

SISTEMAS DOSIMÉTRICOS DE ALTAS DOSIS, TASA DE DOSIS Y UNIFORMIDAD DE DOSIS EN ALIMENTOS Y PRODUCTO MÉDICO

Johnny Vargas¹, Mónica Vivanco¹, Emma Castro¹

¹ Instituto Peruano de Energía Nuclear (Av. Canadá 1470, Lima 41, Lima, Perú ,
jvargas@ipen.gob.pe; monica.vivanco@ipen.gob.pe; ecastro@ipen.gob.pe

Resumen

La dosimetría nos permite medir la dosis que reciben los materiales o productos que son sometidos a un campo de radiación. El dosímetro estándar de referencia, son utilizados para calibrar campos de radiación y dosímetros de rutina, estos últimos son utilizados en las instalaciones de procesamiento por radiación para mapeos de dosis absorbida y monitoreo del proceso. En el IPEN utilizamos la dosimetría química ASTM E 1026 Fricke como un sistema dosimétrico estándar de referencia y diferentes sistemas dosimétricos rutinarios de altas dosis, de acuerdo a las dosis aplicadas para obtener los efectos deseados en los productos tratados y al rango de dosis determinado para cada tipo de dosímetro. La dosimetría Fricke consiste en un dosímetro químico en solución acuosa que indica la dosis absorbida mediante un incremento en la absorbancia a una longitud de onda específica. Un espectrofotómetro calibrado con temperatura controlada se utiliza para medir la absorbancia. El rango de dosis adsorbida debe abarcar de 20 a 400 Gy, La solución Fricke es extremadamente sensible a las impurezas orgánicas, a las trazas de iones metálicos, en la preparación deben utilizarse productos químicos de grado reactivo y la pureza del agua es muy importante. Utilizando el sistema dosimétrico estándar referencial Fricke, se determinó al 05 de Marzo de 2013, Utilizando el sistema dosimétrico estándar referencial ASTM 1026 Fricke, se irradiaron por triplicado dosímetros Fricke, a 5 tiempos de irradiación (20; 30; 40; 50 y 60 segundos) y por regresión lineal, se determinó la tasa de dosis de 5,400648 kGy/h en el punto central de la cámara de irradiación del irradiador Gammacell 220 Excel), aplicando la fórmula del decaimiento, se comparó con los resultados obtenidos por los fabricantes mediante el mismo sistema dosimétrico en el año de su fabricación, siendo a la fecha 5,44691 kGy/h, con un porcentaje de error de 0,85. Luego teniendo en cuenta que la solución dosimétrica responde a los resultados, se procedió a la irradiación de una muestra de 200 g de alimentos instantáneos de cereales, se colocaron 2 dosímetros en los extremos laterales de la posición central para dosis máxima y 2 dosímetros en los extremos superior e inferior como dosis mínima, se aplicaron los mismos tiempos de irradiación; por análisis estadístico, la tasa de dosis máxima fue 6,1006 kGy/h y la tasa de dosis mínima de 5,2185 kGy/h; con una uniformidad de dosis de 1,16. En Material médico de hueso micro pulverizado para implantes con un peso de 1 393 g se

determinó la tasa de dosis máxima de 6,5276 kGy/h, la tasa de dosis mínima fue de 3,5684 kGy /h y la uniformidad de dosis 1, 83. Luego en base a la tasa de dosis mínima se calcularon los tiempos de irradiación para las diferentes dosis a evaluar en la descontaminación microbiana de los alimentos (3; 5; 8 y 12 kGy) y en la esterilización del material médico por radiación (15; 20; 25 y 40 kGy), corroborándose las dosis aplicadas con dosímetros de rutina de etanol clorobenceno (1-100 kGy) y red perspex 4034 (5-50 kGy). Otros dosímetros de rutina utilizados en las diferentes aplicaciones de acuerdo al rango de dosis son Gafchromic HD (40-400 Gray), para la mutación inducida por radiación y la obtención de nuevas variedades de plantas, la técnica del insecto estéril para la erradicación de plagas, tratamiento cuarentenario para solucionar problemas fitosanitarios. Ambar Perspex 3042 C (3-15 kGy). para la descontaminación microbiana de alimentos deshidratados, especias , hierbas aromáticas, plantas medicinales, etc. GEX B3000 (1-140 kGy) y FWT (0,5-200 kGy) para la esterilización de material médico, farmacéutico, cosméticos, tejidos biológicos, etc. La tasa de dosis mínima nos permitirá calcular los tiempos de irradiación para aplicar las dosis deseadas para la investigación o los procesos industriales, teniendo en cuenta la densidad y geometría del producto. Es notorio la diferencia en la uniformidad de dosis en alimentos (1,16) y material médico (1,83) debido a la geometría y densidad relativa de los productos dentro del cilindro de irradiación.

Palabras clave: Dosímetro estándar; dosímetro de rutina; tasa de dosis; uniformidad de dosis

1.- INTRODUCCION

La dosimetría es el primer mecanismo de control, en una instalación de irradiación. La misma debería asegurar que la técnica se usa correctamente y que las dosis aplicadas han sido las adecuadas. En el Laboratorio de Irradiación (LI) de la Dirección de Servicios de la División de Industria e Hidrología (INHI) del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) utilizamos la dosimetría química ASTM E 1026 (Fricke) como un sistema dosimétrico estándar de referencia y como sistemas dosimétricos de rutina la dosimetría Gafchromic para dosis de 40 a 400 Gy, Polimetilmetacrilato (PMMA) ISO-ASTM 51276 como el Harwell Amber Perspex para dosis de 1 a 30 kGy, Harwell Red Perspex de 5 a 50 kGy, Etanol clorobenceno (ECB) ISO-ASTM 51538 para dosis de 1 a 100 kGy, Film

radiocrómico ISO-ASTM 51275 GEX B3000 de 1 a 140 kGy, FARWEST (FWT 60) de 0,5 a 200 kGy; componentes importantes del control de calidad y la certidumbre de que los productos o especímenes han sido irradiados correctamente. El dosímetro estándar de referencia, son utilizados para calibrar campos de radiación y dosímetros de rutina, estos últimos son utilizados en las instalaciones de procesamiento por radiación para mapeos de dosis absorbida y monitoreo del proceso. El operador del irradiador es responsable de demostrar por medio de medidas exactas de dosis absorbidas en el producto o espécimen o en producto simulado, que la dosis absorbida especificada ha sido alcanzada a través del producto. La dosimetría química ASTM E 1026 (Fricke) consiste en un dosímetro químico en solución acuosa (compuesto de sulfato ferroso o sulfato de amonio ferroso en solución sulfúrica ácida-acuosa, saturada de aire) que indica la dosis absorbida mediante un incremento en la absorbancia a una longitud específica. Un espectrofotómetro calibrado con temperatura controlada se utiliza para medir la absorbancia. El rango de dosis adsorbida debe abarcar de 20 a 400 Gy, El sistema dosimétrico Fricke proporciona un medio confiable para medir la dosis absorbida con respecto al agua basándose en un proceso de oxidación de iones ferrosos a iones férricos en solución ácida-acuosa por radiación ionizante. La solución Fricke es extremadamente sensible a las impurezas orgánicas, a las trazas de iones metálicos, en la preparación deben utilizarse productos químicos de grado reactivo y la pureza del agua es muy importante, ya que el agua es el principal componente y podría ser el la principal fuente de contaminación, además el material a utilizarse debe ser de vidrio inmaculadamente limpio. El irradiador Tipo I Gammacell (GC) 220 Excel del IPEN, comenzó a operar en Agosto del 2003 con una actividad inicial de 23 984 Ci y una tasa de dosis inicial de 19,203 kGy/h, teniendo a la fecha Enero del 2014 una actividad de 6 101.71 Ci y una tasa de dosis de 4,87 kGy/h. El cilindro de irradiación del irradiador GC 220 Excel, tiene 20,6 cm de altura por 15,2 cm de diámetro con una capacidad en volumen de 3,738 litros, que dependiendo de la densidad y geometría del producto podría procesar hasta 2 kg por lote.

Los sistemas dosimétricos de altas dosis que utiliza el GC 220 Excel del Laboratorio de Irradiación del IPEN han participado en ejercicios de inter comparación con laboratorios de dosimetrías, de los países de la Región, con excelentes resultados, motivo por el cual, por

ejemplo se elaboran y calibran dosímetros de etanol clorobenceno (1 a 100 kGy/h) para el control de los procesos de irradiación en la Planta de Irradiación Multiuso (PIMU) de Santa Anita, también realiza trabajos dosimétricos al Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA) del Ministerio de Agricultura (MINAGRI), para la calibración de dosímetros Gafchromic (40 a 400 Gray) y servicios de dosimetría en pupas de mosca de la fruta para la Técnica del Insecto Estéril (TIE) e irradiación de alimentos, además se realiza servicio de dosimetrías e irradiaciones a universidades y empresas agroexportadoras, en semillas, yemas y plántulas con la finalidad de obtener variedades mejoradas a través de la mutación inducida por radiación, para lo cual se utiliza sistemas dosimétricos Fricke y Gafchromic, estos dosímetros también se utilizan para trabajos en tratamientos cuarentenarios e inhibición de la germinación en tubérculos para la conservación. Los dosímetros de rutina más usados son los Perspex, ECB, FWT 60 y GEX B3000 en la investigación y verificaciones tecnológicas para la determinación de la dosis óptima en la descontaminación microbiana y esterilidad en productos (Alimentos, material médico, farmacéutico, cosméticos, tejidos biológicos) a irradiarse posteriormente a escala industrial.

El objetivo del presente trabajo fue determinar mediante el sistema dosimétrico Fricke la tasa de dosis en el punto central del cilindro de irradiación del equipo irradiador Tipo I GC 220 Excel, comparándolos con los resultados obtenidos por los fabricantes del irradiador (MDS Nordion), mediante el mismo sistema dosimétrico en el año de su fabricación, extrapolándolo a la fecha. Teniendo en cuenta que la solución dosimétrica cumple con los resultados, se determinará la uniformidad de dosis, la tasa de dosis máxima y mínima, en muestras de 200 g de alimentos instantáneos de cereales y de 1 393 g de material médico en viales de hueso micro pulverizado para implantes. En base a la tasa de dosis mínima en el punto central del cilindro de irradiación se calibran dosímetros de rutina a ser utilizados en instalaciones de irradiación y también para determinar las tasas de dosis, necesaria para aplicar diferentes tiempos de irradiación para obtener dosis absorbidas alternativas y planificadas con la finalidad de determinar la dosis óptima para la descontaminación microbiana en los alimentos o en la esterilización (productos médico - farmacéuticos,

cosméticos, tejidos biológicos), las dosis aplicadas son corroboradas utilizando dosímetros de rutina.



Fig.1 Sistemas dosimétricos Red Perspex, ECB y Film GEX B3000

2.- MATERIALES Y METODOS

Para la dosimetría en el punto central del cilindro de irradiación, alimentos instantáneos de cereales y material médico en viales de hueso micropulverizado para implantes, se utilizaron el equipo de irradiación Tipo I Gammacell 220 Excel, balanza analítica Stanton AOLA 10AS, Espectrofotómetro UV/VIS Thermo Scientific Evolution 300, estufa Memmert U50, se requirió además de agua tri destilada, para la preparación de la solución dosimétrica, tratando 2 litros de agua con 2 g de permanganato de potasio PA y 5 g de hidróxido de sodio PA, luego de obtenida el agua tridestilada, se agregaron ácido sulfúrico PA, sales de sulfato ferroso amoniacal sexta hidratado PA y cloruro de sodio PA. También se preparo el material de vidrio necesario previamente tratados con mezcla sulfocrómica enjuagados y secados en estufa a 105 °C (Pipetas volumétricas, pipetas graduadas, fiolas, dispensador, vasos de precipitados y ampollas x 2 ml).

El método utilizado fue E1026 Standard Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System, este sistema dosimétrico es utilizado para la determinación absoluta de la dosis absorbida en la que por efecto de la radiación los iones ferrosos son oxidados a iones férricos, el cambio de la absorbancia en la solución dosimétrica fue medida en un espectrofotómetro de doble haz UV/VIS a una longitud de onda determinada en 303.4 nm. La unidad de dosis absorbida es el Gray (Gy) que es igual a 1 joule de energía absorbida por kg , anteriormente se utilizaba el rad (1 Gy = 100 rad).

Utilizando el sistema dosimétrico estándar referencial ASTM 1026 Fricke, se determinó al 05 de Marzo de 2013, la tasa de dosis en el punto central del cilindro de irradiación del irradiador Tipo I Gammacell 220 Excel, se irradiaron por triplicado dosímetros Fricke, a 5 tiempos de irradiación (32; 45; 65; 78 y 97 segundos) y por regresión lineal, se determinó la tasa de dosis de 5,400648 kGy/h en el punto central del cilindro de irradiación del irradiador Gammacell 220 Excel, aplicando la fórmula del decaimiento, se comparó con los resultados obtenidos por los fabricantes mediante el mismo sistema dosimétrico en el año de su fabricación, siendo a la fecha 5,44691 kGy/h, con un porcentaje de error de 0,85%.



Fig. 2.- Dosimetría Fricke para determinación de la tasa de dosis en el punto central del cilindro de irradiación del Irradiador Tipo I Gammacell 220 Excel.

Luego teniendo en cuenta que la solución dosimétrica responde a los resultados se procedió a la irradiación de una muestra de 200 g de alimentos instantáneos de cereales, se colocaron 2 dosímetros en los extremos laterales de la posición central para determinar la dosis máxima y 2 dosímetros en los extremos superior e inferior para determinar la dosis mínima, se aplicaron 5 tiempos de irradiación (32; 45; 65; 78 y 97 segundos); por análisis estadístico, se determinó la tasa de dosis máxima (TD Max) de 6,1006 kGy/h y la tasa de dosis mínima (TD Min) de 5,2185 kGy/h; con una uniformidad de dosis (UD) de 1,16.



Figura 3.- Muestra de alimentos instantáneos de cereales con dosímetros Fricke

También se determinó la tasa de dosis en 1 393 g en viales de hueso micro pulverizado para implantes, la tasa de dosis máxima fue de 6,5276 kGy/h; la tasa de dosis mínima fue de 3,5684 kGy /h y la uniformidad de dosis 1, 83. Luego en base a la tasa de dosis

mínima, se calcularon los tiempos de irradiación para aplicar diferentes dosis y evaluar los efectos en la descontaminación microbiana, análisis físico-químico, evaluación sensorial, pruebas de esterilidad, etc.

3.- RESULTADOS

Código	Tasa de dosis GC 220 Excel MDS NORDION (kGy/h)	Tasa de dosis GC-220 Excel IPEN – INHI- LI (kGy/h)	Coefficiente de Correlación r^2	Porcentaje de error (%)
TD Central	5,44691	5,400648±0,0462	0,99997	0,85

Tabla 1.- Intercomparación Tasa de dosis MDS Nordion - IPEN, Coeficiente de correlación y porcentaje de error

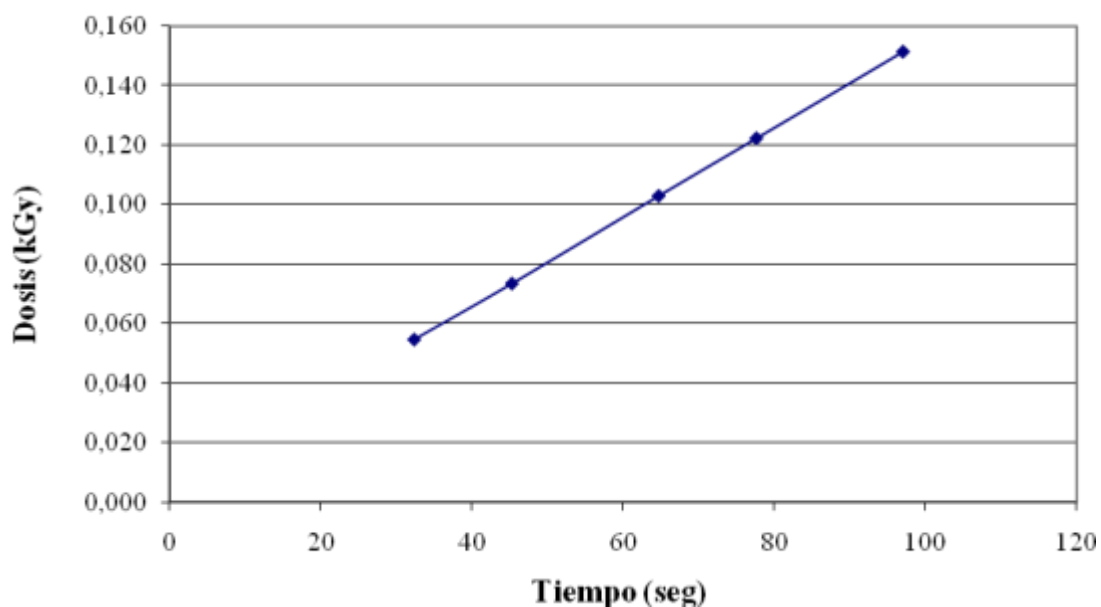


Figure 4.- Curva en el punto central del cilindro de Irradiación Dosis vs Tiempo

Código	Tasa de Dosis (kGy/h)	UD (TD Máx/TD Mín)
TD Max	6,1006	1,16
TD Min	5,2185	

Tabla 2.- Tasa de Dosis Máxima, Tasa de Mínima y Uniformidad de Dosis en Alimentos instantáneos de cereales.

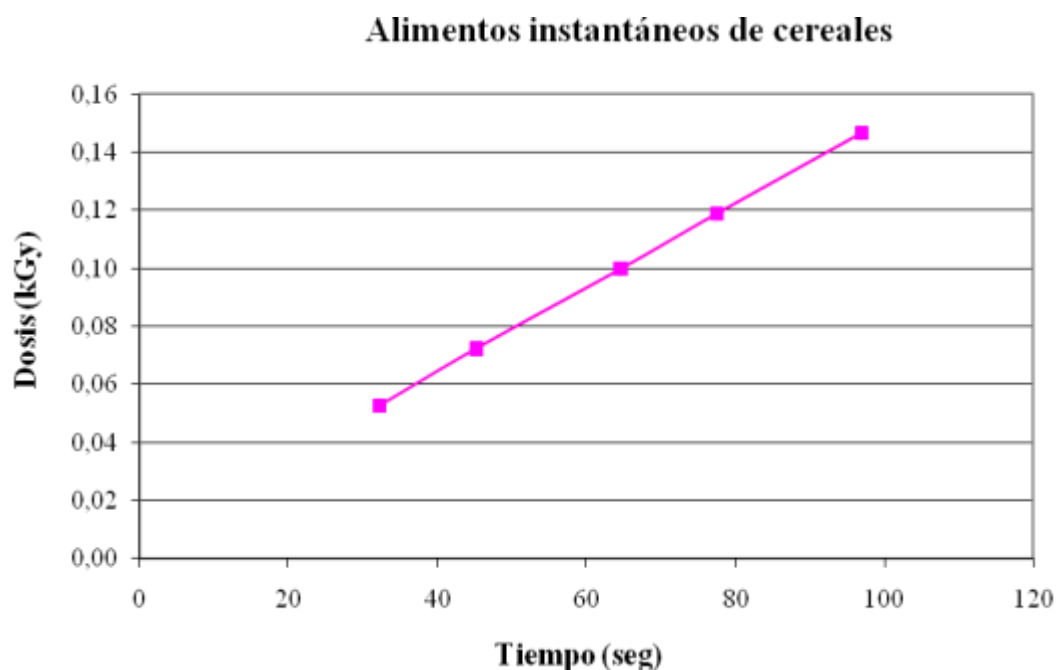


Figure 5.- Curva para la determinación de la tasa de dosis mínima en alimentos instantáneos de cereales



Figura 6.- Dosimetría en viales con hueso micro pulverizado en cilindro de irradiación

Código	Tasa de Dosis (kGy/h)	UD (TD Máx/TD Mín)
TD Máx	6,5276	1,83
TD Mín	3,5684	

Tabla 3.- Tasa de Dosis Mínima, Tasa de Máxima y Uniformidad de Dosis en Hueso micro pulverizado

tiempo calculado (min)	Dosis (kGy)
34,49	3
57,48	5
91,98	8
137,97	12

Tabla 4.- Tiempos calculados en base a la tasas de dosis mínima para aplicación de dosis en alimentos instantáneos de cereales

Tiempo calculado (min)	Dosis (kGy)
252,21	15
336,28	20
420,35	25
672,57	40

Tabla 5.- Tiempos calculados en base a la tasas de dosis mínima para aplicación de dosis en hueso micro pulverizado

4.- DISCUSION

Podemos notar en la Table 1; la tasa de dosis de MDS Nordion (5,44691 kGy/h) y la tasa de dosis determinada por IPEN (5,400648 kGy/h) un porcentaje de error de 0,85 %, siendo permitido hasta el 3%, el coeficiente de correlación fue de 0,99997 ; lo cual demuestra la

reproducibilidad y linealidad de la curva, observada en la figura 4; por lo que la solución dosimétrica Fricke fue óptima y apta para la dosimetría en productos.

Como se puede apreciar en la tabla 2 de la muestra de alimentos de cereales instantáneos la uniformidad de dosis, que es la relación de la tasa de dosis máxima y la tasa de dosis mínima, nos da un valor de 1,16 debido principalmente a los 200 g de muestra en el cilindro de irradiación, con una densidad relativa de 0,053; sin embargo para material médico de hueso micro pulverizado (Tabla 3) el peso es mayor de 1 393 g y la densidad relativa de la muestra en el cilindro de irradiación fue de 0,35 por lo que la uniformidad de dosis dio un valor mayor de 1,84

5.- CONCLUSIONES

Se determinó, mediante la dosimetría estándar de referencia Fricke la tasa de dosis mínima de 5,2185 kGy/h en 200 g alimentos instantáneos de cereales.

Se determinó, mediante la dosimetría estándar de referencia Fricke la tasa de dosis mínima de 3,5684 kGy/h en 1 393 g de material médico de hueso micro pulverizado en viales.

La tasa de dosis mínima nos permitirá calcular los tiempos de irradiación para aplicar las dosis deseadas para la investigación o los procesos industriales, teniendo en cuenta la densidad y geometría del producto.

Se determinó la uniformidad de dosis de 1,16 y 1,83 de la relación de tasa de dosis máxima y mínima en alimentos instantáneos de cereales y hueso micro pulverizado respectivamente.

La densidad y geometría del producto influyen en los valores de tasas de dosis.

REFERENCIAS

- Codex Alimentarius, Sección 8.1 *Código Internacional recomendado de Prácticas para el Funcionamiento de Instalaciones de Irradiación utilizadas para el tratamiento de Alimentos*. Vol. 1-1991
- ISO/ASTM 51261:2002 (e) *Standard guide for selection and calibration of Dosimetry system for radiation processing*. ISO/ASTM International 2002.
- Frick, H., and Hart, E. J. "Chemical Dosimetry", Radiation Dosimetry 2nd Edition Vol.2 Academic Press. Pp 167-239. 1966.
- MDS Nardino, *Gammacell 220 Excel Irradiador de Investigación*, Manual, Ottawa, Ontario, Canadá 2002
- T. Calderón, *La Irradiación de Alimentos*, (McGraw-Hill, Madrid 2000).