

CARACTERIZACION DE UN NUEVO MATERIAL PARA USO COMO TEJIDO SUSTITUTO EN RADIOTERAPIA

J. Vásquez^{1,2}, G. Murcia¹, M.C. Plazas^{1,3}, J.J. Torres¹, A. Mejía¹, O. Mattos¹

¹ Instituto Nacional de Cancerología, Grupo de Física Médica, Bogotá D.C., Colombia

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Escuela de Física, Tunja, Colombia

³ Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Bogotá, D.C., Colombia

E-mail: jvm@mixmail.com

RESUMEN

Dada la necesidad de un material que reuniera las características apropiadas para ser utilizado como tejido sustituto en la práctica de la radioterapia, se elaboró un material con base en tejido blando de pescado, agua y glicerina. En este artículo se describe su caracterización dosimétrica y química para determinar la viabilidad de su utilización como maniquí o bolus. El material es maleable, no es degradable por la radiación, es reciclable y además tiene una composición elemental muy cercana a la ideal. Debido a que su origen es un tejido animal, se encontraron proporciones relativamente altas de silicio y calcio que podrían disminuirse. El análisis dosimétrico se realizó con radiación gamma (Co-60), y rayos X de alta energía (6MV) midiendo los coeficientes de atenuación lineal y los porcentajes de dosis en profundidad. En los coeficientes de atenuación lineal se encontró una relación con respecto al agua de 0.990, para Co-60 y de 0.987 para 6MV. La densidad electrónica y dosis en profundidad, de acuerdo con los resultados obtenidos, presentan ventajas respecto a otros materiales utilizados convencionalmente.

1. INTRODUCCION

Cualquier material que simule un tejido del cuerpo humano en su interacción con las radiaciones ionizantes es denominado *tejido sustituto* [1], [2] Una estructura que contiene uno o más tejidos sustitutos y es usada para simular las interacciones de la radiación en el cuerpo es denominado un *maniquí*. El principal uso que se les da a los maniquíes está en la radioterapia, también en radiología diagnóstica, medicina nuclear, protección radiológica y radiobiología. En radioterapia su utilidad, principalmente, está en la dosimetría y en el uso como bolus, entendiendo este como el tejido sustituto colocado en la proximidad a la zona a irradiar para lograr una dispersión extra, *build-up* o atenuación del haz; usualmente, su propósito es nivelar el contorno de un paciente para lograr una superficie normal al haz. Por otra parte, el maniquí dosimétrico se usa para medir la dosis absorbida en una geometría específica.

Desde comienzos del siglo XX se han utilizado tejidos sustitutos como agua, parafina, cera de abejas, aserrín, etc. Como bolus, específicamente, se han

empleado la parafina, bolsas de arroz, de pasta y de agua. A su vez se han estudiado las propiedades de estos materiales en los que se demuestra, por ejemplo, que la atenuación en el agua es similar a la atenuación en tejidos blandos [2]. En 1956, se introduce una fórmula química empírica para la elaboración de tejido sustituto [3].

Actualmente existen en el mercado nuevos plásticos y resinas como poliuretanos y polietileno, otros como el denominado *agua sólida* [4] con los que se fabrican una gran variedad de maniqués de alta calidad.

Es importante resaltar que el agua es el material patrón como maniqué dosimétrico en radioterapia.

2. BASES TEORICAS

Dentro de los requerimientos para los materiales usados en maniqués se encuentran:

Homogeneidad: Deben evitarse inhomogeneidades como porosidades que introduzcan incertidumbres mayores al 1% en la transmisión de la radiación o estimaciones de dosis.

Composición/pureza: La composición elemental debe ser conocida. Deben evitarse los contaminantes, especialmente aquellos con alto número atómico ($Z > 20$)

Estabilidad: Todos los tejidos sustitutos deben ser inertes y estables

No deben presentar degradación por repetidas irradiaciones

El maniqué debe mantener las tolerancias dimensionales

Propiedades mecánicas: El maniqué debe presentar suficiente resistencia mecánica para resistir su manipulación. El maniqué no debe deformarse irreversiblemente. Se deben evitar los materiales frágiles

Propiedades térmicas: Mínima distorsión ($< 0.1\%$ en volumen) dentro del rango de temperatura ambiente

Conductividad eléctrica: En dosimetría de electrones debe ser necesaria la conductividad eléctrica para evitar almacenamiento de carga

Toxicidad: No debe ser tóxico, cancerígeno o alérgico

Composición química: Debe tener una composición química deseable de 10.2% H, 12.3% C, 3.5% N, 72.9% O.

Para determinar el número atómico efectivo promedio se usa la ecuación:

$$Z_{ef} = (\sum_i a_i Z_i^{3.5})^{1/3.5} \quad (1)$$

donde a_i representa la fracción de electrones por gramo de un elemento determinado con número atómico Z_i . [5]

De igual manera, se puede determinar de una manera bastante confiable su densidad electrónica a partir de los valores Z_i y A_i

De acuerdo a lo anterior se han determinado algunas características de los materiales más utilizados. La tabla I presenta la comparación de estos valores.

El agua es el material por excelencia que se usa como referencia para su uso en maniqués dosimétricos por su aceptable y reproducible composición. Sin embargo

pueden existir otras aplicaciones en las que un material sólido es más conveniente.

Tabla I. Comparación de las características de diferentes materiales

	Agua	Acrílico	Poliestireno	Tejido
Composición	H ₂ O	C ₈ H ₈ O ₂	C ₈ H ₈	-
Densidad(gcm ⁻³)	1.0	1.17	1.06	1.0
Z medio	7.22	6.24	5.62	7.10
Dens.electr (e/g)	3.34x10 ²³	3.253x10 ²³	3.24x10 ²³	3.32x10 ²³

3. MATERIALES Y METODOS

El material estudiado (que llamaremos JJT) es un compuesto elaborado de manera casera con base en tejido blando de pescado, glicerina y agua. Tiene como característica maleabilidad y consistencia, es reciclable y puede fabricarse con formas irregulares y de manera personalizada para un paciente, si se pretende su uso como bolus. Para su caracterización dosimétrica se emplearon láminas de 30 x 30cm² de diferentes espesores.

Se estudió la dosis en profundidad, utilizando un electrómetro Farmer 2570A, una cámara de ionización tipo Farmer de 0.6 cm³ NE2570 dentro de las láminas variando su profundidad e irradiando con una configuración SSD de 80cm para una unidad de cobalto-60 Theratron 780 y SSD de 100cm para un acelerador lineal Clinac 600C de 6MV. También se midió en otros materiales para comparar los resultados.

Los coeficientes lineales de atenuación se obtuvieron con los mismos instrumentos, dejando constante la distancia de la cámara a la fuente de radiación y adicionando láminas hasta lograr espesores de 23 cm. Además para facilitar el análisis y evitar factores de corrección, se hicieron las medidas con un colimador a una abertura de 4x4cm² y a distancias fuente – cámara iguales que en las medidas anteriores

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2)$$

Donde I es la intensidad medida para un espesor x de material y μ es el coeficiente lineal de atenuación.

También se midió en otros materiales para comparar los resultados.

La composición química se determinó con el uso de un equipo C-H-N 1000 para buscar elementos C, H y N. Para ello fue necesario realizar un recubrimiento de cobre y un proceso de secado a la muestra. Este método arroja los porcentajes en los que se encuentra carbono, hidrógeno y nitrógeno a partir de una muestra calibrada. Además se usó un microscopio electrónico de barrido que permite detectar elementos con $Z > 20$.

Además se determinó su comportamiento conductivo colocando voltajes entre dos puntos del material, se midió la corriente y el voltaje de salida.

4. RESULTADOS

Se analizaron algunos aspectos físicos, químicos y dosimétricos importantes cuyos resultados presentamos a continuación.

4.1 Físicos

4.1.1 Estado: El material es un sólido flexible con propiedades de maleabilidad, permite amoldarlo y recuperar su forma original sin presentar ningún cambio. Dada su flexibilidad, presenta deformación (no permanente) cuando se somete a esfuerzos.

4.1.2 Degradación por irradiación: Durante el tiempo que se ha estudiado este material no se ha observado cambio alguno para una dosis estimada de 1000Gy.

4.1.3 Propiedades térmicas: A temperaturas ambiente, el material presenta estabilidad en su consistencia y volumen, a temperaturas superiores a los 45°C pierde su estado sólido flexible y se transforma en líquido viscoso. Por encima de los 60°C, pierde sus propiedades por evaporación.

4.1.4 Conductividad: Se obtuvo una curva que nos permite conocer el comportamiento conductivo

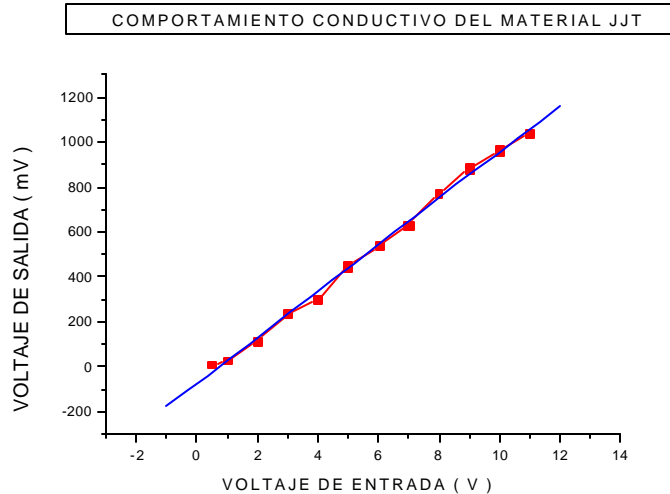


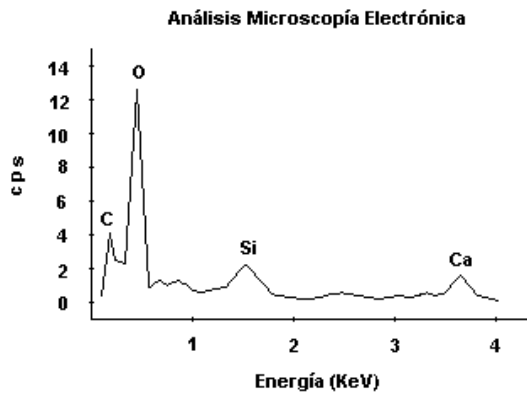
Figura # 1

4.1.5 Densidad: La densidad medida arrojó un valor de 1.040g/cm³, lo que resulta favorable por su cercanía al valor de la densidad en tejido blando.

4.2 Químicos

4.2.1 Toxicidad: En el análisis con animales, no se ha presentado ningún tipo de reacción alérgica o toxicidad.

4.2.2 Composición química: Los resultados en cuanto a su composición química pueden sintetizarse en la Gráfica 2 y en la tabla II



Gráfica # 2

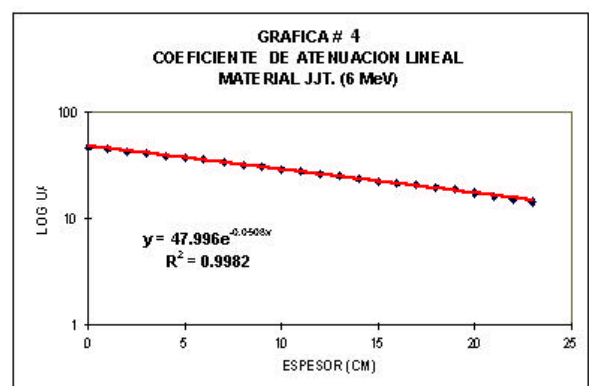
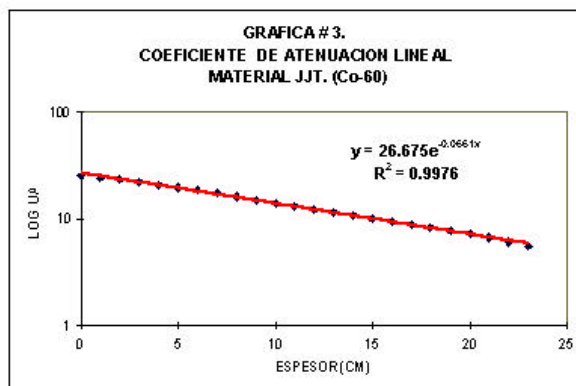
Según el contenido porcentual de diferentes elementos, se determinaron el número atómico efectivo $Z_{ef} = 9.33$ y la densidad electrónica $\rho = 3.39 \times 10^{23}$ elec./g.

Tabla II Cantidades en porcentaje de elementos encontrados

ELEMENTO	PORCENTAJE	NUMERO ATOMICO (Z)
H	8.79	1
C	36.1	6
N	6.68	7
O	39.76	8
Si	2.81	14
Ca	5.9	20

4.3 Dosimétricos

4.3.1 Coeficiente lineal de atenuación: Las gráficas presentan los resultados obtenidos como se explicó en la sección



Las medidas también se realizaron con acrílico y parafina. La tabla III presenta los valores obtenidos.

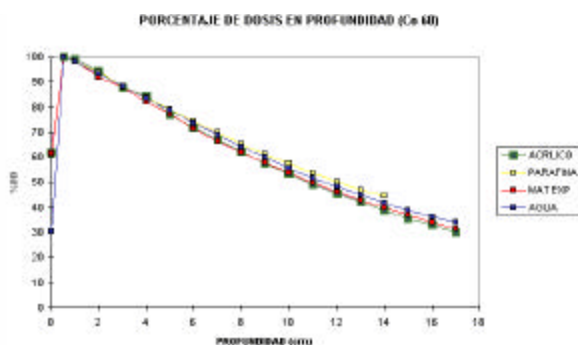
Tabla III. Diferente valores medidos de μ (cm^{-1})

ENERGIA	ACRILICO	PARAFINA	JJT
Co-60	0.0719	0.0521	0.0661
6MV	0.0511	0.0394	0.0508

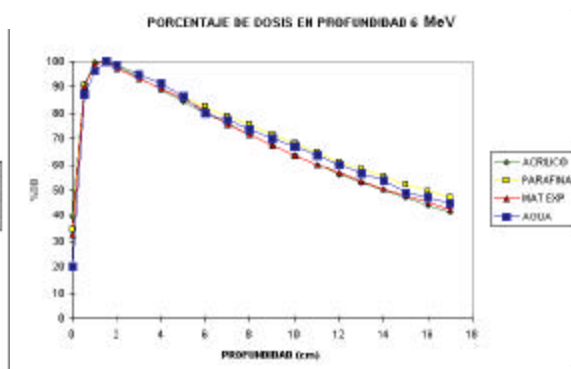
En estos coeficientes la relación del material JJT con respecto al agua de 0.990, para Co-60 y de 0.987 para 6MV.

4.3.2 Porcentaje de dosis en profundidad: Las gráficas 5 y 6 presentan los resultados que permiten hacer una comparación directa en los diferentes materiales

Gráfica #5



Gráfica #6



5. DISCUSION

De acuerdo a los resultados, se trata de un material cuyas propiedades son semejantes a las de otros usados como tejidos sustitutos. La gráfica 1 nos indica que hay conductividad en el material, sin embargo no podemos afirmar prácticamente nada sobre sus cualidades con la interacción con electrones. Por ahora es viable su uso en radioterapia con fotones en el rango de las energías ya indicadas, su carácter flexible lo hace propio para el uso como bolus aunque no sería indicado como maniquí dosimétrico dada la precisión que se requiere en la posición del detector. La tabla IV nos permite hacer una comparación con otros materiales.

Tabla IV. Análisis comparativo

PARAMETRO	ACRILICO	PARAFINA	AGUA	MATERIAL JJT
Estado	Sólido rígido	Sólido rígido	Líquido	Sólido flexible
Degrad. por rad.	Si (decolor., crist.)	No	No	No
Conductividad	No	No	Si	Si
Densidad (g/cm ³)	1.170	0.897	1.00	1.040
Compo- Sición Química	H%	8.0	15	8.79
	C%	60.0	85.0	36.1
	N%	0.0	0	6.68
	O%	32.0	0	39.76
	Otros%	0	0	Si:2.81, Ca:5.9
Z efectivo	6.48	5.42	7.42	9.95
$\rho_e \times 10^{23}$ (elec/g)	3.24	3.44	3.34	3.39
μ/ρ (Co-60) m ² /Kg	6.15×10^{-3}	5.8×10^{-3}	6.41×10^{-3}	6.35×10^{-3}
μ/ρ (6MV)	4.36×10^{-3}	4.39×10^{-3}	4.94×10^{-3}	4.88×10^{-3}

6. CONCLUSIONES

Por la forma como se fabrica este material, es posible, a partir de otros análisis, optimizar sus características haciéndolo cada vez más apto para el uso que se le pretenda dar. Pueden variarse las proporciones de sus componentes, lo que nos deja abierta una gran posibilidad de estudio para otros tipos de radiaciones y energías. Tal como se analizó presenta propiedades físicas, químicas y dosimétricas aceptables que se acercan a las características deseadas para utilizarse como tejido sustituto y emplearse preferiblemente como bolus o como maniquí teniendo en cuenta su maleabilidad.

7. REFERENCIAS

- [1] ICRU Report 44. Tissue substitutes in radiation dosimetry and measurement. International commission on radiation units and measurements. Bethesda, Maryland (1989)
- [2] ICRU Report 48. Phantoms and computational models in therapy, diagnosis and protection. International commission on radiation units and measurements. Bethesda, Maryland (1992)
- [3] Rossi, H.H. and Failla, G. Tissue equivalent ionization chambers. Nucleonics 14, 32 (1956)
- [4] Constantinou, C., Attix, F.H. and Paliwal, B.R. A solid water phantom material for radiotherapy x-ray and γ -ray beam calibrations. Med. Phys. 9,436. (1982)
- [5] Johns, H.E., Cunningham, J.R., The physics of radiology. Springfield, Illinois. Charles C. Thomas Publiesher (1983)

Palabras claves: Phantom, Radiation, Dosimetry.