CASP-II: DESCLASIFICACIÓN DE TUBERÍAS IMPACTADAS POR RA-226+ SEGÚN MARSAME

JESÚS RUIZ GONZÁLEZ
Ingeniero Senior
TECNATOM S.A.

TOMÁS RECIO MIRANDA
Responsable de Operaciones de Residuos y Desmantelamiento
TECNATOM S.A.

INTRODUCCIÓN

Durante los procesos de extracción de crudo en la industrial del Oil&Gas, los radionucleidos naturales pueden movilizarse del sustrato y concentrarse varias veces por encima de su actividad media natural, generando cantidades significativas de residuo NORM. La industria de extracción del petróleo genera así cantidades muy significativas de lodos y equipos con incrustaciones que no pueden ser gestionados por vías convencionales. En particular, miles de las tuberías de perforación quedan anualmente impactadas con Ra-226+ y Ra-228+ debido a la movilidad y solubilidad de estos isótopos naturales, que finalmente precipitan y se incrustan en el metal (Figura 1).

Existen iniciativas en varios países para la gestión de estos residuos y la revaloración de las tuberías impactadas. Este es el caso de la planta integral de tratamiento y disposición final de materiales NORM de Emiratos Árabes Unidos, que plantea dos vías de gestión para las tuberías impactadas que son sometidas a un proceso de limpieza previo (*descaling*): desclasificación incondicional, o bien segmentación y disposición final en contenedores cementados en el repositorio situado en la misma instalación.

Para ello se cuenta con un sistema industrializado de limpieza y desclasificación de tuberías que, según los requisitos de diseño, debe realizarse por medios no destructivos para posibilitar su reúso. Este proceso es complejo y está sujeto a diferentes condicionantes, ya sean regulatorios o técnicos.

Figura 1. Tuberías de extracción de crudo impactadas con Ra-226 y Ra-228.

En primer lugar, el requisito regulatorio establece que la actividad remanente debe ser menor de 1 Bq/g para cada isótopo de la serie natural para su desclasificación, de los 190 Bq/g en promedio con los que llegan a la planta. Sin embargo, la contaminación de las tuberías es superficial con lo que, para aplicar este criterio de manera conservadora, se considera que la actividad remanente está distribuida en una fina capa en el interior de la tubería. La determinación del espesor de la capa a considerar como impactada es crítico para el éxito de la metodología a desarrollar.

Así mismo, destaca la dificultad de detección por la preponderancia de emisiones alfa/beta en las series naturales. Dadas las relaciones de abundancia en la naturaleza y el periodo de semidesintegración del Ra-226 y Ra-228, es el Ra-226 el radionucleido determinante en el proceso de desclasificación. Ra-226 tiene tan solo un 3,6 % de probabilidad de emisión gamma a 186 keV, y en su cadena solo Pb-214 y Bi-214 son emisores gamma con probabilidades de emisión suficientemente elevadas, pero les precede el gas Radón (Rn-222) que puede escaparse e impedir un equilibrio secular. La consideración de esta problemática (difícil detección e incertidumbre en la relación padre-hijos) es clave en el diseño de la metodología de desclasificación.

Por último y no menos importante, el proceso debe ajustarse al requisito industrial de poder medir para desclasificación/disposición 3000 tuberías al año, lo que equivale a más de 2200 toneladas de acero al carbono.

Para este propósito, Tecnatom S.A. desarrolló y licenció una metodología ágil de desclasificación de grandes cantidades de tuberías usando el equipo Clearance Assessment System for Pipes (CASP), diseñado *ad hoc* por Nusim S.A. para este propósito.

ANTECEDENTES: CASP Y METODOLOGÍA ASOCIADA

El proceso de desclasificación actual cuenta con el equipo de caracterización CASP (Figura 2). Este equipo posee un detector de LaBr3 de 1”x1” que recorre internamente la tubería y permite la adquisición de cuentas por segundo (cps) en toda su longitud y el análisis gamma espectrométrico en los puntos de interés a seleccionar.

Para el diseño de la metodología se realizaron simulaciones de la fluencia gamma con código de simulación Kernel-Point (*Microshield*) y Monte Carlo (Penelope), y medidas de varias tuberías no impactadas como blancos. En base a los resultados obtenidos, eficiencia del detector e incertidumbres asociadas, se optó por un proceso de desclasificación en varias etapas:

1. La tubería es sometida inicialmente a un proceso de limpieza con agua a ultra alta presión y secado. Tras ello se realiza una inspección visual previa a la caracterización radiológica, en la que se observa, introduciendo una cámara de inspección, si persisten deposiciones visibles de material en su interior.
2. Se encapsula la tubería durante siete días para garantizar que se contiene el gas Rn-222, y por lo tanto se alcanza un nivel de equilibrio secular determinado (relación entre Pb-214 y Ra-226 mayor del 71 %, dependiendo del tiempo de encapsulado).
3. Se realiza un barrido de la tubería con el CASP, obteniendo lectura de cps en función de la posición (longitud).
4. Se realiza espectrometría gamma tomando valores de Pb-214 en los puntos de interés. Estos puntos son aquellos con cps máximas en diferentes tramos longitudinales de la tubería.

La metodología desarrollada permite la desclasificación rápida de tuberías por medida gamma directa en menos de 1,5 h por tubería de 9 metros, ajustándose a los requerimientos operativos de gestión de más de 3000 tuberías al año.

MARGEN DE MEJORA

La experiencia operativa e implementación de lecciones aprendidas se considera clave para la mejora continua y optimización del proceso. En este sentido, se han identificado áreas de mejora potencial en el diseño del equipo y en la propia metodología de desclasificación:

– Uso de detector con mayor eficiencia en medida dinámica.
– Reducción de incertidumbres del proceso.
– Optimización de la metodología para reducir el número de tuberías potencialmente desclasificables que resultan no desclasificadas, sin aumentar en exceso el tiempo de desclasificación.

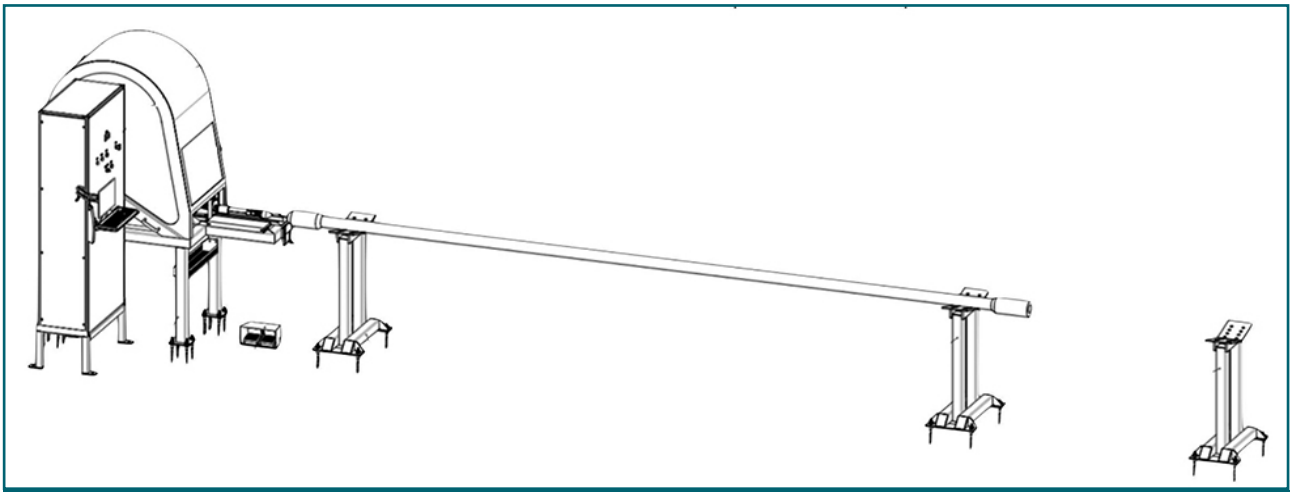

Figura 2. Equipo CASP diseñado por Nusim S.A.

Como resultado de lo anterior, se está trabajando en el desarrollo de un equipo de desclasificación mejorado, CASP-II, que permita la aplicación de la metodología MARSAME (*Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment*), manteniendo el concepto de desclasificación ágil de tuberías. Los aspectos más relevantes de la metodología y el equipo CASP-II se presentan a continuación.

METODOLOGÍA MARSAME

MARSAME, como suplemento del MARSSIM (*Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual*) proporciona información técnica sobre la planificación, implementación, evaluación y documentación del muestreo de materiales y equipos para evaluar y decidir sobre su posible uso o disposición. Cabe destacar que ambas metodologías son consideradas buenas prácticas a nivel internacional, siendo por ejemplo recomendada la implementación de esta metodología por el CSN en la Guía de Seguridad 4.3, "Metodología de comprobación del estado radiológico de un emplazamiento previa a su liberación. Niveles genéricos de liberación".

Ambas metodologías se basan en el proceso de objetivos de calidad de datos. En este sentido, MARSAME proporciona una mayor flexibilidad en el proceso, destacando las diferentes posibilidades en el diseño de los muestreos. Así, son cuatro las posibilidades que ofrece:

- Muestreo con medidas dinámicas, designado como muestreo mediante escaneo.
- Muestreo con medidas estáticas, llamado muestreo *in situ*.
- Muestreo usando una combinación de medidas dinámicas y estáticas, denominado como muestreo tipo MARSSIM.
- Otros métodos específicos de muestreo, como por ejemplo una combinación de los anteriores, quedando por lo tanto MARSAME abierto a otras alternativas.

Por lo general, el muestro tipo MARSSIM se selecciona tras evaluar los muestreos de escaneo o *in situ* y no considerarlos válidos, tal como es este caso. Al menos de manera preliminar, se considera lo siguiente:

- Inviabilidad de diseñar un muestreo ágil basado solo en escaneo para los niveles de desclasificación requeridos, limitado por la capacidad de los equipos de detección.
- Las medidas estáticas cubriendo el 100 % de la longitud de tubería no permitirían una desclasificación ágil.
- Se descarta de manera conservadora un muestreo mediante medidas estáticas cubriendo menos del 100 % de la longitud de la tubería.

Por tanto, se diseña una metodología que combina muestreo mediante medidas estáticas y dinámicas, lo que va en línea con la metodología inicial, pero optimizada según metodología MARSAME.

En este tipo de muestreo el número de medidas estáticas se puede calcular a partir de la Tabla 5.3 del MARSSIM considerando el desplazamiento (Δ), variabilidad de la medida (σ) y los niveles de confianza para errores de decisión Tipo I (tuberías no desclasificables que resultan desclasificadas) y Tipo II (tuberías desclasificables que resultan no desclasificadas). En este sentido, es clave el desplazamiento relativo que se obtiene según la Ecuación 1, siendo DCGL (*Derived Concentration Guideline Level*, o nivel derivado de desclasificación) y LBGR (*Lower Bound of the Gray Region*, nivel

Table 5.3 Values of N/2 for Use with the Wilcoxon Rank Sum Test

	α=0.01					α=0.025					α=0.05					α=0.10					α=0.25				
	β					β					β					β					β				
Δ/σ	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25	0.01	0.025	0.05	0.10	0.25
0.1	5452	4627	3972	3278	2268	4627	3870	3273	2646	1748	3972	3273	2726	2157	1355	3278	2646	2157	1655	964	2268	1748	1355	964	459
0.2	1370	1163	998	824	570	1163	973	823	665	440	998	823	685	542	341	824	665	542	416	243	570	440	341	243	116
0.3	614	521	448	370	256	521	436	369	298	197	448	369	307	243	153	370	298	243	187	109	256	197	153	109	52
0.4	350	297	255	211	146	297	248	210	170	112	255	210	175	139	87	211	170	139	106	62	146	112	87	62	30
0.5	227	193	166	137	95	193	162	137	111	73	166	137	114	90	57	137	111	90	69	41	95	73	57	41	20
0.6	161	137	117	97	67	137	114	97	78	52	117	97	81	64	40	97	78	64	49	29	67	52	40	29	14
0.7	121	103	88	73	51	103	86	73	59	39	88	73	61	48	30	73	59	48	37	22	51	39	30	22	11
0.8	95	81	69	57	40	81	68	57	46	31	69	57	48	38	24	57	46	38	29	17	40	31	24	17	8
0.9	77	66	56	47	32	66	55	46	38	25	56	46	39	31	20	47	38	31	24	14	32	25	20	14	7
1.0	64	55	47	39	27	55	46	39	32	21	47	39	32	26	16	39	32	26	20	12	27	21	16	12	6
1.1	55	47	40	33	23	47	39	33	27	18	40	33	28	22	14	33	27	22	17	10	23	18	14	10	5
1.2	48	41	35	29	20	41	34	29	24	16	35	29	24	19	12	29	24	19	15	9	20	16	12	9	4
1.3	43	36	31	26	18	36	30	26	21	14	31	26	22	17	11	26	21	17	13	8	18	14	11	8	4
1.4	38	32	28	23	16	32	27	23	19	13	28	23	19	15	10	23	19	15	12	7	16	13	10	7	4
1.5	35	30	25	21	15	30	25	21	17	11	25	21	18	14	9	21	17	14	11	7	15	11	9	7	3
1.6	32	27	23	19	14	27	23	19	16	11	23	19	16	13	8	19	16	13	10	6	14	11	8	6	3
1.7	30	25	22	18	13	25	21	18	15	10	22	18	15	12	8	18	15	12	9	6	13	10	8	6	3
1.8	28	24	20	17	12	24	20	17	14	9	20	17	14	11	7	17	14	11	9	5	12	9	7	5	3
1.9	26	22	19	16	11	22	19	16	13	9	19	16	13	11	7	16	13	11	8	5	11	9	7	5	3
2.0	25	21	18	15	11	21	18	15	12	8	18	15	13	10	7	15	12	10	8	5	11	8	7	5	3
2.25	22	19	16	14	10	19	16	14	11	8	16	14	11	9	6	14	11	9	7	4	10	8	6	4	2
2.5	21	18	15	13	9	18	15	13	10	7	15	13	11	9	6	13	10	9	7	4	9	7	6	4	2
2.75	20	17	15	12	9	17	14	12	10	7	15	12	10	8	5	12	10	8	6	4	9	7	5	4	2
3.0	19	16	14	12	8	16	14	12	10	6	14	12	10	8	5	12	10	8	6	4	8	6	5	4	2
3.5	18	16	13	11	8	16	13	11	9	6	13	11	9	8	5	11	9	8	6	4	8	6	5	4	2
4.0	18	15	13	11	8	15	13	11	9	6	13	11	9	7	5	11	9	7	6	4	8	6	5	4	2

Tabla 1.

inferior de la región “gris” donde es más probable cometer errores de decisión).

$$\frac{\Delta}{\sigma} = \frac{DCGL - LBGR}{\sigma} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Para este diseño del muestreo:

- Los niveles de confianza elegidos para errores de decisión Tipo I y Tipo II son α = 0,05 y β = 0,25 respectivamente.
- Se asume inicialmente una variabilidad de la medida del 20 %, considerando la variabilidad del fondo, la variabilidad del muestreo y la incertidumbre de las medidas individuales. Este valor se considera suficientemente ajustado dadas las condiciones de la medida (tras lavado con agua a ultra alta presión, secado, verificación visual, encapsulamiento y distribución del radón en el interior de la tubería...). En cualquier caso, este valor será revisado periódicamente para mantener el número de medidas estáticas en su valor óptimo, además de poder realizar ajustes en el número de medidas durante el proceso de desclasificación en función de la variabilidad obtenida.
- Se emplea un LBGR igual a 0.5 veces el DCGL, tal como sugiere MARSSIM cuando no existe otra información disponible.
- Para que la metodología sea ágil, se considera como objetivo una relación entre desplazamiento y variabilidad (Δ/σ) superior a 1,8 para que las medidas estáticas sean como máximo 7, y lo más cercano a 3 como sea posible para que las medidas sean mínimas, teniendo en cuenta que MARSSIM considera relaciones óptimas aquellas que están entre 1 y 3. Para la relación Δ/σ de 1,8, esto supone que la variabilidad puede ser cercana al 30 %. La relación Δ/σ de 3 implica un mínimo de 5 medidas estáticas. La Tabla 1 ofrece mayor detalle.
- Para una variabilidad del 20 % la relación Δ/σ es aproximadamente del 2,5. Por lo tanto, inicialmente se estima que se realizarán 6 medidas estáticas por tubería. Si con la experiencia operativa se observa una variabilidad menor del 18,5 %, las medidas podrán reducirse a 5.
  Nótese que esto presupone inicialmente la realización de una medida más que lo que incluía la metodología inicial (6 medidas estáticas frente a 5), pero por otro lado reducirá la tasa de error Tipo II (tuberías que podrían ser desclasificadas, pero que por usar una metodología excesivamente conservadora se considerarían impactadas por encima del nivel de desclasificación).
- Se tiene como objetivo que los equipos alcancen una concentración mínima detectable de al menos el 50 % del nivel de desclasificación.

Para la selección del equipo para las medidas dinámicas y para la toma de decisiones en base a los valores obtenidos, el factor determinante es el factor de área. En este caso, se usa un factor de área igual a 3 tal como lo hace, por ejemplo, la Orden del DOE 5400.5, *Radiation Protection of the Public and the Environment*, para contaminación superficial incluyendo radioisótopos naturales.

En base a lo anterior, el proceso de medida y de toma de decisión es el siguiente:

1. Encapsular la tubería durante siete días para garantizar que se contiene el gas Rn-222, y por lo tanto se alcanza un nivel de equilibrio secular determinado (Ra-226 vs. Pb-214).
2. Realizar un barrido de la tubería con el CASP, obteniendo cps en función de la posición.
3. Realizar espectrometría gamma tomando valores de Pb-214 y Bi-214 en los puntos de muestreo estáticos. Estos puntos son definidos de manera espaciada a lo largo de la tubería. Se realizarán un mínimo de 6 medidas.
4. Evaluar la relación Δ/σ en base a la variabilidad de las medidas y en caso de ser necesario, realizar medidas estáticas adicionales para que se ajusten a la recomendación del MARSSIM.
5. Evaluar los valores obtenidos según lo establecido por MARSSIM. Esto es:

   a) Si la diferencia entre el mayor valor obtenido y el valor menor del fondo es inferior al nivel derivado de desclasificación, entonces la tubería puede desclasificarse.
   b) Si la diferencia entre el valor medio de los valores obtenidos y el valor medio del fondo es superior al nivel derivado de desclasificación, entonces la tubería no puede desclasificarse. Se evaluarán las acciones siguientes en base a los valores obtenidos en las medidas estáticas y dinámicas.
   c) Si la diferencia entre el valor medio de los valores obtenidos y el valor medio del fondo es inferior al nivel derivado de desclasificación, pero la diferencia entre algún valor obtenido y algún valor del fondo es superior a este, entonces se realizará la prueba de la Suma de Rangos de Wilcoxon (*WRS test*) y la comprobación de las medidas dinámicas frente a su respectivo nivel derivado de desclasificación.

En base a la metodología establecida, y tal como se había identificado como margen de mejora, se considera clave la selección óptima de equipo o equipos de detección y configuraciones de medida estáticas y dinámicas que satisfagan los niveles de detección requeridos, que reduzcan su variabilidad y que permitan lo anterior en tiempos razonables para la desclasificación ágil de tuberías.

EQUIPO MEJORADO CASP-II

El equipo en desarrollo CASP-II parte del concepto inicial del CASP pero implementa varios cambios que permiten la optimización de las configuraciones de medida según lo establecido en la metodología MARSAME:

- Contador proporcional dedicado para medidas dinámicas, que tal como permitía el CASP inicial, proporciona cps respecto a su posición en la tubería y control de velocidad para alcanzar el nivel de detección requerido según el factor de área elegido.
- Instalación de colimadores a los detectores, con campo de visión optimizado para reducir la incertidumbre y variabilidad en las medidas.
- Sistema de encapsulamiento durante el proceso de medida para mantener el equilibrio secular alcanzado. Esto permite un mayor control del proceso de medida y reduce la incertidumbre asociada.

Para una mayor automatización del proceso que reduzca las acciones requeridas para el operador del CASP, se integra el proceso de desclasificación según metodología MARSAME en el propio sistema de control y análisis del equipo. De esta manera, se incluye lo siguiente:

- En base a la longitud de la tubería introducida por el operador, el sistema realiza de manera automática el barrido

dinámico y las medidas estáticas en posiciones equidistantes.

- El *software* obtiene de manera automática los valores en las regiones de interés (ej. picos del Pb-214 y Bi-214). Analiza la relación Δ/σ y de ser necesario, realiza de manera automática medidas estáticas adicionales avisando al operador del número estimado de medidas para finalizar el proceso.
- En base al tiempo de encapsulamiento introducido por el operador, el sistema realiza el análisis de los valores estáticos y dinámicos, aplicando la prueba WRS en caso de ser necesario. El *software* proporciona un informe con los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

La metodología MARSAME aplicada a la desclasificación de tuberías de perforación de crudo impactadas con Ra-226+ y Ra-228+ permite la optimización del proceso. Para ello, se ha diseñado un muestreo tipo MARSSIM que requiere un número limitado de medidas estáticas para permitir que el proceso sea ágil, pero ofreciendo a su vez suficiente garantía del proceso de desclasificación.

En línea con el cambio de metodología, el equipo mejorado CASP-II, en desarrollo, optimiza niveles y tiempos de detección y variabilidad de las medidas. El equipo se acompaña con un sistema automatizado que permite la realización del proceso de desclasificación con la mínima interacción del operador del equipo.

Esta nueva metodología y sistema aplicado seguirán permitiendo la desclasificación rápida de tuberías por medida gamma directa en menos de 1,5 h por tubería de 9 metros, ajustándose a los requerimientos operativos de gestión de miles de tuberías al año y toneladas equivalentes de acero al carbono. Tuberías que son recuperadas, con el consiguiente beneficio económico y medioambiental.

REFERENCIAS

– NUREG-1575, Supplement 1. Multi-Agency Radiation Survey and Assessment of Materials and Equipment (MARSAME).
– NUREG-1575. Multi-Agency Radiation Survey and Site Investigation Manual (MARSSIM).
– DOE Order 5400.5. Radiation Protection of the Public and the Environment.