



Arturo BRETON SANCHEZ es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona. Pasó a formar parte integrante de la plantilla de Hispano-Francesa de Energía Nuclear, S. A., en 1969. En la actualidad ocupa el puesto de Jefe del Servicio de Operación de la Central Nuclear de Vandellós I. Es miembro de la Sociedad Nuclear Española.



Manuel FOLGUERA MATEO es Ingeniero Industrial por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona. Pasó a formar parte integrante de la plantilla de Hispano-Francesa de Energía Nuclear, S. A., en 1982. En la actualidad ocupa el puesto de Subjefe del Servicio de Operación de la Central Nuclear de Vandellós I. Es miembro de la Sociedad Nuclear Española.

BALANCE DE LA EXPLOTACION DE LOS QUINCE PRIMEROS AÑOS

A. BRETON – M. FOLGUERA

PRESENTACION

La Central Nuclear de Vandellós I, propiedad de Hispano-Francesa de Energía Nuclear, S. A. (HIFRENSA), está situada en el término municipal de Vandellós (Tarragona) y está comprendida en la zona costera entre la línea de ferrocarril de Barcelona a Valencia y el mar.

La Central, con una potencia eléctrica neta de 480 MW, responde a un modelo europeo, el de centrales de Uranio Natural-Grafito-Gas, desarrollado por el Reino Unido y Francia, y concretamente su diseño está basado sobre un proyecto elaborado conjuntamente por Electricité de France (EDF) y el Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) que concluyó con la construcción de las Centrales de Saint Laurent des Eaux 1 y 2, y Vandellós I.

La Central fue construida para la empresa HIFRENSA por un grupo de constructores franceses, con participación de numerosas empresas españolas bajo el criterio de "llave en mano", iniciándose la construcción a finales de junio de 1967.

DESCRIPCION GENERAL DE LA CENTRAL

CAJON

El cajón es el recinto hermético de hormigón pretensado que contiene el reactor y el cambiador de vapor bajo presión de gas CO₂ a alta temperatura. La cavidad interior en la que van instalados el reactor, el cambiador y las soplantes es un cilindro de bases planas de 19,05 m de diámetro y 36,291 m de

altura disponible. El espesor máximo de pared es de 7 m y el mínimo 5 m, siendo la forma exterior del cajón hexagonal, con una altura de 49,150 m. Los 3.676 cables de pretensado alcanzan una longitud a lo largo de la pared de hormigón de 150 km, estimándose el peso total del cajón con sus equipos en 85.000 t.

Dispuestos a través de la losa superior hay 199 orificios que ponen en comunicación la cavidad con la máquina integrada del Dispositivo Principal de Manutención, de los cuales 109 pozos corresponden a pozos de carga de combustible y 90 a pozos de barras de control.

Dispuestos a través de la base inferior del cajón se encuentran los orificios por donde pasan las tuberías de alimentación de agua al cambiador (30), los orificios de paso de vapor hacia turbina (112), los orificios por donde pasan las tuberías de CO₂ correspondientes al llenado, vaciado, regulación y depuración (9), y los orificios de paso para toda la instrumentación interna del recinto, incluidos los de la detección de rotura de vaina.

En cada una de las seis caras laterales que constituyen la forma externa hexagonal del cajón se ha practicado una abertura, cuatro de las cuales corresponden a las soplantes, y las dos restantes sirven como acceso y ventilación durante las paradas programadas.

REACTOR

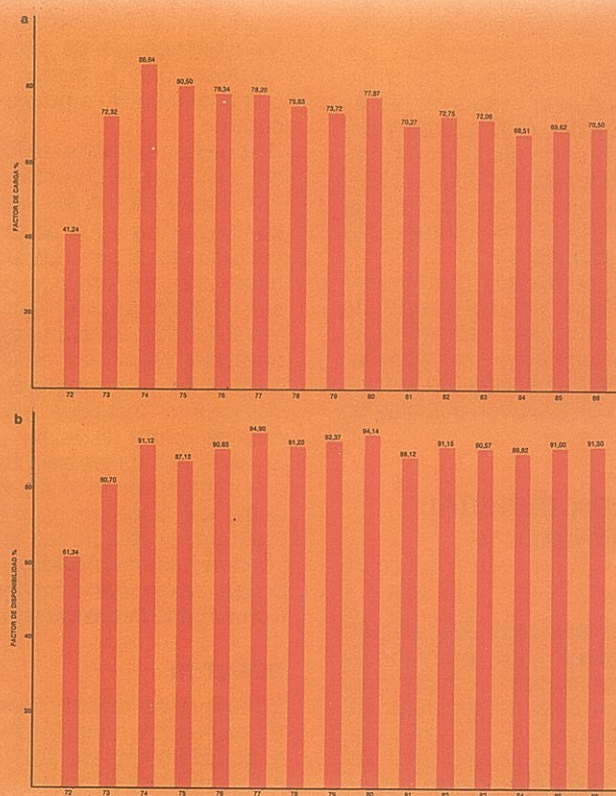
El núcleo del reactor tiene dos grupos de elementos constitutivos:

- El apilamiento de grafito.
- La carga de elementos combustibles y las barras de control.

	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	Acumul.
Energía térmica producida (MWh)	4.315.632	10.864.415	12.904.957	12.294.115	12.122.069	12.034.174	11.770.824	11.490.611	12.201.645	11.008.340	11.198.463	11.336.646	10.824.637	11.154.305	11.382.034	166.902.866
Energía térmica producida (MWd)	179.818	452.864	537.707	512.255	505.086	501.424	490.451	478.775	508.402	458.681	466.603	472.360	451.026	464.763	474.251	6.954.286
Días equivalentes a plena potencia (JEPP's)	102,7	258,5	307,1	292,5	288,4	286,3	280,1	273,4	290,4	263,6	266,6	269,9	257,7	265,6	271,0	3.973,9
Energía eléctrica bruta producida (MWh)	1.185.186	3.147.228	3.770.858	3.506.155	3.424.509	3.406.008	3.294.127	3.210.727	3.399.458	3.063.328	3.165.472	3.135.637	2.992.619	3.035.487	3.076.872	46.813.671
Energía eléctrica vertida a la red (MWh)	1.140.280	3.040.871	3.643.234	3.384.736	3.303.046	3.288.122	3.179.904	3.099.725	3.283.352	2.954.816	3.059.043	3.029.862	2.888.431	2.927.583	2.964.500	45.187.505
Energía eléctrica convencional producida (MWh)	40.640	33.343	36.990	35.863	34.860	36.652	34.621	32.730	34.772	33.830	35.209	34.338	33.903	31.069	31.418	520.238
Energía eléctrica nuclear absorbida (MWh)	49.960	106.357	127.624	121.419	121.463	117.886	114.223	111.002	116.106	108.512	106.429	105.775	104.188	107.904	112.372	1.626.166
Energía eléctrica absorbida de la red (MWh)	284	1.713	3.112	2.931	1.344	1.907	1.469	1.025	1.301	2.755	1.087	2.126	2.288	1.981	1.826	27.149
Energía eléctrica consumida en la central (MWh)	85.830	141.413	167.726	160.213	157.667	156.445	150.313	144.757	152.179	145.097	142.725	142.239	140.379	140.954	145.616	2.173.553
% de energía consumida respecto a vertida a la red	7,53	4,65	4,60	4,73	4,77	4,76	4,73	4,67	4,63	4,91	4,67	4,69	4,86	4,81	4,91	4,91
Rendimiento bruto (%)	27,46	28,97	29,22	28,52	28,25	28,30	27,99	27,94	27,86	27,83	28,27	27,66	27,65	21,21	27,03	28,02
Rendimiento neto (%)	26,42	27,99	28,23	27,53	27,25	27,32	27,02	26,98	26,91	26,84	27,32	26,73	26,68	26,25	26,05	27,05
Factor de carga (%)	41,24	72,32	86,64	80,50	78,34	78,20	75,63	73,72	77,87	70,27	72,75	72,06	68,51	69,62	70,50	73,28
Factor de disponibilidad	61,34	80,70	91,12	87,12	90,63	94,90	91,20	92,37	97,14	88,12	91,15	90,57	89,82	91,00	91,30	89,00
Fugas de cambiador	-	-	-	7	7	2	4	3	5	15	8	11	12	6	2	82
Elementos combustibles cargados	40.797	6.703	13.878	9.863	6.227	11.773	7.799	8.752	7.098	10.074	7.146	8.388	7.200	8.820	8.142	162.660
Elementos combustibles descargados	-	4.417	13.654	9.841	6.227	11.633	7.705	8.680	7.044	10.056	7.155	8.408	7.216	8.830	8.151	119.017
Toneladas de uranio cargado	418,69	68.706	142.250	101.096	63.827	120.673	79.940	89.708	72.755	103.259	73.246	85.977	73.800	90.405	83.455	1.667.265
Toneladas de uranio descargado	-	45.274	139.954	100.870	63.827	119.238	78.976	88.970	72.201	103.074	73.339	86.182	73.964	90.507	83.548	1.219.924
Energía térmica suministrada por los elementos descargados (MWd)	-	57.408	339.667	394.403	264.392	534.360	393.442	477.393	400.128	571.645	402.649	476.991	409.534	501.959	466.600	5.690.571
Irradiación media de los elementos descargados (MWd/t)	-	1.268	2.427	3.910	4.142	4.981	4.982	5.366	5.542	5.546	5.490	5.535	5.537	5.546	5.585	4.665
Irradiación media 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	2.678	2.670	2.759	2.675	2.693	2.693
Energía eléctrica bruta/E.C. virtualmente agotado (KWh)	-	90.359	174.456	274.313	287.848	311.991	342.989	368.844	379.838	379.648	381.750	376.608	377.72	371.279	371.392	321.881
Caida de barras con ciclo térmico	41	36	12	19	2	19	6	10	8	15	9	10	8	7	9	211

F I Datos estadísticos

F II Factores de carga y disponibilidad



El núcleo del reactor, de una potencia nominal de 1.670 MW, está constituido por un apilamiento cilíndrico de barras de grafito atravesadas por canales en los que se disponen los elementos combustibles y las barras de control. Todos los canales son recorridos por una corriente de gas CO₂. El conjunto del núcleo descansa sobre una plataforma de acero denominada enlosado y el conjunto de las barras de grafito es mantenido lateralmente por un corse y un anillo, estando rodeado el apilamiento por una pantalla térmica de acero para proteger el cajón de las radiaciones procedentes del núcleo. El apilamiento de grafito tiene aproximadamente la forma de un cilindro recto de eje vertical de 10,20 m de altura y 15,73 m de diámetro equivalente, con un peso total de 2.440 t.

El combustible utilizado en Vandellós I es uranio natural (uranio metálico débilmente aleado Sicral F1), con geometría cilíndrica en forma de tubo con un peso aproximado por cada cartucho de 10 kg y una longitud de 539,5 mm. La vaina aleada que asegura el aislamiento del combustible al mismo tiempo que transfiere el calor al fluido refrigerante es de magnesio aleado con circonio (0,35-0,50 %). Los elementos combustibles, con una irradiación máxima de funcionamiento de 6.500 MWd/t, se introducen en 2.985 canales de los 3.072 canales que permiten su

carga, teniendo cada canal 15 elementos combustibles.

Para evitar que los cartuchos no descansen los unos sobre los otros en el canal, están soportados individualmente por un cilindro hueco de grafito denominado camisa de 600 mm de longitud, que al mismo tiempo permite el agarre del elemento combustible en su proceso de renovación por el Dispositivo Principal de Manutención (DPM). Aseguran el control y regulación del reactor 135 barras de control repartidas en cinco grupos funcionales, son de dos tipos en función de su absorción; unas denominadas "grises", constituidas exclusivamente por acero inoxidable, y otras denominadas "negras", con un poder absorbente más elevado, constituidas por acero inoxidable y carburo de boro sinterizado.

CAMBIADOR

Está constituido por 1.386 paneles en forma de serpentín, a circulación forzada con tubos aleteados horizontales en serie, en número de 83 por panel. El cambiador está distribuido en cuatro circuitos independientes, montado en 26 torres de 49 paneles cada una y cuatro semitorres de 28 paneles cada una (véase artículo dedicado al cambiador de vapor).

CIRCULACION DE GAS

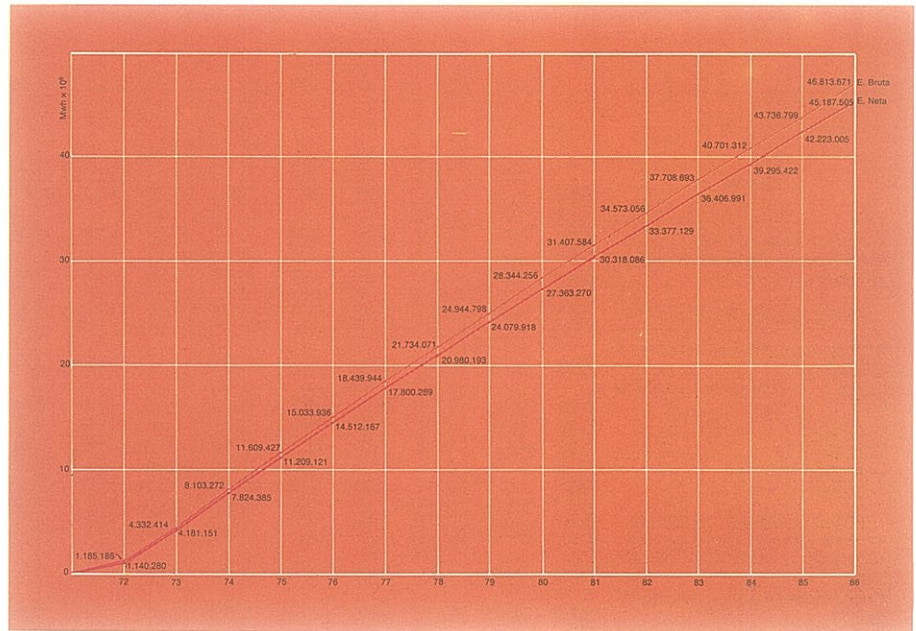
La circulación del gas refrigerante, CO₂, se lleva a cabo por cuatro soplantes accionadas por turbinas a vapor de una sola etapa, con una potencia útil de 15 MW cada una. La circulación del gas es descendente por el reactor y cambiador, y ascendente por la zona anular y externa de la impulsión de las soplantes, en el interior del cajón. El caudal de CO₂ es función de la velocidad de rotación y va desde 400 rpm (1 t/s) a polaridad fija, a 2.400 rpm a plena carga, correspondiendo a este régimen un caudal de soplado total de 9.080 kg/s a una presión nominal del cajón de 29 bars.

PRODUCCION DE ENERGIA

Dos turbinas de 250 MW de potencia, constituidas cada una por un cilindro de alta presión y dos cilindros de baja presión en paralelo, con condensación, arrastran cada una 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 1.030 t/h en cada grupo.

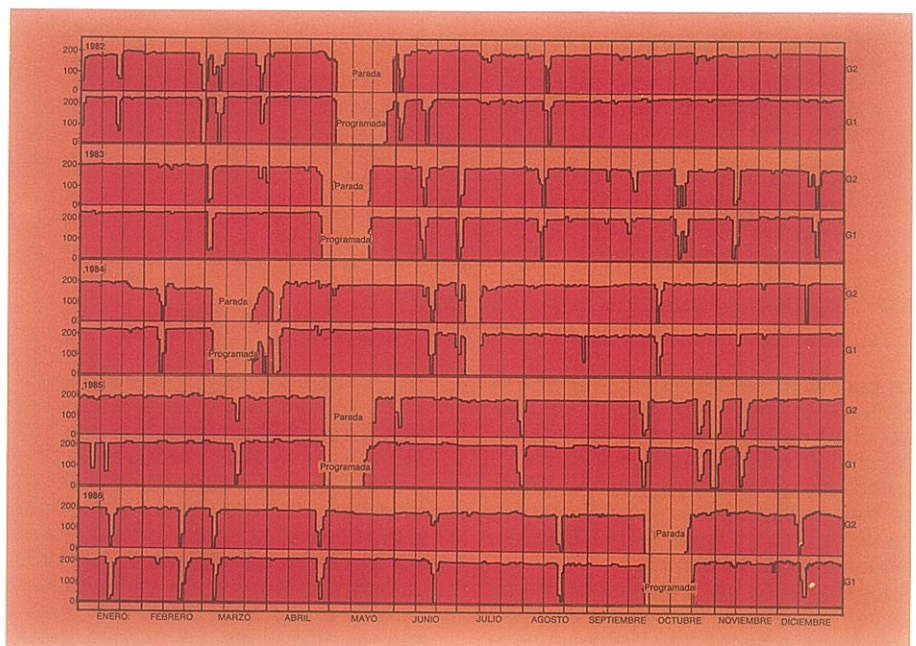
REGULACION

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 tempera-



F III Gráfico de producción de energía

F IV Potencia bruta media diaria de los grupos principales



tura del CO₂ a la salida del reactor gobierna la potencia del reactor.

La regulación se ve asistida por un ordenador que, trabajando en tiempo real, además de establecer puntos de consigna, informa de los diferentes parámetros operativos, interviene en la operación e información del sistema de detección de rotura de vainas, informa de condiciones de alarma previas a las de disparo y actúa conjuntamente con las seguridades cableadas en todas las seguridades de la Central.

RESULTADOS DE EXPLOTACION

Terminada la construcción de la Central a finales del año 1971, se empezó la carga del reactor con combustible nuclear, finalizando ésta el 5 de febrero de 1972. Después de haber recibido del Ministerio de Industria el Permiso de Explotación Provisional, el reactor consiguió su primera criticidad el 11 de febrero de 1972, acoplándose a la red eléctrica por vez primera el 6 de mayo.

Causas	AÑOS															MEDIA
	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986		
Parque y línea 380 kv	2,03	2,93	0,45	0,00	0,82	1,16	0,36	0,43	0,83	0,30	0,37	0,33	0,00	0,40	0,74	
Presencia de Algas en Estación de bombeo	0,96	1,87	0,48	0,05	1,60	0,34	0,30	1,63	0,00	0,91	0,33	0,01	0,37	0,00	0,63	
TOTAL CAUSAS EXTERNAS	2,99	4,80	0,93	0,05	2,42	1,50	0,66	2,06	0,83	1,21	0,70	0,34	0,37	0,40	1,37	
Seguridades Reactor, Pilotaje y DRG-G	1,89	0,78	1,30	0,39	0,99	0,36	0,43	0,00	2,16	0,30	0,78	0,08	0,35	1,41	0,80	
Carga y descarga de combustible	0,39	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	
Regulación	0,70	0,39	0,32	0,01	0,46	0,15	0,38	0,40	0,38	0,40	0,63	0,01	1,24	0,01	0,39	
Calculadores	1,32	0,70	1,59	0,00	0,77	0,01	0,12	0,02	0,94	0,00	0,71	0,75	0,42	1,17	0,61	
Grupos Principales	1,13	1,10	0,71	2,08	3,06	1,08	2,79	0,00	0,02	0,44	0,11	0,41	0,31	0,11	0,95	
Turbosoplantes	0,31	1,23	0,17	0,34	0,45	0,10	0,00	0,57	0,09	0,01	0,03	1,41	0,86	0,07	0,41	
TOTAL CAUSAS INTERNAS	5,74	4,51	4,09	2,82	5,73	1,70	4,12	0,99	3,59	1,15	2,26	2,66	3,18	2,77	3,24	
Detección y aislamiento de fugas	0,00	0,00	1,16	0,60	0,16	0,42	0,42	0,31	0,65	0,45	0,34	1,79	0,02	0,01	0,45	
Descensos de carga por humedad	3,96	0,53	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	0,00	0,82	0,09	0,00	0,00	0,65	
Reducción voluntaria del caudal en el cambiador	0,00	0,00	1,26	9,05	13,49	14,09	14,62	15,10	16,79	17,24	18,35	20,61	21,90	21,64	13,15	
TOTAL CAMBIADORES	3,96	0,53	4,65	9,65	13,65	14,51	15,04	15,41	18,29	17,69	19,51	22,49	21,92	21,65	14,21	
CAUSAS EXTERNAS	2,99	4,80	0,93	0,05	2,42	1,50	0,66	2,06	0,83	1,21	0,70	0,34	0,37	0,40	1,37	
CAUSAS INTERNAS	5,74	4,51	4,09	2,82	5,73	1,70	4,12	0,99	3,59	1,15	2,26	2,66	3,18	2,77	3,24	
CAMBIADORES	3,96	0,53	4,65	9,65	13,65	14,51	15,04	15,41	18,29	17,69	19,51	22,49	21,92	21,65	14,21	
P. PROGRAMADA MANTENIMIENTO	0,00	3,52	4,73	7,18	0,00	0,66	6,46	3,67	5,08	7,20	5,47	4,42	4,91	4,68	4,57	
OTRAS PARADAS INTERVENCIÓN CAMB.	14,99	0,00	5,10	1,96	0,00	0,00	0,00	0,00	1,94	0,00	0,00	1,58	0,00	0,00	1,83	
TOTAL INDISPONIBILIDAD	27,68	13,36	19,50	21,66	21,80	24,37	26,28	22,13	29,73	27,25	27,94	31,49	30,38	29,50	25,22	
FACTOR DE CARGA	72,32	86,64	80,50	78,34	78,20	75,63	73,72	77,87	70,27	72,74	72,06	68,51	69,62	70,50	74,78	
TOTAL	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

FF Indisponibilidad anual de la Central Nuclear de Vandellòs I (en %)

La puesta en Servicio Industrial con el 60 % de potencia contractual tuvo lugar el 10 de junio, mientras que la Recepción Provisional, relacionada con la obtención de una potencia del 90 %, se hizo el 26 de julio de 1972, transfiriéndose de este modo a HIFRENSA la explotación de la Central.

A los dos años de la Recepción Provisional, es decir, el 26 de julio de 1974, tuvo lugar la Recepción Definitiva de la Central, según establecía el Contrato con el Grupo de Constructores. Finalmente, el 29 de abril de 1982 se obtuvo el Permiso de Explotación Definitivo de la Central Nuclear de Vandellòs I. En la figura I aparecen recopilados los datos estadísticos operativos más importantes de la Central agrupados por años. De ellos se deduce, entre otros, que desde la puesta en marcha de la Central hasta el 31 de diciembre de 1986 se han vertido a la red 45.187.505 MWh, lo que equivale a un factor de carga medio en este período del 73,28 %, con un factor de disponibilidad del 89 %.

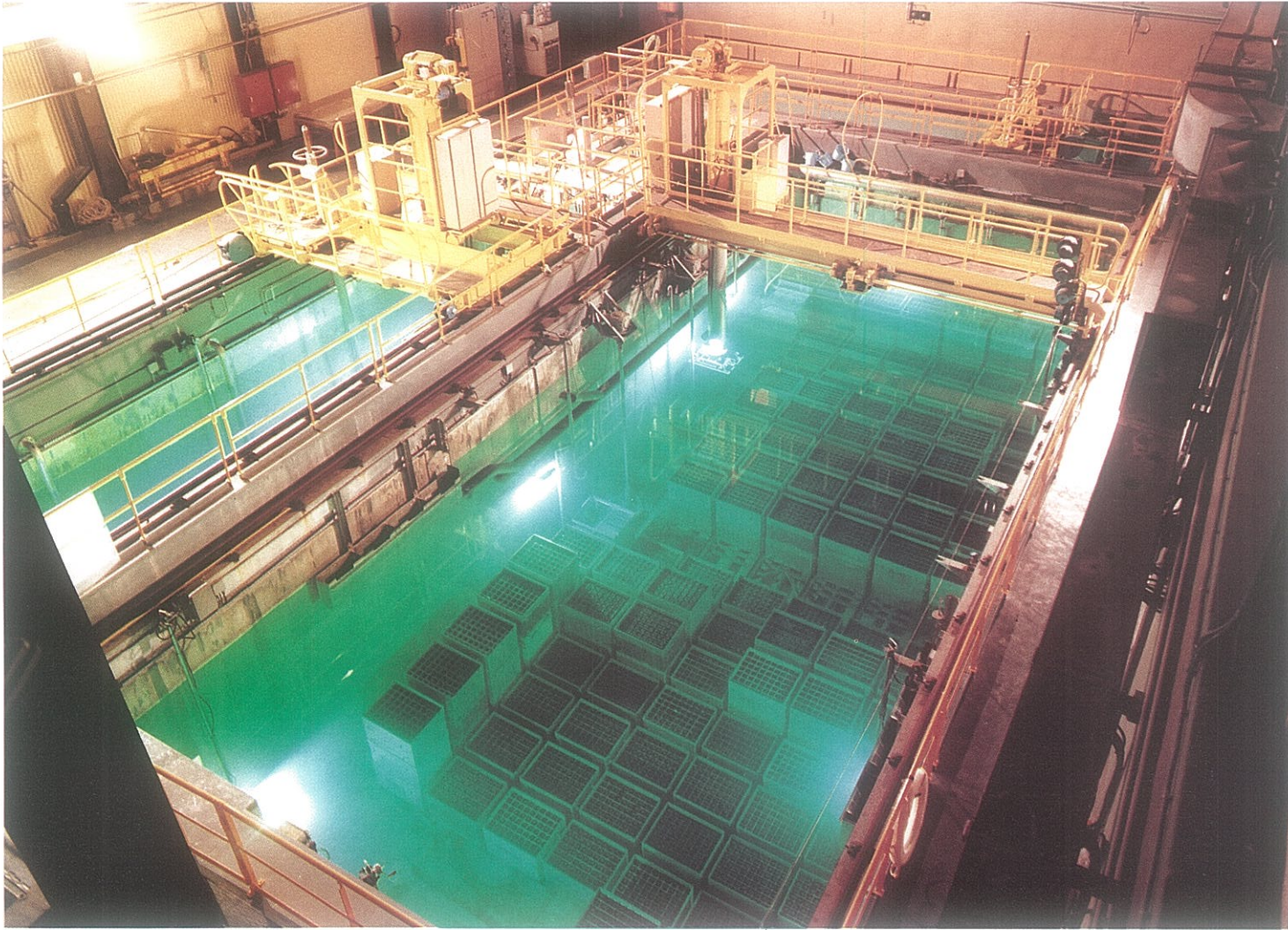
En las figuras II a) y b) aparecen reflejados año a año los factores de carga y de disponibilidad, mientras que en la figura III se refleja la producción bruta y neta, y en la figura IV se refleja la potencia bruta media de cada uno de los grupos principales correspondientes al último quinquenio (1982-1986). La figura V responde a los valores de indisponibilidad de la Central año a año, agrupándose en función de las causas que lo han originado. En esta figura no se incluye el período correspondiente al año 1972, primero de funcionamiento, por no considerar representativos sus valores en cuanto a la marcha de la Central debido a la variedad de indisponibilidades acaecidas durante el arranque y la realización de ensayos.

Cabe destacar en esta figura V el porcentaje mayoritario de indisponibilidades imputable al cambiador de vapor, en especial a partir del año 1976, cuando, analizadas las causas, se decide, después de la parada programada, penalizar la potencia máxima de la cen-

tral, y así disminuir el caudal de circulación de agua. Le sigue en importancia, en cuanto a indisponibilidades, las paradas programadas de la instalación para revisión y trabajos de mantenimiento.

A considerable distancia de éstos se encuentran las indisponibilidades ocasionadas por otras paradas programadas de la instalación debido a intervenciones en el cambiador de vapor y aquellas que tienen su origen en causas externas e internas a la central. Entre las primeras cabe citar las originadas en el parque exterior de distribución de energía eléctrica debido a disparos de la red de 380 KV o a condiciones meteorológicas adversas, y a la presencia de algas en la estación de bombeo originada por grandes temporales de mar con viento de levante que provocan un arrastre masivo de algas taponando los filtros de entrada de agua de mar de refrigeración a los condensadores principales.

En cuanto a las causas internas cabe destacar las siguientes:



Piscinas de enfriamiento del combustible irradiado. Los cartuchos de uranio natural envainados con magnesio permanecen un tiempo mínimo de 150 días enfriándose en las piscinas de la central, antes de mandarse a reprocesar al centro de Marcoule en Francia.

- La indisponibilidad que agrupa la actuación de las cadenas de seguridad del reactor incluyendo el movimiento de las barras de control, en especial las correspondientes al subgrupo de barras de pilotaje y la detección de rotura de vainas del combustible (DRG-G). Es de señalar que la indisponibilidad imputable a esta última no ha sido debida a roturas reales de elementos combustibles sino a defectos en el circuito de alimentación eléctrica del complejo sistema de vigilancia permanente de todos los canales cargados.
- La indisponibilidad correspondiente al proceso de carga y descarga de combustible a través del Dispositivo Principal de Manutención, que ha tenido a lo largo de los quince años de funcionamiento poca relevancia, destacando solamente la acaecida en los años 1972, 73 y 79.
- La indisponibilidad correspondiente a la regulación afecta principalmente a los tres sistemas principales: re-

gulación de potencia de grupos, regulación de potencia del reactor y regulación del cambiador de vapor, que han originado en la mayor parte de ocasiones, a través de defectos espúreos en sus correspondientes cadenas de regulación, la indisponibilidad reflejada en la Figura V.

- La indisponibilidad correspondiente a calculadores, proviene por defectos acaecidos generalmente en el calculador piloto, ya sea en la unidad central donde se ejecutan todas las funciones lógicas registradas o en los periféricos de tiempo real que aseguran la unión entre la unidad central y la instalación.
- La indisponibilidad correspondiente a Grupos Principales, incluye todas las indisponibilidades imputables a disparos o bajada de carga en cualquiera de los dos Grupos Principales a causa de la actuación de las protecciones del alternador y las seguridades de la turbina, así como las de los circuitos de agua-vapor y de

circulación de agua de mar en el circuito principal de refrigeración.

- La indisponibilidad correspondiente a turbosoplantes proviene, en la mayor parte de ocasiones, de un disparo de una de las cuatro turbosoplantes al actuar alguna de las seguridades que protegen el correcto funcionamiento de su circuito. En este caso, disparo de una turbosoplante, el programa del calculador obliga de forma automática a bajar ligeramente la carga en ambos Grupos Principales.

El aumento de la indisponibilidad correspondiente al año 1984 proviene del desmontaje de la turbosoplante número 1, previa la despresurización del cajón para proceder a la reparación de un circuito de estanqueidad, y el del año 1985 proviene asimismo del desmontaje de la turbosoplante número 4 previa despresurización del cajón para intervenir en su cojinete de contraempuje.