



Rafael COELLO IPARRAGUIRRE es Licenciado en Ciencias Químicas en la especialidad de Química Fundamental (1.981). Es, asimismo, Ingeniero Técnico en la especialidad de Química Industrial (1.971).

En 1.969 entró a formar parte en la plantilla de NUCLENOR, S.A. participando en las pruebas preoperacionales y de puesta en marcha de la Central Nuclear de Santa María de Garoña. Desde entonces ha trabajado en varios puestos de la Sección de Química y Radioquímica, de la que es Jefe desde 1.982.

CARACTERIZACIÓN DE DEPÓSITOS RADIATIVOS EN CIRCUITOS PRIMARIOS

R. COELLO

INTRODUCCION

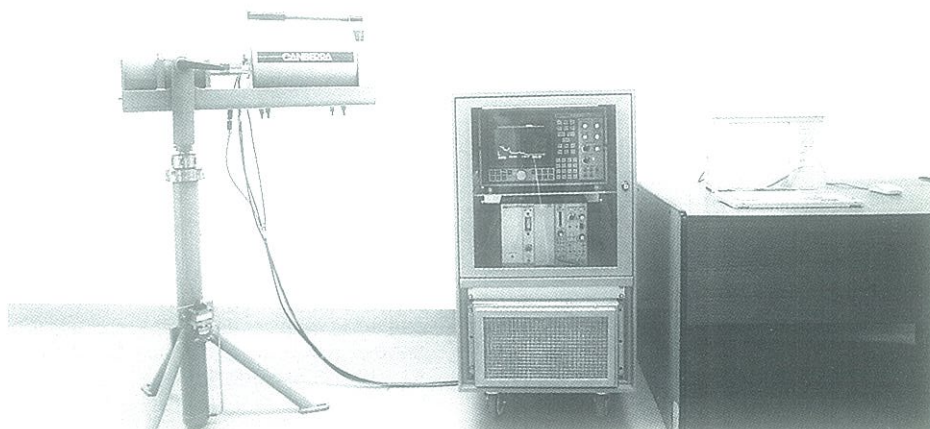
Uno de los objetivos fundamentales que hoy en día se plantean en las centrales nucleares es minimizar al máximo la dosis operacional colectiva que recibe el personal. Se sabe que, aproximadamente, el 80% del total de la dosis operacional radiactiva que se recibe en las centrales nucleares proviene de la contaminación existente en las superficies internas de algunos circuitos. Esta contaminación se produce como consecuencia de que por dichos circuitos circula agua que hace de vehículo de óxidos metálicos que poco a poco van siendo atrapados por las superficies internas de los sistemas, predominantemente, en aquellas zonas donde el caudal de agua es más bajo.

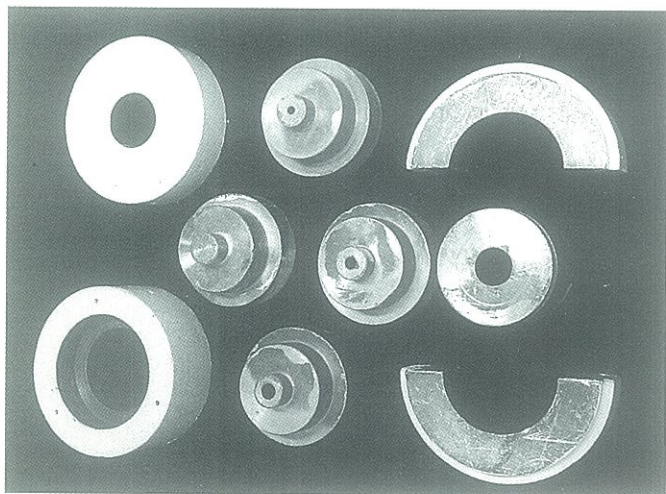
Aparte de los óxidos típicos Fe_2O_3 y Fe_3O_4 existen otros, cuya formulación

química empírica es $\text{Cr}_x\text{Ni}_y\text{Fe}_{3-x-y}\text{O}_4$, que son denominados con el nombre genérico de espinelas. En ellos es fácil que los átomos de Ni presentes sean sustituidos por átomos tales como Co y Zn. Si estas espinelas se depositan previamente en el núcleo del reactor, los metales que las componen se activan originando isótopos radiactivos tales como Mn^{54} , Co^{58} , Co^{60} , Fe^{59} , Cr^{51} , etc., de los cuales el más influyente en la generación de campos de radiación es el Co^{60} , dado que su periodo de semidesintegración es el más largo ($T_{1/2} = 5,27$ a) y que su energía de emisión gamma es relativamente alta (1,17 y 1,33 Mev). Para reducir estos campos de radiación, actualmente en las centrales nucleares se están aplicando diferentes procesos conducentes a:

- Minimizar la formación de productos de corrosión.
- Eliminar los productos de corrosión

FI - Espectrómetro Gamma





F II - Detalle Blindaje - Colimadores

cuando aún no se han depositado y están siendo arrastrados por el agua que circula por los circuitos.

- Eliminar aquellos componentes metálicos que en su composición o como impureza contengan Co.

- Adicionar sustancias que contengan Zn, el cual actúa como inhibidor de la corrosión y como competidor del Co en la formación de espinelas.

- Eliminar los óxidos, una vez depositados, por vía química mediante los denominados procesos de descontaminación.

Por todo lo indicado, adquiere una gran importancia la posibilidad de disponer de un método no destructivo de seguimiento de la evolución del nivel de contaminación que se está produciendo en los diferentes sistemas que, además de identificar, permita una evaluación cuantitativa de la actividad específica de los principales isótopos radiactivos depositados.

En la Central Nuclear de Santa María de Garoña se ha diseñado un equipo y se ha desarrollado un método que permite realizar espectrometrías gamma de tuberías o de otros componentes y además cuantificar la actividad por unidad de superficie de los diferentes isótopos depositados. Este proceso se ha aplicado para la medida de los isótopos existentes en las tuberías del Sistema de Recirculación de Agua del Reactor. Las medidas se han efectuado en la última Parada de Recarga de Combustible habida en Marzo-94. Se considera que tanto la aplicación del proceso de medida como los resultados obtenidos son altamente satisfactorios.

FUNDAMENTO DEL MÉTODO APLICADO

Se trata de realizar una determinación no destructiva de la actividad especí-

fica de radionucleidos emisores gamma depositados en la superficie interior de una tubería.

Para determinar dicha actividad se utiliza un espectrómetro gamma dotado de un detector con blindaje colimado. Fig. I.

En esta configuración se hacen las siguientes hipótesis:

- La actividad específica depositada es uniforme e independiente de la fracción de tubería.

- Todo fotón de la misma energía que alcanza el detector tiene la misma probabilidad de ser detectado.

- La tasa de conteo que registrará el detector, correspondiente a la energía de emisión del radionucleido cuya actividad se pretende determinar, vendrá dada por la siguiente expresión:

$$C = A \cdot \Sigma_G \cdot \Sigma_I$$

siendo:

A = Actividad específica a determinar.

Σ_G = Magnitud relacionada con el factor geométrico.

Σ_I = Eficiencia intrínseca del detector.

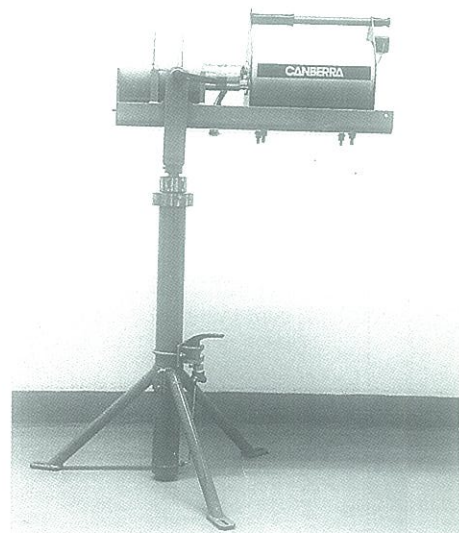
- Para mantener la hipótesis de uniformidad de la actividad específica depositada, el método se aplicará a tuberías rectilíneas que no permitan la visualización por parte del detector de codos o válvulas.

Para calcular Σ_G se ha desarrollado un programa utilizando técnicas de Monte-Carlo. Para ello se divide la fuente en secciones de igual longitud, con objeto de reducir la varianza mediante el cálculo de la señal debida únicamente a una de las dos mitades de la fuente, con objeto de incrementar el número de partículas cuya trayectoria es seguida y con objeto de observar cómo crece el número acumulado de impactos en la ventana del detector a medida que se incrementa el número de secciones considerado, esto es, a medida que se incrementa la longitud de la fuente. En el seguimiento de la historia de las partículas se han considerado dos grupos:

- Partículas que alcanzan el detector a través del colimador sin haber atravesado ninguna longitud de material de blindaje.

- Partículas que alcanzan el detector siguiendo una trayectoria parcialmente desarrollada a través del material de blindaje y a través del orificio colimador.

El conocimiento de estos dos grupos permite calcular el número de partículas que alcanza la ventana del detector incluyendo la penetración de bor-



F III - Conjunto soporte - Detector

des del colimador y permite conocer la longitud de fuente efectivamente visualizada por el detector.

Σ_G es equivalente a un factor geométrico y representa la relación existente entre las gammas emitidas por la fuente a medir y las gammas que alcanzan de una manera u otra al detector.

Σ_I se puede considerar como la eficiencia intrínseca del detector. Para su determinación se utiliza una fuente puntual de Cs^{137} y Co^{60} de actividades conocidas. Empleando el mismo programa utilizado anteriormente, aplicado en este caso a geometría puntual, se determina el número de partículas que alcanzan el detector y mediante una espectrometría gamma que se realiza a la fuente se determina Σ_I . Este proceso se repite para cada uno de los colimadores que se vayan a utilizar, colocando la fuente a una distancia conveniente. La utilización de Cs^{137} y Co^{60} permite disponer de tres energías distintas de emisión gamma con lo que se obtiene una curva de eficiencias Σ_I en función de la energía.

EQUIPO EMPLEADO

Dado que los campos de radiación que se tratan de medir pueden ser muy intensos se hace necesaria la utilización de un detector de eficiencia suficientemente baja como para que el tiempo muerto del conteo no sea inaceptablemente alto. Para conseguir este objetivo se utiliza además un juego de colimadores que permiten reducir más o menos la intensidad de radiación que llega al detector, según los casos.

Hay que tener también en cuenta que el fondo de radiación circundante puede

afectar de manera apreciable durante el proceso de contaje ya que las tuberías del Sistema de Recirculación de Agua del Reactor se encuentran ubicadas en la contención primaria. Por ello se ha blindado el detector suficientemente para minimizar esta radiación de fondo.

Descripción del Equipo

Blindaje de plomo y colimadores

Para el cálculo del blindaje y de los colimadores se han empleado los siguientes datos de partida:

- Tasa de dosis de la zona de medida: 175 mRem/h corresponde a una fuente de distribución isotópica conocida.
- Relación Ruido/Señal que se persigue: $\leq 0,05$.
- Diámetro de las tuberías a medir: 10", 18" y 24" de schedule 80.
- Distancia del detector a la fuente: variable entre 25 cm y 125 cm.

A la vista de los resultados obtenidos de los cálculos se ha decidido construir el siguiente equipo:

- Blindaje de 11 cm de espesor de plomo.
- Colimadores de 10 mm, 15 mm y 20 mm de diámetro.

Con ello se ha pretendido cubrir todos los supuestos de medida planteados. (Fig. II).

Soporte

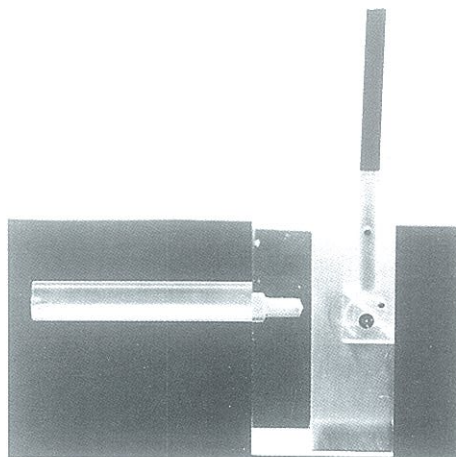
Con el fin de dirigir el conjunto detector-blindaje-colimador hacia el punto a medir se ha diseñado un soporte trípode orientable tanto en azimut como en inclinación, al que se puede regular su altura mediante un cilindro neumático capaz de ser conectado a líneas de aire comprimido, (Fig. III).

El alineamiento preciso del detector se consigue mediante un puntero láser montado en un componente de metacrilato. Este componente dispone de una parte basculante en la que se encaja el puntero. Dispone también de tres vástagos cilíndricos de 10, 15 y 20 mm de diámetro que ajustan perfectamente en los colimadores correspondientes, (Fig. IV).

Espectrómetro de radiación gamma

Se considera al espectrómetro de radiación gamma a un conjunto formado por los siguientes componentes:

- Fuente de baja tensión.
- Detector.
- Preamplificador.
- Fuente de alta tensión.
- Amplificador.
- Convertidor analógico digital (ADC).
- Analizador multicanal.
- Ordenador



F IV - Equipo de enfoque ▲

F V - Rack de aire acondicionado ►

A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los componentes:

- Fuente de baja tensión
Se trata de un módulo BIN 1000 de la marca CANBERRA, con capacidad para seis módulos NIM (Nuclear Instrument Modules), de anchura standard.

Especificaciones:

- + 24 V, 0,6 A máx.
- 24 V, 0,6 A máx.
- + 12 V, 1,0 A máx.
- 12 V, 1,0 A máx.

- Detector

Se trata de un detector de germanio intrínseco de baja eficiencia de la marca CANBERRA, modelo GL051R.

Características:

- Diámetro activo: 25, 5 mm
- Área activa: 500 mm²
- Grosor: 10 mm
- Distancia a la ventana: 4 mm
- Grosor de la ventana: 0,5 mm
- Voltaje recomendado: 2500 V

El detector está dotado de un criostato multiposicional (MAC) que permite su transporte manteniendo baja su temperatura (77 K).

- Preamplificador

Este equipo es de la casa CANBERRA, modelo 2002 CSL. Dispone de indicadores luminosos que indican cuando el detector tiene la temperatura adecuada, cuando la temperatura es demasiado alta y cuando el detector está próximo a la saturación.

- Fuente de alta tensión

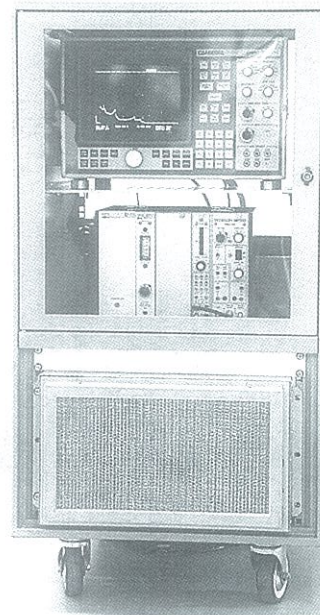
Este equipo es de la casa CANBERRA, modelo 3106D. Está diseñada para ser utilizada con detectores de alta resolución.

Tensión máx. de salida : 6000 V
Corriente máx. : 300 μ A.

- Amplificador

Modelo 2020 de CANBERRA. Realiza las siguientes funciones:

- Amplifica los pulsos procedentes del preamplificador y los dota de una



forma gaussiana o bipolar según se seleccione.

- Restaura activamente el nivel de línea base (tierra) de los pulsos gaussianos.
- Rechaza los pulsos apilados.
- Envía señales de tiempo muerto al ADC para que éste realice correcciones de tiempo vivo de contaje.

- Convertidor Analógico Digital

Es un modelo 8706 de CANBERRA. Dispone de 16 K canales y una alta velocidad de conversión de pulsos, lo que permite una gran resolución a altas tasas de contaje.

- Analizador multicanal

Es un equipo de la casa CANBERRA modelo S 35+. Tiene entradas para un máximo de 4 módulos ADC.

Dispone de una memoria para 2K canales.

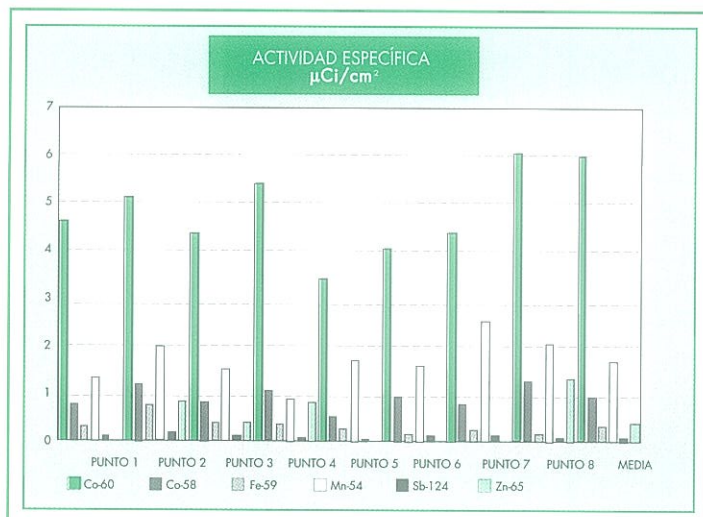
- Ordenador

Se trata de un ordenador portátil COMPAQ, modelo 486C/66 que conectado al analizador multicanal permite el manejo de éste a más de 50 m de distancia. El análisis de los espectros gamma se realiza mediante el programa SPECTRAN de la firma CANBERRA.

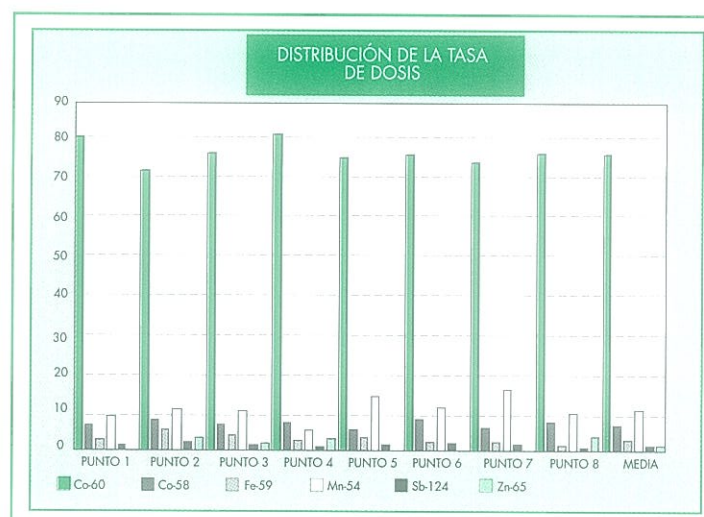
MEDIDAS EN PLANTA

La Central Nuclear de Santa María de Garoña es del tipo BWR (Boiling Water Reactor) con dos lazos en el Sistema de Recirculación del Reactor. Para tener una muestra representativa de este sistema se eligieron 8 puntos en los que efectuar las medidas:

- Aspiración de la bomba de recirculación del lazo A.
- Impulsión de la bomba de recirculación del lazo A.
- Un riser del lazo A.

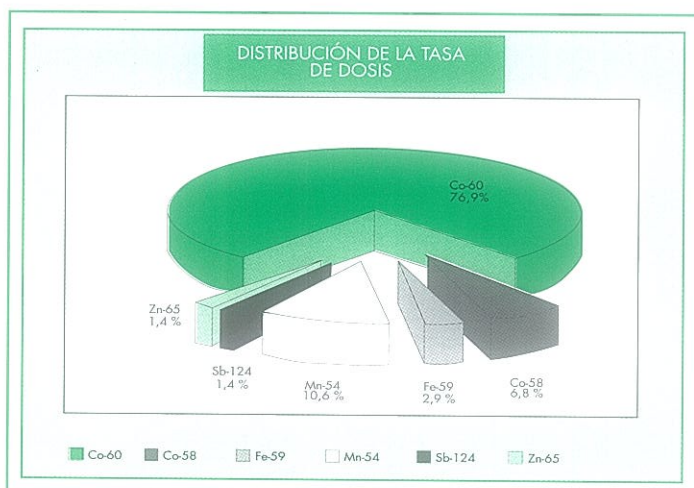


F VI - Actividad específica de radisótopos, mCi/cm²



F VII - Porcentaje de distribución de la tasa de dosis

F VIII - Distribución de la tasa de dosis. Media de los 8 puntos.



- Colector de risers del lazo A.
- Aspiración de la bomba de recirculación del lazo B.
- Impulsión de la bomba de recirculación del lazo B.
- Un riser del lazo B.
- Colector de risers del lazo B.

Con objeto de reducir la dosis del personal se colocó el equipo lo más lejos posible de los puntos a medir. Debido a que los cables de conexión entre el preamplificador y el amplificador no pueden medir más de unos pocos metros, con el fin de evitar interferencias, lo único que se pudo sacar fuera de la contención fue el ordenador. Este se conectó al analizador multicanal por un cable de comunicaciones en serie de 50 m de longitud, dotado de amplificadores de señal en ambos extremos. Desde dicho ordenador, situado en una zona con tasa de dosis baja, se operó el analizador multicanal. Para evitar problemas de temperaturas altas en los equipos de medida estos, a excepción del detector y el orde-

nador, están montados en un rack con aire acondicionado. (Fig.V)
A cada espectrometría gamma se le ha restado otra de fondo, realizada en las mismas condiciones de medida, utilizando el detector totalmente blindado.

RESULTADOS

En la Fig. VI aparecen los resultados obtenidos en los diferentes puntos medidos.

Con el fin de conocer la importancia relativa de cada isótopo, en cuanto a su contribución a la tasa total de dosis se refiere, se han aplicado los factores de dosis a la actividad específica correspondiente de cada isótopo. Los resultados obtenidos de distribución de la tasa de dosis aparecen en la Fig. VII.

En la Fig. VIII se puede ver que más del 76,8% de la tasa total de la dosis generada en los lazos de recirculación se debe al Co⁶⁰. Si se suma las contribuciones de los dos isótopos de cobalto el resultado es del 83,6% de la tasa de dosis total. Otras contribuciones menores se deben al Mn⁵⁴ - 10,6%, Fe⁵⁹ - 2,9%, Zn⁶⁵ - 1,4% y Sb¹²⁴ - 1,4%.

Los resultados obtenidos concuerdan aceptablemente con otros que se obtuvieron en 1.990 mediante la medida de líquidos procedentes de una descontaminación que se aplicó a la bomba del lazo A de recirculación.

CONCLUSIONES

- Se considera que el proceso de medida utilizado en la Central Nuclear de Santa María de Garoña es una herramienta valiosa para, de manera rutinaria, poder evaluar la tendencia de la tasa de dosis de diferentes circuitos de la planta. Esta herramienta es también muy interesante para determinar los factores de descontaminación, de manera individualizada para cada isótopo, cuando se decida aplicar un proceso de descontaminación a cualquier sistema de la planta.

- El método es aplicable para la medida de un amplio número de geometrías tales como bidones, tanques, etc.
- Permite determinar, además de la actividad relativa, la actividad específica de cada isótopo presente en los circuitos medidos.
- Los procesos de medida se pueden realizar sin necesidad de que el personal involucrado tenga que permanecer en el lugar de la medida más del tiempo necesario para enfocar el detector. El manejo del espectrómetro se realiza desde zonas de baja tasa de dosis, a través de un ordenador portátil.

REFERENCIAS

- 1- "Determinación de la Deposición Superficial de Radionucleidos en Tuberías". R. Coello, B. Rugama, F. Legarda, M. Herranz, R. Idoeta. XX Reunión Anual de la Sociedad Nuclear Española. Córdoba 1.994.
- 2- "Gamma Spectroscopy with Collimated Detector Including Self-Attenuation and Collimator Edge Penetration Effects". F. Legarda, et al, 6 Intul Symp. on Radiation Physics. Rabat 1.994.