún equipo eléctrico bajo carga. La desconexión bajo carga produce cortocircuitos y puede causar quemaduras o choques eléctricos.

En caso de choque eléctrico las medidas a tomar son las siguientes: Desconectar la fuente. Para separar la víctima de la parte viva es necesario usar materiales no conductores. Si la víctima no respira hay que administrar reanimación cardiopulmonar (RCP) tan pronto como se le separe del contacto. Llamar a un médico y continuar la RCP hasta que comience a respirar, o hasta que un médico haya llegado. Las quemaduras eléctricas se deben tratar como quemaduras térmicas; es decir, aplicar compresas limpias y frías (con hielo). Es muy importante prevenir la contaminación de las partes afectadas por lo que se deben utilizar materiales limpios.

2.9. Medidas de seguridad a aplicar durante los procesos en que se utilizan gases comprimidos

Los principales gases empleados en los procesos de soldadura son: acetileno y oxígeno, y los gases activos o inertes, tales como CO_2 , argón o helio empleados como gases de protección de la soldadura.^{49,49,19,52}

Durante la manipulación de estos gases comprimidos hay que tener presentes varias medidas de seguridad, debido a que pueden traer consigo peligros tales como la asfixia por desplazamiento del aire por gases inertes, peligro de incendio y explosión, entre otros.

Como es conocido, cuando se desea almacenar grandes cantidades de cualquier gas en recipientes de poco volumen, que permita su transporte y almacenamiento fácil, se comprime a alta presión. A continuación se indicarán una serie de normas para el buen almacenamiento, transporte y utilización de los gases comprimidos.

Almacenamiento y Transporte

- Las botellas no deben colocarse en pasillos ni lugares de paso.
- El almacén de botellas de gases debe estar delimitado y protegido por puertas si es posible.
- Las botellas deben sujetarse con cadenas de seguridad.

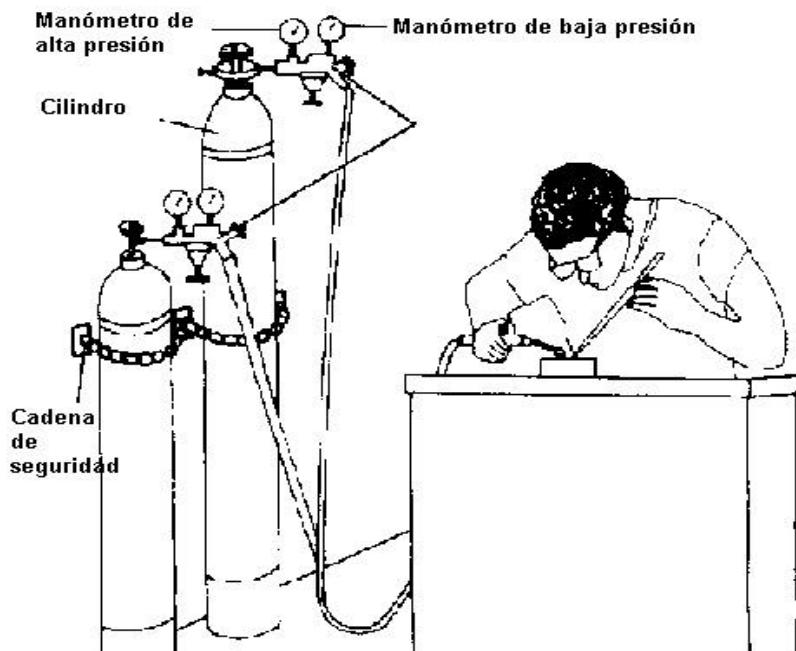


Fig. 2.19. Sujeción de los cilindros.

-Emplear grúa con cesta o plataforma para subir o bajar las botellas, nunca utilizar un electroimán (el corte de tensión provocaría la caída de las botellas). Para su transporte se emplearán carros con cadenas de seguridad, sólo deben ser desplazados a mano, por rodadura, para desplazamientos cortos.

-Las botellas de acetileno y de gases licuados (en estado líquido) deben utilizarse y almacenarse siempre en posición vertical (esta posición es la adecuada para las

botellas de cualquier otro gas) en áreas bien ventiladas y lejos de las fuentes de calor. En el área de almacenamiento se debe ubicar un cartel de “No fumar”.

-Los botellones deben ser identificados perfectamente antes de su empleo, esta tarea sólo debe realizarse leyendo su etiqueta. Si un botellón no tiene etiqueta no se debe utilizar. Tampoco se debe identificar el contenido del botellón únicamente por su color, ya que puede ser diferente según la zona o país, no obstante puede ser una ayuda en su identificación. En la tabla 2.7 se indican los colores de las botellas más utilizadas.

Tabla 2.7. Identificación de las botellas por su color

Gas	Cuerpo	Manguera
Oxígeno	Negro	Blanca
Acetileno	Rojo	Marrón
Nitrógeno	Negro	Negra
Hidrógeno	Rojo	Roja
Argón	Negro	Amarilla
CO ₂	Negro	Gris

Muchas botellas tienen una caperuza para proteger la válvula. La caperuza tiene que estar siempre puesta, a no ser que se esté utilizando el botellón. Nunca se debe elevar el botellón mediante esta caperuza, excepto cuando esté especialmente diseñada para ello.

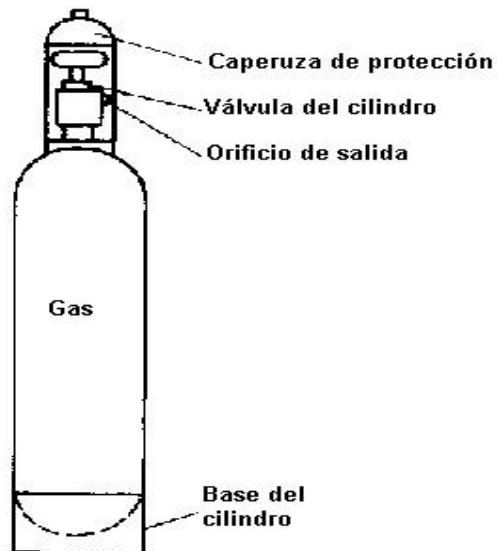


Fig. 2.20. Partes componentes de los cilindros de gases comprimidos

- Los botellones vacíos se identificarán como tales y se dispondrán también en posición vertical y sujetos con cadenas de seguridad.
- Los cilindros de oxígeno y los de gases combustibles deben separarse para su almacenamiento.

Para que el empleo de los gases comprimidos sea seguro debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Los reguladores o mano reductores deben utilizarse para todos los botellones de gas comprimido. Todo regulador debe estar equipado con un manómetro de alta presión (que mide la presión del botellón, lo que indica su contenido) y uno de baja presión (que mide la presión de trabajo). (Véase figura 2.2)
- Las válvulas de las botellas que contengan gases a gran presión, en particular oxígeno, deben abrirse despacio. Es preferible no abrir las válvulas de las botellas que contienen gases combustibles a más de una vuelta; de esta forma se puede cerrar rápidamente en caso de emergencia.
- Antes de conectar el mano reductor se debe purgar el botellón, así se eliminarán todas las partículas que estén alojadas en forma de polvo en su grifo. Si no se eliminan estas partículas pueden pasar al mano reductor y originar su avería.
- Hay que cerrar el botellón de gas después de cada utilización, y también cuando esté vacío. Esto previene pérdidas por las posibles fugas.
- Se recomienda retirar las botellas vacías y devolverlas al suministrador cuando la presión de la botella sea 1,72 bar (0,172 Mpa, aproximadamente 1,7 kg./m²), evitándose de esta manera que se contamine con la atmósfera.
- Nunca se deben calentar las botellas o depósitos que contienen gases comprimidos, ni situarlos cerca de focos de calor ya que pudieran explotar.
- Nunca debe usarse la presión de acetileno por encima de 15 lb/pulg². Esta alta presión puede causar una explosión.

En caso de utilización de gases combustibles se deben tener en cuenta los aspectos siguientes:

- Acetileno: este es un gas explosivo si su contenido en aire está comprendido entre el 2 y 82 %, también explota si se comprime solo, sin disolver en otra sustancia, por lo que para almacenarlo se disuelve en acetona y se almacena en cilindros llenos de una sustancia porosa. La presión de los cilindros es de 15 kg/cm². La presión en servicio del acetileno no debe sobrepasar nunca 1 bar (1 kg/m²). El diámetro interior de la tubería de acetileno no debe ser superior a 50 mm. La velocidad de salida del acetileno no superará 7 m/s. El acetileno es explosivo en contacto con plata, mercurio o aleaciones con más de un 70 % de cobre, por lo que las tuberías no deben ser de ninguno de estos materiales.
- Los demás gases combustibles (propano, butano, etc.) suelen estar almacenados en botellas en estado líquido a alta presión y temperatura ambiente.
- Si existe alguna fuga puede producirse fuego por lo que estas deben ser controladas y prevenidas.
- Se han llegado a producir accidentes graves al acoplar reguladores de oxígeno a botellas de gas combustible. Por ello es norma habitual que las roscas empleadas

para oxígeno sean derechas y las de combustible izquierdas. También se distinguen por el color.

- El oxígeno es un gas no inflamable pero inicia y mantiene la combustión de los materiales combustibles, por tanto los cilindros de oxígeno no deberán almacenarse al lado de los de gas combustible ni rodeados de ellos, y nunca se debe utilizar como sustituto del aire. Todos los cilindros son abiertos volteando la manija en sentido antihorario y cerrados volteándola en sentido horario.
- Nunca se deben poner las materias grasas en contacto con el oxígeno, ya que arderían espontáneamente. Se prohíbe lubricar las conexiones, válvulas, mano reductores y cualquier otro aparato para el oxígeno.
- Nunca se debe utilizar oxígeno en los compresores de aire ni tampoco para limpiar superficies o ropa, ni para ventilar espacios reducidos.

Los gases de protección son utilizados en varios procesos de soldadura (GMAW y GTAW). En el caso del helio, el argón y el nitrógeno se suministran comprimidos en estado gaseoso en los cilindros, o en estado líquido en tanques criogénicos; el CO₂ se almacena en estado líquido a temperatura ambiente.

Con respecto a las mangueras de conducción de los gases se deben seguir las reglas siguientes:

- Solamente se utilizarán mangueras especialmente diseñadas para los gases comprimidos que se van a transportar.
- Las mangueras de gases combustibles suelen ser rojas y las de oxígeno azules. Nunca se deben intercambiar las mangueras.
- Se debe controlar el estado de las mangueras y detectar las fugas. Cuando se detecte cualquier corte o quemadura hay que reemplazar la manguera, nunca repararla.
- Nunca se debe doblar la manguera para detener el flujo de gas.

A continuación se relacionan algunos aspectos a tener en cuenta acerca de las fugas de gas en los botellones:

- La fuga de gas en el botellón está localizada en el mecanismo de apertura y cierre de la válvula.
- Si una botella pierde gas, estando bien cerrada la válvula, hay que pensar que el mecanismo de la misma se ha aflojado o deteriorado.
- Cuando la fuga es importante se puede detectar bien por el ruido del escape, más acentuado en botellones de gases comprimidos (oxígeno, argón, aire comprimido, nitrógeno), o por el olor cuando el gas está diluido (acetileno) o licuado (propano, butano).
- Si la fuga es pequeña hay seguridad de detectarla por los sentidos (oído y olfato). Ante la duda, se debe hacer la comprobación aplicando agua jabonosa sobre el grifo de la botella; de existir fuga se localizará por muy pequeño que sea el escape. Si apretando el mecanismo de la válvula no se consigue detener la fuga, se deberá situar el botellón en el exterior, indicando que está fuera de servicio y entonces llamar al suministrador con urgencia.

- Las válvulas de los cilindros o válvulas de protección no se deben aflojar nunca.
- Cuando se une el regulador al botellón, las uniones deben limpiarse y no se puede utilizar sellador.
- Antes de conectar un regulador la rosca de ajuste de presión debe desenroscarse para prevenir un flujo irregular de gas dentro del sistema, cuando se abre la válvula del cilindro.

Los sopletes deben proveerse de una válvula antirretroceso de llama, que impida que la combustión avance desde el soplete, por la manguera, hasta el botellón de gas.

Siempre debe usarse esta secuencia para encender la antorcha: ⁴⁹

- a) Abrir la válvula del cilindro de acetileno.
- b) Abrir la válvula de la antorcha de acetileno girándola $\frac{1}{4}$ de vuelta.
- c) Atornillar el regulador de acetileno ajustando la manija de la válvula hasta tener una presión funcional.
- d) Cerrar la válvula de la antorcha de acetileno. (De este modo habrá purgado el conducto de acetileno.)
- e) Abrir suavemente la válvula del cilindro de oxígeno, hasta el máximo.
- f) Abrir la válvula de la antorcha de oxígeno volteándola $\frac{1}{4}$.
- g) Girar el tornillo del regulador de oxígeno hasta tener una presión funcional.
- h) Cerrar la válvula de la antorcha de oxígeno (de este modo habrá purgado el conducto de oxígeno).
- i) Abrir la válvula de la antorcha de acetileno $\frac{1}{4}$ y encenderla con un encendedor (usar encendedor de fricción u otro dispositivo especial para esto).
- j) Abrir $\frac{1}{4}$ la válvula de la antorcha de oxígeno.
- k) Ajustar una llama neutra.

La secuencia adecuada para apagar la antorcha es la siguiente:

- a) Cerrar primeramente la válvula de la antorcha de acetileno y luego cerrar la válvula de la antorcha de oxígeno. Si se cierra la válvula de oxígeno primero, la llama amarilla de acetileno se agranda apreciablemente y puede quemar al soldador u otro operario cercano. Luego, rápidamente, se debe cerrar la de oxígeno.
- b) Cerrar las válvulas de los cilindros (acetileno primero y oxígeno después).
- c) Abrir las válvulas de las antorchas de acetileno y oxígeno (para eliminar la presión del regulador y la manguera).
- d) Tirar la manija de la válvula de ajuste del regulador hasta que no se sienta ninguna tensión.
- e) Cerrar las válvulas del soplete.

Es preciso que a los equipos para la soldadura y el corte con gases se les dé un mantenimiento adecuado y sean reparados por personal calificado para esto. Los manómetros de presión, los reguladores de soldadura, las antorchas, las boquillas, entre otros, deben ser cuidadosamente inspeccionados de forma periódica.

2.10. Medidas de seguridad contra los incendios o explosiones

Este tema es especialmente importante en las operaciones de soldadura, por lo que toda la reglamentación general contra incendios debe aplicarse en su integridad.^{10,17,18}

En estos casos se incluyen las medidas a tomar cuando se trabaja con gases comprimidos, las cuales se relacionan en epígrafes anteriores. A continuación se muestran otras medidas de seguridad a tener en cuenta:

- Toda el área de trabajo debe estar limpia de materiales de desecho, especialmente de combustibles.
- Los materiales inflamables deben cubrirse con materiales resistentes al fuego.
- En algunos casos es aconsejable mojar el suelo, aunque esto aumenta el peligro de descargas eléctricas.
- Deben protegerse especialmente las botellas de gas.
- Debe señalizarse toda el área, indicando las rutas de escape y la localización de extintores.
- Debe disponerse de extintores portátiles, y si es posible, de una manguera.
- Los escaparates o muebles auxiliares de madera, que permanecen fijos en el área de trabajo del soldador, deben ser revestidos de asbesto o chapas metálicas si se encuentran a una distancia menor que 5 m del puesto del soldador.
- No se deben tener sustancias inflamables o explosivas a una distancia menor de 30 m del puesto del soldador.
- Las prendas de cuero (guantes, polainas y manguitos) deben estar curtidas al cromo para que sean resistentes a la llama y a las chispas.

2.11. Medidas de seguridad para la soldadura de contenedores

Estas medidas deben tomarse en consideración a la hora de soldar tanques, compartimentos de forma ahuecada dentro de un ensamble soldado o en un área ahuecada en una fundición, aun cuando esta pueda contener solamente aire. A estos casos debe prestársele especial atención antes de la soldadura, debido a que el calor que se genera durante este proceso puede elevar la temperatura del aire encerrado o gas, aumentando peligrosamente su presión, lo que puede provocar la explosión de la pieza o contenedor. Siempre debe dársele salida al aire confinado antes de soldar o cortar en un área del contenedor, ya que este aire puede estar enriquecido con oxígeno o con gases combustibles y todos ellos son extremadamente peligrosos cuando se calientan o son expuestos al arco o la llama.

Cuando la soldadura o el corte se realiza en contenedores vacíos, que no están enteramente libres de combustibles sólidos, líquidos, vapor, polvos y gases, pueden traer aparejados fuegos o explosiones. Para llevar a cabo estos procesos de forma segura en contenedores, deben tomarse las medidas que se relacionan a continuación.

- Ningún contenedor debe considerarse limpio o seguro antes de que esto sea probado.

- La limpieza debe realizarse al aire libre y si esto no es posible el área interior de trabajo debe estar bien ventilada de forma que el vapor inflamable sea sacado al exterior rápidamente.
- Hay que sacar todo el material, lodo o sedimentos del contenedor. Si el material es soluble en agua entonces puede limpiarse con esta, pero en caso contrario debe ser limpiado con soluciones químicas calientes o vapor.
- Las sustancias químicas para la limpieza se mezclan en agua caliente y se vierten dentro del contenedor. Se llena este completamente con agua, se introduce vapor para calentarla y agitar la solución. Si no existiera agua caliente y vapor disponible puede usarse agua fría, aunque este método es menos efectivo, y el agitado debe realizarse por medio de aire comprimido.
- Otra forma de limpieza del contenedor es rellenarlo con un 25 % de una solución de limpiadores y limpiarlo completamente.
- A continuación de esto debe introducirse vapor a baja presión en el tanque, permitiendo que este salga por alguna abertura. Debe continuar el flujo de vapor a través del tanque por algunas horas.

Ninguno de estos métodos es perfecto, y luego de efectuarse es necesario que se inspeccione el contenedor para determinar si está completamente limpio. Si no lo está debe repetirse la operación de limpieza.

Luego de que el contenedor esté limpio deben cerrarse las aberturas y analizarse una muestra de gas del interior del contenedor usando un instrumento indicador de gas combustible. Si la concentración de vapor inflamable de la muestra no está por debajo de los límites de inflamabilidad hay que repetir la operación de limpieza. Cuando se ha determinado que el aire o gas dentro del contenedor no constituye un peligro este debe ser marcado, fechado y firmado.

Aun después de que el tanque esté seguro debe llenarse con agua, como una precaución adicional, antes de la soldadura o corte y situarse de forma que pueda mantenerse con agua a pocas pulgadas del punto donde va a ejecutarse la soldadura y el corte. Luego es necesario asegurarse de que el espacio por encima del nivel de agua esté ventilado de forma que el aire caliente pueda salir.

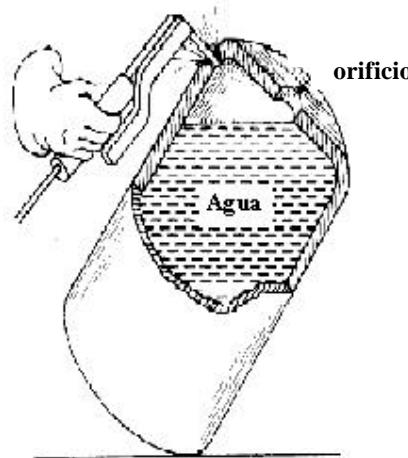


Fig. 2.21. Forma segura para la soldadura de contenedores

Como una alternativa al método de llenado con agua del contenedor este también puede ser llenado con gas inerte. Los gases y vapores inflamables se convertirán en no inflamables y no explosivos si se mezclan con gas inerte a suficiente concentración. Normalmente se utiliza para esta función el CO₂ y el N₂.

Este tipo de trabajo de soldadura en recipientes que han contenido combustibles debe estar respaldado por un permiso de trabajo.

2.12. Medidas de seguridad para otros procesos especiales de soldadura

Los riesgos potenciales mencionados en el primer capítulo son aplicados a la mayoría de los procesos de soldadura y corte, pero la aplicación de procesos específicos u ocupaciones de soldadura incluyen otros riesgos particulares.

En la soldadura automática robotizada los robots operan fuera del área base de su máquina, teniendo movimientos impredecibles que pueden comenzar inesperadamente y con velocidades relativamente altas. Los mayores riesgos en estos casos son para los operarios de mantenimiento, los cuales trabajan muy cerca del robot y la antorcha de soldadura.

En la soldadura blanda y fuerte los fundentes y metales de aporte empleados pueden generar humos nocivos, especialmente cuando se calientan por encima de la temperatura de operación, por lo que en estos casos debe existir un sistema de ventilación mecánica adecuado para eliminar los gases nocivos y explosivos.

La soldadura por resistencia trae consigo algunos riesgos potenciales. Normalmente se usan en las máquinas botones dobles especiales para proveer seguridad al operador. En este tipo de trabajo deben utilizarse protectores de la cara y los ojos, debido a las salpicaduras que pueden ser proyectadas fuera del área del punto de soldadura.

El corte arco aire y con plasma, con altas corrientes, genera un ruido de tales niveles que puede ser dañino. Debe usarse necesariamente para estos casos protección auditiva.

En la soldadura por haz de electrones, con alto voltaje, son generados rayos X, por lo cual el operario debe trabajar obligatoriamente con la protección diseñada para este tipo de radiación.

El proceso de spray térmico trae consigo riesgos adicionales además de aquellos relacionados con la soldadura por arco y el corte oxiacetilénico, debido al trabajo con polvos o varillas que son atomizados y rociados a la pieza de trabajo lo cual provoca la generación de contaminantes en la atmósfera de respiración, por lo que esta operación debe ser bien ventilada con extracción de aire de 200 a 300 pie³/min. También debe prestarse especial atención en la manipulación de los polvos y evitar de forma segura su inhalación, debido a que son muy peligrosos por su elevada concentración de compuestos de alta aleación. En este proceso se requiere además protección visual y auditiva, ya que en ocasiones este se lleva a cabo en cámaras aisladas.

En el caso de la soldadura y corte mediante láser puede traer consigo riesgos a la salud debido a que ciertas clases de láser generan una radiación dañina para los ojos, y en todos los casos la radiación luminosa que se genera en este proceso afecta la vista si no se utiliza protección, como el uso de espejuelos protectores.

BIBLIOGRAFÍA

- 1- Amo Ortega, J. Ma.: "Ecología en la soldadura. Humos producidos por electrodos revestidos", *Revista Soldadura*, VIII, (4):165-177, España, octubre-diciembre, 1978.
- 2- Antunez Gómez, J. P.: "Informaciones y recomendaciones sobre la higiene y seguridad de la soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (8): 12, Brasil, octubre-noviembre-diciembre, 1992.
- 3- AWS Safety and Health Program. *Welding Journal* 61 (8): 63-64, USA, agosto, 1982.
- 4- Burgos Solas, José: *Tecnología de la Soldadura*, 3ra. ed., 282 pp., La Habana, 1989.
- 5- Burn Protection. *Welding Journal*, 62 (9): 69, USA, septiembre, 1983.
- 6- Cuba, Ministerio de Salud Pública: *Curso de Medicina del Trabajo*, 568 pp., Editorial ORBE, La Habana, 1978.
- 7- Cuba, Ministerio de Salud Pública: *Higiene del Medio*, tomo 3, 1127 pp., Editorial ESPAX, La Habana, 1976.
- 8- Dress for Safety, *Welding Journal*, 69 (7): 69-70, USA, julio, 1990.
- 9- Duprax, Carol A.: "Something New in Respiratory Protection for Welding", *Welding Journal*, 60 (8): 42, USA, agosto, 1981.
- 10- Díaz Cedré, Eduardo: *Manual del soldador GTAW*, 120 pp., México, CIDESI, Queretaro, 1999.
- 11- Electrical Hazards: *Welding Journal*, 61 (1): 66, USA, diciembre, 1982.
- 12- *The Procedure Handbook of Arc Welding*, Twelfth Edition, 529 pp., USA, 1993.
- 13- Fernando, Joao: "Análisis de los humos de soldadura" *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (14): 22-23, Brasil, abril-mayo-junio, 1994.
- 14- Fernando Joao: "Cómo eliminar los humos de soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (1): 39, Brasil, enero-marzo, 1990.
- 15- Fernando, Joao: "Consideraciones sobre higiene relativo a humos y gases de la soldadura" *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (5): 25-31, Brasil, enero-febrero-marzo, 1992.
- 16- "Filtros electrostáticos para la depuración ambiental en áreas de soldadura", *Revista Soldadura y Electricidad*, Vol. LXII, no. 705, abril, España, 1998, p. 52
- 17- "FIRE Safety in Welding and Cutting", *Welding Journal*, 73 (1): 87-88, USA, enero, 1994.
- 18- "FIRE Prevention", *Welding Journal*, 62 (8): 69, USA, agosto, 1983.
- 19- Fuster, R.: "Industrial Eye Safety: A sensible approach", *Welding Journal*, 67 (9): 71-74, USA, septiembre, 1988.
- 20- Gómez J.: "Información y recomendaciones sobre la higiene y seguridad en la soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (5): 35, Brasil, enero-febrero-marzo, 1992.
- 21- Gómez J.: "Información y recomendaciones sobre higiene y seguridad en la soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (6): 23, Brasil, abril-mayo-junio, 1992.
- 22- Gómez, J.: "Información y recomendaciones sobre la higiene y seguridad en la soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (7): 35, Brasil, julio-agosto-septiembre, 1992.

- 23- Health and Safety Executive (agosto, 1999) APA Public: "Health Risks of welding Fumes and Gases", Washington, Dc: Bill Lucas. Obtenido en la Red Mundial el 10 de junio del 2000: <http://www.twi.co.uk/w.lucas.htm>
- 24- Irving Sax, N.: *Dangerous Properties of Industrial Materials*, N. Irving Sax, 3ra. ed., 251 pp., Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1968.
- 25- Jonasson, Alf.: "Methods for separating Welding Fumes and examples of applied techniques", *Svetsaren*, 48 (1): 28-32, Suecia, 1994.
- 26- Kadefor Roland: "Welding, ergonomics and musculoskeletal disease", *Svetsaren*, 48 (1): 10-11, Suecia, 1994.
- 27- Karlsson, U.: "The safe use of electric arc welding", *Svetsaren*, 48 (1): 10-11, Suecia, 1994.
- 28- "La protección respiratoria durante la soldadura", *Revista Metalurgia y Electricidad*, LXII, (705): 37-39, España, abril, 1998.
- 29- Manz, A. F.: "A Historical View of Welding Safety and Health Issues", *Welding Journal*, 67 (9): 35-37, USA, septiembre, 1988.
- 30- Desoille, H.: *Medicina del Trabajo*, 585 pp., Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1986.
- 31- Méndez, Miguel: "Gases para la Soldadura TIG, MIG y MAG que producen un ambiente menos tóxico para el soldador", *Revista Soldadura*, XII (3): 110-115, España, diciembre, 1993.
- 32- Olsson, Robert: "A well designes welding work space in ergonomic, efficient and economical", *Welding Journal*, 72 (10): 51-55, USA, octubre, 1993.
- 33- Karlsson, UTF. P.: "The safe use of electric arc welding", *Svetsaren*, 48 (1): 24-27, Suecia, 1994.
- 34- Padgaiyeshky, V. V.; Kuzmienko, V.G.: *Escorias de soldadura*, 254 pp., Editorial Naukova Dumka, Kiev, 1988.
- 35- Potapov, N. N.: *Materiales para la soldadura por arco*, 3ra ed., 543 pp., Editorial Machinostroenie, Moscú, 1988.
- 36- Project Comitte on Chormium and Nickel-background, *Welding Journal*, 67 (9): 35, USA, septiembre, 1988.
- 37- ¿Que seguridad ofrece su protección contra humos de soldadura? *Revista Metalurgia y Electricidad*, LV (636): 169-171, USA, septiembre, 1991.
- 38- Radiación, *Welding Journal*, 72 (10): 51-55, USA, octubre, 1993.
- 39- Rekus, J.F.: "Managing Welding Hazards in confined spaces", *Welding Journal* 69 (7): 23-27, USA, julio, 1990.
- 40- Rekus, J. F.: "Structural steel hot work: A serious lead hazard in construction". *Welding Journal*, 67 (9): 25-31, USA, septiembre, 1988.
- 41- Roegtering, Ric.: "High-Vacumm system multipurpose extraction at welding workshops", *Svetsaren*, 48 (1): 33-35, Suecia, 1994.
- 42- Santos Guillerme: "Eliminador de humos de soldadura", *Revista Tecnología y Cualidades*, Serie II, (8): 11, Brasil, octubre-noviembre-diciembre, 1992.
- 43- Shidlovskly, Vladimir: *Manual de Protección e higiene del Trabajo*, 3ra ed., 131 pp., Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1985.
- 44- "Spot fume elimination", *Welding Journal*, 60 (7): 48-49, USA, Julio, 1981.
- 45- "Tripping and Falling", *Welding Journal*, 62 (12): 70-70, USA, diciembre, 1983.
- 46- "The welding: An evaluation of respiratory protection", *Welding Journal*, 65 (9): 57-61, USA, septiembre, 1986.
- 47- "Welding fume control", *Welding Journal*, 72 (10): 69-70, EUA, octubre, 1993.
- 48- "Welding Fume Removal System Cuts Costs. Recirculates Air", *Welding Journal*, 61 (11): 53-54, USA, noviembre, 1982.

- 49- Welding International Association (agosto, 1999) APA Public: "Hazard" Washington, Dc: Roger Sykes: Obtenido en la red mundial el 15 de mayo del 2000: <http://www.cpwr.com/haspweld.htm/>
- 50- Welding International Association (agosto, 1999) APA Public: "Fumes and Gases". Washington, Dc: Roger Sykes: Obtenido en la Red Mundial el 15 de mayo del 2000: <http://www.twi.co.uk/searc.htm/>.
- 51- Welding International Association (agosto, 1999) APA Public: "Electromagnétic field" Washington, Dc: Orlando Morales: Obtenido en la red mundial el 15 de mayo del 2000: <http://www.edyd.com/o.morales/ensayosforme.htm/>.
- 52- Welding International Association (agosto, 1999) APA Public: "Fumes and Gases". Washington , Dc: Smith Jonasson: Obtenido en la red mundial el 15 de mayo del 2000: <http://www.twi.co.uk/disclaim.htm/>.
- 53- Werman, Klas: "Health hazards caused by electromagnetic field during welding", *Svetsaren*, 48 (1): 14-16, Suecia, 1994.
- 54- Wemmert, Borje: "Fume-Particles and Gases", *Svetsaren*, 48 (1): 7-9, Suecia, 1994.
- 55- Zens, D. E.: "Protection in the welding environment", *Welding Journal*, 65 (9): 52-56, USA, septiembre, 1986.
- 56- Werzyniec, E.: "Flashback Protection for oxifuel Gas Welding Environment", *Welding Journal*, 69 (7): 67-68, USA, julio, 1990.
- 57- Cary, Howard B.: *Modern Welding Technologies*, 767 pp., 3ra Edición, USA, 1994.
- 58- *The Procedure Welding Handbook of Arc Welding*, 615 pp., 12 Edition. The Lincoln Electric Company, USA, 1973.
- 59- Hernández Riesco, Germán: *Manual del Soldador*, Editorial GRUP 4-Badalona, España.
- 60- Casas Sabala, José María: *El Medio ambiente al alcance de todos*, 385 pp., Editora Ayuntamiento de Manresa, España, 1995.
- 61- May, C. Line; Liu, J.C.: "Absorbent Colloid Flotation of As (v)- Feasibility of Utilizing Streaming Current Defector", *Separation Science and Technologies*, 31(119) 2335-2349.