

**Suplemento al documento SEFM n.º 1-1984:  
Procedimientos  
recomendados para la  
dosimetría de fotones  
y electrones de energías  
comprendidas entre  
1 MeV y 50 MeV  
en radioterapia de  
haces externos**



Sociedad Española de Física Médica (SEFM)  
Comité de Dosimetría en Radioterapia

**SUPLEMENTO AL DOCUMENTO SEFM N.º 1 - 1984:**

**PROCEDIMIENTOS RECOMENDADOS PARA LA DOSIMETRIA DE FOTONES  
Y ELECTRONES DE ENERGIAS COMPRENDIDAS ENTRE 1 MeV Y 50 MeV  
EN RADIOTERAPIA DE HACES EXTERNOS**

**SOCIEDAD ESPAÑOLA DE FISICA MEDICA  
COMITE DE DOSIMETRIA EN RADIOTERAPIA**

© Sociedad Española de Física Médica  
I.S.B.N.: 84-398-2927-2  
Depósito Legal M-42375-1984  
Imprime: Gráficas NETOR

Este documento ha sido elaborado por el Comité de Dosimetría en Radioterapia (CDR) de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM). Dicho Comité estuvo compuesto por los siguientes miembros:

Presidente: A. Brosed (CIEMAT, Madrid).

Vocales: P. Andreo (Hospital Clínico Universitario, Zaragoza).  
D. Gómez (Policlínico de la Facultad de Medicina, Cádiz).  
J. Gultresa (Hospital General «Valle de Hebrón», Barcelona).  
J. L. Mincholé (Instituto Oncológico de la CAP de Guipúzcoa, San Sebastián).  
C. Serrano (Centro Especial «Ramón y Cajal», Madrid).  
J. Vivanco (Hospital General de Asturias, Oviedo).

La SEFM desea expresar su profundo agradecimiento a todas estas personas por el tiempo y el esfuerzo que han dedicado a esta tarea. El agradecimiento se extiende también al Centro de Investigaciones Energéticas, Medio Ambientales y Tecnológicas (CIEMAT, antigua JEN) y a todos los departamentos o servicios a los que estas personas pertenecen, por el apoyo y las facilidades prestadas para que esa dedicación fuera posible. A su vez, y en nombre del CDR, desea expresar su agradecimiento a C. E. Granados, Jefe de la División de Metrología de las Radiaciones Ionizantes del CIEMAT, por la ayuda prestada para la redacción final.

## INDICE

	<u>Pág.</u>
1. <b>Introducción</b> .....	1
2. <b>Recomendación del CCEMRI (Sección I)</b> .....	3
3. <b>Actualización de parámetros en haces de fotones</b> .....	4
4. <b>Influencia del electrodo colector de la cámara de ionización</b> .....	6
4.1. Descripción del efecto.....	7
4.2. Recomendación .....	10
5. <b>Tablas</b> .....	11
6. <b>Erratas y rectificaciones al documento SEFM n.º 1 - 1984</b> .....	18
<b>Referencias</b> .....	20

## 1. Introducción

En los procedimientos descritos en el documento SEFM n.º 1 - 1984 se emplean parámetros de carácter dosimétrico y diversas constantes físicas. En buena parte, unos y otras se usan en los Laboratorios Nacionales para establecer los patrones de las magnitudes radiológicas de interés. Parece claro que tanto los Laboratorios Nacionales como los procedimientos dosimétricos nacionales e internacionales deberían emplear los mismos valores de parámetros y constantes, todo ello en aras de la deseada uniformidad o si se quiere de la consistencia a lo largo de toda la cadena dosimétrica, desde el Laboratorio Nacional hasta el Servicio de Física de una institución hospitalaria. Pues bien, aunque resulte extraño, esto no ha sido así, por diversos motivos. En ocasiones se han empleado distintas fuentes de datos por no existir una comunicación fluida y deseable entre los distintos eslabones de la cadena. En otras, la aparición de valores más elaborados y con menores incertidumbres de algunos parámetros, producida con relativa frecuencia en los últimos años, ha chocado con la natural tendencia de los Laboratorios Nacionales de no realizar cambios frecuentes en los patrones primarios. Todo ello ha producido de hecho una cierta inconsistencia. En un trabajo reciente (ANDREO y col, 1987) se describe con más detalle esta inconsistencia así como otras internas existentes en algunos protocolos nacionales.

El Comité Consultivo para los patrones de medida de las radiaciones ionizantes de la Oficina Internacional de Pesas y Medidas, en su reunión de abril de 1985 (CCEMRI, (I), 1985), recomendó a todos los laboratorios nacionales el uso, a partir de enero de 1986, de un conjunto de valores, parámetros y constantes, con el objetivo, ciertamente plausible, de alcanzar la consistencia entre todos ellos. La aceptación de esta recomendación producía cambios en los patrones de kerma en aire y de exposición, cambios que habría de transmitirse a lo largo de la cadena metrológica.

Ante esta recomendación, el Comité de Dosimetría en Radioterapia (CDR) decidió revisar también, de acuerdo con la recomendación del CCEMRI (I), el documento SEFM n.º 1 - 1984. Este es pues el objetivo principal que persigue la

publicación de este suplemento. Por otro lado, y aprovechando esta circunstancia, se ha creído conveniente actualizarlo incluyendo los resultados de aquellos trabajos desarrollados durante los dos últimos años y que han desembocado en un mejor conocimiento de parámetros. Algunos de ellos facilitan la eliminación de algunas inconsistencias, ya señaladas en el anterior documento. Por último, se señalan las erratas encontradas en él y aquellas rectificaciones que el CDR ha considerado oportunas para una mejor comprensión y claridad del documento.

Teniendo en cuenta el objetivo de este suplemento, la Sociedad Española de Física Médica, a través de su Comité de Dosimetría en Radioterapia, en contacto directo con la División de Metrología del CIEMAT, ha convenido en hacer efectiva de manera simultánea las consecuencias del cambio señalado a partir del 1 de mayo de 1987. Por todo ello, la Sociedad Española de Física Médica recomienda la aplicación de este suplemento a partir de esa fecha.

## 2. Recomendación del CCEMRI (Sección I)

No se entra en detalle de los considerandos que anteceden a la descripción de los valores recomendados que hace el CCEMRI (I), por lo que se remite al lector interesado al documento CCEMRI (I), 1985. Para las distintas magnitudes, los valores recomendados son los siguientes:

- a) Poderes de frenado para electrones, los contenidos en el informe número 37 de ICRU (ICRU, 1984).
- b) Energía media disipada por la radiación por unidad de carga eléctrica producida en la ionización del aire seco,  $W/e$ , el señalado en los informes CCEMRI (I) 1985 y CCEMRI (I)/85-8, 1985.  $W/e = 33,97 \pm 0,06$  J/C.
- c) Fracción de la energía perdida por los electrones en forma de radiación de frenado en el aire, en la energía del  $^{60}\text{Co}$ , el señalado en el informe CCEMRI (I)/85-18, 1985.  $g = 0,003$ .
- d) Coeficientes de absorción de energía, los contenidos en el documento IJARI 33, 1982 (HUBBELL, 1982).

La aplicación de estos valores a los procedimientos contenidos en SEFM n.º 1 - 1984 afecta al factor  $N_D$  (a través de  $W/e$ ,  $g_i$  y  $k_m$ ), al parámetro  $s_{w,air}$  y al factor de perturbación  $p_u$  (a través del factor  $p_{wall}$ ). En consecuencia se verán afectadas numéricamente todas las ecuaciones del documento anterior donde aparezcan los factores descritos. En el apartado 5 se dan las nuevas tablas adaptadas a los valores recomendados.

### 3. Actualización de parámetros en haces de fotones

El apartado 6.3.2 del documento SEFM n.º 1-1984 se señalaba la falta de consistencia entre los factores existentes de ciertos parámetros dosimétricos y la caracterización de la calidad del haz de fotones utilizada para la selección de los mismos. Por ejemplo, los datos disponibles de la razón de poderes de frenado agua/aire habían sido calculados para un espectro de fotones determinado, mientras que la calidad del haz, especificada como  $J_{100}/J_{200}$  a DFS = 1 m, correspondía a una determinación experimental en un acelerador cuyo espectro no coincidía con el anterior. Resultaba por tanto que no existía una correlación suficientemente estrecha en la determinación de las dos magnitudes. Asimismo, y debido precisamente a esta falta de datos consistentes, los valores numéricos de los dos parámetros utilizados para caracterizar la calidad del haz ( $J_{100}/J_{200}$  a DSF = 1 m y DFC = 1 m) no estaban correlacionados entre sí, produciéndose un error al utilizar el parámetro  $J_{100}/J_{200}$  a DFC = 1 m como entrada en la tabla 6.5 por debajo de un valor de 1,30 aproximadamente (ANDREO y BRAHME, 1986).

Existe en la actualidad un conjunto de datos en los que la determinación de la calidad del haz y las razones de poderes de frenado material/aire se han obtenido de manera coherente al calcular simultáneamente la absorción de energía y el espectro de electrones a distintas profundidades para un espectro de fotones dado, cubriendo el rango de fotones comúnmente utilizado en Radioterapia (ANDREO y BRAHME, 1986). Los mismos haces se han utilizado para obtener las razones de coeficientes másicos de absorción de energía agua/material (CUNNINGHAM, 1986).

Estos datos no adolecen de las inconsistencias anteriormente señaladas y hacen innecesaria la utilización de un concepto como el «potencial acelerador» sugerido en SEFM n.º 1 - 1984. De esta manera la calidad de un haz de fotones queda inequívoca y precisamente caracterizada por el cociente

$J_{100}/J_{200}$  en cualquiera de las dos condiciones de medida, y la selección de  $s_{w,air}$ ,  $s_{wall,w}$  y de  $(\mu_{en}/\rho)_{w,wall}$  está verdaderamente ligada a dicho parámetro. Los valores numéricos que aquí se contemplan han sido obtenidos de acuerdo con las recomendaciones del CCEMRI (I) y se dan en las nuevas tablas 6.5, 6.7 y 6.8 del apartado 5.

Es preciso señalar, sin embargo, que los parámetros  $\delta$  y  $\alpha$  (véase tabla 6.6 y figura 6.1 de SEFM n.º 1) seguirán expresándose en función del potencial acelerador nominal de la unidad de tratamiento. La pequeña variación de  $\delta$  con la energía y la escasa incidencia de una variación de  $\alpha$  en  $p_{wall}$  hace innecesario reconvertir la entrada en MV de las citadas tabla y figura a la calidad del haz expresado como  $J_{100}/J_{200}$ .

### 4. Influencia del electrodo colector de la cámara de ionización

En el apartado 4 del protocolo, y al explicar la determinación de la dosis absorbida en un punto en el seno de un material, se describían los distintos factores que tenían en cuenta la perturbación introducida por la naturaleza y extensión del detector. En ese mismo apartado y en una nota a pie de página, se describía la existencia de otro factor de perturbación, cual era el debido a la naturaleza y extensión del electrodo colector, señalándose a continuación las causas por las que no se tenía en cuenta en la formulación de Bragg-Gray.

Cuando se trata de determinar en el primer nivel de la cadena metroológica (véase Laboratorios Nacionales) dosis absorbidas en un material o una magnitud como el kerma en aire en el seno de aire, utilizando la cámara como una cavidad de Bragg-Gray, es bien sabida la conveniencia de disponer de una cámara homogénea en su sentido más amplio, es decir, la pared, caperuza si la hay, electrodo colector, y cuantos materiales estructurales sea posible, construidos de un mismo material, por otra parte lo más equivalente en su comportamiento al material de interés o al aire, según los casos. La homogeneidad de la cámara facilita la evaluación experimental de distintos factores de corrección, sin olvidar el idéntico comportamiento de todos los materiales integrantes frente a haces de diferentes energías o de anchas distribuciones espectrales. En el campo de la dosimetría clínica, sin embargo, una buena parte, por no decir la mayoría de las cámaras (véase tabla 4.3a en SEFM n.º 1)<sup>1</sup>, disponen de electrodos colectores

<sup>1</sup> Sólo las cámaras Capintec 0,65 cc PR-06C y NE2581 disponen de electrodos colectores fabricados del mismo material que la pared.

metálicos, debido entre otras razones a condicionantes de robustez y de una mejor respuesta en energía cuando se utilizan en la zona de rayos X de energías medias (terapia convencional). Esto hace que cuando se utilizan como cavidades de Bragg-Gray, como es el caso del documento de que se trata, no se pueda disponer de las ventajas que resultan de una cámara totalmente homogénea.

Los datos disponibles en la actualidad sobre el efecto de la falta de homogeneidad del electrodo colector son escasos. Se refieren a un solo modelo de cámara de ionización (NE 2505/3)<sup>2</sup> y cubren únicamente una parte del rango de aplicación del presente y anterior documento. Concretamente, las experiencias y cálculos realizados con haces de fotones abarcan energías desde el <sup>60</sup>Co a las de haces generados con potencial acelerador de 16 MV. Para electrones el rango es el comprendido entre 5 y 20 MeV de energía media en superficie.

A pesar de esta escasez de datos, el CDR al describir este efecto y hacer una posterior recomendación, ha tenido en cuenta el hecho de que la cámara estudiada es mayoritariamente utilizada como de referencia en los Servicios de Física españoles y que en algunos casos, como se verá más adelante, el efecto no ofrece dudas y es de una cuantía suficientemente significativa.

#### 4.1. Descripción del efecto

Para una cámara totalmente homogénea y del tipo y materiales usados normalmente en dosimetría clínica, la teoría de Bragg-Gray no predice cambios significativos del parámetro  $k_m$  con la forma geométrica de la cavidad y por lo tanto con el tamaño del electrodo colector. Si éste fuera de un tamaño tal que representara una buena parte de la masa de la cámara,  $k_{as}$  lo debería tener en cuenta. Este no es el caso y así, para una cámara Farmer con un electrodo de grafito, la influencia de la presencia de este electrodo sobre el producto  $k_m k_{as}$  es despreciable a efectos prácticos (ROGERS y col., 1985). En consecuencia, si para el espectro de electrones que ve esta cámara para un haz de <sup>60</sup>Co en aire se puede ignorar la presencia del electrodo de grafito, con mayor razón lo será para energías superiores de fotones y energías de haces de electrones donde es recomendable su uso. Obsérvese que la formulación desarrollada a lo largo del documento SEFM n.º 1 - 1984, al ignorar la

2) Este modelo de cámara dispone de un electrodo de aluminio de 1 mm de diámetro. Dado que la cámara NE2571 resulta ser prácticamente idéntica, le es igualmente aplicable el efecto del electrodo colector metálico.

presencia del electrodo colector tanto en la determinación previa de  $N_D$  como en la determinación final de  $D_w$ , resulta perfectamente adecuada para una cámara totalmente homogénea.

Para una auténtica cámara del tipo Farmer (NE 2505/3), sin embargo, y cuando se expone a un haz de <sup>60</sup>Co, las experiencias y cálculos realizados por distintos autores muestran un incremento de la carga colegida respecto de la que se recogería procedente de una cámara idéntica pero con electrodo de grafito. Este efecto, que disminuye al aumentar la energía de los fotones, al parecer no resulta significativo con haces de electrones. Concretamente, los valores publicados hasta ahora para la energía de <sup>60</sup>Co y en el seno de aire muestran un incremento de la carga colegida de 0,8 % (KRISTENSEN, 1983), de 0,7 % (MATTSSON y JOHANSSON, 1984), y de 0,8 % (ROGERS y col., 1985). Para la misma energía, pero en el seno de un maniquí de agua, el incremento resulta ser de 0,9 % (MATTSSON, 1984). Para otras energías de fotones y para haces de electrones, los únicos datos disponibles proceden de este último autor quien para el mismo modelo de cámara señala un incremento entre 0,9 % para <sup>60</sup>Co y 0,5 % para 16 MV ( $J_{100}/J_{200} = 1,30$  para DFC = 1 m), para medidas en el seno de un maniquí de agua. Según el mismo autor este efecto no resulta detectable para haces de electrones de energía media en superficie entre 5 y 20 MeV.

Descrito el efecto del electrodo colector metálico, veamos como afectaría su influencia a la formulación desarrollada en el anterior documento. De acuerdo con lo expuesto, dos cámaras idénticas del tipo Farmer pero con electrodo de distinta naturaleza (aluminio y grafito) e irradiadas en aire en el proceso de calibración con un haz de <sup>60</sup>Co, darían valores distintos de la carga colegida para idéntico valor del kerma en aire en el seno de aire. En consecuencia presentarían valores distintos de  $N_K$ . El usuario, al seguir estrictamente el procedimiento recomendado en el documento SEFM n.º 1 - 1984, asignaría dos valores distintos de  $N_D$ <sup>3</sup> puesto que en la expresión:

$$N_D = N_K(1 - g)k_m k_{as} \quad (4-1)$$

no existe ningún factor que tenga en cuenta el efecto de la naturaleza del electrodo colector. Puesto que ambos factores  $N_K$  se diferenciarían en 0,8 %, para tener en cuenta este efecto del electrodo de

3) Cuando ambas cámaras Farmer, al tener idéntico volumen, deberían disponer del mismo valor de  $N_D$ . Véase ec. 4.14 en SEFM n.º 1-1984.

aluminio, podríamos recurrir bien a modificar la expresión de  $k_m$ , término que en principio debería englobar los efectos de la falta de equivalencia a aire de todos los materiales estructurales de la cámara, bien a introducir un factor (para algunos autores  $k_{cel}$ ) exclusivo del electrodo. En cualquier caso, la cuantía de la modificación equivaldría a la aplicación del factor 1,008 a la expresión 4-1.

Obviamente el efecto del electrodo metálico se manifestaría también en la medida en el seno de un maniquí de agua, al tratar de determinar  $D_w$ , puesto que ambas cámaras situadas en un mismo punto y para un haz idéntico, darían lugar a valores de  $M_u^*$  distintos y en consecuencia a diferentes valores de  $D_w$ . Análogamente, esto es debido a que en la expresión

$$D_w = M_u^* N_D s_{w,air} p_u \quad (4-2)$$

no se tiene en cuenta este efecto, que sin embargo debería incluirse en  $p_u$ . En este caso se podría optar por la introducción de un nuevo factor ( $k_{centr}, p_{cel}$  para algunos autores) que modificara la cuantía del factor  $p_u$ . Según los datos disponibles el valor numérico de este factor estaría comprendido entre 0,991 ( $^{60}Co$ ) y 0,995 (16 MV), siendo prácticamente 1 en el caso de haces de electrones.

Supuestamente efectuadas las modificaciones en  $N_D$  y  $p_u$  la determinación de  $D_w$  vendrá afectada por su producto. Cuantitativamente, éste no sufre prácticamente alteración en el caso de un haz de  $^{60}Co$ , y para haces de fotones de hasta  $J_{100}/J_{200} \geq 1,30$  (DFC = 1 m) resulta inferior a 0,3 %. Presumiblemente, dada la tendencia del efecto en haces de fotones, el producto produciría una corrección máxima de 0,8 % en el caso de que el efecto fuera despreciable para haces de fotones de muy alta energía, efecto todavía sin una confirmación experimental. Para haces de electrones, puesto que no se han observado efectos significativos de la influencia del electrodo central, el producto reflejará exclusivamente la contribución de  $N_D$ , es decir un 0,8 % para el modelo de cámara descrita.

#### 4.2. Recomendación

Una introducción formal del efecto producido por el electrodo colector obligaría en principio a modificar las formulaciones de  $N_D$  (mediante una nueva expresión de  $k_m$  que incluya el electrodo, o introduciendo un factor adicional  $k_{cel}$ ) y  $p_u$  (incluyendo un nuevo factor  $p_{cel}$ ). Por distintas razones

sin embargo, el CDR estima muy prematura y probablemente con poco futuro una modificación de la formulación desarrollada en SEFM n.º 1 - 1984, mostrándose por el contrario más partidario de efectuar una corrección global sobre  $D_w$  (ec. 4-2). En consecuencia recomienda:

- a) Para los modelos de cámara NE 2505/3 y NE 2571.
  - No efectuar ninguna corrección en haces de fotones.
  - Aplicar la corrección 1,008 en haces de electrones.
- b) Para otros modelos de cámara no efectuar ninguna corrección.

Cuando se empleen los modelos de cámara NE 2505/3 y NE 2571 como patrones locales en la determinación de los factores  $N_D$  de otras cámaras (Apéndice G, SEFM n.º 1) deberá tener presente lo señalado en la recomendación a), pues conviene recordar que el procedimiento señalado (apartado G.1) está basado en una medida idéntica de  $D_w$  mediante ambas cámaras (véase ec. G.1 del referido Apéndice).

#### 5. Tablas

A continuación se presentan las tablas adaptadas a los nuevos valores recomendados por el CCEMRI (I). Para evitar errores, aparecen con la misma numeración que se aplicó en el documento SEFM n.º 1-1984: tablas 4.1; 4.3b; 6.3; 6.5; 6.7 y 6.8.

TABLA 4.1. Razón de poderes máscicos de frenado aire/material y coeficientes máscicos de absorción de energía material/aire para rayos gamma de  $^{60}Co$ . (ANDREO y col., 1986)

Material (m) de la pared de la cámara o caperuza	$S_{air,m}$	$(\overline{\mu_{en}/\rho})_{m,air}$	Producto
Agua, H <sub>2</sub> O	0,883	1,112	0,981
A-150 (pl. eq. tejido)	0,876	1,101	0,965
C-552 (pl. eq. aire)	1,005	1,001	1,006
Delrin (Acetal) (CH <sub>2</sub> O) <sub>n</sub>	0,926	1,068	0,989
Grafito	0,998	1,001	0,999
Nylon 6 ó 6/6 (C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> ON) <sub>n</sub>	0,875	1,099	0,962
Plexiglás (PMMA) (C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	0,908	1,081	0,982
Poliestireno (C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	0,901	1,078	0,971
Tufnol	—	—	0,979 *

\* Según HENRY (1979).

TABLA 4.3b. Valores calculados de  $k_m$ ,  $k_{as}$  y  $k_m k_{as}$  para las cámaras de ionización de la tabla 4.3a. Estos valores no incluyen el efecto del electrodo colector

Cámara (denominación comercial)	$k_m$	$k_{as}$	$k_m k_{as}$
Capintec 0,65 cc PR-06C	1,006	0,984	0,990
Capintec 0,60 cc	0,989	0,989	0,979
NE 0,20 cc 2515	0,980	0,988	0,968
NE 0,20 cc 2577	0,994	0,987	0,982
NE 0,20 cc 2515/3	0,991	0,987	0,978
NE 0,60 cc 2581 *	0,969	0,990	0,959
NE 0,60 cc 2571	0,994	0,990	0,985
NE 0,60 cc 2505	0,980	0,991	0,971
NE 0,60 cc 2505/3	0,991	0,990	0,981
NE 0,60 cc 2505/3B	0,974	0,991	0,965
NE 0,32 cc 2561	0,995	0,985	0,979
PTW 0,30 cc 23332	0,982	0,993	0,976
PTW 0,60 cc 23333 **	0,982	0,993	0,975
PTW 1,00 cc 23331	0,982	0,992	0,974
Victoreen 0,30 cc 30-348	0,982	0,993	0,976
Victoreen 0,60 cc 30-351	0,982	0,993	0,975
Victoreen 1,00 cc 30-349	0,982	0,992	0,974

Cámara plano-paralela NACP  $0,981 \pm 0,005$

\* Si la caperuza se considera equivalente a PMMA,  $k_m k_{as} = 0,965$ .

\*\* Si se trata de la caperuza de 4,6 mm de PMMA,  $k_m k_{as} = 0,972$ .

TABLA 6.5. Valores recomendados de la razón de poderes de frenado agualaire,  $s_{w,air}$  para haces de fotones a la profundidad de calibración. (ANDREO y BRAHME, 1986; ANDREO y col., 1986.)

	$J_{100}/J_{200}$ DFC = 1 m	$J_{100}/J_{200}$ DFS = 1 m	$s_{w,air}$
$^{60}\text{Co}$	—	—	1,133
2,00	2,30	2,30	1,135
1,95	2,24	2,24	1,135
1,90	2,17	2,17	1,134
1,85	2,11	2,11	1,134
1,80	2,05	2,05	1,132
1,75	1,99	1,99	1,131
1,70	1,94	1,94	1,130
1,65	1,89	1,89	1,128
1,60	1,84	1,84	1,126
1,55	1,79	1,79	1,124
1,50	1,74	1,74	1,121
1,45	1,69	1,69	1,118
1,40	1,64	1,64	1,113
1,38	1,62	1,62	1,110
1,36	1,60	1,60	1,107
1,34	1,58	1,58	1,103
1,32	1,56	1,56	1,099
1,30	1,54	1,54	1,095
1,28	1,51	1,51	1,089
1,26	1,49	1,49	1,082
1,24	1,47	1,47	1,076
1,22	1,44	1,44	1,071
1,20	1,42	1,42	1,065

TABLA 6.7. Razón de poderes máxicos de frenado paredlagua,  $s_{wall,w}$  ( $\Delta = 10 \text{ keV}$ ), para diversos materiales y espectros de haces de fotones. (ANDREO y BRAHME, 1986; ANDREO y col., 1986.)

$J_{100}/J_{200}$ DFC = 1 m	$J_{100}/J_{200}$ DFS = 1 m	A-150	C-552	Grafito	Nylon	PMMA	Poliestireno
$^{60}\text{Co}$	—	1,008	0,878	0,884	1,008	0,973	0,980
2,00	2,30	1,010	0,878	0,888	1,011	0,974	0,981
1,95	2,24	1,010	0,879	0,888	1,011	0,973	0,981
1,90	2,17	1,010	0,879	0,887	1,011	0,974	0,981
1,85	2,11	1,010	0,879	0,887	1,010	0,974	0,981
1,80	2,05	1,009	0,879	0,887	1,010	0,973	0,981
1,75	1,99	1,009	0,879	0,886	1,009	0,973	0,981
1,70	1,94	1,008	0,879	0,885	1,008	0,972	0,980
1,65	1,89	1,007	0,879	0,884	1,008	0,972	0,980
1,60	1,84	1,006	0,878	0,884	1,007	0,972	0,980
1,55	1,79	1,006	0,878	0,883	1,006	0,972	0,980
1,50	1,74	1,006	0,878	0,882	1,006	0,971	0,979
1,45	1,69	1,004	0,878	0,882	1,004	0,970	0,979
1,40	1,64	1,003	0,878	0,881	1,003	0,970	0,978
1,35	1,59	1,002	0,878	0,881	1,002	0,970	0,977
1,30	1,54	1,002	0,878	0,880	1,001	0,970	0,977
1,25	1,48	1,000	0,877	0,880	0,999	0,969	0,977
1,20	1,42	0,999	0,877	0,880	0,998	0,969	0,977

TABLA 6.3. Valores recomendados de la razón de poderes de frenado agualaire,  $s_{w,air}$ , para haces de electrones en función de  $\bar{E}_0$ . (BERGER, 1983)

z/cm	$\bar{E}_0$ /MeV									
	50,0	40,0	30,0	25,0	20,0	18,0	16,0	14,0	12,0	10,0
0,0	0,904	0,912	0,928	0,940	0,955	0,961	0,969	0,977	0,986	0,997
0,1	0,905	0,913	0,929	0,941	0,955	0,962	0,969	0,978	0,987	0,998
0,2	0,906	0,914	0,930	0,942	0,956	0,963	0,970	0,978	0,988	0,999
0,3	0,907	0,915	0,931	0,943	0,957	0,964	0,971	0,979	0,989	1,000
0,4	0,908	0,916	0,932	0,944	0,958	0,965	0,972	0,980	0,990	1,002
0,5	0,909	0,917	0,933	0,945	0,959	0,966	0,973	0,982	0,991	1,003
0,6	0,909	0,918	0,934	0,946	0,960	0,967	0,974	0,983	0,993	1,005
0,8	0,911	0,920	0,936	0,948	0,962	0,969	0,976	0,985	0,996	1,009
1,0	0,913	0,922	0,938	0,950	0,964	0,971	0,979	0,988	0,999	1,013
1,2	0,914	0,924	0,940	0,952	0,966	0,973	0,981	0,991	1,002	1,017
1,4	0,916	0,925	0,942	0,954	0,968	0,976	0,984	0,994	1,006	1,022
1,6	0,917	0,927	0,944	0,956	0,971	0,978	0,987	0,997	1,010	1,027
1,8	0,918	0,929	0,945	0,957	0,973	0,981	0,990	1,001	1,014	1,032
2,0	0,920	0,930	0,947	0,959	0,975	0,983	0,993	1,004	1,018	1,038
2,5	0,923	0,934	0,952	0,964	0,981	0,990	1,000	1,013	1,030	1,053
3,0	0,926	0,938	0,956	0,969	0,987	0,997	1,008	1,023	1,042	1,069
3,5	0,929	0,941	0,960	0,974	0,994	1,004	1,017	1,034	1,056	1,085
4,0	0,932	0,944	0,964	0,979	1,001	1,012	1,027	1,046	1,071	1,101
4,5	0,935	0,948	0,969	0,985	1,008	1,021	1,037	1,059	1,086	1,115
5,0	0,938	0,951	0,973	0,990	1,016	1,030	1,049	1,072	1,101	1,123
5,5	0,940	0,954	0,978	0,996	1,024	1,040	1,061	1,086	1,113	1,125
6,0	0,943	0,958	0,983	1,002	1,033	1,051	1,074	1,100	1,121	1,122
7,0	0,948	0,965	0,993	1,017	1,054	1,075	1,099	1,118		
8,0	0,954	0,972	1,005	1,032	1,076	1,098	1,116	1,120		
9,0	0,960	0,981	1,018	1,049	1,098	1,114	1,118			
10,0	0,966	0,990	1,032	1,068	1,112	1,116				
12,0	0,980	1,009	1,062	1,103						
14,0	0,996	1,031	1,095	1,107						
16,0	1,013	1,056	1,103							
18,0	1,031	1,080								
20,0	1,051	1,094								
22,0	1,070									
24,0	1,082									
26,0	1,085									
28,0										
30,0										

TABLA 6.3. Continuación

z/cm	$\bar{E}_0$ /MeV									
	10,0	9,0	8,0	7,0	6,0	5,0	4,0	3,0	2,0	1,0
0,0	0,997	1,003	1,011	1,019	1,029	1,040	1,059	1,078	1,097	1,116
0,1	0,998	1,005	1,012	1,020	1,030	1,042	1,061	1,081	1,101	1,124
0,2	0,999	1,006	1,013	1,022	1,032	1,044	1,064	1,084	1,106	1,131
0,3	1,000	1,007	1,015	1,024	1,034	1,046	1,067	1,089	1,112	1,135
0,4	1,002	1,009	1,017	1,026	1,036	1,050	1,071	1,093	1,117	1,136
0,5	1,003	1,010	1,019	1,028	1,039	1,054	1,076	1,098	1,122	
0,6	1,005	1,012	1,021	1,031	1,043	1,058	1,080	1,103	1,126	
0,8	1,009	1,016	1,026	1,037	1,050	1,067	1,090	1,113	1,133	
1,0	1,013	1,021	1,031	1,043	1,058	1,076	1,099	1,121		
1,2	1,017	1,026	1,037	1,050	1,066	1,085	1,108	1,129		
1,4	1,022	1,032	1,044	1,058	1,075	1,095	1,117	1,133		
1,6	1,027	1,038	1,050	1,066	1,084	1,104	1,124			
1,8	1,032	1,044	1,057	1,074	1,093	1,112	1,130			
2,0	1,038	1,050	1,065	1,082	1,101	1,120	1,133			
2,5	1,053	1,067	1,083	1,102	1,120	1,131				
3,0	1,069	1,084	1,102	1,119	1,129					
3,5	1,085	1,102	1,118	1,128						
4,0	1,101	1,116	1,126							
4,5	1,115	1,125	1,127							
5,0	1,123	1,126								
5,5	1,125									

TABLA 6.8. Razón de coeficientes máscicos de absorción de energía agualpared  $(\overline{\mu_{en}/\rho})_{w,wall}$  para diversos materiales y espectros de haces de fotones. (CUNNINGHAM, 1986.)

$J_{100}/J_{200}$ DFC = 1 m	$J_{100}/J_{200}$ DFS = 1 m	A-150	C-552	Grafito	Nylon	PMMA	Poliestireno
<sup>60</sup> Co	—	1,011	1,110	1,113	1,015	1,030	1,034
2,00	2,30	1,011	1,110	1,114	1,015	1,031	1,035
1,95	2,24	1,011	1,110	1,114	1,015	1,031	1,035
1,90	2,17	1,011	1,110	1,114	1,015	1,031	1,035
1,85	2,11	1,011	1,110	1,113	1,015	1,030	1,034
1,80	2,05	1,011	1,110	1,113	1,015	1,030	1,034
1,75	1,99	1,011	1,110	1,113	1,015	1,030	1,034
1,70	1,94	1,012	1,110	1,113	1,015	1,030	1,034
1,65	1,89	1,012	1,110	1,113	1,015	1,031	1,035
1,60	1,84	1,012	1,110	1,113	1,015	1,031	1,035
1,55	1,79	1,013	1,110	1,114	1,016	1,031	1,036
1,50	1,74	1,014	1,109	1,115	1,017	1,032	1,037
1,45	1,69	1,015	1,109	1,115	1,018	1,032	1,039
1,40	1,64	1,018	1,107	1,116	1,020	1,034	1,041
1,35	1,59	1,023	1,105	1,119	1,026	1,038	1,048
1,30	1,54	1,031	1,102	1,123	1,033	1,043	1,057
1,25	1,48	1,043	1,096	1,130	1,045	1,051	1,071
1,20	1,42	1,056	1,090	1,137	1,059	1,060	1,087

## 6. ERRATAS Y RECTIFICACIONES AL DOCUMENTO SEFM N.º 1-1984

Página 13. En la ecuación 4.3 y después del cociente  $D_m/D_{air}$ , el signo igual se debería sustituir por el de aproximadamente.

Esto se debe a que en dicha expresión no se han incluido los términos que dan cuenta de la energía residual disipada por los electrones al final de su trayectoria («track-end»), es decir, electrones con energía comprendida entre  $2\Delta$  y  $\Delta$ , que como resultado de colisiones electrón-electrón pueden adquirir una energía inferior a  $\Delta$ .

Página XI y 16. La definición de  $W/e$  debería decir:

Energía media disipada por la radiación, por unidad de carga eléctrica producida en la ionización del aire seco (J/C).  $e$  es la carga del electrón.

Página 16. En la expresión 4.12 el signo igual se debería sustituir por el de aproximadamente.

Aun cuando la deducción de la expresión citada parece directa, lleva implícitas aproximaciones que no se han mencionado, referentes a la equivalencia de los materiales  $wall$  y  $m$  en cuanto a la atenuación y dispersión de fotones, y por tanto a la no alteración de la fluencia de éstos.

Página 32. En la tabla 6.2, en la intersección de las entradas correspondientes a  $p_{wall}$  y haces de fotones, donde aparece «Calidad de haz (MV)» deberá figurar «Calidad del haz ( $J_{100}/J_{200}$ )».

Es consecuencia de lo señalado en el apartado 3.

Página 46. La llamada 23 debería decir:

«Preferentemente de plexiglás (PMMA) o poliestireno.»

Página 85. El ejemplo de la determinación de  $N_{D,pp}$  de una cámara de ionización plano-paralela es poco realista en el aspecto numérico y puede producir confusión, pues aunque en la expresión G.3 de la página 79 se llama la atención sobre la forma de obtener un valor orientativo de  $N_D$ , en el ejemplo señalado no se ha tenido en cuenta el verdadero volumen nominal de colección de la cámara NACP. En el ejemplo se tomó una razón de volúmenes de la cámara cilíndrica a la plana de 1,5 (que es la razón de lecturas que aparece) con lo que se atribuía a la cámara NACP un volumen de  $0,4 \text{ cm}^3$  cuando en realidad es de  $0,16 \text{ cm}^3$  aproximadamente. La razón de lecturas que debería aparecer es de 3,8 aproximadamente, que es la razón de los volúmenes de las cámaras cilíndrica y plana (0,6/0,16).

Página 87. En el ejemplo debe tomarse  $\alpha = 0,53$  en lugar de 0,053.

La cámara NE 2505/3 del ejemplo tiene un espesor de pared de  $0,066 \text{ g/cm}^2$  (tabla 4.3a). Entrando con este dato en la figura 4.3, se obtiene el citado valor de  $\alpha$ .

Página 89. En el ejemplo, donde aparece  $0,937 \text{ Gy/u.m.}$  debería aparecer  $0,937 \times 10^{-2} \text{ Gy/u.m.}$

## REFERENCIAS

- AAPM (1983). American Association of Physicists in Medicine. «A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams». *Med. Phys.* **10**, 741.
- ANDREO, P., BRAHME, A. (1986). «Stopping power data for high-energy photon beams». *Phys. Med. Biol.* **31**, 839.
- ANDREO, P., NAHUM, A. E., BRAHME, A. (1986). «Chamber-dependent wall correction factors in dosimetry». *Phys. Med. Biol.* **31**, 1189.
- ANDREO, P., NAHUM, A. E., SVENSSON, H. (1987). «Recent developments in basic dosimetry». Pendiente de publicación en *Radiother. Oncol.*
- BERGER, M. J. (1983). Comunicación a AAPM (1983).
- CCEMRI (I) (1985). Comité Consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, Section I. Report CCEMRI (I)/85-8. «Effect of a change of stopping-power values on the  $W$  values recommended by ICRU for electrons in dry air (M. Boutillon, A.-M. Perroche)».
- CCEMRI (I) (1985). Comité Consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, Section I. Report CCEMRI (I)/85-18. «Values of  $g$  in air for BIPM radiation qualities (M. Boutillon)».
- CCMRI (I) (1985). Comité Consultatif pour les étalons de mesure des rayonnements ionisants, Section I. Report to the Comité International des Poids et Mesures (S. C. Ellis, Rapporteur), 8th Meeting CCEMRI (I), April 1985.
- CUNNINGHAM, J. R. (1986). Comunicación a OIEA (1987).
- HENRY, W. H. (1979). «On  $C_E$ ,  $C_\lambda$ , and the effective wall material of a Baldwin-Farmer chamber». *Phys. Med. Biol.* **24**, 37.
- HUBBELL, J. H. (1982). «Photon mass attenuation and energy absorption coefficients from 1 keV to 20 MeV». *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **33**, 1269.
- ICRU (1984). ICRU Report 37, «Stopping powers for electrons and positrons.» International Commission on Radiation Units and Measurements, Bethesda M. D.
- KRISTENSEN, M. (1983). «Measured influence of the central electrode diameter and material on the response of a graphite ionization chamber to Cobalt-60 gamma rays». *Phys. Med. Biol.* **28**, 1269.
- MATTSSON, L. O. (1984). «Application of the water calorimeter, Fricke dosimeter and ionization chamber in clinical dosimetry». Thesis. University of Gothenburg.
- MATTSSON, L. O., JOHANSSON, K. A. (1984). «Experimentally determined wall correction factors,  $k_m$  and  $k_{att}$ , for cylindrical ionization chambers used in high energy photon and electron beam dosimetry». Thesis L. O. Mattsson, University of Gothenburg.
- OIEA (1987). IAEA Technical Report Series n.º—. «Absorbed dose determination in photon and electron beams. An international Code of practice». International Atomic Energy Agency, Vienna.
- ROGERS, D. W. O., BIELAJEW, A. F., NAHUM, A. E. (1985). «Ion chamber response and  $A_{wall}$  correction factors in a Cobalt-60 beam by Monte Carlo simulation». *Phys. Med. Biol.* **30**, 429.
- SEFM (1984). Sociedad Española de Física Médica. Publicación n.º 1. «Procedimientos recomendados para la dosimetría de fotones y electrones de energías comprendidas entre 1 MeV y 50 MeV en radioterapia de haces externos». Comité de Dosimetría en Radioterapia de la SEFM.

TABLE 10.3. CHARACTERISTICS AND VALUES OF  $k_{att}$   $k_m$  FOR CYLINDRICAL IONIZATION CHAMBERS [1, 125].

Cylindrical ionization chamber	cavity length (mm)	cavity radius (mm)	Wall material	$t_{wall}$ (g/cm <sup>2</sup> )	Build-up cap material	$t_{cap}$ (g/cm <sup>2</sup> )	central electrode material	$k_m$ $k_{att}$
Capintec 0.07 cm <sup>3</sup> PR-05P mini	5.5	2.0	C-552	0.220	polystyrene	0.598	N/A	0.991
Capintec 0.14 cm <sup>3</sup> PR-05 mini	11.5	2.0	C-552	0.220	polystyrene	0.598	N/A	0.991
Capintec 0.65 cm <sup>3</sup> PR-06C Farmer type	22.3	3.2	C-552	0.050	C-552	0.924	N/A	0.990
Capintec 0.65 cm <sup>3</sup> PR-06C Farmer type	22.3	3.2	C-552	0.050	polystyrene	0.537	N/A	0.977
Capintec 0.65 cm <sup>3</sup> PR-06C Farmer type	22.3	3.2	C-552	0.050	PMMA <sup>a</sup>	0.547	N/A	0.983
Capintec 0.60 cm <sup>3</sup> PR-05P AAPM	23.8	3.3	graphite	0.046	PMMA	0.625	N/A	0.978
Exradin 0.5 cm <sup>3</sup> A2 Spokas (2 mm build-up)	11.4	4.8	C-552	0.176	C-552	0.352	C-552	0.992
Exradin 0.5 cm <sup>3</sup> A2 Spokas (4 mm build-up)	11.4	4.8	C-552	0.176	C-552	0.704	C-552	0.982
Exradin 0.5 cm <sup>3</sup> T2 Spokas	11.4	4.8	A-150	0.114	A-150	0.455	A-150	0.950
Exradin 0.05 cm <sup>3</sup> T1 min Shonka	5.7	2.0	A-150	0.114	A-150	0.455	A-150	0.956
Exradin 0.65 cm <sup>3</sup> A12 Farmer type	24.2	3.1	C-552	0.088	C-552	0.493	C-552	0.997
Far West Tech 0.1 cm <sup>3</sup> IC-18	9.5	2.3	A-150	0.183	A-150	0.386	A-150	0.956
FZH 0.4 cm <sup>3</sup> TK 01 waterproof	12	3.5	Delrin	0.071	Delrin	0.430	N/A	0.978
NE 0.20 cm <sup>3</sup> 2515	7.0	3.0	Tufnol	0.074	PMMA	0.543	aluminium	0.968
NE 0.20 cm <sup>3</sup> 2515/3	7.0	3.2	graphite	0.066	PMMA	0.543	aluminium	0.978
NE 0.20 cm <sup>3</sup> 2577	8.3	3.2	graphite	0.066	Delrin	0.552	aluminium	0.982
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2505 '54-'59 <sup>b</sup>	24.0	3.0	Tufnol	0.075	PMMA	0.415	aluminium	0.973
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2505 '59-'67 <sup>b</sup>	24.0	3.0	Tufnol	0.075	PMMA	0.545	aluminium	0.971
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2505/A '67-'74 <sup>b</sup>	24.0	3.0	nylon 66	0.063	PMMA	0.545	aluminium	0.962
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2505/3, 3A '71-'79 <sup>b</sup>	24.0	3.2	graphite	0.065	PMMA	0.551	aluminium	0.981
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2505/3, 3B '74-present <sup>b</sup>	24.0	3.2	nylon 66	0.041	PMMA	0.551	aluminium	0.965
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2571 graphite/Al cel	24.0	3.2	graphite	0.065	Delrin	0.551	aluminium	0.985
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2571 graphite/graphite cel <sup>c</sup>	24.0	3.15	graphite	0.065	Delrin	0.551	graphite	0.985
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Farmer 2571 graphite/graphite cel <sup>c</sup>	24.0	3.15	graphite	0.065	graphite	0.380	graphite	0.992
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Robust Farmer 2581	24.0	3.2	A-150	0.040	PMMA	0.584	aluminium	0.966
NE 0.6 cm <sup>3</sup> Robust Farmer 2581	24.0	3.2	A-150	0.041	polystyrene	0.584	aluminium	0.959
NE 0.325 cm <sup>3</sup> NPL Sec Std 2561 (cel hollow)	9.2	3.7	graphite	0.090	Delrin	0.600	aluminium	0.979
PTW 0.1 cm <sup>3</sup> 23323 micro	12	1.75	PMMA	0.208	PMMA	0.357	aluminium	0.974
PTW 1.0 cm <sup>3</sup> 23331 rigid	22	3.95	PMMA	0.060	PMMA	0.345	aluminium	0.974
PTW 0.3 cm <sup>3</sup> 23332 rigid	18	2.5	PMMA	0.054	PMMA	0.357	aluminium	0.975
PTW 0.6 cm <sup>3</sup> 30001 acrylic/Al cel Farmer	23	3.05	PMMA	0.045	PMMA	0.541	aluminium	0.972
PTW 0.6 cm <sup>3</sup> 30002 graphite/graphite cel Farmer	23	3.05	graphite	0.079	PMMA	0.541	graphite	0.982
PTW 0.6 cm <sup>3</sup> 30004 graphite/Al cel Farmer	23	3.05	graphite	0.079	PMMA	0.541	aluminium	0.982
PTW 0.125 cm <sup>3</sup> 31002 flexible	6.5	2.75	PMMA	0.079	PMMA	0.357	aluminium	0.973
PTW 0.3 cm <sup>3</sup> 31003 flexible	16.3	2.75	PMMA	0.079	PMMA	0.357	aluminium	0.974
Victoreen 0.1 cm <sup>3</sup> Radocon II 555	4.3	2.5	Delrin	0.529	N/A	N/A	N/A	0.979
Victoreen 0.3 cm <sup>3</sup> Radocon III 550	23.0	2.4	polystyrene	0.117	PMMA	0.481	N/A	0.965
Victoreen 0.30 cm <sup>3</sup> 30-348	18.0	2.5	PMMA	0.060	PMMA	0.360	N/A	0.975
Victoreen 0.60 cm <sup>3</sup> 30-351	23.0	3.05	PMMA	0.060	PMMA	0.360	N/A	0.975
Victoreen 1.00 cm <sup>3</sup> 30-349	22.0	4.0	PMMA	0.060	PMMA	0.360	N/A	0.974
Victoreen 0.4 cm <sup>3</sup> 30-361	22.3	2.35	PMMA	0.144	PMMA	0.360	N/A	0.976
SSI graphite <sup>c</sup>	17.9	4.0	graphite	0.084	graphite	0.384	graphite	0.989
SSI A-150 <sup>c</sup>	17.9	4.0	A-150	0.056	A-150	0.373	A-150	0.955

<sup>a</sup> PMMA is known also as Acrylic, Lucite or Polymethylmetacrylate

<sup>b</sup> Year of manufacture.

<sup>c</sup> Experimental device, not commercially available