

LOS INCREMENTOS DE POTENCIA

Santiago MARTÍNEZ GILGADO
Ángel FERNÁNDEZ CAMBLOR



A la derecha, Santiago Martínez, Director de Ascó durante la reunión diaria con su equipo directivo y en la fotografía de la izquierda, Ángel Fernández Cambolor, Director de Vandellós II, con los miembros del Comité de Seguridad Nuclear de la Central.

Santiago MARTÍNEZ GILGADO es Ingeniero Naval por la ETSII de Madrid. Comenzó su carrera profesional en la Empresa Nacional Bazán, en la factoría de El Ferrol, en el área de Construcción Naval. Se integró en el Grupo de Construcción de C.N. Ascó iniciando sus actividades en el área de Sistemas y Equipos y, posteriormente, fue nombrado Jefe de Mantenimiento de la C.N. Ascó. En la actualidad es el Director de la Central Nuclear de Ascó.

Ángel FERNÁNDEZ CAMBLOR es Ingeniero Industrial en la especialidad de "Técnicas Energéticas" por la ETSII de Bilbao. Senior Reactor Operator por TECNATOM y Graduado PDG-IESE 97-98. Ha desarrollado la mayor parte de su vida profesional en el proyecto ASCÓ durante las fases de construcción, puesta en marcha, arranque inicial y explotación. Ha sido responsable del Montaje de los Equipos Nucleares, Ingeniero Staff del Jefe de Central y posteriormente Jefe División Tecnológica Nuclear, Resultados y Ordenadores. Actualmente es Director de la Central Nuclear Vandellós II

El aumento de potencia de las C.C.N.N. de Ascó y Vandellós II se ha enmarcado dentro del P.E.C. (Plan Estratégico Conjunto) de las centrales nucleares españolas.

Su desarrollo tiene un claro interés, tanto económico como estratégico, ya que representa un aumento de unos 250 Mwe, que supone el 50% de las previsiones establecidas para el parque nuclear español en el año 2000, lo que dará una reducción en el coste de la energía producida con el consiguiente aumento de su productividad.

OBJETIVOS

El aumento de potencia emprendido supone un aumento de la potencia térmica del 8% en las centrales nucleares de Ascó y un 4,5% en la C.N. Vandellós II respecto a la licenciada originariamente, así como la optimización de la eficiencia de los principales equipos del circuito primario.

El alcance de los trabajos a desarrollar se ha establecido, teniendo en cuenta la gran experiencia de los suministradores, dentro de las aplicaciones internacionales realizadas.

El proyecto considera un aumento de potencia hasta 2910 Mwt, que fue el valor usado por Westinghouse en el diseño inicial de los sistemas de salvaguardias, por lo que sin cambios de componentes en el primario proporciona análisis de ingeniería satisfactorios.

ALCANCE DEL PROYECTO DE INGENIERÍA

Para la operación a la nueva potencia es necesario renovar los siguientes estudios de ingeniería específicos para cada central:

- Definición de la ventana de operación.
- Análisis de accidentes del F.S.A.R.
- Espectros de presión y temperatura en la contención en caso de accidente:
 - Rotura tubería del primario (LOCA)
 - Rotura tubería de vapor (MSLB)
- Comprobación de la capacidad de los sistemas de salvaguardias.
- Comprobación de los cálculos radio-lógicos con los nuevos términos fuente.
- Comprobación del informe de cualificación ambiental.
- Verificar la subcriticidad de:

- Foso de combustible nuevo con los nuevos enriquecimientos.

- Piscina de combustible gastado.

- Evaluación de los componentes del primario.

- Comprobaciones del análisis de tensiones y fatiga del lazo primario.

- Verificación de la capacidad de sistemas y equipos de refrigeración.

Como resultado de estos estudios se procede a revisar:

- Las Especificaciones Técnicas de Funcionamiento (ETF's)

- El Estudio Final de Seguridad (E.F.S.)

Estos documentos son la base para la petición formal a las autoridades reguladoras de la autorización de explotación a la nueva potencia.

DESARROLLO DEL PROYECTO EN LAS CENTRALES:

CENTRAL NUCLEAR ASCÓ Antecedentes

La central nuclear Ascó inició su operación a 2.696 Mwt.-930 Mwe, que suponía una potencia nuclear un 3,4% por debajo de las centrales de su generación.

En los años 1989/90 se realiza un estudio de viabilidad del aumento de potencia con Westinghouse para el NSSS, ENUSA para el combustible y Bechtel para el BOP.

El estudio dio la posibilidad de aumentar un 8% la potencia térmica (2910 Mwt) con códigos estándar y sin cambios significativos en planta, exceptuando el alternador y circuitos eléctricos asociados.

Como consecuencia de los problemas existentes en los Generadores de Vapor motivados por el arrastre de productos de corrosión del circuito secundario se emprendió la eliminación de aleaciones de Cobre para poder operar con química AVT de alto PH (ph=9,8). Dicha eliminación supuso las siguientes actuaciones; que tuvieron en cuenta un posible aumento de potencia:

- **Año 1988.**- Cambio de calentadores de Agua de Alimentación por otras con tubos de acero inoxidable, con mejora de la capacidad de los mismos, para optimizar el circuito secundario.

- **Año 1991.**- Cambio de los haces tubulares del Condensador, por cuatro módulos de nuevo diseño, compuestos de tubos de titanio, de las mayores dimensiones posibles para aumentar la capacidad térmica al máximo en condiciones de operación normal a carga máxima calculada para el aumento de potencia, y con una capacidad contrastada de eliminación de incondensables.

- **Año 1995.**- Puesta en marcha de una torre hiperbólica de refrigeración de tiro natural de 160 metros de altura, con su correspondiente Casa de Bombas, conductos de impulsión, canal de descarga y elementos auxiliares asociados, que descargan el agua de



Los nuevos generadores de vapor de Ascó desembarcando en el muelle de Vandellós II



refrigeración de la Planta con un máximo incremento de temperatura de 3°C, en cualquier modo de operación de ambas unidades de C.N. Ascó a la máxima potencia calculada para el aumento de potencia y en condiciones ambientales extremas, teniendo en cuenta un caudal mínimo de 77 m³ /s.

- **Años 1995/96.-** Sustitución de los Generadores de Vapor por otros de diseño Siemens con tubos de Incaloy 800M (Modelo 61 X1B) suficientemente probados, y que cumplen los siguientes objetivos:

- Operar a la potencia licenciada (2696 Mwt).
- Proporcionar margen para un futuro aumento de potencia (2910 Mwt)
- Crear una ventana de temperatura caliente a fin de ajustar la presión en la turbina (621,4°F – 611,4°F).
- Mejorar el mantenimiento e inspección.

- **Años 1995/96/97.-** Sustitución de las Turbinas Principales, por otras Westinghouse inmunes al fenómeno de S.C.C. que afecta a las existentes, y que quedan integradas constructivamente en el BOP de modo compatible y que permiten la operación a largo plazo de la Central a la potencia térmica nominal licenciada, mejorando la fiabilidad y la disponibilidad de la Planta con un incremento del rendimiento termodinámico continuado de 967,812 Mwe, y con capacidad para, en un futuro, poder operar a largo plazo al 108 % de potencia térmica nominal (2910 Mwt).

Modificaciones físicas en parada de aumento de potencia. Alcance.

De acuerdo con los estudios de ingeniería desarrollados para el aumento de potencia, y a las modificaciones ya realizadas que han sido descritas en los antecedentes, se deberán realizar las siguientes modificaciones en el año 1999 en C.N. Ascó II y en el año 2000 en C.N. Ascó I:

- Adaptación de la turbina de alta presión a las nuevas características del vapor, permitiendo procesar eficientemente un mayor caudal tal como ya se había previsto en la sustitución realizada para ganancia de eficiencia.

- Recalificación del alternador principal a la nueva potencia eléctrica de 1017 Mwe. realizando las siguientes modificaciones:

- Cambio del extremo del paquete ferromagnético del estator con mayores caudales de refrigeración.

- Cambio de bobinas por otras de diseño optimizado.

- Implantación del sistema de soportación Rigidex.

- Aumento de la refrigeración del estator, pasando a refrigerar con agua los aros paralelos.

Estas actuaciones han llevado a la decisión de compra de un alternador de Lemóniz, para realizarlas previamente a cada parada, con lo



que el plazo de Recarga no se verá aumentado por el proceso de sustitución del Alternador, por traducirse en un movimiento de equipo pesado.

- Recalificación de los transformadores principales, aumentando su capacidad de refrigeración con la adición de un nuevo sistema de hidro-refrigerantes.

- Aumento de la refrigeración de fase aislada, que supone la sustitución de los ventiladores actuales.

- Mejora de la capacidad de drenaje de algunos calentadores del ciclo agua vapor, según el nuevo balance termodinámico del secundario.

- Aumento de la capacidad de refrigeración del sistema de servicio de componentes del Edificio de Turbinas, que supone cambio de bombas de refuerzo y sistema de tuberías.

CENTRAL NUCLEAR VANDELLÓS II

Antecedentes

Las mejoras continuas introducidas en las distintas recargas desde el inicio de la opera-

ción comercial, han permitido realizar sucesivas pruebas de certificación, homologando la planta cada vez a mayores potencias eléctricas. La evolución de la potencia eléctrica homologada ha sido la reflejada en la Tabla I.

- El 08-03-88 se inicia la Operación Comercial con una potencia eléctrica homologada de 982 Mwe, de acuerdo con la potencia garantizada en las condiciones de diseño. Esta potencia es menor que la obtenida

Vista del alternador



en condiciones normales de operación debido a:

- La potencia de garantía del contrato de Westinghouse se calculó con unas condiciones de referencia distintas a las de operación normal especialmente en las del vacío del condensador (2" de Hg equivalentes a 690 mmH₂O) frente a un vacío real que durante esta época se mantiene alrededor de 1,5" de Hg (520 mmH₂O), variable a lo largo del año con la temperatura del agua del mar y con el número de bombas de circulación en funcionamiento. El valor de esta magnitud está ligada a cambios estacionales y provoca a lo largo del año, variaciones entre 10 y 15 Mwe en la potencia eléctrica producida en condiciones nominales de operación de la planta.

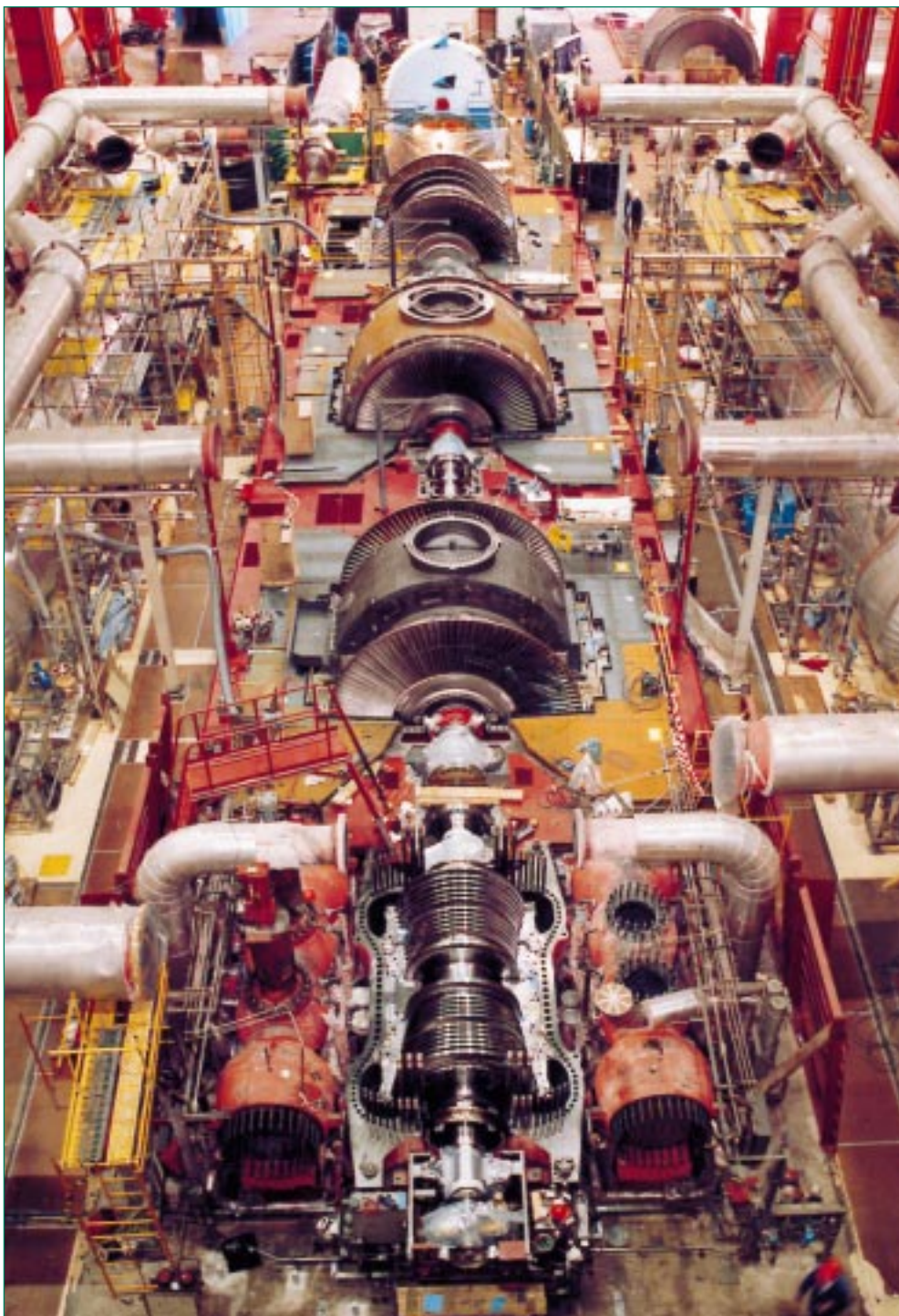
- Durante la construcción de la planta se introdujeron algunas mejoras en el secundario no contempladas en los cálculos originales del diseño de garantía, que la explotación ha confirmado su efectividad, produciéndose los correspondientes aumentos de potencia eléctrica sobre el valor de garantía del contrato de Westinghouse tal como estaban previstos. En este sentido cabe citar los efectos positivos de la recuperación térmica de la purga, así como los separadores de humedad instalados en las tuberías de vapor del "cross-over" y "cross-under" conocidos como "MOPS-SCRUBS".

- El 01-09-89 se homologa la central para trabajar a una potencia eléctrica de 992 Mwe. En esta homologación no se aprovecha toda la capacidad real disponible para aumentar la potencia. Se limita el descenso del vacío de condensador hasta un máximo alrededor de 1,5" de Hg equivalentes a 520 mmH₂O, con el fin de evitar vibraciones excesivas en los haces tubulares de titanio del condensador.

- El 01-06-91 se realiza una nueva homologación en la que se consigue una potencia de 996 Mwe. una vez que se han instalado las pinzas antivibratorias en los haces tubulares de titanio del condensador de forma que se puedan alcanzar vacíos más elevados sin peligrar la integridad física del mismo. La prueba de homologación se realiza a un vacío próximo a unas 1,42" de Hg (490 mm de columna de agua) que son las condiciones de referencia a las que se ha realizado un nuevo balance

TABLA I.
EVOLUCION DE LA POTENCIA HOMOLOGADA DE VANDELLÓS II

Septiembre 88	992	Mwe
Junio 91	996	Mwe
Marzo 92	1004	Mwe
Abril 96	1009	Mwe
Junio 99	1057	Mwe



Vista General de la Turbina

por parte de Westinghouse.

- Sin ninguna limitación física en el vacío del condensador, se observa, en contra de lo previsto, que no se produce saturación en la potencia eléctrica bruta obtenida por el turbogruppo hasta vacíos próximos a 390 – 400 mmH₂O (*mejor respuesta de la turbina en la zona de saturación de la curva potencia eléctrica vs. vacío que la prevista por diseño*), consiguiendo superar la potencia anteriormente homologada. Durante el mes de febrero del 92 con un vacío alrededor de 390 mm de columna de agua se realiza la prueba de homologación de la planta a la nueva potencia de 1004 Mwe.

- En la séptima recarga que se inicia el 12-06-95 se cambian los internos de las válvulas de agua de alimentación principal, disminuyendo las pérdidas de carga en las líneas de agua de alimentación y por tanto, la potencia consumida en las turbobombas de agua alimentación, con el consiguiente ahorro en el caudal de vapor recalentado que se direcciona a las turbinas de baja, produciéndose un incremento en la potencia eléctrica bruta estimado en unos 1,2 Mwe para la misma potencia térmica nominal.

- En los meses finales del 95 e iniciales del 96 se cambian los calorifugados de las tres líneas de agua de alimentación principal, calentadores de alta, colector de vapor principal y las tres líneas de vapor en el tramo exterior de penetraciones entre contención y turbina. Estas modificaciones al mismo tiempo que disminuyen la temperatura ambiental en el edificio de turbinas, suponen un aumento en el rendimiento del ciclo y por tanto, un incremento en los Mwe eléctricos producidos.

Adicionalmente a las modificaciones físicas anteriormente descritas, se revisan las constantes internas del calorimétrico, en el sentido de actualizar el valor de diseño del aporte neto de calor al circuito primario del reactor (aporte de las bombas menos pérdidas ambientales) de 10 Mwt, por el valor real medido en planta durante la realización de las pruebas de arranque iniciales establecido en 13,10 Mwt.

- Con las modificaciones anteriormente descritas, se procede a realizar la prueba de homologación de la nueva potencia eléctrica de planta durante el mes de abril del 96, quedando fijada en la resolución de la DGE del 05-06-96 en un valor de 1009 Mwe.

TABLA II COMPARACION DE LOS PRINCIPALES PARAMETROS DE OPERACION

	C.N. ASCÓ*		C.N. VANDELLÓS II	
	INICIAL	PREVISTA	INICIAL	ACTUAL
Potencia NSSS	100 %	108 %	100 %	104,50 %
MWT	2696	2912	2785	2913,1
Potencia reactor (MWT)	2686	2901	2775	2900
MMF (m ³ /s)	18,04	18,04	18,81	18,04
Presión NSSS (Kg/cm ² ,ab)	158,3	158,3	158,3	158,3
Temp cero carga °C	291,7	291,7	291,7	291,7
T media vasija °C, max.	309,8	308,3	309,2	308,1
T media vasija °C, min.	303,9	305,0	N.A.	N.A.
T caliente, °C, max.	327,4	327,3	326,6	326,6
Ventana T cal., °C	-5,6	-3,2	N.A.	N.A.
Taponado GV % considerado	10	3	7	4
Presión GV (Kg/cm ² ,ab)	70,1	66,5	66,8	64,7
Caudal vapor, Kg/s	1489,3	1639,2	1537,2	1617,8
Temp. Agua de Alimentación, °C	223,9	232,2	223,9	227,2
Potencia eléctrica (Mwe)	930	1017	1009	1085
Capacidad Alternador (MVA)	1034	1155	1092	1135
cosφ a potencia máxima	0,9	0,94	0,9	0,96
* Valores para una Unidad. Los valores de Ascó I y Ascó II son muy similares				

Modificaciones físicas en parada de aumento de potencia. Alcance.

En la 10ª Recarga se han realizado las modificaciones encaminadas a obtener un nuevo aumento de la potencia eléctrica de la planta, consistentes en:

- Aumento de la potencia térmica nominal del reactor del 4,5 % pasando de los 2775 Mwt a los 2900 Mwt actuales.

- Cambio de la turbina de alta presión para poder procesar eficientemente un mayor caudal de vapor a menor presión y turbinas de baja presión de mayor eficiencia, así como cojinetes de menores pérdidas por rozamiento.

- En el generador principal: se rigidizan las cabezas de bobina del estator, se reaprieta el paquete magnético, se sustituyen las bornas por otro modelo refrigerado por agua y se cambia el rodete de las bombas de refrigeración de agua del estator.

- En la fase aislada se dota de un tramo seccionable.

- En el transformador principal se aumenta la capacidad de refrigeración para la nueva potencia de 1158 MVA, añadiendo un grupo de 3 bancos de aerorefrigerantes por fase de 300 Kw de capacidad de disipación con nuevos colectores de entrada/salida de aceite. El control de refrigeración del TP se instala en un edificio anexo y se realiza a través de un PLC.

Estas modificaciones suponen un incremento de potencia estimado en unos

81 Mwe sobre las condiciones de referencia anteriores, estos valores deberán ser confirmados una vez finalicen las pruebas de arranque, con nuevas pruebas de aceptación y homologación de la nueva potencia eléctrica.

NUEVOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN

En la tabla II se resumen y comparan los principales parámetros de operación en las centrales nucleares de Ascó y Vandellós II, desde el diseño original hasta la situación actual después del aumento de potencia.

CONCLUSIONES

C.N. Ascó espera culminar las actividades de aumento de potencia en sus dos grupos, el próximo año 2000, con una ganancia de 87 Mwe por grupo correspondiendo 38 Mwe al aumento de rendimiento de la turbina y 49 Mwe al aumento de la potencia térmica del reactor.

C.N. Vandellós II, en el mes de mayo, ha finalizado la Secuencia de Arranque tras la recarga, habiendo obtenido por parte de CSN la apreciación favorable para operar a la nueva potencia térmica. En la actualidad se está en proceso de homologación y pruebas de aceptación de la turbina.

La terminación de las actividades supone la modernización de las Plantas por la actualización del equipamiento principal, lo que las situará en las mejores condiciones de seguridad y competitividad de las Centrales Nucleares.