



José Luis RUIZ BAUZA se licenció en Ciencias Físicas en 1963 por la Facultad de Ciencias de Madrid. Desde esa fecha hasta la actualidad ha trabajado en el campo de la Energía Nuclear en sus tres diversas vertientes: docente, investigadora e industrial. Fue profesor de la Facultad de Ciencias y ETS de Ingenieros de Caminos de Madrid. De 1965 a 1974 perteneció a la antigua JEN como Jefe de Grupo de Ensayos. Actualmente es Director de la empresa CIAT.

APLICACIONES INDUSTRIALES DE LOS ISOTOPOS RADIATIVOS

PERSPECTIVA HISTORICA

La primera utilización de isótopos radiactivos con fines experimentales se realizó en Austria en 1913, justamente diez años después de la adjudicación del Premio Nobel a Henry Becquerel y Pierre y Marie Curie por el descubrimiento de la radiactividad. Fue el físico húngaro George Charles de Hevesy, en el Instituto para la Investigación del Radio de Viena, quien utilizó lo que por entonces se conocía con el nombre de radio-D (actualmente sabemos que se trata de un isótopo del Plomo, el Pb-210), para estudiar la solubilidad en agua del sulfuro de plomo y del cromato de plomo. Algo más tarde utilizó el torio-B (Pb-212) para estudiar la absorción de plomo en el crecimiento de las plantas.

En los años posteriores se llevaron a cabo múltiples experimentos en biología y medicina utilizando radisótopos naturales. Con el invento del ciclotrón al principio de la década de los treinta se produjo el primer gran paso para la producción de isótopos radiactivos, pero hasta los años cincuenta no se alcanza el apogeo en la utilización de nuevos isótopos con el desarrollo de los reactores nucleares. A partir de entonces se desarrollaron sistemas de control y medida basados en la utilización de isótopos radiactivos y se abrieron nuevos campos en la aplicación de las radiaciones: esterilización, alimentación, control de procesos, comportamiento de materiales...

PRINCIPIOS FISICOS DE LAS APLICACIONES DE LOS ISOTOPOS RADIATIVOS

Actualmente, todas las aplicaciones de los isótopos radiactivos en los distintos campos en que se utilizan: industria,

medicina, agricultura, alimentación, hidrología, arqueología..., se basan en la doble interacción de la radiación con la materia, por lo que dichas aplicaciones se pueden agrupar en alguno de los tres grupos bien diferenciados que se comentan a continuación:

- Acción de la materia sobre las radiaciones.

Al interaccionar la radiación emitida por los isótopos radiactivos con la materia se producen fenómenos de absorción, dispersión, etc., que dependen tanto de la naturaleza de la radiación incidente como de ciertas características propias de la materia con la que interacciona: espesor, densidad y naturaleza del material, fundamentalmente. La medida de la radiación transmitida permite obtener información sobre el material con el que la radiación ha interaccionado. Entre las aplicaciones industriales comprendidas en este grupo se encuentran la gammagrafía, medida de espesores, densidades, niveles de líquidos...

- Acción de la radiación sobre la materia.

Si en lugar de preocuparnos por las características de la radiación transmitida nos ocupamos de las alteraciones físico-químicas que la radiación produce en la materia debido al poder de ionización, rotura de enlaces, destrucción de microorganismos, etc., nos encontramos con un segundo grupo de aplicación de las radiaciones en el mundo industrial que incluye, por ejemplo, la eliminación de la electricidad estática, la esterilización de materiales, pararrayos, señalizaciones con materiales luminiscentes, detectores de humo...

- En la utilización de isótopos radiactivos como trazadores en la industria, el isótopo se mezcla o incorpora a

una sustancia para seguir su curso o comportamiento en la misma. En este grupo se encuentran las medidas de caudales, detección de fugas, medidas de desgaste, control de contaminación de agua, etc.

Estas aplicaciones industriales de los isótopos radiactivos pueden clasificarse de otra forma si atendemos a la forma de utilización del material radiactivo. Así, se clasifican las aplicaciones industriales según que la fuente radiactiva sea encapsulada o no. En las fuentes radiactivas encapsuladas el material radiactivo se encuentra en recintos herméticamente cerrados y sellados que impiden cualquier contacto o fuga. Los isótopos no encapsulados son los que se encuentran en recipientes cerrados, pero no sellados, y normalmente se utilizan en forma de disolución.

Mientras que en la utilización de los radioisótopos como trazadores, la forma química del trazador y su compatibilidad con el proceso al que se incorpora es de vital importancia en la selección de un trazador particular, las aplicaciones con fuentes encapsuladas utilizan otros criterios de selección. La forma química no es importante, y el interés principal en la elección se centra en las siguientes propiedades de la fuente:

- Tipo de radiación emitida.
- Su energía.
- Intensidad de la radiación emitida.
- Vida media del isótopo.
- Coste de la fuente.

En las tablas I a IV se indican algunas de las fuentes encapsuladas de uso más común.

Entre las aplicaciones industriales en las que se utilizan fuentes encapsuladas se encuentran: la gammagrafía, medidas de nivel, de espesor, los detectores de humo, las señalizaciones, la eliminación de electricidad estática... Como ejemplos de la utilización de fuentes no encapsuladas en la industria tenemos las medidas de caudales, el control de la polución del agua, las medidas de desgaste, trazadores, etc.

OTROS ASPECTOS DE INTERES

Antes de pasar a analizar con algún detalle alguna de las aplicaciones industriales citadas anteriormente es necesario resaltar algunos hechos que consideramos importantes para comprender de una forma más completa la utilización de los isótopos radiactivos en el mundo industrial.

El primero de ellos ya ha sido comentado: la utilización masiva de isótopos radiactivos -no sólo en la industria, sino en otras actividades: medicina, investigación, agricultura, arqueología,

T I

FUENTES EMISORES α DE USO MAS COMUN

ISOTOPO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION	ENERGIA α (MeV)
Am-241	458 a	5,5
Ra-226	1620 a	4,5-7,7

T II

FUENTES EMISORES β MAS UTILIZADAS

ISOTOPO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION	ENERGIA β MAXIMA (MeV)
C-14	5730 a	0,159
Kr-85	10,6 a	0,67
Ni-63	92 a	0,067
Pm-147	2,6 a	0,23
Ru/Rh-106	1,0 a	3,6
S/Y-90	2,8 a	2,27
Tl-204	3,76 a	0,77

T III

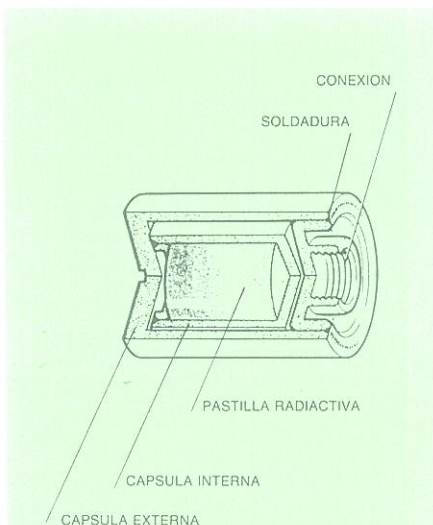
FUENTE γ DE BAJA ENERGIA

ISOTOPO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION	PRINCIPAL ENERGIA γ (KeV)	NOTAS
Am-241	458 a	60	
Cd-109	453 d	22	
Co-57	270 d	122/136	
Fe-55	2,7 a	5,9	
Pb-210	22 a	47	
Pu-238	86 a	12/17	
Tl-170	127 d	84	
Tritio/Circonio	12,26 a	5-9	
Sr-90/Al	28 a	60-150	Fuentes de Bremstrahlung
Pm-147/Al	2,6 a	12-45	

T IV

FUENTES γ DE USO MAS COMUN, DE ALTA ENERGIA

ISOTOPO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACION	E (MeV)	($\frac{R}{h} / \frac{Ci}{m}$)	Espesor de semirreducción en Pb
Co-60	5,26 a	1,17 / 1,33	1,32	12,2
Cs-137	30 a	0,66	0,3	6,2
Ir-192	74 d	0,3-0,6	0,48	4,8



El material radiactivo («pastilla») se aloja en una cápsula no radiactiva (simple o doble) que lo protege. La pastilla suele ser un cilindro metálico o cerámico, coincidiendo su altura con el diámetro. Los tamaños típicos oscilan desde $0,5 \times 0,5$ mm hasta 6×6 mm (diámetro $\times$ altura).

FI Corte de una fuente de gammagrafía.

etc.— es posible gracias a la producción de los mismos en los reactores nucleares y aceleradores de partículas. Un segundo punto que queremos resaltar es que gran parte de las aplicaciones descritas es posible gracias al desarrollo de los sistemas de medida

de la radiación que se ha seguido en paralelo al de la utilización de los isótopos y sin los que la información que se pretende obtener resultaría imposible. No hay que olvidar que algunas veces se trabaja con actividades muy pequeñas cuya detección resulta siempre difícil.

Por último, no queremos dejar de indicar las limitaciones impuestas a la utilización de la radiactividad como consecuencia de los efectos que ésta produce sobre la salud y seguridad de las personas. Limitaciones que se traducen en el desarrollo de normas de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear que desde los años veinte se vienen dando por distintos comités internacionales de entre los que destacamos la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Normas que de forma paralela se han ido adaptando en la legislación española y en las legislaciones nacionales de los distintos países.

LA RADIOGRAFIA INDUSTRIAL

De todas las aplicaciones industriales de los radisótopos aquí comentadas, vamos a describir con cierto detalle la radiografía industrial por ser ésta, quizá, la actividad de mayor uso de los isótopos radiactivos en el campo industrial. Posteriormente, sin tanto detalle, se describirán algunas otras apli-

caciones industriales, tales como medición de espesores y niveles, señalizaciones y uso como trazadores.

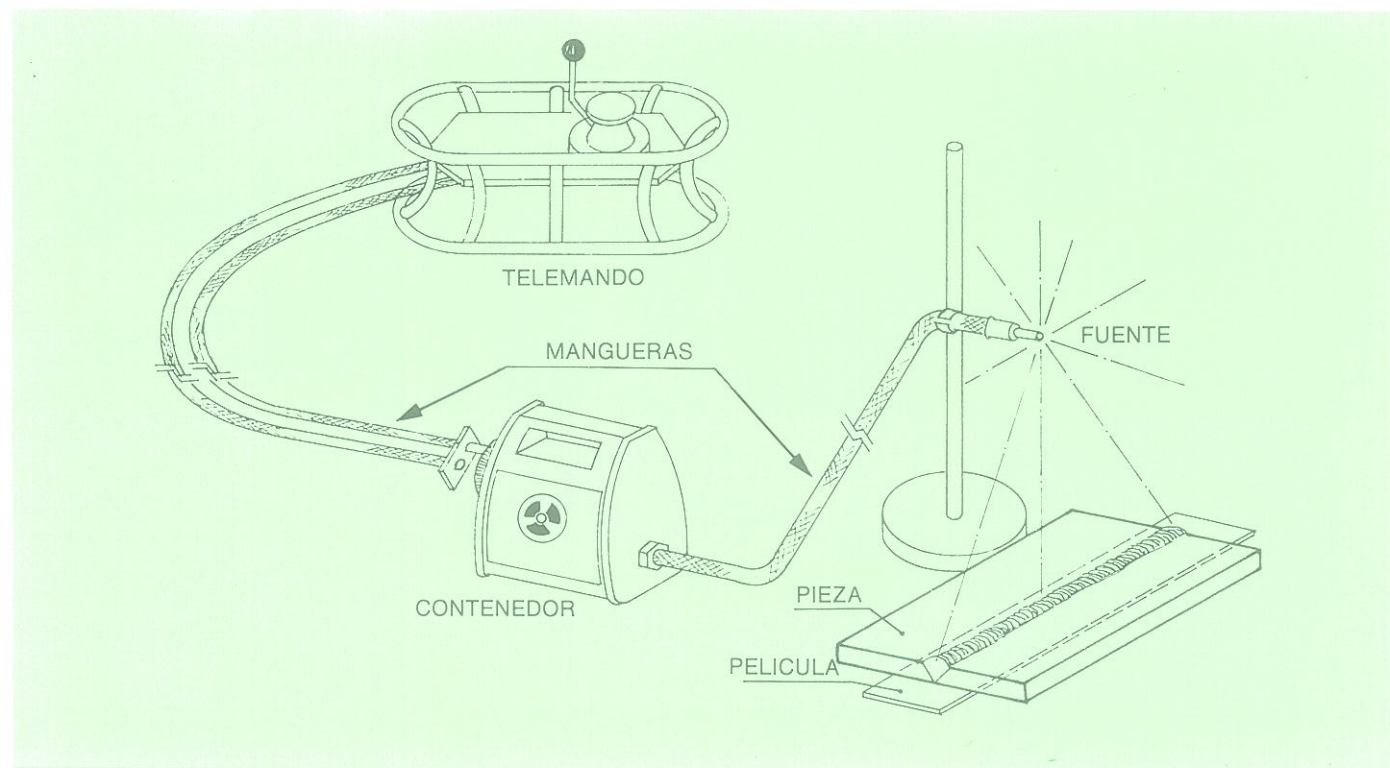
La radiografía industrial es una técnica para el control de calidad de materiales y componentes sumamente extendida en el sector metalmecánico. Los principios de la técnica, así como sus objetivos, son similares a la radiografía médica, por lo que la comprensión de esta técnica por personal no especializado es muy fácil.

En el caso de la radiografía industrial se pretende obtener imágenes del estado estructural de uniones por soldadura, materiales moldeados, etc., realizadas en componente, sistemas de plantas industriales tales como centrales eléctricas (nucleares o convencionales), petroquímicas, refinerías, oleo y gasoductos, barcos, aeronáutica, etc. Mediante estas radiografías se pueden detectar grietas, faltas de fusión y penetración, escorias, porosidades u otros defectos que afectan a la integridad del componente en cuestión y, en consecuencia, pueden ser causa de graves accidentes con repercusiones económicas graves y, a veces, con pérdidas de vidas humanas.

La radiografía industrial supone la utilización de una fuente de radiación. Esta fuente puede ser un tubo de rayos X o isótopos radiactivos debidamente encapsulados (Fig. I).

La fuente radiactiva o «pastilla», dado precisamente su carácter radiactivo, necesita un blindaje de protección adecuado, que disminuya la intensidad de

FII Elementos utilizados en la radiografía industrial.



la radiación a valores aceptables cuando no se utiliza. Este contenedor ha de cumplir una doble función: la ya señalada de protección, por lo que normalmente se construyen de Pb, o mejor de uranio, y debe disponer, además, de un sistema seguro que permita extraer la fuente del mismo para realizar las exposiciones radiográficas y su posterior recogida una vez finalizado el trabajo. El esquema de la figura II muestra el conjunto y disposición de elementos para realizar el radiografía industrial.

Aunque la calidad de imagen es algo superior en las radiografías obtenidas con rayos X a las obtenidas con isótopos, existen numerosas razones de índole técnico y económico que hacen que la radiografía con isótopos (gammagrafía) esté mucho más extendida que la radiografía con rayos X.

Entre las ventajas más significativas que presenta la gammagrafía frente a la radiografía con rayos X encontramos las siguientes:

- Mayor portabilidad, al no ser necesaria ninguna fuente de alimentación eléctrica ni refrigerante, además de ser, generalmente, los equipos que utilizan rayos gamma, de menor tamaño que los equivalentes de rayos X.
- Las pequeñas dimensiones de las fuentes utilizadas permiten obtener radiografías en lugares difícilmente accesibles para un equipo de rayos X.
- Debido al mayor poder de penetración de la radiación usada, la gammagrafía permite radiografiar espesores más elevados.
- Además de lo anterior, el precio de un equipo de rayos gamma es bastante más bajo que el de un equipo de rayos X. Este hecho ha permitido, además, la proliferación de instalaciones radiactivas que proporcionan servicios de radiografía industrial en España.

Entre las ventajas que supone la utilización de equipos de rayos X frente a los rayos gamma se pueden indicar las siguientes:

- Las radiografías obtenidas con rayos X poseen mayor definición y calidad que las obtenidas con una fuente radiactiva, debido a la continuidad del espectro de los rayos X. De cualquier forma, la calidad de la radiografía a obtener suele venir marcada por unas especificaciones determinadas y, generalmente, la calidad que se obtiene con isótopos radiactivos es aceptable.
- Otra ventaja, que ya no es tal, que a veces se ha indicado de los rayos X frente a los gamma es la de necesitar tiempos de exposición menores, debido a la mayor intensidad de radiación del campo de rayos X. Ac-

tualmente, los equipos de gammagrafía permiten actividades importantes, con lo que se han reducido de forma notable esos tiempos de exposición.

Por otra parte, resulta impensable, actualmente, realizar todas las radiografías que requiere una gran planta industrial con rayos X.

Las fuentes radiactivas más utilizadas en gammagrafía industrial son Ir-192, Co-60 y Cs-137.

Sus características (período de semidesintegración, energía de la radiación emitida y constante específica) de los mismos se dan en la tabla IV.

La elección y actividad del isótopo para la realización de una radiografía determinada se hace en base a la naturaleza y espesor del material que se pretende radiografiar.

El Ir-192 y el Co-60 son los más extendidos con gran diferencia. El Co-60 se utiliza para grandes espesores, por encima de los 50 mm de acero, mientras que el Ir-192 y el Cs-137 cubren aproximadamente el rango de 10-50 mm, sin que ello suponga unos límites estrictos de aplicabilidad. El hecho de que se utilice muchísimo más el Ir que el Cs se debe a la calidad de las radiografías obtenidas, que es superior en el caso de Ir debido a su espectro de emisión. La ventaja del Cs es tener una vida media superior al Ir, con lo que el cambio de fuentes de Cs es prácticamente innecesario, en tanto que en el caso de Ir este cambio debe realizarse aproximadamente cada seis meses.

El radiografiado de componentes en una central nuclear, refinería, gasoducto, etc., supone la realización de decenas de miles de radiografías, todas ellas o una gran mayoría, con isótopos radiactivos, en general Ir-192. Una gran parte de estas placas sólo son realizables si se utilizan estos isótopos, por razones de espesor, accesibilidad y suministros.

Las condiciones de integridad estructural de plantas industriales, barcos, aviones, conducciones de gas y petróleo, etc., o lo que es igual, las condiciones de seguridad en su funcionamiento, se verían fuertemente reducidas sin un radiografiado de sus componentes esenciales. Este hecho pasa, en general, desapercibido para la opinión pública por su carácter técnico y especializado; sin embargo, es de gran importancia de cara a la disponibilidad y seguridad de estos sistemas o componentes.

OTRAS APLICACIONES DE LOS ISOTOPOS RADIATIVOS

A continuación se comentan, algunas otras aplicaciones industriales de los radisótopos, describiendo brevemente

sus fundamentos y principales usos prácticos.

Entre las aplicaciones que utilizan fuentes encapsuladas encontramos las técnicas que se basan en la absorción de los rayos gamma por la materia, y las basadas en la dispersión.

En el primer caso, se trata básicamente de colocar una fuente de rayos gamma y un detector en lados opuestos del medio de interés y relacionar los cambios en la intensidad de radiación con los cambios en la masa específica del material. *Grosso modo* se pueden distinguir tres clases de aplicaciones:

- Si el material es de espesor constante, las variaciones en la intensidad del haz proporcionan información sobre la densidad del material.
- Si el material es de densidad constante, se puede obtener información sobre el espesor del mismo.
- Otras aplicaciones sobre materiales con variaciones en la masa por unidad de área, como la gammagrafía ya citada.

En este apartado citaremos las siguientes aplicaciones:

- Medidas de espesores de láminas en proceso continuo (acerías, papeles, vidrio, plástico, etc.).
- Espesores de depósitos en tanques y tuberías.
- Detección y medida de corrosión.
- Detección de huecos (hormigón).
- Medidas de densidad; líquidos, cigarrillos, superficies líquidas.
- Medidas de niveles de fluidos en tanques, control de llenado de botellas, etc.

Entre las aplicaciones de los trazadores radiactivos destacamos las medidas de flujo, medidas de tiempos de residencia de líquidos en tanques y líneas de procesos, detección de fugas, control de mezclas, medidas de volúmenes, estudios de ventilación, etc. Finalmente, y para dar una ligera idea de los innumerables usos actuales de los isótopos radiactivos en sus diferentes campos de aplicación, citamos los siguientes:

- Pararrayos radiactivos.
- Detectores de humo.
- Señalizaciones luminosas (barcos, aviones, boyas marinas, refinerías, etc.).
- Eliminación de electricidad estática.
- Eliminación de escarcha en alas de aviones.
- Radiesterilización de material médico.
- Radiorreticulación: modificación de las propiedades de los polímeros.
- Irradiación de alimentos.
- Irradiación de fangos cloacales.
- Irradiación de los gases de chimeneas.
- Vulcanización del caucho.
- Conversión de la biomasa.
- Eliminación de plagas de insectos...