

VIGILANCIA DE LA CORROSIÓN EN ACEROS DE ESTRUCTURAS DEL CAJÓN DEL REACTOR EN LA INSTALACIÓN NUCLEAR DE VANDELLÓS I – FASE DE LATENCIA



JAVIER DURÁN LÓPEZ

Técnico Departamento Proyectos de Clausura
EMPRESA NACIONAL DE RESIDUOS
RADIATIVOS S.A. S.M.E. (ENRESA)

La central nuclear de Vandellós I, tras 17 años de funcionamiento y debido a un incendio convencional que afectó significativamente a parte de sus instalaciones, finalizó su actividad en octubre de 1989. El titular (HIFRENSA) decidió proceder al cierre definitivo ante el elevado coste que suponía el reinicio de la actividad tras el incendio.

Desde entonces, se han venido realizando diferentes actividades encaminadas a su desmantelamiento total. En una primera fase, HIFRENSA llevó a cabo principalmente la descarga del reactor, la evacuación del combustible gastado, el acondicionamiento de los residuos de operación y la extracción de los residuos almacenados en los silos de grafito. En una segunda fase, iniciada en el año 1998, se desmantelaron todas las instalaciones, edificios y estructuras exteriores al edificio donde se alojaba el reactor (denominado como cajón del reactor), y se confinó la vasija. Estas actividades, finalizadas en el año 2003, fueron llevadas a cabo por la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos S.A. S.M.E. (ENRESA), entidad de carácter público y sin ánimo de lucro, que tiene la responsabilidad de la gestión de todos los residuos radiactivos que se generan en cualquier punto del país, así como el desmantelamiento y clausura de las centrales nucleares que han cesado su explotación.

En enero de 2005, ENRESA obtuvo la autorización de la fase de latencia de la instalación, y se mantendrá así por un periodo de 25 años, tiempo durante el cual decaerá de forma natural la radiactividad de sus estructuras internas, haciendo posible su desmantelamiento total en condiciones óptimas de seguridad.

Durante todo este tiempo, siendo ENRESA la empresa titular de la instalación, se realizan actividades de vigilancia y mantenimiento periódicas, a fin de garantizar la seguridad

de las estructuras, sistemas y equipos que aún permanecen en el emplazamiento.

De igual manera, cada cinco años se realizan pruebas para asegurar la fiabilidad del confinamiento estático del cajón del reactor, que certifican el correcto estado de conservación de las estructuras internas del edificio. Las últimas pruebas quinquenales fueron realizadas durante el año 2020.

Todas las pruebas e inspecciones se realizan en el marco del Plan de Vigilancia y las Especificaciones Técnicas vigentes en la instalación, que son de obligado cumplimiento.

Entre otras, se realizan pruebas para determinar los grados de corrosión de diferentes estructuras metálicas asociadas al edificio del cajón del reactor, las cuales se han llevado a cabo tanto sobre las estructuras internas existentes en el interior del cajón, como sobre las armaduras del hormigón armado de la estructura principal y la estructura metálica del edificio que sirve como envolvente para la protección de la intemperie.

A continuación, se describen las actividades de vigilancia de la corrosión de estructuras metálicas realizadas durante las pruebas quinquenales del año 2020 y los resultados y conclusiones obtenidas.

VIGILANCIA DE LA CORROSIVIDAD DE LA ATMÓSFERA INTERNA DEL CAJÓN

Como se ha comentado anteriormente, en aplicación del Plan de Vigilancia y de las Especificaciones Técnicas en la fase de latencia de la instalación nuclear de Vandellós I, es necesario realizar una evaluación de los posibles riesgos de corrosión de los materiales del interior del cajón del reactor, incluyendo los materiales originales de la instalación y los elementos de control introducidos posteriormente.

Los estudios realizados sobre la conservación de las estructuras internas del cajón del reactor establecen que los efectos de la corrosión no comprometerán su comportamiento general, si bien puede dar lugar al desprendimiento de determinadas piezas, especialmente las de pequeño tamaño. Por tanto, es necesario realizar un programa de seguimiento periódico de estas estructuras para evitar esta situación.

En el año 2000 se elaboró un “Estudio I+D para la monitorización de la corrosividad de la atmósfera interna del cajón del reactor”. A partir de las conclusiones de este estudio y desde el año 2002, se monitoriza la temperatura y humedad relativa dentro del cajón del reactor y se evalúa la corrosividad atmosférica hacia diferentes tipos de aceros estructurales.

Las tareas que se incluyen son las siguientes:

- Toma semestral de los datos de resistencia eléctrica en los tres pozos de ensayo.
- Toma de datos de Temperatura (T) y Humedad Relativa (HR) en el interior del cajón, que puedan justificar diferencias de corrosividad atmosférica, entre los tres pozos del cajón por los que se mide la velocidad de corrosión.
- Ejecución del plan de medidas gravimétricas, por lo que habrá que retirar probetas que ya han cumplido su ciclo dentro del cajón e instalar otras probetas gravimétricas nuevas en sustitución de las retiradas.

Para la ejecución del plan de mediciones gravimétricas iniciado en el año 2002, se escogieron tres tipos de acero: ASTM A516 Gr.60, ASTM C1035 y F1252 como representativos de las estructuras existentes en el interior del cajón del

reactor, exponiendo un total de 162 probetas (54 de cada tipo de acero).

En concreto, en el año 2020 se retiraron varias probetas gravimétricas, algunas de las cuales han estado expuestas durante un total de 18 años, mientras que otras han estado expuestas durante 5 años. Todas estas probetas se ubican en un bastidor metálico diseñado para esta actividad (Fotografía 1).

El estudio se realiza por triplicado, exponiendo tres probetas de cada acero en cada uno de los tres pozos y tiempo de exposición, siguiendo la norma UNE-EN ISO 11844-2.

El proceso tras la extracción de las probetas es el siguiente: se limpian cuidadosamente para eliminar el polvo adherido y se pesan, para de esta manera obtener el aumento de masa debido a la formación de productos de corrosión. Posteriormente se realiza un decapado, lo que provoca una pérdida de masa que debe tenerse en cuenta para evaluar correctamente la pérdida de masa debida exclusivamente al proceso de corrosión.

Por tanto, se mide la diferencia de masa que se ha producido antes y después de la exposición, determinando la velocidad de corrosión que ha sufrido este acero durante este tiempo.

Análisis de resultados

El aspecto visual de las muestras en el momento de la extracción indicó la formación de pocos productos de corrosión. Obviamente, también se observó una mayor abundancia de productos de corrosión a medida que aumenta el tiempo de exposición a 18 años.

Del mismo modo, se mide para cada tipo de acero el incremento medio de masa debido a la formación de productos de corrosión en función del tiempo de exposición. A continuación, se muestra un ejemplo de estos gráficos en la Figura 1.

De la observación de estos gráficos se deduce que, debido a las bajas tasas de corrosión obtenidas tanto por medidas de resistencia eléctrica como por el método gravimétrico, la posible corrosión que sufren las estructuras internas del cajón del reactor es despreciable.



Fotografía 1. Bastidor donde se ubican las probetas de acero.

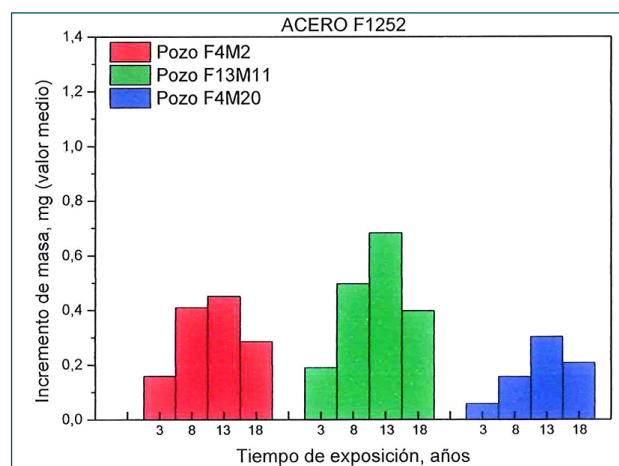


Figura 1. Datos de incremento de masa (valor medio), en mg, del acero F1252 en los distintos pozos desde el inicio del estudio (año 2002).

VIGILANCIA DE LA CORROSIÓN DE LAS ARMADURAS EN EL CAJÓN

De acuerdo con lo establecido en el Plan de Vigilancia de la Fase de Latencia de la instalación, se debe llevar a cabo, con frecuencia quinquenal, un seguimiento del comportamiento del hormigón y de las armaduras del cajón del reactor.

Para la ejecución de esta prueba, en primer lugar, se realizaron las actividades relativas al estudio de los informes anteriores, la preparación de los equipos de medida, inspección para identificación de la ubicación de las armaduras, comprobación de la superficie del hormigón y de las conexiones eléctricas existentes con la armadura embebida en el hormigón.

Para llevar a cabo este control, se miden dieciocho puntos en tres niveles diferentes, localizados en las seis caras del hexágono del cajón del reactor, realizando un mínimo de dos mediciones dentro de cada punto (Fotografía 2).

De esta forma se comprueba el potencial de corrosión, la intensidad de la corrosión y la resistividad del hormigón. A continuación, se describen de manera breve estos tres parámetros.



Fotografía 2. Toma de medidas in situ.

Potencial de corrosión

La medida del potencial de corrosión consiste en determinar la diferencia de potencial eléctrico entre el acero de la armadura y un electrodo de referencia que se pone en contacto con la superficie del hormigón.

Para ello, se utilizan diferentes tipos de electrodos de referencia, siendo los más comunes para medidas de campo los de cobre/sulfato de cobre.

Resistividad

La medida de la resistividad del hormigón ayuda a interpretar el valor de la velocidad de corrosión, ya que está íntimamente relacionada con el contenido de humedad del hormigón.

Se mide por el método de "interrupción de corriente" por el cual se registra la caída de tensión instantánea cuando se impone una señal eléctrica y luego se corta. De esta forma se obtiene el cálculo de la resistividad eléctrica a partir de parámetros geométricos conocidos.

Intensidad de corrosión

La intensidad de la corrosión es el único parámetro electroquímico que permite cuantificar la cinética del proceso de corrosión. La resistencia a la polarización es la técnica que más se ha utilizado para medir la velocidad de corrosión en las armaduras de hormigón armado.

Análisis de resultados

Una vez obtenidos los resultados de las medidas electroquímicas, se observó que todos los parámetros evaluados se encuentran dentro de los límites establecidos como corrosión despreciable o bajo riesgo, según los criterios de interpretación dados en el procedimiento para la ejecución de la prueba.

Asimismo, no se detectan signos de corrosión en ninguna de las zonas evaluadas, lo que indica que la estructura aún se encuentra en lo que se denomina el período de iniciación (previo a la despasivación del refuerzo), sin haber alcanzado en este momento la etapa de propagación (Tabla 1).

	MEDIDAS PUNTUALES		PROMEDIO MAPEOS	
	Icorr(μA/cm²)	Ecorr(mV)	Ecorr (mV)	Resistividad (KΩ.cm)
A1	0,001	13,6	76,0	338,9
A2	0,035	47,8	112,3	174,6
A3	0,017	62,4	94,2	317,9
A4	0,001	89,8	99,7	312,8
A5	0,003	116,2	103,4	213,9
A6	0,009	29,7	-7,6	189,6
B1	0,018	130,1	133,0	226,7
B2	0,015	141,4	156,3	275,7
B3	0,048	128,3	137,6	236,5
B4	0,037	116,1	120,1	269,1
B5	0,034	100,7	110,7	206,5
B6	0,025	-53,4	120,5	391,1
C1	0,067	45,5	131,9	209,4
C2	0,002	121,2	114,3	293,7
C3	0,002	169,5	151,9	260,3
C4	0,015	76,9	5,9	280,4
C5	0,016	92,5	103,5	181,8
C6	0,012	79,1	34,2	308,8

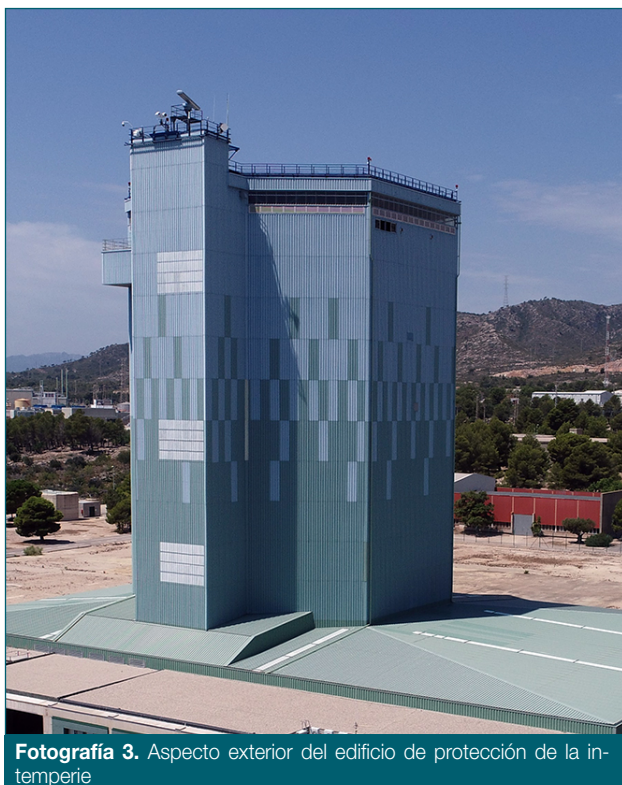
Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en la evaluación de campo por técnicas electroquímicas.

INSPECCIÓN DEL EDIFICIO DE PROTECCIÓN DE LA INTEMPERIE

Con el fin de proteger de las inclemencias meteorológicas a la estructura de hormigón armado propia del cajón del reactor, durante la segunda fase de desmantelamiento acometida por ENRESA, se construyó el denominado como Edificio de Protección de la Intemperie. Se trata de una construcción envolvente del edificio principal a base de estructura metálica y paneles de cerramiento igualmente metálicos (Fotografía 3).

Los estudios realizados sobre esta construcción de protección demuestran que con dicha estructura el cajón queda adecuadamente protegido de las condiciones climáticas adversas que pudieran acelerar los procesos de corrosión de los materiales.

En el año 2016, se incluyó en el Plan de Vigilancia de la instalación la realización de una inspección visual de dicho edificio, con frecuencia quinquenal. Por tanto, en el año 2020, se realizó por primera vez, y dentro de las pruebas quinquenales de la instalación de Vandellós I, la ejecución de un



Fotografía 3. Aspecto exterior del edificio de protección de la intemperie

procedimiento de inspección de dicha estructura, a fin de evaluar el estado físico del edificio e indicar las propuestas de actuación en caso necesario, en función de la evolución de los daños constatados en la inspección.

Durante el desarrollo de la inspección, se analizó el estado de la estructura portante del edificio (perfilería metálica, refuerzos estructurales, placas y pernos de anclaje, etc.), así como el cerramiento lateral tanto en paramentos laterales como en cubiertas (paneles de cerramiento y tornillos de fijación) y las bajantes de pluviales existentes.

Para realizar la inspección se siguieron los criterios establecidos en las normas UNE-EN ISO 4628 "Evaluación de la degradación de los recubrimientos" y UNE EN ISO 12944 "Protección del acero estructural".

A continuación, se exponen los criterios de evaluación seguidos para cada una de las inspecciones realizadas, tanto para las estructuras metálicas como para los paneles de cerramiento.

Criterios de evaluación de estructuras metálicas

El número de puntos de evaluación adoptado corresponde al criterio aproximado de un punto de evaluación por cada 100 m² de estructura total, aproximadamente equivalente al criterio de puntos de evaluación separados cada 9,00 - 10,00 m, ya sea en paredes verticales u horizontales.

Los puntos de evaluación se elegirán de forma que representen lo más fielmente posible el estado del área, y estarán identificados unívocamente mediante codificación alfanumérica, de manera que nunca se pierda la trazabilidad de la evaluación realizada.

Criterios de evaluación de paneles de cerramiento

En cada panel (4x1 metros) se realizaron las siguientes evaluaciones:

- 2 evaluaciones del grado de oxidación en zonas alejadas de pliegues.
- 2 evaluaciones del grado de ampollamiento en las zonas alejadas de pliegues.
- 2 evaluaciones del grado de corrosión por incisión en la zona de pliegues de los paneles.

Además, se tomó una muestra representativa de los tornillos de fijación a fin de analizar la pérdida de masa producida en ellos como consecuencia de la acción de la corrosión (Fotografía 4).



Fotografía 4. Tornillo de fijación.

Análisis de resultados

Tras el análisis de los resultados obtenidos en el conjunto de las inspecciones visuales y de toma de muestras realizadas, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- En relación con la estructura metálica portante, únicamente se ha detectado cierto grado de oxidación en la zona de cota +16,00, especialmente en los perfiles situados en posición horizontal, la cual es debida a la acumulación de polvo y otros agentes ambientales agresivos. Como parte del programa correctivo, se recomienda una limpieza general de la estructura para eliminar el polvo y la suciedad.
- En relación con los paneles de cerramiento, únicamente se han detectado dos paneles con pérdida local de la pintura de recubrimiento, pero sin afectar a la protección galvánica, por lo que no se considera realizar ninguna actuación correctiva.
- Con respecto a los tornillos de fijación, se concluye que la pérdida de masa producida por la acción de la corrosión es irrelevante por lo que no supondrá un problema durante la fase de latencia. No obstante, se ha observado la ausencia de algunos de tornillos y, aunque no se considera que ello afecte a la integridad de los paneles, se recomienda la restitución de estos como parte de una actuación correctiva.

De la inspección realizada a las bajantes de pluviales, solamente se han observado deterioros puntuales poco significativos, los cuales deberán ser reparados como parte del mantenimiento ordinario de la instalación.

CONCLUSIONES FINALES

Todos los resultados obtenidos en las pruebas quinquenales en relación con la vigilancia de la corrosión de las estructuras metálicas, tanto del interior como de las armaduras del cajón del reactor de Vandellós I, han demostrado su integridad y buen estado, y se encuentran dentro de los valores admisibles para cada uno de los parámetros medidos y analizados.

En relación con la estructura metálica del edificio de protección de la intemperie, si bien ha sufrido en algunos puntos la acción de la corrosión, ésta no afectará su integridad es-

tructural. Solo serán necesarias pequeñas actuaciones de mantenimiento.

Las próximas pruebas se llevarán a cabo en el año 2025. Mientras tanto, ENRESA seguirá aplicando los requisitos de vigilancia periódica establecidos, así como supervisando las condiciones generales de cada uno de los edificios e instalaciones que aún permanecen en el emplazamiento. Todo ello, con el objetivo final de garantizar la seguridad hacia las personas.

REFERENCIAS

- [1]. Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A. S.M.E., revista ESTRATOS, número 124, abril 2021.
- [2]. <https://www.enresa.es/esp/inicio/actividades-y-proyectos/desmantelamiento-y-restauracion-medioambiental/desmantelamiento-de-la-cn-vandellos-i> ■