

FACTORES DE SALIDA EN HACES CONFORMADOS DE ELECTRONES EN INCIDENCIA OBLICUA CON FINES TERAPÉUTICOS

M. E. GALASSI*, P. J. MEOLI**, G. H. OLIVERA*, R. RIVAROLA* y P. FAINSTEIN*

* Grupo de Colisiones Atómicas, Instituto de Física Rosario (CONICET-UNR), Av. Pellegrini 250, (2000) Rosario

** Departamento de Radioterapia, Instituto Alexander Fleming, Cramer 1180, (1426) Buenos Aires

*o Grupo de Colisiones Atómicas, Centro Atómico Bariloche, (8400) S.C. de Bariloche

e-mail: galassi@unrctu.edu.ar

El uso de haces conformados de electrones es una práctica habitual en radioterapia. Debido a las curvaturas anatómicas de las regiones a irradiar, existen situaciones en las cuales la incidencia del haz es oblicua. La información acerca de este tipo de haces (conformados y en incidencia oblicua) es escasa. Por esta razón, el objetivo de este trabajo es obtener información acerca de la dosimetría en este tipo de haces.

Se presentan mediciones de perfiles de dosis en haces de electrones conformados en diferentes ángulos de incidencia en un fantoma de agua. Se analiza el comportamiento de perfiles de dosis en el eje y fuera del eje del haz para diferentes energías y tamaños de campo. Además, se estudia la contribución de los electrones secundarios generados en el material utilizado para conformar el haz.

The use of conformed electrons beams is an habitual practice in radiotherapy. Due to the anatomical curvatures of the regions to irradiate there are situations where the beam incidence is oblique. The information in this kind of beams (i.e. conformed and at oblique incidence) it is scarce. For this reason the goal of this work is to obtain information about the dosimetry in this kind of beams.

We presented measurements of dose profile in conformed therapeutic electrons beams at different angles in a water phantom. We analysed the behaviour of dose profiles in the axis and off-axis of the beam for different energies and field sizes.

The contribution of the secondary electrons generated in the material used to conform beam is studied.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso de aceleradores lineales en terapia radiante es muy frecuente. Este tipo de equipamiento, en sus modelos más recientes, cuenta en general con dos tipos de energías de fotones y varias de electrones. En particular, los haces de electrones tienen algunas características que los hacen de especial interés desde el punto de vista terapéutico. Entre ellas se pueden citar: a) La dosis en superficie tiene un valor entre 80% y 90% de la dosis en el máximo; b) Alcanzan el máximo de dosis a bajas profundidades de penetración, variando ésta con la energía del haz de electrones; c) La zona de máxima dosis toma la forma de *plateau* (zona de dosis constante), variable con la energía del haz; d) Cuando termina este *plateau*, la dosis cae abruptamente a valores muy bajos, hasta un alcance máximo de penetración de los electrones en el medio material, donde a partir de allí no logran dañar el resto del tejido.

Debido a las características antes citadas, los haces de electrones son de suma utilidad para el tratamiento de neoplasias superficiales o poco profundas.

Está bien establecido que, para obtener resultados satisfactorios cuando se realiza un tratamiento radiante, la propagación de todos los errores involucrados en el proceso de entregar dosis al tumor no debe superar el 5%. Es también de gran importancia asegurar la uniformidad de

la dosis en la zona tumoral (con variaciones no mayores que un 10%). Por lo tanto, es necesario conocer como se distribuye la dosis en el paciente en las diferentes situaciones que se pueden presentar.

Para la aplicación terapéutica de haces de electrones, los aceleradores cuentan con unos accesorios que son aplicadores especiales, cuyo objetivo es guiar el haz y delimitar el tamaño de la zona a irradiar (Tamaño de Campo). Estos aplicadores delimitan zonas cuadradas o circulares de dimensiones estándar cuya dosimetría y el consiguiente estudio de la distribución de dosis son bien conocidos. Sin embargo, en un tratamiento real, las formas y tamaños de campo dependen de datos anatómicos obtenidos del paciente mediante algún método de diagnóstico (radiografías, tomografías computadas, RMN, etc.). Por lo tanto, en muchas aplicaciones en pacientes es necesario conformar el haz, es decir adaptar su geometría a la necesidad del tratamiento. Para este tipo de campos, recién en el último tiempo se están realizando trabajos para establecer la dosimetría en el caso de incidencia perpendicular del haz de electrones al medio material. Además, es muy común que en este tipo de tratamiento haya regiones donde el haz incida en forma oblicua a la superficie. Para este tipo de haces, conformados y de incidencia oblicua, no existen trabajos en la literatura; y de ahí surge la necesidad de realizar un estudio sobre este tema.

Las distribuciones de dosis absorbida en agua y tejido humano son muy similares en haces de electrones y fotones debido al gran porcentaje de agua presente en los tejidos. Debido a esto, el agua es recomendada como el medio estándar para medir dosis absorbida y realizar una correcta dosimetría.

El presente estudio es parte de una colaboración entre el grupo de Colisiones Atómicas y el Departamento de Radioterapia del Instituto *Alexander Fleming* de Buenos Aires. Los expuestos son resultados preliminares que formarán parte de la tesis de licenciatura de la primera autora. Se prevé la medición de nuevos datos y la comparación con modelos teóricos.

Oblicuidad y conformación del haz

Como se mencionó anteriormente, a menudo la incidencia del haz es oblicua debido a las curvaturas anatómicas de la zona a irradiar.

En trabajos previos se ha demostrado^{1,2} que un incremento en la oblicuidad del haz tiende a:

- 1) disminuir el porcentaje de dosis en profundidad
- 2) correr el valor de dosis máxima hacia la superficie.

Este último efecto fue explicado por Ekstrand y Dixon³ del siguiente modo:

“Un haz ancho de electrones puede ser considerado como la suma de un gran número de haces delgados. Consideremos tres haces delgados adyacentes bajo incidencia normal y oblicua sobre un fantoma de agua (ver fig. 1).

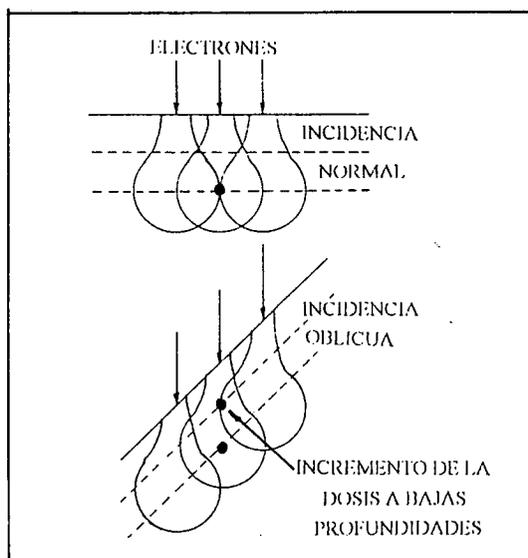


figura 1. Influencia de la angulación de haz sobre los perfiles de dosis

Con incidencia normal y en bajas profundidades, la dosis en un punto sobre el eje del haz central es debida solamente a electrones del eje central mismo. A mayores profundidades, debido a la difusión del haz de electrones, el haz delgado adyacente contribuye significativamente a la dosis.

Con incidencia oblicua, el punto en bajas profundidades recibe una contribución adicional del haz adyacente, el cual ha atravesado un mayor espesor del material.”

Con respecto al efecto del conformado de los campos sobre distribuciones de dosis se ha observado, en incidencia normal, que independientemente del largo del campo existe una disminución en la dosis a partir de campos de ancho menor a 4 cm, siendo constante para campos de ancho mayor a 4 cm dentro de un 2%. En referencia (4) se ha estudiado este fenómeno y se lo ha atribuido a una pérdida de la contribución de los electrones que inciden en forma oblicua a la superficie y provienen de un *scattering* del haz primario con el sistema de colimación.

II. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

Con el fin de constatar estos efectos, se midieron perfiles de dosis en profundidad en el eje y fuera del eje del haz para ángulos de 0°, 20° y 40°.

Las mediciones se realizaron en un acelerador de electrones “Siemens KDS-2” con una cámara de placas paralelas tipo MARCUS, PTW 23343. Se utilizó un fantoma de agua ACCUSCAN II, de dos dimensiones, con una modificación que permitió medir los perfiles en profundidad en ángulo.

El sistema colimador de un acelerador clínico de electrones y el dispositivo de medición utilizado para este trabajo se esquematizan en la figura 2. Básicamente, al emerger del sistema acelerador, el haz de electrones (cuya sección transversal tiene un diámetro de aproximadamente 2 mm) es dispersado por medio de una delgada lámina dispersora. Luego de atravesar un sistema monitor de chequeo, el haz es colimado para optimizar su rendimiento terapéutico.

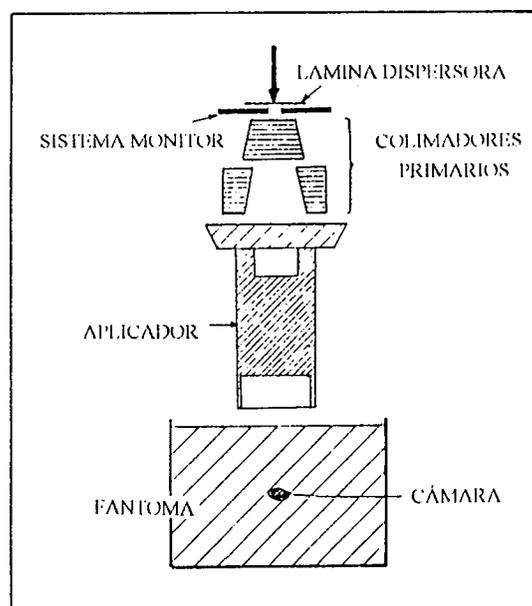


figura 2. Esquema del sistema de colimación de un acelerador lineal y dispositivo experimental

La primera colimación se realiza por medio de los llamados "colimadores primarios", que son bloques de material de alto número atómico (generalmente Pb). La siguiente colimación se realiza colocando accesorios adicionales llamados "aplicadores o conos" (ver fig.3).

La finalidad de los aplicadores es uniformizar la fluencia de electrones en la superficie a irradiar. Las bases de éstos poseen medidas estándar que definen el tamaño de la superficie a irradiar. Sobre dichas bases se apoyan los bloques conformadores de campo. Es importante destacar que para la realización de las mediciones se utilizó un cono de 10x10 cm² de base.

La geometría del dispositivo experimental se muestra esquemáticamente en las figuras 4-a y 4-b. Obsérvese que la cámara de ionización fue dispuesta de modo tal que el eje del haz incidía en forma normal a la superficie de las placas colectoras de la misma. Esta es una condición fundamental para una dosimetría correcta con este tipo de cámaras.

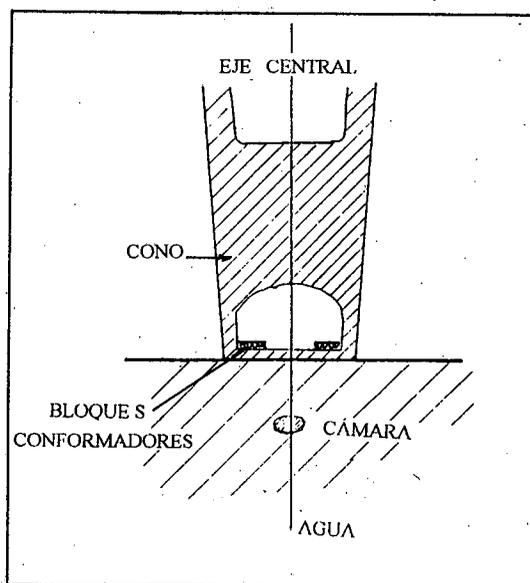


figura 4-a. Ubicación del cono y la cámara de ionización en incidencia normal. Obsérvese que la base del cono se apoya sobre la superficie del agua.

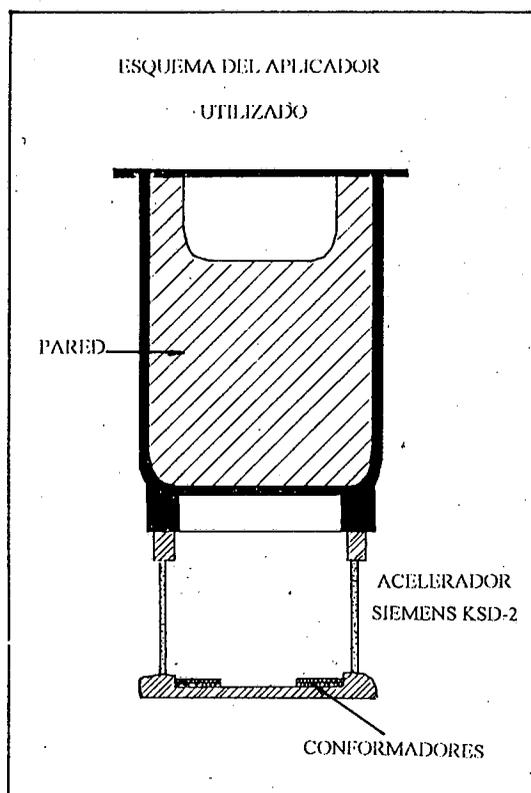


figura 3. Esquema del aplicador utilizado

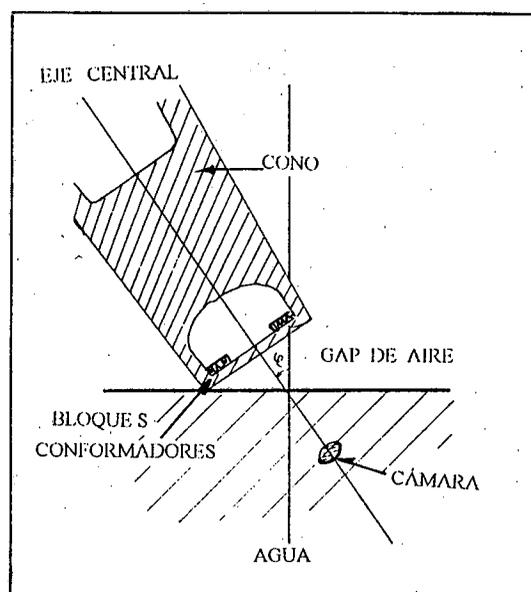


figura 4-b. Ubicación del cono y la cámara de ionización en incidencia oblicua (ángulo ϕ). Las profundidades se midieron a lo largo del eje central del haz tomándose como cero la intersección de este con la superficie del agua

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 5a, 5b y 5c muestran perfiles de porcentaje de ionización en función de la profundidad para distintos ángulos de incidencia del haz sobre la superficie del agua. Es importante aclarar que en barridos en profundidad, las profundidades se tomaron sobre el eje central (ver fig. 4a y 4b) adoptando como nivel cero el punto de intersección del eje central con la superficie del agua.

En la figura 5a se muestran perfiles de porcentaje de ionización para barridos en profundidad en incidencia normal. En ésta se observa el efecto de contaminación del haz primario debido a la dispersión de los electrones en los bordes de los bloques conformadores (colimación secundaria). Los electrones generados de este modo son menos energéticos y por lo tanto contribuyen a un incremento de los perfiles de dosis en la zona entre la

superficie (profundidad cero) y el máximo de la curva. Obsérvese que el máximo de porcentaje de ionización sobre el eje central se obtiene para un campo de $10 \times 5 \text{ cm}^2$.

En la figura 5b, correspondiente a un ángulo de incidencia de 20° , se observa que los valores de máximo para las curvas correspondientes a tamaños de campo de 10×10 y $10 \times 5 \text{ cm}^2$ prácticamente se igualan, mientras que en la gráfica 5c (ángulo de incidencia de 40°) se observa que la dosis máxima para el campo de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ excede al valor máximo para el conformedo de $10 \times 5 \text{ cm}^2$.

Este efecto, puede explicarse teniendo en cuenta la presencia del espesor de aire o *gap* existente entre la base del cono y la superficie a irradiar cuando el haz incide en forma oblicua (ver fig.4), por la atenuación y dispersión en el *gap* de aire de los electrones generados en el sistema de colimación.

Nótese el aumento del *gap* al incrementarse el ángulo de incidencia.

Las figuras 6a, 6b y 6c muestran perfiles de porcentaje de ionización en función de la profundidad, para distintos ángulos y valores de energía.

Obsérvese el efecto del corrimiento de los máximos de las curvas hacia la superficie, el cual se acentúa a menores energías. Se puede observar una disminución en los valores de máximo al aumentar el ángulo de incidencia.

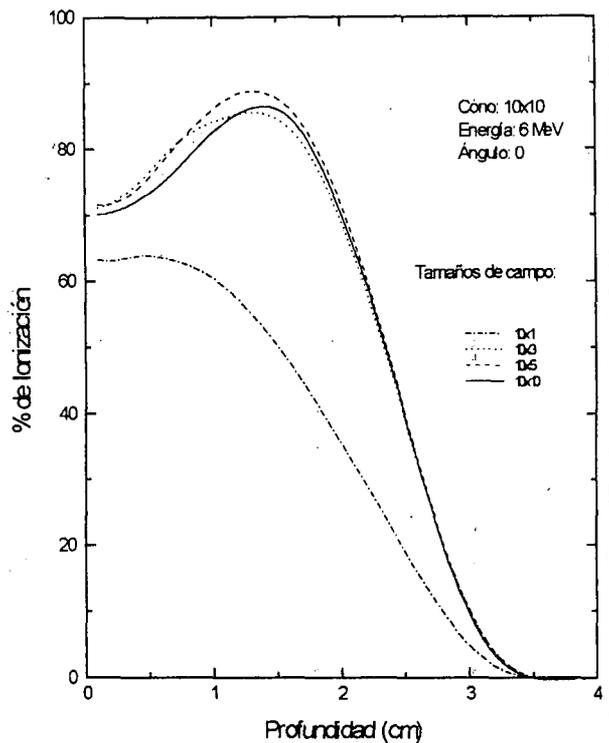


Figura 5a. Barridos en profundidad en incidencia normal para una energía de 6 MeV y cono de $10 \times 10 \text{ cm}^2$ de base.

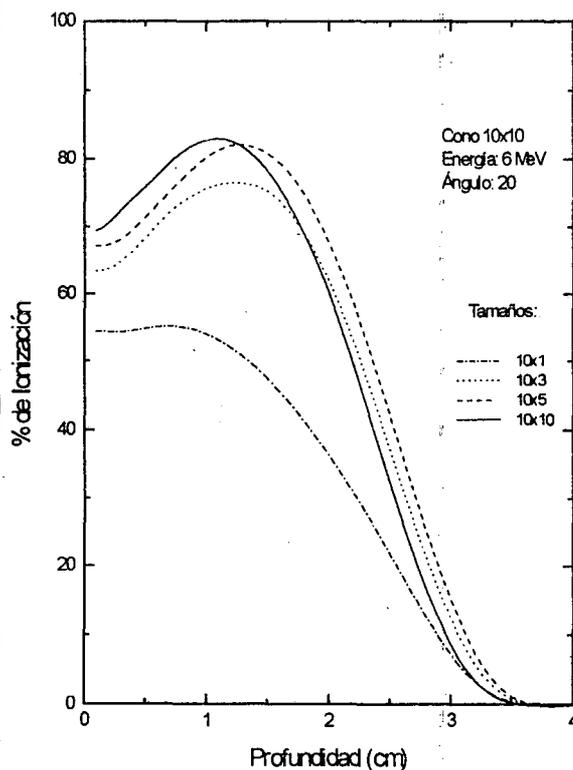


Figura 5b. Barridos en profundidad para un ángulo de 20° , energía de 6 MeV y tamaños de campo de 10×1 , 10×3 , 10×5 y 10×10 .

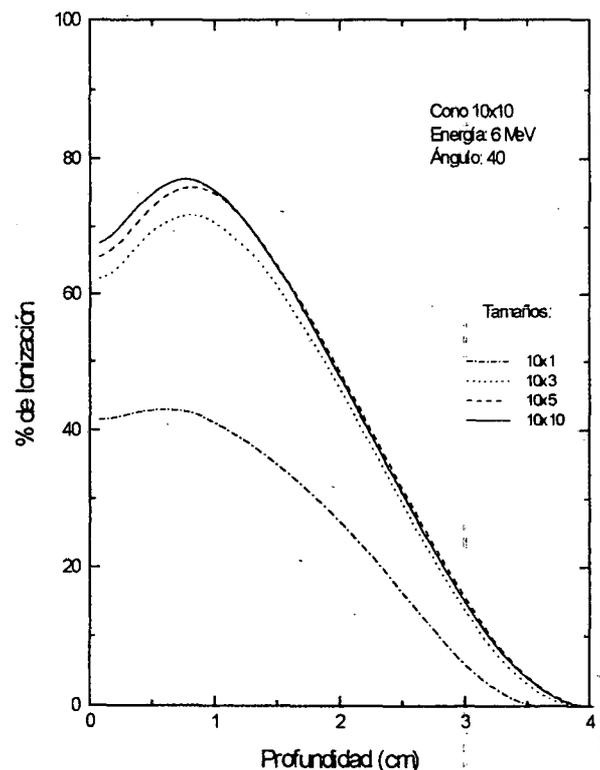


Figura 5c. Barridos en profundidad para un ángulo de 40° y una energía de 6 MeV.

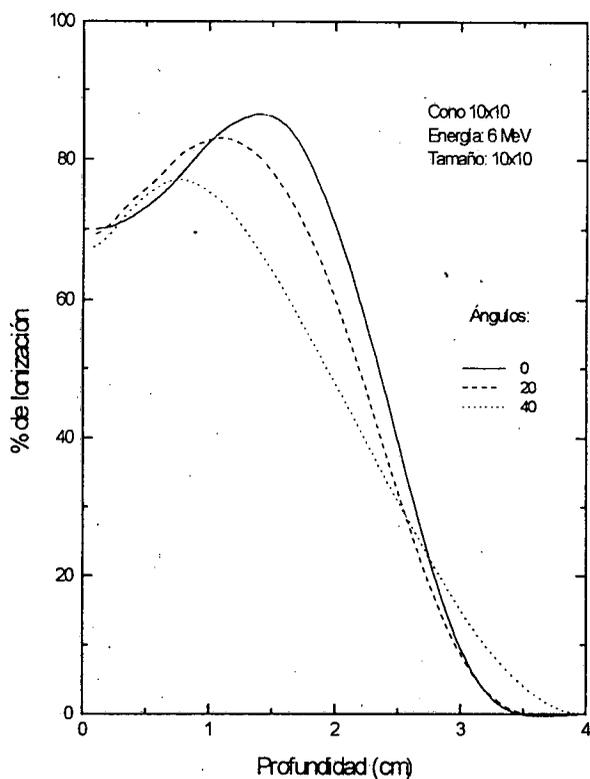


Figura 6a. Barridos en profundidad en ángulos de 0°, 20° y 40° para una energía de 6 MeV y tamaño de campo de 10x10 cm

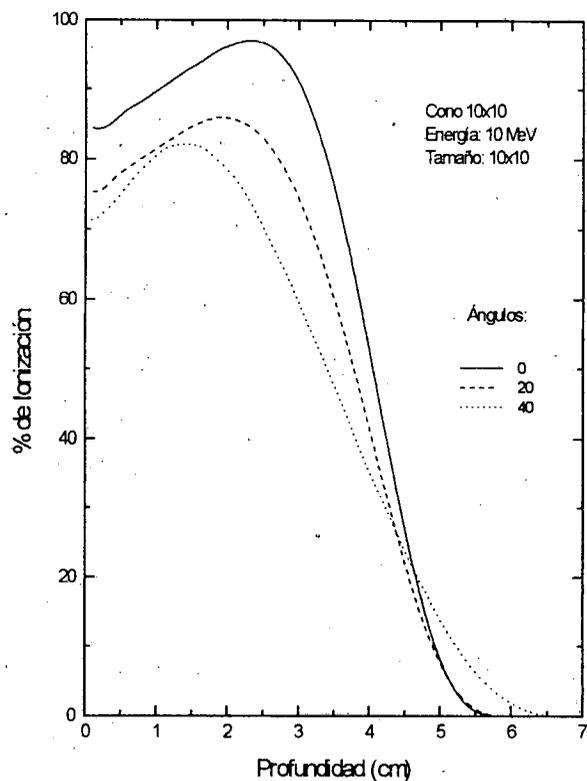


Figura 6b. Barridos en profundidad en ángulos de 0°, 20° y 40° para una energía de 10 MeV y tamaño de campo de 10x10 cm

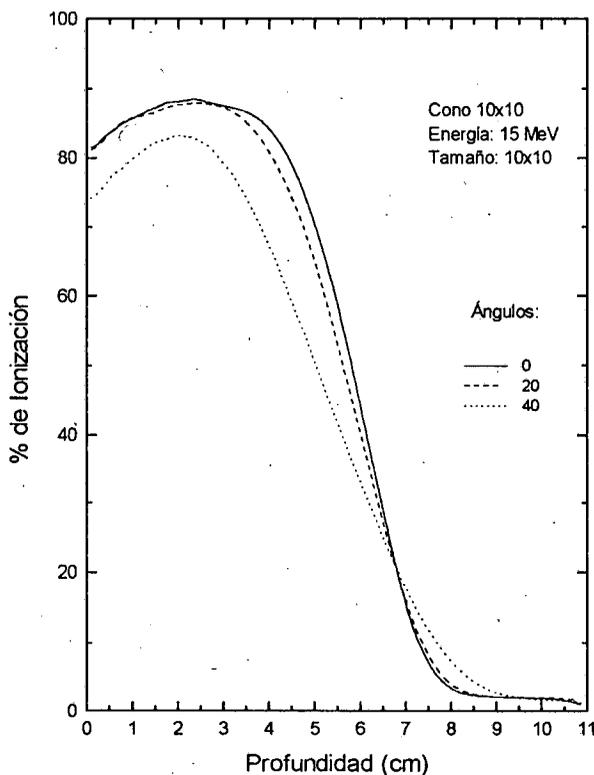


Figura 6c. Barridos en prof. en ángulos de 0°, 20° y 40° para una energía de 15 MeV y tamaño de campo de 10x10 cm.

En las figuras 7a, 7b y 7c, se muestran los perfiles transversales de ionización del haz de electrones, obtenidos por barridos paralelos a la superficie del agua para distintas profundidades (tomadas desde la superficie del agua y perpendicularmente a la misma).

Obsérvese en la figura 7a la curva correspondiente a la profundidad de 0.35 cm. En ésta se pone de manifiesto la presencia de electrones secundarios provenientes del *scattering* del haz primario en los bordes de la base y paredes internas del cono, lo cual produce un notable incremento en la ionización hacia los extremos.

En la gráfica 7b, a la misma profundidad, se observa un máximo en la región en la cual la base del cono se halla en contacto con la superficie. Este efecto se manifiesta también y con mayor intensidad en la figura 7c, que corresponde al ángulo de 40°.

Otro hecho que vale la pena destacar es el corrimiento de los centros de las curvas hacia la izquierda al aumentar el ángulo de incidencia y la profundidad.

Para poner en evidencia la dispersión sufrida por el haz, debida a la presencia del gap de aire generado por la angulación, se muestran en la figura 8 tres curvas correspondientes a un mismo tamaño de campo, energía y profundidad pero distinto ángulo de incidencia. En esta figura puede observarse claramente el aumento en el ancho de las curvas al aumentar el ángulo de incidencia del haz.

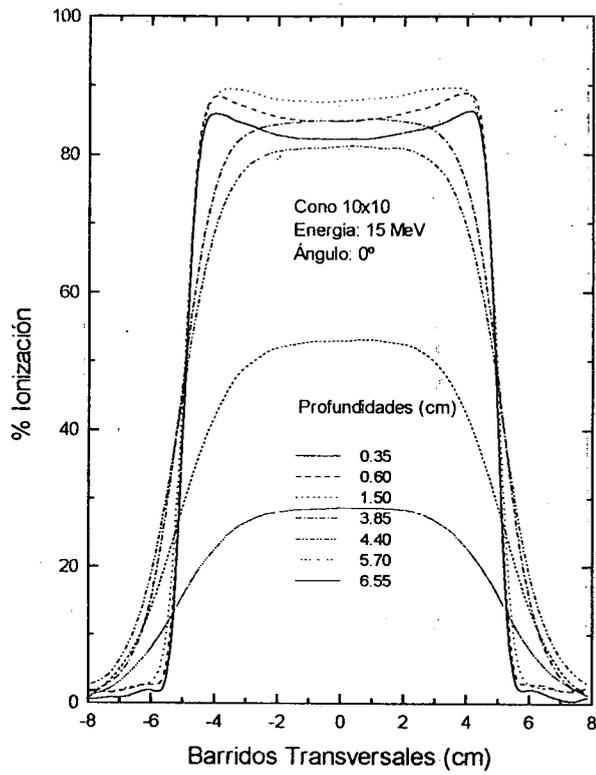


Figura 7a. Barridos transversales en incidencia normal.

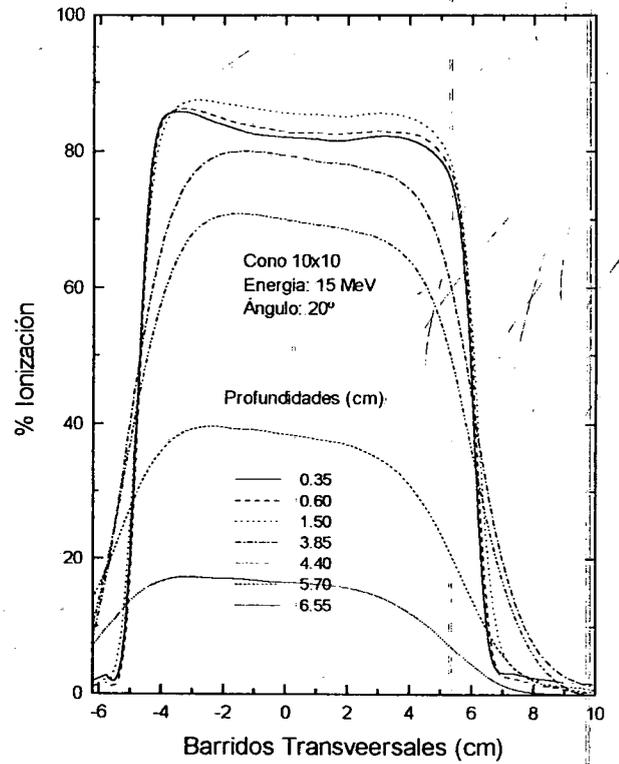


Figura 7b. Barridos transversales en incidencia oblicua

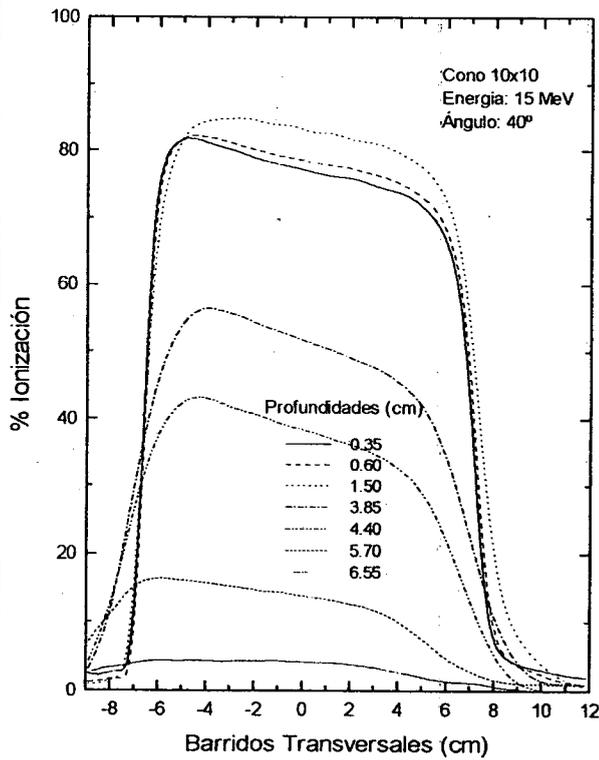


Figura 7c. Barridos transversales en incidencia oblicua. para un ángulo de 40 grados

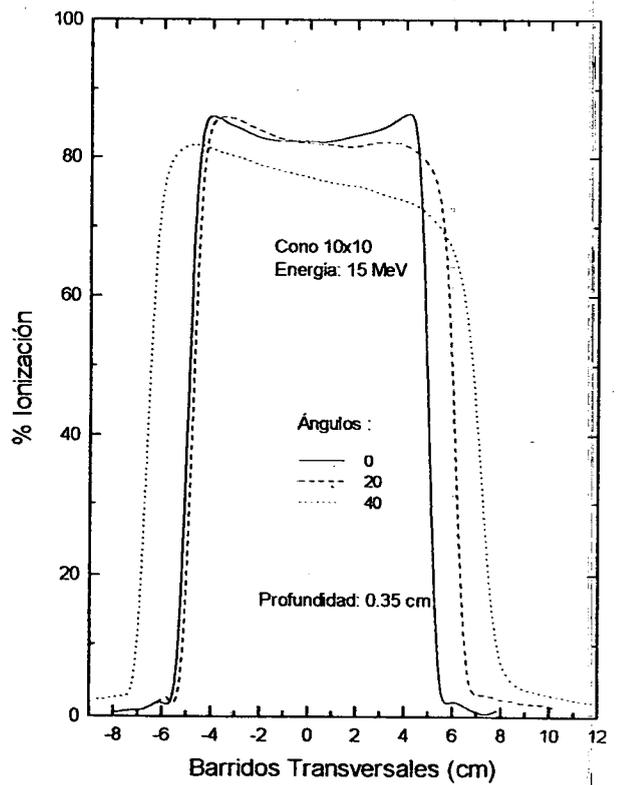


Figura 8. Dispersión en barridos transversales en función del ángulo de incidencia.

IV. CONCLUSIÓN

Como se ha mostrado, la presencia de bloques conformadores de campo y la incidencia oblicua del haz sobre la superficie, producen variaciones muy importantes sobre los perfiles de ionización (y por consiguiente sobre dosis absorbida). Dichas variaciones deben tenerse en cuenta a la hora de planificar un tratamiento en terapia radiante.

REFERENCIAS

- 1- Peter J Biggs, Physics in Medicine and Biology, vol. 29, pag.1089; 1984
- 2- Faiz M Khant, Medical Physics, 12 (6), 749-753, 1985
- 3- K. E. Ekstrand and R. L. Dixon, Medical Physics, 9 (2), 1992.
- 4- Pablo J Meoli, Tesis de Licenciatura, Instituto Balseiro, Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, 1990