

Dosimetría en el irradiador de Cs-137 perteneciente a SENASA (Piura-Perú)

Marco Linares¹ mlinares@ipen.gob.pe, Paula Huamanlazo¹ phuamanlazo@ipen.gob.pe,
Johnny Vargas¹ jvargas@ipen.gob.pe, Mónica Vivanco¹ monivimo@hotmail.com

¹ Dirección General Seguridad Radiológica – IPEN / Lima, Perú

Resumen

El Servicio de Sanidad Agraria del Perú (SENASA) cuenta con 3 equipos de irradiación autoblinados (Tipo I) y un equipo Gammabeam (Tipo II). En la ciudad de Piura (Perú) se encuentran emplazados 2 equipos autoblinados; uno de ellos, posee una fuente de Co-60 y el otro Cs-137. El irradiador de Cs-137 no contaba con datos oficiales actualizados de la tasa de dosis, por lo que fue necesario determinar la tasa de dosis experimental en aire en la parte central de la cámara y, posteriormente, compararla con una dosimetría anterior realizada por el IPEN en el año 1992. La principal aplicación del equipo es la irradiación de pupas de mosca de fruta, de la variedad *Ceratitis capitata*. Fue necesario realizar la dosimetría con este producto como material de trabajo. De acuerdo a las pruebas experimentales se obtuvieron los siguientes resultados (al 14-08-2005): la tasa de dosis en aire en el irradiador fue de 1.07943 kGy/h y su desviación comparada con la dosis teórica realizada el 31 de marzo de 1992 es de 5.44%. Cuando se trabaja con el factor de la ASTM la desviación es del 4.77262% y la tasa de dosis obtenida es de 1.1304 kGy/h lo que nos demuestra la reproducibilidad del sistema. La tasa de dosis mínima en pupas de mosca con un peso de 631g de pupas de mosca fue de 0.71085 kGy/h y la tasa de dosis máxima es 0.98354 kGy/h, siendo la uniformidad de dosis encontrada de 1.38357.

1. Objetivo

Los principales objetivos del presente trabajo fueron: la determinación de la tasa de dosis en aire (kGy/h) del irradiador horizontal de Cs-137, Modelo Tipo I; la determinación de la tasa de dosis mínima y máxima en el producto que se procesa, en el caso específico de este trabajo fueron las pupas de mosca (*ceratitis capitata*) y la determinación de la uniformidad de dosis (D_{max}/D_{min}).

2. Introducción

La dosimetría está basado en la Norma Técnica ASTM E1026-04 “Standard Practice for Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System”. Este irradiador TIPO I posee fuentes de Cs-137, que se encuentran en un blindaje de plomo, colocadas en un anillo alrededor de un eje cilíndrico por donde se desliza la cámara de irradiación. Un sistema mecánico permite el ingreso de la misma hasta la posición donde se encuentra el anillo que contiene los lapiceros de Cs-137. El tiempo de ingreso y salida a la posición de irradiación de la cámara es de 3.5 segundos. El ingreso a su posición de irradiación se realiza en forma horizontal.

Para controlar el tiempo de permanencia de la cámara de irradiación se cuenta con un cronómetro digital o "timer" el cual puede controlar el tiempo en segundos (00.00.00); el máximo valor que se puede cronometrar es de 999 segundos. Si el tiempo programado llega su ciclo final, la cámara de irradiación

sale a su posición de carga.

El único dato experimental con el que se contaba de este irradiador fue el de una dosimetría que se realizó el 31 de marzo 1992, la tasa de dosis en aire hallada fue de 1.5525 kGy/h. La Forma de la cámara de irradiación es un pentaedro (Figura 1), dentro del cual se coloca un contenedor cilíndrico de 16 cm de diámetro y 20 cm de largo de acero inoxidable.

3. Procedimiento Experimental - Materiales y Métodos

Antes de realizar las pruebas de dosimetría en un producto determinado, se realizó una dosimetría en aire. En esta operación se toma un punto referencial de la cámara de irradiación, generalmente es el centro, donde se colocan tres dosímetros distribuidas simétricamente en el centro del mismo (Figura 2), las irradiaciones se realizaron en cinco tiempos diferentes. Debido a la configuración de ingreso del contenedor en forma horizontal a la posición de irradiación, se procedió a irradiar los dosímetros en forma perpendicular a la cámara como se muestra en la Figura. 2.

Para la dosimetría Fricke en el producto (pupas de mosca) se procedió a irradiar los dosímetros con las pupas, a cinco tiempos diferentes, la ubicación de los dosímetros en diferentes posiciones con el producto, depende de donde se encuentra la dosis

máxima y mínima o de la curva isodósica del equipo de irradiación (Figura N° 4). Después de la irradiación las ampulas con la solución dosimétrica, son analizadas espectrográficamente, se lee la absorbancia de la solución irradiada a 303 nm. Las condiciones de medición deben ser a temperatura constante.

3.1 Dosimetría en el equipo Gammacell 220

Esta prueba se realizó en el Instituto Peruano de Energía Nuclear – IPEN, con el objetivo de verificar si la solución Fricke preparada era estable, para lograr esto se irradio un

número determinado de dosímetros, en el equipo de irradiación Gammacell-220, los diferentes tiempos de irradiación fueron de: 15; 25, 35; 45 y 55 segundos; por cada tiempo de irradiación se emplearon 03 dosímetros, manteniéndose la posición de los mismos en el centro de la cámara; los resultados obtenidos se graficaron y se obtuvo una regresión lineal (Tabla N°1). La tasa de dosis es la pendiente de esta curva, luego se comparo este resultado con los valores teórico-experimentales del fabricante del Gammacell 220. La desviación debe ser menor al 3%.

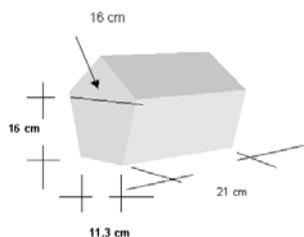


Figura N° 1

Forma de la Cámara de Irradiación

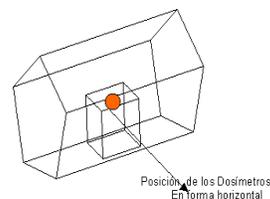


Figura N° 2
Ubicación de los dosímetros en la cámara de irradiación

3.2 Determinaciones experimentales en el equipo de irradiación de Cs-137

De acuerdo a los objetivos trazados, las principales determinaciones que se realizaron fueron: tasa de dosis en aire y dosimetría en

el producto (pupas de mosca), para la determinación de la dosis mínima y máxima, así como la ubicación de los mismos, dentro de la cámara de irradiación.

Calculo de la tasa de dosis en aire

T A B L A N° 1

FECHA:12/08/05		DOSIMETRO QUIMICA EN AIRE - FRICKE		EMPRESA SOLICITANTE: SENASA	
Peso del Producto		0 g			
DENSIDAD Aparente(gr/ml) :		0.000			
Longitud de Onda :		303.000 nm			
TIEMPO (s)	POSICION	ABSORBANCIA	DOSIS CORREGIDA [kGy]	DOSIS PROMEDIO [kGy]	
15	1	0.289	0.36338	0.34870	
	2	0.290	0.32297		
	3	0.287	0.35975		
	4	0.429	0.53691		
25	5	0.425	0.43814	0.50427	
	6	0.431	0.53775		
	7	0.570	0.71008		
35	8	0.576	0.55240	0.66135	
	9	0.581	0.72156		
	10	0.721	0.89406		
45	11	0.716	0.64154	0.81021	
	12	0.724	0.89503		
	13	0.860	1.06153		
55	14	0.849	0.71342	0.94606	
	15	0.864	1.06322		
TEMP. IRRADIACION:	23	FACTORES	FACTOR PARA Dw	Dosis Agua Dw	
TEMP. MEDICION:	21	0.27603	1.004	0.277134326	
TEMP. AMBIENTE:	20.0	0.27800			

a = 0.02097344
b = 14.6633676 Taza de dosis = 14.66336763 kGy/h +/- 0.30844
Sb = 0.096918 Dosis Nordion = 14.73626254 kGy/h
Sa = 0.00101627 %ERROR Nordion = 0.494663471
R2 = 0.99986896

T A B L A N° 2

DOSIMETRIA FRICKE EN AIRE EN EQUIPO IRRADIACION Cs-137 - PIURA

FECHA : 14/8/05
 PRODUCTO: SENASA FACTOR -ASTM 0.278
 Temp. Irrad. °C : 20 FACTOR-IPEN 0.27603
 Temp. Medic. °C : 23 ABSOR. BLANCO : 0.2076

TIEMPO (s/min)	POSICION	ABSORBANCIA DOSIMETRO	? ABSORB.	DOSIS [kGy]	DOSIS CORREGIDA [kGy]	DOSIS PROMEDIO [kGy]
300	1	0.7158	0.3388	0.09353	0.09557	0.09557
	2	0.7158	0.3388	0.09353	0.09557	
	3	0.7158	0.3388	0.09353	0.09557	
450	1	1.0260	0.5456	0.15061	0.15390	0.15390
	2	1.0260	0.5456	0.15061	0.15390	
	3	1.0260	0.5456	0.15061	0.15390	
600	1	1.2312	0.6824	0.18837	0.19249	0.19249
	2	1.2312	0.6824	0.18837	0.19249	
	3	1.2312	0.6824	0.18837	0.19249	
750	1	1.4803	0.8485	0.23421	0.23933	0.23933
	2	1.4803	0.8485	0.23421	0.23933	
	3	1.4803	0.8485	0.23421	0.23933	
900	1	1.6846	0.9847	0.27179	0.27774	0.27774
	2	1.6846	0.9847	0.27179	0.27774	
	3	1.6846	0.9847	0.27179	0.27774	

TIEMPO [s]	Dosis Promedio	Constante	0.011899	TASA DOSIS AIRE	1.07943 kGy/h
300	0.09557	Error Estandar Y	0.006126	DOSIS TEORICA	1.14162 kGy/h
450	0.15390	R cuadrado	0.994465	% ERROR	5.44764
600	0.19249	Grados de Libertad	3.0		
750	0.23933	Coefficiente X	0.000300		
900	0.27774				

Dosimetría en producto

T A B L A N° 3

DOSIMETRIA FRICKE EN PRODUCTO

FECHA :14/08/2005 EMPRESA : SENASA PRODUCTO A TRATAR :PUPAS DE MOSCA IRRAD. Cs-137
 PESO DE LAS PUPAS (gr) : 631 gr TEMP. IRRADIACION: 20 FACTORES FACTOR PARA Dw
 DENSIDAD Aparente(gram/ml) : 0.272 TEMP. MEDICION: 24 1.004
 Longitud de Onda : 303 nm TEMP. AMBIENTE: 19.0 FACTOR IPEN 0.27603
 ABSORBANCIA BLANCO: 0.2076 FACTOR ASTM 0.278

TIEMPO (s)	POSICION	ABSORB.	ΛA = Ai - A0	DOSIS [kGy]	DOSIS CORREGIDA [kGy]	DOSIS PROMEDIO [kGy]	DOSIS PROM.GRAL. [kGy]
300	1	0.5917	0.3842	0.10604	0.10759	Dmax: 0.14208	0.12484
	2	0.5917	0.3842	0.10604	0.10759		
	3	0.7149	0.5073	0.14002	0.14208	Dmin: 0.10759	
	4	0.7149	0.5073	0.14002	0.14208		
	5	0.7149	0.5073	0.14002	0.14208		
450	1	1.0785	0.8709	0.24040	0.24392	Dmax: 0.17309	0.15344
	2	0.6853	0.4777	0.13186	0.13379		
	3	0.7554	0.5478	0.15122	0.15344	Dmin: 0.13379	
	4	0.8256	0.6180	0.17058	0.17309		
	5	0.6853	0.4777	0.13186	0.13379		
600	1	0.7750	0.5674	0.15662	0.15892	Dmax: 0.23537	0.19714
	2	0.9754	0.7678	0.21195	0.21505		
	3	1.0480	0.8404	0.23197	0.23537	Dmin: 0.15892	
	4	0.9163	0.7087	0.19561	0.19848		
	5	0.8590	0.6514	0.17981	0.18244		
750	1	0.8704	0.6629	0.18297	0.18565	Dmax: 0.24392	0.21479
	2	1.0823	0.8747	0.24145	0.24499		
	3	1.0236	0.8160	0.22525	0.22855	Dmin: 0.18565	
	4	1.0031	0.7955	0.21959	0.22281		
	5	1.0785	0.8709	0.24040	0.24392		
900	1	1.0279	0.8203	0.22644	0.22976	Dmax: 0.31155	0.27065
	2	1.0279	0.8203	0.22644	0.22976		
	3	1.3200	1.1124	0.30705	0.31155	Dmin: 0.22976	
	4	1.3200	1.1124	0.30705	0.31155		
	5	1.3200	1.1124	0.30705	0.31155		

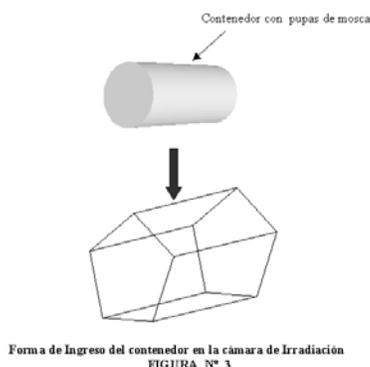
Tiempo [s]	Dosis Min.	Dosis Max.
300	0.10759	0.14208
450	0.13379	0.17309
750	0.18565	0.24392
900	0.22976	0.31155

DOSIS MINIMA (4 puntos)		DOSIS MAXIMA (4 puntos)	
Constante	0.045724	Constante	0.053743
Error Estandar Y	0.007557	Error Estandar Y	0.014363
R cuadrado	0.987148	R cuadrado	0.976020
Grados de Libertad	4	Grados de Libertad	4
Coefficiente X	0.000197	Coefficiente X	0.0002732

VALOR DOSIS MINIMA	0.7108 kGy/h
VALOR DE DOSIS MAXIMA	0.9835 kGy/h
UNIFORMIDAD DE DOSIS	1.38357

4. Discusión de Resultados

Como se describió anteriormente, el proceso de irradiación (en el equipo Gammacell 220 del IPEN) se realiza para determinar si la solución dosimétrica se encuentra bajo los parámetros normales de concentración. Se debe obtener una variación con respecto a la tasa de dosis sugerida por el fabricante de menos del 3%. Según la dosimetría Fricke realizada por los fabricantes del equipo de irradiación, la tasa de dosis en el centro de la cámara de irradiación con el contenedor vacío fue de 14.7362 kGy/h (12-08-2005). Los resultados experimentales determinan una tasa de dosis 14.6633 kGy/h, con un porcentaje de desviación o error de 0.49466% según el Factor experimental del IPEN (0.27603) y de 1.29502% si aplicamos el

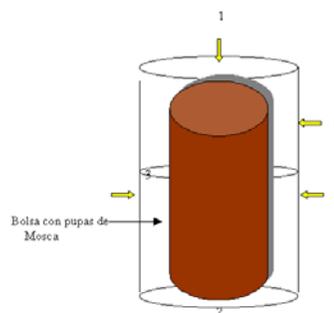


Forma de Ingreso del contenedor en la cámara de Irradiación
FIGURA N° 3

Factor Numérico de la ASTM (0.278). El coeficiente de correlación es de 0.9998689, lo cual demuestra la reproducibilidad del sistema.

Dosis en tránsito: Debido a los tiempos largos de irradiación, no se considera en este caso importante los cálculos de la dosis en tránsito.

Dosimetría en pupas de mosca: Mediante esta prueba se determina la ubicación de la Dosis Máxima y Dosis Mínima en el contenedor de irradiación, según los resultados obtenidos y presentados en la Tabla N° 3, la dosis máxima se encuentra en la posición N° 3 y la dosis mínima en la posición N° 1.



Posición de los Dosímetros en el Contenedor de Irradiación con Producto
FIGURA N° 4

5. Conclusiones

El equipo de irradiación de Cesio-137 de la ciudad de Piura emplazado en un ambiente con aire acondicionado, favorece las condiciones de irradiación en lo que respecta a la temperatura (20°C en promedio). Los valores experimentales obtenidos el 14 de agosto del 2005 lo podemos resumir en:

- La tasa de dosis en aire en el irradiador es de 1.079566 kGy/h y su desviación comparada con la dosis teórica (realizada el 31-03-1992) es de 5.447361%. Cuando se trabaja con el factor de la ASTM la desviación es del 4.77262% y la tasa de dosis obtenida es de 1.1304 kGy/h lo que nos indica la reproducibilidad del sistema.
- La tasa de dosis mínima en pupas de mosca (14-08-2005) con un peso de 631g es 0.71085 kGy/h y la tasa de dosis máxima es 0.98354 kGy/h, siendo la uniformidad de dosis de 1.38357. Este valor alto de la uniformidad puede deberse al tipo de contenedor que se utiliza, que es de acero inoxidable y no de aluminio, como es el caso en otra clase de irradiadores.

6. Referencias

1. Fricke, H., and Hart, E. J., "Chemical Dosimetry", Radiation Dosimetry, 2nd Edition, Vol 2, Academic Press. pp. 167-239, 1966.
2. ASTM Standard: E 1026-04 "Using the Fricke Reference Standard Dosimetry System".
3. ASTM Standard: E 1538-99 "Practice for use of the Ethanol-Chlorobenzene Dosimetry System".
4. ASTM Standard: E 1400-95^a "Standard Practice for Characterization and Performance of a High-Dose Radiation Dosimetry Calibration Laboratory".
5. International Organization for Standardization. "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", 1993 ISBN 92-67-10188-9. Available from the International Organization for Standardization, 1 rue de Varembe, Case Postale 56, CH-1211, Geneva 20, Switzerland.
6. Manual del Gammacell 220.