

Riesgos radiológicos del uso de electrodos de tungsteno toriados en la soldadura de arco (TIG)

*Radiologys Risk the use in inert gas arc welding and tungsten electrode (TIG)
Risques radiologiques de l'usage des électrodes de tungstène thorié pour le soudage de Arc (TIG)*

Redactores:

Adoración Pascual Benés
Ingeniero Técnico Industrial Químico

Enrique Gadea Carrera
Licenciado en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE
CONDICIONES DE TRABAJO

Carlos Tapia Fernández
Doctor Ingeniero Industrial
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Jaume de Monserrat i Nonó
Licenciado en Medicina y Cirugía

Joaquim Masegú Simon
Ingeniero Técnico Industrial Químico

Lluís Vilaseca Aloy
Licenciado en Farmacia

CENTRE DE SEGURETAT I CONDICIONS
DE SALUT EN EL TREBALL DE GIRONA

En el Título VII del RD 783/2001 relativo a las fuentes naturales de radiación natural se insta a que, en aquellas actividades laborales en las que existan fuentes naturales de radiación, se realicen los estudios necesarios a fin de determinar si existe un incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda despreciarse desde el punto de vista de protección radiológica. Una de estas actividades es el almacenamiento o la manipulación de materiales que habitualmente no se consideran radiactivos pero contienen radionucleidos naturales, como es el caso de los electrodos de tungsteno toriado. En esta NTP se estudia la posible exposición a radiaciones ionizantes derivada de la utilización de estos electrodos en procesos de soldadura de acero inoxidable y aluminio y se establecen las correspondientes medidas preventivas.

1. INTRODUCCIÓN

El torio es un elemento radiactivo natural que se encuentra presente en pequeñas cantidades en rocas, suelo, agua, plantas y animales, y en concentraciones más elevadas, en explotaciones mineras subterráneas. En la naturaleza se halla en forma de torio-232 que tiene una vida media de 14 billones de años; sus isótopos sufren espontáneamente un proceso de desintegración emitiendo radiaciones ionizantes. (Ver la cadena de desintegración del torio en la figura 1).

Industrialmente tiene diversas aplicaciones: se utiliza para fabricar cerámicas, cubiertas para linternas de gas, en la industria aeroespacial, como combustible para generar energía nuclear y en la fabricación de electrodos de tungsteno toriado utilizados en la soldadura TIG (soldadura de arco con electrodo de tungsteno y con protección de gas inerte). En estos electrodos, el torio es utilizado en forma de óxido y su contenido en dicha forma suele variar entre el 1% y el 4% en peso y se utilizan para soldar aluminio y aceros inoxidables, así como para el corte al plasma. Para alcanzar la máxima estabilidad del arco y conseguir una buena calidad en la soldadura, la punta del electrodo debe afilarse con el fin de conseguir una punta cónica antes de su utilización. Es importante destacar que la idoneidad de los electrodos de torio para la creación del arco de gas no se basa en la naturaleza radiactiva del torio ni en las radiaciones ionizantes emitidas por el mismo, sino en su naturaleza refractaria, ya que no funden y su consumo es mínimo, aunque, debilitados por el bombardeo electrónico del arco, deben ser periódicamente afilados para mantener

la forma cónica, evitándose así la contaminación del electrodo por el metal en fusión. Estos electrodos son importados en España para su comercialización, aplicándoseles la legislación de transporte de materias radiactivas como productos manufacturados con torio natural, aunque son transportados en simples cajas debido a su bajo contenido radiactivo y su pequeña tasa de dosis en la superficie de las mismas. Dichas cajas están señalizadas, llevando indicaciones de acuerdo con la normativa europea o americana de referencia, e incluyendo en su interior documentación relativa a la naturaleza radiactiva del torio, y en algunos casos información sobre la eliminación de los residuos, incluyendo los generados en el afilado.

El Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes (RD 783/2001), en su Título VII establece que cuando exista un incremento significativo de radiación debido a la exposición a fuentes naturales, la autoridad competente, con el asesoramiento del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), requerirá a los titulares de las actividades laborales, no reguladas en el apartado 1 del artículo 2, en las que existan fuentes naturales de radiación, que realicen los estudios necesarios a fin de determinar si existe incremento significativo de la exposición de los trabajadores o de los miembros del público que no pueda considerarse despreciable desde el punto de vista de la protección radiológica. En el mismo título VII, artículo 63, apartado 1, establece que la autoridad competente remitirá al CSN los resultados de los estudios realizados al amparo del artículo 62.

En el momento de redactar la presente NTP, el CSN no se ha definido sobre la protección radiológica en este

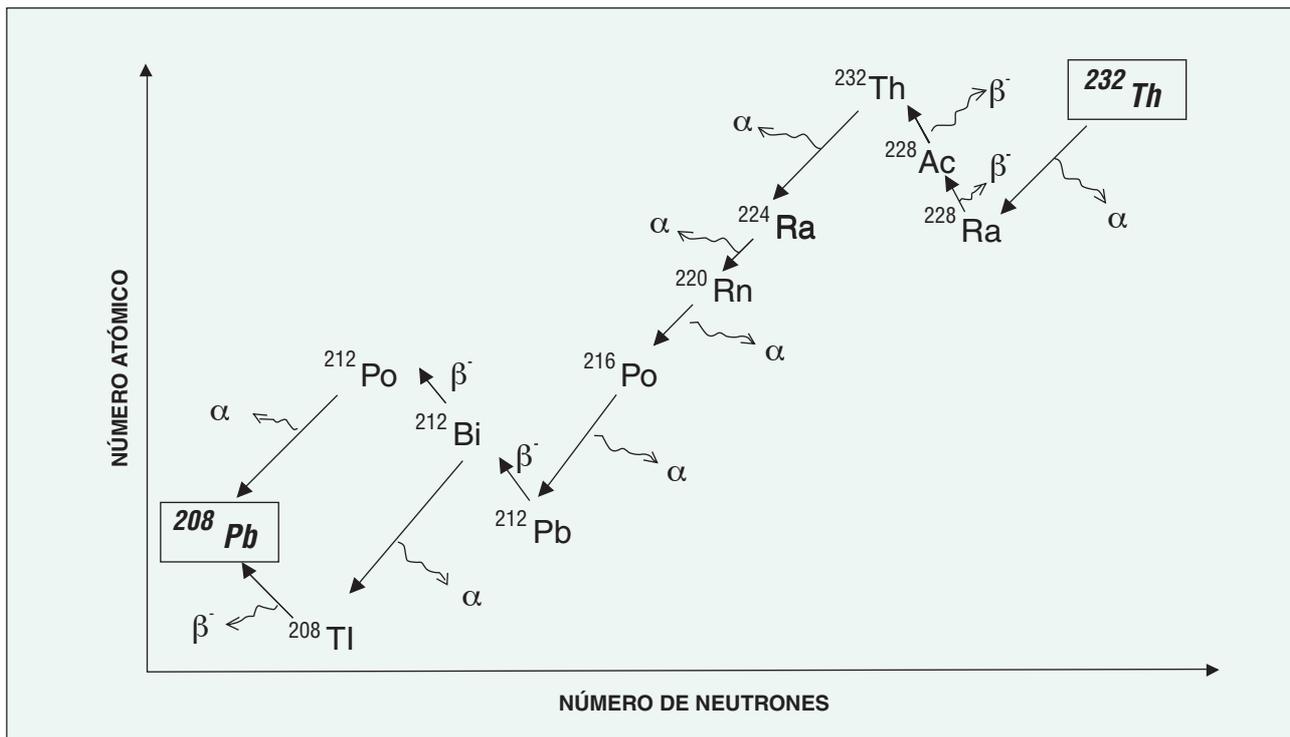


Figura 1. Cadena de desintegración del torio

caso y en ella se indican los aspectos que deben considerarse para establecer los procedimientos de actuación adecuados.

2. CARACTERÍSTICAS DEL PROCESO DE SOLDADURA

Material utilizado

Como ya se ha comentado, los electrodos de tungsteno (también llamado wolframio) toriado se emplean en la soldadura de arco de gas, denominada TIG AC/DC especialmente indicada para aleaciones de aluminio, magnesio y acero inoxidable, ya que con ellos se aumenta la corriente (emisión termiónica) y su duración, evita la contaminación de la soldadura, y facilita la formación y estabilidad del arco. En el mercado se encuentran elec-

trodos de tungsteno con cerio, lantano o circonio, que no contienen torio y que presentan ventajas similares, por lo que tienden a sustituir a los de tungsteno con torio, aunque éstos siguen presentando ventajas residuales sobre los de lantano y tierras raras. En las tablas 1 y 2 se indican los códigos, composición y dimensiones de este tipo de electrodos.

Los electrodos de tungsteno toriado más frecuentemente utilizados son los WT 20 rojo, de diámetro 2.0 mm, aunque también se utilizan los 1,6, 2,4 y 3,2 mm de diámetro y 150 mm de longitud. Se comercializan en cajas de plástico de 10 unidades, que normalmente se almacenan en armarios próximos a la nave de soldadura, siendo habitual mantener unas existencias de entre 1 a 10 cajas.

En el trabajo con este tipo de electrodos debe afilarse la punta de los mismos varias veces, ya que después de un periodo de soldadura, aquella se deforma y debe pulirse

| Código | Aditivos de óxidos, % peso | Código de color | Norma |
|--------|--|-----------------|---------------------|
| WP | | Verde | DIN/EN 26 848 |
| WT 10 | 0,90.. 1,20 ThO ₂ | Amarillo | |
| WT 20 | 1,80.. 2,20 ThO ₂ | Rojo | |
| WT 30 | 2,80.. 3,20 ThO ₂ | Púrpura | |
| WT 40 | 3,80.. 4,20 ThO ₂ | Naranja | |
| WZ 8 | 0,70.. 0,90 ZrO ₂ | Blanco | |
| WL 10 | 0,90.. 1,20 LaO ₂ | Negro | |
| WC 20 | 1,80.. 2,20 CeO ₂ | Gris | |
| WL 15 | 1,30.. 1,70 LaO ₂ | Oro | ANSI/AWS 5.12 |
| WL 20 | 1,89.. 2,20 La ₂ O ₃ | Azul | INDUSTRIA WOLFRAMIO |
| WS 2 | Tierras raras | Turquesa | |

Nota: Los electrodos se clasifican también bajo la norma americana ANSI/AWS 5.12, cuyo código de color difiere de la DIN/EN 26 848.

Tabla 1. Códigos y composición de los electrodos de tungsteno

| Diámetro en milímetros | | | Longitud en mm |
|------------------------|-----------|------------|----------------|
| 0,5 ± 0,05 | 3,0 ± 0,1 | 6,0 ± 0,1 | |
| 1,0 ± 0,05 | 3,2 ± 0,1 | 6,4 ± 0,1 | 50 |
| 1,6 ± 0,05 | 4,0 ± 0,1 | 8,0 ± 0,1 | 75 |
| 2,0 ± 0,05 | 4,8 ± 0,1 | 10,0 ± 0,1 | 150 |
| 2,4 ± 0,05 | 5,0 ± 0,1 | 12,0 ± 0,1 | 175 |

Tabla 2. Dimensiones de los electrodos

de nuevo para su recuperación. El afilado se realiza mediante muelas (esmoladeras), cuyas características varían según las instalaciones. En general, las más utilizadas son las que llevan una protección para evitar la proyección de las virutas y disponen de un recipiente con agua para enfriar el electrodo (ver fig. 2). El polvo generado en el afilado se deposita normalmente sobre la muela y en sus proximidades. Para evitarlo algunas muelas disponen de un sistema de aspiración localizada de aire, existiendo en el mercado máquinas de afilado, que funcionan en sistema cerrado, quedando el polvo generado almacenado en su interior.



Figura 2. Muela de afilado

La pérdida de material del afilado en las muelas del electrodo tiene un valor medio de 0,1 g por afilado, llegando a un valor máximo de 0,3 g, siendo el consumo medio por electrodo del 68% de su longitud. Las puntas de los electrodos (de entre 20 a 40 mm de longitud) deben considerarse como residuos y gestionarse adecuadamente, evitándose que se acumulen en el suelo de las zonas de afilado o de soldadura, o bien, puedan ser utilizadas como mondadientes por los trabajadores. Sin embargo los restos de electrodos en forma de puntas cilíndricas sólo constituyen el 32% del material inicial ya que el resto del material queda disperso en forma de polvo, de manera que durante la limpieza de las instalaciones se recoge conjuntamente el polvo metálico, las virutas y restos de los electrodos, constituyendo todo ello los residuos de soldadura de la instalación.

Contenido de material radiactivo de los electrodos

El equilibrio secular en la actividad del isótopo Th-232 del Torio (ver la figura 1) puede distorsionarse por efecto de procesos físicos y químicos y, especialmente, por la difusión del gas radón, encontrándose en la tierra formando parte minerales característicos. En la fabricación de estos electrodos se utiliza torio que ha sufrido inicialmente una concentración y purificación y posteriormente un proceso de oxidación, obteniéndose dióxido de torio (ThO₂). Du-

rante la fabricación, si el proceso metalúrgico elimina las trazas de radio, es posible que se rompa de nuevo el equilibrio. Una vez fabricado, el electrodo se almacena y distribuye para su utilización, proceso que puede durar varios años, durante los cuales el Th-232 tiende a alcanzar de nuevo el equilibrio secular, mientras que el Th-228 inicial desaparece, aunque produce su propio equilibrio con sus descendientes. En consecuencia, la actividad total en los electrodos puede variar según la edad del torio, que es el tiempo transcurrido desde su separación o desde la fabricación del electrodo, si esta fabricación produce una nueva purificación de descendientes.

La radiactividad de un electrodo depende de la actividad de la masa de óxido torio y del grado de equilibrio de la cadena de desintegración en el mismo. La masa de dióxido de torio en un electrodo se determina a partir del volumen de electrodo, de la densidad y del contenido de ThO₂ de acuerdo con la siguiente expresión:

$$M_{ThO_2} = w\rho\pi \frac{D^2}{4} L$$

w: fracción de la masa total del electrodo que es ThO₂;

L: longitud del electrodo (cm.);

D: diámetro del electrodo (cm.);

ρ: es la densidad del electrodo, aproximadamente 18,5 g/cm³

La actividad A de un electrodo se puede determinar a partir de la masa de ThO₂ y de los datos de la actividad específica, que viene dada en tablas mediante la expresión siguiente:

$$A \text{ (Bq)} = 0,878 m A_e$$

m: masa de dióxido de torio contenida en un electrodo, expresada en gramos.

A_e: actividad específica del torio, en Bq/g.

A: actividad del electrodo, en Bq.

3. VIAS DE EXPOSICIÓN Y CONTAMINACIÓN RADIATIVA

Los trabajadores que manipulan los electrodos de tungsteno toriado están potencialmente expuestos a radiaciones ionizantes, cuyo nivel de radiación puede valorarse a partir del análisis de las principales vías de exposición, que se describen a continuación:

Inhalación de partículas conteniendo material radiactivo

La inhalación de partículas radioactivas puede producirse especialmente en las operaciones de afilado aunque también, en menor medida, durante la propia soldadura y en el resto de la instalación.

Zona de afilado

El afilado es la operación que produce una mayor cantidad de partículas. Generalmente se realiza en una zona alejada de los puestos de soldadura, es muy corta (segundos), se realiza en la muela y es la causa principal de la pérdida de material del electrodo, depositándose el polvo en el suelo, en las superficies de la propia muela y en cualquier otro objeto que se encuentre en esta zona. La resuspensión del material genera un ambiente de polvo en las zonas cercanas, pudiéndose dispersarse más o menos en función de la ventilación existente y del tránsito de personal.

Zona de soldadura

La producción de partículas en la operación de soldadura es mucho menor que en el afilado, debiéndose tener en cuenta que, además, el soldador trabaja con pantalla protectora, lo que reduce de manera importante el riesgo de inhalación.

Inhalación en el resto de la instalación

Los niveles de polvo residual proveniente de los electrodos en el resto de las zonas son muy inferiores a los existentes en la zona de afilado, aunque pueden presentar localmente niveles elevados de polvo metálico a causa de otras operaciones como el corte o el pulido. También hay que tener en cuenta el polvo de tungsteno toriado que se retira con el resto de materiales, incluidos los restos de puntas de electrodos, en las operaciones de limpieza de la instalación.

Exposición externa por manipulación de los electrodos

Hay varias fases en el proceso de soldadura durante las cuales el soldador manipula el electrodo. Inicialmente coge el electrodo de la caja, procede a un primer afilado, que es el que produce mayor pérdida de material, seguidamente lo coloca en una pinza y lleva a cabo la soldadura. Cuando el electrodo no está en su pinza de agarre, se deposita en la mesa de trabajo. Periódicamente se comprueba si mantiene su punta cónica, procediendo a nuevos afilados hasta que su longitud queda reducida al 30% de la inicial (entre 2 y 4 cm), que es la longitud mínima que permite el agarre del electrodo a la pinza de soldadura, a partir de la cual se desecha. En algunas instalaciones los restos de electrodos se guardan, en otras se tiran al suelo o a la mesa de trabajo eliminándose con el resto de materiales metálicos cuando se procede a la limpieza. La falta de información y formación de los trabajadores hace que en algunos casos puedan llevar en el bolsillo una caja de electrodos, o utilicen los restos de los mismos como mondadientes. Actualmente hay empresas que se dedican exclusivamente al afilado de electrodos, generalmente remitidos por otras que se dedican solo a la soldadura, debiéndose considerar el personal de las mismas como el más expuesto a radiaciones ionizantes por esta causa.

Ingestión secundaria de material radiactivo

Aparte de la posibilidad de utilizar los restos de electrodos como mondadientes, esta vía de exposición comprende la transferencia de material a la boca, a partir de las manos contaminadas, manipulación de alimentos, bebidas, y otros objetos contaminados. Si bien la ingestión debería estar reducida al mínimo, la habitual falta de medidas de higiene personal y la presencia de botellas de agua u otras bebidas en las inmediaciones de las

muelas, facilita esta vía de entrada secundaria de material contaminado.

4. NIVELES DE RADIACIÓN EN LAS INSTALACIONES

De acuerdo con los datos disponibles, en las zonas de afilado los valores de contaminación radiactiva beta-gamma, medidos como Th-232, están comprendidos entre 1,5 y 30 Bq/cm² a nivel del suelo y entre 0 y 13 Bq/cm² en la superficie de las muelas, valores que descienden a niveles comprendidos entre 0 y 3 Bq/cm² a un metro de distancia de las mismas. En las zonas de soldadura no se detecta contaminación radioactiva. Los valores de radiación directa (gamma), expresados como tasa de dosis (mSv/h), en todas las zonas de trabajo corresponden al fondo natural, y por lo tanto no hay incremento alguno de la dosis por irradiación externa debido al material de los electrodos, salvo algunas excepciones como, por ejemplo los lugares donde se almacenan las cajas de los electrodos, en los que la tasa puede llegar hasta 0,22 µSv/h. Las concentraciones de Th²³² en el polvo de las zonas de afilado y en los puestos de soldadura, normalmente son inferiores a 0,06 Bq/m³ y en ocasiones inferiores a 0,02 Bq/m³. En la figura 3 se muestran diferentes equipos y procedimientos de muestreo empleados.

Las dosis de radiación individuales dependen esencialmente del tiempo de exposición de cada soldador, y de los niveles de contaminación de polvo en los puestos de trabajo. La práctica habitual en el trabajo con electrodos de tungsteno toriado supone tiempos anuales de exposición de menos de 25 horas en la zona de afilado y del orden de 500 horas en la zona de soldadura. Para estas condiciones, los niveles de dosis individuales son inferiores a los límites establecidos en el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes para el personal no expuesto. Es decir, que en condiciones normales de trabajo no existe un riesgo radiológico superior al establecido para el público en general. No obstante, ciertos trabajadores pueden estar expuestos a situaciones de riesgo mayores, superando el límite de dosis anual de 1 mSv/año. Ello puede producirse por malas prácticas de trabajo y desconocimiento de los riesgos, fundamentalmente durante la operación de afilado, debido normalmente a la falta de formación e información.

5. RECOMENDACIONES PREVENTIVAS

A continuación se relacionan una serie de medidas preventivas que deberían adoptarse en el trabajo de soldadura con electrodos de tungsteno toriado, en relación con todo lo expuesto anteriormente.

Recomendaciones generales

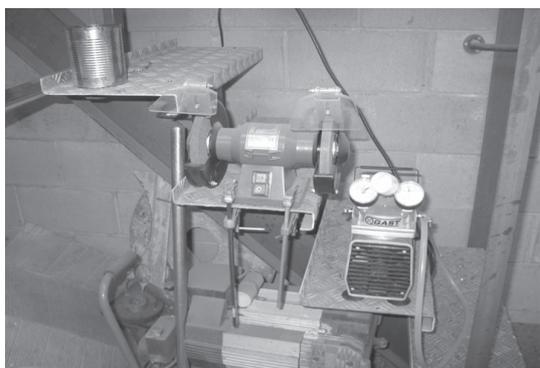
Sustituir, siempre que sea posible los electrodos de tungsteno toriado por otros electrodos que no contengan materiales con actividad radiactiva en su composición; por ejemplo electrodos de tungsteno con lantano o de tungsteno con cerio.

Garantizar que los trabajadores y sus representantes reciban una formación e información adecuadas sobre los riesgos que se derivan de la utilización de este tipo de electrodos.

Exigir al fabricante o comercializador de los electrodos el correcto etiquetado de los envases que los contienen y la correspondiente ficha de datos de seguridad (FDS). El envase debe llevar la señal de advertencia de mate-



Toma de muestras con filtro



Muestreo ambiental



Mediadas de tasa de beta+gama y alfa

Figura 3. Medición de la radiación

rial radioactivo y la etiqueta debe contener información sobre la composición de dichos electrodos, recomendaciones sobre su utilización y sobre la gestión de las puntas sobrantes de los mismos. Todo ello escrito en un idioma comprensible para los trabajadores.

Disminuir al mínimo posible la generación de polvo en el proceso de afilado de los electrodos, así como reducir el número de trabajadores que realicen esta operación.

Suministrar a los trabajadores ropa de trabajo adecuada y proporcionarles doble taquilla, para guardar separadamente la ropa de trabajo de la ropa de calle.

Garantizar, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 22 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y el 37.3 del Reglamento de los Servicios de Prevención, la vigilancia de la salud de los trabajadores que realizan operaciones de soldadura con electrodos de tungsteno toriado y, especialmente, a los que ocupen puestos de trabajo que incluyan su afilado.

En el caso de trabajadores que se dediquen exclusivamente al afilado de electrodos, y que cumplan las condiciones de trabajador expuesto a radiaciones ionizantes, dicha vigilancia de la salud, además, se basará en lo dispuesto en el RD 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria contra Radiaciones Ionizantes.

Es recomendable que el almacenamiento de los electrodos de tungsteno toriado se realice en armarios destinados únicamente a este fin convenientemente señalizados. Deberá procurarse no almacenar una gran cantidad de ellos, siendo aconsejable un número inferior a 20 cajas de 10 unidades. Podrán almacenarse cantidades superiores siempre que el armario este situado lo más alejado posible de cualquier puesto de trabajo fijo.

Disponer de un plan de gestión de residuos que incluya la recogida, traslado y almacenamiento en el centro de trabajo hasta su entrega a un gestor externo autorizado. Hay que tener en cuenta que los residuos de soldadura efectuada con electrodos de tungsteno toriado no se consideran residuos radiactivos, ya que su actividad es inferior a la de exención indicada en el anexo I del RD 1836/1999, por lo que deben ser considerados como "residuos de soldadura", incluidos en el Catálogo Europeo de Residuos (CER) con el número 120113, y clasificados como no peligrosos, siendo su vía de valorización el reciclado y la recuperación de metales.

No comer o beber en el área de trabajo.

Lavarse las manos antes de abandonar el área de trabajo.

No sacudir la ropa de trabajo manualmente, ni mediante soplado con aire comprimido para eliminar el polvo de la misma.

Recomendaciones específicas en la zona de afilado

Procurar utilizar una máquina de afilado que funcione en circuito cerrado, recogiendo el polvo generado en un recipiente de pequeñas dimensiones ubicado en la base de la misma. Estos equipos deberían utilizarse obligatoriamente en aquellos centros de trabajo dedicados exclusivamente al afilado o que dispongan de puestos de trabajo exclusivos para tal fin.

Cuando se utilice una muela abrasiva para el afilado de los electrodos deberá reservarse una zona específica, separada físicamente del resto de las zonas de trabajo. En el caso de no ser posible, deberá procurarse que esté lo más alejada posible de cualquier puesto de trabajo permanente.

Utilizar muelas provistas de sistema de aspiración, que las envuelva de la mejor manera posible, y que permitan la recogida todo el polvo generado en el proceso de afilado.

El suelo de la zona donde se realiza el afilado de los electrodos deberá limpiarse frecuentemente, utilizándose un sistema por aspiración.

Recomendaciones específicas en las zonas de soldadura

Manipular los electrodos de uno en uno.

No ponerse en el bolsillo electrodos de tungsteno toriado.

No utilizar los electrodos de tungsteno toriado para otra finalidad distinta de la soldadura.

No tirar al suelo los restos de electrodos y guardarlos para su adecuada gestión como residuos de soldadura.

No utilizar electrodos y restos de los mismos como objetos personales.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY.
Application of Exemption Principles to the Recycle and Reuse of Materials from Nuclear Facilities.
Safety Series No. 111 - P - 1.1. Vienna 1992
- (2) MCELEARNEY, N., IRVINE, D. A
Study of Thorium Exposure during Tungsten Inert Gas Welding in an Airline Engineering Population.
JOM, 1993, 35, (7), 707-711.
- (3) JACQUET, C.
Baguettes de sudre en tungstène thorié et risque radioactif.
Arch. Mal. Prof. 1995, 56, (7), 551-555.
- (4) JANKOVIC, J.T., UNDERWOOD, W.S., GOODWIN, G.M.
Exposures from Thorium Contained in Thoriated Tungsten Welding Electrodes.
American Industrial Hygiene Association Journal. 1999, 60, 384-389.
- (5) COLECCIÓN DE NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA.
Evaluación de la exposición ocupacional debida a incorporaciones de radionucleidos.
Patrocinada conjuntamente por OIEA y OIT. Guía de seguridad No RS - G - 1.2. IAEA Organismo Internacional de Energía Atómica. Vienna 2004.
- (6) **Directiva 96/29/EURATOM** del Consejo, de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes. DOCE. 29.6.96
- (7) **Real Decreto 783/2001**, de 6 de julio por el que se aprueba el reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes (BOE 26/07/2001)
- (8) **Real Decreto 1836/1999**, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas. (BOE 31/12/1999).
- (9) **Ley 15/2003**, de 13 de junio, por la que se modifica la Ley 6/1993. de 15 de julio, reguladora de residuos (DOGC Núm. 3915, 1.7.2003).
- (10) **Real Decreto 551/2006**, de 5 de mayo, por el que se regulan las operaciones de transporte de mercancías peligrosas por carretera en territorio español.