



CÁLCULO POR EL MÉTODO MONTE CARLO DE UN ^{60}Co DE TERAPIA UTILIZANDO EL CÓDIGO FOTELP

N.Ramos P.^a, J. Sánchez B.^a, R. Paucar J.^b

^aFacultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos Ap. Postal 14-0149, Lima 14, Perú.

^bClínica San Pablo, Lima-Perú

Resumen

En este trabajo se presenta la simulación mediante el método Monte Carlo utilizando el código FOTELP, simulando un ^{60}Co de terapia con el propósito de obtener curvas de porcentaje de dosis en profundidad (PDD), para un tamaño de campo de $10 \times 10 \text{ cm}^2$, para tal motivo se construyó el cabezal virtual del cobalto y para la deposición de la dosis en agua se construyó un fantoma virtual con dimensiones de $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$. dichos resultados fueron comparados con los datos teóricos, obteniéndose así un resultado aceptable.

Palabras claves: Monte Carlo, teleterapia, Fotelp, PDD

Abstract

In this work the simulation is presented by means of the method Monte Carlo Utilizing the code FOTELP, simulating a ^{60}Co of therapy for the purpose of obtaining dose percentage curves in depth (PDD), for a size of field of $10 \times 10 \text{ cm}^2$, for such motive I am built the virtual headrest of the cobalt and for the deposition of the dose of water I am built a fantoma virtual with dimensions of $30 \times 30 \times 30 \text{ cm}^3$. Said results were compared with theoretical data, being obtained thus an acceptable result.

PACS: 02.70.Uu; 87.53.-j; 87.56.-v; 87.53.Vb

Keywords: Monte Carlo, teletherapy, Fotelp, PDD.

1. Introducción

El método monte carlo es un método matemático que nos permite simular cualquier sistema. En general sistema en lo que no puede ser realizado en experimentos prácticos pero cuyo comportamiento se puede modelar mediante una distribución de probabilidad, es decir utilizando números generados aleatoriamente y haciendo uso de la variable aleatoria definida en un espacio dimensional finito, calcula así su valor esperado para llegar a la solución aproximado de un problema. Esta técnica es aplicable en numerosos campos, entre ello el de transporte de las radiaciones. Sin embargo la utilización de este método en la mayoría de las aplicaciones conlleva a contar con computadoras que tengan procesadores que realicen cálculos a gran velocidad. ya que las precisiones de los resultados requiere mas eventos o muestreo y eso llega a ocupar tiempo de computadora muy largos, conllevando así a utilizar métodos para reducir estos cálculos, como el método de reducción de varianza.

En la actualidad han surgido varios códigos de simulación como que son utilizados en el campo de la física médica, reactores nucleares y detectores para partícula de altas energía estos códigos son: MCNP, ETRAN, ITS, EGS4 y PENÉLOPE, este último utilizado muy a menudo para el cálculo dosimétrico. FOTELP también utiliza el método monte carlo y es utilizado para el cálculo dosimétrico de la radiación dados en radioterapia.

2. Descripción del paquete FOTELP

El paquete de simulación FOTELP ha sido desarrollado en el intitute of nuclear sciences "vinca" Physics laboratory (010) Beograd Yugoslavia, encontrándose en libre adquisición en la Pág.

<http://www.vin.bg.ac.yu/~rasa/hopa.htm>

FOTELP (un acrónimo para FOTones, Electrones y Positrones), desarrolla simulaciones para el transporte de fotones electrones y positrones por el método Monte Carlo, realizando calculo en

geometría 2D, 3D. El rango de energía permitido para este código es de los 1 keV a los 100 MeV.

Las interacciones de los fotones en la materia es dado por las absorciones fotoeléctricas, dispersión incoherente, producción del par electrón-positrón y dispersión coherente. Los fotones secundarios de radiación bremsstrahlung, fotones fluorescentes y fotones por aniquilación del positrón son incluidos como fotones de la fuente. Para las secciones eficaces diferenciales [1]. Fotelp utiliza datos ya tabulados llegando así a valores para estas secciones eficaces nominales. Y eso se debe a que los procesos de interacción no son apreciablemente distorsionados por fuerza de atracción molecular.

En las interacciones de electrones y positrones la partícula interactúa con la materia mediante colisiones elásticas, inelásticas o por emisión de fotones Bremsstrahlung. Donde las secciones eficaces diferenciales DCS usadas por Fotelp toman como parámetros la energía cinética, el ángulo de dispersión y la pérdida de energía. Consiguiendo así aproximaciones de estas DCS, evitando tabla de valores analítico que conducen a errores en la interpolación numérica, pero dada la gran cantidad de colisiones que producen los electrones tanto con los núcleos atómicos o con los electrones orbitales, Fotelp se basa en la teoría de historia condensada [1], con el fin de acelerar el procesamiento de los datos, donde la trayectoria de la partícula con un ángulo de deflexión menor a un cierto límite puede ser despreciada durante cierto número de interacciones para luego ser tomado posteriormente cuando la suma de estos pequeños cambios sean importante.

3. Estructura del Código FOTELP

FOTELP es escrito en fortran 77 y cuenta con 6 subrutinas que serán utilizados al momento de su simulación:

- Fepcom.for
- Fepdat.for
- Fmatset.for
- Fotcom.for
- Fotelp.for
- Pregraf.for

Al momento de utilizar el código FOTELP el usuario debe preparar tres archivos de entrada:

- Fotpen.geo
- Fepdat.inp
- Fotelp.inp

Donde el archivo de entrada Fotpen.geo se encuentran la geometría a simular para este caso el cabezal del cobalto (^{60}Co) y el fantoma de agua, estas

geometrías son visualizadas con el programa Gview2D.exe y Gview3D.exe.

En el archivo de entrada Fepdat.inp se encuentra los datos de los materiales empleados en la simulación así como su respectivas densidades (características física y químicas).

Por ultimo el archivo de entrada Fotelp.inp se encuentran los números identificadores de los materiales de la geometría así como las características de la fuente (dirección y posición), número de partícula que la fuente empleara por ultimo las dimensiones de los voxel donde la dosis será depositada.

En el paquete FOTELP encontraremos un archivo llamado material.dat, este archivo contiene datos de composición y parámetros físicos para 279 materiales tomados de la base de datos del programa ESTAR de Berger, donde las primeras 98 son elementos puros ordenados por su números atómicos Z y el restos son elementos mixtos ordenados en orden alfabético.

Para su compilación FOTELP utiliza archivos de arranque en formato .bat para la ejecución del programa principal.

- Feplin.bat
- Fotlin.bat
- Ras.bat
- Fot.bat
- Clear.bat

4. Instalación y Ejecución del Código FOTELP

4.1. Instalación

El paquete FOTELP se encuentra comprimido en un archivo llamado fot-pen.zip en este archivo se encuentra las 6 subrutinas escrito en fortran 77 así como también modelos de archivos de entradas y los compiladores .bat también se encontrara una carpeta llamado Pengeon2 ahí se encuentra un manual para poder realizar las geometría como también los programa Gview2D.exe, Gview3D.exe., y finalmente algunos ejemplos básicos. La instalación de este código es simple ya que solo se tiene que vaciar los archivos en una carpeta y proceder a la ejecución, para ello primero se debe contar ya con la instalación del fortran 77 o fortran 90. Este código es manejado bajo el entorno Windows.

4.2. Ejecución

Fepdat.for es el compilador de arranque de la simulación y es compilado con los datos de entradas de Fepdat.inp que debe estar en conformidad con las dimensiones del campo y con la sub-rutina Fepcom.for así también con los archivos donde se encuentra la geometría a simular Fotpen.geo, para ello es importante preparar antes Fepdat.inp.

Para el proceso de la ejecución del código debemos compilar en forma ordenada los archivos de arranque Feplin.bat, Fotlin.bat dando como resultado los programas Fepdat.exe, Fotel.exe, luego compilaremos Ras.bat dando inicio el proceso de acontecimientos en la simulación dando como resultado el archivo Fepdat.out, a este archivo será modificado por el usuario para crear el archivo Fotelp.inp, una vez hecho esto damos por inicio la simulación compilando Fot.bat.

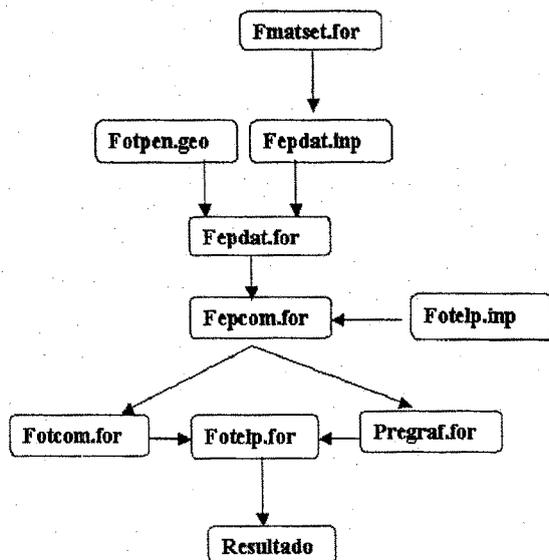


Fig.1. diagrama de conexión para la ejecución del código.

5. Operación y preparación de los archivos de entrada para la simulación del ⁶⁰Co

5.1. Fepdat.inp

Fepdat.inp es el archivo de entrada en donde se encontrara los datos para la simulación del ⁶⁰Co aquí se encontraran las cantidades de materiales empleados así como su respectivas densidades.

Para la realización de este archivo de entrada se ingresara los datos de los materiales utilizados en la simulación estos materiales se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Materiales utilizados en la simulación

# Identificación (archivo de entrada)	Material	Densidad (g/cm ³)
1	Cobalto	8.90
2	Hierro	7.86
3	Tungsteno	18.00
4	Plomo	11.35
5	Aire	0.001205
6	Agua	1.00

A continuación presentamos un cuadro donde se encuentra los datos creado para la simulación del cobalto.

6				
27	8.900000	1		
	1	1		
27	1.000000			
	1.000000			
26	7.874000	1		
	1	1		
26	1.000000			
	1.000000			
74	19.300000	1		
	1	1		
74	1.000000			
	1.000000			
82	11.350000	1		
	1	1		
82	1.000000			
	1.000000			
104	.001205	2		
	4	0		
	6	7 8 18		
	.000150	.784430	.210748	.004671
	.000124	.755267	.231781	.012827
276	1.000000	1		
	2	1		
	1	8		
	2.000000	1.000000		
	.111894	.888106		
	1.250000	1.250000	8	
	2	1 22		

5.2. Fotelp.inp

Archivos de datos de entrada se obtiene añadiendo nuevos datos de entrada al fichero de salida Fepdat.out que fue creado cuando se ejecuto el programa Fepdat.exe los datos que se agregaría al archivo Fepdat.out serán: la posición del centro a ser irradiado, el radio del haz de la partícula, ángulos polares y azimutales del eje del haz, el tipo de fuente a utilizar (fotón electrón positrón), numero de partícula que atravesara el material y el tiempo en la cual la simulación debe terminar.

A continuación presentamos un cuadro en donde se encuentra los datos de entrada del archivo Fotelp.inp.

6
.8900E+01
1
1 1
.2700E+02 .5893E+02 .2950E-03 .1000E+01
.2700E+02 .5893E+02 .2970E-03 22
.7874E+01
1
2 2
.2600E+02 .5585E+02 .2854E-03 .1000E+01
.2600E+02 .5585E+02 .2860E-03 22
.1930E+02
1
3 3
.7400E+02 .1839E+03 .7482E-03 .1000E+01
.7400E+02 .1839E+03 .7270E-03 22
.1135E+02
1
4 4
.8200E+02 .2072E+03 .8258E-03 .1000E+01
.8200E+02 .2072E+03 .8230E-03 22
.1205E-02
4
5 8
.6000E+01 .1201E+02 .7800E-04 .1240E-03
.7000E+01 .1401E+02 .8200E-04 .7553E+00
.8000E+01 .1600E+02 .8900E-04 .2318E+00
.1800E+02 .3995E+02 .2096E-03 .1283E-01
.7262E+01 .1455E+02 .8570E-04 22
.1000E+01
2
9 10
.1000E+01 .1008E+01 .1920E-04 .1119E+00
.8000E+01 .1600E+02 .8900E-04 .8881E+00
.1000E+02 .1802E+02 .7500E-04 22
.1473E+01 .1473E+01 .1473E+01
1
2 2
.1300E+02 .2698E+02 .1630E-03 .1000E+01
.1300E+02 .2698E+02 .1660E-03 22
0.01, 0.05, 0.01
1.0E0
2, 44, 55, 77
5, 101, -1, 4
1, 1, 0, 0, 0
2, 2, 0, 0.018, 36
3, 3, 0, 0.242, 60
4, 4, 0, 0, 0
5, 5, 0, 0, 0
6, 5, 0,
7, 5, 0,
8, 4, 0,
9, 6, 0,
0.0, 0.0, 0.13
0.001, 0.0, 0.0, 5.0
2, 1, 0, 1000000, 3600.3600
2.0, 1.000
2.0, 2.0, 0.26
20, 20, 26, 0

6. Construcción geométrica del ⁶⁰Co

El objetivo de la construcción geométrica es obtener curva de dosis en profundidad (PDD) para tal motivo se construyo en forma virtual los siguientes componentes.

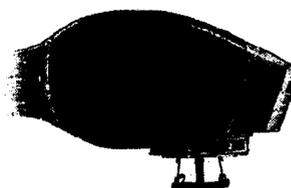


Fig.2. Cabezal del cobalto.

Para la construcción del cabezal de un cobalto (Fig. 2) se tomo de referencia datos encontrados en diferentes artículos científicos [2, 3, 4], llegando a la terminación geométrica y con ayuda del programa visualizador en 2D y 3D llamado Gview2D.exe, Gview3D.exe se confirmo los parámetros para la simulación.

En la Fig. 3 se describe el plano donde se muestra las medidas que se utilizaron para la construcción del cabezal de un cobalto ⁶⁰Co

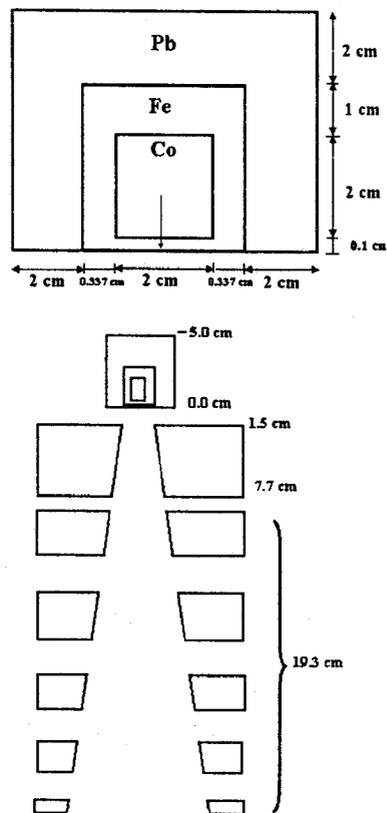


Fig.3. Medidas utilizadas para la construcción del ⁶⁰Co

7. Construcción geométrica del fantoma de agua

El fantoma (Fig. 4) es el elemento donde se realizara el estudio de la deposición energética y donde se obtendrá la medición para el calculo de dosis en profundidad.

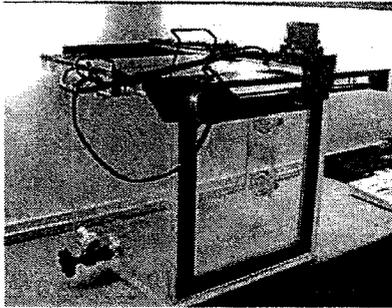


Fig.4. Fantoma de agua.

El fantoma de agua se encuentra a una distancia de la fuente en dirección del eje Z a una distancia de 80 cm con una dimensión de 30x30x30 cm³ ver Fig.6.

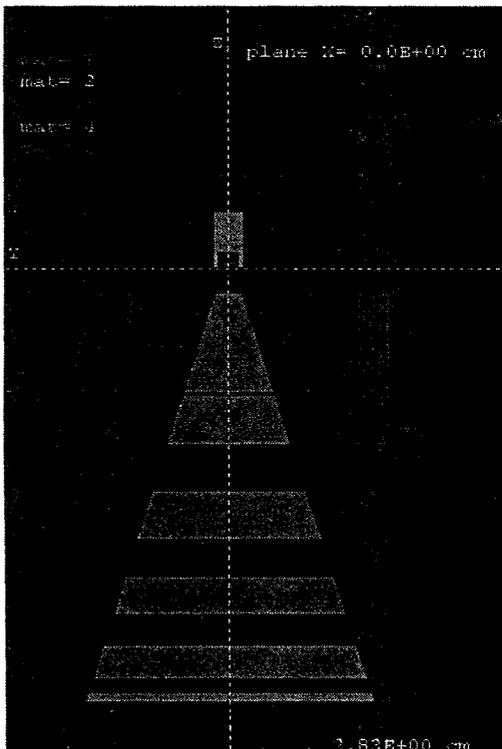


Fig.5. Cabezal del ⁶⁰Co vista con el visualizador GVIEW2D.exe

La deposición de dosis se realiza en voxel (cubos pequeño) con dimensiones de 0.25 cm³.

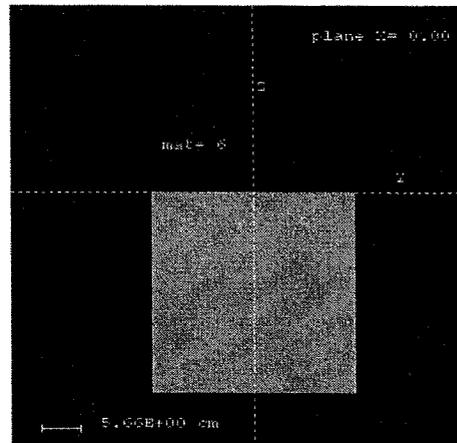


Fig.6. Fantoma de agua vista con el visualizador GVIEW2D.exe

8. Porcentaje de dosis en profundidad

El porcentaje de dosis en profundidad o PDD es una de las informaciones más importante que se obtiene en la caracterización del equipo. El PDD se define como [6]:

$$PDD = \frac{D(d,r)}{D(d_0,r)} \times 100 \quad (1)$$

donde:

- $D(d,r)$, dosis a cualquier profundidad y tamaño de campo.
- $D(d_0,r)$, dosis en la profundidad de referencia.

En la Fig. 7. Se muestra un esquema de las profundidades para un SSD (Distancia Fuente-Superficie) fijo de 100 cm. Donde d_0 es la profundidad de referencia, d es la profundidad de interés y r es el tamaño de campo.

Debemos de tener en cuenta que el porcentaje de dosis en profundidad depende de:

- La distancia fuente superficie o SSD.
- Del tamaño de campo.
- De la energía de tratamiento.

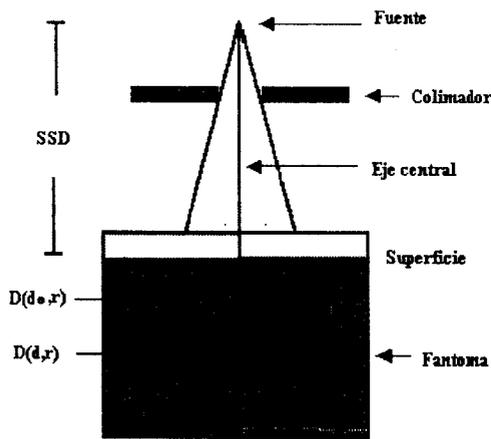


Fig.7. Parámetros para la obtención del PDD

9. Procedimiento para la simulación (PDD) para el ⁶⁰Co

- a.- Para la simulación se tomo las referencia que se tiene en la parte experimental para ello la distancia de la fuente a la superpie del fantoma de agua (SSD) fue de 80 cm
- b.- El campo empleado en la simulación fue de 10 x 10 cm.² medida utilizadas comúnmente para la calibración del equipo.
- c.- El punto de inicio de medición para la colección de dosis se tomo desde 0.25 a 30 cm, generando pequeño voxel de dimensiones de 0.25 cm³
- d.- Para este trabajo se considerara la emisión de un foton monoenergetico promedio de 1.25 MeV por cada desintegración, no hemos tomado en cuenta la emisión electrónica ya en su mayor parte es absorbida por el contenedor y los colimadores primarios.
- e.- El numero de historia fue de 2*10⁶ partícula dando un tiempo de ejecución aproximado de 85767.5 segundos

10. Resultados

En la Tabla 2, se muestra los resultados obtenidos comparándolos con los resultados teórico y correspondiente error.

En la Fig.8. se muestra los redimiendo de profundidad del cobalto (teórico y simulado) para un campo de 10x10 cm²

Como podemos observar en la Tabla 2 la máxima lectura teórica obtenida ocurre a una profundidad de 0.5 cm en la simulación obtuvimos nuestra máxima lectura en una profundidad de 0.75 cm obteniéndose un error de 2.12 %

Tabla 2. Comparación de los resultados teóricos y simulados.

Profundidad (cm)	Lectura % Teórico	Lectura % Simulada	% Error
0.5	100.0	97.88	-2.12
1	98.5	98.93	0.43
2	93.9	96.17	2.27
3	88.8	92	3.20
4	83.8	88.39	4.59
5	78.7	83.06	4.36
6	73.7	78.94	5.24
7	68.9	74.54	5.64
8	64.2	69.24	5.02
9	60.2	65.39	5.19
10	55.9	61.88	5.98
11	52.1	57.45	5.35
12	48.4	54.44	6.04
13	45.0	51.76	6.76
14	41.7	47.83	6.13
15	38.7	45.04	6.34
16	35.9	42.86	6.96
17	33.3	39.3	6.00
18	30.8	37.3	6.50
19	28.7	35.62	6.92
20	26.6	33.2	6.60
22	22.7	29.65	6.95
24	19.4	26.24	6.84
26	16.3	22.4	6.10
28	14.0	19.88	5.88
30	12.3	18.44	6.14

El error máximo se obtuvo a una profundidad de 16 cm con un 6.96 % de error.

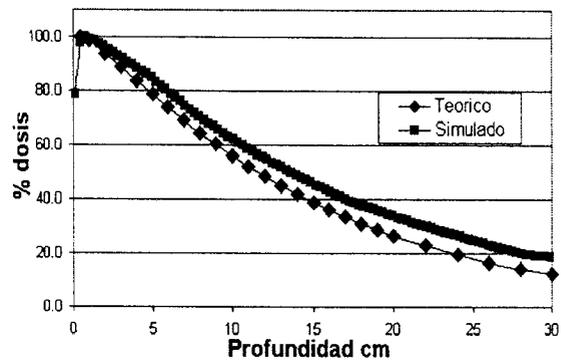


Fig.8. Curva de dosis en profundidad ⁶⁰Co

Existe una región donde el PDD aumenta hasta llegar a un máximo para luego disminuir de manera exponencial. Que es característico de un cobalto

11. Conclusiones.

El código FOTELP ha demostrado ser una herramienta útil en la aplicación en este caso para el calculo de dosis en profundidades variables y eso se

debe a que las posibles dependencias de los resultados sobre los parámetros del usuario son reducidas utilizando métodos adecuados citados anteriormente

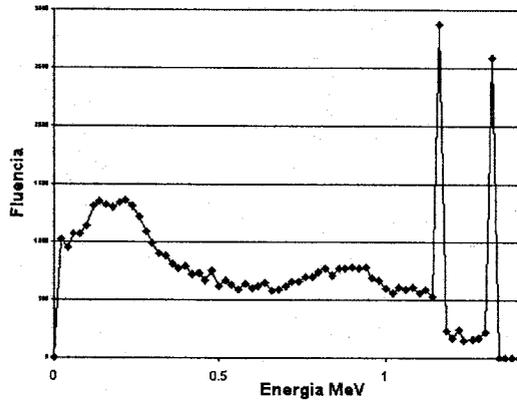


Fig.9. Espectro de energía ^{60}Co

También observamos en la simulación que se vuelve mas rápido cuando se usa energía de corte muy grande. Pero si estos son demasiado grandes, las distribuciones de energía simuladas pueden ser alteradas. Dando paso a si a grandes errores en la simulación

Referencias

- [1]. Radovan D. Ilic, FOTELP (Photons, Electrons and Positrons) Monte Karlo Transport Simulation (User's manual), Beograd, 2002 <http://www.vin.bg.ac.yu/~rasa/hopa.htm>.
- [2]. Keith N Wise, Monte Carlo Methods used to develop the Australian Absorbed Dose Standard Technical Report 132 ISSN 0157-1400 July 2001
- [3]. G. M. Mora, A. Maio, and D.W.O.Rogers, Monte Carlo simulation of a Typical ^{60}Co Therapy Source, Revisions to Med Phys July 22, 1999
- [4]. D.T. Burns, calculation of k_{wall} for ^{60}Co air-kerma standars using PENELOPE, CCR(I)/03-04
- [5]. Francesc Salvat, PENGEOM2, a modular quadric geometry package for Monte Carlo simulation of radiation transport, Barcelona Spain.
- [6]. P. Andreo, J. R. Cunningham, E. Hohfeld Determinación de la dosis absorbida en haces de fotones y electrones, organismo internacional de energía atómica, Viena, 1990