

“Estimación de la contribución por neutrones a la dosis equivalente para Personal Ocupacionalmente Expuesto y público en instalaciones de uso médico: Rayos X de energía igual y/o superior a 10MV”.

**Alfonso Mayer González¹, Roberto Ortega Jimenez¹, Mario A. Reyes Sanchez¹,
Mario Moranchel y Mejía².**

1. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS),
Dr. Barragán No.779, Col. Narvarte Del. Benito Juárez,
México D.F. C.P. 03020.
amgesfm@hotmail.com
rojimenez@cnsns.gob.mx

2. Instituto Politécnico Nacional (IPN),
Escuela Superior de Física y Matemáticas (ESFM),
Departamento de Ingeniería Nuclear,
Av. IPN, Edificio 9, Del. Gustavo A. Madero,
México D. F.
mmoranchel@ipn.mx

ABSTRACT

In Mexico the use of electron accelerators for treating cancerous tumors had grown enormously in the last decade. When the treatments are carried out with X-ray beam energy below 10 MV the design of the shielding of the radioactive facility is determined by analyzing the interaction of X-rays, which have a direct impact and dispersion, with materials of the facility. However, when it makes use of X-ray beam energy equal to or greater than 10 MV the neutrons presence is imminent due to their generation by the interaction of the primary beam X-ray with materials head of the accelerator and of the table of treatment, mainly. In these cases, the design and calculation of shielding considers the generation of high-energy neutrons which contribute the equivalent dose that public and Occupationally Staff Exposed (POE) will receive in the areas surrounding the facility radioactive. However, very few measurements have been performed to determine the actual contribution to the neutron dose equivalent received by POE and public during working hours.

This paper presents an estimate of the actual contribution of the neutron dose equivalent received by public and POE facilities in various radioactive medical use, considering many factors. To this end, measurements were made of the equivalent dose by using a neutron monitor in areas surrounding different radioactive installations (of Mexico) which used electron accelerators medical use during treatment with X-ray beam energy equal to or greater than 10 MV. The results are presented after a statistical analysis of a wide range of measures in order to estimate more reliability real contribution of the neutron dose equivalent for POE and the public.

1. INTRODUCCIÓN.

El campo de radiación en torno de un acelerador lineal de uso médico, es una complicada mezcla de fotones provenientes de las fugas del cabezal, fotones dispersados por el paciente, por los atenuadores del haz y paredes del bunker, y fotones

generados por los electrones detenidos en cualquier otra parte distinta del blanco. Si la energía del acelerador es suficientemente alta para producir neutrones ($E > 10\text{MV}$) existirá además una componente neutrónica del campo de radiación. La producción primaria de neutrones se debe a reacciones (γ, n) existiendo una pequeña contribución debida a reacciones (γ, pn) y ($\gamma, 2n$) si la energía así lo permite. La generación de fotoneutrones en un acelerador lineal depende fundamentalmente de la energía de los electrones/fotones y del material de los distintos elementos que componen el cabezal del acelerador [1]. Los recintos que albergan aceleradores lineales médicos son diseñados en general en forma de laberinto a fin de evitar puertas con blindajes masivos que deberían tener sistemas hidráulicos de apertura y cierre. En la literatura existen métodos para el cálculo de la dosis debida a neutrones que se emplean en el diseño de laberintos y puertas de recintos blindados, como el propuesto por Mc Call y colaboradores [2]. Así mismo en la actualidad se utilizan simuladores como el Monte Carlo para determinar la contribución de los fotoneutrones utilizados en tratamientos de radioterapia ya que estos aumentan la dosis periférica que reciben los órganos de los pacientes, incrementando así el detrimento radiológico asociado al tratamiento y la probabilidad de la aparición de cáncer radio-inducido [3,4,5,6]. Además de la dosis a pacientes, es importante el cálculo de esta para el personal ocupacionalmente expuesto que labora en las diferentes instalaciones radiactivas de este tipo, es por ello que trabajos recientes se han enfocado en el cálculo de la contribución del equivalente de dosis por neutrones para este tipo de personal [7,1]. El presente trabajo consiste en la medición directa de dicha contribución para aceleradores lineales con energía mayores o iguales a 10MV, en la zona en la cual se opera el equipo antes mencionado, los datos que se presentan se obtuvieron en diferentes instalaciones médicas de México.

2. MATERIALY MÉTODOS.

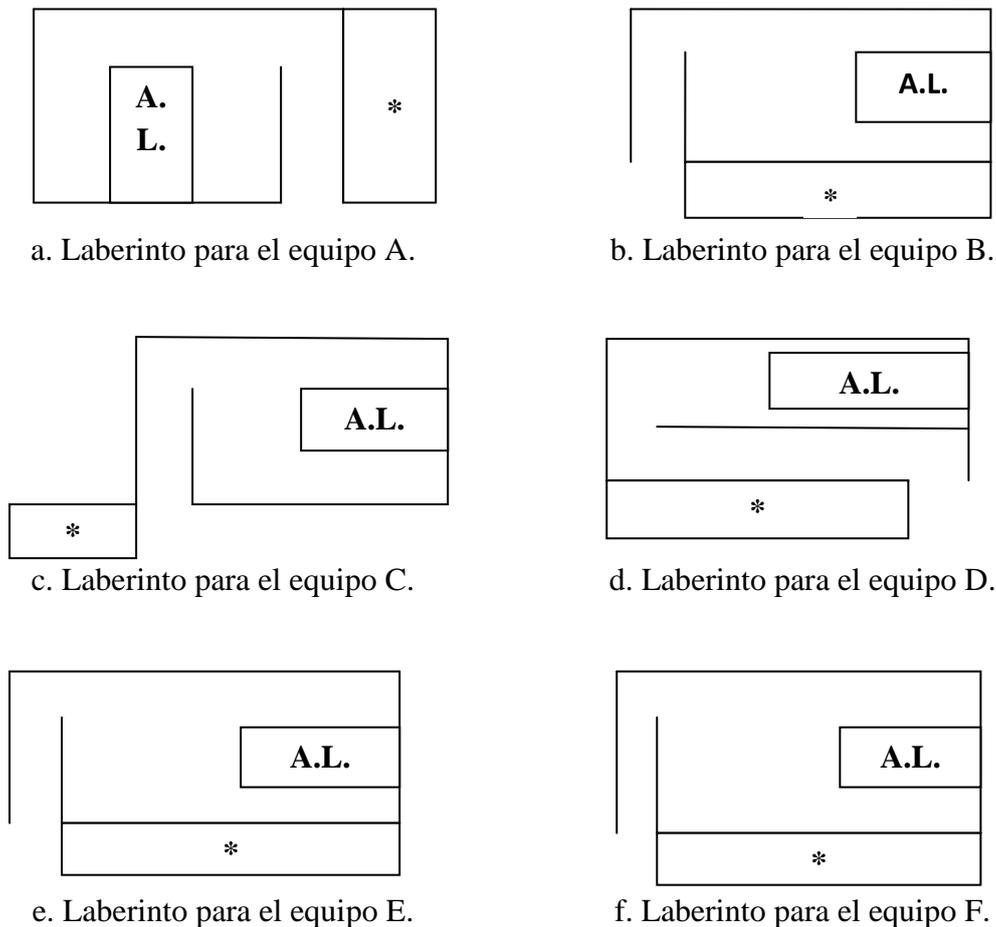
Para el desarrollo del siguiente proyecto se consideraron seis equipos generadores de radiación ionizante tipo aceleradores lineales, cuyas energías máximas, marca, modelo y ubicación se enlistan en la Tabla 1:

Tabla 1. Aceleradores lineales donde se llevaron a cabo las mediciones.

Equipo.	Ubicación.	Marca.	Modelo.	Energía Máxima (MV).
A	México D.F.	Elekta	Precise	10
B	México D.F.	Varian	Clinac 21EX	18
C	México D.F.	Varian	Clinac 2100CD	15
D	Puebla.	Elekta	SLi	15
E	Puebla.	Varian	Clinac 2300C/D	15
F	Puebla.	Elekta	Synergy	18

Los datos fueron obtenidos en el caso de los equipos A, B y C con un detector de neutrones BF3, modelo RP-N con número de serie 1016131, cuyo monitor es de la

marca Fluke Biomedical, modelo 190N con número de serie 106313; mientras que para los equipos D, E y F se utilizó un detector de neutrones marca Ludlum, modelo 2363/42-41-L, con número de serie 268773/290232. Todas las mediciones se llevaron a cabo en la zona donde el (los) técnico (s) operan el acelerador lineal, las cuales se muestran en la Figura 1;



**Figura 1. Bunker de las instalaciones donde se llevaron a cabo las mediciones.
(*) Cuarto de control de los aceleradores lineales.**

Para el caso de las instalaciones radiactivas ubicadas en el Distrito Federal, se consideraron tratamientos en los cuales se utiliza la técnica de caja, con posiciones del Gantry a 0° , 90° , 180° y 270° , mientras que, dada la carga de trabajo de las instalaciones de la ciudad de Puebla, se utilizaron Phantoms, tanto de agua líquida en el caso del equipo D, como de agua sólida para los equipos E y F, simulando la misma técnica a iguales posiciones del Gantry. En cada equipo se llevaron a cabo quince mediciones de tratamientos completos, ya sea en terapia o en simulación, de acuerdo a lo antes descrito, en todos ellos se trabajó con un promedio de 60 unidades monitor (UM) por disparo, haciendo un total de 240UM por tratamiento, cabe destacar que en teoría cada UM equivale a una dosis absorbida de 1cGy. Una vez obtenidos los resultados, estos

fueron tratados estadísticamente para obtener el equivalente de dosis promedio anual que el técnico recibe en su área de trabajo, bajo las condiciones antes mencionadas.

3. RESULTADOS.

La Tabla 2 presenta las dosis promedio obtenidas para los diversos equipos en los cuales se llevaron a cabo las mediciones, para obtener el equivalente de dosis promedio anual debido a neutrones se consideró una jornada laboral de ocho horas diarias, cinco días de la semana y cincuenta semanas en un año.

Tabla 2. Equivalente de dosis promedio medida en los diferentes equipos.

Equipo.	Energía (MV).	Equivalente de dosis (mSv/año).
A	10	0.002016
B	18	1.14
C	15	0.372
D	15	7.14
E	15	2.096
F	18	2.454

En las figuras 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se muestran los datos obtenidos de las mediciones que se llevaron a cabo para las diversas instalaciones radiactivas que albergan los equipos antes descritos.

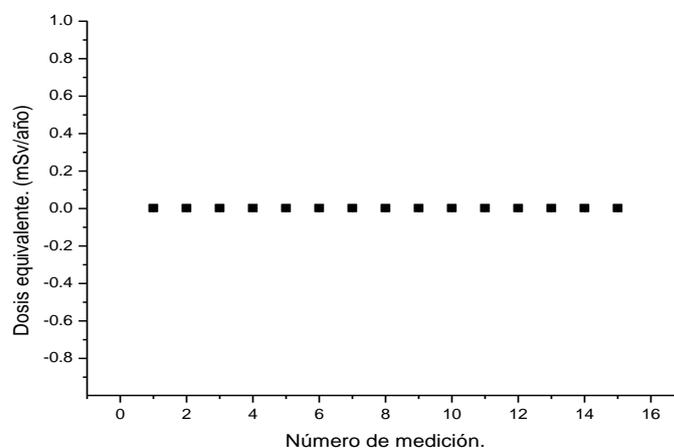


Figura 2. Resultados de las mediciones hechas en el equipo A.

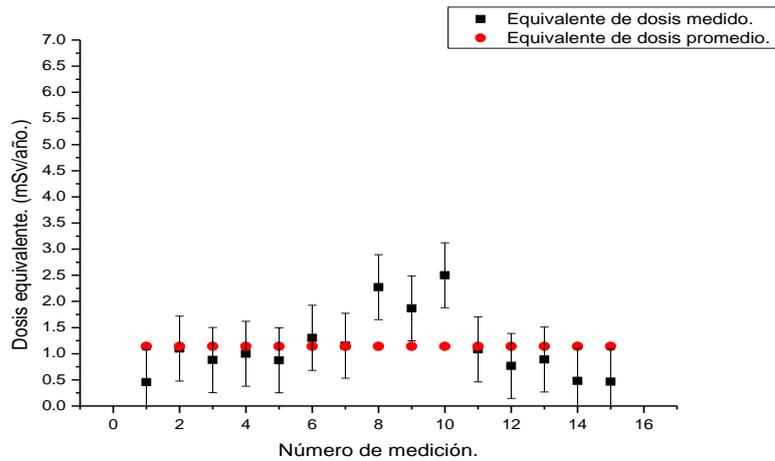


Figura 3. Resultados de las mediciones hechas en el equipo B.

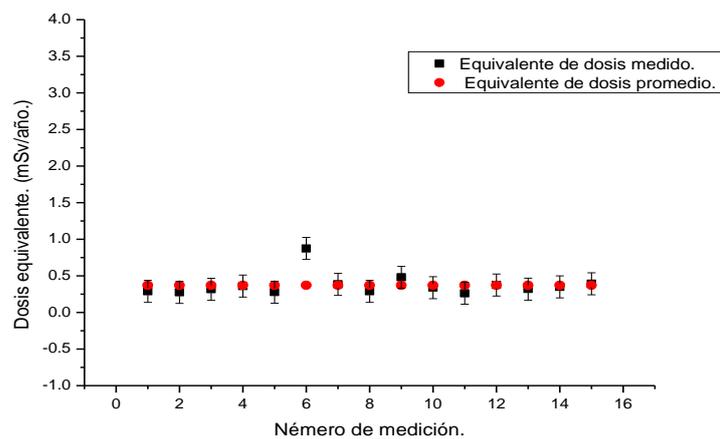


Figura 4. Resultados de las mediciones hechas en el equipo C.

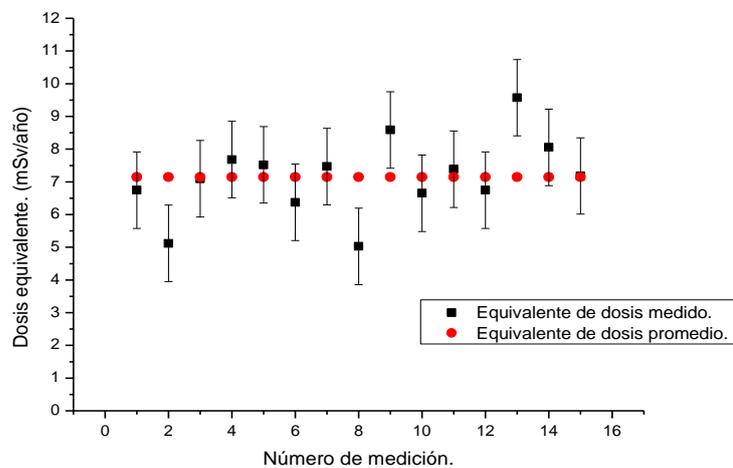


Figura 5. Resultados de las mediciones hechas en el equipo D.

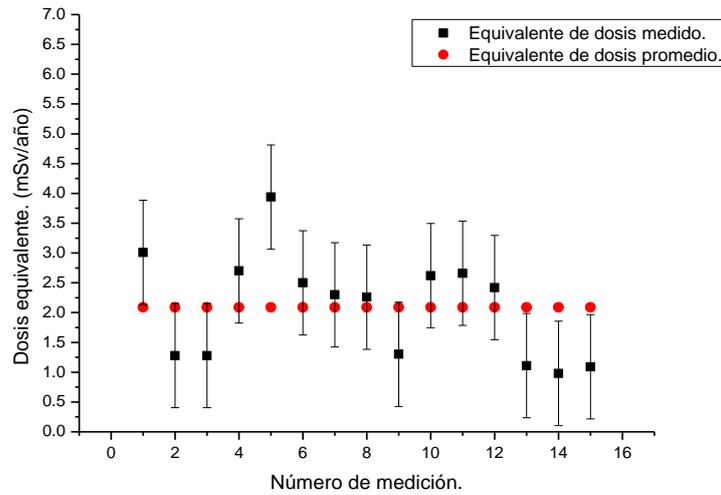


Figura 6. Resultados de las mediciones hechas en el equipo E.

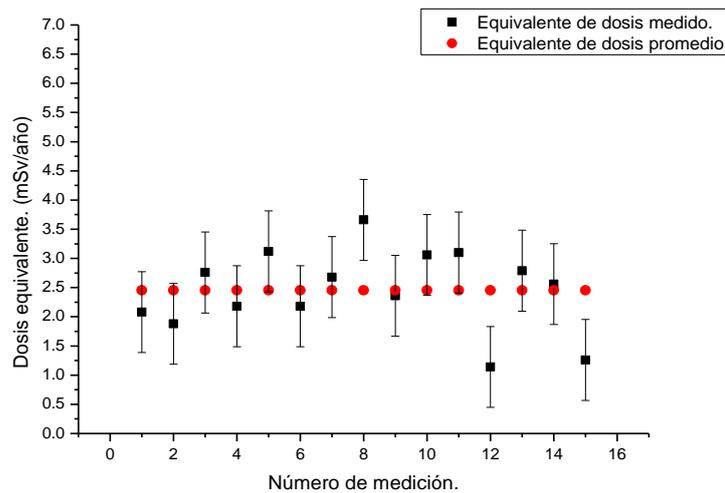


Figura 7. Resultados de las mediciones hechas en el equipo F.

4. CONCLUSIONES.

Para la instalación que alberga el equipo A, el equivalente de dosis obtenido no es considerable y por lo tanto no contribuye a la dosis anual total que recibe el (los) técnico (s) en el cuarto de control; en el caso de las instalaciones cuyos equipos son el B y C, la contribución a la dosis total debida a los neutrones es baja pero cercana al límite Internacional del equivalente de dosis anual para público; para el caso de las instalaciones cuyos equipos son el E y F, el equivalente de dosis medido debido a neutrones es significativo y debe ser considerado en la dosimetría anual del POE ya que sobrepasa el límite establecido en la reglamentación Internacional para público; por

último para el caso de la instalación D se deben llevar a cabo nuevas mediciones y de seguir observando la misma incidencia en el equivalente de dosis por neutrones, se deberá proceder a reforzar el blindaje de la instalación radiactiva.

Los resultados demuestran la importancia y la necesidad de que se continúe con la investigación y medición en otras instalaciones radiactivas de la contribución del equivalente de dosis debida a neutrones en equipos cuyas energías sean mayores o iguales a 15MV.

5. AGRADECIMIENTOS.

A la CNSNS, en especial a los Ingenieros José Luis Delgado Guardado y Alejandro Cortés Carmona por el apoyo recibido para la obtención de los datos del presente proyecto. De igual forma al Ing. Álvaro Sánchez Ríos y al M. en I.N. Carlos Filio López por su apoyo en el inicio de este proyecto.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] Larcher, A.M.; Bonet Durán, S.M. y Lerner A.M.: “Dosis Ocupacional debida a neutrones en aceleradores lineales de uso médico”, ARN PI-9/00.

[2] Personal Hazards from Medical Electron Accelerator Photoneutrons, R.C. Mc Call, T.M. Jenkins, R.A. Shore and P.D. La Riviere. 5th. Congress of the International Radiation Protection, Jerusalem, Israel, Mar 1980, Oxford.

[3] R Barquero, C Andrés, F Sánchez Doblado, J Peña, F Gómez, MT Romero; “Dosis por neutrones en órganos de pacientes en tratamientos de radioterapia”

[4] Barquero R, Edwards TM, Íñiguez P, Vega-Carrillo HR, Monte Carlo simulation estimates of neutron doses to critical organs of a patient undergoing 18 MV X-ray Linac-based radiotherapy, Med. Phys 2005 32 3570-88.

[5] Chibani O. and Ma C.M. Photonuclear dose calculations for high-energy photon beams from Siemens and Varian linacs. Med. Phys., 30, 1990-2000, 2003.

[6] Vanhavere F., Huyskens D. and Struelens L. Peripheral neutron and gamma doses in radiotherapy with an 18 MV linear accelerator. Rad. Prot. Dosim., 110(1-4), 607-2, 2004.

[7] Seyedmohammad Zabihinpoor, Maryam Hasheminia; “Calculation of Neutron Contamination from Medical Linear Accelerator in Treatment Room”, Adv. Studies Theor. Phys., Vol. 5, 2011, no. 9, 421 – 428.