Riesgos para la salud debido al uso de miras nocturnas con tritio

Health Risk Due To Using Tritium Night Sights

Recibido 29 de septiembre de 2008, modificado 30 de marzo de 2009, aprobado 17 de mayo de 2009.

Ernesto Villarreal

Ingeniero Nuclear, Ph.D. Director, Centro de Investigaciones, Facultad de Ingeniería, Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C., Colombia.

evillar@umng.edu.co ✉

PALABRAS CLAVES

Análisis de riesgos, luces de tritio, miras nocturnas, tritio.

KEY WORDS

Night sights, risk analysis, tritium, tritium lights.

RESUMEN

El fusil GALIL de las Industrias Militares de Israel (IMI) es fabricado en Colombia por la industria militar (INDUMIL), pues es el estándar de las Fuerzas Armadas Colombianas. Los fusiles tienen miras nocturnas que usan Fuentes Luminosas de Tritio Gaseoso (FLTG) importadas. Es importante determinar el riesgo para la salud de las personas, asociado con el manejo del tritio en las FLTG, como requisito para que INDUMIL obtenga las autorizaciones necesarias para manipular este material radiactivo. El análisis efectuado sigue las recomendaciones de la Comisión de Regulación Nuclear de Estados Unidos de América. El estudio concluye que el riesgo asociado con el almacenamiento y transporte de miras entre fábricas de INDUMIL, el montaje de ellas en los fusiles, el uso de esos fusiles y el descarte de las miras es despreciable. La evaluación del riesgo asociado con posibles accidentes se hará por separado.

ABSTRACT

The GALIL rifle developed by the Israel Military Industries (IMI) is manufactured in Colombia, by the military industry (INDUMIL). This rifle is the standard for Colombian forces. The rifles have night sights that use Gaseous Tritium Light Sources (GTLS) that are imported. An important step for INDUMIL to obtain the required authorizations to handle this radioactive material is to determine the health risk, associated with the use of Tritium in GTLS. The study carried out follows the recommendations of the Nuclear Regulatory Commission (USA). The study concludes that the risk associated with storing and transporting sights between INDUMIL factories, fitting sights on rifles, using these rifles and discarding sights is very low. A future paper will deal with the risk in case of accidents.

INTRODUCCIÓN

Las Fuerzas Armadas de Colombia utilizan el fusil GALIL 5.65 mm versión AR fabricado por INDUMIL. Casi todas las partes se elaboran localmente pero algunas, como las miras nocturnas, se importan desde Israel para dotar a unos 40000 fusiles que se producen anualmente. Las miras nocturnas emplean como fuente de luz Fuentes Luminosas de Tritio Gaseoso (FLTG), por lo que INDUMIL debe obtener licencias para manipular el material radiactivo tritio.

En general, están exentas del requisito de licencia las personas que reciban, posean, usen, transfieran o adquieran tritio en dispositivos autoluminosos que usan FLTG. La exención no aplica para la producción de las fuentes, la que se hace cumpliendo requisitos [1] para controlar las dosis de radiación asociadas con esta exención. En Colombia, el sistema de categorización de las fuentes radiactivas cerradas de la Autoridad reguladora [2] considera las FLTG como no peligrosas cuando la actividad total de un número de fuentes es inferior a $2x10^4$ GBq, como improbablemente peligrosas cuando tal actividad está entre ese valor y $2x10^6$ GBq y peligrosas si su actividad agregada supera este último valor. Usando estas categorías se está ajustando el Reglamento de Protección Radiológica y Seguridad del país [3].

Se examina el riesgo para la salud asociado con el almacenamiento de miras nocturnas importadas, su transporte, el montaje de ellas en los fusiles GALIL, el uso de estos fusiles y el descarte de miras luego de que han cumplido su vida útil. Este análisis sirve para formular recomendaciones que eviten incidentes como los ocurridos en un taller de las barracas de Bulimba, Australia, lugar en el que se reparaban brújulas y miras nocturnas que usaban tritio, y donde hubo contaminaciones que, sin embargo, no significaron un riesgo para la salud de los trabajadores [4].

DESCRIPCIÓN DE LAS MIRAS NOCTURNAS

Las miras nocturnas para armas que usan FLTG fueron introducidas a mediados de la década de 1980. En los fusiles GALIL hay una mira delantera con una FLTG y una trasera con dos FLTG, como se muestra en la Figura 1. Cada FLTG contiene cerca de 1 GBq (26 mCi).

En las tres FLTG hay aproximadamente 3 GBq (80 mCi). Las FLTG brillan con un color verde que atrae al ojo para permitir una correcta alineación del rifle en la oscuridad. Las FLTG son cápsulas de vidrio pirex de 5 mm de longitud, 1 mm de diámetro externo y paredes de vidrio de 0.2 mm de espesor. Cada cápsula está cubierta internamente con un material fosforescente (sulfuro de zinc activado con cobre y aluminio: ZnS:Cu,Al), llena de gas de tritio (HT) y sellada en sus extremos con un láser. Una vez se fabrican se hacen pruebas de estanqueidad de las FLTG.

EVALUACIÓN DE LAS MIRAS NOCTURNAS

Se efectúa siguiendo el procedimiento de la Nuclear Regulatory Commission (NRC) de los Estados Unidos de América, descrito en el documento NUREG-1717 [5] y se utilizan términos en español [6]. Los valores de desintegración para el tritio son: período de semidesintegración 12.28 años, coeficiente de dosis (CD) por inhalación 9.6×10^{-5} rem/μCi. Éste se obtiene del valor recomendado para la absorción por inhalación de tritio por la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos [7], aumentado por un factor de 1.5, como recomienda la NRC [8]. Esto se debe a que el tritio en las FLTG es en más de un 99% HT (gas) y menos del 1% HTO (agua tritiada) haciendo que el tritio que escapa de las FLTG esté en forma gaseosa; el gas entra en contacto con superficies que catalizan la oxidación para formar HTO antes de disiparse en el aire y las dosis por exposición al gas HT son 10000 veces más bajas que aquellas por exposición a la misma concentración de HTO en el aire [9].

Suministramos las dosis efectivas para exposiciones de rutina, con base en el valor de 3 GBq (80 mCi) de tritio para cada mira. Se asume que la vida útil de una mira es de 10 años y que la tasa de escape del tritio

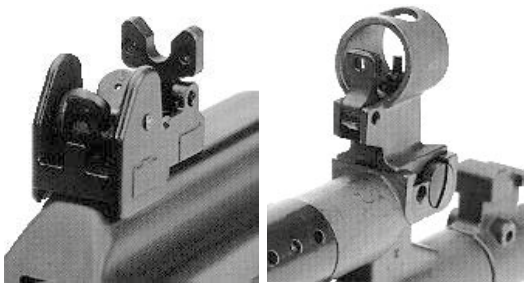

Figura 1. Mira trasera y delantera del fusil GALIL.

desde la cápsula es de 80 ppb/h, o sea 1.9 kBq/día (50 nCi/día). Este valor es superior al usado en el estudio de la NRC [5], 10 ppb/h, y por la Radiation Protection Agency del Reino Unido [10], 23 ppb/h. Nuestros cálculos son conservadores y dan mayor confiabilidad a los trabajadores de INDUMIL y a los usuarios de los rifles.

El transporte de las miras desde el proveedor hasta la Fábrica General José María Córdoba (FAGECOR) de INDUMIL está a cargo del primero, quien suministra las miras en cajas de cartón como bultos exentos. Estas cajas contienen 2000 miras delanteras (2 TBq o 54,5 Ci) ó 1000 miras traseras (2 TBq o 54,5 Ci) y se entregan en la bodega de FAGECOR.

ALMACENAMIENTO

Las cajas recibidas se abren para que un almacenista y la Oficina de Control Interno verifiquen la cantidad de miras. El recinto de almacenamiento de las miras nocturnas posee una puerta con llave y está en una bodega de 80 m por 30 m por 10 m de altura; las paredes y techo del recinto son de malla de alambre. Asumimos una situación extrema en la que se guardan a lo largo de un año 100000 miras completas (300000 FLTG o 300 TBq de tritio); esto no es exactamente así porque las miras llegan y se montan a lo largo del año. Consideramos que el número de personas que laboran en la bodega, 8 horas al día durante 250 días al año (2000 h/año), es de 100.

La dosis efectiva de radiación se calcula hallando la concentración promedio de tritio en el aire de la bodega [5]:

$$C = (S/E) + \{[(SV)/(E^2t)][e^{-Et/V} - 1]\}, \text{ donde} \quad (1)$$

C = concentración promedio en aire de tritio (pCi/m^3) durante el tiempo t,

t = tiempo en horas sobre el que se promedia C: 1 hora,

S = tasa de escape de tritio desde las 300000 FLTG: 2000 pCi/h (50 nCi/día) por FLTG, para un total de 6×10^8pCi/h

E = tasa de ventilación en bodega: un volumen de la bodega por hora, 24000 m3/h, y

V = volumen del recinto: 24000 m^3.

En la Ecuación (1), el valor máximo de C es S/E. Este valor no se alcanza por la renovación del aire en la bodega, que hace que la concentración máxima se alcance y mantenga justo antes de la primera hora. Hallado C, 919.7 pCi/m3, calculamos la incorporación de tritio (μCi), así:

$$I = C \times TR \times t \text{ , donde} \quad (2)$$

t = tiempo de exposición del individuo: 2000 horas laborables/año.

TR = tasa de respiración del individuo: 1.2 m^3/h (trabajo liviano),

Obteniendo I = 2.21 μCi. Hallamos luego la dosis efectiva E (rem), así:

$$E = CD \times I, \text{ donde} \quad (3)$$

CD = Coeficiente de dosis para la dosis efectiva comprometida durante 50 años por inhalación e ingestión, igual a 9.6×10-5 rem/μCi.

La dosis efectiva individual anual E es de 2.1 μSv (0.21 mrem). La dosis efectiva colectiva durante un año a los 100 operarios en la bodega será 0.2 mSv-persona (21 mrem-persona).

OFICINA DE INSPECCIÓN

En la inspección se verifican las dimensiones de las miras y, visualmente, que no haya escape de tritio des-

de las FLTG. En la oficina laboran 5 personas que se turnan para hacer la inspección.

En un despacho típico del proveedor se reciben 3000 miras nocturnas. Para inspeccionarlas FAGECOR aplica la norma ISO 2859-1: de cada envío se inspeccionan 125 miras (375 GBq), en medio día (4 h). La inspección la hace un funcionario de los 5 habilitados para ello. En la oficina, que tiene un volumen de 50 m^3, suponemos que el volumen de aire se renueva una vez por hora y que se hacen 33 inspecciones al año (resulta de dividir 100000 miras recibidas por 3000 que trae cada envío). Por lo tanto, las personas de esta oficina están expuestas al tritio que escapa de los 375 GBq contenidos en las miras durante un total de 132 horas.

Usamos las ecuaciones 1, 2 y 3 anteriores y obtenemos: C = 5.5 nCi/m^3, I = 0.87 μCi y dosis efectiva individual anual 0.84 nSv (83.9 nrem). La dosis efectiva colectiva anual, para los cinco funcionarios de la oficina, será 4.2 nSv-persona (420 nrem-persona).

TRANSPORTE

INDUMIL hace mantenimiento de fusiles GALIL en varias fábricas. Desde FAGECOR envía cajas de cartón con miras en cantidades similares a las exentas: 2000 miras delanteras (2 TBq ó 54,5 Ci) ó 1000 miras traseras (2 TBq ó 54,5 Ci). Consideramos que en cada envío van 2000 miras nocturnas completas (6 TBq ó 163,5 Ci).

La dosis efectiva por inhalación de tritio por cada μCi transportado se calcula con la metodología y resultados obtenidos en NUREG-1717 [5], que emplea el código CONDOS II para hallar las concentraciones promedio de tritio en el aire a lo largo de la ruta de transporte. Para ello resuelve:

$$C = \{(S/E) + \{[(SV)/(E^2t)][e^{-Et/V} - 1]\}\} - \{[VCo/Et][e^{-Et/V} - 1]\}, \text{ donde} \quad (4)$$

C = concentración promedio en aire de tritio (pCi/m^3) durante el tiempo t,

t = tiempo (h) sobre el cual se promedia C,

Co = concentración inicial de tritio en aire (pCi/m^3),

S = tasa de escape del tritio, 1pCi/h por cada μCi (37 kBq) de tritio, que es superior a 0.074 pCi/h, valor para las FLTG de las miras de INDUMIL. Este menor valor lo usamos más adelante.

E = tasa de ventilación (m^3/h), y

V = volumen (m^3).

El valor de Co es usualmente 0. No lo es para cálculo de exposiciones que empiezan luego de que la fuente ha sido removida, como para una persona en la ruta del camión que efectúa el transporte después de que éste ha pasado. Para estas personas, CONDOS II hace cálculos separados según el tiempo de paso del vehículo y el periodo de ocho horas a continuación, como se muestra en la Tabla 1. En el caso del lapso de 8 horas luego del paso del vehículo, el valor de Co es igual al valor final de C al concluir el paso del vehículo por el sitio donde está la persona.

Nuestros parámetros del transporte coinciden con unos incluidos en NUREG-1717 [5]: se usa un camión cerrado que recorre 400 km en 5 horas; de éstos, 20 km corresponden a recorrer en 0.7 horas una ciudad grande, 20 km corresponden a transitar en 0.3 horas áreas con pueblos y a recorrer 360 km en 4 horas, áreas poco pobladas (6 personas/km^2). El camión cerrado tiene 5 m de largo, 2.20 m de ancho y 2.30 m de alto (25 m^3), sin división entre conductor y carga. En él, el aire se cambia a una tasa de tres veces el volumen del camión por hora. El conductor y el ayudante se sientan al lado de la carga de miras, en un caso, y a una distancia de 340 cm, en otro.

Para estas condiciones y las contenidas en las tres primeras columnas de la Tabla 1, para eventos de exposición (tomados de Table A.3.12 Steps, Types and Numbers of Persons Exposed, and Exposure Conditions Involved in Shipment of Goods Via Regional Truck Delivery de NUREG-1717 [5]), CONDOS II obtiene los valores de concentración de tritio en aire, causados por μCi (37 kBq) de tritio transportado en las miras. Estos valores los multiplicamos por 0.074 debido a la menor tasa de escape de

Evento de exposición	Tiempo de exposición (h)[a]	Distancia de exposición (cm)[a, b]	Concentración de tritio en aire (pCi/m^3)[c]
Un conductor o un ayudante			
-Alto (paquete al lado de la persona)	5	60	$8.6x10^{-4}$
-Promedio (paquete en centro de camión)	5	340	$8.6x10^{-4}$
125.000 personas en ciudad con mucha población			
A lo largo de la ruta	0.05	18.300	$0.66x10^{-10}$
	8		$0.27x10^{-11}$
23.750 personas en áreas con pueblos medianos			
A lo largo de la ruta	0.022	18.300	$0.31x10^{-10}$
	8		$0.13x10^{-11}$
4.500 personas en áreas poco pobladas			
A lo largo de la ruta	0.015	18.300	$0.31x10^{-10}$
	8		$0.1x10^{-11}$

[a] Valores de estas dos columnas son los utilizados por el programa de computo CONDOS II.

[b] Distancia del conductor o el ayudante a las cajas con las miras, o de una persona en la vía al camión.

[c] 1 pCi/m^3 = 0.037 Bq/m^3.

Tabla 1. Etapas, tipo y número de personas expuestas, condiciones de exposición y concentración de tritio en el aire, en el transporte por camión de miras nocturnas de tritio a una distancia de 400 kilómetros.

Evento de exposición	Tiempo de exposición (h)	Absorción por inhalación µCi	FD individual (rem/µCi) oFD colectiva (rem-persona/µCi)
Un conductor o ayudante			
Alto (paquete al lado de la persona)	5 h de exposición	$5.2x10^{-9}$ µ Ci	$5×10^{-13}$rem/µCi($5×10^{-12}$mSv/µCi)
Promedio (paquete en centro de camión)	5 h de exposición	$5.2x10^{-9}$ µ Ci	$5×10^{-12}$rem/µCi ($5×10^{-11}$mSv/µCi)
125.000 personas en ciudad con mucha población			
A lo largo de la ruta	0.05 h de exposición	$4x10^{-18}$ µ Ci	$4.95x10^{-17}$rem-persona/µCi ($4.95x10^{-16}$mSv- persona/µCi)
	8 h de exposición	$2.6x10^{-17}$ µ Ci	$3.1x10^{-16}$rem-persona/µCi ($3.1x10^{-15}$mSv-persona/µCi)
23.750 personas en áreas con pueblos medianos			
A lo largo de la ruta	0.022 h de exposición	0.82x10-^{18} µ Ci	$1.9x10^{-18}$rem-persona/µCi ($1.9x10^{-17}$mSv-persona/µCi)
	8 h de exposición	$1.25x10^{-17}$ µ Ci	$2.8x10^{-17}$rem-persona/µCi ($2.8x10^{-16}$mSv-persona/µCi)
4.500 personas en áreas poco pobladas			
A lo largo de la ruta	0.015 h de exposición	$0.56x10^{-18}$ µCi	$2.4x10^{-19}$rem-persona/µCi ($2.4x10^{-18}$mSv-persona/µCi)
	8 h de exposición	$1.25x10^{-17}$ µCi	$5.4x10^{-18}$rem-persona/µCi ($5.4x10^{-18}$mSv-persona/µCi)

Tabla 2. FD para el transporte por camión de 1µci de tritio contenido en miras nocturnas de tritio a una distancia de 400 kilómetros.

Dosis individual anual - conductor o ayudante	$0.81x10^{-3}$mSv (0.081 mrem)
Dosis colectiva anual	$1.62x10^{-3}$mSv-persona (0.162 mrem-persona)

Tabla 3. Dosis efectivas para el transporte por camión de miras nocturnas de tritio a una distancia de 400 kilómetros.

tritio en nuestro caso y aparecen en la última columna de la Tabla 1.

Conocida C, la absorción individual por inhalación I, causada por μCi (37 kBq) de tritio transportado, se calcula utilizando la ecuación 2, donde:

TR es la tasa de respiración, igual a 1.2 m^3/h (para conductor y ayudante realizando trabajo liviano) y 0.9 m3/h para el resto de la población, y t es el tiempo de exposición (h).

El factor de dosis (rem/μCi transportado) FD, para la dosis individual, está dado por:

FD = CD x I (5)

Donde el coeficiente de dosis es 9.6 x 10-5 rem/μCi. En el caso de la dosis colectiva, el valor resultante se multiplica por el número de personas. El resultado se muestra en la Tabla 2.

Las dosis efectivas individual (conductor o ayudante) y colectiva (conductor, ayudante y población), debido al transporte de 6 TBq (162 Ci) de tritio, vienen dadas por (ver Tabla 3):

Dosis efectiva individual = FD individual x actividad transportada.

Dosis efectiva colectiva = FD colectiva x actividad transportada.

INSTALADORES DE MIRAS NOCTURNAS

En otra bodega de FAGECOR, de 80 m por 40 m por 10 m de altura, se encuentran dos talleres: el de ensamble de fusiles y el de mantenimiento de los mismos donde se reemplazan las miras. A cada taller se accede a través de una puerta con llave, tienen paredes de 2.5 m de altura, miden 10 m por 10 m y no poseen techo propio. En los talleres se ensamblan unos 2000 fusiles por parte de 18 funcionarios y se mantienen 400 fusiles por parte de otros 12, cada mes. En los talleres, el tiempo requerido para que un instalador monte y alinee la mira de un fusil es inferior a 15 minutos. Estas personas están entrenadas para ejecutar diversas actividades de ensamble y mantenimiento, como las de montaje de miras. En otras fábricas se efectúan mantenimientos de cantidades pequeñas de fusiles en condiciones similares a las de FAGECOR. Por esta razón, no se hacen cálculos de dosis para estos casos, sino sólo para el de FAGECOR.

El recinto de almacenamiento suministra a los talleres las miras necesarias para ejecutar una orden de ensamble de hasta 3.000 fusiles o de mantenimiento de hasta 300, lo que equivale a manipular 9 TBq o 0.9 TBq de tritio respectivamente. En los talleres no se guarda más de 3300 miras en total. Se ponen en un mueble y se entregan a los instaladores en lotes de 100 miras. Por ello, en los talleres no se almacenan más de 10 TBq de tritio, en un momento dado.

Para las dosis de los instaladores usamos los resultados de NUREG-1717 [5] para una operación más grande que la actual, ambicionada por INDUMIL. En ella, se instalarían 100000 miras al año, en fusiles nuevos o en mantenimiento. Se asume que un instalador coloca 5000 miras al año (100 miras por semana, 50 semanas por año). Para ensamblar y reemplazar 100000 miras, se necesitarán 20 instaladores. Durante el montaje en los fusiles el escape de tritio continuará.

Para un instalador, las dosis potenciales se estiman suponiendo: a) el instalador se expone 40 horas a la semana (2000 horas al año) al tritio que escapa de las FLTG contenidas en 100 miras (300 GBq) al aire contenido en una esfera de 1.5 m de radio (7 m^3); c) una tasa de ventilación de 5 veces el anterior volumen por hora, y c) cada mira se manipula durante 15 minutos, tiempo durante el cual un 2% del tritio que escapa de las FLTG se absorbe a través de un área de piel de 3 cm^2 en el extremo de los dedos del instalador que está en contacto con la mira.

Con estas suposiciones, una tasa de respiración de 1.2 m^3/hr (trabajo liviano) y la instalación de 5000 miras, NUREG-1717 [5], utilizando programas de cálculo especializados, se encuentra que la dosis efectiva anual para un instalador es de 5 μSv (0.5 mrem), debido esencialmente a absorción por inhalación. La dosis anual equivalente a la piel sería de 0.5 mSv (50 mrem) sobre un área de la piel de 3 cm^2 en contacto con las

miras. La dosis efectiva colectiva a los 20 instaladores durante un año debido al montaje de 100000 miras se estima en 0.11 mSv-persona (0.011 rem - persona).

USO NORMAL DE LAS MIRAS

Un miembro de las Fuerzas Militares o de Policía que utilice un fusil GALIL con mira nocturna, al aire libre, no está expuesto a recibir una dosis de radiación por el empleo normal del fusil, debido a que el tritio que escapa de las FLTG (6 nCi/h) se disipa en el aire de inmediato.

Si la persona está con el fusil en un recinto durante 12 horas al día, podemos hallar la dosis usando las ecuaciones 1, 2 y 3. Con las siguientes condiciones: t = 1 h, volumen del recinto 450 m^3, tasa de ventilación igual al cambio total del aire en el recinto cada hora, encontramos que la concentración de equilibrio del tritio en el recinto es 0.18 Bq/m^3 (4.9 pCi/m^3). Con una tasa de respiración de 0.9 m^3/h (persona en reposo) y un tiempo de 4380 h/año (12 h/día x 365 días/año), la incorporación anual es 1.9 x 10^{-2}μCi. Con un coeficiente de dosis de 9.6 x 10^{-5} rem/μCi la dosis efectiva anual es 1.8 x 10^{-2}μSv (1.8 μrem). Estos valores de dosis son despreciables.

DESCARTE DE MIRAS

Las miras reemplazadas en los fusiles se guardan en un recinto junto con desechos que resultan de la fabricación de fusiles. En el recinto no hay operarios. Las miras descartadas se guardan allí. La actual cantidad de miras guardadas es pequeña pues pocas se han reemplazado. En el futuro se planea enterrarlas o entregarlas a INGEOMINAS para su tratamiento como desechos radiactivos.

CONCLUSIONES

La Tabla 4 muestra las dosis calculadas para las diferentes situaciones y los valores límite de dosis recomendados por la NRC, contenidos en el documento NUREG-1717 [4].

En ningún caso la dosis efectiva individual esperada de las operaciones normales de INDUMIL sobrepasa los anteriores límites. Debe tenerse en cuenta que la dosis efectiva anual individual, por razones naturales, es de unos 2.5 mSv (250 mrem).

Tipo de exposición	Dosis efectiva individual	Límite de dosis efectiva recomendado	Dosis efectiva colectiva
Almacenaje de 100000 miras en bodega donde laboran 100 personas	2.1 μSv/año	0.1 mSv/año[a]	0.2 mSv-persona/año
Oficina de inspección con 5 inspectores	0.84 nSv/año	0.1 mSv/año[a]	4.2 nSv-persona/año
Transporte por camión durante 400 kilómetros	0.81 μSv/viaje	0.1 mSv/año[a]	1.62 μSv-persona
Instalación de 100000 miras por parte de 20 instaladores	5 μSv/año	0.1 mSv/año[a]	0.11 mSv-persona/año
Uso normal: persona dentro de recinto 12 horas al día por un año	1.8x10-2μSv/año	0.01 mSv/año[b]	
Dosis equivalente a la piel			
Instaladores	0.5 mSv/año	1.5 mSv/año[c]	

a Recomendado por la NRC para el manejo normal y almacenamiento de múltiples miras exentas (NUREG-1717).

b Recomendado por la NRC para el uso normal y el descarte de una sola mira exenta (NUREG-1717).

c Recomendado por la NRC para dosis equivalente a la piel de un instalador expuesto a múltiples miras nocturnas que contienen 3 GBq (80 mCi) de tritio cada una.

Tabla 4. Dosis de radiación potenciales.

AGRADECIMIENTOS

El interés de INDUMIL en ensamblar los fusiles GALIL, sin riesgo para los operarios, ha facilitado esta investigación, la cual se efectúa por la Universidad Militar Nueva Granada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] "Defence Standard 62-4/issue 4: Lamps, Nuclear (Gaseous Tritium Light Sources)". Ministry of Defence. United Kingdom. 7 August 1992. Fecha de consulta: 7 de marzo de 2008. Disponible: ftp://ftp.iks-jena.de/pub/mitarb/lutz/standards/dstan/62/004/00000400.pdf

[2] Ministerio de Minas y Energía.
Resolución 180052 "por la cual se adopta el sistema de categorización de las fuentes radiactivas". Bogotá, Colombia. 21 de enero de 2008.

[3] Ministerio de Minas y Energía.
Resolución 181434 "por la cual se adopta el Reglamento de Protección y Seguridad Radiológica". Bogotá, Colombia. 2 de mayo de 2002.

[4] D. Shanahan.
"Defence warned on waste". *The Australian, Online newspaper.* 27 de marzo 2009. Fecha de consulta: 24 de marzo 2009. Disponible: http://www.theaustralian.news.com.au/story/0,25197,22141903-5013404,00.html.

[5] *Systematic Radiological Assessment of Exemptions for Source and Byproduct Materials*. U. S. Nuclear Regulatory Commission. NUREG-1717. Washington D. C. June 2001. Fecha de consulta: 14 de mayo de 2008. Disponible: http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/nuregs/staff/sr1717/nureg-1717.pdf.

[6] *Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA: Terminología empleada en seguridad tecnológica nuclear y protección radiológica*. Organismo Internacional de Energía Atómica. Viena. STI/PUB/1290. ISBN-92-0-100707-8. 2007.

[7] *Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, and Ingestion*. U. S. Environmental Protection Agency. Federal Guidance Report No. 11. EPA–520/1–88–020. September 1988. Fecha de consulta: 14 de mayo de 2008. Disponible: http://www.epa.gov/rpdweb00/docs/federal/520-1-88-020.pdf.

[8] L. M. McDowell-Boyer and F. R. O'Donnell.
Estimates of potential radiation doses from wristwatches containing tritium gas. U. S. Nuclear Regulatory Commission. NUREG/CR–0215. February 1978.

[9] *Dose Coefficients for Intake of Radionuclides by workers*. International Commission on Radiological Protection. ICRP 68. Elsevier. July 1995.

[10] *Risk Assessment for the Storage of Gaseous Tritium Light Sources (GTLSs)*. Health and Safety Executive. Radiation Protection Agency. United Kingdom. Fecha de consulta: 14 de mayo de 2008. Disponible: www.army.mod.uk/linkedfiles/ceso/practitioners/radiation_protection/risk_assessment_gtlss.doc.

[11] *Gaseous Tritium Light Sources (GTLSs) and Gaseous Tritium Light Devices (GTLDs)*. Radiation Safety Handbook. JSP 392. Volume 2. Leaflet 19.United Kingdom. January 2007. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2008. Disponible: http://www.google.com.co/search?hl=es&q=GASEOUS+TRITIUM+LIGHT+SOURCES+%28GTLSs%29+AND&btnG=Buscar+con+Google&meta=