



Resumen

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), adquirió un acelerador de iones positivos tipo Tandetron de 2MV de la compañía holandesa High Voltage Engineering, Europa B. V., el cual se terminó de instalar este año en un edificio ya existente en el Centro Nuclear "Dr. Nabor Carrillo Flores", donde se acondicionó para los siguientes propósitos: El acelerador será utilizado para realizar investigación mediante análisis por emisión de rayos X inducidos por partículas cargadas, análisis por retrodispersión de Rutherford, análisis por reacción nuclear, análisis por emisión de rayos gamma inducidos por partículas cargadas, análisis por dispersión resonante, análisis por detección de retroceso elástico y análisis por canalización de partículas.

El acelerador está compuesto por un sistema de inyección con dos fuentes de iones, tanque acelerador de iones con voltaje en terminal de 2MV, sistema de recuperación y recirculación del gas intercambiador de carga, sistema de imán selector analizador y de enfoque de alta energía, sistema de control mediante una computadora y sistema de manejo y recuperación de gas aislante.

Para la realización de las pruebas de operación de dicho acelerador, se contó con el permiso otorgado por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). Durante la etapa de pruebas se colocaron dosímetros TL en el área del acelerador Tandetron, así como en dirección a la salida del haz. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos de la medición de los niveles de radiación, tanto en el área como en la salida del haz.

Introducción

El ININ adquirió un acelerador de iones de 2MV en terminal modelo Tandetron 4120 MC,

con el propósito de contar con una herramienta que sea útil en diferentes campos de la ciencia, tales como; biología, radioquímica, materiales, física de estado sólido, arqueología y ambiental, entre otras.

El acelerador Tandetron es un acelerador de iones del tipo Tandem con extremos de baja y alta energía a tierra, contenido en un tanque presurizado con hexafluoruro de azufre como gas aislante, y con muy pocas componentes móviles, algunas de las cuales son: el voltmetro generador, el sistema de control del gas "stripper", el sistema de vacío y el conjunto motor-generador del sistema de bombeo. También cuenta con un sistema de supresión de electrones secundarios, lo cual reduce el nivel de radiación en el área de operaciones.

Descripción del equipo

El acelerador Tandetron se compone de los siguientes sistemas:

1. Un sistema de inyección con una fuente de iones duoplasmatron modelo 358, una fuente 860 "Sputter ion source", sistema de lentes "Einzellens", sistema de manejo "Steerer" y con un imán inyector y analizador de 90°.
2. Tanque del acelerador con tubo acelerador de baja y alta energía, sistema de enfoque Q-Snout", terminal de alto voltaje, anillos equipotenciales, voltmetro generador, sistema de aislamiento de alto voltaje y sistema de vacío.
3. Fuente de alto voltaje de estado sólido.
4. Imán selector de alta energía.
5. Consola de control.

Sistema de inyección

El sistema de inyección del acelerador tiene dos puertos para dos fuentes de iones, y además cuenta con un sistema que filtra los iones no deseados, proporcionando un haz de iones con la energía requerida y con un enfoque apropiado para su óptima transmisión

a través del acelerador. La fuente de iones 358 "Duoplasmatron" utiliza descargas de plasma como medio de extracción de iones positivos y negativos ligeros. La fuente 860 "Sputter ion source" produce una gran cantidad de iones negativos pesados al ser impactados materiales con iones de Cesio

Tanque del acelerador

El componente principal dentro del tanque es el tubo acelerador, éste está constituido por electrodos de titanio entre anillos de vidrio; los electrodos de titanio tienen un orificio en la parte central por donde pasa el haz de iones. El interior del tubo está al vacío y tiene pequeños imanes colocados a lo largo del mismo para suprimir electrones secundarios. A lo largo del tubo, están colocados los anillos equipotenciales, los cuales ayudan a prevenir que se formen concentraciones peligrosas de potencial, previniendo descargas por efecto corona y por efecto de puntas.

El voltmetro generador mide en forma precisa el voltaje en la región de los millones de voltios, lo cual permite tener una buena regulación en la terminal de alto voltaje así como una lectura digital adecuada del voltaje en la terminal.

El sistema de vacío lo constituye una bomba turbomolecular en el sistema de inyección, dos bombas turbomoleculares en el acelerador, más una bomba mecánica, medidores de vacío, sistema de interlocks, válvulas electronuématicas y válvulas manuales.

Fuente de alto voltaje de estado sólido

La fuente de alto voltaje proporciona el voltaje necesario a la terminal de alto voltaje para acelerar los iones. No tiene partes móviles y consiste de un regulador de voltaje, bobinas de alimentación de radio frecuencia y arreglos de diodos rectificadores combinados con efectos capacitivos de electrodos.

Imán selector de alta energía

El imán selector de alta energía sirve para conducir el haz de iones a la línea de trabajo

deseada, este imán es enfriado por agua para evitar sobrecalentamiento.

Consola de control

La consola de control contiene las componentes del sistema de medición y control del acelerador, conectados mediante fibra óptica al acelerador, sus principales componentes son Computadora personal, Controlador lógico programable, sistema de telemetría y convertidores. La computadora principal contiene un programa para el control del acelerador llamado "Tandetron Operating System" el cual tiene 12 pantallas de control, cada pantalla contiene 6 controles analógicos, 6 lectores analógicos, 6 controles digitales, y 4 lectores digitales, con los cuales se controlan y leen todas las variables del acelerador.

Justificación del uso de dosímetros TL en el acelerador

El acelerador está diseñado para operar en una instalación donde el personal tiene acceso libre al área durante su operación, el fabricante del acelerador especifica que cuenta con los sistemas suficientes y apropiados para mantener los niveles de radiación por abajo de los límites recomendados. Para comprobar lo dicho por el fabricante, durante el periodo de arranque y pruebas del acelerador, se midieron los niveles de radiación empleando dosímetros TL desarrollados en el propio instituto, además de un equipo portátil tipo Geiger-Müller con el propósito de medir los niveles de radiación en el momento de operación del equipo.

Desarrollo experimental

Los dosímetros termoluminiscentes utilizados en este estudio fueron de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}+\text{PTFE}$ y de $\text{LiF}:\text{Mg,Cu,P}+\text{PTFE}$, desarrollados en el ININ^(1,2).

Tratamiento térmico de borrado

Este proceso es necesario para borrar cualquier señal remanente en los dosímetros antes de su utilización⁽³⁾. El proceso de borrado estándar considerado para los dosímetros de $\text{CaSO}_4:\text{Dy}+\text{PTFE}$ es de 300°C, por 30min.

Mientras que para los dosímetros de LiF:Mg,Cu,P+PTFE es de $240 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 10 minutos, seguido de $100 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 2 horas^(1,4).

Colocación de los dosímetros

Después de haber recibido su tratamiento de borrado, los dosímetros se dejaron enfriar a la temperatura ambiente, se colocaron en estuches de plástico y se cerraron herméticamente. Los dosímetros que se utilizaron para medir los niveles de radiación en dirección a la salida del haz, así como en algunas juntas de los ensambles del Tandetron, se clasificaron con los números del 1 al 7 y se les colocaron los dos tipos de dosímetros, mientras que los utilizados para medir los niveles de dosis en el área, solamente se les colocaron dosímetros de sulfato y se clasificaron con los números del 8 al 15, éstos fueron colocados sobre los muros de concreto. Los dosímetros permanecieron en exposición por periodos aproximados de un mes. Las mediciones se realizaron durante dos periodos: el primero, realizando las diferentes pruebas de operación del Tandetron, y el segundo, sin realizar ninguna prueba.

Lectura de los dosímetros

Los dosímetros utilizados en este estudio se les tomó la lectura en el equipo analizador de termoluminiscencia Harshaw modelo 4000, acoplado a una PC Pentium. La señal TL fue digitalizada mediante dos canales de una *interface* RC232C. La velocidad de calentamiento fue de 10°C/s , con un tiempo de adquisición de 30s. El intervalo de integración de la señal TL en los dosímetros de $\text{CaSO}_4\text{:Dy+PTFE}$ fue entre 100 y 300°C , mientras que para los dosímetros de LiF:Mg,Cu,P+PTFE fue entre 100 y 240°C . Todas las lecturas se llevaron a cabo en atmósfera de nitrógeno. Después de obtener las lecturas correspondientes, los dosímetros se sometieron a su tratamiento térmico de borrado para su reutilización.

Evaluación de la dosis

Las lecturas obtenidas de acuerdo con el inciso anterior, se interpolaron en la curva de calibración previamente elaborada con una fuente calibrada de ^{137}Cs , propiedad de la CNSNS, así como con una fuente de ^{60}Co , propiedad del ININ, obteniendo la dosis y su desviación correspondiente para cada tipo de dosímetros.

Resultados

Los resultados obtenidos durante el periodo de pruebas del Tandetron, así como en el periodo en el que no se realizó ninguna prueba, se resumen en la Tabla 1. Donde se aprecia que los valores más altos corresponden a los dosímetros 5, 6 y 7, siendo la dosis del No 6 casi siete veces mayor que la media obtenida en el periodo en que se realizaron las pruebas, y ocho veces mayor que la media del periodo en que no se realizó ninguna prueba. La explicación del valor tan alto es que dicho dosímetro se colocó muy cerca de la salida del haz.

La dosis en el área de operaciones, se esperaba que fuera menor que en el exterior por las características de la construcción del edificio. Considerando que las paredes de éste son de concreto baritado, con un espesor de 1.5m en la parte frontal y 1m en la parte posterior, mientras que la loza es de concreto normal con un espesor de 0.2m.

En la Fig.1, se muestra gráficamente la intensidad termoluminiscente de los dosímetros de LiF:Mg,Cu,P+PTFE, durante el mes de pruebas dentro del área de operaciones del Tandetron.

En la Fig.2, se muestra gráficamente la intensidad termoluminiscente de los dosímetros de LiF:Mg,Cu,P+PTFE, que corresponde a la radiación natural dentro del área de operaciones del Tandetron.

Conclusiones

De este trabajo se concluye que la dosis en el área del Tandetron corresponde a los niveles de

radiación ambiental. Mientras que a la salida del haz los niveles de dosis fueron hasta 8 veces mayores, por lo que se recomienda continuar con las mediciones para así poder comprobar si las variaciones corresponden con la rutina de trabajo de dicho equipo o en su

caso investigar las causas para corregirlas. Los resultados obtenidos, mostraron también la eficiencia de los dosímetros termoluminiscentes desarrollados en el propio instituto para medir los niveles de radiación en los diferentes laboratorios de investigación.

Tabla I. Dosis por día en el acelerador Tandetron del ININ

No. Dosímetro	Dosis ($\mu\text{Gy}/\text{día}$) Periodo de pruebas	Dosis ($\mu\text{Gy}/\text{día}$) Periodo sin pruebas
1	1.76 \pm 0.04	1.42 \pm 0.08
2	1.91 \pm 0.12	1.47 \pm 0.04
3	1.51 \pm 0.06	1.22 \pm 0.03
4	1.68 \pm 0.20	1.37 \pm 0.18
5	7.39 \pm 1.19	1.36 \pm 0.18
6	11.68 \pm 0.28	1.58 \pm 0.07
7	5.51 \pm 0.15	1.56 \pm 0.14
8	1.82 \pm 0.09	1.60 \pm 0.06
9	1.62 \pm 0.08	1.47 \pm 0.07
10	1.90 \pm 0.01	1.43 \pm 0.11
11	1.40 \pm 0.07	1.23 \pm 0.12
12	1.74 \pm 0.01	1.37 \pm 0.02
13	1.88 \pm 0.25	1.43 \pm 0.19
14	1.82 \pm 0.14	1.51 \pm 0.08
15	1.68 \pm 0.02	1.47 \pm 0.11
Media	1.72 \pm 0.15*	1.43 \pm 0.11

*Sin considerar a los dosímetros 5, 6 y 7

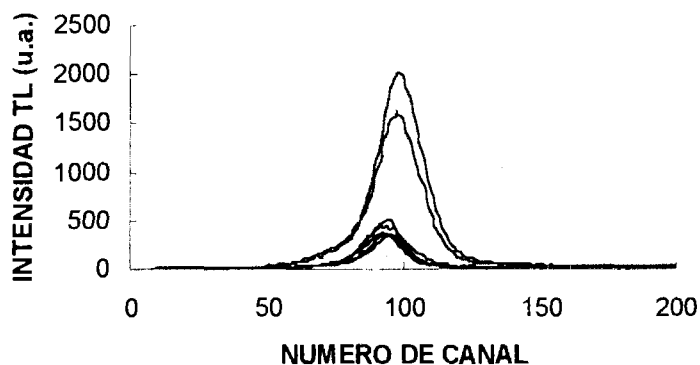


Fig. 1 Respuesta de LiF:Mg,Cu,P+PTFE durante un mes de pruebas en el acelerador Tandetron.

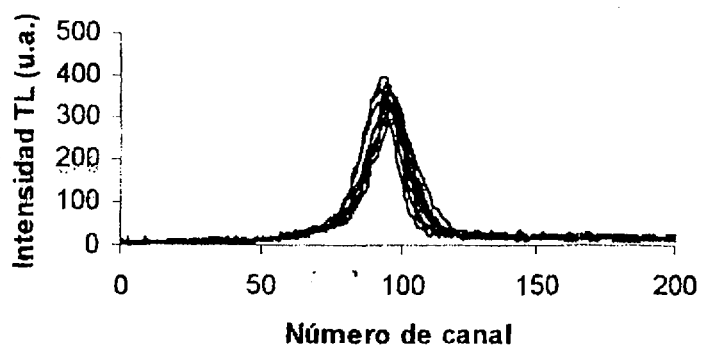


Fig. 2. Intensidad TL de los dosímetros de LiF:Mg,Cu,P+PTFE

Referencias

1. Azorín J., González G., Gutiérrez A. and Salvi R. Preparation and Properties of Highly Sensitive $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$ Thermoluminescent Dosimeter. *Health Phys.* **46(2)**, 269 (1984).
2. González P.R., Ramírez A. y Azorin J. Preparación de Dosímetros Termoluminiscentes de LiF:Mg,Cu,P+PTFE para Monitorco Radiológico Ambiental y para las Aplicaciones Médicas de las Radiaciones. ININ, CB-96-22, noviembre 1996.
3. Cameron J.R., Suntharalingam N. and Kenney N. Thermoluminescent Dosimetry. The University of Wisconsin Press, Madison, (1968).