

## HIGIENE DEL TRABAJO

Instituto de Medicina del Trabajo

# Vigilancia individual de la exposición ocupacional al röntgendiagnóstico

Lic. David G. Sáez Nuñez<sup>1</sup> y Lic. Marisela Borroto Valdéz<sup>2</sup>

## RESUMEN

Se describe el método seguido en el Departamento de Higiene de las Radiaciones del Instituto de Medicina del Trabajo para la vigilancia radiológica individual del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico médico en Cuba. Como control dosimétrico se emplea la dosimetría fílmica personal. Se detalla la implementación en computadora de los algoritmos de cálculo y el registro de las dosis equivalentes. El cálculo se realiza a partir de un análisis de las dosis aparentes detrás de los diferentes filtros para tener en cuenta la compensación por dependencia energética, actualizándose la dosis acumulada anual. También se puede calcular el rango energético al que ha sido irradiado un dosímetro. El código desarrollado automatiza los cálculos y posibilita aplicar un método de relativa mayor complejidad y precisión, y permite disponer de archivos de alta confiabilidad y rápido acceso con los resultados y los datos de interés del personal controlado. El sistema ha demostrado su eficacia en el monitoreo del personal controlado.

*Palabras claves:* RADIOGRAFIA/efectos adversos; LESIONES POR RADIACION/pre-vención y control; DOSIMETRIA POR PELICULA/métodos; ESTADO DE SALUD; ENFERMEDADES OCUPACIONALES/prevención y control.

## INTRODUCCION

La vigilancia radiológica individual se establece con el fin de realizar consideraciones higiénico-radiológicas y tomar medidas preventivas y correctivas acerca de las exposiciones profesionales del personal que labora con radiaciones ionizantes. Esta se sustenta sobre la base del control dosimétrico de los trabajadores expuestos, y es el medio por el cual se pueden realizar estas valoraciones y relacionarlas con el estado de salud del personal monitoreado.

En Cuba la vigilancia radiológica individual del personal ocupacionalmente expuesto a rayos X de uso médico-diagnóstico, se lleva a cabo por el Departamento de Higiene de las Radiaciones perteneciente al Instituto de Medicina del Trabajo (DHR-IMT). Como método dosimétrico se emplea la dosimetría fílmica personal. Este servicio se le brinda actualmente a más de 4 000 trabajadores, para los cuales el período de control adoptado es bimestral.

La película fotográfica es relativamente económica y resistente. Por efecto de la irradiación, sus componentes radiosensibles, los cristales de haluro de plata, experimentan modificaciones relacionadas con la dosis de radiación recibida. Con una calibración adecuada, la densidad óptica de la película, una vez revelada y fijada, puede servir de índice de exposición a las radiaciones ionizantes.<sup>1-4</sup> El dosímetro fílmico siempre está listo para medir, no requiere de alimentación eléctrica y se lleva con comodidad. El filme revelado constituye un documento perdurable en el tiempo. Junto a sus ventajas, también presenta como inconvenientes principales la dependencia energética, especialmente por debajo de los 200 keV, y el limitado intervalo de medición, razones por las cuales se emplean casetas con filtros de diferentes espesores y combinaciones de filmes de distintas sensibilidades.<sup>5</sup>

Para facilitar el cálculo de las dosis es recomendable su implementación como rutina en computadora. Esto, evidentemente, incrementa la productividad del trabajo, posibilita la aplicación de métodos de relativa mayor complejidad y precisión,<sup>6-9</sup> y permite disponer además de registros seguros y de rápido acceso con los valores calculados.

El propósito de este trabajo es describir la metodología seguida en el DHR-IMT para el cálculo de las dosis equivalentes de rayos X recibidas por el personal controlado, así como detallar su implementación como rutina en computadora.

## MATERIAL Y METODO

El dosímetro fílmico del DHR-IMT, consiste en una caseta plástica que contiene 3 filtros de cobre de 0,05; 0,5 y 1,5 mm de espesor respectivamente, más una ventana abierta circular (figura 1) dentro de la cual se coloca la película dosimétrica que cuenta con 2 emulsiones de diferentes sensibilidades. Las magnitudes dosimétricas empleadas: dosis absorbida (dosis) y dosis equivalente, así como la relación existente entre ellas se definen en las recomendaciones de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de la Radiación, y la Comisión Internacional de Protección Radiológica.<sup>10-12</sup> El método seguido<sup>6-8,13</sup> fue simplificado al tipo de radiación tratada y consta de los siguientes pasos:

1. Realización de una curva de calibración<sup>14</sup> con un juego de películas irradiadas en geometría de aire libre, a valores conocidos de kerma en aire,<sup>11</sup> en la que se utiliza un haz de rayos X con una energía efectiva de aproximadamente 45 keV para la estandarización del tratamiento químico y el cálculo de las dosis equivalentes. Para la determinación de la kerma en aire se emplea un electrómetro universal PTW-UNIDOS de la firma alemana Freiburg con cámaras de ionización apropiadas que cubren el rango energético de interés.
2. Revelado y fijado de este juego de películas calibradas junto con las películas del personal controlado, de manera que ambas se encuentren sometidas a las mismas condiciones de tratamiento.
3. Medición de las densidades ópticas detrás de los diferentes filtros y la ventana abierta, con el empleo de un densitómetro digital de transmisión de 0 a 4,5 unidades de densidad óptica, de la firma Victoreen.
4. Evaluación de las densidades ópticas en la curva de calibración para la obtención de las dosis aparentes detrás de cada filtro y el cálculo de las dosis equivalentes, a partir de estos resultados, teniendo en cuenta la compensación por dependencia energética.

5. Archivo de las dosis equivalentes calculadas en los registros bimestrales y actualización de la dosis equivalente acumulada en el año.

## IMPLEMENTACION DE LOS CALCULOS

La curva de calibración se calcula a partir de los valores de kerma en aire y densidad óptica correspondientes a las películas irradiadas para la estandarización, ajustándose estos puntos por mínimos cuadrados a un polinomio adecuado según el método de Gauss.<sup>15</sup> La monotonía de la curva se garantiza durante la entrada de los datos y posteriormente durante el cálculo, ésta se chequea por la primera derivada para así evitar un comportamiento inadecuado de dicha curva.

Una vez determinados los coeficientes del ajuste, cada una de las densidades ópticas de los usuarios se evalúa en la ecuación obtenida, cuando éstas excedan la media de la densidad óptica correspondiente a las películas seleccionadas para la determinación del velo, y se calculan las dosis aparentes que superen el 95 % del intervalo de significación del velo. Según estos resultados se realiza, a continuación, un análisis de filtros simple o complejo, para la estimación final de la dosis equivalente de cada dosímetro, se reportan dosis cuando el resultado exceda el límite mínimo de sensibilidad de la película empleada (inferior a 0,1 mSv) y se le asigna este umbral en caso contrario. La figura 2 muestra un diagrama ilustrativo del flujo del programa durante la realización de los cálculos.

La compensación por dependencia energética se resuelve con la introducción en la máquina de los coeficientes del ajuste, a polinomios apropiados, de cada una de las dependencias existentes entre los cocientes de dosis aparentes ( $d_0/d_{0,05}$ ;  $d_0/d_{0,5}$ ;  $d_{0,05}/d_{0,5}$  y  $d_{0,5}/d_{1,5}$ ) con el factor de corrección energética, hechas experimentalmente para diferentes energías efectivas dentro del rango de interés (10-75 keV), de manera que es posible conocer este factor con una correlación cuadrática ( $r^2$ ) mayor del 99 %.

El rango energético al que ha sido irradiado un dosímetro puede ser determinado a partir de la relación existente entre la energía efectiva y los cocientes de las dosis aparentes, la cual sigue un comportamiento potencial dependiente de una potencia fraccionaria negativa. Esta relación nos permite estimar el rango energético cuando se encuentra en el intervalo de 30 a 75 keV, con un coeficiente  $r^2$  superior a 0,95.

## DESCRIPCION DEL PROGRAMA

El programa está escrito en Turbo Pascal para computadoras personales IBM y compatibles. El sistema dispone de todo un conjunto de facilidades computacionales que garantizan su manejo sencillo. Cada entidad usuaria cuenta con un código distintivo y a cada persona controlada se le asigna un número individual para la identificación del dosímetro.

Cuatro opciones principales dominan todo el funcionamiento del programa, las cuales están relacionadas con los datos de los usuarios, de los revelados y curvas de calibración, el cálculo de las dosis y el reporte de éstas; así se crean ficheros independientes donde son almacenados los datos necesarios para la realización de los cálculos.

La opción de datos de los usuarios permite mantener archivos con las dosis equivalentes bimestrales y el acumulado anual del personal controlado, así como con aquellos otros datos de interés al servicio de dosimetría. Por otra parte se crea un fichero con una estructura predeterminada, en el cual se almacena la información del personal ocupacionalmente expuesto de una entidad o región a criterio del operador del programa.

El número del dosímetro, el código para la región y el período de control junto con las densidades ópticas detrás de cada filtro y la ventana abierta, constituyen los datos necesarios de un revelado. El operador puede salvar una opción dentro de un juego de comentarios referentes a las situaciones más frecuentes que se presentan, relacionadas con la irradiación de la película y su estado, las cuales pueden quedar en la memoria de la computadora. La curva de calibración se introduce en esta opción, y se garantiza en cada entrada la monotonía adecuada de dicha curva. Para cada revelado se crea un fichero independiente y la curva de calibración correspondiente, ambos cuentan con un mismo número de identificación.

La estimación de las dosis periódicas de cada dosímetro introducido en un revelado se realiza en la opción de Calcular, los resultados se almacenan en el fichero seleccionado previamente en la opción de datos de los usuarios, para todos aquellos dosímetros presentes en dicho archivo y además se realiza para éstos la actualización de la dosis acumulada anual. Al final de la ejecución se reportan todos aquellos dosímetros presentes en el fichero de revelado pero no encontrados en el archivo de usuario, así como el número de aquellos dosímetros cuyo resultado exceda el valor máximo que se puede acumular en un bimestre para que no se supere el límite de dosis equivalente anual establecido para los trabajadores ocupacionalmente expuestos, con el objetivo de su rápido conocimiento.

Reporte de Dosis permite obtener un informe con los resultados de las dosis de un dosímetro en particular, una entidad o revelado, por pantalla e impresora. Para esto se requiere del número de identificación de cada una de estas posibilidades más el código deseado, en el caso del reporte de las dosis de los trabajadores expuestos pertenecientes a una entidad.

## **ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

Queda clara la importancia que adquiere la implementación en computadora de los cálculos para la estimación de las dosis equivalentes en un servicio de dosimetría personal, máxime cuando éste tiene la responsabilidad de la vigilancia radiológica individual de un elevado número de personas.

La mejoría en la calidad del servicio, basada en un incremento significativo de la productividad del trabajo, se nota rápidamente. El desarrollo de este programa, no sólo ha beneficiado al servicio con un cálculo automatizado de las dosis y la posibilidad de aplicar un método de relativa mayor complejidad y precisión, sino que, también, ha permitido disponer de archivos con los resultados de alta confiabilidad, seguridad y rápido acceso. Un simple soporte magnético garantiza la portabilidad del sistema y de los ficheros con las dosis equivalentes calculadas y los datos de interés del personal monitoreado, por lo que en un futuro, con la inclusión de esta opción, se podrán calcular

las dosis colectivas y realizar análisis estadísticos. Una nueva versión del programa traerá incluidas estas mejoras.

Es importante hacer notar que, independientemente de contar con un sistema de cómputo para el cálculo de las dosis, es imprescindible realizar la inspección de los datos introducidos a la máquina, así como de los resultados obtenidos. Quedó demostrado que a pesar de todas las validaciones que un programa de este tipo realice, el chequeo de las entradas y salidas es lo único que garantizará una completa depuración de los errores en los resultados, asociados con la introducción equivocada de datos dentro de los rangos válidos.

Finalmente, una completa automatización del proceso tiene necesariamente que incluir la lectura densitométrica de la película en la propia computadora, mediante la conexión en línea con el densitómetro y el desarrollo de una rutina adecuada que permita el flujo de la información entre éstos.

El programa desarrollado se encuentra actualmente en explotación en nuestro servicio dosimétrico, evidenciando, sin lugar a dudas, su eficacia en el cálculo y control de las dosis equivalentes recibidas por el personal ocupacionalmente expuesto a rayos X, que labora en el diagnóstico médico en nuestro país.

Queda pendiente, cuando las condiciones materiales del servicio de dosimetría personal del DHR-IMT así lo permitan, la recalibración del dosímetro de película en las nuevas magnitudes recomendadas por la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de la Radiación: 11 dosis equivalente penetrante Hp(10) y dosis equivalente superficial Hs(0,07), como indicadores de la dosis efectiva que recibe el personal ocupacionalmente expuesto.

## CONCLUSION

El programa desarrollado permitió al servicio dosimétrico del DHR-IMT, contar con una herramienta de cómputo eficaz, que automatiza el cálculo y control de las dosis equivalentes recibidas por el personal monitoreado, y facilita, por tanto, la vigilancia radiológica individual de los trabajadores ocupacionalmente expuestos que laboran en el radiodiagnóstico médico en nuestro país.

1 Licenciado en Física. Especialista en Física Médica.

2 Licenciada en Física. Investigadora Aspirante.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Margarete E. Empleo de dosímetros de película para la vigilancia radiológica individual. Colección Seguridad OIEA, 1962;(8):9-16.
2. Organismo Internacional de Energía Atómica. Requisitos fundamentales para la vigilancia radiológica individual (texto revisado en 1980). Colección Seguridad OIEA, 1981;(14).
3. Massera GE. Principios de detección de la radiación ionizante: parte III: detectores por emulsión fotográfica. Apuntes para el curso de posgrado en Protección Radiológica y Seguridad Nuclear, Bs. As, Argentina, 1992.
4. International Atomic Energy Agency. Personnel dosimetry systems for external radiation exposures. Technical Report Series IAEA, 1970;(109).
5. Schuricht V, Steuer J. Prácticas de física de la protección radiológica. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1989:107-8.
6. Trousil J, Koten J, Hospes M, Starostova V, Kokta L. The computer application in the czechoslovak national personnel dosimetry service. Jaderná Energie 1989;35(5):176-9.

7. Trousil J, Studena J, Kleinova H, Plichta J, Prouza Z, Starostova V. Metodika merení pronikaveho a povrchoveho davkoveho ekvivalentu v celostatni službe osobni dozimetrie UVVVR. Radioisotopy 1991;32(2):94-109.
8. Starosrova V, Trousil J, Koteň J. The method for the penetrating and superficial dose equivalents evaluation in the czechoslovak national personal dosimetry service. Kernenergie 1989;32(1):4-8.
9. Mota HC, Cunha PG, Hunt JG, Ramos EV, Salvi RPC, Sigaud GM. Um sistema multi-filtro para dosimetria fotografica. Rev Física Aplicada Instrumentacao 1990;5(1):64-77.
10. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Annals of the ICRP Publication, 1990;(60):4-6.
11. International Commission on Radiation Units and Measurements. Determination of Dose Equivalents Resulting from External Radiation Sources. ICRU Report 39, 1985.
12. International Commission on Radiation Units and Measurements. Radiation Quantities and Units, ICRU Report 33, 1980.
13. Trousil J. Personnel dosimetry methods introduced in the czechoslovak national laboratories. Advances in Radiation Monitoring: Proceedings of a symposium Stockholm 1978. IAEA:Vienna, 1979:21-4.
14. International Atomic Energy Agency. Handbook on calibration of radiation protection monitoring instruments. Technical Reports Series IAEA, 1971;(133):2-20.
15. MacCracken D, Dorn W. Métodos numéricos y programación FORTRAN. La Habana: Instituto del Libro, 1967:247-93, edición revolucionaria.

Recibido: 5 de mayo de 1994. Aprobado: 16 de febrero de 1995.

Lic. *David G. Sáez Núñez*. Instituto de Medicina del Trabajo. Calzada de Bejucal Km 7 1/2, Apartado 9064, municipio Arroyo Naranjo, zona postal 9 Ciudad de La Habana, Cuba.