

EXPLOTACION

RESULTADOS DE LA EXPLOTACION DE LA CENTRAL NUCLEAR DE VANDELLOS CUMPLIDOS LOS DIEZ PRIMEROS AÑOS DE FUNCIONAMIENTO

C. FERNANDEZ PALOMERO, L. COLL BRAUT, E. PLA CAMPAÑA, J. RIEROLA PUIGSERINANELL y I. IRUN REVEST

La Central Nuclear de Vandellós, propiedad de Hispano-Francesa de Energía Nuclear, S. A. (HIFRENSA), se conectó, por primera vez, a la red nacional, el 6 de mayo de 1972, y desde entonces ha producido 34.260 millones de Kwh brutos y 33.080 millones de Kwh netos (30 de noviembre de 1982). La central responde a un modelo europeo, el desarrollado por el Reino Unido y Francia, y concretamente su diseño está basado sobre un proyecto elaborado conjuntamente por EDF y el CEA, que concluyó con la construcción de las centrales de SL1, SL2 y Vandellós. Las centrales de referencia de la de Vandellós son, por consiguiente, las de Saint Laurent des Eaux junto al río Loira, SLA1 y SLA2.

Este modelo de central está definido por las características siguientes:

Reactor:

Dimensiones: 10,2m x 15,7 m Ø.
Moderador: grafito.
Geometría: cilíndrica.
Canales cargables: 3.072 (140 mm/m Ø).
Canales cargados: 2.915 (15 cartuchos por canal).
Celda: exagonal de 225 mm/m paso de red.
Combustible: uranio natural, con geometría cilíndrica en forma de tubo, con un peso aproximado para cada cartucho de 10 kg., en uranio metálico de aleación Sicral F-1. La vaina es de magnesio aleada con circonio (0,6 %).
Potencia máxima: 1.750 MW.
Grado de quemado: 6.500 MWD/T como valor máximo que viene a corresponder 5.500 MWD/T como medio.
Barras de control: En número de 135 unidades, están constituidas como material absorbente, acero y acero más carburo de boro.

Refrigerante:

CO₂, a la presión de 29 bars, y con un caudal por reactor de 9.080 kg/s., a plena potencia.

Cambiador:

Constituido por 1.386 paneles en forma de serpentín, a circulación forzada, con tubos aleteados horizontales en serie, en número de 83 por panel, en acero Martín, colmado al silicio, y poco aleado. El cambiador está distribuido en cuatro circuitos independientes, montado en 26 torres de 49 paneles cada una y 4 semitorres de 28 paneles.

A plena carga por cada uno de los cuatro cambiadores circulan 575 Tm/h., de agua y vapor.

Vasija:

Llamada comúnmente cajón, está realizada en hormigón pretensado con una cavidad cilíndrica interior de 35,3 m. de altura y 18,3 m. de Ø.

El reactor y el cambiador están integrados dentro de este recinto ocupando dos volúmenes de dimensiones muy parecidas, en la parte superior el reactor, y en la inferior el cambiador.

El espesor máximo de pared es de 7 m. y el mínimo de 5 m. La forma exterior de la vasija es exagonal.

En la losa superior de este recinto se encuentran los orificios que albergan los mecanismos de barras de control y se

utilizan para la carga y descarga de elementos combustibles. Desde uno de estos orificios se puede acceder a 33 canales.

En la losa inferior se encuentran los orificios por donde pasan las tuberías de alimentación de agua al cambiador (30: cuatro tuberías por cada uno), los orificios de paso de vapor hacia turbina (112: 104 con una sola tubería por paso, 8 con cuatro tuberías por paso para las semitorres), los pasos de CO₂, llenado, vaciado y depuración, y los pasos para toda la instrumentación interna del recinto, incluidos los de la detección de rotura de vainas. En cada una de las seis caras laterales que constituye la forma externa del cajón tenemos: en cuatro de ellas, existen las aberturas que dan alojamiento al mecanismo de transmisión de las soplantes, y las dos restantes se utilizan para la ventilación en parada del recinto interno de la vasija.

Circulación de gas:

Se lleva a cabo por cuatro soplantes, accionadas por turbinas a vapor de un único paso o cilindro, consumiendo cada una, una potencia térmica de 56 MW, 15 MW útiles (mecánicos).

La circulación es descendente, por reactor y cambiador y ascendente por la zona anular externa, en el interior de la vasija.

El caudal de CO₂ es función de la velocidad de rotación y va desde 400 rpm (1 Tm/s. polaridad fija) a 2.400 rpm (9 Tm/s.), a plena carga.

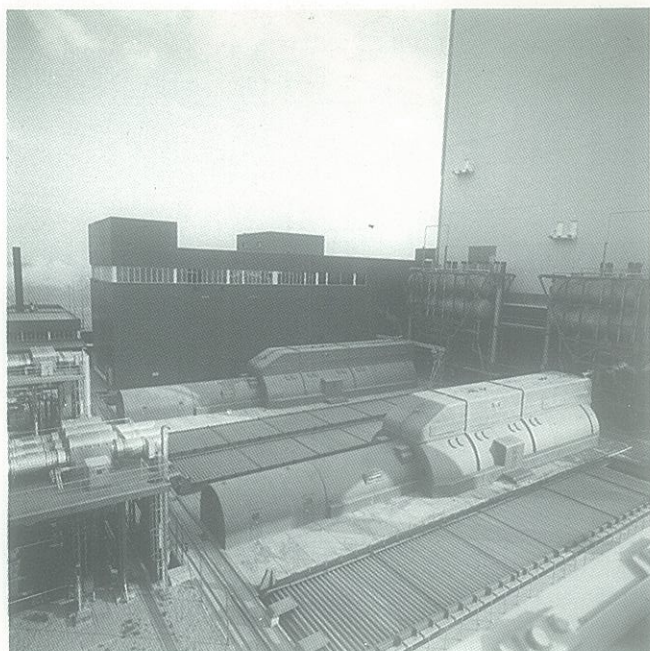
Producción de energía:

Por turbinas de 250 MW de potencia, constituidas cada una por un cilindro de alta presión, y dos cilindros de baja presión en paralelo, con condesación, arrastran un alternador de 250 MVA con la salida de tensión a 20 KV y 3.000 rpm. A plena carga, el consumo de vapor a 35 bars de presión y 390° C de temperatura, es de 1.000 Tm/h.

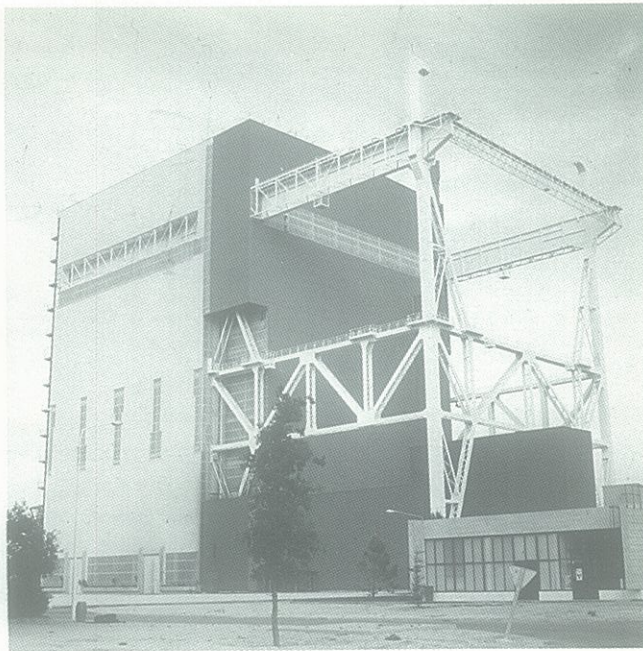
Regulación:

El soplado queda regulado por la presión de vapor. La temperatura de CO₂ a la salida del generador de vapor gobierna el caudal de agua, y la temperatura CO₂, salida reactor, gobierna la potencia reactor.

La regulación se ve asistida por un ordenador que: trabajando en tiempo real, además de establecer puntos de consignas, informa de los diferentes parámetros operativos, interviene en la operación e información del sistema de detección de rotura de vainas, informa



1. Nave del reactor.



2. Grupos turbosoplantes y edificio de control y mando.

de condiciones de alarma previas a las de disparo, actúa conjuntamente con las seguridades cableadas en todas las seguridades de la Central, etc...

La exposición siguiente se dedicará a realizar un examen del funcionamiento de la Central en las áreas siguientes: Resultados de la explotación desde la puesta en marcha hasta el presente; Resultados del ciclo de combustible; Exposición general sobre el mantenimiento y comportamiento de materiales; Radioprotección. Dosimetría de personal, y Breve mención sobre el comportamiento del generador de vapor.

RESULTADOS DE LA EXPLOTACION DESDE LA PUESTA EN MARCHA HASTA EL PRESENTE

Desde la puesta en marcha de la central hasta finales del mes de noviembre de 1982 se ha producido 33.080.000 Mwh, lo que supone en la totalidad del período una producción media-año de 3.130 Mwh, equivalente a un factor de producción 74,4 %. Las indisponibilidades totales han dado lugar a una pérdida media de producción de 1.077 Mwh, equivalente al 25,6 %. Estas indisponibilidades se deben a diversas causas y en la tabla I se hace un listado en orden a su importancia por pérdida de producción. Es el cambiador de calor, al que nos referiremos más adelante, la principal causa de pérdida de producción, sobre todo, por la penalización impuesta a la potencia máxima por la central, que desde primeros de 1976, se descende en un 15 % aproximadamente. El cambiador, por otra parte, es origen de otras pérdidas, debido a la localización y aislamiento de paneles con fugas.

Le sigue en importancia, en cuanto a indisponibilidades, las paradas programadas para revisión y trabajos de mantenimiento preventivo, y ya a más dis-

tancia, otros motivos que están asociados con regulación, grupos principales, dispositivo principal de carga de combustible (DPM), parque exterior de distribución y líneas, estación de bombeo, material eléctrico, en general (disyuntores y grandes motores, principalmente), turbosoplantes y sistema de detección de rotura de vainas de elementos combustibles (DRG-DRGG).

apartado los valores máximos y mínimos en días de producción a plena potencia para todo el período considerado, así como el valor medio correspondiente en las mismas unidades. En la última columna aparecen valores relativos de indisponibilidad en tanto por ciento de la indisponibilidad total.

Las indisponibilidades referentes a parque exterior en su mayor parte, co-

T. I

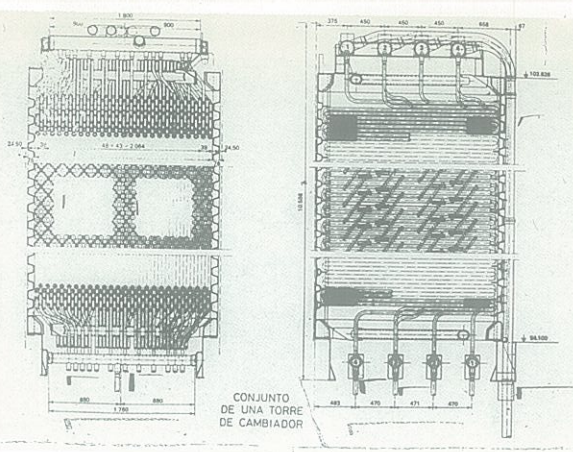
CUADRO DE PRODUCCION E INDISPONIBILIDADES MEDIAS ANUALES. PERIODO 1972-1982 (PRIMER DECENIO DE FUNCIONAMIENTO) FACTOR DE CARGA GLOBAL: 74,6 % (ABRIL 1982)

	Mwh (netos)	Días equiv. 100 % producción			% Indisponibilidad
		Mín.	Máx.	Media	
Producción	3.138.929	98,3 (1972)	316,3 (1973)	272,5	
Indisponibilidades	1.068.750	48,7 (1974)	115,6 (1972)	92,75	100
Cambiador	510.174	1,9 (1973)	66,6 (1981)	44,29	47,74
Paradas Programadas	267.830	12,8 (1974)	53,6 (1973)	23,25	25,06
Regulación y Electrónica (tratamiento de la Información)	61.346	1,2 (1976)	10,6 (1973)	5,33	5,74
Grupos Principales	53.118	0 (1980)	10,2 (1979)	4,61	4,97
DPM	50.765	0 (5 años)	38 (1972)	4,41	4,75
Parque y Líneas	42.440	1,2 (1976)	10,7 (1973)	3,68	3,97
Estación Bombeo	34.200	9 (1981)	6,8 (1974)	2,97	3,20
Material Eléctrico	25.863	0 (1979)	8,4 (1977)	2,25	2,42
Turbosoplantes	7.053	0 (1974)	1,6 (1977)	0,61	0,66
DRG-DRGG	4.702	0 (4 años)	1,5 (1977)	0,41	0,44
Circuitos varios	11.269			0,93	1,05

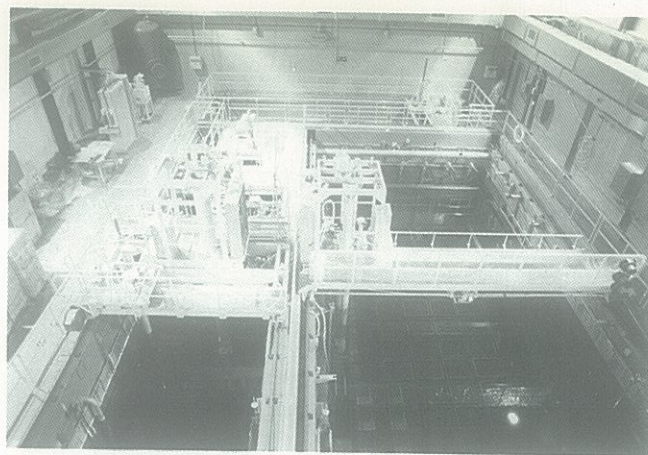
En cuanto a este último, conviene señalar que las pérdidas no han sido debidas a roturas reales del combustible, sino a fallos en circuito de alimentación eléctrica del complejo sistema que constituye la vigilancia permanente, los 2.915 canales cargados.

En la tabla I aparecen en la primera columna, valores medios de producción y pérdidas de producción; en el segundo

responden a disparos de la red de 380 MW, generales o locales en la zona catalana, y en cuanto a la indisponibilidad de estación de bombeo, también, en su mayor parte, se origina por grandes temporales de mar (levante) que provocan un arrastre máximo de algas, tapando los filtros de entrada de agua de refrigerante a los condensadores principales.



3. Generador de vapor. Esquema de las torres que lo componen.



4. Piscinas de enfriamiento y almacenamiento del combustible irradiado.

RESULTADOS DEL CICLO DE COMBUSTIBLE

Historial del combustible de la Central Nuclear de Vandellós

La Central Nuclear de Vandellós es la última unidad de la familia de uranio natural-grafito-gas (UNGG) desarrollada en Francia a partir de los reactores plutónigenos G1, G2 y G3 del Centro Nuclear de Marcoule.

Como los reactores G2 y G3 de Marcoule se construyeron para la producción de plutonio, el elemento combustible no debía alcanzar grandes grados de quemado y, por tanto, el tiempo de permanencia en el reactor era bastante limitado. Por este motivo, las investigaciones se orientaron hacia la elaboración de un cartucho poco absorbente, de fácil tecnología, y que su vaina no fuese corroída bajo la acción del CO₂ a 400° C.

La vaina del reactor G1, que iba refrigerado con aire, era de Magnesio sin

alear. Sin embargo, se observó que una aleación de Mg-Zr (con un 0,6 % de Zr) soportaba mejor la acción del CO₂ caliente, era más dúctil, facilitaba la soldadura al arco en atmósfera de argón y podía soportar correctamente temperaturas próximas a su punto de fusión.

Con el fin de poder aumentar la potencia específica de los cartuchos combustibles se adoptó para éstos la forma tubular en sustitución de la barra maciza, ya que, para las temperaturas próximas a los límites de utilización del uranio y de su vaina, la forma tubular permite extraer una cantidad de calor por unidad de longitud del canal mucho mayor que utilizando una barra maciza.

Al conservar el núcleo de grafito utilizado en la colada de uranio cuando se realiza el tubo combustible en los hornos de inducción, se ha llamado de alma de grafito.

Esquemáticamente, el cartucho de combustible con alma de grafito, utilizado actualmente en la Central Nuclear de Vandellós, se compone de:

- Un tubo Sicral F-1 (constituido por uranio metálico + de 0,05 a 0,09 % en peso de aluminio + de 0,02 a 0,04 % en peso de hierro + de 0,005 a 0,015 % en peso de cromo + de 0,005 a 0,015 % en peso de silicio) de diámetro interior 23 mm. y exterior de 43 mm. y una longitud de 539,5 mm. La superficie exterior tiene ranuras para el anclaje de la vaina.

- Un núcleo de grafito poco poroso (porosidad abierta < 10 %) con ranuras repartidas para anclajes.

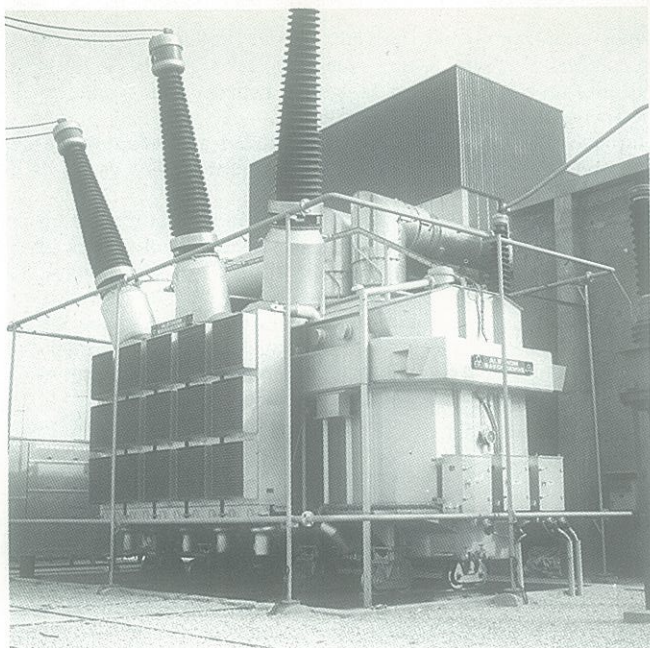
- Una vaina de Mg con 0,5 % de Zr de 1,8 mm. de espesor, con aleta de refrigeración y centradoras, aplicada sobre el combustible después de la fabricación (operación de envainado).

- Dos tapones de Mg con 1,2 % de Mn, que cierran la vaina por sus dos extremidades, soldados con argón.

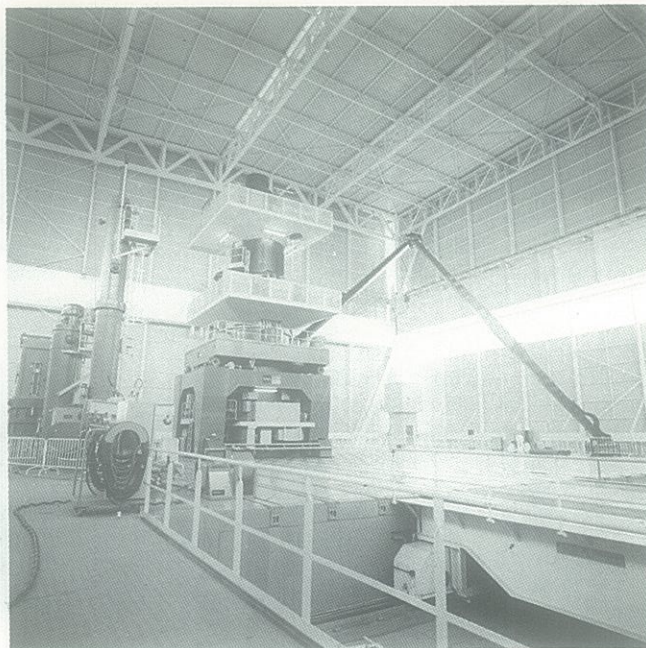
- Una capa coloidal de grafito, depositada entre el combustible y la vaina para evitar la difusión del plutonio.

T. II

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	Acumulado
Energía térmica producida (Mwh)	4.315.632	10.864.415	12.904.115	12.294.115	12.122.069	12.034.174	11.770.824	11.490.611	12.201.645	11.008.340	111.006.782
Energía eléctrica bruta producida (Mwh)	1.185.186	4.147.228	3.770.858	3.506.155	3.424.609	3.406.008	3.294.727	3.210.727	3.399.458	3.063.328	31.407.584
Energía eléctrica vertida a la red (Mwh)	1.138.042	3.043.109	3.643.234	3.384.736	3.303.046	3.288.122	3.179.904	3.099.725	3.099.352	2.954.816	30.318.086
Factor de carga (%)	27,0	72,4	86,6	80,5	78,3	78,2	75,6	73,7	77,9	70,3	74,6
Elementos combustibles cargados	40.797	6.703	13.878	9.863	6.227	11.773	7.799	8.752	7.098	10.074	122.964
Elementos combustibles descargados	—	4.417	13.654	9.841	6.227	11.633	7.705	8.680	7.044	10.056	79.257
Toneladas de uranio cargado	418.169	68.706	142.250	101.096	63.827	120.673	79.940	89.708	72.755	103.259	1.260.881
Toneladas de uranio descargado	—	45.274	139.954	100.870	63.827	119.238	78.976	88.970	72.201	103.074	812.384
Energía térmica suministrada por los elementos descargados (Mwd)	—	57.508	339.667	394.403	264.392	534.360	393.442	477.393	400.132	501.645	3.432.842
Irradiación media de los elementos descargados (Mwd/t)	—	1.268	2.427	3.910	4.142	4.481	4.982	5.366	5.542	5.546	4.226
Irradiación media del reactor a fin de año (Mwd/t)	430	1.302	1.742	2.006	2.548	2.466	2.678	2.677	2.915	2.662	2.662
Energía eléctrica vertida a la red/E.C. descargado (Kwh)	—	87.371	168.551	264.810	277.639	301.189	331.088	356.093	366.859	366.210	283.909
Energía eléctrica vertida a la red/kg de U. nat. descargado (Kwh)	—	8.524	16.444	25.835	27.087	29.384	32.301	34.741	35.791	35.728	27.698



5. Transformador de salida (20,5 KV/380 KV).



7. Losa superior del reactor. Máquina de carga y descarga del combustible.

Este cartucho está colocado en una camisa cilíndrica de grafito y su fijación en ella se realiza mediante cuatro aletas centradoras, que se deslizan por sendas ranuras de la camisa, coportándolo un estribo de grafito fijado a la camisa mediante alambres de acero inoxidable.

La finalidad de la camisa es facilitar la manipulación y evitar el pandeo a lo largo de la irradiación, ya que, aunque en un canal del reactor se carguen unos encima de otros, es la camisa de grafito la que soporta el peso de los que tiene encima y no el cartucho de uranio.

El conjunto formado por el cartucho de uranio y la camisa de grafito recibe el nombre de *elemento combustible*.

El comportamiento de los elementos combustibles en el reactor depende, fundamentalmente, de dos parámetros: el grado de quemado y la temperatura.

Existen, además, otros parámetros a tener en cuenta, tales como ciclados tér-

micos de grande y pequeña amplitud, presión y composición del fluido refrigerante, presión dinámica y tiempo de permanencia.

Hasta junio de 1975 el combustible de la CNV se descargaba con una irradiación media de 4.000 Mwd/t. Los ensayos de irradiación que se iban realizando en reactores de potencia franceses pusieron de manifiesto que el grado de quemado podía aumentarse hasta un máximo de 6.000 Mwd/t, que correspondía a un valor medio de descarga de un canal de más de 5.000 Mwd/t.

Como los ensayos a irradiaciones superiores a 8.000 Mwd/t. dieron resultados satisfactorios, a partir de junio de 1978, se autorizó a la CNV a irradiar los elementos combustibles hasta un máximo de 6.500 Mwd/t., lo cual significa una irradiación media de descarga superior a los 5.500 Mwd/t.

Comportamiento de los elementos combustibles en el reactor de Vandellós

El reactor de Vandellós, de los 3.072 canales cargables, tiene, actualmente, 2.912 cargados con 15 elementos combustibles (en 9 de ellos, uno de los 15 es inerte) y 3 con una composición particular en la que además de tener 9 elementos combustibles en cada uno de ellos, tiene 6 elementos absorbentes que permiten regular el exceso de reactividad de la zona donde se encuentran. Es decir, que en total hay 43.698 elementos cargados. Hasta diciembre de 1982 han sido renovados 85.500. La renovación de un canal se efectúa con la permutación axial de los tres elementos situados en la parte superior, que pasan a ocupar posiciones inferiores; los otros doce son renovados por elementos nuevos.

De los 85.500 elementos descargados sólo 3 de ellos lo han sido por haber presentado una rotura de vaina, que los

sistemas de control del reactor de Vandellós son capaces de detectar en un tiempo máximo de 24 minutos. Esto representa un 0,0035 % o un 3,5 por 100.000 roturas de vainas referidas al número de elementos que han sido cargados, a los 85.500 tenemos que sumarle 43.698 y ello nos da un 0,0023 % o un 2,3 por 100.000 roturas de vaina, respecto al número de elementos cargados.

Cabe decir que de los tres cartuchos que han manifestado rotura de vaina en el reactor, el primero de ellos presentaba un golpe producido presumiblemente en la carga manual del reactor y en el tercero no se apreciaba la rotura a simple vista.

Gestión del combustible

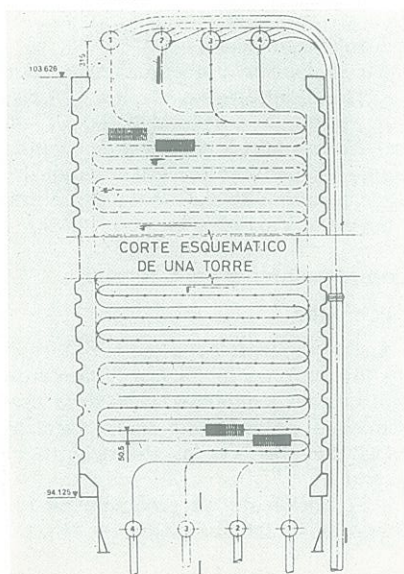
Por la incidencia económica que tiene el precio del combustible nuclear en el coste del Kwh, siempre ha existido una preocupación por la mejora del aprovechamiento de los elementos combustibles, tanto desde el punto de vista tecnológico como de gestión.

El calendario de renovación suministrado por el CEA apuntaba hacia un estado de equilibrio que debía alcanzarse lo antes posible a expensas de un consumo de uranio a todas luces antieconómico.

En abril de 1976 el centro de cálculo de la Central elaboró un nuevo calendario de renovación en el que se buscaba una permanencia máxima del combustible en el reactor con ahorro consiguiendo de cartuchos.

El método de cálculo se basa en el balance térmico de la Central, que se efectúa cada 30 o 50 días, consistente en medir sus diferentes parámetros a lo largo de 24 horas de total estabilidad. Ello permite determinar los valores característicos de funcionamiento que no pueden medirse directamente y así efec-

6. Corte esquemático de una torre del generador de vapor.



tuar el llamado *cálculo de irradiación*, en el que, habiéndose calculado una potencia térmica para cada uno de los 3.072 canales cargables del reactor, puede determinarse la energía que ha suministrado cada canal cargado desde el balance anterior y su valor acumulado. Con estos datos, otro programa agrupa los canales en campañas de renovación en función del tiempo, con los siguientes criterios:

- Los canales periféricos (de los que, en la actualidad, se consideran 372) no pueden acumular más de 5.300 Mwd/t. en su cartucho más irradiado (que es el situado en posición 6), con el fin de no deteriorar la reactividad de la zona periférica.

- Los canales centrales (que son todos los demás y en la actualidad son 2.540) no pueden acumular más de 6.500 Mwd/t en su cartucho más irradiado (que es el situado en posición 6).

- Dentro de una misma celda, para formar una campaña de renovación, se agrupan los canales que llegan a su límite de irradiación dentro de un intervalo de 50 días equivalentes de plena potencia.

- Cada campaña no puede estar formada por más de 6 canales, por imperativo de capacidad de la máquina de carga y descarga.

- Las campañas se agrupan en conjuntos de tres, situadas en celdas que tienen una simetría de orden de 3 respecto del eje del reactor.

Además de permitir el establecimiento de los programas de renovación mensuales, el programa citado se utiliza para efectuar las previsiones de compra de combustible, que deben hacerse a largo plazo.

En este calendario de renovación se fija un tope máximo de 1.080 elementos combustibles a renovar en un mes (90 canales), con el fin de no sobrecargar el trabajo de la máquina de carga y descarga, ni alterar excesivamente las características neutrónicas del reactor. Cuando, según programa, resulta un número superior, se reparte en los meses inmediatamente anteriores.

Balance de la utilización del combustible

El hecho de que un elemento combustible permanezca en el reactor durante más de tres años hace incómodo el cálculo del consumo de combustible anual a partir de los elementos descargados.

En los diez años de explotación se ha podido observar una gran variación de consumos, visto desde el punto de vista de movimientos de almacén, a pesar de haber habido producciones comparables. Para que los resultados sean más significativos es preciso seguir la evolución de la irradiación media del reactor, ya que, por ejemplo, un año que se descargue poco combustible implica, automáticamente (a producción constante), un aumento de la irradiación media del combustible del reactor y viceversa.

Para ello se establece la noción de número de elementos combustibles virtualmente agotados durante un año N_v , definido como la relación entre el producto de la energía térmica producida E_t por el número de elementos descargados N y la suma algebraica de la energía térmica producida E_t y la pérdida de energía potencia del reactor ΔW durante el período considerado. Es decir:

$$N_v = \frac{E_t \cdot N}{E_t + \Delta W}$$

Con este valor se puede obtener el rendimiento energético del combustible, independientemente del estado de irradiación del reactor.

En la tabla adjunta pueden apreciarse las características de utilización del reactor de Vandellós y de su combustible (tabla II).

EXPOSICION GENERAL SOBRE EL MANTENIMIENTO Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES

El objeto de este apartado es el de presentar brevemente la organización y actividades del Servicio de Mantenimiento de la Central Nuclear de Vandellós, así como dar una panorámica del comportamiento de los principales equipos o materiales, objeto del mantenimiento.

Es de señalar que una buena parte de los responsables de las diferentes secciones del Servicio vivieron un alto porcentaje de la fase de construcción y ensayos de la Central, de modo que fueron tomando a su cargo, de manera paulatina, el mantenimiento de las diferentes partes de la instalación que pasaba a régimen de explotación. Este hecho, y la estrecha relación que, ya desde el inicio, se estableció con el equipo humano de las centrales de referencia de St. Laurent des Eaux, permitieron, desde un principio, el actuar bajo planteamientos de operatividad contrastada.

En el transcurrir de la explotación hasta el momento actual de su décimo aniversario, podemos decir que se han desarrollado equilibradamente dos líneas: autonomía y vinculación. Así, hay que decir, que ha sido una constante, el buscar soluciones propias frente a dependencias del constructor o de importación de recambios, pero también se han procurado estrechar vínculos de relación y establecer intercambios de experiencias con los explotadores de centrales españolas a través de ASINEL y con las centrales del mismo tipo.

Con el objetivo de lograr la máxima disponibilidad de los equipos y aparatos de la Central, el trabajo se canaliza bajo las secuencias de Preparación, Ordenación, Ejecución, en su doble vertiente del Mantenimiento Sistemático o Preventivo y del Incidental o Correctivo.

Los trabajos sistemáticos tienen asignados un procedimiento de actuación,

derivado de las noticias constructor y que constituye la «GAMA» de trabajos, en la que se especifica la secuencia de lanzamiento.

En la actualidad el porcentaje de órdenes de trabajo sistemático es del 30 % sobre el total.

Se ha procurado encontrar el equilibrio entre excesivas o prematuras intervenciones y el riesgo de indisponibilidad importante por falta de intervención, con la idea, no obstante, de que las tareas de seguimiento y control tienen que venir incrementadas con el envejecimiento de los equipos.

Mención especial, dentro de los trabajos sistemáticos, merecen las intervenciones sobre el material directamente ligado a la seguridad nuclear y del cual hay un plan de verificaciones definido en las Especificaciones de Funcionamiento.

En cuanto a trabajos fortuitos cabe decir que su porcentaje, en número de órdenes de trabajos, es del 70 % sobre el total.

De manera general se puede decir que anualmente y en virtud de las necesidades propias se programa una parada de la instalación, cuyo momento de inicio y duración, tiene también en cuenta, los condicionantes de Dispatching, siendo, no obstante, la duración promedio de tres semanas.

Durante el período de parada programada, los efectivos de mantenimiento se ven potenciados con la participación en las actividades de personal de empresas exteriores, en cifras promedio, de 40 personas.

Desde el inicio de la explotación se ha intervenido muy directamente en todas las revisiones efectuadas por el constructor en su fase de garantía, de tal manera que en la actualidad se realizan con personal propio, si bien en las grandes máquinas se tiende a contar con la asistencia de un Supervisor por parte del Constructor.

Como consecuencia de la experiencia de explotación y también como resultado del análisis de incidentes o anomalías se pueden desencadenar propuestas internas o externas al Servicio, que una vez aprobado se convertirán en peticiones de trabajo para realizar modificaciones en la instalación.

La evaluación y eventual realización de las modificaciones en los sistemas que afectan a la seguridad de la Central, hechas en las centrales de referencia de St. Laurent des Eaux, es un imperativo administrativo para la Central Nuclear de Vandellós I.

Comportamiento del material

Electricidad

Del seguimiento de la red 5,5 Kv., con sus inspecciones de barras, disyuntores, protecciones y motores, cabe decir que el material ha tenido un comportamiento satisfactorio con las excepciones siguientes:

- Aparición de un problema de sobretensiones con descargas en aislado-

res de celdas y perforación de bobinas en un motor principal de circulación de 1.700 KW. de potencia.

Estudiado el problema resultó derivar del hecho de haber una red de neutro aislada sin resistencias de amortiguamiento en los secundarios de los transformadores de medida, con lo cual se cebaban ferro-resonancias que ocasionaron el problema citado.

La solución consistió en equiparse de resistencias de amortiguamiento. En cuanto a la reparación del motor resultó relativamente corta al disponer de bobinas de recambio. A raíz de esta situación se decidió proveerse de un estator de recambio para el conjunto de los dos motores instalados.

– Incidente en los motores de las seis bombas de alimentación principal, por daños ocasionados en la cabeza de bobinas al abrirse las aspas de los ventiladores en su base. La reparación eléctrica, en el primer caso, la realizó el constructor y, en el segundo, el propio equipo de mantenimiento eléctrico. Se procedió al cambio de ventiladores en todos los motores.

Del mantenimiento de la red y equipos de 380 V., cabe mencionar los problemas que se presentaron en motores de 161 KW., vinculados con la circulación de agua de mar de los condensadores de turbosoplantes. Dichos motores presentan calentamientos excesivos que han dado lugar a quemado del bobinado. Si bien se han rebobinado en la central y se han mejorado las condiciones de refrigeración, se está estudiando la posibilidad de realizar un bobinado bajo impregnación de resinas al vacío.

La red de continua, con sus controles sistemáticos de los conjuntos rectificador batería, no ha dado problemas específicos, más que la normal pérdida de capacidad de algunos conjuntos, por lo que se tiene que proceder a una sistemática renovación de las baterías de plomo. En casos de conjuntos de difícil mantenimiento, por lo vital del servicio, se han sustituido por baterías de Ni-Cd, como es el caso de la alimentación al ordenador TICA y a la regulación general de la Central

Alternadores principales

El comportamiento de los Alternadores Principales y sus circuitos anexos de estanqueidad y refrigeración en H₂, así como el sistema de excitación y protecciones, ha sido satisfactorio. Durante las revisiones globales de la máquina con extracción de rotor e inspección de bobinado no se ha observado ninguna anomalía ni dieléctrica, ni mecánica.

Plataforma de transformadores

Los dos transformadores principales han presentado un comportamiento algo diferenciado en su calentamiento, sin embargo, esta situación no ha llevado a imponer una limitación de potencia. Como única anomalía a señalar es la de pérdida de aceite en el número 2 por la junta de cierre de la cuba, que se subsanó con un cambio de la misma.

Evidentemente existe seguimiento de rigideces en aceite, así como de contenido en gases.

Como anomalía destacable en esta plataforma, fue el contorno de una auto-válvula de protección contra sobretensiones al transformador, al quedar by-paseado parte del aislante por parte del aro homogeneizador de campo al quedar éste colgando por un solo anclaje, cuando los demás habían roto por fatiga debido a la acción intensa del viento. Se modificaron todos los anclajes de los aros.

Parque exterior

Se tuvo que proceder a un desacomplamiento galvánico en las señales de interconexión parque-central, ya que las sobretensiones que se generaban, en situaciones perturbadas, superaban la rigidez dieléctrica de los relés.

Del aparellaje de seccionamiento y corte, ninguna anomalía hay que señalar; en el aparellaje de medida se han cambiado dos transformadores capacitivos en la salida de líneas. Se modificaron los bucles de bajada de línea a aparellaje, para darle mejor comportamiento frente a los esfuerzos a que se ven sometidos en caso de temporal de viento.

Reactor, Soplañtes

El seguimiento del reactor en sí no corresponde al Servicio de Mantenimiento, siendo la única actividad directamente ligada al mismo el del mantenimiento de la instrumentación y automatismo de posicionado de barras.

Las cadenas neutrónicas han tenido un comportamiento bastante correcto, siendo las fuentes principales de anomalías las inestabilidades en las vías electrónicas de medida, o el fallo de componentes. Por deterioro, debido a la radiación, se cambian sistemáticamente los cables de interconexión con las cámaras de arranque.

Las turbosoplantes que impulsan el gas en el interior del cajón, han tenido un comportamiento excelente y de las diferentes inspecciones globales a que han sido sometidas, no se han encontrado anomalías importantes en sus partes principales, como son los dispositivos de estanqueidad por anillos de grafito, cojinetes radiales y axiales y mecanismos de freno, bloqueo y giro inverso.

Turbinas principales

En las turbinas principales se han efectuado diversas inspecciones en los órganos de admisión y cuerpo, alta y baja presión. En los órganos de admisión se han cambiado de manera cíclica los servomotores de las válvulas de regulación.

De las inspecciones del grupo número 1 no hay anomalías importantes a señalar.

En el grupo número 2 hubo, en julio de 1979, una rotura de álabe en la rueda número 16 de HP, que implicó la decisión de corte de dos conjuntos simétricos de siete álaves en dicha rueda. En la parada programada del 81 se efectuó

una revisión con partículas magnéticas y líquidos penetrantes: el estado general de álaves se encontró correcto, incluso los sometidos a la corrosión de las últimas etapas. En esta intervención se cambió, por desgaste, el cojinete delantero del cilindro de alta.

Circuito agua-vapor

Las bombas de alimentación principales y complementarias, así como las de extracción y circulación de agua de mar, han tenido un comportamiento correcto.

Estricto seguimiento han requerido las válvulas de alimentación en agua al cambiador, así como sus servomotores y distribuidores hidráulicos de mando de posición, de los cuales se han realizado conjuntos de recambio en taller con comportamiento satisfactorio.

Automatismos

En la funcionalidad de los automatismos podemos distinguir:

– Automatismos cableados, por control de relés, con comportamiento satisfactorio y con los pequeños problemas propios de estos componentes.

Bucles de regulación. Lo constituyen los lazos de regulación de la Central ya sean electrónicos, neumáticos, electrohidráulicos o mixtos.

En la parte puramente electrónica, aparte del fallo de algún componente y de las campañas de ajustes sistemáticos, hay que mencionar cierta tendencia al aumento de rizado en señales por envejecimiento de condensadores de filtrado.

En la parte neumática o electrohidráulica son de destacar las intervenciones que, por desgastes mecánicos, han tenido que realizarse en servomotores, relés piloto, así como el cambio de bobinas en electroválvulas.

– Cadenas de Control. Aquí se incluyen: Cadena de detección rotura de vainas, cadena neutrónica, cadena de vigilancia incendios y radioprotección, etcétera. Como fuente principal de averías de este capítulo serían los de origen electromecánico en los dispositivos de detección de rotura de vaina.

TICA

El ordenador TICA tiene como función el tratamiento de la información y el mando automático. La producción va directamente ligada a su buen funcionamiento de tal manera que está constituido por un sistema doblado piloto-reserva.

Su funcionamiento ha sido regularmente estable, sin descartar alguna anomalía ligada a la falsa adquisición de medidas por defectos de filtros, o alteración de alguna salida analógica. La memoria de ferritas de la unidad central en tres ocasiones ha tenido problema de corte en el hilo de lectura. En cuanto a las memorias de masa constituida por tambores magnéticos no han dado anomalías, si bien no es descartable pensar en una alternativa futura a los mismos, mediante discos o conjuntos estáticos.

El conjunto de periféricos, bandas magnéticas, impresora rápida e impre-

soras se han llevado un buen porcentaje de la actividad del mantenimiento; actualmente se han sustituido las impresoras de impresión por bola, a impresión por matriz de agujas.

Central Auxiliar

La Central Auxiliar debe garantizar el suministro autónomo de vapor y energía eléctrica a los auxiliares de la Central y para ello consta de cuatro conjuntos caldera-alternador de 3,4 MW eléctricos cada uno. Igualmente garantiza, mediante cuatro conjuntos, la producción de aire comprimido. Dado lo vital del servicio, su mantenimiento es muy estricto, debiéndose disponer de, por lo menos, tres conjuntos en servicio. No hay comportamientos anómalos de material digno de señalar, pero sí mayor relevancia tiene el hecho de que se realizaron entre los años 1979-80 las modificaciones inherentes al cambio de combustible utilizado, pasando de gasóleo a fuel, utilizando solamente el gasóleo para la fase de encendido.

RADIOPROTECCION - DOSIMETRIA DE PERSONAL

El tema de la protección radiológica tiene, en el momento actual, una proyección social importante, además de su contenido técnico.

No es posible, en una exposición resumida, como la que corresponde a este artículo de carácter general, dar una completa y detallada descripción de todos los aspectos que la misma lleva consigo y nos limitaremos a dar los resultados correspondientes a la dosimetría de personal, así como enumerar unas conclusiones generales finales de la experiencia obtenida en relación con los temas de este apartado.

Dosimetría de personal

Este tema se expone con más detalle, debido a la mayor trascendencia de su significación.

La información se refiere a las dosis corporales globales y se presenta elaborada de la siguiente manera:

Presenta la evolución de la carga radiológica total debida a la explotación, acumulada por años, con el desglose de las que corresponden a paradas programadas en cada uno de dichos años.

Los valores más altos, correspondientes a los años 1976 (65,5 % superior al valor medio) y 1977 (29,6 % de incremento sobre la media, sin que se realizase ningún paro programado), se corresponden, esencialmente, con un aumento importante de nivel de irradiación de la nave de piscinas debido al incremento de la actividad del agua por roturas de vaina en el combustible almacenado y el consiguiente período posterior de restauración progresiva de los niveles de actividad, así como a va-

lores más altos, en consecuencia, de la actividad de los circuitos asociados.

El máximo relativo de 1980 (algo inferior, sin embargo, al valor medio) es debido, fundamentalmente, a trabajos singulares de obturación de pasos de gas en el suelo del cajón del reactor, con tiempos de permanencia prolongados y niveles de irradiación más altos en relación con los generales.

El valor medio anual de la carga radiológica acumulada se sitúa en 31,1 H. Rem con una contribución de dosis debidas a las paradas programadas muy variables (desde 2,4 % en 1974 hasta 67,5 % en 1981). No hubo paros programados en 1977.

T. III

PROMEDIOS DE DOSIS

- Dosis corporales 1973-1981

Contratado:	2,3 H. Rem	(7,4 %)
Plantilla:	28,8 H. Rem	(92,6 %)
Operación:	18,2 H. Rem	(58,5 %)
Mantenimiento:	12,9 H. Rem	(41,5 %)

- N.º promedio anual de personal «profesionalmente expuesto»: 296

- Dosis anual individual media 0,1/0,44 (*) Rem

- Dosis anual individual máxima, en todo el período: 3 (**) Rem

- Dosis individual máxima por una intervención aislada ~ 3 (**) Rem

(*) Descontadas en este segundo valor las dosis individuales inferiores a 100 milirem/año.

(**) 2.690 milirem por estilodosímetro y 3.120 milirem por película fotografía.

En ella se refleja el reparto de la carga radiológica entre el personal de plantilla y el contratado, y entre las funciones de operación y mantenimiento de la planta, con sus respectivos tantos por ciento de contribución.

Resulta significativa la escasa contribución de dosis respecto del personal exterior de contrata, con sólo un 7,4 %

Por otra parte, el que la contribución de dosis por la «operación» (en sentido

general), sea superior a la de «mantenimiento» es debido a la significativa contribución a aquella por los conceptos de manipulación del combustible y protección radiológica, como se analiza a continuación.

(Tabla IV. Página siguiente)

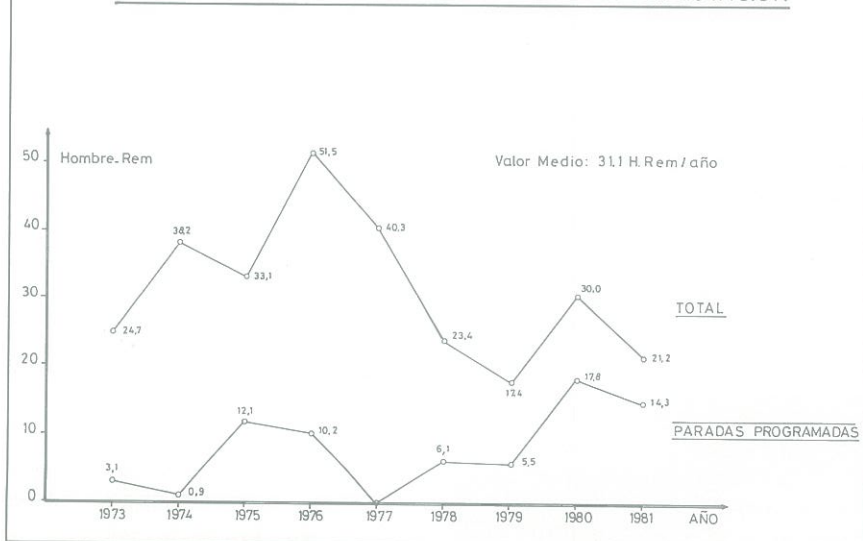
Esta tabla presenta el reparto de dosis anuales promediadas en el período 1973-1980, por los distintos tipos de actividades, según una clasificación convencional.

Las mayores dosis relativas totalizadas (cargas radiológicas parciales), corresponden a los trabajos de mantenimiento mecánico (28,9 %), manipulación del combustible (21,3 %) y protección radiológica (15,6 %).

En lo que concierne a las dosis anuales máximas individuales, el máximo absoluto supone un 60 % de los límites permisibles.

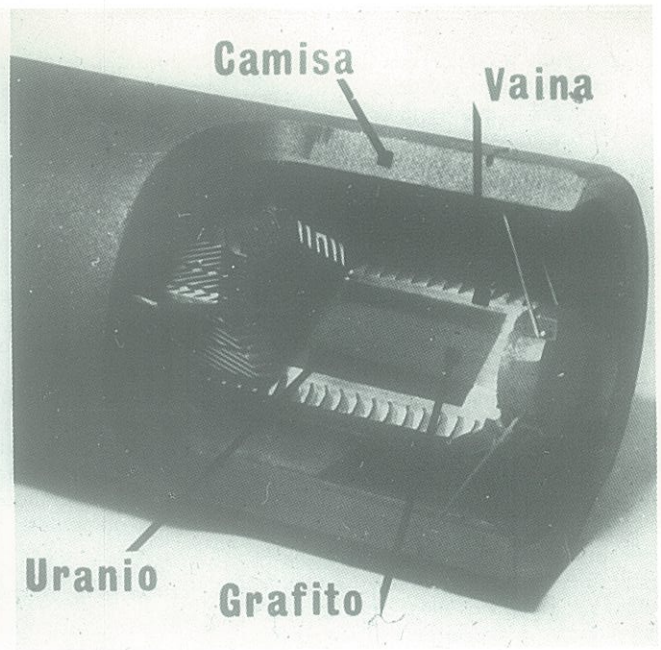
En ella se presenta, finalmente, la distribución de las dosis entre los operarios, por intervalos de medio Rem, a partir de los datos anuales promediados en el período 1973 a 1980, con los únicos comentarios significativos de que el 92 % de los operarios han recibido dosis anuales inferiores a 0,5 Rem y de que

EVOLUCION DE LA CARGA RADIOLOGICA DE EXPLOTACION





8. Sala de control.



9. Vista de un corte del elemento combustible.

dosis superiores a 1 Rem anual se reciben por sólo un 2 % de los operarios.

NOTA: El control dosimétrico se realiza en CNV-I por duplicado, con los sistemas de cámara de ionización de lectura directa (estilodosímetro) y película fotográfica (servicio JEN), habiendo buena consonancia entre los resultados respectivos, dentro de un margen de un 20 %

Conclusiones generales

I. En cuanto al estado radiológico de las diversas zonas de intervención del personal, sólo cabe hacer mención del recinto de presión o cajón del reactor y de los sistemas de manipulación del combustible irradiado (DPM-Piscinas). Evidentemente, en el cajón sólo se trabaja en paradas programadas por debajo de la zona reactor: en dichas zonas los valores de radiación y contaminación son bastante estables y poco im-

portantes y esencialmente son debidos a productos de activación.

El caso de DPM es muy parecido al del cajón.

El estado radiológico de piscinas y circuitos de depuración asociados se caracteriza, en cambio, por el predominio de productos de fisión (consecuencia de las roturas de vainas que aparecen durante un prolongado almacenamiento del combustible irradiado) de vida relativamente larga, entre los que destacan el Cesio-137 (acompañado del Cesio-134 como producto de activación asociado). Dichos isótopos dan valores de contaminación algo superiores y caracterizan el espectro actual de efluentes radiactivos líquidos.

II. Las dosis corporales de radiación acumuladas por el personal profesionalmente expuesto suponen un 2 % de los límites (o un 8,8 % si se descuentan

aquellos operarios cuyas dosis no sobrepasan los 100 milirem al año).

III. La carga radiológica media de la década de explotación se ha situado en un valor de 31,1 H. Rem y la afectación a personal exterior de contrata supone solamente el 7,4 % de la misma.

IV. La vigilancia radiológica ambiental en el entorno de 30 km. de radio no ha evidenciado aportación sensible de radiactividad correlacionable con la operación de la planta, estimándose el impacto radiológico medio como muy inferior al 1 % de la radiactividad natural.

V. La producción de desechos radiactivos sigue el ritmo previsto, disponiendo las instalaciones existentes de una capacidad suficiente de almacenamiento. La contribución de la manipulación de desechos y efluentes radiactivos a las cargas radiológicas de la explotación es, en media, de alrededor de un 5 %.

T. IV

DOSIS PROMEDIO ANUAL 1973-1980

Tipo de trabajo		D. Totales (Rem)	D. Anual Máxima Individual (Rem)
Operación		2,53	0,43
Radioprotección		5,05	2,43
Mantenimiento	Eléctrico	0,30	0,16
	Instrumentación	0,24	0,25
	Mecánicos		
	Soldadores	1,67	3,00
	Engrasadores	1,59	1,28
	Resto (Taller, Valvulería)	3,09	0,96
	Máquin. Manut. Comb.		
	Eléctrico	0,60	0,63
Mecánico		3,03	1,21
Combustible		6,90	1,78
Control técnico		1,94	1,08
Acondicionamientos res. y efluentes		1,63	2,98
Inspección en servicio		0,28	0,26
Pintura		0,31	0,32
Limpieza industrial		1,36	1,07
Personal contratado		1,92	2,64

T. V

DISTRIBUCION ANUAL PROMEDIO DE DOSIS POR INTERVALOS DE 0,5 REM. 1973-1980

Dosis (REM)	Promedio anual de operarios (%)
0 - 0,5	92,2
0,5 - 1,0	5,8
1,0 - 1,5	1,5
1,5 - 2,0	0,35
2,0 - 2,5	0,05
2,5 - 3,0	0,10

BREVE MENCION SOBRE EL COMPORTAMIENTO DEL GENERADOR DE VAPOR

El generador de vapor de la central nuclear de Vandellós ha tenido un com-

portamiento irregular con la aparición de un fenómeno de erosión-corrosión que empezó a manifestarse a mediados de 1975, esto es, tres años después de la puesta en funcionamiento de la Central.

El cambiador de calor produce el vapor sobrecalentado necesario para el abastecimiento de las turbinas de los grupos turbo-alternadores y de los grupos de soplado, a partir de la potencia térmica del reactor, el cual se la transmite por intermedio del CO₂.

El cambiador debe, además, poder asegurar en cualquier circunstancia, la refrigeración del reactor. Por consiguiente, debe poder alimentarse en caso de paradas parciales o totales de la instalación.

Por ello y dadas las condiciones impuestas al soplado, han conducido a dividir el circuito de agua vapor en cuatro circuitos independientes, cada uno, alimentando un grupo de soplado, y dos, un grupo turbo-alternador: podemos concluir que disponemos de cuatro generadores de vapor, que aunque mecánicamente muy imbricados entre ellos, están bien separados de la parte de alimentación de agua y salida de vapor.

El cambiador está situado en el interior del cajón y por debajo del reactor, ocupando un volumen en el recinto de presión de, aproximadamente, 15 m. Ø x 10 m. h.

A fin de utilizar al máximo el emplazamiento disponible, el cambiador de calor está dividido en 26 subconjuntos principales, denominados torres y cuatro subconjuntos más pequeños llamados semitorres.

Cada uno de estos subconjuntos, a su vez, está dividido en cuatro sistemas independientes del lado agua-vapor, estando cada uno de estos cuartos de torre unidos a los colectores principales en el exterior del cajón. El elemento aislable más pequeño desde el exterior del cajón corresponde, por consiguiente, a uno de los 120 cuartos de torre o semitorre, o sea 1/112 de la superficie del cambiador (1/224 en el caso de las semitorres). Este aislamiento, sin embargo, no puede hacerse más que por seccionamiento y obturación de las tuberías correspondientes.

El cambiador de calor es monotubular a circulación forzada sin materialización del punto de fin de vaporización. La adopción de un cambiador de este estilo viene obligada por el hecho, de que la presencia de un depósito separador impediría la solución del generador de vapor integrado.

La unidad elemental del cambiador es un panel vertical constituido por tubos aleateados horizontales unidos entre ellos por codos lisos (no aleateados).

Un panel está constituido por 83 tubos aleateados en serie. El panel es la parte más pequeña aislable del cambiador desde el interior del cajón, caso de producirse una fuga en el interior de una torre.

El cambiador comprende 1.386 paneles funcionando en paralelo. Las torres

reagrupan, cada una, 49 paneles. Las semitorres reagrupan 28.

En cada torre o semitorre los paneles están repartidos en 4 grupos, asociados, cada uno, a un distribuidor de agua en la parte baja de la torre y a un colector de vapor situado en la parte superior.

Los cuatro sistemas de paneles están, en cada torre, imbricados geométricamente a fin de poder garantizar, en caso de aislamiento de un cuarto de torre, una refrigeración homogénea de la vena gaseosa.

Los paneles constituyentes de cada torre se diferencian en dos tipos, cuyas características de diseño han marcado una condición operativa de gran significado, con resultados de comportamiento muy diferentes:

Paneles pares o colgados

Estos paneles, situados en lugares pares de acuerdo con un determinado ordenamiento, están soportados en los extremos de estructura de la torre mediante unas abrazaderas superiores; en ellos, los bastones componentes del panel se unen mediante una soldadura que se encuentra justamente antes del codo en el sentido de recorrido del fluido.

Paneles impares o apoyados

Estos paneles, situados en lugares impares, están apoyados en los extremos de estructura y sujetos en sus partes inferiores mediante abrazaderas; en ellos la unión entre bastones se hace mediante soldaduras que se encuentran inmediatamente después del codo en el sentido de recorrido del fluido.

Comportamiento

Dos fenómenos han sido causa de perturbaciones en el funcionamiento del generador de vapor. El primero se refiere al defecto que apareció, a poco de comenzar la explotación, en los diafragmas fijos que regulan la distribución de agua en los paneles del cambiador. Este problema fue totalmente subsanado en una parada programada en septiembre de 1973, con el cambio de la totalidad de los mencionados diafragmas por un nuevo diseño.

El segundo problema, de más envergadura en cuanto a consecuencias operativas, se refiere a un fenómeno de erosión-corrosión, que llega a perforar el material del tubo del cambiador en los codos de unión de las cañas horizontales. Este fenómeno se desarrolla, fundamentalmente, en la zona de vaporización y exclusivamente en los paneles pares (sólo ha habido un panel impar con fuga, de los 51 perforados), y observándose, asimismo, un comportamiento muy disimétrico en las cuatro unidades que componen el cambiador de calor: De las 51 fugas aparecidas, 13 se manifiestan en el generador número uno, 28 en el número dos, 5 en el número tres y 4 en el número cuatro.

Los generadores 1 y 2 alimentan al grupo turbina principal número 1 y los generadores 3 y 4 alimentan el grupo turbina principal número 2.

Este fenómeno fue detectado al mismo tiempo en SL 1 y SL 2, también es característico de los generadores de vapor de las centrales nucleares inglesas tipo Magnox con cambiador a circulación forzada sin calderín.

La erosión-corrosión en condiciones de fluido en doble fase, tiende a impactar sobre todas las zonas donde se producen bruscos cambios de dirección. El fenómeno es asimismo sensible en materiales de acero poco aleados, donde la presencia de metales nobles como Cr, Mo, Ni, etc..., es nula o casi nula. Precisamente estas condiciones son las que se dan en el generador de la Central Nuclear de Vandellós.

La única posibilidad viable de corregir o aminorar el desarrollo del fenómeno es manteniendo un extremado cuidado en la química del agua, evitando al máximo la presencia de aniones oxidantes; juega también un importante papel la inyección de aditivos alcalinizantes o neutralizantes de oxígeno (amoníaco o morfina, e hidracina).

En este sentido, creemos que el fenómeno ha sido más apreciable en el generador de vapor número 2 en Vandellós por la presencia de cloruros no detectables, al nivel de sensibilidad de la instrumentación disponible, aún a pesar de un tratamiento continuo y completo del agua de extracción. En cuanto al grado de alcalinización su posible defecto ha contribuido casi por igual en los cuatro generadores de vapor. Inicialmente se trabajó con amoníaco a pH 9.3, que se descendió a 9.1 (1974-1975), y a partir de la aparición y estudio del fenómeno a finales de 1975, se volvió a pH 9.3 con amoníaco.

Las actuaciones fundamentales realizadas han sido:

- Disminución de la velocidad del fluido por descenso de potencia (al 85 %) y aumento de presión de vapor.
- Cambio de zona de vaporización, aumentando la temperatura CO₂ salida cambiador.
- Aumento de la alcalinización, a pH de 9.5 con amoníaco, y últimamente cambio de alcalinizante: morfina (pH 9.2).

El estudio permanente que se viene haciendo desde 1976, nos permite asegurar que la velocidad de actuación de erosión-corrosión es mucho más lenta que la de los tres primeros años, y que en la nueva zona de vaporización no se producen hasta el momento nuevas fugas de tubos.

Las fugas que han seguido apareciendo, son consecuencia, sobre todo, al daño inicial ocasionado durante los tres primeros años, en codos muy debilitados en donde por fatiga mecánica debían originarse fisuras del material.

La indisponibilidad del generador equivale, actualmente, al 3,6 % de la superficie total.