

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPOS Y SISTEMAS QUE PERMITEN OPTIMIZAR LA RADIOPROTECCIÓN DURANTE LA LIMPIEZA Y TRASLADO DE EECC, DESDE EL DEPÓSITO CENTRAL DE MATERIAL FISIONABLE ESPECIAL IRRADIADO (DCMFEI) HASTA LA FACILIDAD DE ALMACENAMIENTO DE COMBUSTIBLES IRRADIADOS EN REACTORES DE INVESTIGACIÓN (FACIRI).

Ciávaro, M.¹, Iglesias, D.¹, Huergo, E.¹, López, M.¹, Rosales, N.¹, Goyaud, R.¹, Morales, P. A.¹

¹ **Comisión Nacional de Energía Atómica.**

RESUMEN

En vista de efectuar próximamente el traslado de Elementos Combustibles (EECC) desde el DCMFEI hasta la FACIRI y con el objeto de establecer mejores condiciones de almacenamiento de los mismos, se efectuaron una serie de adaptaciones en la instalación DCMFEI, el cual constituye el sitio de almacenamiento actual.

Tales adaptaciones consistieron en el diseño, construcción e instalación de un sistema que permite la limpieza de los EECC próximos a trasladar y eventualmente admite la posibilidad de determinar si alguno de ellos presenta algún tipo de anomalía. Todo ello con el objeto de mantener las mejores condiciones y calidad del agua durante el almacenamiento en la FACIRI.

Con el objeto de que las dosis que pudieran recibir los trabajadores durante el desarrollo de la práctica fueran tan bajas como razonablemente posibles de lograr, se diseñaron e instalaron sistemas que permitirían la manipulación remota de los EECC. Adicionalmente se contemplaron las situaciones anómalas que pudieran manifestarse y las acciones necesarias para mitigar sus consecuencias, como así también la implementación de sistemas redundantes de seguridad.

La planificación de la práctica, conjuntamente con los equipos diseñados y construidos en las propias instalaciones del Área de Gestión Ezeiza (AGE) y las pruebas de los mismos, permitieron cumplimentar la documentación requerida para solicitar la autorización de práctica no rutinaria.

1. INTRODUCCIÓN

El AGE es un predio de aproximadamente 8 hectáreas dentro del cual se encuentran varias instalaciones destinadas al tratamiento y almacenamiento de residuos radiactivos, además del almacenamiento de fuentes en desuso y combustibles irradiados. Una de las instalaciones es el DCMFEI que consiste en un edificio cubierto abarcando una superficie de 10 m de ancho por 30 m de longitud; posee además 4m de altura. En su interior se encuentra un puente grúa y dos baterías; la primera de estas baterías contiene 6 filas con 16 tubos cada una mientras que la segunda posee 6 filas con 17 tubos; de esta manera totalizan 198 tubos los cuales albergan 185 EECC provenientes del Reactor Argentino RA-3.

¹ E-mail del Autor. ciavaro@cae.cnea.gov.ar

Si bien todos ellos presentan un enriquecimiento nominal del 20% los mismos tienen distintos períodos de almacenamiento, desde algunos meses hasta varios años. Adicionalmente algunos de estos EECC presentaban supuestamente ciertas anomalías las cuales fueron identificadas con un cierto grado de incertidumbre durante la operación del reactor.

Debido a que todos los tubos presentes en el DCMFEI se encontraban conectados entre sí, inclusive entre las distintas líneas, se verificó una desviación en las condiciones normales de almacenamiento, dado que la concentración de actividad del radionucleído de referencia estaba aumentando gradualmente con el transcurso del tiempo. Este hecho fue el que finalmente determinó el aislamiento de la línea conteniendo los EECC en cuestión.

Como resultado se observó que el agua de refrigeración de los combustibles presente en los tubos de almacenamiento contenían altos niveles de concentración de actividad, al menos de ^{137}Cs y ^{60}Co tal como se especifica en la Tabla 1, dejando un saldo de 185 EECC contaminados superficialmente.

Tabla 1. Concentración de actividad presente en el agua de refrigeración de los EECC.

Número de pozo	Concentración de actividad [Bq/dm ³]	
	^{60}Co	^{137}Cs
65	8,0 ± 0,2	7650 ± 130
72	2,0 ± 0,2	3100 ± 54
77	9,0 ± 0,3	9130 ± 160

Con el fin de mejorar las condiciones de almacenamiento, los 185 EECC serán trasladados a la instalación FACIRI. Previamente se requiere efectuar una limpieza de cada uno de ellos de manera que los niveles de contaminación superficial arrastrable sean mínimos, previendo no incrementar innecesariamente la actividad del agua presente en la pileta de la FACIRI.

Para cumplir con el objetivo propuesto se diseñó previamente la práctica, luego los sistemas y equipos y finalmente las herramientas para permitir la manipulación de cada combustible. Tales tareas asociadas a la construcción del sistema de limpieza de EECC comenzaron en junio de 2012.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

Durante el diseño de la práctica se evaluó la posibilidad de desarrollar dos sistemas que permitan la descontaminación de los EECC tal como se muestra en la Figura 1, admitiendo además seleccionar el modo de funcionamiento de manera independiente o conexos entre sí.

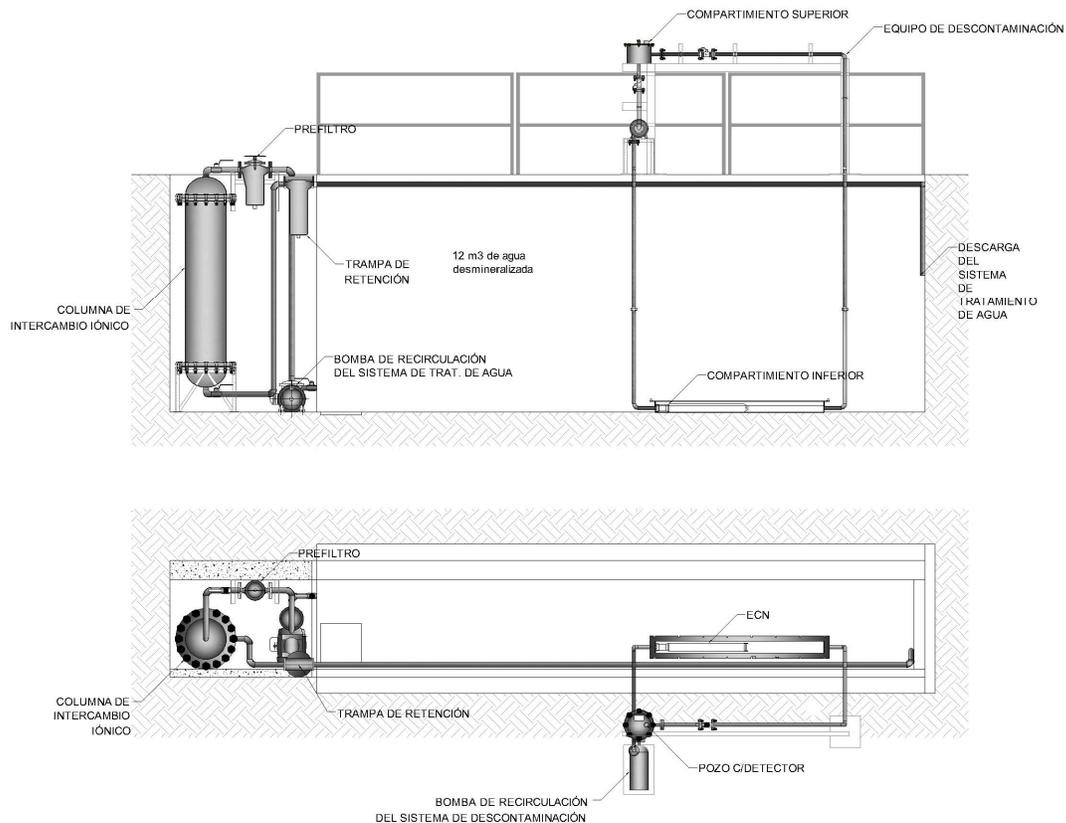


Figura 1. Vistas superior y lateral de los sistemas de tratamiento del agua de la piletta y del sistema de descontaminación de EECC.

El primero de los sistemas, construido íntegramente en acero inoxidable y constituido por dos partes, contiene en su parte inferior un receptáculo con capacidad suficiente para alojar un Elemento Combustible de Control (ECC) ó un Elemento Combustible Normal (ECN) cuyas dimensiones son: 114 mm de altura, 1661 mm de longitud y 114 mm de ancho; el mismo presenta una tapa de acero inoxidable de ½” de espesor con el fin de contribuir a disminuir el campo de radiación. En sus extremos se encuentran conectadas las tuberías por donde circula agua desmineralizada impulsada por una bomba centrífuga con cuerpo de acero inoxidable y potencia suficiente para generar un caudal de 6 m³/h. En su parte superior, un recipiente provisto de válvulas y conectado además a las tuberías mencionadas, permite efectuar dos tipos de mediciones: una de ellas admite mediciones independientes mediante la colección de una pequeña muestra y su posterior análisis por espectrometría gamma de alta resolución, la otra alternativa es efectuar mediciones in situ con un detector de NaI(Tl) de 2” x 2”, dado que este recipiente se encuentra provisto de un tubo estanco sumergido en el seno del líquido por medio del cual se inserta dicho detector.

El segundo sistema está compuesto por una bomba autocebante que admite un caudal de 7 m³/h, considerando las pérdidas de carga. La entrada de la misma se encuentra conectada a

una pileta de acero inoxidable cuyas dimensiones son: 1 m de ancho, 6 m de longitud y 2,3 m de profundidad, conteniendo además 12 m³ de agua desmineralizada. La salida de la bomba se encuentra conectada a un prefiltro de 5 µm y posteriormente a una columna de intercambio iónico de 40 cm de diámetro y 2,27 m de altura, la cual contiene 100 dm³ de resina Amberlite 252H. El extremo inferior de la columna constituye la descarga, permitiendo retornar nuevamente el agua a la pileta previo pasaje por una trampa de retención con un filtro de 300 µm. Cabe aclarar que todo el sistema de tratamiento de agua fue emplazado en uno de los laterales de la pileta y por debajo del nivel del suelo, asegurando que durante la retención y acumulación de los radionucleídos en la resina, el aporte de dosis debido al campo de radiación emergente de la misma sea el menor posible.

Con el fin de transferir los EECC desde su respectivo pozo de almacenamiento hasta la pileta, fue necesario el empleo de:

- Pinzas empleadas durante el proyecto de restitución hacia los EEUU previamente modificadas.
- Un puente grúa que posibilita el izaje del Elemento Combustible (EC) y su posterior transferencia desde el pozo de almacenamiento hasta la pileta.
- Un sistema que permite su actuación a distancia y consiguientemente el desprendimiento del EC.
- Un equipo remoto que permite la manipulación del EC y conducirlo a una posición segura, en caso de manifestarse alguna falla en los mecanismos del puente grúa durante la transferencia del combustible desde su pozo de almacenamiento hacia la pileta.
- Herramientas y dispositivos que permiten manipular el EC bajo agua y operar el equipo de descontaminación.
- Seis cámaras, dos de las cuales son móviles y provistas de zoom, todas ellas comandadas desde la consola de mando ubicada en otra instalación denominada Galpón de Automotores (GA).
- Dos blindajes que permiten operar la consola de mando y reducir tanto como sea posible la tasa de dosis en posición del operador. El primero de ellos constituido por hormigón baritado cuyas dimensiones son: 2,4 m de largo, 2 m de alto y 20 cm de espesor, mientras que el segundo fue construido por 5 cm de espesor de plomo y manteniendo prácticamente las mismas dimensiones que el anterior.
- Señal luminosa y sonora para advertir que un EC se encuentra en una posición tal que el riesgo de irradiación es alto.

3. METODOLOGÍA APLICADA

En marzo de 2012 se comenzó con el diseño de la práctica y de forma paralela se calcularon y evaluaron las dosis que recibirían los trabajadores durante el desarrollo de la misma en

condiciones normales de operación. La práctica planificada básicamente consistía en las siguientes operaciones:

- a) Apertura del pozo de almacenamiento.
- b) Acople del ECC ó el ECN con la herramienta correspondiente y esta última a la pasteca del puente grúa.
- c) Elevación del EC mediante el empleo del puente grúa, operado desde la consola de mando y visualizado mediante videocámaras.
- d) Inspección visual del EC y transferencia a la pileta, la cual provee del blindaje suficiente para la manipulación del EC e inserción en el equipo de descontaminación dado que la parte inferior conteniendo el receptáculo para alojar el EC se encuentra bajo 2 m de agua.
- e) Accionamiento del equipo de descontaminación y mediciones periódicas durante intervalos de 400 segundos cada medición, de modo de evaluar la variación de la concentración de actividad a través del tiempo.
- f) Apertura del equipo de descontaminación, acople del ECN ó ECC a la herramienta correspondiente y esta última a la pasteca del puente grúa.
- g) Mezclado del agua contaminada, producto de la descontaminación del EC, con el resto del agua de la pileta y recirculación de la misma a través de la resina de intercambio iónico.
- h) Elevación del EC mediante el empleo del puente grúa, operado desde la consola de mando y visualizado mediante cámaras.
- i) Transferencia del EC desde la pileta hasta el pozo número 48. Este pozo fue previamente encamisado y completado hasta su superficie con agua desmineralizada libre de contaminación.
- j) Desacople del EC y nuevo acople con la pasteca perteneciente al blindaje a emplear durante el traslado.
- k) Posicionamiento del blindaje sobre el pozo número 48 e izaje del EC de manera remota desde la consola de mando y visualizado por videocámaras.
- l) Traslado del EC en el interior del blindaje desde el DCMFEI hasta la instalación FACIRI.

Referente al proceso de transferencia del EC desde el pozo de almacenamiento hasta la pileta o desde esta última hasta el pozo número 48, cabían dos posibilidades de efectuar dicho proceso. El primero de ellos consistía en realizarlo desde el mismo depósito empleando un blindaje de plomo de 10 cm de espesor provisto además de vidrios plomados para permitir la visión y al mismo tiempo direccionar los movimientos del puente grúa y de esta manera el operador permanecería expuesto a un campo de radiación máximo de 150 $\mu\text{Sv/h}$. La segunda opción consistía en operar el puente grúa de manera remota desde otra instalación e interponiendo además un blindaje biológico. Bajo estas condiciones, todas las operaciones de transferencia serían monitoreadas mediante videocámaras.

Debido al intenso campo de radiación estimado, que podría alcanzar 1 Gy/h a 1m de distancia, se determinó realizar las operaciones de transferencia de manera remota desde el GA, el cual se encuentra a 8,5 m del DCMFEI, e interponiendo además dos blindajes. El primero de ellos, constituido por hormigón baritado de 20 cm de espesor, mientras que el segundo constituido por 5 cm de plomo. Todo este arreglo permitiría la operación de transferencia del EC sin exceder 15 μ Sv/h en posición del operador.

Todos los movimientos que requerirían exponer el EC para efectuar la transferencia desde el tubo de almacenamiento hasta la pileta deberían realizarse desde el GA. Para ello, se instalaron 4 videocámaras fijas que permitirían efectuar el desplazamiento del combustible mediante la actuación del puente grúa y aproximarlos hasta los puntos de interés. Adicionalmente se instalaron de modo redundante dos videocámaras móviles, las cuales permitirían efectuar los ajustes de posicionamiento del EC en el interior de la pileta o en el pozo de transferencia en caso de requerir una mayor apreciación. Estas dos videocámaras permitirían además comandar el puente grúa y continuar con la operación en caso de avería de las cámaras fijas.

Cabe aclarar que se aplicó el concepto de defensa en profundidad durante todas las etapas desarrolladas tales como: diseño, construcción, montaje, funcionamiento y organización, asegurando que las mismas estén sujetas a control y verificaciones, de manera que si ocurriera alguna falla pueda ser detectada, compensada o corregida por aplicación de medidas correctivas. Los niveles sucesivos de defensa en profundidad utilizados fueron los siguientes: 1) Prevención de fallas y de desviaciones de la operación normal. 2) Detección e intercepción de tales fallas y desviaciones de modo de prevenir situaciones incidentales. 3) Control y mitigación de las consecuencias en el caso improbable de que ocurra una situación accidental mediante el empleo redundante de sistemas de seguridad.

El puente grúa, uno de los sistemas indispensables para la operación y el que presenta un riesgo durante la transferencia de los EECC, es sometido periódicamente a una rutina de mantenimiento. A pesar de ello, se diseñó y construyó en las instalaciones del AGE un sistema que permite captar el EC, efectuar el desprendimiento del mismo respecto de la pasteca del puente grúa y trasladarlo hacia la pileta con el fin de llevarlo a una posición segura sin riesgo de irradiación. Este sistema redundante, también conducido desde la consola de mando, permitiría actuar en situaciones donde no sea posible llevar el EC a una posición segura debido a la ocurrencia de algún desperfecto en el funcionamiento del puente grúa.

Tal como se mencionó con anterioridad, durante la descontaminación de los EECC se encontrarán vinculados dos sistemas. El primero de ellos permite en su parte inferior alojar un ECN ó un ECC y mediante un flujo de agua de tipo laminar y a una velocidad entre placas de 0,5 m/s provocará el arrastre de la contaminación superficial presente en las caras internas del EC. Este compartimiento inferior, ubicado en el fondo de la pileta provee de un blindaje biológico de 2m de agua y ½” de acero inoxidable el cual conforma la tapa del receptáculo, previendo de esta manera no superar 1 o 2 μ Sv/h en posición del operador. Mediante el accionamiento de la bomba, se proporciona un flujo de agua a través de las Placas Combustibles (PC) desde la boquilla hacia el extremo opuesto, el flujo de agua es dirigido hacia el compartimiento superior previsto para efectuar mediciones periódicas in situ durante 400 segundos. Para ello, en este último compartimiento se insertó un tubo estanco en el seno del líquido permitiendo introducir un detector de NaI(Tl) de 2” x 2” y logrando al mismo tiempo la máxima eficiencia geométrica.

Estas mediciones permitirían evaluar el incremento de actividad con el transcurso del tiempo y primeramente aportarían información suficiente para determinar el momento de finalización del proceso de descontaminación. Mediante la apertura del primer sistema, finalizado el proceso de descontaminación del EC, el agua contaminada es incorporada inmediatamente al resto del agua de la pileta. Este segundo sistema permite mediante una bomba, la circulación del agua a través de un prefiltro de 5 μm con capacidad para retener pequeñas partículas en suspensión y evitar así la colmatación de la columna. Esta columna de intercambio iónico con capacidad para retener aquellos productos de activación y fisión presentes en el agua, contiene en su interior un lecho de resina de 80 cm de altura de manera que el agua atraviesa dicho lecho a una velocidad de 0,013 m/s. Este volumen de resina se encuentra soportado por dos mallas ubicadas en su parte inferior; la primera de ellas de 310 μm permite contener la resina mientras que la segunda de 2,4 mm actúa de soporte confiriéndole resistencia mecánica a la primera. Finalmente una trampa de retención de 500 μm evita la liberación de la resina a la pileta en el improbable caso de que la resina escapara de la columna a causa de la ruptura de la malla de contención. Este último sistema permitiría mantener la concentración de actividad suficientemente baja de modo de permitir efectuar las mediciones sucesivas de los siguientes EECC, manteniendo un bajo fondo durante la medición.

En Enero de 2014, si bien la práctica estaba planificada casi en su totalidad, restaba únicamente verificar la compatibilidad de los campos de radiación en contacto con el blindaje y en posición del operador, cuando un EC permaneciera en el interior del blindaje listo para su traslado hacia la FACIRI. Para ello, se seccionó el blindaje de traslado en tantas posiciones como fuesen necesarias de modo de obtener una grilla constituida por celdas de 10 cm x 10 cm. De esta manera quedaron definidos 528 puntos de medición, los cuales fueron empleados para efectuar la radiometría correspondiente.

4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Durante el primer semestre del 2014, se había concluido con el diseño de la práctica y construcción de todos los sistemas y equipos necesarios para su desarrollo. Adicionalmente, a medida que se concluyó la construcción de cada sistema, los mismos fueron ensayados para verificar su funcionamiento, adquirir práctica por parte del personal y al mismo tiempo realizar la capacitación de todos los trabajadores que participarían en la práctica. Esto permitió que tanto los operadores como los técnicos de mantenimiento conozcan los sistemas con un elevado grado de detalle debido a la activa participación durante el diseño, construcción y puesta a punto de los mismos.

Cabe aclarar que todos los sistemas y equipos ensayados se comportaron en óptimas condiciones de funcionamiento y cumplieron con las condiciones de seguridad adoptadas durante la etapa de diseño. Finalmente, el hecho de realizar las pruebas preliminares correspondientes a la práctica incorporando todos los sistemas, permitió cumplimentar la documentación necesaria para efectuar la solicitud de práctica no rutinaria.

Referente a las estimaciones de dosis informadas a la ARN, se espera que el trabajador más expuesto, uno de los operadores, no supere 6,2 mSv al finalizar la práctica. La radiometría efectuada en el blindaje para el traslado de EECC permitió verificar la ausencia de anomalías y además determinar las tasas de dosis en posición de los operadores. Una síntesis de las lecturas relevadas se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2. Promedio de tasa de dosis equivalente ambiental medido a lo largo del blindaje y en contacto con el mismo.

Altura del blindaje [cm]	Promedio $\dot{H}^*(10)$ [$\mu\text{Sv/h}$]
235	5,4 \pm 0,4
225	6,4 \pm 0,4
215	6,2 \pm 0,3
205	4,9 \pm 0,3
195	3,8 \pm 0,2
185	2,9 \pm 0,2
175	2,8 \pm 0,1
165	3,2 \pm 0,2
155	4 \pm 0,3
145	6,6 \pm 0,6
135	15,2 \pm 1
125	45,7 \pm 3,4
115	22,5 \pm 1,6
105	36,3 \pm 3,9
95	84,9 \pm 2,6
85	100,3 \pm 2,1
75	94,7 \pm 5,2
65	92,1 \pm 2,3
55	72,8 \pm 1,5
45	35,8 \pm 2,5
35	12,9 \pm 1
25	3,1 \pm 0,2
15	3 \pm 0,8
5	2,4 \pm 0,3

El diseño y construcción del sistema de tratamiento de agua de la pileta permitiría mantener mínimos niveles de concentración de actividad de ^{137}Cs y ^{60}Co . De esta manera, en primer lugar es factible efectuar las mediciones durante la descontaminación de los EECC con un bajo fondo de radiación. Secundariamente, una vez finalizada la descontaminación y transferencia de los 185 EECC, dicho sistema permitiría liberar al medio los 12 m³ de agua empleada, previo análisis además de los radionucleídos beta y alfa emisores y solicitud de autorización a la ARN.

Referente a las dosis efectivas que recibirían los trabajadores y considerando que la práctica se desarrollará en un lapso mínimo de un año, se espera que las dosis anuales sean

significativamente menores a las estimadas teóricamente. Esto es debido, entre otros factores, a que durante dichas estimaciones se sobreestimaron los tiempos demandados para efectuar las distintas operaciones, adicionalmente cuando la incertidumbre para establecer una tasa de dosis era alta se adoptaron valores conservativos durante el cálculo teórico.

5. REFERENCIAS

[1] Zeituni, C. A. 2001. Failed MTR fuel element detect in a Sipping tests. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Sao Paulo, Brazil.

[2] Knoll, G. F., 1989. Radiation Detection and Measurement, John Wiley & Sons Inc., New York.

[3] Smith M. L. 2009. Sipping test: Checking for failure of fuel elements at the Opal Reactor. Australian Nuclear Science and Technology Organisation. Australia.