

00576  
1971  
Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

División de Estudios Superiores



CALCULO DEL INDICE DE EXPOSICION EN  
DIFERENTES PUNTOS DEL CUARTO DE IRRADIACION DE LA PLANTA DE ESTERILIZACION  
POR RADIACION GAMMA.

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS NUCLEARES  
P R E S E N T A:  
HECTOR CARRASCO ABREGO

MEXICO, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Lista de Cuadros.

	Pág.
I.- IE calculados en aire, en base a forma de la fuente....	32
II.- Factores geométricos para el cálculo de IE dentro del cuarto de irradiación (JS-6500 .....	33
IIa-IIb.- Factores geométricos para el cálculo del IE, para cualquier fuente rectangular.....	34,35
III.- Densidad; coeficientes de atenuación y absorción de distintos materiales para radiación de Co-60.....	36
IV.- Factores de decaimiento del Co-60.....	37
V.- Comparación de los IE calculados y experimentales en el cuarto de irradiación.....	38
VI.- Variación de los IE calculados y experimentales (X)....	39

Lista de Figuras

	Pág.
1.- Unidad de irradiación JS-6500 .....	40
2.- Lápiz C-188 .....	41
3.- Ensamble de la fuente de Co-60 (JS06500) .....	42
4.- Especificaciones del cuarto de irradiación.....	43
5.- Especificaciones de la piscina .....	44
6.- Movimiento de la fuente .....	45
7.- Ubicación de los puntos en el cuarto de irradiación para el cálculo del IE .....	46
8.- Tipos de fuente radiactiva más usuales .....	47
9.- Diferencia encontrada en los factores geométricos en el E.C. on Rad. Shield) (9) y el calculado en el ININ .....	48
10.- Sistema electromecánico del JS-6500.....	49
11.- Factores de transmisión de rayos gamma de Co-60 en concreto ( $\rho = 2.355 \text{ g/cm}^3$ ).....	50

## C O N T E N I D O

RESUMEN .....	3
INTRODUCCION .....	4
FUENTE DE GAMMAS .....	6
CONSIDERACIONES GENERALES .....	9
CALCULOS .....	13
RESULTADOS .....	22
DISCUSION Y CONCLUSIONES .....	25
CUADROS Y FIGURAS.....	31
REFERENCIAS .....	51
ANEXO "A" .....	52
ANEXO "B" .....	58

## RESUMEN

Este trabajo se realizó utilizando como base el irradiador JS-6500, de la Atomic Energy of Canada Limited, instalado en el Centro Nuclear, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, con objeto de conocer la dosis o índice de exposición (IE) en las paredes interiores del cuarto de irradiación vacío, a partir de una fuente rectangular, formada por "lápices" de Co-60, y estimar a partir de los IE obtenidos si el espesor de las paredes cumple con los requisitos de blindaje.

Se analizaron varios procedimientos de cálculo considerándose la fuente como puntual, lineal o rectangular, en aire sin blindaje, se obtuvieron resultados similares del IE, no importando el procedimiento utilizado, los que al compararse con los resultados experimentales se observaron diferencias significativas. Se modificó el procedimiento para fuente rectangular, integrando el efecto del blindaje por la propia fuente de acuerdo a la fórmula general:  $IE = K(E).E.\phi(E)$ .

Para facilitar los cálculos se empleó una computadora FDP-10 diseñándose diferentes programas, en la Gerencia de Informática, del mismo Instituto, los cuales fueron mejorándose para obtener los IE en cualquier punto dentro del cuarto de irradiación vacío, suministrándole datos del tipo de fuente (distribución, actividad), fecha en que se requiere obtener el IE, etc. Se obtuvieron resultados bastante aproximados a los experimentales. Se propone que el cálculo del IE de una fuente rectangular formada por lápices de Co-60 debe incluir, cuando menos, la absorción y el "buildup" de la propia fuente. Se concluye de los resultados obtenidos que las paredes del cuarto de irradiación si cumplen los requisitos de blindaje.

## INTRODUCCION

Se han encontrado diferentes procedimientos para calcular el índice de exposición (IE) de una fuente emisora de radiación. Por lo general, intervienen distintos parámetros como son: radioisótopo (elemento, vida media, tipo de radiación emitida, energía, etc.), forma, actividad, blindaje, etc. de la fuente radiactiva, así como las características de su localización.

Los cálculos de IE van desde considerar la fuente en base a su forma: a) PUNTUAL, b) LAPIZ, c) PLACA, hasta la REAL; en base al procedimiento de cálculo: 1) EMPIRICO O APROXIMADO, en el que no se toman en cuenta algunos parámetros, por lo cual se hace sencillo y más rápido y 2) INTEGRADO en el que se consideran los parámetros más importantes como: dispersión, retrodispersión, atenuación tanto el debido a la propia fuente como los de los materiales en donde se encuentra localizada, hasta los que consideran éstos y otros factores por lo que el cálculo se hace más complicado y por lo tanto requiere más tiempo.

En el caso del irradiador JS-6500, de la Atomic Energy of Canada Limited (AECL), instalado en el Centro Nuclear de Salazar, Edo. de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), base de este trabajo, se emplean, para el cálculo del IE, varios de estos procedimientos, en los que se toman en cuenta, principalmente, la forma y la localización de la fuente. Este cálculo servirá de base para estimar si la instalación cumple con los requisitos de seguridad radiológica, fundamentalmente en lo que se refiere a la atenuación de las paredes del cuarto de irradiación, así como calcular el IE en cualquier punto dentro del cuarto de irradiación, cuya información puede ser de utilidad en di-

versos campos que requieren el uso de la instalación JS-6500 o fuentes planas similares, emisoras de radiación ionizante ( $\gamma$ ).

La aplicación principal del JS-6500 es la esterilización de productos desechables de uso médico, como: jeringas, gasas, tapabocas, guantes, batas, etc. También se utiliza en diferentes procesos de química de radiaciones, por ejemplo, para iniciar procesos de polimerización o degradación de diferentes sustancias que requieren dosis altas de radiación gamma; en casos de requerirse dosis bajas se tienen los "loops" de investigación o se pueden colocar los equipos o aparatos, para los diferentes procesos, en lugares alejados de la fuente, en donde los niveles de radiación sean los adecuados.

En estos casos se puede utilizar el método de cálculo del IE propuesto ya que se puede estimar la dosis en cualquier punto dentro del cuarto de irradiación.



## FUENTE DE GAMMAS

Se denomina "fuente de gammas" a las instalaciones del irradiador JS-6500<sup>(1)</sup> que comprenden el edificio, los mecanismos de transportación del material a irradiar y los de seguridad, el irradiador (fuente), blindaje, etc., (Figura 1).

El isótopo radiactivo que utiliza el irradiador JS-6500 es Co-60,

Balas.- El Co-60 que fabrica la AECL es en forma de cilindros (balas), los cuales son encapsulados en aluminio, los más comunes son de dos tamaños, en mm, a) 1.0 x 1.0 y, b) 6.35 x 25.4 de diámetro por longitud respectivamente. Otras compañías o países lo fabrican en forma de láminas u otro tipo.

Cápsulas.- La AECL tiene diferentes modelos de recipientes (cápsulas), los cuales son tubos de acero inoxidable en cuyo interior va distinto número de balas, los modelos AC-195 y C-246 llevan 8 y 14 balas, con volúmenes activos, en mm, de 203.2 y 413.3 de longitud y 6.35 de diámetro, con longitud total de 209.6 y 420.9 respectivamente.

Lápices.- Dicha institución surte lápices con especificaciones muy diversas, las cuales dependen del tipo de irradiador, el JS-6500 utiliza lápices C-188, los cuales son tubos de acero inoxidable, de 0.635 mm de espesor, en cuyo interior se coloca una cápsula del tipo C-246 o dos del AC-195, sellan los extremos unos cabezales, unidos mediante soldadura. Las dimensiones totales, en mm, son: 451.5 de longitud por 9.66 de diámetro

tro, en el cuerpo del lápiz y de 11.1 de diámetro en los cabezales. La parte activa, en mm, es de 413.3 de longitud, incluyendo separadores de 6.9 x 6.35 de diámetro, en ambos casos, figura 2.

Módulos.- Los módulos son el soporte de los lápices cuyas dimensiones, en mm, son 495.3 de longitud, 476.3 de altura y 15.9 de ancho el espesor del material, acero inoxidable, es de 1.6. Estos módulos tienen capacidad para 52 lápices.

Bastidor.- El bastidor es el soporte de los módulos, tiene capacidad para 6, tres en la parte superior y tres en la inferior, sus dimensiones, en mm, son 1571.3 de longitud, 1371.6 de altura y 25.4 de ancho, el espesor del acero inoxidable es de 1.6. Por lo tanto la capacidad de este bastidor es de 252 lápices, (figura 3).

Actividad.- Ya que los lápices tienen especificaciones físicas similares, la diferencia radica, principalmente, en el contenido de cobalto radiactivo. La actividad específica de las balas puede variar de 3 a 360 Ci/g. Cada lápiz contiene aproximadamente 112 g de cobalto<sup>(6)</sup>. Por facilidad se agruparon los lápices con actividad similar, con lo que resultaron 12 actividades. Se indica con número romano el tipo de lápiz, entre el paréntesis la cantidad de lápices y a continuación la actividad en Ci; I(1)2780, II(12)2979, III(3)3138, IV(3)4545, V(7)4562, VI(10)4754, VII(3)5120, VIII(8)11183, IX(4)11365, X(1)11596, XI(38)12382 y XII(13)12580. Hacen un total de 103 lápices, con actividad total de 936,987 Ci de Cs-60 para el 1º de marzo de 1980.

Distribución.- Si se numeran los módulos del 1 al 6, los numerados con 2, 4 y 6 están situados de izquierda a derecha en la parte superior y los 1, 3 y 5 en igual forma en la parte inferior. En los módu-

los la colocación es, por lo general, entre dos lápices activos hay un "dummy" (una barra de acero inoxidable con dimensiones iguales a la de los lápices).

Los lápices más activos en los módulos centrales (3 y 4) cuya actividad total es de 261,408 y 261,210 Ci; en los módulos 1 y 2 (lado izquierdo) de 103,254 y 105,147 Ci, y los dos restantes 5 y 6 de 101,440 y 104,528 Ci, respectivamente.

Cuarto de irradiación..- En la parte exterior y superior del cuarto de irradiación se encuentra el mecanismo para mover la fuente; en el interior del mismo, los mecanismos de transportación del material por irradiar, de seguridad, ventilación (extracción), accesos, etc. Las dimensiones se indican en la figura 4.

Ubicación de la fuente..- Para facilitar la localización de la fuente y piscina (blindaje) se va a considerar la fuente, en posición de irradiación (arriba) como el centro geométrico. Las dimensiones de la fuente y su ubicación tanto en el cuarto de irradiación como en la piscina se encuentran en las figuras 5 y 6.

Localización de los puntos..- Los puntos en donde interesa realizar la evaluación del IE, toma como referencia también el centro geométrico de la fuente (CF), se identifican por un número, del 1 al 8, y entre paréntesis sus coordenadas en cm:  $N^{\circ}$  (x, y); puesto que el IE se va a calcular en el origen del eje Z, éste no se indica, figura 7.

Punto 1(-182,-214), 2(-182,0), 3(-182,396), 4(0,-350), 5(0,472), 6(244,-214), 7(244,0) y 8(244,396). Las distancias entre cada punto y el CF son: 281, 182, 435, 350, 472, 324, 244 y 465 cm, respectivamente.

## CONSIDERACIONES GENERALES

Dado que en los cálculos se van a considerar como parámetros: la forma (geometría), las especificaciones, así como la ubicación de la fuente; por lo que respecta al más importante, a la geometría, se tratará como fuente puntual, lineal (lápiz) y superficial que son las empleadas comúnmente.<sup>(223)</sup>

Fuente puntual.- Se considera una fuente puntual como la confinada en un volumen cuyas dimensiones son pequeñas comparadas con la distancia entre la fuente y el punto en el que se quiere medir el IE (campo de radiación) y pequeño con la longitud o espesor del material de atenuación, de la propia fuente, a través de la cual pasa la radiación. En los cálculos el volumen se toma como una diferencial de volumen. Una fuente puntual emite radiación sobre un ángulo  $4\pi$  (isotrópicamente).

Fuente lineal.- Si el material radiactivo está confinado en una región cercana a la línea, con dimensiones transversales (diámetro o espesor) pequeñas comparadas con la distancia entre el punto emisor (fuente) y el detector (campo o punto en donde se requiere medir el IE), así como con la longitud del material de atenuación de la propia fuente (autoabsorción), se considera como fuente lineal.

Fuente superficial.- Si el material radiactivo está distribuido en una región delgada, superficial o plana, cuyo espesor es menor a la distancia que hay entre el punto emisor y el detector, igualmente con respecto a la autoabsorción, la fuente radiactiva se considera como superficial, figura 8.

Por otra parte, se debe conocer si entre el punto emisor y el detector hay material que atenúe o incremente, en cierto grado, el flujo de

radiación, factor de dispersión o buildup ("B"). Un criterio es calcular cuántos pases libre medio ( $\lambda$ ) hay entre esos puntos. Un paso libre medio se considera como el inverso del coeficiente de atenuación lineal, en  $\text{cm}^{-1}$ , del material que sirve de blindaje. Cuando existe material de atenuación entre el punto emisor y el detector se ve afectado el IE según la expresión siguiente:

$$I = BI_0 e^{-\mu d} \quad (1)$$

En donde:

$I, I_0$  = Índice de exposición después y antes de atravesar el blindaje respectivamente, (R/h).

B = Factor de dispersión o buildup.

$\mu$  = Coeficiente de atenuación lineal, ( $\text{cm}^{-1}$ ).

d = Espesor del blindaje, (cm)

$e^{-\mu d} = e^{-b}$  = Factor de atenuación.

Para ciertos cálculos, en donde el IE es aproximado, se puede seguir el siguiente criterio:

- a) Si "d" es menor que " $\lambda$ ", no es necesario utilizar "B" en la ecuación (1).
- b) Si "d" es mayor que " $\lambda$ ", sí debe utilizarse "B"

Sin embargo, es conveniente tomar en cuenta este factor ya que influye de manera significativa en el cálculo del IE.

Por otra parte, cuando la relación del radio entre la longitud de una fuente cilíndrica es menor que 1/15, puede ser considerada como fuente lineal de la longitud correspondiente. Para relaciones mayores a 1/15 debe aplicarse la corrección para compensar el efecto de atenuación

de la propia fuente, autoabsorción, buildup y factores geométricos. Cuando se emplea una computadora es posible dividir una fuente lineal o plana en fuentes puntuales, lo cual, con el programa adecuado, permite hacer f3cil y r3pidamente los c3lculos para cualquier punto<sup>(2,3,5)</sup>.

Fuente.- Los l3pices tienen en su interior Co-60, cuya vida media es de 5.261 a3os, en su desintegraci3n emite dos fotones con energ3as de 1.17 y 1.33 MeV. Para facilitar los c3lculos se emplea la energ3a promedio: 1.25 MeV. La actividad real de la fuente es de 936,987 Ci el primer o de marzo de 1980 en 103 l3pices, en los ejemplos se emplear3  $1 \times 10^6$  Ci. La ubicaci3n de la fuente es dentro del cuarto de irradiaci3n, este se considerar3 vac3o y como referencia se tomar3 el centro geom3trico de la fuente.

Blindaje.- Dado que el cuarto se considera vac3o, el material que sirve de atenuaci3n es el aire y puesto que la distancia entre los puntos emisores y detectores son relativamente cortos, el factor de atenuaci3n  $e^{-\mu d}$ , ser3 igual a la unidad. Para el caso de otros materiales se tomar3 en cuenta el coeficiente de atenuaci3n lineal ( $\mu$ ) y el espesor correspondiente ( $d$ ). El coeficiente de atenuaci3n lineal entre la densidad de un material dado, da el coeficiente de atenuaci3n m3sico. Al utilizar en ingenier3a el coeficiente de atenuaci3n lineal de un material, se puede considerar que es proporcional a su densidad. El espesor total " $d$ " en cm 3 equivalente incluye todos los espesores " $x$ " de los diferentes materiales que sirven de blindaje; el producto " $\mu d$  3  $b$ " expresa el espesor de blindaje total en unidades de peso libra medio (plm).

Dispersi3n.- Dado que el IE puede verse incrementado por el efecto de la dispersi3n o retrodispersi3n, debido al material de atenuaci3n y

por las paredes del cuarto de irradiación, en base a la fuente emisora, los resultados muestran que el incremento es muy bajo por lo cual no se tomarán en cuenta en los cálculos, como se explicará más adelante. (6a<sup>3</sup>)

## CALCULOS

1.- Para una fuente puntual isotrópica, se pueden emplear cualesquiera de las tres ecuaciones siguientes<sup>(2 a 4)</sup>.

$$D = S.F(G).r \dots \dots \dots (2)$$

$$D = S.K\gamma.K(r) \dots \dots \dots (3)$$

$$D = K(E).E.\phi(E) \dots \dots \dots (4)$$

En las que para el Co-60:

$K\gamma, \Gamma$  = Factor gamma:  $(1.32 \text{ R.m}^2/\text{h.Ci}) = 193.64 \text{ E.n.}\mu_a^*$

$E = 1.25 \text{ MeV/fotón (f)}$ .

$n = 2 \text{ f/desintegración}$ .

$\mu_a^*$  = Coeficiente de absorción másico:  $(0.0268 \text{ cm}^2/\text{g}) \text{ aire}$ .

$K(E)$  = Factor gamma:  $(1.793 \times 10^{-6} \text{ R.cm}^2.\text{n/h.MeV})$ .

$F(G), K(r)$  = Factor geométrico:  $B.e^{-b}.r^{-2} (\text{m}^{-2})$ .

$B$  = Factor de dispersión (Buildup).

$e^{-b}$  = Factor de atenuación.

$r$  = Distancia entre el punto emisor y el detector (m).

$\phi(E)$  = Flujo de radiación:  $S.B.e^{-b}/4\pi.r^2 (\text{f.cm}^{-2}.\text{s}^{-1})$ .

$S$  = Actividad (Ci o equivalente según el factor geométrico).

Por lo tanto las tres ecuaciones anteriores se reducen a la siguiente:

$$D = 1.32 S.r^{-2}(\text{R/h}) \dots \dots \dots (5)$$

Lo que indica que el IE es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el punto emisor y el detector, cuando no hay material de blindaje entre ellos.

Ejemplo: El cálculo para el punto N<sup>o</sup> 1, se reduce a utilizar la ecuación (5), en donde  $S = 10^6 \text{ Ci}$ ;  $r = 2.81 \text{ m}$ ;  $r^2 = 7.896 \text{ m}^2$ ;



$$D = 1.32 \times 10^6 / 7.896 = 0.167 \times 10^6 \text{ R/h}$$

II.- Considerando una fuente lineal (lápiz) el IE se va a calcular a la mitad de la altura del lápiz, se pueden emplear cualesquiera de las tres ecuaciones espaldas para la fuente puntual, en las que los factores que varían son:

$S_L$  = Actividad por unidad de longitud (Ci/m o equivalente).

$\phi(E)$  = Flujo de fotones  $S_L \cdot F(\theta, b) / 2\pi \cdot a$ : (f/cm.seg)... (6)

$\theta$  = Angulo formado por la perpendicular del punto detector al emisor (fuente): (a) y la altura de la fuente lineal: (L).

$F(\theta, b)$  = Factor geométrico en función del ángulo  $\theta$ , en grados, y b, número de plm del blindaje, que en este caso tiene un valor muy próximo a cero. Esta función se denomina "Integral de Sievert", la cual se puede representar en tablas o gráficas.

Para cálculos aproximados se puede seguir el criterio de que:

a).- para  $b > 0$  y  $\theta < 5^\circ$  :  $F(\theta, b) = \theta e^{-b}$ ,  $\theta$  = radianes

b).- para  $b > 10$   $\theta = \pi/2$ :  $F(\theta, b) = 1.2 e^{-b}/b^2$

Ejemplo: Si la actividad total es de  $10^6$  Ci y si ésta estuviera distribuida en un lápiz, de 450 mm de longitud y 10 mm de diámetro (fuente lineal), para el punto N<sup>o</sup> 2 se tiene que:

$$S_L = 2.2222 \times 10^6 \text{ Ci/m} = 1.6444 \times 10^{15} \text{ f/cm.seg}$$

$$\theta = 13.89^\circ = 0.2473 \text{ radianes} \quad 1^\circ = 0.017453 \text{ radianes}$$

1).- Empleando las ecuaciones (2 ó 3):

$$FG = \theta/a \quad a = 1.82 \text{ m}$$

$$D = 2.2222 \times 10^6 \times 1.32 \times \frac{0.2473}{1.82} = 0.3986 \times 10^6 \text{ R/h}$$

2).- Empleando las ecuaciones (4 y 6):

$$K(E) = 1.793 \times 10^{-6} \text{ R.cm}^2.\text{s/h.MeV}$$

$$E = 1.25 \text{ MeV} \quad L = 0.45 \text{ m}$$

$$a = 1.82 \text{ m} \quad \theta = 13.89^\circ$$

$$b = 0 \quad F(\theta, b) = 0.25$$

$$D = 1.793 \times 10^{-6} \times 1.25 \times 1.6444 \times 10^{15} \times \frac{0.25}{4\pi \times 182}$$

$$D = 0.403 \times 10^6 \text{ R/h}$$

III.- Cuando se trata de una fuente plana, igual que en los casos anteriores, el IE se calcula en los puntos situados a la altura del centro geométrico de la fuente, por lo que, para los puntos 4 y 5 que se ubican frente a los costados, se considerará, para dicho cálculo, como una fuente lineal, para los seis puntos restantes como fuente plana, en la que se analizarán dos métodos.

III A).- Tomando en cuenta una fuente constituida por una placa uniforme en la que se utilizan los factores: Largo (L), ancho o altura (H) y grueso o espesor (E) de la fuente; en esta ocasión dado que (E) es menor de 10 mm, no se tomará en cuenta y por lo tanto tampoco la autoabsorción. El IE se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$D = \Gamma \cdot S_A \cdot FI \quad \dots (7)$$

en donde,

$$S_A = \text{Actividad de la fuente por unidad de área: } S/HL \text{ (Ci/m}^2\text{)}.$$

S y  $\Gamma$  Ya fueron identificadas en la fuente puntual.

$$H = \text{Altura de la fuente plana (0.9 m)}.$$

L = Longitud de la fuente plana (1.5 m).

FI = Factor geométrico, en este caso también depende de la posición relativa entre la fuente y el punto detector. Para de terminar este factor se emplea una integral en la que inter vienen H, L y r. La distancia "r" o su proyección (perpendicular) a la fuente plana "a". FI se calcula en función de "m y n", cuya relación con los parámetros anteriores es:

$$m = L/a \quad n = H/L \quad a = y/L \quad \text{a partir de la siguiente ecuación:}$$

$$\psi(m,n) = \int_0^H \int_0^L \frac{dx \, dy}{x^2 + y^2 + z^2} \quad \dots \quad (8)$$

y de ésta se obtiene la fórmula (9):

$$\psi(m,n) = \int_0^n \frac{m}{(1+m^2 a^2)^{1/2}} \arctan \frac{m}{(1+m^2 a^2)^{1/2}} da \dots (9)$$

Dado que esta ecuación se resuelve por integración numérica, se requiere del empleo de una computadora. Para obtener los datos correspondientes a una fuente, con características determinadas y el punto detector. Para facilitar los cálculos se empleó la computadora PDT-10, del ININ, mediante el programa correspondiente, que incluye el factor FI, se obtiene el IE para un punto dado. Con los valores de  $\psi(m,n)$  se pueden trazar gráficas o tablas. En gráfica los valores pueden variar hasta un 20%. Se hace notar que los valores de  $\psi(m,n)$  obtenidos en la PDT-10 difieren bastante de los que están reportados, en la gráfica 6.3.-5 de la página 369, en Engineering Compendium<sup>(6)</sup>, figura 9.

Para obtener el valor del factor geométrico para una fuente plana FI, de la fórmula (7), en base a  $\psi(m,n)$ , se presentan varios casos,

cuando el punto detector se encuentra frente a la fuente plana y que relacionados o pudiendo considerarse similares se reducen a 3, los cuales se indican en la figura 8 (A, B y C) en las que H y L representan las dimensiones de los lados de la fuente o del espacio correspondiente y "a" la distancia perpendicular del punto de detección a la fuente.

Las superficies de la fuente o del espacio pueden ser iguales o diferentes y el procedimiento para el cálculo de FI se generaliza restando al flujo total relativo a las dimensiones totales (la de la fuente plana más el (los) espacio(s) correspondientes) el flujo ( $\Phi(m,n)$ ) debido al (a los) espacio(s).

Caso A).- Si el punto detector se localiza en una posición tal que su proyección (perpendicular) al plano de la fuente coincide con uno de los vértices, los valores de  $\underline{m}$  y  $\underline{n}$  se obtienen en la forma siguiente:

$$m = L/a \quad \text{y} \quad n = H/L.$$

El valor de FI se obtiene directamente de  $\Phi(m,n)$ , en la fórmula (9).

Caso B).- Si la perpendicular del punto de detección al plano de la fuente cae dentro de éste, se considerarán cuatro fuentes planas cuyas superficies o lados pueden ser iguales o diferentes, dependiendo de la posición del punto de detección, por lo que, al generalizar este caso, los lados H y L tienen índices diferentes; por lo tanto los valores de  $\underline{m}$  y  $\underline{n}$  serán iguales o diferentes según las dimensiones de cada fuente:

$$\begin{array}{lll} m_1 = \frac{L_1}{a} & m_2 = \frac{L_2}{a} & n_{1,1} = \frac{H_1}{L_1} \\ n_{1,2} = \frac{H_1}{L_2} & n_{2,1} = \frac{H_2}{L_1} & n_{2,2} = \frac{H_2}{L_2} \end{array}$$

Con lo que FI se calcula en la forma siguiente:

1.- Si son iguales los valores de  $\underline{m}$  e iguales los valores de las  $\underline{n}$

(lo que indica que la proyección del punto detector coincide con el centro geométrico de la fuente) se utiliza cualesquier  $\underline{m}$  y  $\underline{n}$ :

$$FI = 4 \varphi(m_1, n_2, 2) \dots \quad (10)$$

2.- Si son diferentes los valores de las  $\underline{m}$  y los de las  $\underline{n}$ , se suman las contribuciones relativas a cada fuente:

$$FI = \varphi(m_1, n_1, 1) + \varphi(m_1, n_2, 1) + \varphi(m_2, n_1, 2) + \varphi(m_2, n_2, 2) \dots (11)$$

Caso C).- Si la perpendicular del punto detector al plano de la fuente cae fuera de éste, se extrapolan los lados de la fuente haciendo coincidir la perpendicular con uno de los vértices de la fuente extrapolada, considerándose ésta como la fuente total.

Para calcular el flujo debido a la fuente:  $\varphi(m, n)$  se le resta al flujo de la fuente total:  $\varphi(m_t, n_t)$  el correspondiente al espacio o a los espacios:  $\varphi(m_e, n_e)$  siguiendo el mismo criterio que en el caso B. Para obtener los valores de las  $\underline{m}_t$ ,  $\underline{n}_t$ ,  $\underline{m}_e$  y  $\underline{n}_e$  hay tres posibilidades:

1.- Si al realizar la proyección de la fuente ninguna de sus aristas ni sus ejes coincide con la perpendicular al plano de la fuente, se procede como sigue:

$$\begin{aligned} m_t = m_{e1,2} &= \frac{L_1 + L_2}{a} & m_{e1} &= \frac{L_1}{a} \\ n_t &= \frac{H_1 + H_2}{L_1 + L_2} & m_{e2,1} &= \frac{H_1 + H_2}{L_1} & m_{e2} &= \frac{H_2}{L_2} \\ n_{e2,2} &= \frac{H_2}{L_1 + L_2} \end{aligned}$$

El valor de  $\varphi(m, n) = FI$  se obtiene:

$$FI = \varphi(m_t, n_t) - \varphi(m_{e1}, n_{e2,1}) - \varphi(m_{e1,2}, n_{e2,2}) + \varphi(m_{e1}, n_{e2}) \dots (12)$$

2.- Si al realizar la extrapolación de la fuente una de sus aristas coincide con la perpendicular del punto de detección, se considerarán

dos fuentes, la real y la correspondiente al espacio:

$$nt = \frac{L1+L2}{a} \quad nt = \frac{H1}{L1+L2} \quad ne = \frac{L2}{a} \quad ne = \frac{H1}{L2}$$

De donde se calcula el valor de  $\Phi(m,n) = FI$ :

$$FI = \Phi(nt,nt) - \Phi(ne,ne) \dots \quad (13)$$

3.- Si la perpendicular coincide con la extrapolación de uno de los ejes de la fuente, se considerará la mitad de la fuente total en la que:

$$nt = \frac{L1 + L2}{a} \quad ne = \frac{L1}{a} - \frac{L2}{a} \quad nt = \frac{H1}{L1 + L2} = \frac{H2}{L1 + L2}$$

$$ne = \frac{H1}{L1} = \frac{H2}{L2}$$

por lo que para calcular el valor de  $FI = 2 \Phi(m,n)$  será:

$$FI = 2 (\Phi(nt,nt) - \Phi(ne,ne)) \dots \quad (14)$$

III B).- Considerando que la fuente plana está constituida por lápices con base a una distribución uniforme, de acuerdo al diseño del bastidor de la AECL, cuya actividad total sea de  $1 \times 10^6$  Ci y por lápiz de 3,968 Ci, utilizando la fórmula (3) para el caso de fuente lineal. Ya que en este caso son 252 lápices para facilitar los cálculos, de la contribución de cada uno, se emplea también la PDP-10, mediante los programas respectivos, dado que el punto emisor varía a lo largo de cada lápiz y por la posición de éste con respecto al punto detector.

Una vez que se obtuvieron los resultados del IE para cada tipo de fuente, empleando las fórmulas y métodos correspondientes, se procedió a mejorar el programa de cómputo para la fuente plana, ya que se ajusta a la geometría del irradiador JS-6500.

En este programa se consideraron:

a) Lápices, módulos y bastidor con dimensiones lo más cercanas a

las reales.

b) En el método de cálculo se pueden variar la fecha en que se quiere la dosis, distribución o actividad de los 252 lápices como se de see.

c) Se incluye el efecto de la autoabsorción y el buildup de la fuente. Aunque no se incluye el efecto de la retrodispersión por los pa redes del cuarto de irradiación, se realizó el cálculo independientemente por un programa de cómputo, el cual necesitó mucho tiempo de máquina por lo que se decidió no incluirlo.

d) Proporciona los resultados (IE): a) en aire, b) con atenuación y c) con atenuación más buildup.

Ejemplo, considerando una fuente plana (superficial), para el punto N<sup>o</sup> 2, se tiene:

A).- Fuente placa, de acuerdo a las ecuaciones (7 y 10):

$$\begin{aligned} \Gamma &= 1.32 \text{ R.m}^2/\text{h.Ci} & S &= 10^6 \text{ Ci} \\ H &= 0.90 \text{ m} & a &= 1.82 \text{ m} & L &= 1.50 \text{ m} \\ m &= 0.412 & n &= 0.60 \end{aligned}$$

De los datos obtenidos en la computadora se tiene:

$$\Phi(n,n) = 0.0948 \text{ por lo tanto FI} = 0.3792$$

los que al substituirse:

$$D = \frac{1.32 \times 10^6}{0.90 \times 1.50} \times 0.3792 \text{ se reduce a:}$$

$$d = \text{Factor} \times \text{FI} = 977,777.78 \times 0.3792 = 0.371 \times 10^6 \text{ R/h}$$

B).- Fuente constituida por 252 lápices, de acuerdo a la ecuación (3):

$$\begin{aligned} K(E) &= 1.8 \times 10^{-10} \text{ R.m}^2.\text{s}/\text{h.MeV} \\ E &= 1.25 \text{ MeV/f} & S &= 1 \times 10^6 \text{ Ci} \\ N &= 252 \text{ lápices} & L &= 0.45 \text{ m} \end{aligned}$$

$$I \text{ Ci de Co-60} = 7.4 \times 10^{10} \text{ f/s}$$

$$S_L = S/N.L = 6.52557 \times 10^{14} \text{ f/m.n}$$

$$D = (K(E).E.S_L/4\pi). \text{ Integral de dFI}$$

$$D = \text{Factor} \times I(\text{dFI}) \quad \text{dFI} = d(L/r^2)$$

$$D = 11,683.99 \times I(\text{dFI})$$

A partir de estos datos, el IE obtenido en la computadora por los 252 lípices (Total) es de  $0.368 \times 10^6$  R/h.



## RESULTADOS

Los resultados del cálculo del IE, en el aire, para los ocho puntos dentro del cuarto de irradiación, empleando los tres tipos de fuentes se indican en el cuadro I, en las que la actividad de las mismas era de 936,987 Ci el primero de marzo de 1980. Para la fuente plana rectangular, se emplean los valores de  $\Phi(n, a)$  que se encuentran en el cuadro II, se indican otros valores para fuentes rectangulares en los cuadros IIA y IIB.

Una vez que se obtuvieron los resultados anteriores se procedió a optimar el programa de cómputo para la fuente plana ya que es de este tipo la del irradiador JS-6500. En este programa se tomaron en cuenta los siguientes parámetros:

- 1.- Fuente: a).- Geometría, la más cercana a la real.  
b).- Distribución, la fuente ideal está constituida por 252 lápices iguales (homogénea); la fuente real constituida por 103 lápices de actividad diferente (heterogénea).
- 2.- Procedimiento de cálculo: Que en el programa de cómputo se pueda:
  - a).- Variar la fecha del cálculo, distribución o actividad de los lápices como se desee.
  - b).- Incluir el efecto de autoabsorción (AT) y el buildup (B) de la fuente.
  - c).- Proporcionar los resultados del IE en el aire (A), en aire con autoabsorción (A.AT) y en aire con autoabsorción y buildup (A.AT.B) para cualquier punto dentro del cuarto de irradiación.

Aunque en el programa principal no se incluye el efecto de retrodis

persión o dispersión por las paredes y los mecanismos de transportación del material a irradiar, se realizó el cálculo del primero de estos efectos, mediante un programa de cómputo independiente, el que utiliza mucho tiempo de máquina; los valores de retrodispersión en las paredes del cuarto de irradiación se indican, también, en el cuadro I.

Para implementar el programa principal se utilizan otros datos, además de los indicados antes, los cuales se encuentran en los cuadros III y IV.

En el III se indican los coeficientes de atenuación másico ( $\mu_m$ ) y de absorción másico ( $\mu_{am}$ ) de diferentes materiales, para radiación gamma de Co-60 (1.25 MeV).

En el IV los factores de decaimiento, en años, meses y días, para el Co-60 con vida media de 5,261 años.

Para comprobar el método de cálculo, del IE, se realizaron varias pruebas experimentales empleando dos tipos de dosímetros el de Fricke (11-13) y el acrílico rojo (11-14) en la instalación JS-6500 totalmente integrada, en la parte interior de ésta (cuarto de irradiación) se encuentra el sistema electromecánico, que mueve las cajas que contienen el material por irradiar, el cual se indica en la figura 10. En el cuadro V en la primera columna, el valor promedio de los tres casos de fuente rectangular (plana); en la segunda y tercera columna los valores del IE en los que se incluye el efecto de autoabsorción y buildup para las fuentes ideal (homogénea) y real (heterogénea) con actividad de 936,987 Ci el 1-III-1980. En las dos últimas columnas los valores experimentales, con acrílico rojo y Fricke. En el cuadro VI se muestra la variación porcentual de los valores del IE, contenidos en el cuadro V, rela-

cionando el valor calculado entre el experimental.

Dado que las dosis en los ocho puntos considerados fluctuaron entre las decenas y unidades de millar de Grays (1 Gy=100 rad), se emplearon distintos dosímetros, dependiendo del caso, así: para los puntos 4 y 5 se empleó el Fricke normal (Stil de 40 a 400 Gy), para los puntos restantes se empleó el Fricke modificado (de 2 a 10 kGy); el acrílico rojo (de 5 a 40 kGy) se empleó en algunos puntos, para su comparación con el Fricke, resultando una concordancia tal que permite utilizar sus resultados como base para compararlos con los calculados. Sirvió fundamentalmente para comprobar el valor obtenido en el punto 1, que con ambos dosímetros es prácticamente el mismo. En los otros puntos presentó diferencias que dependían de la localización del dosímetro (punto). Los valores indicados en el cuadro V son el promedio de 3 ó 4 muestras, en el caso de Fricke se empleó un volumen de 10 ml y en el caso del acrílico rojo de 5 dosímetros por muestra.

## DISCUSION Y CONCLUSIONES

Las fórmulas (1 y 2) para fuente puntual son similares, la diferencia estriba en que los factores empleados tienen distinta denominación o símbolo, aunque matemáticamente son iguales; la fórmula (3) utiliza otros factores, sin embargo es el mismo principio que en las dos anteriores, tomando como base la regla del inverso del cuadrado de la distancia ( $r$ ) entre los puntos emisor y detector.

En estas expresiones se toma como constante diferencial de ionización gamma o constante específica de radiación gamma, sin atenuar, ( $\Gamma$  6 Kγ) para una fuente puntual isotrópica y cuyo valor para el Co-60 es 1.32 R.m<sup>2</sup>/h.Ci o su equivalente, a una distancia de 1.0 m, como el más usual, obtenido a partir de gráficas, aunque en la literatura sus valores fluctúan entre 1.28 y 1.34 en base al desarrollo siguiente, útil para cualquier isótopo emisor gamma:

$$\begin{aligned}\Gamma \text{ (R.m}^2\text{/h.Ci)} &= \frac{3.7 \times 10^{10} \text{ (d/s.Ci)}}{4\pi \times 87.7 \text{ (erg/g.R)}} \times n \text{ (fot/d)} \times E \text{ (MeV/fot)} \times \\ &\mu_{\text{am}} \text{ (m}^2\text{/g)} \times 1.602 \times 10^{-6} \text{ (erg/MeV)} \times 3600 \text{ (s/h)} \\ &= 19.364 \times n \times E \times (\mu_{\text{am}}\text{cm}^2\text{/g})_{\text{aire}} \\ &= 1.9364 \times 10^5 \times n \times E \times (\mu_{\text{am}}\text{m}^2\text{/g})_{\text{aire}}\end{aligned}$$

Para el Co-60:

$$\begin{aligned}&= 4.841 \times 10^5 (\mu_{\text{am}}\text{m}^2\text{/g})_{\text{aire}} \\ &= 48.41 (\mu_{\text{am}}\text{cm}^2\text{/g})_{\text{aire}}\end{aligned}$$

Dado que el coeficiente de absorción másico del aire varía de 0.0262 a 0.0278, según la fuente bibliográfica, el valor de  $\Gamma$  varía también.

En el caso de K(E) considerado como  $1.8 \times 10^{-6} \text{ R.cm}^2.\text{s/h.MeV}$  para el Co-60, se obtiene a partir de valores empíricos (gráficas), se ha encontrado una ecuación que da valores en base a la energía de la radiación gamma emitida y que es:

$$K(E) = 2.16049 \times 10^{-9} X^3 + 5.09259 \times 10^{-8} X^2 - 4.09 \times 10^{-7} X + 2.26 \times 10^{-6}$$

en donde X = Energía en MeV.

Esta ecuación fue proporcionada por el grupo de blindajes del Proyecto del Reactor de Cero Potencia, del ININ.

En el caso de fuente lineal, cuando el IE se calcula en un punto perpendicular al centro del lápiz (a), cuyo ángulo total está formado por los extremos de la fuente (lápiz) y como vértice el punto detector, con valor de  $2\theta$ , ya que  $\theta_1 = \theta$ ; al emplear integración para determinar el flujo de una fuente lineal (FL) se considera una diferencial de fuente "dl", por lo que su diferencial de flujo es, cuando no tiene blindaje:

$$dFL = \frac{SL dl}{4\pi(a \sec \theta)^2} \quad \text{en donde:} \quad dl = a \sec^2 \theta d\theta$$

$$= \frac{SL}{4\pi a} \theta^{0_1} d\theta \quad \text{quedando} \quad FL = \frac{SL}{4\pi a} (\theta_1 + \theta)$$

Si  $\theta = 0$  (Para un punto situado en la perpendicular del extremo de la fuente lineal) resultará:

$$FL = \frac{SL}{4\pi a} (\theta_1) \dots \quad (A)$$

Si  $\theta = \theta_1$  (Para un punto situado en la perpendicular al centro de la fuente lineal) resultará:

$$FL = \frac{SL}{2\pi a} \theta \dots \quad (B)$$

Cuando se considera blindaje, se integra la función de atenuación  $e^{-\mu x}$ , para fuente puntual, la contribución de dl es:

$$dFL = \frac{SL \, dl \, e^{-b \sec \theta}}{4\pi (a \sec \theta)^2} \quad \text{en la que: } dl = a \sec^2 \theta \, d\theta$$

$$= \frac{SL}{4\pi a} e^{-b \sec \theta} \, d\theta \quad \text{y} \quad FL = \frac{SL}{4\pi a} F(\theta, b)$$

empleándose  $F(\theta, b)$  como la representación de la función integral de la secante, por lo que, para un punto situado en la perpendicular al extremo de la fuente es:

$$FL = \frac{FL}{4\pi a} F(\theta, b) \dots \quad (6A)$$

Para un punto situado en la perpendicular al centro de la fuente es

$$FL = \frac{SL}{2\pi a} F(\theta, b) \dots \quad (6B)$$

En estos casos, ya que no se tienen las medidas (especificaciones) concretas de dichas fuentes, no se puede realizar un cálculo preciso, en el que se puedan integrar los parámetros de autoabsorción, buildup, retrodispersión, etc.

Cuando se trata de una fuente rectangular el cálculo del IE según la fórmula (8) es útil únicamente para puntos localizados frente a la fuente, ya que, el valor de "a" es mayor que cero; pero, en los costados en donde vale cero o casi cero, el valor de "x" se vuelve indeterminado. Por lo cual, el factor geométrico, para esos puntos no se puede estimar por este método, empleándose entonces el procedimiento para fuente lineal; es el caso de los puntos 4 y 5 del cuarto de irradiación.

El cálculo del IE se puede realizar por computación, mediante el programa correspondiente, cuando se trata de una fuente rectangular

formada por lápices o placa; para estos casos se puede considerar la integración de fuentes puntuales, que constituyen la longitud o la superficie relativa a la fuente, según el caso.

Para calcular el IE en aire a partir de una fuente rectangular, se hicieron originalmente los programas DOSIS Y DOSIS B, para las formas por una placa y por lápices respectivamente, indicándose el programa principal en el anexo A. Se realizaron modificaciones a estos programas con objeto de mejorarlos; integrando además del IE en el aire, los efectos de atenuación por la propia fuente (autoabsorción y buildup), decaimiento, información por cada lápiz, etc. Una vez resueltos los diferentes parámetros que se consideraron importantes para el cálculo del IE de la fuente real, hasta llegar al programa MUTVAD, cuyo programa principal se indica en el anexo B. Sin embargo, este programa puede aún ser mejorado, si se utiliza por ejemplo, una sub-rutina de integración que sea más rápida y precisa que la RKF-45, entre uno de los pasos que se han modificado en otros programas de cálculos de blindaje.

Por lo que se refiere a los resultados obtenidos en la aplicación de los diferentes métodos de cálculo, indicados en el cuadro I, se nota que el IE obtenido en el aire es prácticamente el mismo, independientemente de la fórmula empleada. Por supuesto estos resultados son mayores que los experimentales. En los cuadros V y VI, en los que se toma en cuenta la autoabsorción y el buildup, se ve que los resultados obtenidos están más acorde con los experimentales; sin embargo, hay puntos en los que el IE difiere bastante, lo que se debe, en gran parte, al modelo utilizado en los cálculos, el cual considera el cuarto de irradiación vacío

mientras que el IE experimental se realizó con todo el sistema electrónico integrado; esto sucede en los puntos 1, 4 y 5. La discrepancia en el punto 1 es la más notoria y se debe principalmente al efecto de atenuación o blindaje que produce el mecanismo de cambio de nivel de los recipientes en donde se coloca el material por irradiar y que se indica en la figura 10.

Por lo que se refiere al efecto de retrodispersión y dispersión del aire y paredes dentro del cuarto de irradiación (Cuadro V) tienen poca repercusión, ya que el IE por la radiación directa es muy elevado, no así en los puntos en donde el IE por dicha radiación es pequeño. Es el caso de los puntos 4 y 5, por lo que, el efecto debido a los dos parámetros anteriores tiene gran relevancia ya que el IE puede incrementarse por una o varias decenas.

Con respecto a las paredes del cuarto de irradiación, se ve en el cuadro V, que los puntos 2 y 7 tienen los IE más grandes, ya que se encuentran frente a la fuente rectangular, en esos puntos el espesor de las paredes son respectivamente de 1,830 mm (72.0 in) y 1,370 mm (53.9 in) y tomando como base los IE de  $0.30$  y  $0.19 \times 10^6$  R/h y los factores de transmisión de los rayos gamma de Co-60 en concreto (Densidad  $2.35 \text{ g/cm}^3$ ) que se indican en la figura 11, cuyos valores son para 1.830 y 1.370 mm de  $3 \times 10^{-9}$  y  $5 \times 10^{-7}$  respectivamente, los que al multiplicarse dan los IE en la parte exterior del cuarto de irradiación y que son del orden de 0.9 y 95 mR/h para los mencionados puntos 2 y 7 respectivamente, sólo que en el exterior del cuarto de irradiación.



De lo que se concluye lo siguiente: de los métodos empleados para el cálculo del índice de exposición dentro del cuarto de irradiación, para una fuente rectangular formada por lápices de Co-60, del tipo del irradiador JS-6500, de la A.E.C.L., el que se considera más adecuado es el que integra, por lo menos, los parámetros de atenuación y buildup de la propia fuente, el cual da resultados bastante confiables, con respecto a los experimentales, fundamentalmente para puntos situados frente a dicha fuente y que se indica mediante el programa AUTVAØ. Además de que las paredes del cuarto de irradiación tienen el espesor suficiente para atenuar la radiación (IE) lo suficiente para cumplir con la dosis permisible para personal ocupacionalmente expuesto que es del orden de 2.5 mR /h, (5 Rem/año).

## CUADROS Y FIGURAS

CUADRO I.- INDICES DE EXPOSICION CALCULADOS EN LAS PAREDES INTERIORES  
DEL CUARTO DE IRRADIACION ( KR/h ).

1-III-1980

ACTIVIDAD: 936,987 CI

GEOMETRIA DE LA FUENTE						RETRO-
PUNTO	RECTANGULAR					DISPERSION
Nº	PUNTUAL	LAPIZ	PLACA	IDEAL	REAL	
1	157	156	160	161	158	0.5
2	373	373	348	345	359	0.9
3	65	65	66	67	66	0.3
4	101	101	105	107	103	0.5
5	56	56	57	57	56	0.3
6	118	118	120	119	118	0.4
7	208	207	199	199	204	0.7
8	57	57	59	58	58	0.3

CUADRO II.- FACTORES GEOMETRICOS PARA LOS PUNTOS DENTRO DEL  
 CUARTO DE IRRADIACION (JS-6500). \*

$\varnothing(m,n)$

PUNTO	RECTANGULO	n	n	$\varnothing(m,n)$
1	TOTAL	1.593	0.156	0.2474
	ESPACIO	0.764	0.324	0.1590
2	FUENTE	0.412	0.600	0.0948
3	TOTAL	2.593	0.096	0.2955
	ESPACIO	1.764	0.140	0.2569
6	TOTAL	1.188	0.156	0.1600
	ESPACIO	0.570	0.324	0.0947
7	FUENTE	0.307	0.600	0.0543
8	TOTAL	1.933	0.096	0.2013
	ESPACIO	1.316	0.140	0.1682

FACTOR =  $\varnothing(m,n)$  (TOTAL - ESPACIO) x 2      \* n,n = metros  
 =  $\varnothing(m,n)$  FUENTE x 4

CUADRO IIA.- FACTORES GEOMETRICOS PARA FUENTE RECTANGULAR  
(PLANA)\*

$\psi(m,n)$

$m \backslash n$	0.10	0.15	0.30	0.45
0.1	0.10	0.15	0.30	0.45
0.2	0.39	0.59	1.18	1.77
0.3	0.87	1.31	2.62	3.91
0.4	1.52	2.28	4.55	6.78
0.5	2.32	3.47	6.91	10.27
0.6	3.24	4.85	9.63	14.28
0.8	5.39	8.06	15.93	23.44
1.0	7.83	11.71	23.01	33.57
1.2	10.47	15.64	30.54	44.16
1.4	13.24	19.75	38.30	54.87
1.6	16.10	23.97	46.15	65.51
1.9	20.47	30.40	57.89	81.03
2.2	24.91	36.89	69.40	95.86
2.6	30.86	45.52	84.23	114.40
3.0	36.80	54.05	98.36	131.54

\* ) n, m = metros

FACTOR =  $\psi(m,n) \times 10^{-2}$

CUADRO IIB.- FACTORES GEOMETRICOS PARA FUENTE RECTANGULAR  
(PLANA)\*

m \ n	$\varphi(m,n)$			
	0.60	0.75	0.90	1.00
0.1	0,06	0,075	0,09	0,10
0.2	0,24	0,29	0,35	0,39
0.3	0,52	0,65	0,77	0,85
0.4	0,90	1,11	1,32	1,45
0.5	1,35	1,67	1,97	2,16
0.6	1,87	2,30	2,70	2,95
0.8	3,05	3,69	4,28	4,65
1.0	4,32	5,18	5,94	6,40
1.2	5,62	6,67	7,58	8,11
1.4	6,92	8,13	9,15	9,74
1.6	8,18	9,53	10,65	11,28
1.9	9,99	11,50	12,72	13,41
2.2	11,67	13,31	14,62	15,33
2.6	13,74	15,50	16,88	17,63
3.0	15,61	17,46	18,89	19,67

\*) n,m = metros

$$\text{FACTOR} = \varphi(m,n) \times 10^{-3}$$

CUADRO III.- CARACTERISTICAS DE DIFERENTES MATERIALES. DENSIDAD ( $\rho$ ); COEFICIENTES DE ATENUACION MASICO ( $\mu_m$ ) Y DE ABSORCION MASICO ( $\mu_{ab}$ ) PARA RADIACION GAMMA DE 1.25 MeV (Co-60).

MATERIAL	$\rho = g.cm^{-3}$	$\mu_m = g.cm^{-2}$	$\mu_{ab} = g.cm^{-2}$
AIRE	0°C $1.293 \times 10^{-3}$ 20°C $1.205 \times 10^{-3}$	0.0577	0.0268
AGUA	1.0	0.0641	0.0294
LUCITA	1.19	0.0623	0.0286
VIDRIO PYREX	2.23	0.0574	0.0264
CONCRETO	2.4	0.0578	
ALUMINIO	2.7	0.0557	0.0259
ACERO INOX.	7.8	0.0544	
HIERRO	7.86	0.0543	0.0253
COBALTO	8.9	0.0514	
PLOMO	11.34	0.0606	0.0355

CUADRO IV.- FACTORES DE DECAIMIENTO DEL Co-60

VIDA MEDIA = 5.261 AÑOS (1921.58 d)

1 AÑO = 365 d

1 MES = 30 d

	0	1	2	3	4
0	1.000000	0.876638	0.768495	0.673692	0.590584
5	0.517729	0.453861	0.397872	0.348790	0.305762
10	0.268043	0.234977	0.205990	<u>A Ñ O S</u>	
0	1.000000	0.989237	0.978590	0.968057	0.957638
5	0.947331	0.937135	0.927048	0.917070	0.907200
10	0.897436	0.887777	0.878221	<u>M E S E S</u>	
0	1.000000	0.999639	0.999279	0.998919	0.998558
5	0.998198	0.997838	0.997478	0.997119	0.996759
10	0.996399	0.996040	0.995681	0.995322	0.994963
15	0.994604	0.994245	0.993887	0.993528	0.993170
20	0.992812	0.992454	0.992096	0.991738	0.991380
25	0.991023	0.990665	0.990308	0.989951	0.989594
30	0.989237	0.988880		<u>D I A S</u>	

EJEMPLO: LA ACTIVIDAD DEL Co-60 EL 1-I-1975 ES DE 100 KCi; SE DESEA CONOCER LA ACTIVIDAD AL 24-VIII-1982. EL PERIODO Y EL FACTOR DE DECAIMIENTO SON:

TIEMPO = 7 AÑOS                      7 MESES                      27 DIAS = 2792 DIAS

FACTOR = 0.397872 x 0.927048 x 0.990308 = 0.3652715

100 x 0.3652715 = 36.52715 KCi



CUADRO V.- INDICES DE EXPOSICION EN LAS PAREDES INTERIORES DEL CUARTO DE IRRADIACION (XR/h).

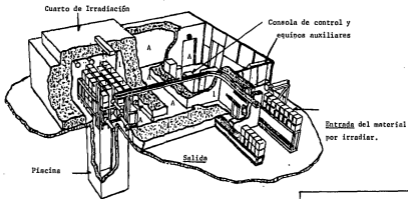
1<sup>a</sup> / III / 1980

ACTIVIDAD: 936,987 Ci

CALCULADOS: F. PLANA				EXPERIMENTALES	
PUNTO	AIRE	AUTO-ABSORCION Y BUILDUP		JS-6500	
N <sup>o</sup>	PROMEDIO	IDEAL	REAL	A. ROJO	FRICKE
1	159,3	127	124	93	92
2	350,7	272	283	293	303
3	66,3	53	52	57	49
4	105,0	4,0	0		7,5
5	56,7	0,5	0		5,8
6	119,0	94	93		96
7	200,7	157	161	177	187
8	58,3	46	45		48

CUADRO VI.- VARIACION DEL INDICE DE EXPOSICION CALCULADO EN AIRE (A), EN AIRE CON AUTO-ABSORCION Y BUILDUP (A.AT.B.) PARA FUENTE RECTANGULAR CON RESPECTO AL EXPERIMENTAL JS-6500 (Z)

1-III-1960		ACTIVIDAD: 936,987 CI				
PUNTO	(A) PROMEDIO		(A.AT.B.) IDEAL		(A.AT.B.)	SEAL
Nº	FRICKE	A. ROJO	FRICKE	A. ROJO	FRICKE	A. ROJO
1	73,2	71,3	38,0	36,6	34,8	33,3
2	15,7	19,7	- 10,2	- 7,2	- 6,6	- 3,4
3	35,3	16,3	8,2	- 7,0	6,1	- 0,6
4						
5						
6	24,0		- 2,1		- 3,1	
7	- 7,3	13,4	- 16,0	- 11,3	- 13,9	- 9,0
8	21,5		- 4,2		- 6,2	



A.- Acceso del personal al Cuarto de Irradiación

IMIN: F. de Camas.

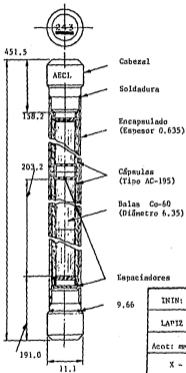
UNIDAD DE IRRADIACION  
JS-6500

AFCL

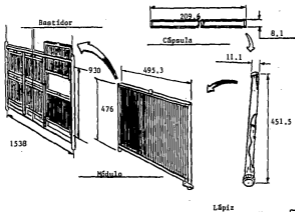
X - 02

FIGURA

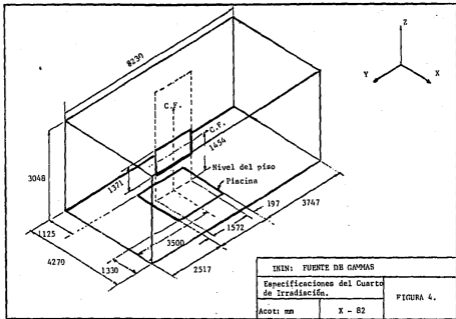
1

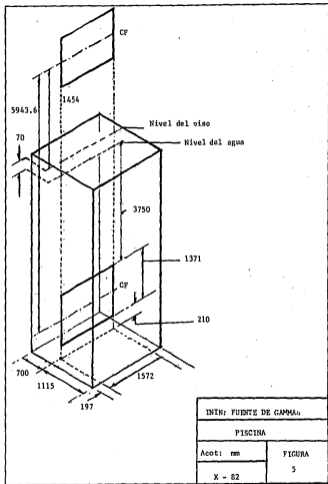


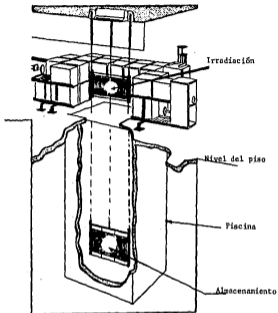
ININ: FUENTE DE GAMMAS	
LAPIZ C-188	
Acot: mm	FIGURA
X - 82	2



INIH: F. de Garmas	
FUENTE Co-60	
Acot: mm	FIGURA 3
X - 82	







ININ: Fuente de Cesmas

MOVIMIENTO DE LA FUENTE  
(BASTIDOR)

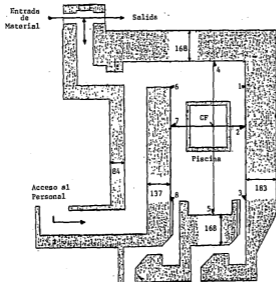
JS-6500

FIGURA

X - 82

6





ININ: FUENTE DE GAMMAS

UBICACION DE LOS PUNTOS  
PARA EL CALCULO DE I.E.

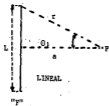
Acot: cm

FIGURA

X - 82

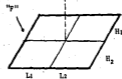
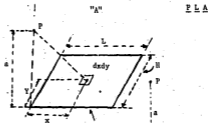
7

PUNTUAL



"A"

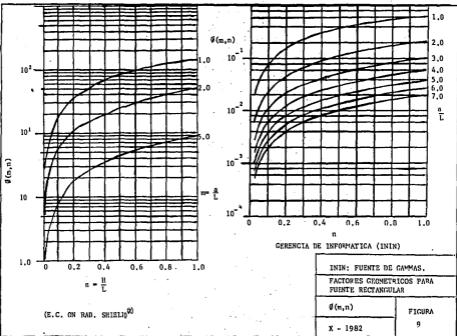
PLANA

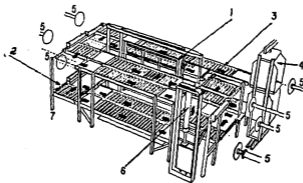


"C"



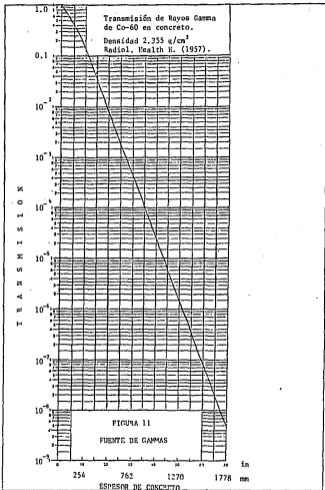
ININ: FUENTE DE GAMMAS	
TIPOS DE FUENTE	
"P" = FUENTE	FIGURA 8
X - 82	





- 1).- Bastidor que soporta las fuentes.  
 2 y 3).- Carriles para el desplazamiento de las cajas.  
 4).- Transportador de cajas (entrada y salida).  
 5).- Pistones neumáticos (irruulan las cajas).  
 6).- Elevador (cambian de nivel las cajas).  
 7).- Estructura metálica (soporte).

ININ: FUENTE DE CAMBIAS	
SISTEMA ELECTROMECHANICO	
JS-6500	FIGURA
X - 82	10



## REFERENCIAS

- 1).- Specifications: "A Cobalt 60 Irradiator with a variable box system for medical products sterilization number JS-6500", Atomic Energy of Canada Limited, Commercial Products. Sept. 1 (1971).
- 2).- R.G. Jaeger, E. P. Blizard, A. B. Chilton, M. Grotenhuis, A. Honig, Th. A. Jaeger y H.H. Eisenlohr. "Engineering Compendium on Radiation Shielding", Vol. 1: Shielding Fundamentals and Methods. Springer-Verlag, Inc. New York, Caps: I, III, IV, VI (1968).
- 3).- Theodore Rockwell. "Reactor Shielding Design Manual", D. Van Nostran Co. Inc., New York, Vol. III, Caps: I y IV (1966).
- 4).- A. Edward Profio. "Radiation Shielding and Dosimetry", John Wiley & Sons Inc., New York, Caps: IV, V y VII (1979).
- 5).- B. Manowitz, R. H. Bretton, L. Galanger and F. X. Rizzo. "Computational Methods of Gamma Irradiator Design Isotopes", Industrial Technology. TID-4500-36Th Ed. Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, Caps: II y III (1964).
- 6).- Richard E. Malenfant. "General Purpose Gamma-Ray Scattering Program", LA-5176 - Los Alamos Sc. Lab. New Mex. (Jun 1973) Nuclear Sc. Abs. 28-20138 (Oct-1973).
- 7).- J. H. Hubbell. "Dose Fields From Plane Sources Using Point Source Data", Nucleonics Vol. 21, N<sup>o</sup> 8, 144-148 (Ag-1963).
- 8).- J. H. Hubbell, R. L. Bach and J. C. Laukin. "Radiation Field From a Rectangular Source", Engineering and Instrumentation, Vol. 64C, N<sup>o</sup> 2 121-138 (Ap-June 1950).
- 9).- J. H. Hubbell. "A Power-Series Buildup Factor Formulation Application to Rectangular and Off-Axis Disk Source Problems". Engineering and Instrumentation, Vol. 67C, N<sup>o</sup> 4, 291-306 (Oc-Dec 1963).
- 10).- Radiological Health Handbook, U.S. Dept. of. Health Education and Welfare (1970).
- 11).- F. H. Attix, "Radiation Dosimetry", Vol. II 2<sup>a</sup> Ed. Academic Press, New York Caps 12-13 (1966).
- 12).- I.A.E.A., "Manual of Food Irradiation Dosimetry", Tech. Rep. Series N<sup>o</sup> 178, Caps. I y V, Vienna, Austria (Nov 1977).
- 13).- M. T. Antoninides, "Dosimetry Calibration, Tech. Paper N<sup>o</sup> 13, AECL. Ottawa, Ontario, Canada, (May 1980).
- 14).- Y. Doyle, "The Red Acrylic Dosimeter System" Tech. Paper N<sup>o</sup> 9, AECL. Second Gamma Processing Seminar, Ottawa, Ontario, Canada. (May 1980).

**A N E X O A**

TY DOSIS

C PROGRAMA PARA CALCULAR LA DOSIS RECIBIDA POR UN PUNTO EN EL  
 C ESPACIO TRIDIMENSIONAL PRODUCIDA POR UNA FUENTE RADIOACTIVA PLANA  
 C CUYO CENTRO SE ENCUENTRA EN EL ORIGEN DE COORDENADAS Y COINCIDIENDO  
 C CON EL PLANO YZ.

C  
 C POR RAFAEL G. GAMBOA Y HECTOR CARRASCO.

C  
 C LA DOSIS ESTA DADA POR

$$C \quad \text{DOSIS} = ( S / (4*L*H) ) * \text{GAMA} * \text{FI}$$

C EN DONDE

C  
 C DOSIS ESTÁ DADA EN ROENTGENS/HORA  
 C S ACTIVIDAD DE LA FUENTE 10\*\*6 CURIES  
 C 2\*L LONGITUD DE LA FUENTE 1.50 METROS  
 C 2\*H ALTURA DE LA FUENTE 0.90 METROS  
 C GAMA FACTOR CUYO VALOR ES DE 1.32 (R/H)\*(H\*\*2/CURIE)  
 C FI FUNCION QUE DEPENDE DE LAS POSICIONES RELATIVAS DE LA  
 C FUENTE Y EL PUNTO, SU DIFERENCIAL VIENE DADA POR

$$C \quad \text{DPI} = \text{DH} * \text{DL} / \text{R}**2$$

C  
 C PARA UN PUNTO SITUADO A UNA DISTANCIA R DE LA  
 C DIFERENCIAL DE AREA DH\*DL

C OBTENGAMOS PUES

$$C \quad \text{DOSIS} = \text{FACTOR} * \text{FI}$$

$$C \text{ CON } \text{FACTOR} = ( S / (4*L*H) ) * \text{GAMA} = 977 \ 777.777 \ \text{R/H}$$

C  
 C EXTERNAL F  
 C REAL L,LV  
 C DIMENSION FI(1),NORK(10),IMORK(5)  
 C COMMON HV,LV, XO, YO, ZO  
 C DATA H,L,FACTOR /0.45,0.75,977777.77/

C  
 C  
 C 1 TYPE 100  
 C 100 FORMAT(' DAME LAS COORDENADAS DEL PUNTO: ', \$)  
 C ACCEPT 101,XO,YO,ZO  
 C 101 FORMAT(3F)  
 C LV=L  
 C HV=H



```

IF(XO.NE.O.)GO TO 200
IF( (ABS(YO).LE.L) .AND. (ABS(ZO).LE.H) ) GOTO 1000
IF( ABS(YO).GT.L ) GOTO 200
LV=H
HV=L
200  YINI=-LV
    YFIN=LV
    FI(1)=0.0
    N=1
    ABSERR=1.E-6
    RELERR=0.0
    IBAN=1
C
C
400  CALL RKP45(F,N,FI,YINI,RELERR,ABSERR,IBAN,WORK,IWORK)
C
C
    GO TO (80,20,30,40,50,60,70,80),IBAN
C
30  IBAN=1
    GOTO 400
C
40  IBAN=1
    GOTO 400
C
50  TYPE 51
51  FORMAT(' FALLA POR IBAN=5')
    GOTO 1
60  RELERR=0.001
    ABSERR=0.001
    IBAN=1
    GO TO 400
C
70  TYPE 71
71  FORMAT(' HAY QUE INTEGRAR PASO POR PASO')
    GOTO 1
C
80  TYPE 81
81  FORMAT(' REGADA AL LLAMAR ')
C
    TYPE 102,IBAN
102  FORMAT(' HAY PROBLEMAS, IBAN = ',I4)
    GOTO 1
C
20  DOSIS=FI(1)*FACTOR
C
    TYPE 103,DOSIS
103  FORMAT(' LA DOSIS VALE ',E14.7,' ROENTGENS/HORA')
    GOTO 1
1000 TYPE 1001
1001 FORMAT(' NO ESTA IMPLEMENTADO PARA PUNTOS SOBRE LA PLACA')
    GOTO 1
    END

```

```

SUBROUTINE F(Y,FI,FIP)
C ESTA FUNCION DA EL VALOR DEL INTEGRANDO PARA LA FUNCION QUE DESCRIBE
C LA DOSIS EN UN PUNTO DEL ESPACIO TRIDIMENSIONAL
C LA FUNCION ES:
C
C      INTEGRAL DE ( DY DZ 1/R**2 )
C
C CON R = DISTANCIA QUE SEPARA AL PUNTO XO,YO, ZO DE DY, DZ
C PERO AL INTEGRAR SOBRE ALGUNA DE LAS VARIABLES EN ESTE CASO ESCOGE
C Z QUEDA UNA INTEGRAL DEL TIPO
C
C INTEGRAL (DE -L HASTA L) ( ATAN((H-ZO)/F1) + ATAN((H+ZO)/F1) ] * DY
C CON F1 = SQRT (XO**2 + (Y-YO)**2+(Z-ZO)**2 )
C
      REAL L
      DIMENSION FI(1),FIP(1)
      COMMON N,L,XO,YO,ZO
C
C
      F1=SQRT(XO*XO+(Y-YO)*(Y-YO))
      V1=(H-ZO)/F1
      V2=(H+ZO)/F1
      FIP(1)=(ATAN(V1)+ATAN(V2))/F1
      RETURN
      END

```

TY DOSISB

C PROGRAMA PARA CALCULAR LA INTENSIDAD DE LA DOSIS RECIBIDA POR UN PUNTO  
 C ADIMENSIONAL SITUADO EN EL PUNTO (X,Y,Z), DEBIDO A UNA FUENTE FORMADA  
 C POR 252 BARRAS DE MATERIAL RADIOACTIVO, CUYA POSICION SE TOMA DEL ARCHIVO  
 C BARRA.DAT.

C POR RAFAEL GAMBOA HIRALES Y HECTOR CARBASCO

C LA DOSIS ESTA DADA POR

$$C \quad \text{DOSIS} = K(E) * E * FI(S,N,L,X,Y,Z)$$

C CUYOS VALORES SON

C DOSIS ESTÁ DADA EN RONTGEN/HORA  
 C K(E) 1.8 E -10 R\*(H\*\*2)\*SEG/(HORA\*MEV)  
 C E 1.25 MEV/FOTON  
 C FI(S,N,L,X,Y,Z) FACTOR QUE DEPENDE DE LA ACTIVIDAD DE LA FUENTE,  
 C DEL NUMERO DE BARRAS, DE LA LONGITUD DE LAS MISMAS  
 C Y DE LA POSICION DE LAS BARRAS Y EL PUNTO ELEGIDO.  
 C LA DIFERENCIAL DE FI ESTA DADA POR

$$C \quad \text{DPI} = (S/N*L) / (4*PI) * (DL/(R**2))$$

C CON

C S ACTIVIDAD DE LA FUENTE.....10\*\*6 CURIES  
 C N NUMERO DE BARRAS..... 252  
 C L LONGITUD DE CADA BARRA..... 0.45 METROS  
 C PI 3.14159....  
 C R DISTANCIA ENTRE DL & EL PUNTO (X,Y,Z)

C COMO CURIE=3.7\*(10\*\*10) \*2 FOTONES/SEGUNDO

C & TOMANDO

$$C \quad \text{SL} = (S/(N*L)) = 10**6 / (252*0.45) \text{ CURIES/METRO} = 6.525*10**14 \text{ FOTONES / (METRO*SEGUNDO)}$$

C TENEMOS

$$C \quad \text{FACTOR} = K(E)*E*SL/(4*PI) \text{ EN ROENTGENS*METRO/HORA} = 11 \text{ 683.99 ROENTGENS*METRO/HORA}$$

C Y OBTENIENDOSE LA DOSIS DEL PRODUCTO

$$C \quad \text{DOSIS} = \text{FACTOR} * \text{INTEGRAL DE DPI}$$

C DATA FACTOR /11683.99/  
 C DIMENSION YB(252),ZS(252),ZI(252)  
 C CALL BARRAS(YB,ZS,ZI)

1 WRITE(5,100)  
 100 FORMAT(IX,'DAME X,Y & Z DEL PUNTO EN METROS %5)  
 READ(5,101)X,Y,Z  
 101 FORMAT(3F)  
 DOSSA=0.0

```

DO 2 I=1, 252
2 DOSSA=DOSSA+BARRA(YB(I),ZS(I),ZI(I),X,Y,Z)
DOSSA=DOSSA*FACTOR
WRITE(5,102)DOSSA
102 FORMAT(' LA SUMA DE LOS EFECTOS DE LAS 252 BARRAS VALE ',E12.5)
GOTO 1
END

```

```

SUBROUTINE BARRAS(YB,ZS,ZI)
DIMENSION YB(1),ZS(1),ZI(1)
CALL IFILE(1,'BARRA')
DO 3 I=1,18
READ(1,1)JI,JP
1 FORMAT(24X,I3,6X,I3)
READ(1,2)(YB(J),J=JI,JP)
READ(1,2)(ZS(J),J=JI,JP)
READ(1,2)(ZI(J),J=JI,JP)
2 FORMAT(14(1X,F8.5))
3 CONTINUE
RETURN
END

```

```

C
C
C
C
FUNCTION BARRA(YB,ZS,ZI,X,Y,Z)
C ESTA FUNCION TIENE COMO FINALIDAD EL CALCULAR LA INTEGRAL DE  $1./R^{**2}$ 
C PARA UN PUNTO EN EL ESPACIO Y UNA BARRA FORMADA POR EL SEGMENTO DE
C RECTA QUE UNE (0,YB, ZS) CON (0,YB, ZI)
C POR RAFAEL GAMBOA NIRALES

```

```

C
C
C
A=SQRT(X*X+(Y-YB)**2)
DY1=(Z-ZS)/A
DY2=(Z-ZI)/A
BARRA=(1./A)*(ATAN(DY2)-ATAN(DY1))
RETURN
END

```

A N E X O B

```

C TY AUTOAO
C   AUTOAO
C   PROGRAMA PRINCIPAL QUE SIRVE PARA CALCULAR LA DOSIS EN
C   EL AIRE DE TRES MANERAS :
C   FDOSSIS      SIN AUTOABSORCION
C   AUTOBIL      CON AUTOABSORCION & CON BUILDUP
C   AUTOVAC      CON AUTOABSORCION SIN BUILDUP
C   DOBVAC=FDOSSIS

C   * INCLUYE LOS DATOS DE LA FUENTE REAL,ASI COMO LA FUENTE *
C   * IDEAL ANTERIOR & ACEPTA OTROS TIPOS DE FUENTE DIFERENTES *
C   * TANTO EN DIMENSIONES (LAS OBTIENE DEL ARCHIVO "BARR7.DAT") *
C   * COMO EN ACTIVIDADES (LAS OBTIENE DEL ARCHIVO "FUEN7.DAT") *
C   ** INCLUYE EL DECAIMIENTO DE LA FUENTE **
C   LA MUJUTO ESTA EN 1/METROS & THED ESTA EN DIAS
C   JORGE PELAEZ AVILA
C

```

REAL MUJUTO,L.LANDA

```

COMMON /PLACA/H,L
COMMON /BARS/YB(252),ZB(252),Z1(252)
COMMON /CILIN/ZB,DC,RO
COMMON /PUNTO/X,Y,Z
COMMON /BARRAI/NB,YBI,MUJUTO,LANDA
COMMON /FACT/FACTOR
COMMON /TH/THX(125),THFD
COMMON /ACTI/ACTIV(252),DECAI,THED
COMMON /MECH/NDIA,NRES,NAMS
COMMON /CALEM/KDATE(12,2),IYEAR

```

```

DATA THED/1020.265/
DATA KDATE/31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31,
1      'ENE', 'FEB', 'MAR', 'ABR', 'MAY', 'JUN',
2      'JUL', 'AGO', 'SEP', 'OCT', 'NOV', 'DIC'/

```

```

C   TYPE 100
C   CALL OFILE(3, 'AUTOV')

C   CALL POSICI
C   CALL ACTIVI
C   CALL NDIAE(DIAS)
C   TBIB=FLOAT(DIAS)
C   DECAI=EXP(-1.0*TBIB*ALOG(2.0)/THED)
C   TYPE 300,DECAI
300  WRITE(3,300) DECAI
C   FORMAT(1X, 'DECAI=',F7.7)

C   WRITE(3,304)
304  FORMAT(1X, 'LAS ACTIVIDADES (DIFERENTES-DE CERO) ORIGINALES
C   1      'DE LA FUENTE SON :')
C   TOTACT=0.0
C   DO 2 I=1,252
C   IF(ACTIV(I),LE,0.0) GO TO 2
C   TOTACT+TOTACT+ACTIV(I)
C   WRITE(3,305) I,ACTIV(I)
305  FORMAT(1X, 'ACTIV(',I3,')=',F8.3)
C   2      CONTINUE
C   WRITE(3,306) TOTACT
306  FORMAT(1X, 'LA ACTIVIDAD TOTAL ORIGINAL (PARA EL 1-MAR-69)
C   1      'ES : ',F11.3,/)

```

```

IFIDECAI.EQ.1.0) GO TO 5
WRITE(3,307) NDIA,KDATE(NMES,2),NANO
307  FORMAT(IX,'LAS ACTIVIDADES (DIFERENTES DE CERO) PARA EL DIA ',
      1  12,'-',A3,'-',I4,' SON :')
      TOTACT=0.0
      DO 3 I=1,252
      IF(ACTIV(I),LE.0.0) GO TO 3
      ACTIV(I)=ACTIV(I)+SECAI
      TOTACT=TOTACT+ACTIV(I)
      WRITE(3,308) I,ACTIV(I)
3      CONTINUE
      WRITE(3,308) NDIA,KDATE(NMES,2),NANO,TOTACT
308  FORMAT(IX,'LA ACTIVIDAD TOTAL PARA EL DIA ',12,'-',A3,
      1  '-',I4,' ES : ',F11.3,/)

5      CALL IFILE(2,'THYX')

      READ(2,102)
      DO 6 I=1,125
      READ(2,103) NTH,THYX(I)
      IF(NTH.NE.1) GO TO 6
6      CONTINUE

      L=YB(126)+RB
      H=ZB

      LAMDA=1.0/MURATO

C      TYPE 201
10     ACCEPT 101,X,Y,Z
      IF(ABS(X).GT.10.0) CALL EXIT
      WRITE(3,205) X,Y,Z

      IF(ABS(X).GE.RB) GO TO 11
      IF(ABS(Y).LE.L.AND.ABS(Z).LE.H) GO TO 88

11     BOSSA=0.0
      DO 12 I=1,252
      IF(ACTIV(I),LE.0.0) GO TO 12
      BOSSA=BOSSA+ACTIV(I)*BARRA(YB(I),ZB(I),ZI(I),X,Y,Z)
12     CONTINUE
      BOSSA=BOSSA*FACTOR
      FDOSSB=BOSSA
      TYPE 202,FDOSSB
      WRITE(3,202) FDOSSB

      CALL AUTAB(2,AUTVAC,AUTBIL,BOSVAC)
      WRITE(3,203)
      WRITE(3,206) BOSVAC
      WRITE(3,207) AUTVAC
      WRITE(3,208) AUTBIL

      GO TO 10

88     TYPE 204
      GO TO 10

```

99 TYPE 104  
CALL EXIT

```
100 FORMAT(IX,'? ASIGNASTE DSX=2(TMYX.DAT) & DSX=3(AUTVC.DAT) ?')
101 FORMAT(JF)
102 FORMAT(///)
103 FORMAT(IX,I3,3X,E14.7)
104 FORMAT(IX,'*** ERROR EN LECTURA DEL ARCHIVO "TMYX.DAT"')
201 FORMAT(IX,'?CUALES SON LAS COORDENADAS DEL PUNTO ?',*)
202 FORMAT(IX,'LA DOSIS EN EL AIRE ES : ',E14.7)
203 FORMAT(IX,'LAS DOSIS DE AUTOABSORCION A TRAVES DE LA PLACA SON',
1 //)
204 FORMAT(IX,'NO ESTA IMPLEMENTADO PARA PUNTOS SOBRE LA PLACA')
205 FORMAT(IX,'*** LAS COORDENADAS DEL PUNTO SON : ',F,2X,'('
1 2(F10.6,',',F10.6,')')
206 FORMAT(5X,'SIN AUTOABSORCION : ',13X,E14.7)
207 FORMAT(5X,'CON AUTOABSORCION : ',13X,E14.7)
208 FORMAT(5X,'CON AUTOABSORCION & BUILDUP : ',3X,E14.7)

END
```

```
FUNCTION BARRA(YB,ZB,ZI,X,Y,Z)
C ESTA FUNCION TIENE COMO FINALIDAD EL CALCULAR LA INTEGRAL DE 1./R**2
C PARA UN PUNTO EN EL ESPACIO Y UNA BARRA FORMADA POR EL SEGMENTO DE
C RECTA QUE UNE (0,YB,ZB) CON (0,YB,ZI)
C POR RAFAEL GAMBOA HIRALES
C 31 DE AGOSTO DE 1979
C
C
```

```
A=SQRT(X**2+(Y-YB)**2)
DY1=(Z-ZB)/A
DY2=(Z-ZI)/A
BARRA=(1./A)*(ATAN(DY2)-ATAN(DY1))
RETURN
END
```