

CONSIDERACIONES SOBRE LA EMISION DE RADIACION EN SOLDADURA POR ARCO

Aitor Zuazo Pereira
María José Rupérez Calvo

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías - Madrid - I.N.S.H.T.

INTRODUCCIÓN

El proceso de soldadura con arco se utiliza ampliamente en todos los sectores de la industria, existiendo una gran variedad de electrodos, materiales de aporte, etc., y una amplia posibilidad de cambiar parámetros de funcionamiento (p.e. intensidad de la corriente) lo que hace variar los riesgos en cada caso concreto.

Los arcos de soldadura son el origen de múltiples riesgos tales como humos metálicos, gases, ruido, posturas forzadas, campos electromagnéticos, etc., pero en este artículo nos vamos a referir a ellos como fuente de intensa emisión de radiación ultravioleta (UV, 200-400 nm), visible (VIS, 400-700 nm) e infrarroja (IR, 700-3000 nm) de banda ancha, a la que están expuestos durante la jornada laboral completa un importante número de trabajadores.

Estos riesgos han sido estudiados y valorados ampliamente desde 1940, y como no es posible eliminar la radiación, que es la base del proceso, los esfuerzos en prevención se han centrado en la utilización de equipos de protección individual frente a la radiación, y en eliminar los riesgos por inhalación de humos metálicos.

Los principales daños causados por la radiación emitida son: las diferentes patologías oculares (fotoqueratitis, lesiones de la retina, cataratas, etc.) y afecciones en la piel (eritema, envejecimiento prematuro, cáncer de piel, etc.), cuyos efectos se manifiestan de forma inmediata o de forma diferida en el tiempo, lo que trae consigo que el riesgo a veces no sea debidamente valorado por los trabajadores.

Si se desea evaluar el riesgo profesional asociado a la exposición a la radiación óptica (UV, VIS, IR) durante los procesos de soldadura o corte, hay que conocer la irradiancia espectral de cada arco, ponderada en relación a su eficacia biológica. La irradiancia es una magnitud radiométrica que mide la exposición a una fuente de radiación, y que se define como el cociente entre el flujo radiante ($d\Phi$) que incide en un elemento de superficie, y el área (dA) de dicho elemento.

El objetivo de este artículo es dar una idea sobre los espectros de emisión prototipo de cada clase de arco y los valores medios de irradiancia que pueden esperarse en cada caso. Para ello se ha revisado la bibliografía existente sobre los espectros de emisión de arcos de soldadura en diferentes materiales, buscando datos concretos sobre los valores de la irradiancia emitida por los arcos para cada tipo de soldadura y cada material, y la descripción de procedimientos de medida que permitan la comparación fiable de los mismos.

TIPOS DE SOLDADURA POR ARCO MAS UTILIZADOS

En la soldadura por arco, las superficies a soldar se llevan al estado de fusión por medio del calor generado al saltar un arco eléctrico entre dos conductores de distinta polaridad. Las temperaturas alcanzadas en este proceso superan los 3.500 °C llegando incluso a los 5.000 ó 6.000 °C.

Normalmente uno de los electrodos constituye la pieza a soldar, mientras que el otro está formado por una varilla que, según el tipo de soldadura, puede ser fusible o no.

La corriente eléctrica empleada puede ser continua o alterna, con tensiones en vacío (antes de producirse el arco) de 60 a 80 voltios, quedando reducidas de 20 a 35 voltios una vez estabilizado el arco; la intensidad de la corriente eléctrica depende de la composición del electrodo, de su diámetro, del espesor de la pieza, etc. (6, 7).

SOLDADURA ELECTRICA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

Es el tipo de soldadura más empleado. El electrodo está compuesto por un cuerpo central metálico, o "alma" y un revestimiento exterior formado por diversas sustancias que juegan un papel importante durante la soldadura (fig. 1).

El alma cumple dos misiones durante el proceso de soldadura:

- Forma el electrodo propiamente dicho.
- Constituye el metal de aporte.

Su longitud varía entre los 300 y 700 mm siendo los más corrientes de 350 y 450 mm. Los diámetros oscilan entre 1, 6 y 6 mm (algunos hasta 10 mm). La composición metálica de la

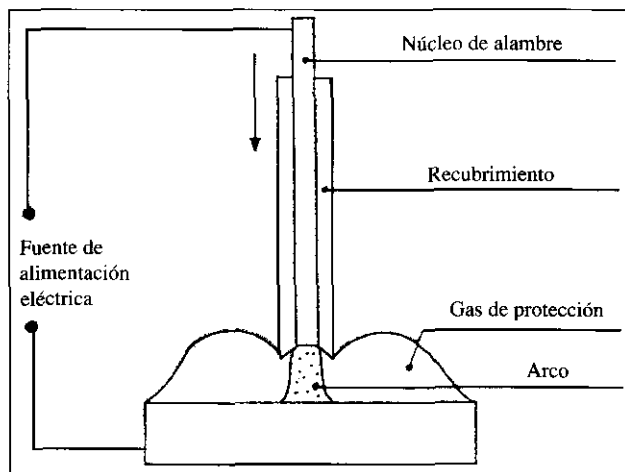


Fig. 1

varilla varía según sea el metal base a soldar, aunque en la mayor parte de las aplicaciones es similar al mismo.

Las principales funciones del revestimiento de los electrodos son las siguientes:

- Creación de un "cráter" y una atmósfera gaseosa que protegen la fusión del alma contra la acción del oxígeno y nitrógeno atmosféricos. Algunos gases, además, facilitan la ionización suficiente para estabilizar el arco eléctrico.
- Producción de una escoria fluida.
- Algunos componentes de la escoria tienen como misión la desoxidación y la desnitruración del baño de fusión (6, 7).

SOLDADURA ELECTRICA AL ARCO CON PROTECCIÓN GASEOSA

Soldaduras MIG y MAG (Intert-gas metal-arc welding y CO₂ arc welding)

En ambos casos el electrodo constituye el material de aporte. La soldadura se obtiene estabilizando un arco entre un hilo - electrodo desnudo, que avanza a la velocidad escogida, y la pieza a soldar. La difusión se efectúa en el seno de una corriente gaseosa encargada de proteger el baño metálico contra el aire ambiente y asegurar otras funciones favorables (estabilización del arco, etc.)

En la soldadura MAG se utiliza como gas de cobertura el dióxido de carbono, teniendo éste un papel activo en el proceso. En la soldadura MIG se utilizan como gases inertes: Dióxido de carbono, argón, helio, etc. (fig. 2).

Las temperaturas que se producen son muy elevadas, llegando a alcanzarse los 10.000 °C en algunos puntos del arco, cuando se utiliza dióxido de carbono como gas protector.

En cuanto a la composición de los hilos - electrodos, es similar a la del metal base estando protegidos los de acero por un revestimiento de cobre.

Con los procedimientos MIG y MAG se pueden soldar los principales metales y aleaciones, siendo cada vez mayor su utilización. Son de uso frecuente en soldadura de chapa galvanizada (6, 7).

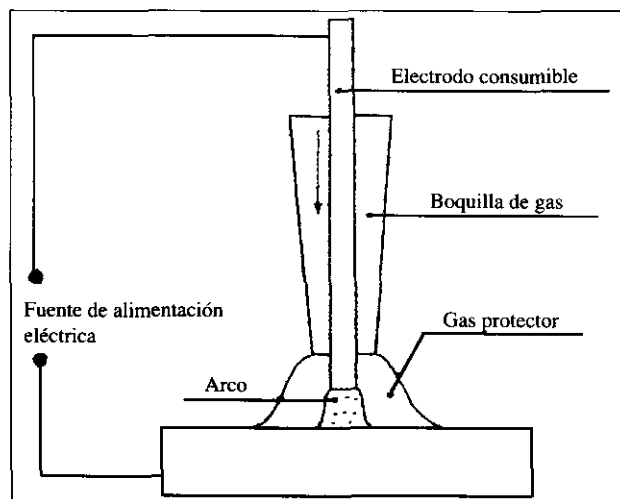


Fig. 2

Soldadura TIG (Intert-gas tungsten-arc welding)

En este caso, el electrodo es de material infusible (Tungsteno), introduciéndose el material de aporte en forma de varillas desnudas (fig. 3).

La protección del arco y el metal fundido se obtiene a través de un gas o mezcla de gases; como gases de protección se utilizan argón, helio y mezclas de estos gases (6, 7).

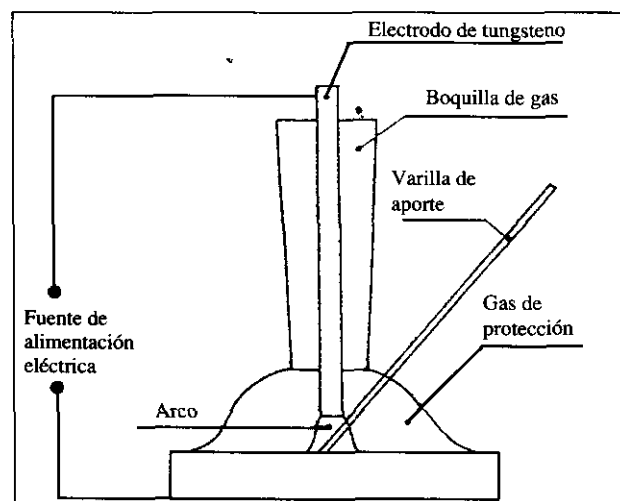


Fig. 3

OTROS TIPOS DE SOLDADURAS ELECTRICAS AL ARCO

Soldadura por arco sumergido

Los procesos de arco sumergido gozan de amplia popularidad como método para soldar plancha relativamente delgada con elevada velocidad de deposición de metal. Son principalmente utilizados para soldadura de acero al carbono normal y

de baja aleación, pero también se usan para soldar metales ferrosos de elevada aleación y también ciertos metales no ferrosos.

La soldadura por arco sumergido es un proceso en el que la fusión es producida por calentamiento con un arco establecido entre uno o más electrodos y la pieza de trabajo. El arco y el metal de soldadura fundido son protegidos por una capa de flujo granular.

En contraste con los anteriores procesos, en la soldadura por arco sumergido no se ve el arco o el paso de corriente entre el electrodo y la pieza de trabajo. El final del electrodo y el metal de soldadura fundido están rodeados y protegidos con un recubrimiento de flujo fundido (fig. 4), que suministra una corriente entre el electrodo y el metal base; además de su función protectora, el flujo suministra a menudo elementos de aleación al metal de soldadura.

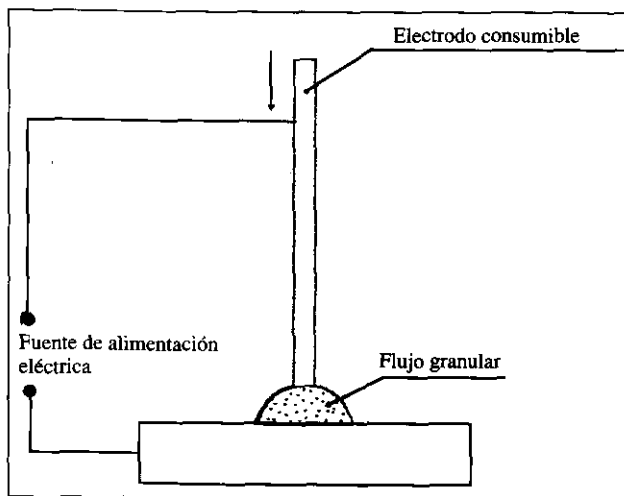


Fig. 4

Soldadura con plasma de arco eléctrico

La soldadura al plasma es una extensión del proceso TIG, sin embargo el arco de plasma queda confinado, mientras el arco de tungsteno es abierto.

La soldadura al plasma puede ser definida como un proceso en el cual la fusión es obtenida por calentamiento con un plasma o arco confinado, establecido entre un electrodo no consumible y la pieza de trabajo.

Existen dos tipos de arco con plasma (fig. 5):

- Sin transferencia (el arco se establece entre el electrodo y la boquilla); este tipo de equipo se utiliza para metalización y otras aplicaciones donde no se requieren grandes cantidades de calor.
- Con transferencia (el arco se establece entre el electrodo y la pieza de trabajo); este procedimiento se utiliza para soldadura dado que produce la máxima transferencia de calor.

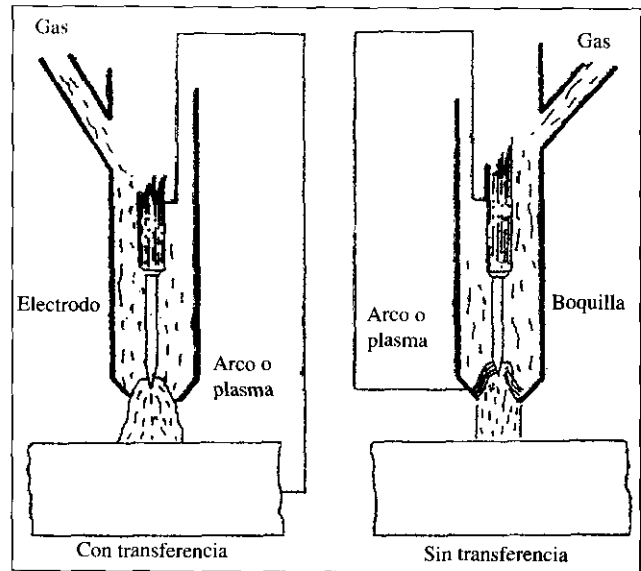


Fig. 5

ESPECTROS DE RADIACION ELECTROMAGNETICA EMITIDA POR LOS DISTINTOS TIPOS DE SOLDADURA

Para valorar los riesgos derivados de una exposición a radiaciones en soldadura, hay que conocer el valor de la irradiancia, ponderada en relación a la eficacia biológica de cada intervalo espectral, para los distintos tipos de soldadura.

Diversos autores (1, 2, 3, 4) han realizado diferentes estudios con objeto de caracterizar la intensidad y la distribución espectral de la radiación emitida por los arcos de soldadura. Estos estudios han demostrado experimentalmente que el valor de la irradiancia, para cada tipo de soldadura, depende de diversos factores, siendo los más importantes:

- Metal base a soldar
- Diámetro del electrodo
- Intensidad de la soldadura
- Composición del electrodo. Viene condicionada por el metal base a soldar.
- Longitud del arco
- Distancia de observación

Igualmente, de forma experimental, se ha demostrado que en general la irradiancia es proporcional a la potencia enésima de la intensidad de soldadura y en ausencia de absorción por parte de los humos producidos, inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de observación.

Para un intervalo espectral $\lambda_1-\lambda_2$ dado la irradiancia es:

$$E_e = C \frac{I^n}{r^2} \quad (a)$$

Siendo:

- E_e = Irradiancia del intervalo espectral $\lambda_1 - \lambda_2$ (W/cm^2)
- C = Constante que depende del intervalo espectral y del procedimiento de soldadura
- r = Distancia de observación (cm)
- I = Intensidad de soldadura (A)
- n depende del intervalo espectral:
 - $n = 2$ para $\lambda_1 - \lambda_2 = 200$ a $400nm$ (UV)
 - $n = 1,7$ para $\lambda_1 - \lambda_2 = 400$ a $1.400nm$ (VIS e IR próx)
 - $n = 2$ para $\lambda_1 - \lambda_2 = 770$ a $2.000nm$ (ir próx y medio)

Desde el punto de vista de la óptica geométrica la relación (a) implica que los arcos de soldadura se han asimilado a fuentes puntuales (4).

SOLDADURA ELECTRICA POR ARCO CON ELECTRODO REVESTIDO

Para este caso, resulta interesante comentar los estudios realizados por el INRS (4). Utilizando un espectrorradiómetro han obtenido los espectros de emisión de radiación de 109 electro-

dos utilizados industrialmente, estudiando los intervalos espectrales, ultravioleta, visible e infrarrojo próximo y medio. Salsi y Barlier han considerado los arcos de soldadura como fuentes puntuales de radiación electromagnética, debido a sus pequeñas dimensiones y a la inestabilidad del arco. Las irradiancias espectrales se han medido a una distancia de 0,50 m de la fuente de radiación con un ángulo de observación de 30° .

La emisión de radiación es función del metal base soldado y de la potencia eléctrica empleada en el proceso de soldadura, ya que el diámetro del electrodo elegido para este tipo de soldadura es siempre de 3,15 mm.

En las figuras 6 a 11 se muestran los espectros elegidos como más representativos, producidos al soldar aceros de diversas aleaciones, fundición y aleaciones de cobre. En cada figura está especificado el diámetro del electrodo, así como la potencia eléctrica utilizada. La nomenclatura utilizada es la siguiente:

- E_λ Irradiancia espectral ($\mu W/cm^2 nm$)
- λ Longitud de onda (nm)

Al comparar entre sí estos espectros, se observa que la emisión UV es especialmente intensa en la soldadura de acero no aleado, seguida de las aleaciones de cobre y la fundición, sien-

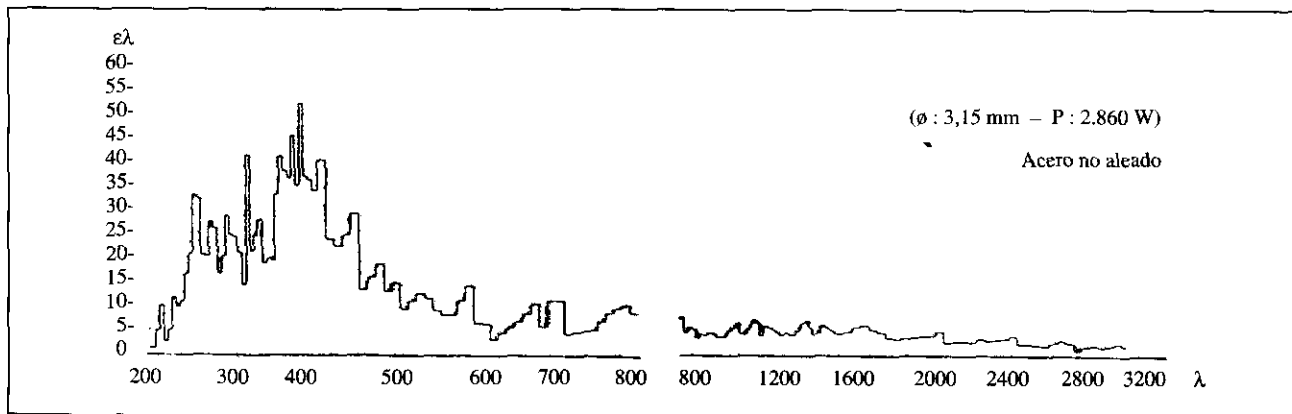


Fig. 6

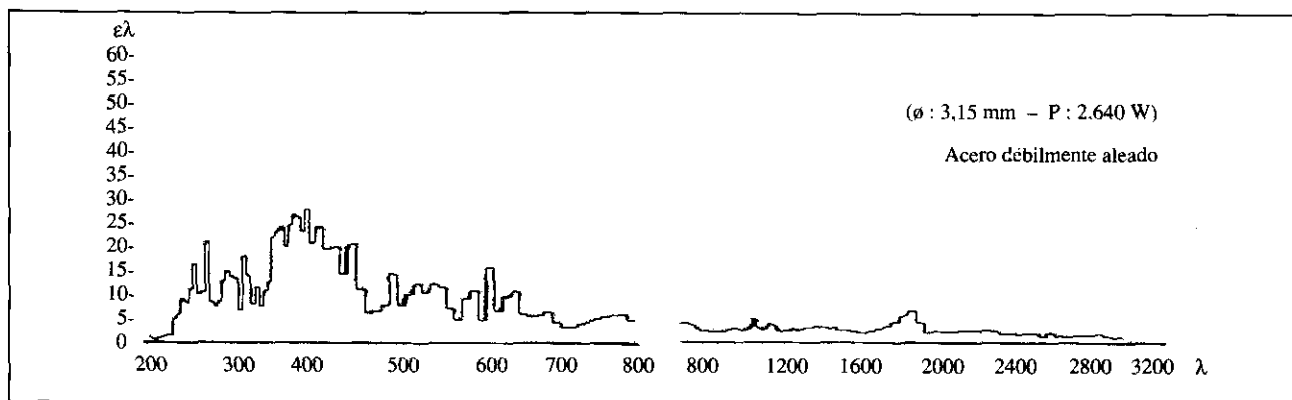


Fig. 7

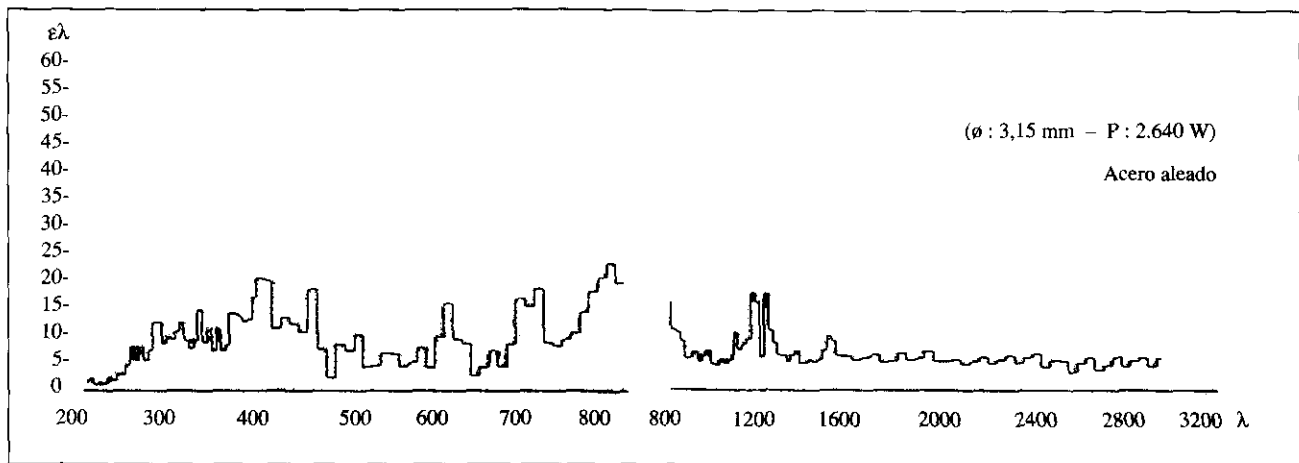


Fig. 8

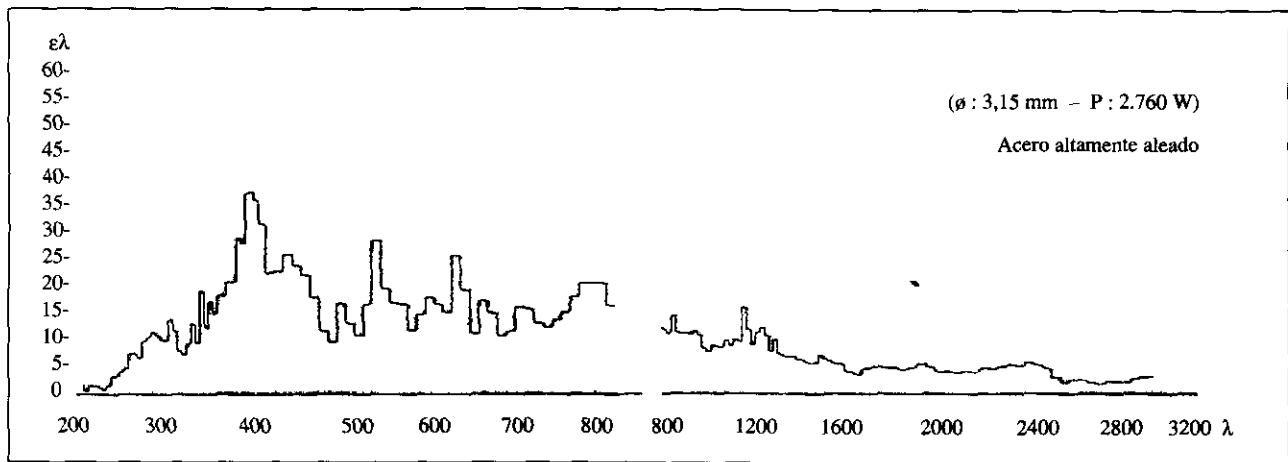


Fig. 9

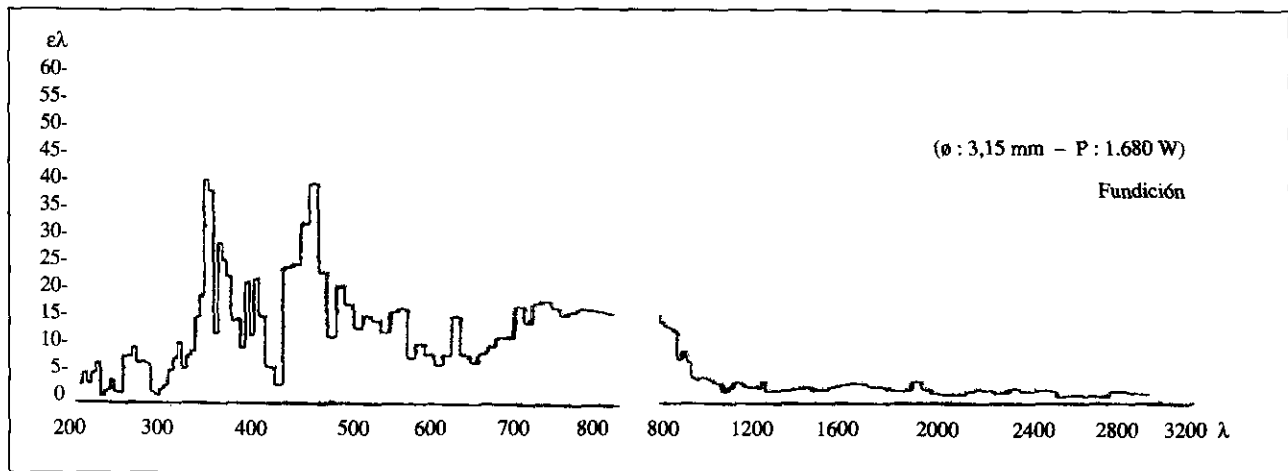


Fig. 10

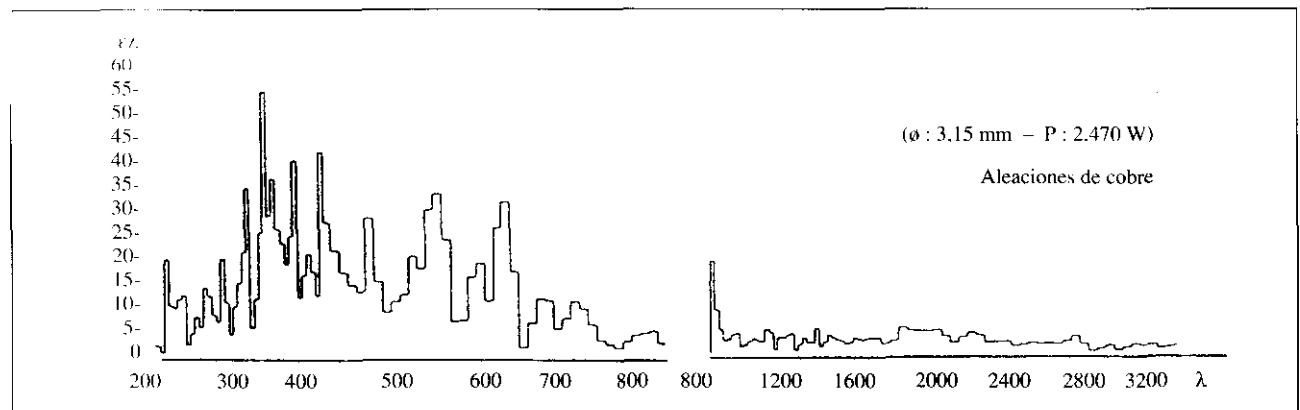


Fig. 11

do diferentes los perfiles de las bandas como corresponde a materiales distintos. Si consideramos la emisión en la región visible del espectro, ésta es más intensa en las aleaciones de cobre (aunque relativamente inferior a la UV), seguida del acero de alta aleación. En cuanto a la emisión IR, es poco intensa comparada con la UV y VIS en todos los casos, siendo ligeramente más alta en el acero aleado.

SOLDADURAS MIG Y MAG

Para cada caso se indicarán las características del arco, así como el tipo de material, de electrodo y la intensidad de corriente puesta en juego en el proceso de soldadura (3).

- MIG: El material base es acero débilmente aleado, la intensidad de la corriente eléctrica es de 150 amperios, la medida está realizada a 100 cm del arco, el diámetro del electrodo es 0,889 mm y el gas empleado como protección es dióxido de carbono con un caudal de 1,142 m³/min. En la bibliografía (3) sólo se han encontrado espectros que cubren los rangos UV y VIS (fig. 12). La emisión más intensa tiene lugar en el UV, entre 300 y 400 nm.
- MAG: Para este caso sólo se ha encontrado en la bibliografía (1) un espectro de emisión que hace referencia a la emisión relativa del arco con respecto a los riesgos de la "luz azul". El metal base a soldar es hierro. (Se denomina "luz azul" la emitida en la región visible del espectro entre 400-500 nm, en la cual se pueden producir lesiones fotoquímicas en la retina). La fig. 13 corresponde al espectro de una soldadura de hierro con electrodo consumible. Los parámetros de medida son: diámetro del electrodo 1,6 mm, correspondiente 300 A, voltaje 33 V, corriente continua polaridad positiva y gas protector Ar: CO₂ en proporción 5:1 con un flujo de 20 l/min.

Aunque no es posible comparar este espectro con el de la soldadura MIG por las diferentes condiciones de obtención, conviene considerar la intensa emisión UV, que presenta la banda de máxima intensidad relativa hacia los 250-270 nm, y que es aproximadamente 5 veces más intensa que la emisión visible.

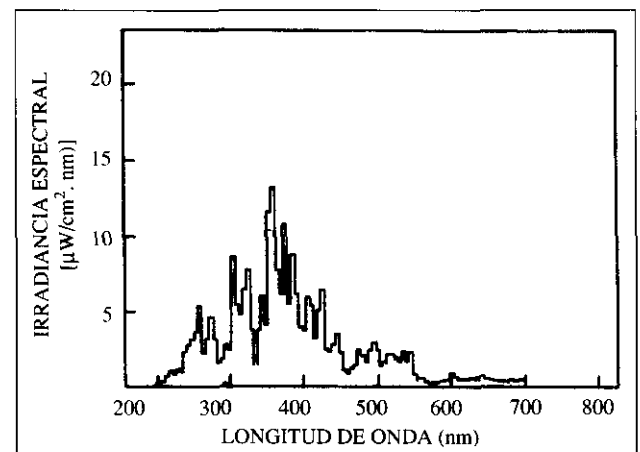


Fig. 12

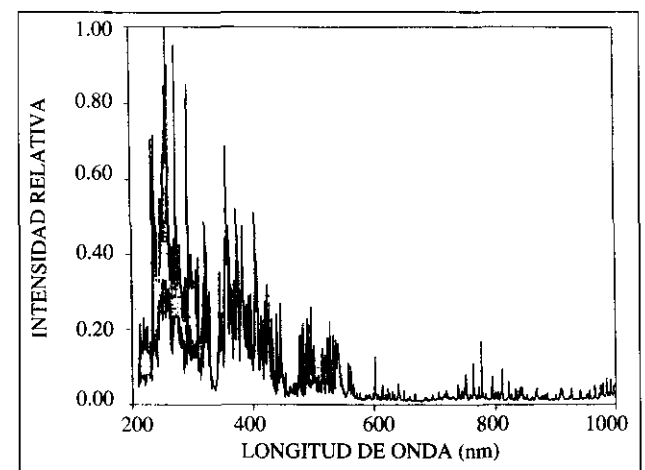


Fig. 13

SOLDADURA TIG

Se exponen a continuación dos espectros prototipo de soldadura TIG; la variación de un espectro a otro, se debe a las

diferentes condiciones utilizadas en cada proceso. De nuevo el espectro sólo muestra las regiones UV y VIS (3).

- El material base es acero débilmente aleado, la intensidad de la corriente eléctrica es de 300 amperios, la medida se ha hecho a 100 cm del arco, la longitud del arco es de 1,5875 mm, el diámetro del electrodo es de 3,175 mm y el gas protector es argón con un caudal de 0,566 m³/min. En el espectro se observa emisión de radiación UV y VIS en la región entre 300 y 500 nm y una intensa banda en el límite del VIS con el IR próximo (fig. 14).
- El material base es acero débilmente aleado, la intensidad de la corriente eléctrica es de 275 amperios, los demás parámetros son iguales que en el caso anterior, excepto el gas protector, que ahora es helio y el caudal utilizado es de 1,415 m³/min (fig. 15). Las bandas más intensas se encuentran en el UV, entre 200 y 300 nm.

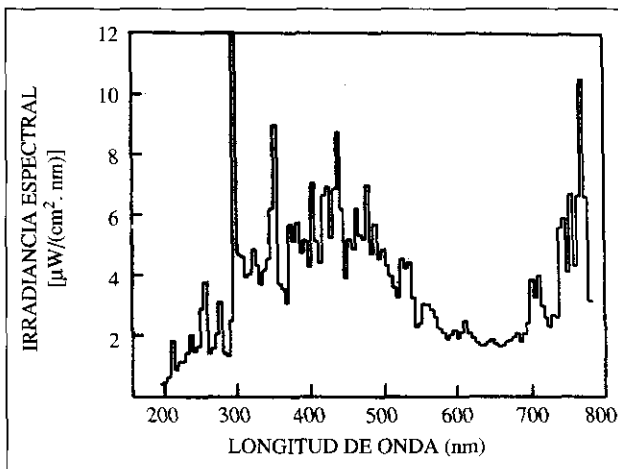


Fig. 14

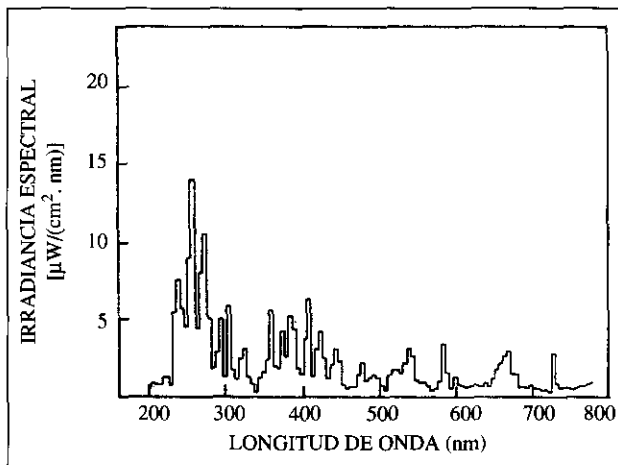


Fig. 15

Comparando estos dos espectros, podemos observar que el aumento de la corriente de 275 a 300 A, y el cambio de gas pro-

tektor acompañado de la reducción de caudal del mismo, implica un incremento significativo en la emisión de radiación UV y VIS.

SOLDADURA CON PLASMA DE ARCO ELECTRICO

En este caso, se ha considerado como ejemplo más apropiado para soldadura por plasma, el corte de una chapa de acero débilmente aleado que tiene un espesor de 15,875 mm. La intensidad de corriente eléctrica empleada es de 300 amperios, la medida está tomada a 190 cm del arco, la longitud del arco es de 6,35 mm, el diámetro del arco es de 3,9624 mm, el gas utilizado es nitrógeno y el caudal es de 3,962 m³/h (3). Como en los casos anteriores, se ha registrado el espectro UV y VIS (fig. 16).

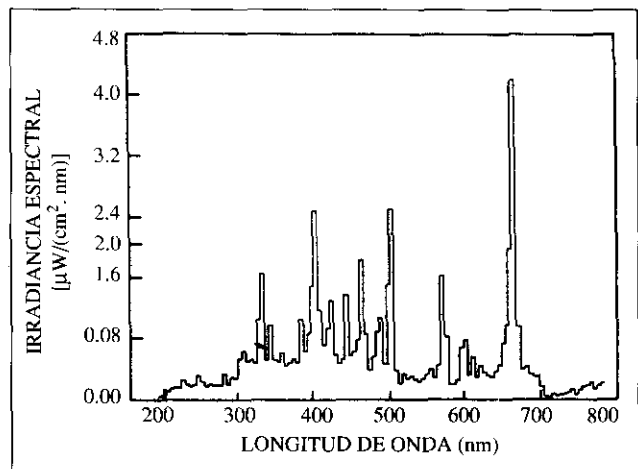


Fig. 16

En el espectro de la (fig. 16) se puede observar que la emisión de radiación visible (400-700 nm) es más intensa que la emisión ultravioleta (200-400 nm) cuando se comparan ambos intervalos.

FLUCTUACION DE LA RADIACION OPTICA EMITIDA POR VARIOS ARCOS DE SOLDADURA CON EL TIEMPO

La radiación óptica emitida por los arcos de soldadura no se mantiene constante en el tiempo, por ello vamos a ver la fluctuación de la radiación óptica emitida por distintos tipos de soldadura en función del tiempo. Por otra parte es interesante comparar las diferencias en la emisión de radiación óptica, para casos en que sólo varíe alguno de los parámetros que influyen de una manera importante en la intensidad de la emisión (3).

En primer lugar vamos a comparar la emisión por parte de

dos arcos de soldadura tipo MIG en los que se emplea como gas protector dióxido de carbono y el parámetro que varía es la intensidad de la corriente eléctrica; en la *fig. 17* es de 175 amperios y en la *fig. 18* es de 200 amperios.

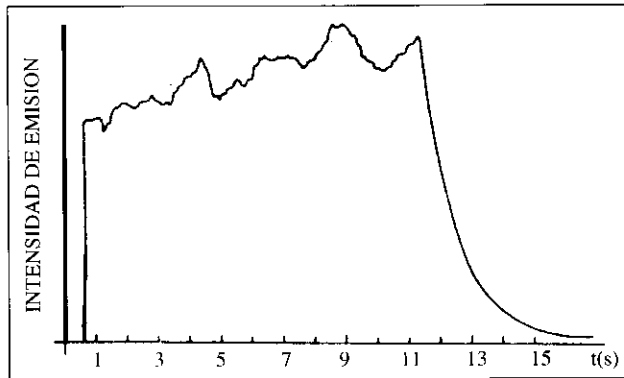


Fig. 17

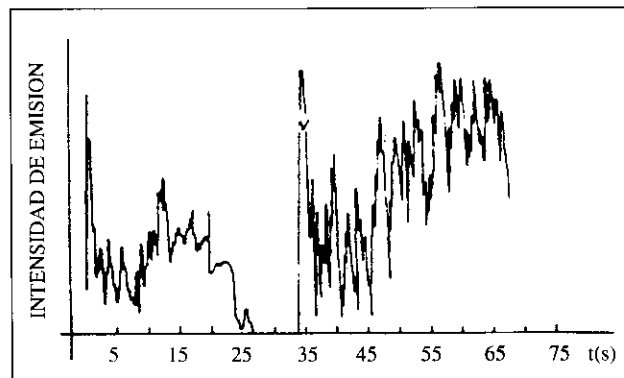


Fig. 18

Como se ve en las *fig. 17 y 18*, en este tipo de soldadura el incremento de la intensidad de la corriente eléctrica origina un aumento en la inestabilidad de la emisión del arco.

En el caso de la soldadura tipo TIG se han podido comparar dos parámetros, el tipo de protección gaseosa y la intensidad de la corriente eléctrica. En las *figuras 19 y 20* la intensidad de corriente eléctrica es de 200 A mientras que en la *fig. 21* es de 50 A, la protección gaseosa empleada para la *fig. 19* es helio en tanto que para las *figs. 20 y 21* es argón.

Comparando las distintas figuras para la soldadura tipo TIG, vemos que para la misma intensidad de corriente eléctrica la emisión de radiación óptica es más estable cuando la protección gaseosa es de argón; en el caso de variación de la corriente eléctrica la emisión es más estable cuanto mayor sea la misma.

A continuación vamos a comparar dos arcos de soldadura con arco de plasma. En la *fig. 22* tenemos un arco con plasma de argón y una intensidad de corriente eléctrica de 260 A, mientras que en el caso de la *figura 23*, el plasma está compuesto en un 15% de helio y en un 85% de argón y la intensidad de corriente eléctrica empleada es de 100 amperios.

Se observa que la emisión de radiación óptica es más estable cuando el plasma es argón y la intensidad de corriente eléctrica es de 260 amperios.

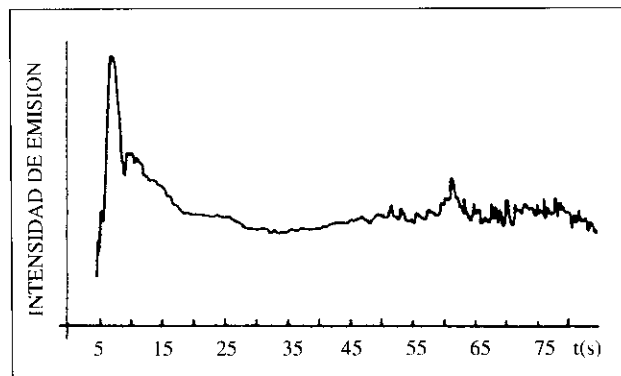


Fig. 19

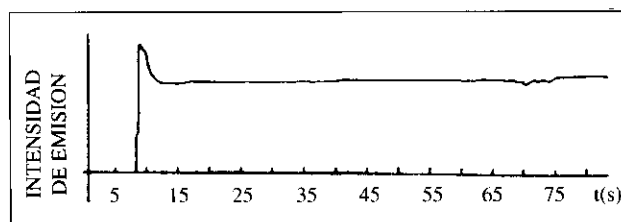


Fig. 20

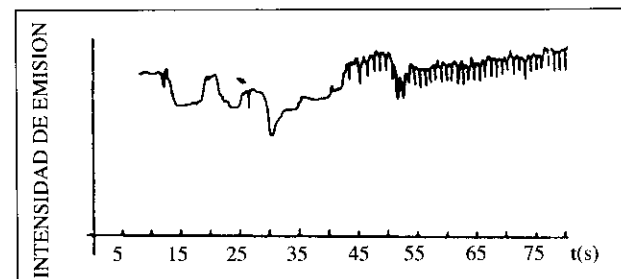


Fig. 21

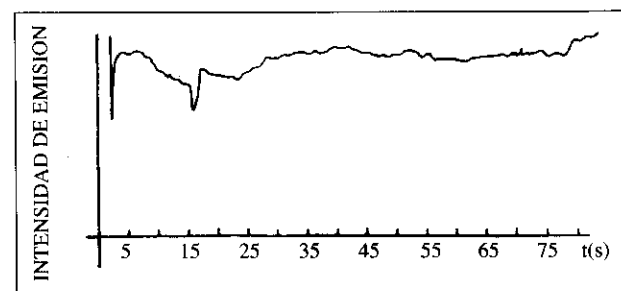


Fig. 22

La fluctuación de la radiación emitida por el arco se traduce obviamente en una fluctuación de la irradiancia medida experimentalmente, añadiendo inexactitud a la interpretación de los resultados.

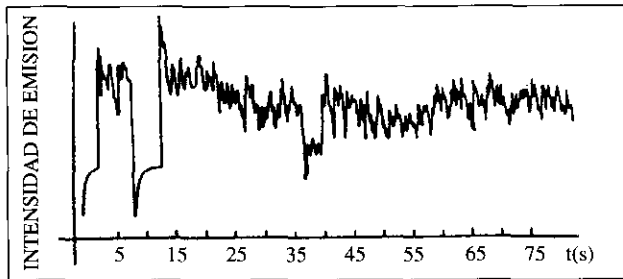


Fig. 23

VALORES LIMITE DE EXPOSICIÓN PARA RADIACION OPTICA

Para evaluar el riesgo profesional debido a la exposición a radiación de arcos de soldadura, hay que hacer referencia a los valores límite (TLV's) de la ACGIH para radiación UV, VIS IR próximo (5) y a los límites de exposición del IRPA (8, 9), cuyos criterios coinciden.

Dado que estos límites tienen tablas de valores de una cierta extensión, reproducimos en la *Tabla 1* el resumen realizado por Salsi y Barlier del INRS (4), que han recogido en la misma tabla, junto a los valores límite para cada intervalo espectral, una síntesis de los efectos fisiológicos producidos por la radiación.

Al observar la *Tabla 1*, se deduce que, para poder aplicar los límites de exposición, en cada caso concreto, hay que disponer de los siguientes datos:

- a) El espectro de emisión de la fuente.
- b) El tiempo de exposición.
- c) Ponderación de la irradiancia, para cada intervalo de longitudes de onda, en el caso de una emisión de banda ancha.
NOTA: La irradiancia es una magnitud radiométrica que mide la exposición a una fuente de radiación; se define como el cociente entre el flujo radiante $d\Phi$ que incide en un elemento de superficie y el área dA de dicho elemento.
- d) Si la fuente es pulsada, habrá que medir la exposición radiante y multiplicarla por el tiempo de exposición.

NOTA: La exposición radiante representa la energía total incidente por unidad de superficie receptora.

- e) El ángulo de observación del arco por parte del soldador con respecto a la fuente.
- f) Para aplicar límites de exposición a la radiación VIS, es importante conocer la radiancia espectral de la fuente (L_λ si se sobrepasa el valor de 1 cd.cm^{-2}). La radiancia espectral se define como la potencia radiante de una superficie emisora de radiación, por unidad de superficie y por unidad de ángulo sólido.
- g) Cuando se trata de radiación VIS, para aplicar la condición de fuente extensa o puntual ($\alpha > 11 \text{ mrad}$), hay que conocer el tamaño de la fuente luminosa, ya que de ella depende la imagen formada en la retina y por lo tanto la energía por

unidad de superficie que incide en ella (que es lo que produce la lesión ocular).

TABLA 1

Intervalo espectral	Efectos fisiológicos	Valores límite de exposición
Ultravioleta actínico (200 - 315 nm)	- Queratoconjuntivitis - Eritemas - Riesgos de aparición de cataratas	$\sum E_\lambda t S_\lambda \Delta\lambda \leq 0,003 \text{ J/cm}^2$ para $\alpha \leq 4 \pi/9$
Ultravioleta próximo (315 - 400 nm)	- Riesgo de aparición de cataratas - Fluorescencia del cristalino	$\sum E_\lambda \Delta\lambda \leq 1 \text{ mW/cm}^2$ Para $t > 10^3 \text{ s}$ Para $\alpha \leq 4 \pi/9$ $\sum E_\lambda t \Delta\lambda \leq 1 \text{ J/cm}^2$ Para $t > 10^3 \text{ s}$ Para $\alpha \leq 4 \pi/9$
Visible (400 - 700 nm)	- Lesiones en la retina por efectos fotoquímicos de la luz azul	Fuentes extensas ($\alpha > 11 \text{ mrad}$) $\sum L_\lambda t B_\lambda \Delta\lambda \leq 10^2 \text{ J/cm}^2 \text{sr}$ Para $t \leq 10^4 \text{ s}$ $\sum L_\lambda t B_\lambda \Delta\lambda \leq 10^{-2} \text{ W/cm}^2 \text{sr}$ Para $t > 10^4 \text{ s}$ Fuentes puntuales $\sum L_\lambda t B_\lambda \Delta\lambda \leq 10 \text{ JmJ/cm}^2$ Para $t \leq 10^4 \text{ s}$ $\sum E_\lambda B_\lambda \Delta\lambda \leq 1 \mu\text{W/cm}^2$ Para $t > 10^4 \text{ s}$
Visible e infrarrojo próximo (400 - 1.400 nm)	- Quemaduras en la retina	$\sum L_\lambda R_\lambda \Delta\lambda \leq 1/\alpha t^{1/2} \text{ W/cm}^2$
Infrarrojo próximo (770 - 1.400 nm) Infrarrojo próximo y medio (700 - 3.000 nm)	- Aparición de cataratas - Quemaduras en la córnea	$\sum L_\lambda \Delta\lambda \leq 0,6/\alpha$ $\sum E_\lambda \Delta\lambda \leq 10 \text{ mW/cm}^2$

- E_λ Irradiancia espectral ($\text{W/cm}^2 \text{ nm}$)
- L_λ Luminancia espectral ($\text{W/cm}^2 \text{ nm sr}$)
- $S_\lambda, B_\lambda, R_\lambda$ Eficacia relativa espectral (sin dimensiones)
- α Ángulo bajo el cual es observada la fuente (rad)
- $\Delta\lambda$ Anchura de la banda (nm)

Aunque la aplicación de los TLV's en arcos de soldadura pueda parecer complicada, existen en la actualidad equipos de medida directa de la irradiancia eficaz, que evitan el cálculo del factor de ponderación para cada intervalo de longitudes de onda; cuando la medida del tamaño de la fuente sea complicada (debido a la inestabilidad del arco y a sus pequeñas dimensiones) y se puedan cometer errores en su cálculo, es posible simplificar el mismo asimilando la fuente a una puntual. De esta forma se consideraría la "peor situación posible" aumentando el nivel de protección del trabajador.

OBSERVACIONES

La determinación del valor de la irradiancia en arcos de soldadura no es tarea fácil, ya que a la complejidad en la aplicación de los límites de exposición se añade la dificultad para realizar medidas que puedan ser comparadas entre sí, dadas las diferentes condiciones de su realización.

Quizá por ello los datos encontrados en la bibliografía son escasos, y sólo un reducido número de autores han hecho estudios con suficientes pruebas como para tener datos estadísticos que permitan llegar a conclusiones generales.

Habitualmente, el proceso de medida requiere el uso de uno o varios radiómetros o espectrorradiómetros con diferentes detectores para cubrir el intervalo espectral de 200 a 3.000 nm. En los trabajos revisados, los equipos de medida son diferentes entre sí. También son diferentes las condiciones en que se realizaron las medidas, tales como la distancia del detector al arco y el ángulo de observación del arco.

- a) Salsi y Barlier (4) realizan sus medidas a una distancia y con un ángulo de observación medio de 50 cm y 30° respectivamente, e intentan mantener estos parámetros constantes con el fin de determinar los riesgos debidos al trabajo con electrodos revestidos, y definir recomendaciones mínimas para protección ocular.
- b) Mariutti (2) ha utilizado un radiómetro con ponderación espectral para medir directamente la irradiancia espectral, y un espectrorradiómetro para obtener los espectros de emisión (sólo región UV) de un arco tipo TIG. Con objeto de proponer un procedimiento de medida reproducible, ha realizado 151 medidas sin variar las condiciones del proceso. En este caso, el autor ha elegido, para efectuar sus medidas, una distancia al arco de 40 cm y un ángulo de observación de 0°, colocando el detector en el mismo plano que el electrodo.
- c) Okuno, en 1986 (1) desarrolló un método para medir la emisión de "luz azul" en arcos de soldadura de todo tipo, ya que estimó que los arcos de soldadura más peligrosos son aquellos en los que el nivel de irradiancia de la emisión de "luz azul" es *relativamente alto comparado con el nivel de la emisión de radiación en el resto del espectro*, porque obliga a utilizar una mayor protección ocular que dificultará la visión de la tarea a realizar.

Estudiando 14 condiciones de soldadura diferentes, con un radiómetro comercial modificado para integrar el factor de ponderación para "luz azul" B_{λ} (5), encontró los valores de irradiancia más altos para la soldadura MAG de hierro con electrodo consumible, y los valores más bajos para la soldadura TIG de acero inoxidable; en este último caso no utilizó material de aporte, enmascarando con ello un tanto los valores obtenidos.

Las medidas se realizaron a 1,5 m del arco y con ángulo de observación de 45°, calculando después los valores para 1 m de distancia del arco según la ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

Para evaluar el riesgo real debido a la radiación en soldadura por arco, los diversos autores estudiados han comparado

los valores de irradiancia obtenidos en cada caso con los correspondientes valores límite de exposición, y calculado los tiempos de exposición permitidos para una jornada laboral.

Todos ellos constataron que los tiempos de exposición laboral permitidos, para ojos y piel sin proteger, eran muy bajos (del orden de segundos), y variaban en función del tipo de soldadura.

Mariutti y colaboradores, en sus estudios de soldadura TIG, obtuvieron un valor medio del tiempo de exposición de 4 s para la región UV a 270 nm. Okuno halló un valor de 42 s para el VIS ("luz azul" 400-500 nm) en el "peor" de los casos estudiados (soldadura MAG de hierro). Salsi y Barlier, al calcular los tiempos de exposición para los electrodos revestidos, encontraron valores que oscilaban de 0,5 a 17 s para el UV actínico (200-315 nm), y de 1,7 s a 32 s para el VIS (400-700 nm); no calcularon el tiempo de exposición para el IR porque los trabajos previos de Marshall y colaboradores, sobre evaluación de riesgos retinianos en soldadura, demostraban que el riesgo de lesión fotoquímica en la retina debido a la "luz azul" es más importante que el de quemadura en la retina.

Por lo tanto, para la mayor parte de los tipos de electrodo estudiados, las radiaciones emitidas en todas las regiones del espectro son potencialmente peligrosas para los trabajadores.

El hecho de que los tiempos de exposición permitidos sean muy bajos, obliga a utilizar protección personal durante todo el trabajo. Los expertos coinciden en advertir del peligro de sobrepasar el límite de exposición, cuando se sumen las fracciones de tiempo transcurridas cada vez que un soldador inicie la soldadura sin protección.

CONCLUSIONES

Como se expone en el apartado anterior, los distintos autores han utilizado diferentes metodologías de estudio, lo que presenta a la hora de evaluar y comparar los datos una serie de inconvenientes, aún así, se pueden deducir una serie de conclusiones generales:

- 1.^a La emisión de radiación de los arcos de soldadura, tiene lugar en el UV, VIS e IR próximo y medio dependiendo de los distintos parámetros de la soldadura.
- 2.^a Las medidas de irradiancia espectral muestran que es difícil conseguir condiciones estables para normalizar métodos de medida. Las variaciones pueden ser de algunos órdenes de magnitud en la medida de la irradiancia.
- 3.^a La contribución de la radiación visible al riesgo no es despreciable, siendo en ocasiones igual o mayor que el riesgo derivado de la radiación UV.
- 4.^a En general, el hecho de aumentar la corriente eléctrica y disminuir el caudal de gas protector implica un aumento de la emisión de radiación.
- 5.^a En la soldadura con electrodo revestido, es el material base el que fija la composición del electrodo, y por lo tanto, determina el espectro de radiación emitida.

- 6.^a La presencia de humos metálicos apantalla inestablemente la radiación; la ventilación localizada elimina los humos metálicos y el ozono, pero aumenta la exposición a radiación.
- 7.^a Las radiaciones ópticas emitidas durante una operación de soldadura con electrodos revestidos son intensas. Se observa que la emisión de radiación es más importante en las zonas UV actínica (200-315 nm) y VIS (400-700 nm) del espectro.
- 8.^a Según vayan evolucionando los radiómetros comerciales de medida directa, que incorporan la respuesta biológica del organismo humano en el resultado final obtenido, se conseguirá una mejor evaluación de los riesgos derivados de la radiación de los arcos de soldadura.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) OKUNO Tsutomu. "Measurement of blue-light effective radiance of welding arcs". *Industrial Health*, 24, 1986. 213-226.
- (2) MARIUTTI G., MATZEU M. "Measurement of ultraviolet radiation emitted from welding arcs". *Health Physics*, 54, (5), 1988, 529-432.
- (3) SLINEY D.H., WOLBARSH M.L. "Safety with laser and other optical sources, a comprehensive handbook". Cap. 24 "Welding Arcs" New-York, Plenum Press. 1980, 801-859.
- (4) SALSI S., BARLIER A. "Rayonnements optiques émis lors du soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées". *Cah. not. doc.* (143), 2.^o trim. 1991, 223-233.
- (5) ACGIH. "Threshold limit values for physical agents 1991-1992". Cincinnati, ACGIH, 1992.
- (6) Servicio Social de Higiene y Seguridad en el Trabajo. "Soldadura". Bilbao, Junio 1975.
- (7) MARI BORRAS V., RENOM SOTORRA J. "Soldadura valoración y eliminación del riesgo higiénico". INSHT. Curso precongreso. Palma de Mallorca. 1980.
- (8) IRPA. "Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation)". *Health Physics*, 49, (2), 1985. 331-340.
- (9) IRPA. "Proposed change to the IRPA 1985 guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation". *Health Physics*, 56, (6), 1989. 971-972.