

EVALUACIÓN DE DOSIS PARA TRABAJADORES Y PÚBLICO EN GAMMA SCANNING

Sordi, R.¹

¹ Ministerio del Poder Popular para La Energía Eléctrica – Dirección General de Energía Atómica,

RESUMEN

El establecimiento de las zonas controlada y supervisada con la finalidad de proteger a los trabajadores y el público mediante la limitación de las dosis recibidas durante la realización de perfilaje gamma o Gamma Scanning como se conoce internacionalmente, no resulta una tarea fácil y rápida de realizar sin la ayuda de algún programa de cálculo debido a las variables que intervienen en el proceso como lo son el radioisótopo su actividad y posición durante el ensayo, la geometría de la instalación (diámetro y altura de las torres), los materiales de construcción, los espesores de los mismos y la duración del ensayo entre otros. En el presente trabajo se exponen los resultados obtenidos mediante la utilización de una hoja de cálculo desarrollada con la finalidad de estimar las dosis que recibirían los trabajadores y el público previamente a la realización del ensayo considerando las variables mas importantes que intervienen en el proceso de manera tal de poder establecer las zonas controlada y supervisada.

1. INTRODUCCIÓN

La técnica de Gamma Scanning es ampliamente utilizada en la industria petrolera y petroquímica donde se requiere realizar, en tiempos relativamente breves, la verificación del correcto funcionamiento de un proceso que se lleva a cabo en grandes recipientes como las torres de destilación [1].

La técnica consiste en hacer deslizar longitudinalmente por un costado de la torre una fuente radiactiva, normalmente de Co-60 o Cs-137, cuyas actividades típicas del orden de GBq (50 mCi hasta 500 mCi). En posición diametralmente opuesta se encuentra un detector de radiaciones ionizantes el cual está asociado a un equipamiento electrónico que permite el registro de la intensidad de radiación en cuentas por segundo en cada punto. La intensidad de radiación que llega al detector está relacionada con la densidad del material interpuesto entre la fuente y el detector (bandejas, separadores, líquido, vapor, entre otros). Se obtiene así un perfil longitudinal de las densidades internas de la torre. Los perfiles obtenidos en diferentes momentos de vida de la torre comparados con el perfil obtenido originalmente, conocido como "as built", así como la interpretación de dichos perfiles por parte de un especialista ofrecen un diagnóstico sobre el correcto funcionamiento de la torre y la detección de eventuales fallas. (Ver figuras 1 y 2).

El recorrido que realiza el conjunto fuente detector es determinado previamente según la exigencia del ensayo y normalmente va desde una cota a otra. El recorrido puede realizarse

¹ rino.sordi@gmail.com

una ó más veces según las exigencias, así como en direcciones u orientaciones diferentes (scannig ó grid scanning). Cada recorrido tiene una duración determinada el cual es dado por la velocidad de recorrido y la longitud del mismo.

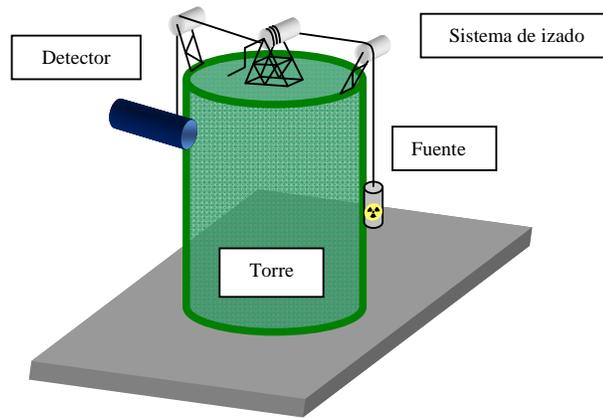


Figura 1. Esquema conceptual de disposición fuente detector para escaneo.

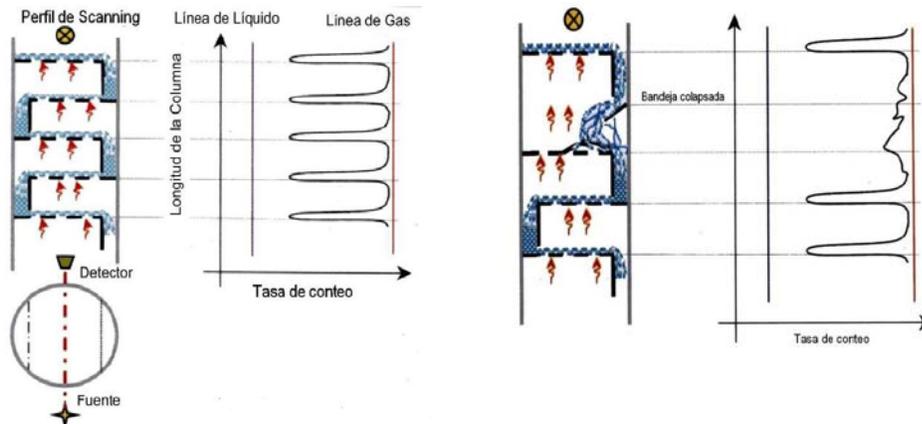


Figura 2. Perfiles obtenidos en un perfilaje normal (izquierda) y con bandeja caída.

Mientras la fuente realiza el recorrido, se causa en las zonas aledañas una exposición a la radiación la cual es difícil evaluar por medio de una fórmula sencilla y de manera directa.

Existen programas de cálculo [2] que han sido desarrollados para resolver este inconveniente pero en muchos casos requieren recursos computacionales y tiempos de cálculo elevados. El objetivo del presente trabajo es exponer los resultados obtenidos mediante una hoja de cálculo desarrollada para tal fin que de manera sencilla y al alcance de todos, resuelve este problema proporcionando una solución aceptable a los fines de la protección radiológica de los trabajadores y el público.

2. MODELO DE CÁLCULO

La hoja de cálculo proporciona el valor del equivalente de dosis ambiental $H^*(10)$ en todos los puntos de un plano previamente establecido por el operador, tanto hacia el lado fuente como hacia el lado detector.

Las variables consideradas en el modelo de cálculo son: a) el radioisótopo utilizado, y su actividad, b) altura, diámetro, espesor, material y posición de la torre con respecto al nivel de referencia, c) cota de inicio y fin del recorrido de la fuente, amplitud del paso de cálculo y tiempo de permanencia en cada punto, d) altura, diámetro, material y apertura de la ventana del colimador, e) largo, ancho y amplitud del paso de cálculo horizontal y vertical y f) región de cálculo (lado fuente o lado detector) y respectiva orientación del plano.

El equivalente de dosis ambiental $H^*(10)$ en cada punto del plano en estudio es la resultante de la suma de las dosis en ese punto debido a cada posición de la fuente en su recorrido longitudinal.

El recorrido longitudinal de la fuente es simulado como un número de pasos discretos de una cierta amplitud y en cada uno de dichos puntos la fuente permanece allí por un determinado tiempo.

La dosis calculada es la resultante de la radiación primaria. Los únicos factores atenuantes de la radiación son: el colimador, las paredes de la torre y la distancia.

2.1. Inserción de datos.

La inserción de los datos se realiza en la hoja "DATOS Y VARIABLES", la cual está dividida en secciones. Cada sección tiene que ver con datos diferentes del problema. Las secciones son:

2.1.1. Datos del colimador.

En lo que respecta los datos del Colimador básicamente se requiere información sobre: altura y diámetro del cilindro, amplitud de la ventana y material. Los datos aquí suministrados serán de uso para el cálculo tanto en el lado fuente como en el lado detector.

2.1.2. Datos de la torre.

En lo que concierne los datos de la torre se requiere información sobre: altura y diámetro de la torre, espesor de las paredes, cotas del tope y de la base de la torre respectivamente respecto al suelo. El material de las paredes de la torre es acero (única opción disponible). La torre es simulada como si fuese un tubo de acero vacío y que tiene una tapa de cierre superior y una inferior del mismo material y espesor.

2.1.3. Datos para el escaneo.

Los datos de esta sección se refieren a la descripción del recorrido de la fuente: cotas de inicio y fin escaneo (inicio y fin recorrido de arriba hacia abajo), amplitud del paso de la fuente y tiempo de permanencia en cada punto.

En caso que la fuente realice varios recorridos con velocidades diferentes es necesario reconducir los datos al caso de un solo recorrido. De hecho a los efectos del cálculo de las dosis importa el tiempo de permanencia en cada posición.

En lo que respecta el paso de la fuente es importante destacar que mientras más pequeño resulte el paso será más detallado el cálculo, pero por otro lado será más costoso respecto a los tiempos de cálculo.

2.1.4. Datos para el cálculo lado fuente.

En esta sección se especifican: la cota respecto al suelo de inicio y fin recorrido, la distancia horizontal respecto al eje del recorrido de la fuente hasta donde se desea realizar los cálculos de dosis y los pasos de cálculo horizontal y vertical, definiendo así una grilla de cálculo.

Una rutina de cálculo crea con estos datos la grilla de cálculo, es decir la matriz de puntos en correspondencia de los cuales calculará las dosis acumulada.

La grilla que se construye no es regular. En realidad el programa utiliza como paso de cálculo en vertical dos pasos: uno para el recorrido de la fuente y otro para el resto del eje vertical, esto con la finalidad de hacer mas fino el cálculo en sentido vertical.

2.1.5. Datos de la fuente.

Los datos para esta sección son: el radioisótopo (Cs-137 y Co-60) y la actividad (mCi). Si se requiere otro radioisótopo es necesario cargar los datos en una tabla dedicada para estas variables. El radioisótopo puede ser escogido entre.

2.1.6. Datos para el cálculo lado detector.

En esta sección se especifican: la amplitud del paso horizontal tanto dentro de la torre como después de la torre. Además se selecciona la orientación del plano de cálculo como se ilustra en la figura 3.

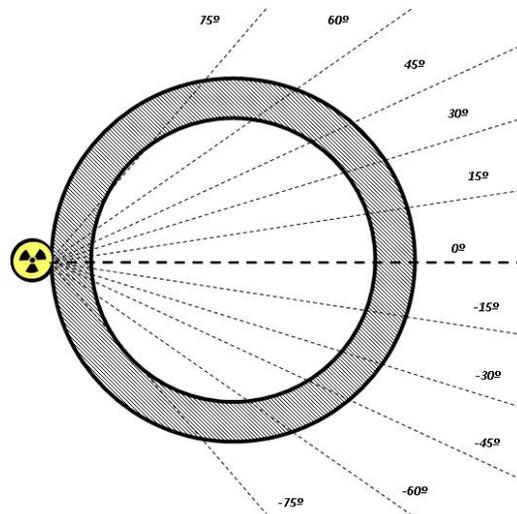


Figura 3. Orientación del plano de cálculo.

En lo que respecta la amplitud de la grilla en sentido vertical se asumen los mismos valores del caso del lado fuente como descrito en el punto 2.1.4.

Con la finalidad de guiar al usuario en la inserción de aquellos datos inherentes a la amplitud del plano de cálculo, pasos de cálculo horizontal y vertical entre otros, se ha creado la hoja “INFORMACIÓN VARIA” en la cual las variables necesarias están colocadas en un esquema gráfico. Por medio de una rutina el usuario puede decidir copiar los datos en la hoja “DATOS Y VARIABLES” ver figura 4.

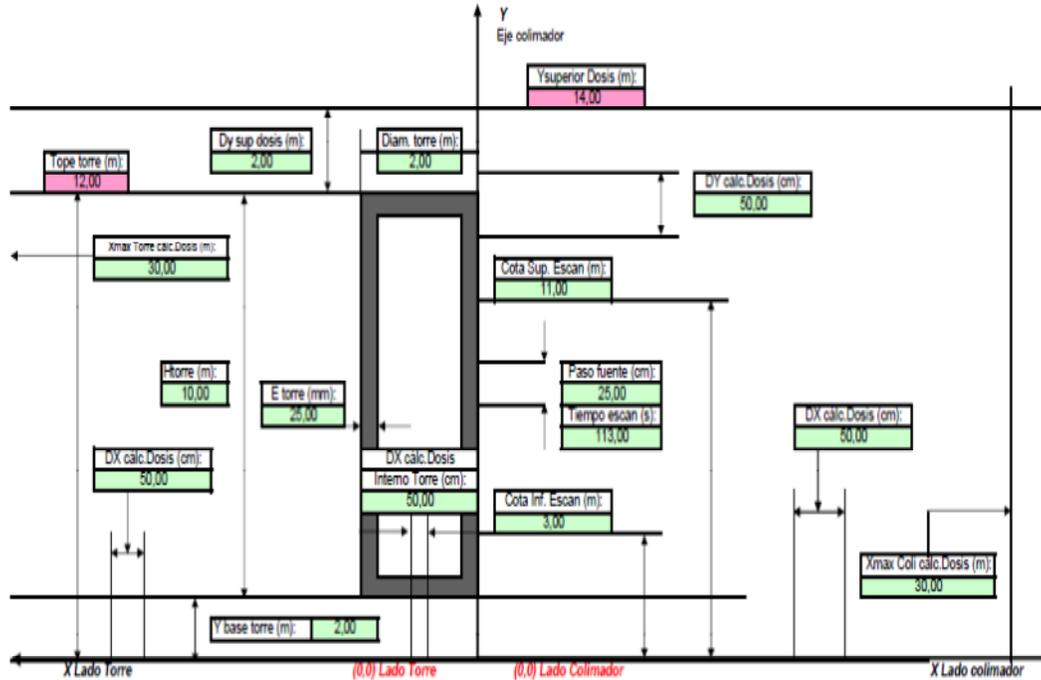


Figura 4. Hoja inserción datos gráficos.

2.2. Cálculo de la dosis H*(10).

Para cada posición de la fuente en su recorrido vertical se calcula la dosis acumulada en cada punto del plano ó zona en análisis y para cada paso de tiempo por medio de una rutina de cálculo. El resultado obtenido adiciona a la dosis ya existente en ese punto correspondiente al paso de tiempo anterior.

Cada punto del plano está identificado tanto en términos de coordenadas cartesianas (x,y) como en filas y columnas de la hoja de cálculo. Cada celda, así identificada, contiene la resultante de la dosis en ese punto.

Para cada paso de cálculo temporal Δt y para cada punto de coordenadas x,y del plano en análisis, el valor del equivalente de dosis ambiental H*(10) se obtiene utilizando la siguiente relación:

$$H^*(10)_{x,y} = \frac{A \cdot \Gamma \cdot K \cdot \Delta t}{d^2} \quad (1)$$

Donde:

A: Actividad de la fuente [mCi].

Γ : Factor gamma de la fuente seleccionada [mSv/h*m2/GBq].

Δt : Tiempo de permanencia de la fuente en una posición determinada [s].
 d : Distancia desde la fuente hasta el punto de cálculo [m].
 K : Factor de transmisión debido al colimador y a las paredes según el caso [-].

Los factores de conversión de las unidades se toman en cuenta en las rutinas de cálculo.

El factor de transmisión se calcula de la siguiente manera:

$$K = \frac{1}{2^{n_{HVL}}}; \quad n_{HVL} = \frac{e_{mat}}{e_{HR}};$$

e_{mat} : Espesor Material;
 e_{HR} : Espesor Hemi – Reductor del Material.
 n_{HVL} : Número de espesores Hemi – Reductores.

(2)

Como puede observarse para poder calcular el valor de $H^*(10)_{x,y}$ es necesario calcular el factor de atenuación, que dependerá de los materiales interpuestos entre la fuente y el punto de cálculo así como los respectivos espesores, además de la distancia.

Para cada punto (x,y) de interés en el plano, se calcula por medio de una rutina específica el espesor del material de la torre y del colimador que intervienen, luego se determinan los respectivos espesores hemireductores a partir de datos tabulados y así los valores de los coeficientes de transmisión respectivos. El valor del coeficiente de transmisión total a ser utilizado en la ecuación (1) resulta del producto de los factores de transmisión calculados para cada material. De la misma manera se calcula la distancia entre la fuente y el punto (x,y).

Una vez obtenidos los valores de K y d como descrito en el párrafo anterior es posible calcular el valor de $H^*(10)_{x,y}$. Este proceso se repite para cada una de las posiciones ocupadas por la fuente en su recorrido. Cuando finaliza el ciclo se obtiene para cada punto la dosis total.

Los valores son registrados en las celdas de la hoja de cálculo correspondiente al caso en estudio. Cada celda está asociada a una coordenada x,y del plano y contiene así el valor de la $H^*(10)$. En el encabezado de la celdas (filas y columnas) se puede leer el valor en metros de las coordenadas x,y.

Tabla 1. Valores de la constante Γ y espesores hemireductores de los diferentes materiales utilizados en la hoja de cálculo.

ISOTOPO	CONSTANTE GAMMA mSv/h*m2/GBq	ESPESOR HEMIREDUCTOR (mm) TUNGSTENO	ESPESOR HEMIREDUCTOR (mm) PLOMO	ESPESOR HEMIREDUCTOR (mm) ACERO
Co-60	0,36	7,00	12,00	20,00
Cs-137	0,086	3,00	7,00	15,00

2.3. Consideraciones sobre los límites de dosis y la clasificación de zonas.

Como mencionado anteriormente la hoja de cálculo proporciona para cada punto del plano considerado el valor total del equivalente de dosis ambiental $H^*(10)$ correspondiente a todo el recorrido de la fuente, obtenido como suma de los valores parciales para cada punto en correspondencia de cada posición ocupada por la fuente y por el tiempo de permanencia en esa posición.

Se puede asumir con buena aproximación que el valor de $H^*(10)$ es buen estimador de la dosis efectiva que recibiría una persona si permaneciese en esa posición por todo el tiempo que dure el ensayo.

Si por otro lado se asume:

- a) Un límite de dosis efectiva anual por irradiación externa de 20mSv para trabajadores y de 1mSv para los miembros del público.
- b) Que hay 2000 horas laborables en un año.
- d) Un valor derivado del límite de dosis diaria, que resulta de 80 μ Sv para trabajadores y de 4 μ Sv para los miembros del público.

Es posible establecer tres zonas:

- 1) Zona para el público: Determinada por aquellos puntos del plano donde el valor de la dosis resultante es inferior a 4 μ Sv.
- 2) Zona para operadores (Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos): Determinada por aquellos puntos del plano donde el valor de dosis está comprendido entre 4 μ Sv y 80 μ Sv.
- 3) Zona fuera de límite: Determinada por aquellos puntos del plano donde el valor de dosis supera 80 μ Sv.

2.4. Datos y resultados para un caso estudiado.

Con la finalidad de ilustrar las capacidades y prestaciones de la hoja de cálculo objeto del presente trabajo se estudió un caso con los siguientes datos:

- 1) Fuente de Co-60 con una actividad de 37GBq (1Ci).
- 2) Recorrido de la fuente de 8m en un tiempo de 1 hora, paso de cálculo de 25cm, en una torre de altura 10m, diámetro 2m y espesor 25mm. El recorrido de la fuente va desde 1m por debajo del tope de la torre hasta 1m antes de la base de la torre. La base de la torre se encuentra a 2m sobre el pavimento.
- 3) Los planos de cálculo para lado detector y lado fuente son de 14m (2m por encima del tope de la torre) de altura y 30m de ancho, con paso de cálculo de 50cm en ambas direcciones.

4) El colimador es de plomo y tiene una altura de 150mm, diámetro de 75mm y apertura de la ventana de 5mm.

Los resultados de los cálculos realizados se presentan al usuario de la siguiente manera:

2.4.1. En la hoja de cálculo “DATOS Y VARIABLES” utilizada para la inserción de los datos en las secciones lado fuente (colimador) y lado detector (torre), se reportan tanto las coordenadas x,y expresados en metros como los valores de fila y columna de las celdas correspondientes al punto de mayor dosis en las hojas “DOSIS LADO COLIMADOR” y “DOSIS LADO TORRE” respectivamente (figura 5).

SECCIÓN I - DATOS DEL COLIMADOR			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
dc:	75,00	mm	Diámetro colimador
hc:	150,00	mm	Altura colimador
e:	5,00	mm	Amplitud de la ventana del colimador
Material del colimador:	Plomo	---	Material del colimador
SECCIÓN II - DATOS DE LA TORRE			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Htorre:	10,00	m	Altura de la torre
Dtorre:	2,00	m	Diámetro de la torre
Étorre:	25,00	mm	Espesor de las paredes de la torre
Material de la torre:	Acero	---	Material de la torre. Se asume acero siempre.
Cota tope torre:	12,00	m	Cota medida desde el suelo a la cual se encuentra El Tope de la torre.
Cota base torre:	2,00	m	Cota medida desde el suelo a la cual se encuentra La Base de la torre.
SECCIÓN III - DATOS PARA EL ESCANEO			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Cota Superior Inicio Escaneo:	11,00	m	Cota medida desde el suelo a partir de la cual la fuente inicia a moverse hacia abajo.
Cota inferior Fin Escaneo:	3,00	m	Cota medida desde el suelo hasta donde llega la fuente.
Amplitud paso fuente:	25,00	cm	Valor del desplazamiento de la fuente entre la cota Superior e inferior de escaneo.
Tiempo de exposición fuente en cada paso:	113,00	s	Tiempo de permanencia de la fuente en cada posición de escaneo.
SECCIÓN IV - DATOS PARA EL CÁLCULO DE DOSIS - LADO COLIMADOR			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Cota Superior Cálculo Dosis:	14,00	m	Cota medida desde el suelo hasta donde se calcularán las dosis.
Distancia Horizontal Cálculo Dosis Lado colimador:	30,00	m	Distancia en horizontal medida desde el eje colimador hasta donde se realiza el cálculo de dosis.
Amplitud paso Cálculo en Vertical (Y):	50,00	cm	Definen la matriz de cálculo.
Amplitud paso Cálculo en Horizontal (X):	50,00	cm	
Valor Máximo de Dosis:	163,53	(μ Sv)	
Coordenada X de Máxima Dosis:	0,5	m	
Coordenada Y de Máxima Dosis:	7	m	
Fila Máxima Dosis:	25	---	
Columna Máxima Dosis:	5	---	
SECCIÓN V - DATOS DE LA FUENTE			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Radionúclido:	Co-60	---	Nombre del radionúclido
Actividad:	1.000.000	mCi	Actividad actual de la fuente
Factor Gamma:	0,35	mSv/h*m ² /GBq	
SECCIÓN VI - DATOS PARA EL CÁLCULO DE DOSIS - LADO TORRE			
NOMBRE DE VARIABLE	VALOR	UNIDADES	DESCRIPCIÓN
Distancia Horizontal Cálculo Dosis Lado Torre:	30,00	m	Distancia en horizontal medida desde el eje colimador hasta donde se realiza el cálculo de dosis.
Amplitud paso Cálculo en Horizontal dentro del Diámetro Torre (X):	50,00	cm	Definición Matriz de cálculo en Horizontal. La Matriz de cálculo vertical es la misma que lado Colimador.
Amplitud paso Cálculo en Horizontal después del Diámetro Torre (X):	50,00	cm	
Ángulo Cálculo:	0,00	° (Grados)	
Valor Máximo de Dosis:	28,45	(μ Sv)	
Coordenada X de Máxima Dosis:	2,5375	m	
Coordenada Y de Máxima Dosis:	7	m	
Fila Máxima Dosis:	25	---	
Columna Máxima Dosis:	10	---	
Columna Fin Torre:	9	---	
Fila Tope Torre:	7	---	
Fila Base Torre:	43	---	
Coordenada X de Fin Torre:	2,0375	m	

Figura 5. Hoja de cálculo “DATOS Y VARIABLES” para el caso estudiado.

2.4.2. Para los casos lado detector (torre) y lado fuente (colimador) se han dedicado hojas de cálculo específicas: “DOSIS LADO TORRE” y “DOSIS LADO COLIMADOR”

respectivamente (figuras 6 y 7). En estas hojas se reportan en cada celda los valores de $H^*(10)$ total encontrados. A cada celda corresponde una coordenada x,y del plano cuyos valores pueden leerse en la segunda fila y en la cuarta columna. Los colores de las celdas utilizados son rojo, naranja y verde y corresponden a las zonas fuera de límite, para operadores (Trabajadores Ocupacionalmente Expuestos) y para el público respectivamente (zonas 3, 2, 1 definidas en la sección 2.3).

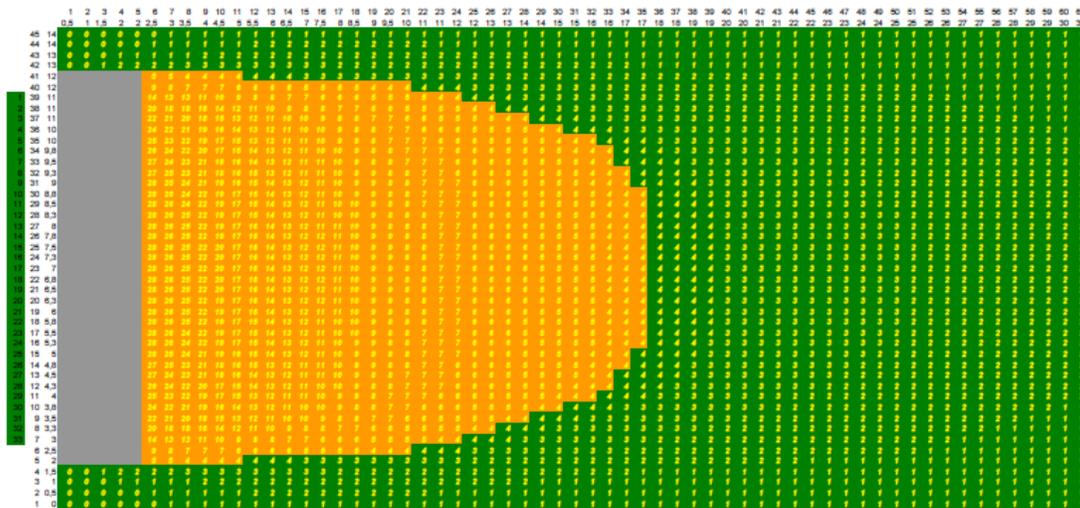


Figura 6. Hoja de calculo “DOSIS LADO TORRE”.

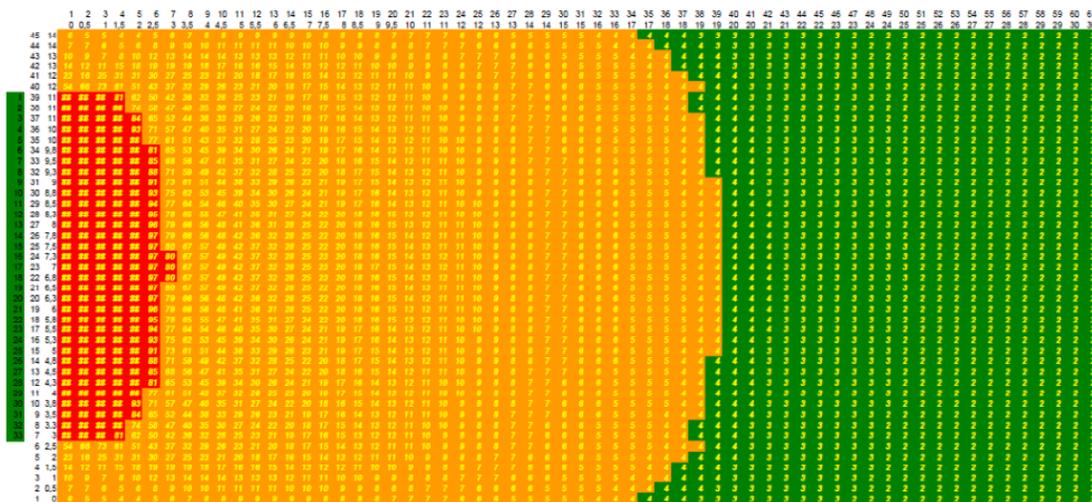


Figura 7. Hoja de calculo “DOSIS LADO COLIMADOR”.

3. CONCLUSIONES

La hoja de cálculo presentada en este trabajo a pesar de las simplificaciones adoptadas en el modelo de cálculo resulta ser una herramienta válida a los fines de la protección radiológica de los trabajadores y los miembros del público para este tipo de práctica considerando los

bajos recursos de cálculo que demanda y permite al operador determinar previamente a la realización del ensayo las zonas seguras de permanencia de las personas.

La herramienta puede ser utilizada como insumo para la optimización considerando que pueden realizarse cálculos con diferentes factores de forma y materiales del colimador. Además puede ser utilizada a los fines didácticos para la comprensión de conceptos como de limitación de dosis y evaluación de la seguridad así como para estudios comparativos de situaciones diferentes que pueden ser encontradas en la práctica.

4. REFERENCIAS

1. IAEA, “ARCAL XLIII, Proyecto RLA/8/024 “Aplicaciones Industriales de la Tecnología de Trazadores y Sistema de Control Nucleónico”, 2000
2. F.Vermeersch, “Advantages of combining gamma scanning techniques and 3D dose simulation in dose optimisation problems”, *SCK•CEN, Boeretang 200, 2400 Mol, Belgium.*