



Ramón SANSÁ GRACIA es Ingeniero Técnico Industrial por la Universidad de Barcelona (1973). En la actualidad es Jefe de Control Técnico de la Asociación Nuclear de Ascó.



Manuel MARTÍN RODRIGUEZ es Ingeniero Técnico Industrial por la Escuela de EITI de Madrid. Trabaja en TECNATOM como instructor de operador de centrales nucleares en el periodo de 1977 a 1988. Colabora en el arranque de la CN Lemóniz, CN Ascó I y II, así como también de CN Vandellós II. Desde 1988 es responsable de Ingeniería del Núcleo en la CN Vandellós II.



Esteban RUIZ CASTAÑOS es ingeniero superior del ICAI. Su experiencia profesional se ha centrado en el diseño, fabricación y uso de elementos relacionados con la recarga de combustible. Ingresó en Westinghouse Nuclear Española en 1976, siendo destinado en 1980 a la puesta en marcha de CN Lemóniz. En 1986 fue transferido a ENWESA, empresa en la que ha tenido responsabilidad directa en los trabajos de inspección y reparación de combustible de CN Ascó y Vandellós II y donde es Subdirector de Servicios del NSSS.

EXPERIENCIA ESPAÑOLA INSPECCION Y REPARACION DE COMBUSTIBLE "EN LINEA"

R. SANSÁ - M. MARTÍN - E. CASTAÑOS

La actividad del refrigerante del reactor en las centrales PWR es una condición limitativa de operación fijada en las especificaciones técnicas de cada planta.

El valor de dicha actividad límite está muy por encima de las condiciones habituales de operación, incluso en el caso de que existan algunas roturas o grietas en las varillas de combustible, que permitan liberar productos de fisión al refrigerante.

Es decir, para que se alcanzara el valor límite, hubiera tenido que producirse una situación extrema en el combustible: "baffle jetting", seccionamiento de varillas, etc.; cosa que por regla general no ocurre.

La rotura de una varilla de combustible se puede producir por numerosas causas, siendo las más habituales:

- Rozamiento con una partícula extraña (debris).
- Hidruración secundaria.
- Fractura por accidente en la manipulación.

La primera de ellas es responsable del 80% aproximadamente de los fallos o defectos en el combustible.

En cualquier caso, el escape de los productos de fisión al refrigerante incrementa considerablemente la actividad general de la planta, al quedar atrapados éstos en los diferentes componentes y circuitos de la central como parte del "crud" existente; y consiguientemente la dosis total recibida por los trabajadores de la misma aumenta en la misma proporción.

Las soluciones a estos problemas se pueden acometer desde muy distintos aspectos: Realizando procesos de limpieza y/o descontaminación de compo-

nentes y sistemas; introduciendo mejoras para reducir la presencia de "debris" en el refrigerante; y sobre todo eliminando el origen de los productos de fisión, esto es los elementos de combustible fallidos. La actitud de los Organismos Reguladores en diferentes países a este respecto, ha sido y sigue siendo muy variable. Existen países, como Alemania o Japón, que no permiten la reinserción en el núcleo de elementos de combustible que presenten fugas (criterio de fuga "cero").

Francia, sin embargo, tiene un criterio cuantitativo, permitiendo la reinserción de elementos con fuga, si el tamaño "equivalente" del defecto es menor de cierto valor.

Estados Unidos y España no imponen ningún criterio; dejando aparte, claro está, el valor límite máximo de actividad; por lo que es decisión de cada central el tomar las medidas que estimen oportunas con respecto a la inspección, reinserción o posible reparación de los elementos de combustible.

La tendencia existente en casi todas las centrales del mundo viene siendo la de reducir el aumento de actividad y, como consecuencia, acometen planes de inspección durante la recarga (visual, sipping o por ultrasonidos) para determinar cuáles elementos de combustible que fugan quedarán almacenados en la piscina cuando se realice la posterior recarga del nuevo núcleo.

La reparación de dichos elementos fallidos comporta unos beneficios que podemos enumerar aquí:

- Reducción de la actividad del refrigerante, como ya hemos explicado.
- Recuperación de la inversión del combustible residual existente en el elemento dañado.

- Aumento del espacio de almacenamiento en la piscina al recuperar dicho elemento.
- Finalmente, el ahorro ocasionado por la eliminación de:
 - El coste de rediseño del núcleo (ahorro económico).
 - La reducción de vida útil del nuevo núcleo (ahorro de disponibilidad).

Este último beneficio sólo existe en el caso de que la reparación de combustible se haga "en línea" con la recarga.

Las centrales españolas de Ascó I y II y Vandellós II optaron por esta solución.

En este artículo se recoge la experiencia obtenida, así como se describen los procesos de inspección y reparación utilizados.

DESCRIPCIONES DEL PROCESO

INSPECCION DE COMBUSTIBLE POR ULTRASONIDOS

Entre los diferentes tipos de inspección de combustible existentes (sipping, visual, corrientes inducidas, UT, etc.) se adoptó el de ultrasonidos al presentar las siguientes ventajas:

- Localización de la(s) varilla(s) defectuosa(s) en el elemento de combustible.
- Inspección muy rápida (5 min. de inspección y 10 de manipulación) para cada elemento de combustible.
- Independencia del grado de quemado o tiempo de almacenamiento en piscina.
- Alta precisión y fiabilidad.

El sistema escogido, desarrollado por ABB, identifica los defectos en las varillas de combustible, detectando agua en el interior de las mismas.

El principio de funcionamiento es sencillo:

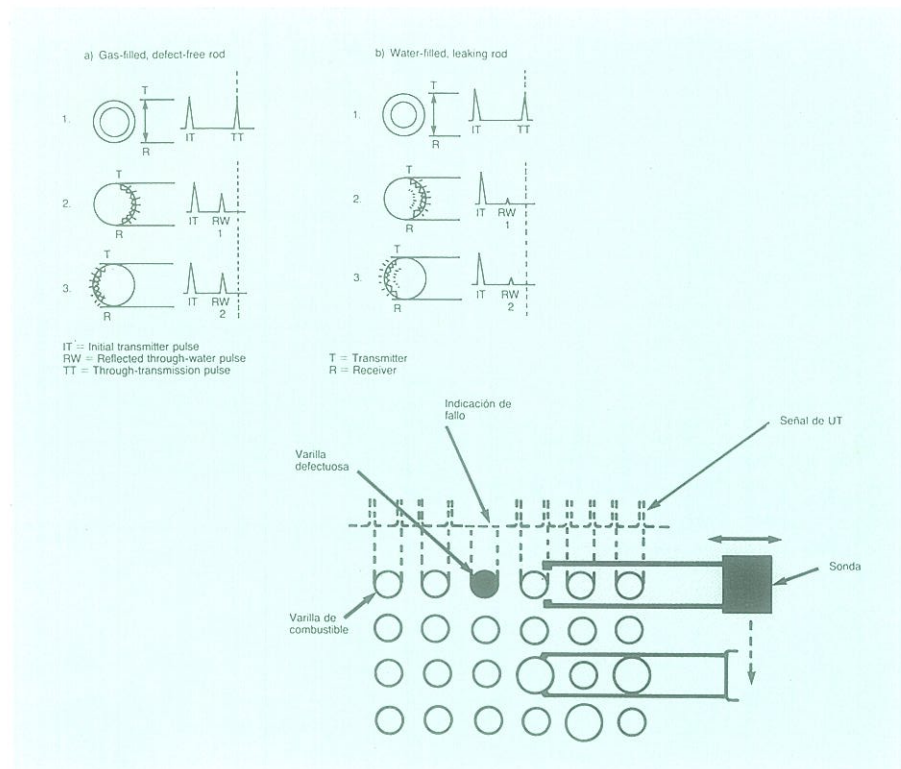
Una sonda flexible con dos sensores de ultrasonidos (transmisor y receptor) se mueve a lo largo de cada una de las filas de varillas de combustible.

Por cada varilla se registran dos señales ultrasónicas conforme la sonda avanza entre las filas.

La presencia de agua en el interior de una varilla producirá una reducción, o desaparición, de la señal recibida, lo que indicará fallo o defecto en la varilla (figura I).

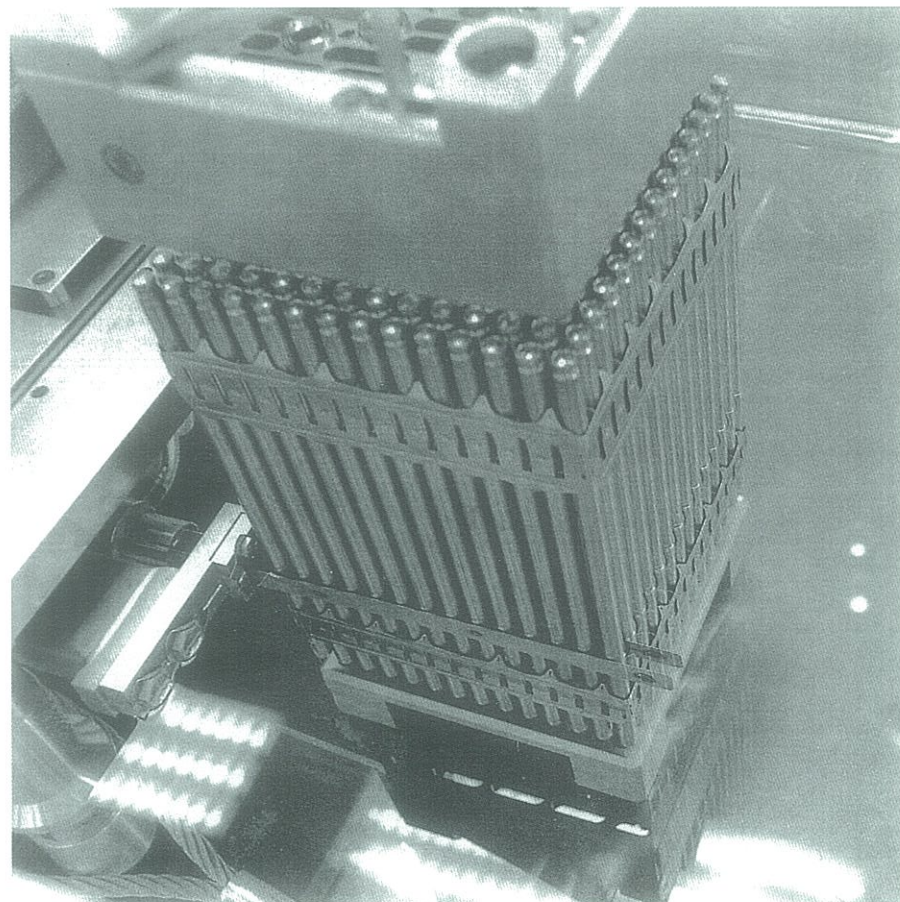
Para realizar esta función se sitúa una placa base en una determinada posición sobre los bastidores de almacenamiento de combustible.

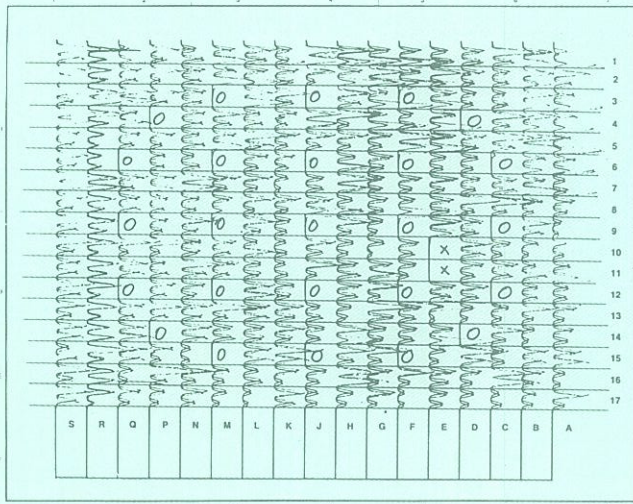
En este soporte está ubicado el manipulador estanco que mueve la sonda a través de todas las filas y columnas del elemento de combustible a inspeccionar, así como una cámara de TV subacuática



F I Método de inspección por UT

F II Manipulador y sonda de UT





F III Ejemplo de hoja de inspección

F IV Hoja de resultados

FA-VIEW „UPPERNOZZLE“

FA-No. 527/10
2

17																	3
16																	
15																	
14																	
13																	
12																	
11																	
10																	
9																	
8																	
7																	
6																	
5																	
4																	
3																	
2																	
1																	
	A B C D E F G H J K L M N P Q R S																

1 y corner 4 Reference corner

Legend ☒ F. R. Position ☐ Indication ☐ No Indication ☒ Defect Position ☐ Guidetube		Measurement			
		1	2	3	4
Inspector		AS/HP JL RG.			
Date		28.8.89 28.8.89 30.8.89			
Time	Start	05.30 06.00 12.55			
	End	05.35 06.12 13.04			
Analyst		LA LA RG.			
Date		28.8.89 28.8.89 30.8.89			
Time					

Defectrod Position: E 10, E 11

F. R. with Indication:

que permite visualizar el correcto posicionado del elemento de combustible y su inspección por la sonda (figura II). Unas cabinas electrónicas localizadas en el borde de la piscina de combustible, contienen los equipos de generación y análisis de ultrasonidos, el control del manipulador de la sonda y los registradores visuales (monitores) y gráficos (plotter) necesarios.

El proceso de inspección es muy rápido y sencillo:

- El elemento de combustible se recoge de su posición, que en el caso de la recarga es el volteador del sistema de transferencia de combustible, y se posiciona correctamente en el bastidor de inspección.
- Se realiza manualmente el ajuste de cero y la alineación de la sonda.
- Se lleva a cabo la inspección de todas las varillas, de modo automático, registrándose los datos obtenidos.
- Se analizan los resultados gráficos.
- Se reinspecciona el elemento en otra posición o elevación en caso de duda o sospecha de existir defecto.
- Se retira el elemento y se deposita en la posición asignada.

Los gráficos obtenidos se entregan posteriormente al cliente como parte del informe del servicio (figuras III y IV).

REPARACION DE COMBUSTIBLE

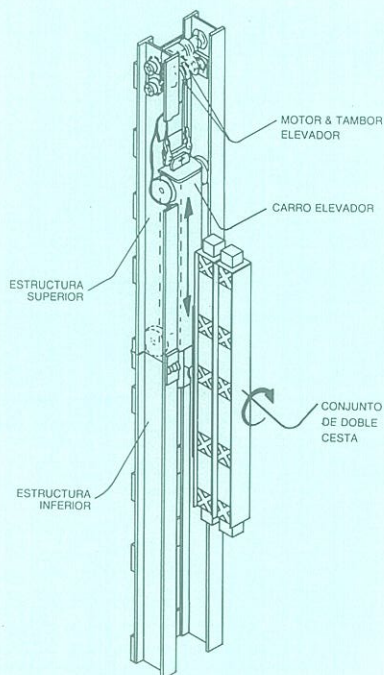
Una vez llevado a cabo un estudio de viabilidad para cada tipo de central (Ascó y Vandellós), y de combustible (OFA, standard, etc.) se determinó que el proceso de reparación se llevaría a cabo utilizando el Sistema Multipropósito de Reparación de Combustible, denominado MFRS, y accediendo al elemento por la cabezal inferior.

Este sistema MFRS, diseñado y construido por W para atender los servicios de reparación de combustible, permite el acceder al elemento de combustible tanto por el cabezal superior como por el inferior dependiendo del tipo de combustible que sea o de la reparación a efectuar.

La terminología americana define dos tipos generales de reparación:

- La reconstitución consiste en el reemplazo de una o varias varillas defectuosas por otras (de bajo enriquecimiento, de acero inoxidable, etc.) siempre que el esqueleto esté en buenas condiciones.
 - La reconstrucción consiste en la transferencia de todas las varillas, excepto las defectuosas, de un elemento con el esqueleto dañado a otro esqueleto nuevo.
- Las causas del daño de un esqueleto pueden ser múltiples pero casi exclusivamente corresponden a daños irreparables en las rejillas del mismo.

REPARACION POR TOBERA INFERIOR



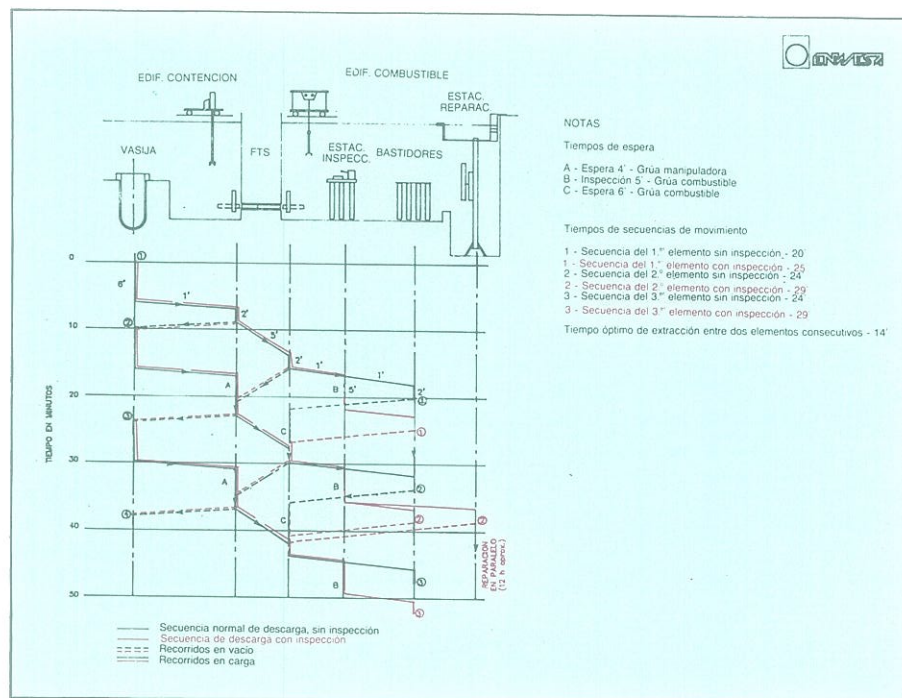
F V Sistema multipropósito de reparación de combustible MFRS

El sistema MFRS, consta básicamente de los siguientes componentes (figura V).

- Una estructura soporte que se cuelga en el borde o se apoya en el fondo de la piscina de combustible.
- Un conjunto elevador motorizado que permite ascender y descender el siguiente componente.
- Conjunto de dos cestas, en un plano vertical, que sirven para posicionar convenientemente el elemento a reparar y el esqueleto nuevo (en el caso de reconstrucción).
- Un conjunto de utillajes diversos que permiten el desmontaje, manipulación y remontaje del elemento a reparar.
- Una herramienta de extracción, manejo y reposición individual de varillas de combustible.
- Una cesta de almacenamiento de varillas defectuosas.
- Un sistema de visión subacuática, con diferentes cámaras útiles, magnetoscopios, etc., que permiten observar, controlar y registrar los diferentes pasos del proceso.

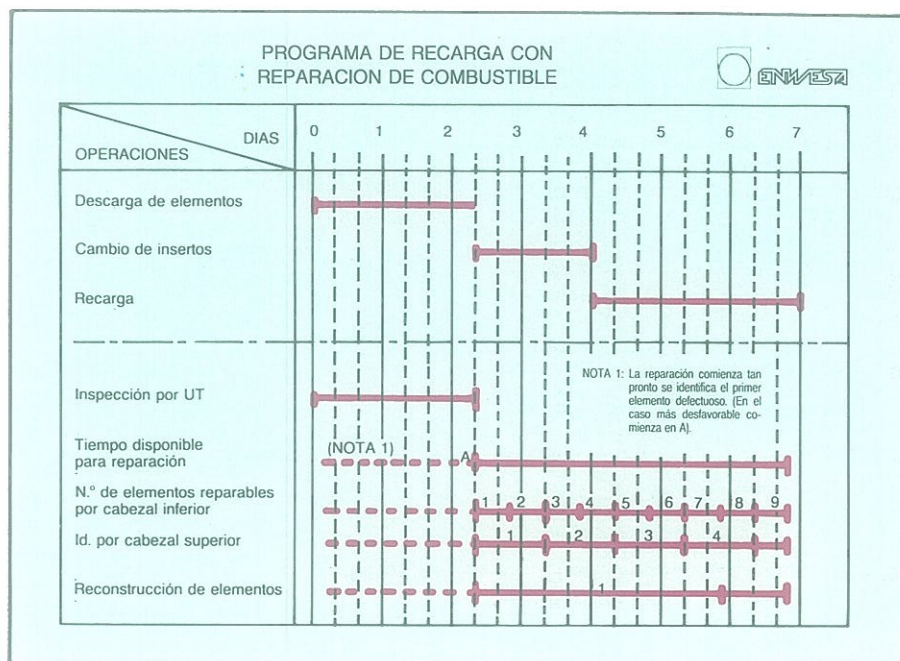
El proceso de reconstitución de un elemento de combustible consiste sumariamente en las siguientes actividades:

- Colocación del elemento que presenta fugas en la cesta exterior del elevador, con una orientación determinada.



F VI Secuencia de operaciones - Descarga de combustible

F VII Programa de reparación de combustible



- Elevación de la cesta con el elemento y giro del conjunto. Esto permite acceder al cabezal inferior.
- Desmontaje del cabezal inferior, soltando los tornillos que lo sujetan al esqueleto, y retirada del cabezal para su posterior reutilización.
- Extracción de la o las varillas dañadas, previamente identificadas por la inspección de ultrasonidos, y colocación en la cesta de almacenaje. Para esta operación el elevador se ha bajado a la posición inferior.

- Si se estima oportuno, inspección magnificada de las varillas para identificar la causa y extensión del daño.
- Inserción de una o varias varillas de acero inoxidable en sustitución de las dañadas.
- Remontaje del cabezal inferior y fijación de sus tornillos en la posición superior.
- Giro del conjunto y descenso de la cesta a la posición inferior.
- Extracción del elemento e inspección final.

Para el proceso de reconstrucción el esqueleto nuevo se coloca en la otra ceta y se procede de forma equivalente, trasladando todas las varillas en buen estado del elemento dañado al esqueleto nuevo.

Como es lógico, todas las operaciones han sido debidamente controladas y registradas, documentalmente y por medio de cámara subacuática.

PROGRAMACION

Como se ha indicado al inicio de este documento la gran ventaja de acometer la inspección y reparación de combustible es la de poder hacerla en línea con la recarga sin originar retrasos en la misma y evitando los costes antes mencionados.

En el estudio de viabilidad realizado se llevó a cabo una medida de tiempos de las diferentes operaciones en el proceso de descarga de combustible para verificar el impacto de la inspección de combustible en el tiempo total de la descarga (figura VI).

Como se puede apreciar en el gráfico el corto tiempo necesario para realizar la inspección, cinco minutos, evita causar retraso alguno en el cómputo total de tiempo de descarga de cada elemento, 15-20 minutos; siendo el paso a través del canal de transferencia la actividad limitativa del proceso de descarga.

Una vez verificado que la inspección era compatible con la descarga, se estudió el programa de reparación de combustible.

Los tiempos necesarios para la reparación de un elemento son variables dependiendo del tipo de elemento y forma de reparación, pero podemos resumirlos en los siguientes:

- Reconstitución por cabezal inferior: 10 a 12 horas por elemento.
- Reconstitución por cabezal superior: 20 a 24 horas por elemento.
- Reconstitución (SOLO por cabezal inferior): 72 a 84 horas por elemento.

Con estos datos y tomando un programa óptimo de recarga obteníamos el gráfico de la figura VII.

Los resultados son claros:

En el caso más desfavorable, podemos reconstituir un total de 9 elementos sin interferir en el programa de recarga. Es sumamente raro que se presente este número de elementos defectuosos en un solo ciclo de operación, a no ser por una causa atípica como el baffle jetting.

Hay que hacer notar que la programación real presenta unos días de espera entre la descarga y la carga debidos a trabajos de mantenimiento, que no están reflejados en este programa que, como hemos mencionado, podemos considerar óptimo.

TOTALES				
Año	Planta	Elementos inspeccionados	N.º defectos	Varillas
89	Vandellós II	157	2	3
Total 89		157	2	3
90	Ascó II	293	4	5
90	Vandellós II	157	3	5
90	Ascó I	377	15	19
Total 90		827	22	29
91	Ascó II	157	2	5
91	Vandellós II	157	3	5
91	Ascó I	157	1	1
Total 91		471	6	11

TOTALES:

- Número de elementos inspeccionados: 1.455.
- Número de elementos defectuosos: 30.
- Número de varillas defectuosas: 43.

F VIII Inspección de combustible

F IX Reparación de combustible

TOTALES				
Año	Planta	N.º Elementos reparados		N.º Varillas
		Recon	Reassy	
90	Vandellós II	5		8
90	Ascó I	8	1	11 + 264
90	Ascó II	2		2
Total 90		15	1	21 + 264
91	Ascó II	2		6
91	Vandellós II	3		5
91	Ascó I	1		1
Total 91		6		12

TOTALES:

- Número de elementos reparados: 21 + 1.
- Número de varillas transferidas: 33 + 264.

Como información complementaria añadiremos que el montaje y calibración del equipo de inspección necesita un día para su realización, siendo necesarios tres días para el montaje del equipo de reparación.

Los mismos tiempos, un día para el equipo de inspección y tres para el de reparación, son necesarios para el desmontaje, descontaminación y embalaje de los diferentes componentes.

Asimismo mencionaremos que el régimen de trabajo suele ser de tres turnos de nueve horas, con una de solape, para la inspección, al ser ésta una actividad continua; y de uno o dos turnos de 10 ó 12 horas para la reparación, dependiendo del número estimado de elementos defectuosos a reparar.

EXPERIENCIA

La experiencia desarrollada por las centrales de Ascó I y II y Vandellós II, con respecto a la inspección y reparación de combustible se refleja en las figuras VIII y IX.

Como vemos, el número de elementos inspeccionados, 1.455 y reparados, 22, es suficientemente significativo como para demostrar que la experiencia ha sido aún más satisfactoria de lo esperado; confirmándose que la reparación no afectó en ningún caso a la duración del camino crítico de la parada.

Vamos a indicar los hechos más significativos de las actuaciones ocurridas hasta ahora:

- La central de Vandellós II realizó en su primera recarga (1989) la inspección en línea de los elementos del núcleo, demostrando que la previsión, de que dicha inspección no iba a interferir en el camino crítico, era cierta.
- En el año 90 se realizó una gran campaña de inspección y reparación en los dos grupos de la central de Ascó, en la que se revisaron todos los elementos almacenados en las piscinas, más los provenientes de los núcleos respectivos. Esto explica el alto número de elementos inspeccionados, 293 en el grupo II y 377 en el grupo I, y reparados, 11 entre los dos grupos.
- Para proceder a la reparación, y, como consecuencia del estudio de viabilidad, se hubo de construir una plataforma especial, distinta para cada central para sujetar la estructura del MFRS en cada lugar de montaje. En Ascó este lugar es el pozo del cofre, mientras que en Vandellós es la piscina de combustible nuevo.
- La discrepancia entre el número de elementos que presentan defectos, 30, y el número de elementos repara-

dos, 22, es debida a la decisión de la central de Ascó de no reparar aquellos elementos que por sus características nucleares no son susceptibles de volverse a reutilizar en núcleos futuros.

- Todos los elementos almacenados en las piscinas de las centrales de Ascó I y II y Vandellós II han sido inspeccionados, y se conoce su estado con relación a su integridad física.

Hay que hacer notar, por otra parte, que estos servicios son el resultado de un trabajo conjunto entre diferentes organizaciones y compañías.

- ENUSA:
 - Suministrador de componentes (cabezales, varillas, etc.).
 - Servicios de supervisión y garantía de calidad.
- ENWESA:
 - Suministrador de componentes (plataformas, cestas de desechos, etc.).
 - Servicios de inspección, reparación y coordinación de los mismos.
- W NSD:
 - Diseñador del equipo de reparación.

- Servicios de reparación y asesoría.
- ABB:
 - Diseñador del equipo de inspección.
 - Servicios de inspección.

Y, sobre todo, las diferentes organizaciones de las propias centrales: Protección Radiológica, Garantía de Calidad, Operación, y muy especialmente Tecnología Nuclear, que como responsable de este trabajo coordinó y organizó a todos los grupos durante el desarrollo del mismo.

CONCLUSIONES

La experiencia obtenida en el curso de las pasadas campañas de inspección y reparación llevadas a cabo en las centrales de Ascó y Vandellós permiten confirmar que dichos trabajos pueden ser realizados con seguridad y eficacia durante la recarga sin afectar a la duración de la misma, y asegurando, por un lado, que no se modifican los diseños nucleares preestablecidos, y, por otro, que se reduce la transferencia de productos de fisión al refrigerante, reduciendo de esta forma la dosis colectiva al personal.