

06.78.04



COMISION INTERAMERICANA DE ENERGIA NUCLEAR Y
COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA DE LA REPUBLICA ARGENTINA



**CURSO LATINOAMERICANO DE INGENIERIA NUCLEAR
ORIENTADO A LA CAPACITACION BASICA PARA LA
IMPLEMENTACION DE PROGRAMAS NUCLEOELECTRICOS**

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1978

CNEA AC- 63/78.

TECNICAS DE PROTECCION CONTRA LA RADIACION EXTERNA

Prof.: Ing. A.L. BIAGGIO.

BUENOS AIRES - ARGENTINA.

OCTUBRE - 1978

1- INTRODUCCION

El conjunto de técnicas de protección contra la radiación externa tiene por objeto reducir la dosis de radiación por irradiación externa de las personas, y en algunos casos de materiales, de manera de mantener dichas dosis por debajo de límites pre-establecidos.

Si se analiza la expresión para dosis absorbida en función del tiempo presentada en la disertación sobre Fundamentos de Radiodosimetría y que se repite a continuación:

$$D = \int_0^t \dot{D} dt$$

ó, utilizando la magnitud dosis equivalente:

$$H = \int_0^t \dot{H} dt \quad \text{donde } \dot{H} = \dot{D} \cdot Q$$

surge en forma evidente que existen dos procedimientos fundamentales para reducir la dosis por irradiación externa:

- a) reducción del tiempo de exposición.
- b) reducción de la tasa de dosis.

2- REDUCCION DEL TIEMPO DE EXPOSICION:

Para la mayoría de las instalaciones y en la mayoría de las prácticas la variable tiempo está vinculada en forma mas o menos lineal con la dosis por irradiación externa. Actuando sobre esta variable puede por lo tanto esperarse una reducción de la dosis directamente proporcional a la reducción del tiempo de exposición que se obtenga.

Evidentemente la reducción del tiempo de exposición debe ser com-

patible con la correcta realización de las operaciones necesarias para el buen funcionamiento de la instalación. Con esta acotación queda claro que la aplicación de este principio está limitada en la práctica a aquellas operaciones no rutinarias que deban realizarse en zonas de altas tasas de dosis.

Como ejemplo se citan las operaciones de mantenimiento o reparación de sistemas "calientes" de instalaciones nucleares. Una adecuada y correcta planificación de las tareas permitirá su realización en el menor tiempo posible con la consiguiente reducción de la dosis del personal.

Si se profundiza un poco más puede apreciarse que este principio condiciona los diseños de los componentes y sistemas "calientes". En efecto, dichos diseños deben prever una fácil y rápida reparación o mantenimiento y debe analizarse su concepción para lograr que, sin menoscabar su funcionalidad, permitan una mecánica sencilla y rápida de ejecución de tareas de reparación o mantenimiento.

Lamentablemente el no tener en cuenta en algunos casos este principio ha llevado a que en muchas instalaciones nucleares se deba rotar al personal que realiza ciertas tareas de mantenimiento con el objeto de respetar los límites de dosis individuales.

Al respecto cabe destacar que si bien tal técnica mantiene bajo control los riesgos individuales no modifica el detrimento del personal en su conjunto. El detrimento de la salud del personal es función de la dosis equivalente colectiva y esta no se reduce en lo más mínimo por el sistema de rotación; por el contrario la dosis equivalente colectiva tiende a aumentar debido al incremento de tiempos de aproximación y alejamiento, al problema de falta de entrenamiento de algunas personas que intervienen en la "ronda" , etc.

En la rutina de operación de una instalación se suele perder la noción de la importancia de la variable tiempo en la dosis del personal. Así, cuando el monitoraje de áreas indica que la tasa de dosis se ha duplicado, con respecto a valores normales históricos, este es un indicador de anomalías en la operación. De ninguna manera implica que se van a superar los límites individuales de dosis o a modificar sustancialmente la dosis colectiva, simplemente indica que de no tomarse medidas correctivas, el personal recibirá en 6 meses la dosis que antes recibía en 12 meses.

Con esto no se quiere indicar que no son necesarias las medidas correctivas sino que si las mismas requieren, por ejemplo, 24 hs de tiempo de realización, el personal puede seguir trabajando normalmente durante

ese período. La importancia de la modificación de la tasa de dosis radica en que es un indicador de que "algo anda mal" y lo urgente es averiguar las causas de tal modificación.

En otros casos se aprecia una reticencia del personal a realizar tareas en zonas de alta tasa de dosis independientemente de la duración de las mismas. Se observa que personas que no tienen inconvenientes en trabajar 1.000 ó 2.000 hs. por año en puestos con tasa de dosis del orden de 2×10^{-2} mSv/h (2 mrem/h) se resiste a realizar una operación sencilla de uno o dos minutos de duración en zona con tasa de dosis de 10^{-2} Sv/h (1rem/h). Un simple cálculo matemático demuestra lo ilógico de tal posición.

3 - REDUCCION DE LA TASA DE DOSIS:

La reducción de la tasa de dosis por irradiación externa puede lograrse por diferentes procedimientos; reducción de la actividad de la fuente, aumento de la distancia de trabajo o uso de sistemas blindantes.

3.1. Reducción de la Actividad de la Fuente:

Puede lograrse por dos vías; decaimiento físico del material radiactivo o eliminación parcial o total de dicho material.

3.1.1 Decaimiento Físico:

Es un procedimiento común cuando radionucleidos de períodos de semidesintegración muy cortos contribuyen en forma significativa a la tasa de dosis.

En esencia consiste en dejar pasar algún tiempo (equivalente a varios períodos de semidesintegración) antes de iniciar las tareas sobre el sistema o componente en cuestión. Comúnmente se dice que se deja "enfriar" el sistema o componente.

En general en cualquier parte o equipo donde se encuentran mezclas de radionucleidos de períodos de semidesintegración cortos, medianos y largos la tasa de dosis variará en el tiempo en forma sustancial en los primeros momentos.

La variación será cada vez menos notable a medida que la contribución a la tasa de dosis de los radionucleídos de período de semi-desintegración largo se va haciendo mayoritaria.

3.1.2 Eliminación del Material Radiactivo :

Consiste esencialmente en trasladar el material radiactivo contenido en el sistema o en decontaminar el mismo o en ambos procesos.

La reducción de la tasa de dosis será función de la reducción que se obtenga del contenido radiactivo.

Es un procedimiento bastante común previo a la reparación de bombas, válvulas, etc. de sistemas "calientes". En reactores nucleares se combina en forma natural con el proceso de decaimiento físico puesto que los radionucleídos de período de decaimiento muy corto decaen notablemente en el tiempo que lleva la operación de decontaminación.

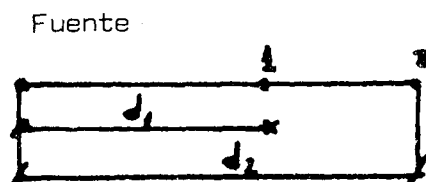
3.2. Aumento de la Distancia Punto-Fuente:

El aumento de la distancia a la fuente de irradiación se traduce en una reducción de la densidad de flujo de energía y, por consiguiente, de la tasa de dosis.

El fenómeno es particularmente notable cuando se tienen geometrías puntuales, es decir cuando las distancias punto-fuentes son sensiblemente mayores que las dimensiones de la fuente.

En condiciones de geometría puntual se cumple exactamente la ley de inversas de los cuadrados de las distancias que matemáticamente se expresa:

$$\frac{\dot{D}^{(1)}}{\dot{D}^{(2)}} = \frac{\dot{H}^{(1)}}{\dot{H}^{(2)}} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$



De acuerdo a esta ley cuando se duplica la distancia a la fuente la tasa de dosis se reduce a la cuarta parte.

Cuando la distancia punto-fuente es comparable a las dimensiones de la fuente esta ley no se cumple. El factor de reducción depende de la geometría y tiende a ser lineal con la distancia.

3.3 Blindajes.

Se denomina blindaje a todo sistema destinado a la atenuación de un campo de radiación por interposición de un medio material.

3.3.1 Partículas β :

Dado su alcance finito puede reducirse a cero la densidad de flujo de partículas β si se interpone un material de espesor mayor o igual al alcance de la partícula β mas energética en dicho material.

Para materiales de número atómico bajo se cumple que:

$$R_a \rho_a = R_b \rho_b$$

donde: R_a : alcance en el material a

R_b : alcance en el material b

ρ_a : densidad del material a

ρ_b : densidad del material b

Con la expresión (I) puede calcularse el espesor necesario de cualquier material (R_b) si se conoce su densidad (ρ_b) y se dispone de cualquier gráfica de alcance vs. energía en otro material de densidad dada (ρ_a).

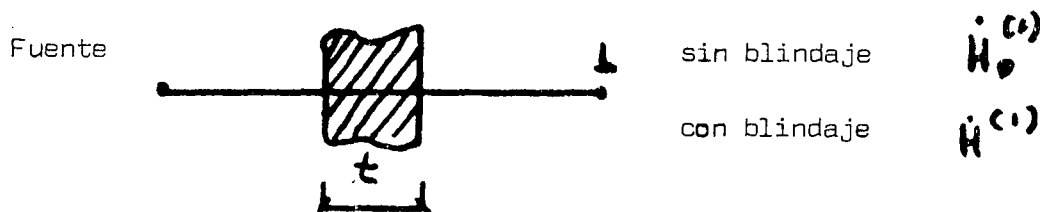
3.3.2 Radiación Indirectamente Ionizante ($R_x; \gamma; \eta$).

La atenuación de un haz de radiación indirectamente ionizante

en un material sigue con bastante aproximación una ley exponencial negativa.

Si en el punto 1 del esquema se tiene una tasa de dosis equivalente $\dot{H}_0^{(1)}$ cuando no hay ningún blindaje interpuesto, al interponer un blindaje de espesor t la tasa de dosis equivalente se reduce al valor $\dot{H}^{(1)}$ de acuerdo a la expresión:

$$\dot{H}^{(1)} = \dot{H}_0^{(1)} e^{-\mu x} \quad \text{II}$$



donde $\dot{H}^{(1)}$ y $\dot{H}_0^{(1)}$ son las tasas de dosis equivalentes con y sin blindaje interpuesto en el punto 1, e es la base de los logaritmos naturales, t el espesor de blindaje y μ un coeficiente llamado coeficiente de atenuación característico del material y que es función del tipo y energía de la radiación incidente. (Para neutrones suele denominarse sección eficaz total de remoción Σ e indicarse con la letra Σ).

La expresión (II) corresponde al llamado modelo de primera interacción. En la práctica debe corregirse para tener en cuenta el incremento de la tasa de dosis equivalente debido a la dispersión y reenfoque de la radiación secundaria producida en el blindaje. A tal efecto se utiliza un factor (B), llamado factor de multiplicación, que tiene en cuenta el fenómeno descripto.

El factor B, mayor que 1, es función de la geometría de irradiación, del espesor y tipo de material blindante y de la energía y tipo de radiación incidente.

La expresión corregida es:

$$\dot{H}^{(1)} = \dot{H}_0^{(1)} e^{-\lambda t} B$$

Si se analiza la (III) puede apreciarse que:

- a) se necesita espesor de blindaje infinito para que la tasa de dosis emergente sea cero.
- b) lo expuesto en a) implica que debe establecerse a que tasa de dosis se desea llegar al interponer el blindaje. El valor, inferior a $\dot{H}_0$ será determinado en base a los criterios de protección radiológica cada aplicación.
- c) el cociente $\frac{\dot{H}^{(1)}}{\dot{H}_0} = e^{-\lambda x} B$, denominado factor de atenuación, es función del espesor de material a igualdad de todas las condiciones (geometría, tipo y energía de la radiación incidente y material blindante).
- d) Si se aumenta o reduce la potencia de la fuente, a igualdad de todas las demás condiciones, aumentará o se reducirá proporcionalmente $\dot{H}_0$ y $\dot{H}$.
- e) Si con cierto espesor t_1 se obtiene una tasa de dosis de salida $\dot{H}$ para reducir dicha tasa de dosis a la mitad no es necesario duplicar el espesor de blindaje.

3.3.3 Materiales Empleados como Blindaje:

La selección de los materiales empleados en un blindaje dependerá de condiciones técnicas y económicas.

Desde un punto de vista netamente técnico la eficiencia blindante de un material se evalúa a través del espesor necesario para lograr un dado factor de atenuación.

$$K = \frac{\dot{H}}{\dot{H}_0} = e^{-\lambda t} B$$

suele tomarse $K=0,1$ e indicarse los distintos espesores de diversos materiales que dan esa reducción, llamamos espesores de reducción a un décimo o capas **TVL** (por "tenth value layer").

3.3.3.1 Radiación α y γ :

La eficiencia relativa de distintos materiales varía con la energía de los fotones.

A bajas energías, donde prima el efecto fotoeléctrico, es notable la eficiencia de materiales de alto número atómico (plomo, uranio) con respecto a otros de bajo número atómico (hormigón, agua, tierra). Una situación similar se observa a altas energías (mas de 10 Mev) donde prima el efecto de formación de pares y tripletes.

Para energías intermedias, donde prima el efecto Compton, la eficiencia es aproximadamente función de la densidad del material.

Este último caso es el que se encuentra en reactores nucleares y justifica, si no hay razones de espacio, el empleo masivo de hormigón común.

El uso de agua no es recomendable por el costo de mantener el sistema y garantizar su nivel correcto en todo momento; la excepción a esta regla es el uso de agua con doble fin, uno de ellos blindaje y el otro, por ejemplo, un sistema de refrigeración de emergencia. En este caso se aprovecha la existencia del sistema de refrigeración de emergencia disponiendo el o los depósitos para que cumplan funciones de blindajes en la operación normal.

3.3.3.2 Radiación n :

Dado que el proceso principal de cesión de energía es la dispersión elástica y esta cesión es máxima cuando los blancos son protones la elección obvia es sustancias con alto contenido de hidrógeno. Sin embargo las sustancias hidrogenadas sólidas son combustibles y por lo tanto no se usan instalaciones nucleares como blindaje para neutrones porque incorporan un riesgo adicional.

Por lo expuesto en las instalaciones se opta por utilizar hormigón común. Este material tiene un contenido de hidrógeno aceptable y presenta la ventaja de ser un buen blindaje para radiación gamma. (Recordar que en un reactor nuclear se tiene, en operación, un campo mixto; neutrones y gamma. Después del corte se tiene un campo netamente gamma).