

EVALUACIÓN DE LA SEGURIDAD RADIOLÓGICA EN EL PERFILAJE DE POZOS

Alles, A.¹, Pérez, Y.¹ y Duménigo, C.¹

¹ Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN)

RESUMEN

Las evaluaciones de seguridad radiológica requeridas por las regulaciones vigentes son un medio para verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos. Diferentes métodos se han venido utilizando con estos fines. En el trabajo se exponen los resultados de la aplicación del método de las Matrices de Riesgo, que se aplica por primera vez en la práctica del perfilaje de pozos. Se incluyó la identificación de los principales fallos de equipos y errores humanos que pudieran conllevar a accidentes, así como las barreras de seguridad previstas. Para cada suceso iniciador se evaluó su frecuencia de ocurrencia, la severidad de sus consecuencias y la probabilidad de fallo de las barreras identificadas. Partiendo de estos presupuestos, se determinó el riesgo asociado a cada una de las secuencias accidentales identificadas, empleando para ello el código SEVRRRA, "Sistema de Evaluación del Riesgo", inicialmente diseñado para su aplicación en la radioterapia. Como resultado se identificaron las secuencias de mayor riesgo asociadas a la práctica del perfilaje de pozos, lo que constituye el punto de partida para la ulterior implementación de un programa coherente de optimización de las dosis en la práctica.

1. INTRODUCCIÓN

El perfilaje de pozos petroleros es una técnica que agrupa una serie de operaciones mediante la cuales se registran las características de las capas geológicas en función de la profundidad [1]. Las fuentes radiactivas utilizadas en la práctica de perfilaje de pozos pueden dar lugar a importantes dosis por irradiación externa cuando sistemáticamente se manipulan fuera de sus contenedores blindados o por la deshermetización de una fuente. Sin embargo, las exposiciones potenciales más importantes son las que se relacionan con el público, debido generalmente a la eventual pérdida, robo o extravío de una fuente. Estas exposiciones pueden provocar dosis dentro del umbral de efectos determinísticos como la anorexia y la depresión de la hematopoyesis, efectos detectables de opacidad del cristalino, así como esterilidad temporaria en testículos [2].

Los accidentes ocurridos en diferentes países del mundo que ejecutan esta práctica [3,4] demuestran la necesidad de realizar evaluaciones de seguridad radiológica, que permitan tomar medidas encaminadas a prevenir y minimizar las consecuencias de estos. Con la entrada en vigor en Cuba de la Resolución Nro. 334/ 2011 del CITMA, "Reglamento sobre Notificación y Autorización de prácticas y actividades asociadas al empleo de Fuentes de Radiaciones Ionizantes" [5], se estableció que el solicitante de una licencia para la etapa de operación debe presentar a la Autoridad Reguladora una evaluación de seguridad que enfatiza, por primera vez, la aplicación de técnicas de análisis de riesgo como parte del proceso de autorización [6-8]. El trabajo muestra los resultados derivados de la aplicación del

¹ adrian@oraseen.co.cu, yolanda@oraseen.co.cu, cruz@oraseen.co.cu

método de Matrices de Riesgo en los marcos de la evaluación de seguridad en una instalación que ejecuta la práctica de perfilaje de pozos [9].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En el trabajo se aplicó el método de las Matrices de Riesgo a la práctica de perfilaje de pozos en una instalación genérica del país tomada como referencia. Este método ha sido aplicado a nivel nacional e internacional en diferentes instalaciones médicas. En Cuba se han obtenido resultados positivos en hospitales e instituciones que desarrollan la práctica de radioterapia y medicina nuclear [10]. Es un método relativamente sencillo y ágil para el personal que realiza los análisis de seguridad y del cual se obtienen resultados que conllevan a tomar medidas para fortalecer la seguridad radiológica en cada entidad, según sus particularidades. Para aplicar el método es preciso evaluar la secuencia de eventos que desencadena un accidente (secuencia accidental). La figura muestra cómo un determinado error humano o fallo de equipo (suceso iniciador), el cual ocurre con una frecuencia determinada (f), puede dar lugar a consecuencias indeseadas. En la práctica de perfilaje de pozos petroleros existe una serie de defensas que consisten en una o varias barreras (enclavamientos, alarmas o procedimientos), capaces de detectar el problema e impedir que el suceso iniciador se convierta en un accidente. Sin embargo, hay una determinada probabilidad (P) de que esas barreras puedan fallar, en cuyo caso ocurriría el accidente, que se manifestaría en unas consecuencias determinadas (C). La magnitud que caracteriza finalmente la secuencia accidental es el riesgo (R), que es la función de las tres variables independientes (la frecuencia del suceso iniciador, la probabilidad de fallo de las barreras y la gravedad de las consecuencias). Esta función se muestra también en la figura. El método consiste en subdividir las variables independientes de la ecuación del riesgo en cuatro niveles cualitativos (Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo). Con la realización de todas las combinaciones lógicas posibles se obtendrán cuatro niveles de riesgo (Muy Alto, Alto, Medio y Bajo) como se muestra en la Tabla 1.

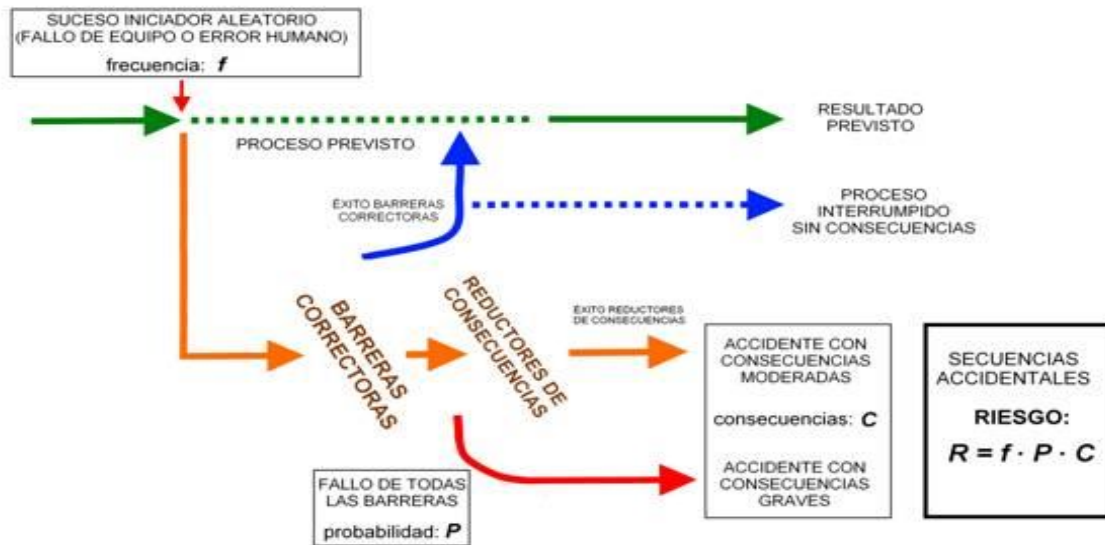


Fig 1. Secuencia típica de las exposiciones accidentales

Tabla 1. Matrices de riesgo

f_A	P_A	C_{MA}	R_{MA}
f_M	P_A	C_{MA}	R_{MA}
f_B	P_A	C_{MA}	R_A
f_{MB}	P_A	C_{MA}	R_A
f_A	P_M	C_{MA}	R_{MA}
f_M	P_M	C_{MA}	R_A
f_B	P_M	C_{MA}	R_A
f_{MB}	P_M	C_{MA}	R_A
f_A	P_B	C_{MA}	R_A
f_M	P_B	C_{MA}	R_A
f_B	P_B	C_{MA}	R_M
f_{MB}	P_B	C_{MA}	R_M
f_A	P_{MB}	C_{MA}	R_A
f_M	P_{MB}	C_{MA}	R_M
f_B	P_{MB}	C_{MA}	R_M
f_{MB}	P_{MB}	C_{MA}	R_M

f_A	P_A	C_A	R_{MA}
f_M	P_A	C_A	R_A
f_B	P_A	C_A	R_A
f_{MB}	P_A	C_A	R_A
f_A	P_M	C_A	R_A
f_M	P_M	C_A	R_A
f_B	P_M	C_A	R_A
f_{MB}	P_M	C_A	R_M
f_A	P_B	C_A	R_A
f_M	P_B	C_A	R_A
f_B	P_B	C_A	R_M
f_{MB}	P_B	C_A	R_M
f_A	P_{MB}	C_A	R_M
f_M	P_{MB}	C_A	R_M
f_B	P_{MB}	C_A	R_B
f_{MB}	P_{MB}	C_A	R_B

f_A	P_A	C_M	R_A
f_M	P_A	C_M	R_A
f_B	P_A	C_M	R_M
f_{MB}	P_A	C_M	R_M
f_A	P_M	C_M	R_A
f_M	P_M	C_M	R_M
f_B	P_M	C_M	R_M
f_{MB}	P_M	C_M	R_M
f_A	P_B	C_M	R_M
f_M	P_B	C_M	R_M
f_B	P_B	C_M	R_B
f_{MB}	P_B	C_M	R_B
f_A	P_{MB}	C_M	R_M
f_M	P_{MB}	C_M	R_M
f_B	P_{MB}	C_M	R_B
f_{MB}	P_{MB}	C_M	R_B

f_A	P_A	C_B	R_M
f_M	P_A	C_B	R_M
f_B	P_A	C_B	R_M
f_{MB}	P_A	C_B	R_M
f_A	P_M	C_B	R_M
f_M	P_M	C_B	R_M
f_B	P_M	C_B	R_B
f_{MB}	P_M	C_B	R_B
f_A	P_B	C_B	R_B
f_M	P_B	C_B	R_B
f_B	P_B	C_B	R_B
f_{MB}	P_B	C_B	R_B
f_A	P_{MB}	C_B	R_B
f_M	P_{MB}	C_B	R_B
f_B	P_{MB}	C_B	R_B
f_{MB}	P_{MB}	C_B	R_B

En los estudios de riesgos se asume que los sucesos iniciadores ocurren de forma aleatoria en el tiempo con una frecuencia constante (modelo Poisson). Los registros que incluyan la ocurrencia de estos accidentes pueden ser la aproximación más objetiva a la frecuencia de aparición de estos. En caso de que no se dispongan de ellos se puede efectuar una valoración de esta magnitud basada en valores de tasa de fallo y probabilidades de errores humanos publicados en la bibliografía. Para estimar la frecuencia (f) de los sucesos iniciadores provocados por fallo de equipo se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$f = \frac{2n + 1}{2T}$$

donde:

n : es el número de fallos

T : intervalo de tiempo en el que ocurren los n fallos (expresado en años)

Cuando los iniciadores son originados por errores humanos, la frecuencia puede calcularse utilizando la siguiente ecuación:

$$f = P_{EH} f_T$$

donde:

P_{EH} : probabilidad de error humano por tarea

f_T : frecuencia anual con que se realiza la tarea

Una vez estimada la frecuencia se puede clasificar esta variable en diferentes niveles (Alto, Medio, Bajo, Muy Bajo), utilizando para ello los criterios de la Tabla 2.

Tabla 2. Criterios para la asignación de los niveles de frecuencia

Frecuencia cualitativa	Acrónimo	Probabilidad de ocurrencia del suceso iniciador	Número de sucesos por año (considerando una carga de trabajo de 500 operaciones por año en los pozos)
Alta	f_A	$P \geq 1/10$	Más de 50 por año $F \geq 50$
Media	f_M	$1/1000 < P < 1/10$	Entre 1 y 50 por año $1 \leq F < 50$
Baja	f_B	$1/100000 < P < 1/1000$	Entre 1 por año y 1 cada 100 años $0.01 \leq F < 1$
Muy Baja	f_{MB}	$P < 1/100000$	Menos de 1 cada 100 años $F < 0.01$

Para asignar los niveles de consecuencias (C) se parte de suponer que ya ha ocurrido el suceso iniciador y coincidentemente han fallado todas las barreras. Los sucesos iniciadores identificados pueden tener consecuencias para trabajadores y público.

- 1- *Muy altas, catastróficas o muy graves (C_{MA})*: Son aquellas que provocan efectos deterministas severos, siendo mortales o causantes de un daño permanente que reduce la calidad de vida de las personas afectadas.
- 2- *Altas o Graves (C_A)*: Son aquellas que provocan efectos deterministas, pero que no representan un peligro para la vida y no producen daños permanentes a la calidad de vida.

3- *Medias o moderadas (C_M)*: Son aquellas que provocan exposiciones anómalas (o no previstas como normales, es decir, superan las restricciones de dosis o el límite de dosis establecidos en las regulaciones) que están por debajo de los umbrales de los efectos deterministas. Sólo representan un aumento de la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos.

4- *Bajas (C_B)*: No se producen efectos sobre los trabajadores y público pero se degradan las medidas de seguridad.

La probabilidad de fallo del conjunto de barreras está dada por el producto de la probabilidad de fallo de cada una de las barreras existentes ($p = p_1 * p_2 * p_3 * p_n$), (suponiendo que las barreras sean independientes entre sí). Una importante simplificación del método consiste en que todas las barreras son independientes y con igual probabilidad de fallo. Puesto que cada uno de los p_i es menor que la unidad, el producto, es decir, la probabilidad total, es tanto menor cuanto mayor sea el número de barreras. Por tanto, se pueden establecer los niveles decrecientes de “ p ” en función del número creciente de barreras directas tal y como se muestra a continuación:

Alta (P_A): No hay ninguna barrera de seguridad.

Media (P_M): Hay una o dos barreras de seguridad.

Baja (P_B): Hay tres barreras de seguridad.

Muy Baja (P_{MB}): Hay cuatro o más barreras de seguridad. Existe suficiente defensa en profundidad.

Obtención del nivel de riesgo para cada secuencia accidental.

Una vez determinados todos los sucesos iniciadores se evalúa, para cada uno de ellos, las variables independientes de la ecuación del riesgo f , p y C , y son asignados sus correspondientes niveles. Con los niveles de las variables independientes definidos se “entra” en las Matrices de Riesgo y se toma la lectura del riesgo resultante de la Tabla 1. Este proceso se realiza para cada suceso iniciador y se obtiene así la lista de niveles de riesgo resultante para todas las secuencias accidentales. A todas las secuencias, cuyo riesgo inicial resulte ser Alto o Muy Alto se les selecciona para su análisis posterior, obteniéndose así la primera fase o “primer cribado”. El método es conservador debido a que la lógica de combinación de las variables al conformar las matrices (Tabla 1) es conservadora, ya que se considera que todas las barreras tienen la misma probabilidad de fallo. Teniendo en cuenta ese enfoque conservador se realiza el segundo cribado (filtrado) que tiene dos objetivos básicos: hacer una evaluación más profunda de las secuencias evaluadas con riesgos inaceptables y proponer medidas para reducir el riesgo en cada caso.

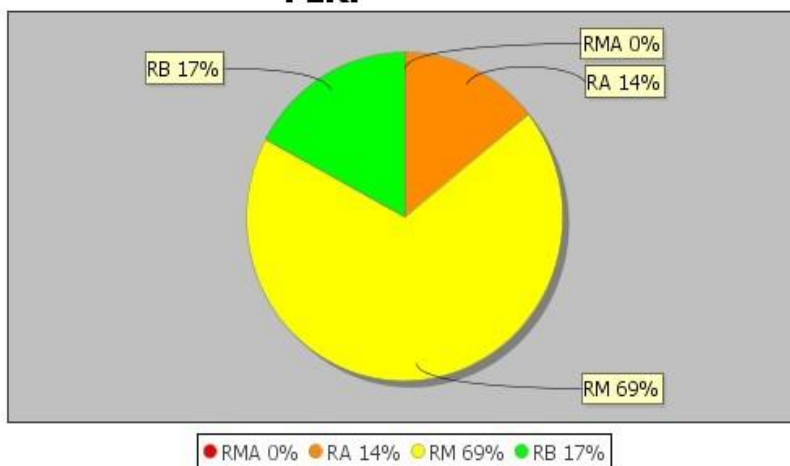
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 3 se muestra el perfil de riesgo de la entidad evaluada como referencia para las cuatro etapas del proceso. Como se aprecia, ninguna de las secuencias accidentales se evaluó como de riesgo “Muy Alto”, lo cual demuestra que la práctica puede continuar realizándose sin que exista un peligro inminente de accidente. No obstante, se ve que existen cinco secuencias accidentales evaluadas de riesgo “Alto”, las cuales requieren que se tomen medidas para reducir el riesgo hasta niveles aceptables (riesgo “Medio” y riesgo “Bajo”) [9].

Tabla 3. Perfil de riesgo de la entidad de referencia evaluada

No.	Etapas	Riesgo muy Alto (RMA)	Riesgo Alto (RA)	Riesgo Medio (RM)	Riesgo Bajo (RB)	Total por Etapa
1	Almacenamiento de las fuentes radiactivas	0	0	8	0	8
2	Calibración de las herramientas de pozo	0	0	5	0	5
3	Transporte del material radiactivo	0	3	5	2	10
4	Trabajos en pozos petroleros	0	2	6	4	12
	Totales	0	5	24	6	35

PERF



En la Tabla 4 se muestran los cinco sucesos iniciadores que resultaron ser de riesgo “Alto” y las correspondientes medidas de seguridad para cada caso.

Tabla 4. Medidas compensatorias de seguridad para sucesos con riesgo alto

Nº	Suceso iniciador	Recomendaciones
----	------------------	-----------------

Nº	Suceso iniciador	Recomendaciones
1	Caída de una fuente desde el vehículo de transporte, provocando su extravío debido a que el contenedor no tiene adecuadas medidas de seguridad física. (PUB3.1)	Utilización de medios de sujeción (cadenas y candados) para minimizar la posibilidad de caída del contenedor con la fuente en su interior.
2	Robo o hurto del contenedor con fuentes radiactivas ubicadas en el vehículo de transporte. (PUB3.4)	Utilización de medios de sujeción (cadenas y candados) para minimizar la posibilidad de robo o hurto del contenedor con la fuente en su interior.
3	Accidente de transporte que provoca daños a la fuente y al blindaje afectando a los TOEs. (TOE3.3)	Existencia de un plan de emergencias que considere accidentes del transporte y contenga medidas que permitan reducir las consecuencias sobre los trabajadores hasta el nivel de consecuencias “medio”
4	Golpe mecánico sobre el contenedor en el traslado hacia el pozo, lo que provoca la pérdida de su capacidad de blindaje y con ello sobredosis a los trabajadores. (TOE4.2)	Ante cualquier evento donde ocurran golpes al contenedor de la fuente durante su traslado al pozo, se deberá realizar un monitoreo adicional al contenedor para verificar su integridad y capacidad de blindaje.
5	Golpe mecánico sobre el contenedor en el traslado hacia el pozo, lo que provoca la pérdida de su capacidad de blindaje y con ello sobredosis a miembros del público. (PUB4.3)	Ante cualquier evento donde ocurran golpes al contenedor de la fuente durante su traslado al pozo, se deberá realizar un monitoreo adicional al contenedor para verificar su integridad y capacidad de blindaje.

Otro resultado importante de este tipo de análisis es la posibilidad de evaluar la importancia de las defensas, diferenciando cuáles de estas tienen mayor incidencia en la reducción del riesgo. Un ejemplo de lo anterior es el parámetro importancia estructural que se define como el cociente entre el número de sucesos iniciadores, en el que participa el elemento objeto de análisis (ejemplo, las barreras), y el total de iniciadores evaluados (35). En la Tabla 5 se muestran las tres barreras más importantes de las 40 que se identificaron.

Tabla 5. Importancia de las barreras de seguridad

Nº	Denominación de la barreras	SI en los que esta barrera participa	
		Nº	%
1.	Procedimiento interno de medición de la práctica	5	14 %
2.	Botón para el control de la seguridad de la herramienta de manipulación que evita la caída inadvertida de la fuente	4	11 %
3.	Uso de un dosímetro de lectura directa durante la realización de los trabajos que hace saltar una alarma al nivel de dosis que se ha	4	11 %

N°	Denominación de la barreras	SI en los que esta barrera participa	
		N°	%
	establecido		

4. CONCLUSIONES

El trabajo permitió adaptar el método de Matrices de Riesgo para su aplicación en la práctica de perfilaje de pozos petroleros y otras aplicaciones industriales de las radiaciones ionizantes. La evaluación de seguridad permitió identificar una lista de sucesos iniciadores de accidentes en la práctica y el riesgo resultante para cada secuencia accidental analizada. Se verificó que no existen secuencias accidentales evaluadas con riesgo “Muy Alto”, atendiendo a las medidas de seguridad que tradicionalmente se utilizan en esta práctica. No obstante, se identificaron cinco secuencias accidentales con riesgo inaceptable (riesgo “Alto”), lo que demuestra la necesidad de implementar medidas de seguridad que permitan reducir estos riesgos hasta niveles aceptables. Se identificaron las principales barreras que actúan en la reducción del riesgo en varias secuencias accidentales, las cuales tienen una importancia relativa en la reducción del riesgo. Las Matrices de Riesgo demostraron ser una herramienta sencilla y de fácil aplicación para realizar evaluaciones de seguridad radiológicas en la práctica de perfilaje de pozos.

5. REFERENCIAS

- [1] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Guía para autorización e inspección: Perfilaje de Pozos. Proyecto RLA/9/068-ATS 1. Viena: OIEA, 2011.
- [2] International Commission on Radiological Protection (ICRP). 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Publication 60. ICRP, 1991.
- [3] CARREGADO MA, TRUJILLO L. Accidentes e incidentes en el área nuclear ocurridos en América Latina y el Caribe: recopilación bibliográfica. Buenos Aires: CNEA, 2001.
- [4] DI GIORGIO M. Respuesta Multidisciplinaria desarrollada en Argentina ante un accidente radiológico. VIII Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. I Congreso Latinoamericano del IRPA. V Congreso Nacional de Protección Radiológica DSSA. 11 al 15 de octubre 2010. Medellín, Colombia.
- [5] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Reglamento sobre Notificación y Autorización de prácticas y actividades asociadas al Empleo de Fuentes de Radiaciones Ionizantes. Resolución No.334/2011.
- [6] Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Evaluación de la seguridad de las instalaciones y actividades. Normas de seguridad del OIEA. Requisitos de seguridad generales. Parte 4. GSR Part 4. Viena: OIEA, 2010.
- [7] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente - Ministerio Salud Pública (CITMA-MINSAP). Normas básicas de seguridad radiológica. Resolución Conjunta CITMA-MINSAP.
- [8] Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). Guía de evaluación de seguridad de prácticas y actividades asociadas al empleo de fuentes de radiaciones ionizantes. Resolución No. 17/2012-CITMA. La Habana: CITMA, 2012.

- [9] ALLES LEAL A. Evaluación de la seguridad radiológica de la práctica de perfilaje de pozos petroleros utilizando Matrices de Riesgo [tesis de grado en opción al título de ingeniero en Tecnologías Nucleares y Energéticas]. La Habana: INSTEC, julio de 2013.
- [10] DUMÉNIGO C, VILARAGUT JJ, MORALES JL, et. al. Estudios de casos con la utilización del enfoque de “matriz de riesgos” para prevenir accidentes en tratamientos de radioterapia. Nucleus. 2010; (48): 21-26.