

RADSHI: PROGRAMA DE CALCULO DE BLINDAJE PARA FUENTES DE DIFERENTES GEOMETRIAS

Gelen, A.⁽¹⁾, Alvarez, I.⁽¹⁾, López, H.⁽²⁾, Manso, M.⁽³⁾

(1) Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares

(2) Centro de Investigaciones Nucleares.

(3) Centro de Isótopos

RESUMEN

El trabajo describe un programa de computación escrito en lenguaje Pascal, para máquinas compatibles con la IBM. Este calcula el espesor de blindaje óptimo en forma de placa plana para fuentes de diversas geometrías. Emplea el método del Kernel Puntual para la obtención de la densidad de flujo de radiación ionizante, tomando en consideración la posible autoabsorción en la fuente. Determina el valor de la tasa de Kerma en aire para radiación gamma y con el concepto de multiplicidad de debilitamiento obtiene el espesor de blindaje a través del Método de la longitud de atenuación equivalente considerando la dispersión y atenuación exponencial dentro del material de blindaje, el cual puede ser agua, hormigón, hierro y plomo. También efectúa el cálculo de blindaje para fuentes isotrópicas puntuales de neutrones en parafina, agua y hormigón.

INTRODUCCION

La difusión de las técnicas nucleares a todas las ramas de la economía nos han obligado a valernos de herramientas eficaces que nos permitan efectuar los cálculos de blindaje para la protección del personal expuesto a los efectos de las radiaciones ionizantes.

Este programa surgió para facilitar el trabajo de licenciamiento de una instalación, en la cual se manipularían fuentes de diversas geometrías, donde se conocía la tasa de Kerma a una distancia determinada y debíamos verificar los espesores de blindaje de proyecto.

El objetivo de este trabajo es obtener una herramienta que nos permita calcular espesores de blindaje para fuentes de diferentes geometrías y para diversos materiales de blindaje.

MATERIALES Y METODOS

Fuentes de radiación gamma.

Para el caso del cálculo de blindaje para fuentes de radiación gamma puntuales y de diferentes geometrías, se emplea el método de la multiplicidad de debilitamiento.

$$k = \frac{K}{K_{MP}} \quad (1)$$

Esta magnitud representa las veces que es necesario reducir la magnitud \dot{K} (la tasa de kerma sin blindaje) para que sea igual a \dot{K}_{MP} (tasa de kerma máxima permisible) [1].

Para la obtención de la tasa de Kerma en el caso de fuente isotrópica puntual [2] empleamos la siguiente expresión :

$$\dot{K} = \frac{\Gamma_{\delta} A}{r^2} \dots \dots \dots \left[\frac{mGy}{h} \right] \quad (2)$$

donde:

- A es la Actividad de la fuente [Bq],.
- Γ_{δ} es la constante Kerma del radionucleido [aGy m² /Bq s]
- y r es la distancia entre la fuente y el punto de detección [m].

En el caso de fuente puntual (según los datos de partida) y de fuentes de diferentes geometrías se emplea la siguiente expresión según [3]:

$$\dot{K} = \phi \cdot E \cdot \left(\frac{\mu_{tr}}{\rho} \right)_{aire} \dots \dots \dots \left[\frac{mGy}{h} \right] \quad (3)$$

donde:

- ϕ es la densidad de flujo de partículas [m⁻²s⁻¹],
- $\left(\mu_{tr} / \rho \right)_{aire}$ es el coeficiente másico de transferencia de energía en aire [m²kg⁻¹],
- ρ es la densidad del material de la fuente [kgm⁻³]
- y E es la energía de los cuantos gamma [MeV].

En el cálculo de los flujos de radiación ionizante para fuentes no puntuales se utiliza el Método del Kernel puntual partiendo de las intensidades lineal, superficial y volumétrica de la fuente [4-7]. Este es uno de los métodos más ampliamente utilizado para obtener una representación matemática sobre el efecto de la radiación, que es emitida por este tipo de fuente. En esta técnica se supone que la fuente consta de elementos diferenciales de fuentes isotrópicas puntuales y que el efecto producido por la fuente en el punto de interés se obtiene por integración .

El método empleado para la obtención del espesor de blindaje, es el de la longitud de atenuación equivalente [4,6]. Para aplicar este método se parte del concepto de multiplicidad de debilitamiento k,

$$k = \frac{e^{\mu \cdot x}}{B(Z, E, \mu x)} \quad (4)$$

donde:

- μ es el coeficiente de atenuación lineal del material del blindaje [m⁻¹].
- E es la energía de los cuantos gamma [MeV].
- x es el espesor del material de blindaje [m].
- Z es el número atómico del material de blindaje
- y B es el factor de acumulación de kerma.

En el método de la longitud de atenuación equivalente, en una primera aproximación se considera el factor de acumulación igual a 1. Siendo :

$$\mu_x = \ln k \quad (5)$$

Con μ_x , (recorrido libre medio) se determina el factor de acumulación en la fórmula de Taylor [2,4,5,7] y este valor se sustituye en la expresión (5). Este procedimiento se repite hasta que la diferencia entre dos factores de acumulación consecutivos sea $1 \cdot 10^{-5}$. Con el valor de μ_x obtenido y el coeficiente de atenuación lineal en el material de blindaje para la energía de los cuantos gamma se determina el espesor necesario de material.

En el caso de fuentes puntuales pueden emplearse una o varias fuentes, que pueden ser o no monoenergéticas y obtener el espesor de blindaje a partir del método de las líneas concurrentes [2].

Fuentes de radiación neutrónica.

En el cálculo de blindaje para fuentes neutrónicas se utiliza igualmente el concepto de multiplicidad de debilitamiento, pero las magnitudes relacionadas son la tasa de dosis equivalente en el punto de interés sin blindaje \dot{H} y la tasa de dosis equivalente máxima permisible \dot{H}_{MP} en dicho punto [1]. Para la obtención de la densidad de flujo de radiación neutrónica se parte de la emisión de la fuente y de la distancia de ella al punto de detección. A partir de los valores tabulados para fuentes puntuales típicas de neutrones de los factores de conversión de fluencia media de neutrones a dosis equivalente [8] se obtiene el valor de tasa de dosis equivalente \dot{H} . El espesor de blindaje se obtiene a partir del cálculo de la capa de semiabsorción y la sección eficaz macroscópica de remoción del material de blindaje en materiales típicos empleados para dicha radiación.

RESULTADOS Y DISCUSION

A partir del método matemático anteriormente descrito se obtuvo un algoritmo de cálculo para la estimación del espesor de un blindaje en forma de capa plana tanto para fuentes de radiación gamma de diversas geometrías como puntuales de radiación neutrónica; este es resuelto de forma rápida con un máximo de 30 segundos en función del tipo de integral que se resuelva.

En este programa se solicitan diferentes datos, los que son descritos junto a las unidades en que se trabaja, en el manual del usuario [9].

El programa es interactivo, dando la posibilidad de escoger el tipo de radiación que emite la fuente y la forma geométrica de esta, que puede ser puntual gamma o neutrónica y además gamma de las siguientes geometrías: lineal (con el punto de detección en la dirección axial o lateral), disco, cilíndrica y rectangular (fuentes superficiales) y cilíndrica en dirección axial y lateral y seminfinita (fuentes volumétricas), así como dimensiones de la fuente, distancia y posición del punto de detección.

En el caso de fuentes isotrópicas puntuales de radiación gamma, se puede trabajar con la actividad de una o varias fuentes las cuales pueden ser escogidas entre 10 fuentes típicas

puntuales de radiación gamma: ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{226}Ra , ^{125}I , ^{131}I , $^{113\text{m}}\text{In}$, ^{203}Hg , ^{54}Mn , ^{22}Na . También se puede emplear la emisión de la fuente para obtener la densidad de flujo y emplear la expresión (3), introduciendo su energía.

Si la fuente tiene otra geometría debe ser introducido el valor de intensidad lineal, superficial o volumétrica según sea el caso. Para fuente de radiación neutrónica, debe conocerse su emisión y podrá escogerse entre cuatro fuentes típicas de neutrones : Pu-Be, Am-B, Am-Be, ^{252}Cf .

En el programa se escoge o se introduce el valor de tasa de Kerma (radiación gamma) o de tasa de dosis equivalente (radiación neutrónica) permisibles según sea el caso.

Finalmente si es necesario un espesor de blindaje, se tienen para radiación gamma cuatro posibles materiales : agua, hormigón, hierro y plomo y para radiación neutrónica tres: agua, hormigón y parafina .

Como resultado el programa da el valor de densidad de flujo de partículas, la tasa de kerma o de dosis equivalente obtenida y la permisible, el valor de la multiplicidad de debilitamiento y el espesor de blindaje requerido para el material dado.

Contiene los datos necesarios para el cálculo del factor de acumulación por la fórmula de Taylor, en un intervalo energético de 0.5 a 10 MeV, el coeficiente de atenuación lineal y másico para el agua, hierro, plomo y hormigón, empleando estos materiales como fuente si hay autoabsorción en ella o como blindaje, y el coeficiente de entrega de energía en el intervalo antes mencionado para el aire; así como las secciones eficaces macroscópicas de remoción de los neutrones para agua, parafina y hormigón y los factores de conversión de fluencia media de neutrones a dosis equivalente para cada fuente de neutrones [2,8].

Para la determinación de los flujos de radiación ionizante debidos a fuentes de diferentes geometrías este programa resuelve internamente integrales simples, dobles y triples según la expresión del flujo, para esto utiliza el Método de Romberg Shoup [10], estas integrales se compararon con los resultados que aparecen tabulados en [4] obteniéndose valores similares con un coeficiente de correlación de más del 99 %.

Los resultados obtenidos por este programa se verificaron con los reportados por el proyecto técnico de la instalación a licenciar [11], observándose una correlación de 98%. Estos a su vez se compararon con los obtenidos en el MSFIELD [12], que es un programa de cálculo de Tasa de Exposición para un espesor de blindaje conocido. Las diferencias observadas entre ambos códigos fluctúan entre un 5 y 20 %. Su comparación se hace difícil debido a que cada uno tiene objetivos finales, condiciones iniciales y biblioteca de constantes nucleares diferentes.

En la Fig. 1 se muestran algunos de los resultados de los cálculos de espesores en el RADSHI contra espesores obtenidos para las mismas Tasas de Dosis en el MSFIELD para geometrías lineal y cilíndrica con el punto de detección en la dirección lateral y empleando hierro (Fig 1.a) y plomo (Fig 1.b) como materiales de blindaje, en cada caso se obtuvo un coeficiente de correlación del 99% y un buen ajuste por el test de Student [13].

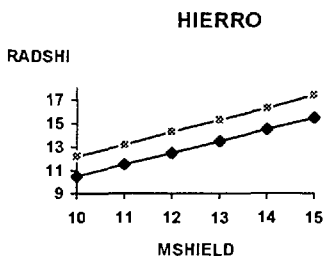


Figura 1a

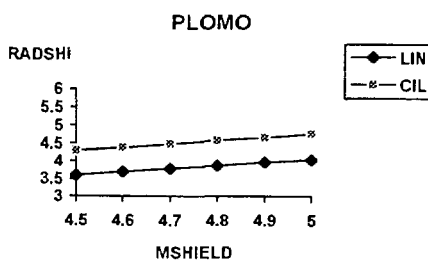


Figura 1b

Figura 1. Espesores del RADSHI contra espesores del MSHIELD (cm).

a) Hierro b) Plomo

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se obtuvo una importante herramienta de cálculo, que permite evaluar con un mayor rigor científico y a su vez de forma rápida, el valor de la tasa de Kerma y de espesor de blindaje, lo que puede ser empleado en la determinación y verificación de blindajes tanto de paredes protectoras, contenedores de fuentes radiactivas, como de locales de almacenamiento. De hecho este programa ha sido empleado con estos fines en diversas tareas.

Es recomendable continuar trabajando en el perfeccionamiento del programa con vista a añadir nuevas geometrías, otros materiales de blindaje y fuentes de radiación tanto gamma como neutrónicas y tener en cuenta la actualización de las constantes nucleares que aparecen en el trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGIA ATOMICA. Normas Básicas Internacionales de Seguridad para la Protección contra la Radiación Ionizante y para la Seguridad de las Fuentes de Radiación. (mayo/1994).
- [2] GOLUBIEV, B. P., Dosimetría y Protección contra radiaciones ionizantes, Energoatomizdat, Moscú, (1986).
- [3] GREENING, J.R. Fundamentals of Radiation Dosimetry, Adam Hilger, Ltd, (1981)
- [4] JAEGER, R.E., Engineering Compendium on Radiation Shielding, Vol I, International Atomic Energy Agency, Vienna, (1968).
- [5] WOOD, J., Computational methods in reactor shielding, primera edición, Pergamon Press, (1982).
- [6] GUSEV, N. G. Blindaje contra radiaciones ionizantes. Tomo 1. Atomizdat, (1980).
- [7] LAMARSH, J.R., Introduction to nuclear engineering, segunda edición, Addison-Wesley Publishing Company Inc, Massachusetts, (1980).
- [8] Radiation Protection Dosimetry, Vol 10, No 1-4, p43-52, (1985).
- [9] GELEN, A, ALVAREZ, I. Manual del usuario del programa RADSHI.
- [10] SUAREZ, M., Matematica Numerica, Editorial Pueblo y Educación, primera edición, Ciudad Habana, (1980).
- [11] CENTRO DE INVESTIGACIONES NUCLEARES. Proyecto Técnico. Almacen de Desechos Radiactivos.
- [12] MSHIELD 3.12, (1987),.
- [13] BRASIER 2.0, SEAN, (1992).

ABSTRACT

RADSHI describes a computer code written in Pascal language for IBM/PC. The program calculates the optimum thickness of slab shield for different geometries sources. It uses the Point Kernel Method for the obtention of the ionizing radiation flux density. The calculation takes into account the possibility of selfabsortion in the source. It determines the air kerma rate for gamma radiation and with the concept of attenuation rate through the equivalent attenuation length the shield thickness is obtained, the scattering and the exponential attenuation inside the shield material is considered in the program. The shield materials can be concrete, water, iron or lead. Besides it calculates the shield for point isotropic neutron source using as shield materials paraffin, concrete or water.