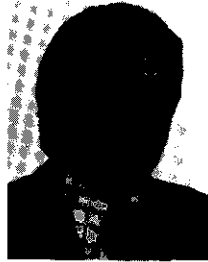


**PEDRO FLORES  
PEREIRA**

*Ingeniero Industrial, especialidad Química, por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Sevilla.*

*Jefe de Unidad de Higiene de Campo del Instituto de Sevilla del Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo.*

*Miembro de la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (A.C.G.I.H.) y de la American Industrial Hygiene Association (A.I.H.A.)*



**COLABORAN:**

**J. NAVAS VALERA**  
*Ingeniero Industrial*

**J. GUADIX VALLE**  
*Ingeniero Industrial*

**S. CHACON BLANCO**  
*Ingeniero Industrial*

*Jefes de Unidad de Higiene de Campo del Instituto Territorial de Sevilla. Servicio Social de Higiene y Seguridad del Trabajo.*

## PROBLEMAS HIGIENICOS GENERADOS EN LAS OPERACIONES DE SOLDADURA AL ARCO

El hombre con su trabajo modifica el ambiente que le rodea y el ambiente modifica la salud del hombre que trabaja. La Higiene Industrial quiere actuar sobre el ambiente modificado por el hombre a fin de evitar que su salud se altere y de esta forma contribuir a la consecución de una población laboral sana.

De todas las operaciones que se realizan en el ambiente industrial, las soldaduras son quizás las más extendidas y las que afectan a una población laboral más amplia, de ahí que consideremos que el estudio higiénico de los riesgos que ésta genera y las posibles soluciones a estos riesgos sea un tema sumamente interesante para aquellas personas que se dedican al desarrollo y estudio de estas Técnicas.

La Higiene Industrial actúa ante cualquier problema higiénico a través de las siguientes etapas: primeramente se efectuará un reconocimiento de los factores ambientales que afectan a la salud para con los que se debe estar familiarizados; a continuación, el

higienista realizará una evaluación de la magnitud de dichos factores. Para esta evaluación es necesario cubrir las siguientes etapas: toma de muestras correcta del contaminante, análisis adecuado de estas muestras, comparación con los standards preestablecidos que indican los niveles de exposición permisibles para un contaminante dado, ponderación de las concentraciones detectadas considerando el tiempo de exposición y los standards preestablecidos y, por último, proceder a adoptar las medidas de control cuando sean necesarias para proteger la salud. Este control se basará en la experiencia y conocimientos de Ingeniería del higienista, así como en los datos cuantitativos obtenidos tras el muestreo y análisis correspondiente.

**CAUSAS Y ORIGENES DE LA CONTAMINACION  
POR SOLDADURA AL ARCO**

Antes de proceder a realizar el estudio de los

riesgos higiénicos, es interesante hacer unas consideraciones sobre las causas origen de la contaminación del ambiente de trabajo por las soldaduras al arco a fin de tener un conocimiento claro del proceso y obrar en consecuencia. Estas causas-origen son **la fuente de calor y la volatilización de los metales fundidos**.

La fuente de calor en este tipo de soldadura es el arco propiamente dicho, que se establece entre el electrodo y la pieza a soldar.

Los productos que se forman en la soldadura al arco debido a la fuente de calor lo harán a partir del nitrógeno y del oxígeno atmosférico, dado el estado de ionización que alcanzan en la región del arco. El nitrógeno y oxígeno reaccionarán formando óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>); no es lógico que aparezca en forma de N<sub>2</sub>O. Estos óxidos se expresan normalmente en forma de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>). Debido a las radiaciones ultravioleta, en la proximidad del arco se forman pequeñas cantidades de ozono, que será un riesgo importante cuando se suelde aluminio o acero inoxidable con soldadura al arco con protección gaseosa de argón o CO<sub>2</sub>.

Debido a las altas temperaturas que se generan en el arco, del orden de 4.000 a 5.000 °K, se crea un sobrecalentamiento rapidísimo en las zonas catódicas y anódica del arco, con la consiguiente volatilización de los metales y la contaminación del ambiente laboral.

Influyen tanto el metal base como el metal de aportación en la contribución a la contaminación ambiental. El conocimiento de las composiciones del metal base o de aportación, nos predecirán de alguna forma los posibles humos, pero no sus concentraciones y en qué magnitudes contribuyen cada uno de ellos.

Gases y humos producidos por los revestimientos de los electrodos

Debido a la gran variedad de componentes que recubren los electrodos y a las altas temperaturas que se originan, se forma una gran cantidad de reacciones complejísimas que dan lugar a multitud de compuestos.

Los humos y gases que se generan desde el punto de vista higiénico son función del tipo de revestimiento de los electrodos (ácidos, básicos, rutilos, neutros, etc.), siendo los que más riesgos presentan los recubrimientos básicos. El difluoruro de calcio que es un componente muy importante dentro del recubrimiento de los electrodos básicos, se descompone formando tetrafluoruro de silicio cuando se encuentran presentes también compuestos de silicio. Los iones de fluoruro que se forman por descomposición de los recubrimientos en la soldadura al arco tienen numerosas posibilidades de combinarse con hidrógeno, potasio, sodio, cobre, hierro, manganeso, silicio, titanio y aluminio, pero debido a las condiciones alcalinas que existen en estos electrodos solamente se producen fluoruros potásico y fluoruro cálcico.

Es importante la presencia de sílice en los humos de soldadura debido a los revestimientos de los electrodos ácidos principalmente. El silicio puede es-

tar presente en forma de ferrosilicatos, caolín, feldspatos, mica, etc. La forma que la sílice adquiere, tras liberarse en la fusión, es la amorfa (silicio fundido y silicatos), como consecuencia de las altas temperaturas que se crean en el arco.

Los gases generados debido a los recubrimientos son principalmente:

- **Anhídrido carbónico**, procedente de la descomposición de los carbonatos y de la combustión de materia orgánica. Las cantidades son muy reducidas de alrededor de 0,2% ó menos.
- **Oxido de carbono**. Las cantidades producidas son pequeñísimas salvo cuando se emplean electrodos recubiertos de materias orgánicas, en los que se produce una pirólisis en las proximidades del arco.

Gases y humos producidos por los elementos que cubren los metales

Si los metales o aleaciones a soldar están cubiertos de pinturas, barnices, antioxidantes, suciedad, etc., el calor puede modificar el producto cubriente, emitiendo vapores o humos, siendo el efecto tanto mayor, cuanto mayor sea el aumento de temperatura y la superficie afectada.

Los casos más importantes que se presentan en chapas protegidas con minio y en chapas galvanizadas son:

- Chapa pintada con minio.

El minio u óxido de plomo (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) se descompone por el calor. Por encima de 575 °C, la descomposición es total en oxígeno y PbO. Este se volatiliza a 700 °C., por lo cual el peligro de inhalación de óxido de plomo y plomo es muy acusado.

- Chapa galvanizada.

En la soldadura sobre chapa de este material, se produce la evaporación del cinc en forma de óxido (OZn) pudiendo existir también pequeñas cantidades de plomo y cadmio.

Otro problema higiénico existente en la soldadura al arco es el debido a las radiaciones ultravioleta. A ellas están expuestos los soldadores, ayudantes y todos aquellos individuos que trabajen en la proximidad del proceso.

## CONTAMINANTES PRESENTES EN LA SOLDADURA AL ARCO

Para realizar un **reconocimiento** de los posibles contaminantes que se generan en los procesos de soldadura basta visualizar el esquema núm. 1 donde se presentan todos los posibles contaminantes que pueden generarse.

La composición típica de los humos metálicos que aparecen al soldar materiales de uso común con diferentes tipos de electrodos, se exponen a continuación, con objeto de que sirvan de ayuda importante en el conocimiento de la frecuencia con que aparecen estos metales en los humos. (Ver cuadro núm. 1)

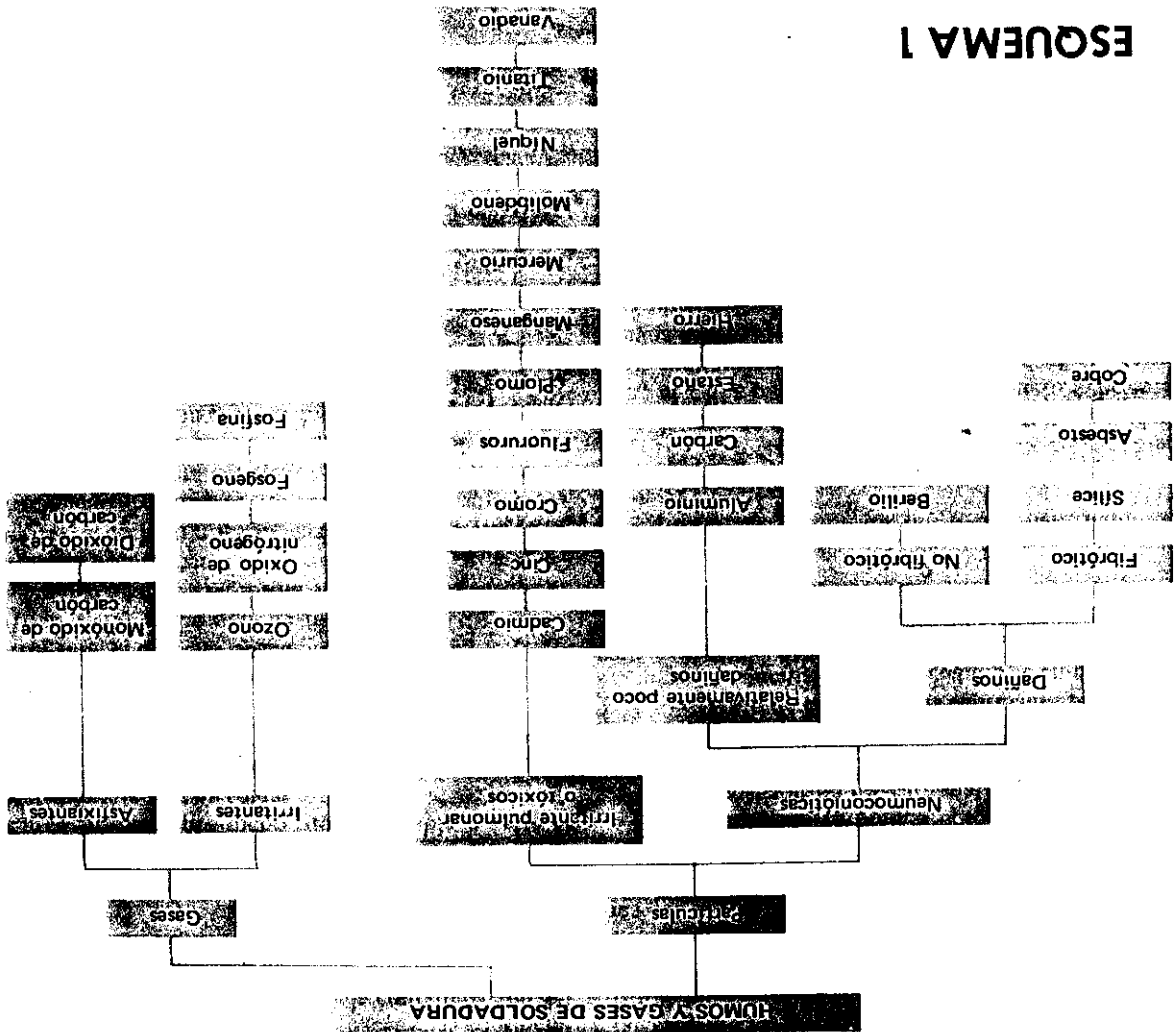
## EVALUACION DE LOS RIESGOS HIGIENICOS

Para efectuar la evaluación de los riesgos higié-

Metal Base a Solder	COMPONENTES CUALITATIVOS DE LOS HUMOS GENERADOS																
	Tipo de electrodo utilizado	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Mn	MoO <sub>3</sub>	CaF <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CrO <sub>3</sub>	Ni	MgO	CuO	BaO	SnO <sub>2</sub>	Zn	PbO	As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Aceros al Carbono	Revestimiento neutro	+	+	+	+												
	Revestimiento neutro y gran rendimiento	+	+	+	+												
	Revestimiento ácido	+	+	+	+												
	Revestimiento	+	+	+	+												
	Furtio	+	+	+	+												
	Revestimiento básico	+	+	+	+												
	Aceros inoxidab. Aleación pobre de Cromo-Níquel	Revestimiento Básico	+	+	+	+											
	Aceros inoxidab. de alta aleación Cromo-Níquel...	Revestimiento Básico	+	+	+	+											
Hierro colado ...	Electrodo adecuado	+	+	+	+												
Latón (Cu, Zn) y Bronce (Cu, Sn)	Electrodo adecuado	+															
Aluminio .....	Revestimiento Básico																

CUADRO 1

ESQUEMA 1



nicos generados en la operación de soldadura al arco debemos seguir las siguientes fases:

Dada la diferente naturaleza física de los diversos contaminantes que se desprenden en los procesos de soldadura, la toma de muestras seguirá un procedimiento diferente según el agente contaminante que se desee muestrear.

Los humos metálicos se muestrearán con filtros de membrana de celulosa de 37 mm. de diámetro y de un tamaño de poro en el filtro de 0,80 micras. Como sistema de aspiración se utilizarán bombas personales y el caudal y tiempo de muestreo será función del objetivo de éste último.

Si se evalúa el riesgo higiénico debido a humos metálicos, el tiempo de muestreo será de, aproximadamente, una hora, a un caudal de 1 y 2 litros por minuto. Cuando se pretende hacer un estudio por microscopía electrónica se muestrea a bajo caudal durante cinco minutos.

Los vapores nitrosos, ozono y fluoruros se captan utilizando como técnica la de absorción química. Los fluoruros -gaseosos y particulados- se muestrean haciendo pasar la corriente gaseosa a través de un tren, de muestreo formado por un impinger con 10 cc. de NaOH, 0,1 N, precedido de un filtro de ésteres de celulosa de 37 mm. de diámetro y 0,8 micras de tamaño de poro. El contaminante particulado queda depositado sobre el filtro mientras que el gaseoso se retiene en la solución absorbente contenida en el impinger.

El ozono se tomará con un impinger con una solu-

ción de 10 cc. de yoduro potásico al 1% en hidróxido sódico 1 N a un caudal de 1 a 2 litros por minuto, durante 30 minutos.

Los vapores nitrosos se tomarán con un impinger con una solución de 15 cc. de NaOH al 0,01 N, haciendo pasar 20 litros de aire a un caudal de 1 litro por minuto.

Toma de muestras por instrumentos de lectura directa. El monóxido de carbono y dióxido de carbono se tomarán con este sistema. La evaluación de ozono por tubos detectores Draeger pueden dar una medición con un error de  $\pm 15\%$ .

Las técnicas analíticas de determinación de contaminantes se indican en el esquema núm. 2

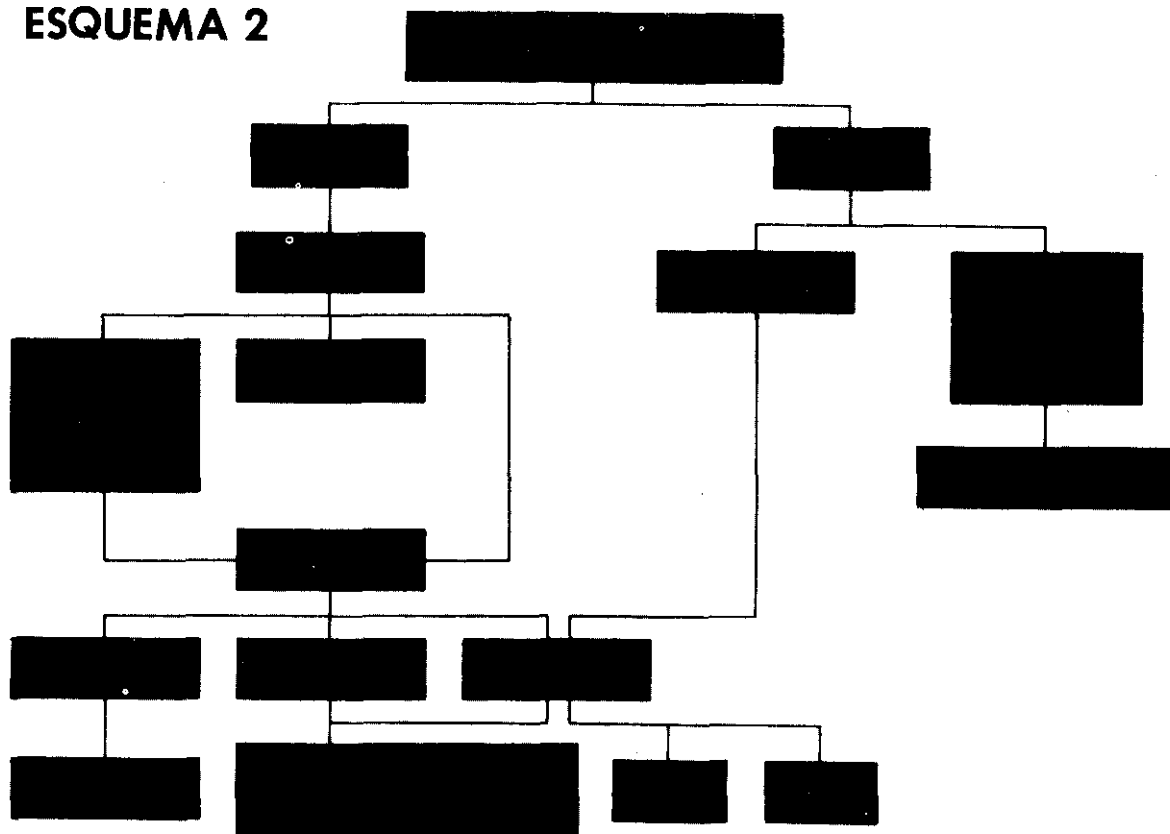
ESQUEMA 2

Para efectuar una correcta valoración de los riesgos que para la salud de los operarios supone su exposición laboral a los contaminantes detectados, es necesario considerar los efectos que en el organismo humano producen los agentes químicos o físicos implicados en el puesto de trabajo a estudiar.

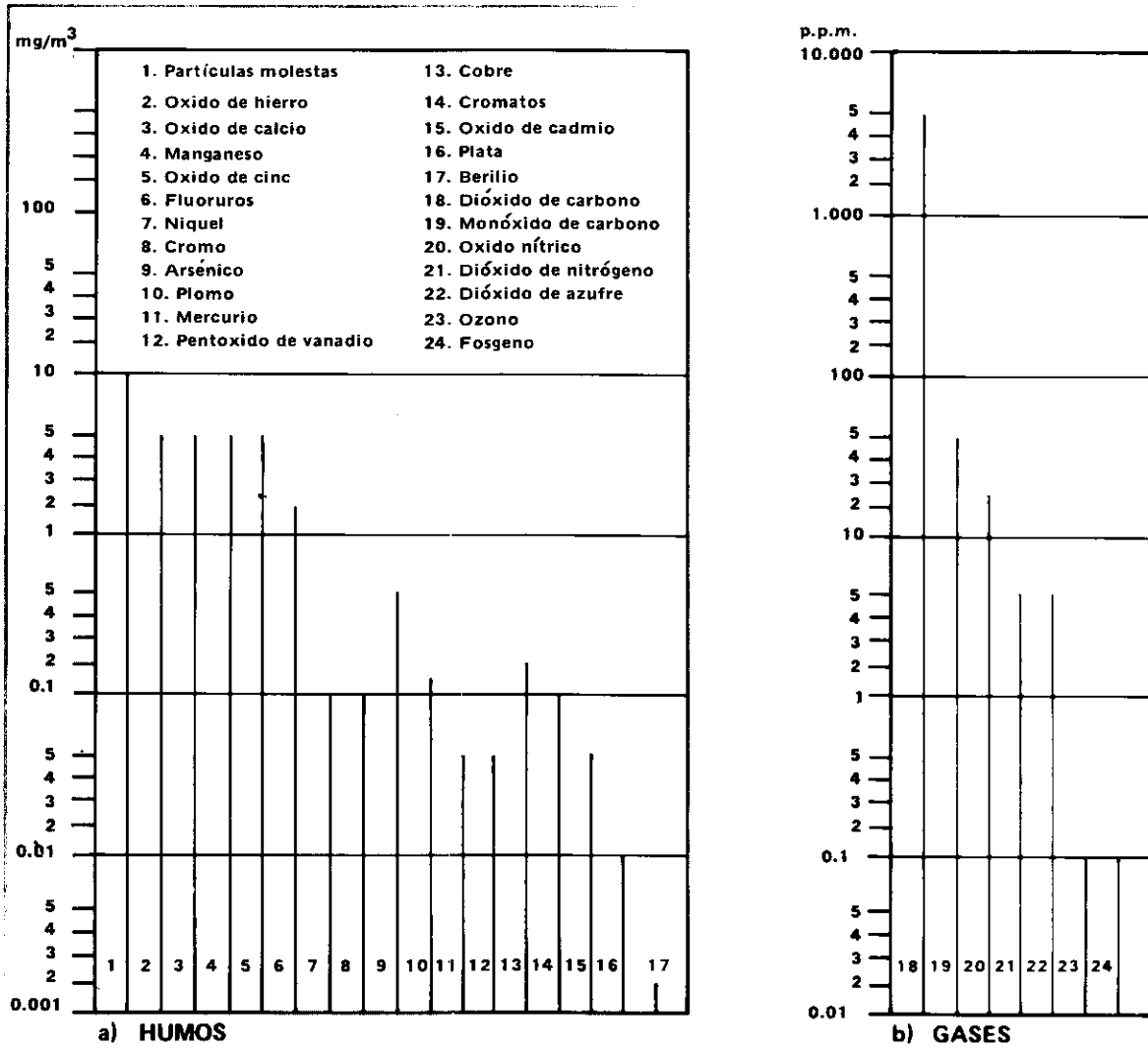
La evaluación del riesgo higiénico se hace comparando los resultados de las mediciones y de los análisis de las muestras tomadas con los valores de los Criterios Higiénicos, propuestos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (A.C.G.I.H.) para 1976.

Los Threshold Limit Values (TLVs) de 1976 para sustancias químicas que se generan en las opera-

## ESQUEMA 2

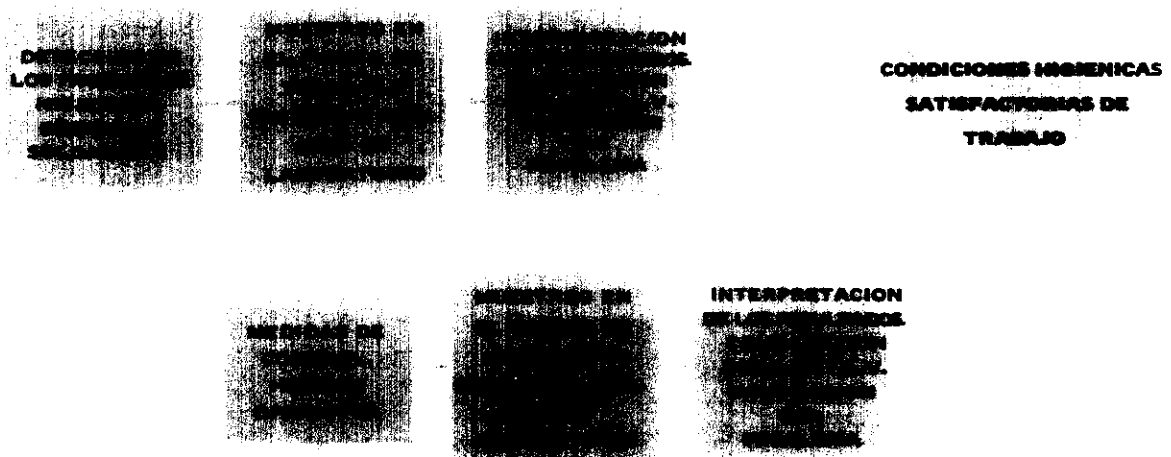


ciones de soldadura al arco vienen expresados en el gráfico núm. 1.



T.L.V. PARA LOS COMPONENTES TÍPICOS DE LOS HUMOS Y GASES PRODUCIDOS EN LAS SOLDADURAS

### GRAFICO 1



### ESQUEMA 3

Existirá problema higiénico por humos y gases cuando las concentraciones detectadas superen los TLV<sub>S</sub> establecidos para un periodo de tiempo de exposición de 8 horas diarias y 40 horas semanales, o cuando se supere el valor techo para aquellas sustancias que lo poseen, o bien, considerando los efectos aditivos de los distintos compuestos de los humos se tenga que  $\sum C_i/TLV_i > 1$ , siendo  $C_i$  la concentración evaluada para el contaminante  $i$ .

Los distintos contaminantes metálicos presentes en los humos de soldadura se consideran que tienen efecto sinérgico para su evaluación, de ahí la determinación del SHI (Synergistic Hazards Index) como  $\sum C_i / TLV_i$  y la posterior comparación con la unidad.

Los efectos de los óxidos de nitrógeno, ozono y óxido de carbono no se consideran aditivos ya que la actuación de cada uno de ellos es distinta en el organismo humano.

Con objeto de poder evaluar los riesgos higiénicos en operaciones de soldadura, de una forma rápida, o bien, si no se dispone de la posibilidad de analizar de una forma cualitativa y cuantitativa los diferentes componentes de los humos, la A.C.G.I.H. en los TLV<sub>S</sub> de 1975 da una concentración de 5 mg/m<sup>3</sup> como el valor de los TLV<sub>S</sub> para humos de soldadura, expresado como concentración total de humos (Métodos gravimétricos).

Si el rendimiento de la toma de muestra y de los métodos analíticos empleados es inferior al 100% en la valoración se ha de tener en cuenta el rendimiento de dichos procesos, con el fin de obtener una evaluación exenta de error por defecto.

Si el tiempo de operación  $T_i$  es inferior a las ocho horas de jornada laboral se debe determinar el riesgo potencial de la operación de la siguiente forma:

$$B = \frac{SHI \times T_i}{8 \text{ hrs.}}$$

El valor B se comparará con la unidad; si este valor es superior a la unidad, existirá problema higiénico.

Lo hasta aquí expuesto puede resumirse en el esquema núm. 3

### CORRECCION DE PROBLEMAS: HIGIENE OPERATIVA

Nos queda comentar las medidas correctoras a tomar o, dicho de otra forma, la actuación de la Higiene Operativa en las operaciones de soldadura que debe orientarse prioritariamente a la realización de un adecuado sistema de ventilación con el fin de reducir o eliminar las concentraciones de humos, gases y vapores producidos, sin aumentar las dificultades que para el soldador conlleva la operación de soldadura.

En primer lugar, se realiza una clasificación de los materiales a soldar, de acuerdo con el potencial tóxico de los humos y gases producidos en las operaciones de soldeo. Podemos agrupar los metales en tres

grupos fundamentales, de menor a mayor toxicidad:

- Metales incluidos en el Grupo I:  
Hierro, molibdeno, aluminio, magnesio, titanio.
- Metales incluidos en el Grupo II:  
Niquel, cinc, manganeso, estaño, circonio.
- Metales incluidos en el Grupo III:  
Berilio, cobre, mercurio, cadmio, plomo, cobalto, cromo, bario, uranio, litio, plata.

El procedimiento más apropiado para la eliminación de humos y gases procedentes de la operación de soldadura, es realizar una captación de éstos en el lugar de generación, mediante una adecuada extracción localizada para el proceso en cuestión. Sin embargo, esto no siempre es posible cuando existen numerosos puestos de soldadura no fijos en un local de trabajo, por lo que en estos casos, si el material a soldar está incluido en los grupos I y II, se puede proceder a instalar un sistema de ventilación general. Por el contrario, si el material a soldar es del grupo III, será necesario instalar un sistema de extracción localizada como única solución de Higiene Operativa.

Las características a tener en cuenta en la elección de la instalación de un sistema de ventilación para un proceso de soldadura, vendrá en función del sistema a utilizar.

#### Ventilacion localizada

Los principios básicos para el desarrollo de un sistema de ventilación localizada son:

- a) Diseño de un sistema adecuado para cada problema.
- b) Localización de la campana de extracción de forma que la fuente de producción de humos esté situada entre el soldador y la campana.
- c) Caudal óptimo de ventilación, capaz de captar todos los humos generados en el proceso. La velocidad de captación de contaminantes en el punto de generación será de 0,5 m/segundo.

#### VENTILACION GENERAL

Para establecer un sistema de ventilación general de un local de trabajo, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Material a soldar.
  - Superficie del local de trabajo.
  - Altura del local de trabajo.
  - Tipos diferentes de soldadura en el local de trabajo.
  - Número de soldadores por tipo de soldadura existente.

Tipos de electrodos utilizados o gases protectores (diámetro, longitud, recubrimiento).

Número de electrodos consumidos por soldador y por día.

Utilizando estos principios adecuadamente se procederá al diseño del sistema de ventilación a realizar.