

DESCRIPCION GENERAL DE LA CENTRAL

CN TRILLO I

Bernhard BÖHM * y Juan I. PARDO ALBARELLOS

EMPLAZAMIENTO

La Central Nuclear de Trillo fue concebida en sus orígenes por Unión Eléctrica, S. A. (hoy día Unión Eléctrica-Fenosa, S. A.) para atender preferentemente al crecimiento de la demanda de energía en la Zona Centro, caracterizada por una importante concentración de población, como es Madrid, así como por unas buenas expectativas de desarrollo industrial. Sobre estas bases, la búsqueda del emplazamiento adecuado se orientó hacia la zona del Alto Tajo, que se presentaba prometedora por una serie de razones; proximidad al principal centro de consumo, y a otros centros de producción ya existentes, abundancia relativa de agua para refrigeración, baja sismicidad y baja densidad de población.

La elección final del emplazamiento se efectuó tras un detallado estudio de una amplia extensión en la citada zona del Alto Tajo, en la que se seleccionaron hasta diez localizaciones de características geológicas similares. En dicho estudio se tuvieron en cuenta otros factores tales como distancias a respetar a los centros urbanos próximos, proximidad al abastecimiento de agua para refrigeración y a las vías de comunicación, otros usos del terreno, etc.

El emplazamiento finalmente elegido se encuentra en el término municipal de Trillo, provincia de Guadalajara, a unos 100 km. al nordeste de Madrid. La central está situada en una alta planicie terciaria, a 832 m. sobre el nivel del mar, y en la margen derecha del río Tajo, que en este paraje discurre por un estrecho y profundo valle, unos 100 m. por debajo de la cota de la central, y que se abre poco después al embalse de Entrepeñas. El terreno está formado por una alternancia de arcillas y margas con areniscas, y algún nivel de conglomerados.

La zona circundante al emplazamiento hasta una distancia de 20 km. está muy despoblada. La población total en el círculo de ese radio no supera los 6.000 habitantes, lo que da una densidad de población menor de 5 habs/km², que puede considerarse muy baja, ya que la media nacional es superior a los 60 habs/km². El núcleo de población más cercano es el pueblo de Trillo, a 2,5 km., y el más próximo con población superior a 25.000 habitantes es Guadalajara, a 45 km. La vía de comunicación más próxima es la carretera comarcal C-204, que conduce a la Nacional II, por Cifuentes.

ORGANIZACION DEL PROYECTO

El Sistema Nuclear de Generación de Vapor (NSSS) así como el grupo Turbogenerador y equipos asociados son suministrados por la empresa alemana Kraftwerk Union A. G. (KWU). La elección de este Suministrador Principal supuso el afrontar unos retos importantes en el desarrollo del Proyecto. En primer lugar, al ser el país de origen de la tecnología distinto al de las restantes centrales españolas (a excepción de Vandellós I), y aplicarle, por tanto, un cuerpo de normas y regulaciones nucleares no conocidas anteriormente en España, fue necesario un importante esfuerzo por parte de la Propiedad y de la Ingeniería Principal, para asimilar primero, y para aplicar después, con las necesarias adaptaciones a las circunstancias específicas del sistema de licenciamiento español, toda la filosofía de seguridad contenida en la citada normativa. Además, ha sido necesaria una labor de difusión entre suministradores y fabricantes nacionales, contratistas, agencias de inspección, etc., para muchos de los cuales también ha supuesto un esfuerzo de adaptación, y que ha permitido mantener un alto nivel de participación nacional.

En todo este proceso merece especial mención la intervención del Organismo Regulador —la Junta de Energía Nuclear en un principio, y el Consejo de Seguridad Nuclear después— con el que ha sido preciso mantener frecuentes contactos para exponer diversos aspectos de esta filosofía de seguridad, y para convenir la forma de su aplicación al proyecto de la Central de Trillo. También para este Organismo el esfuerzo ha sido notable, y ha contribuido muy positivamente a disipar muchas incertidumbres que el nuevo proceso planteaba.

Otro aspecto de gran importancia que hubo que considerar fue la necesidad de armonizar la realización del proyecto según la fórmula de contratación por paquetes con la intervención de un arquitecto-ingeniero, y la práctica habitual del Suministrador Principal KWU, de suministrar centrales completas «llave en mano». La experiencia de KWU en este tipo de contratos traía aparejada la ventaja de aportar un concepto de central prácticamente estandarizado en su país, ofreciendo, por tanto, unas referencias sobradamente probadas. Como contrapartida, resultaba particularmente compleja la tarea de definir las condiciones de contorno de su alcance de suministro,



Juan Ignacio PARDO ALBARELLOS es Doctor Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid.

En 1966 ingresa en TECNATOM y, un año más tarde, pasa a Unión Eléctrica, S. A., participando en la elaboración del Manual de Instrucciones de Operación de la C.N. José Cabrera, así como en el programa de pruebas de arranque y en la operación comercial más tarde.

A finales de 1969 es destinado a las oficinas centrales de la compañía, formando parte de la División Nuclear, participando (1973-75) en los estudios de emplazamiento de C.N. Trillo, en su proceso de licenciamiento y en las actividades de selección y compra del Equipo Principal. Desde 1976 ocupa el puesto de Jefe de Proyecto de C.N. Trillo I, responsable de la Ingeniería, Suministros, Licencia y Combustible.

(*) La información sobre Bernhard Böhm se publica en la página 93.



Vista general, fecha 30/11/85.

y de resolver las interfases con el resto de la Central, diseñada por el arquitecto-ingeniero.

Este tipo de actividad, realizado por primera vez por KWU en este proyecto, requirió el establecimiento de unas relaciones de trabajo muy estrechas entre el propietario, la Ingeniería Principal y el Suministrador Principal, con los necesarios procedimientos y con una adecuada distribución de los alcances de ingeniería a ser desarrollados por los dos últimos, que asegurasen por una parte la conservación del concepto de central licenciada en el país de origen de la tecnología y, por otra, la resolución adecuada de las interfases antes aludidas.

EL CIRCUITO SECUNDARIO

El cometido principal del circuito secundario es el de mantener el circuito cerrado de agua-vapor para accionamiento del turbogenerador. En el caso de averías en la central, se utilizan parte de estos circuitos para evacuar el calor residual del circuito primario.

Conceptos óptimamente combinados entre sí con respecto a:

- circuito,
 - selección de materiales,
 - química del agua,
- han conducido también al concepto global materializado en la CN TRILLO I.

Circuito

Las principales características del circuito secundario son (Fig. 1).

- Tres ramales de precalentamiento de baja presión de dos etapas.
- Instalación de un depósito de agua de alimentación con desgasificación por precalentamiento de mezcla. El depósito de agua de alimentación, como precalentador de mezcla, separa las instalaciones de precalentamiento de alta y baja presión, sirve como depósito de compensación de volumen para el lado de impulsión de las bombas de condensado y garantiza una afluencia definida a las bombas principales de alimentación.
- Dos ramales de precalentamiento de alta presión de dos etapas.
- Mantenimiento del nivel en los generadores de vapor mediante una estación de regulación en cada uno de ellos. El agua de alimentación se inyecta a través de tres ramales (40 y 50 % en el economizador y 10 % en el anillo superior) en los generadores de vapor.
- Sistema de arranque y parada que conduce, mediante dos bombas, el agua desde el depósito de agua de alimentación al generador de vapor, tanto en el arranque y parada como en casos de perturbación, como por ejemplo, en servicio con corriente de emergencia.
- Sistema de purga de los generadores de vapor para la extracción de impurezas.
- Filtro electromagnético para la extracción de impurezas ferríticas del condensado de vapor de calentamiento de alta presión.
- Filtro mecánico para la extracción de impurezas del condensado principal.
- Una estación de válvulas de vapor principal por generador de vapor para abastecer a la turbina con vapor vivo y proteger al generador de vapor contra sobrepresiones, vaciado y evitar la contaminación radioactiva del circuito secundario en caso de fugas en los tubos del generador de vapor.
- 3 x 50 % bombas de agua de alimentación con accionamiento eléctrico.
- 3 x 50 % bombas de condensado principal con accionamiento eléctrico.

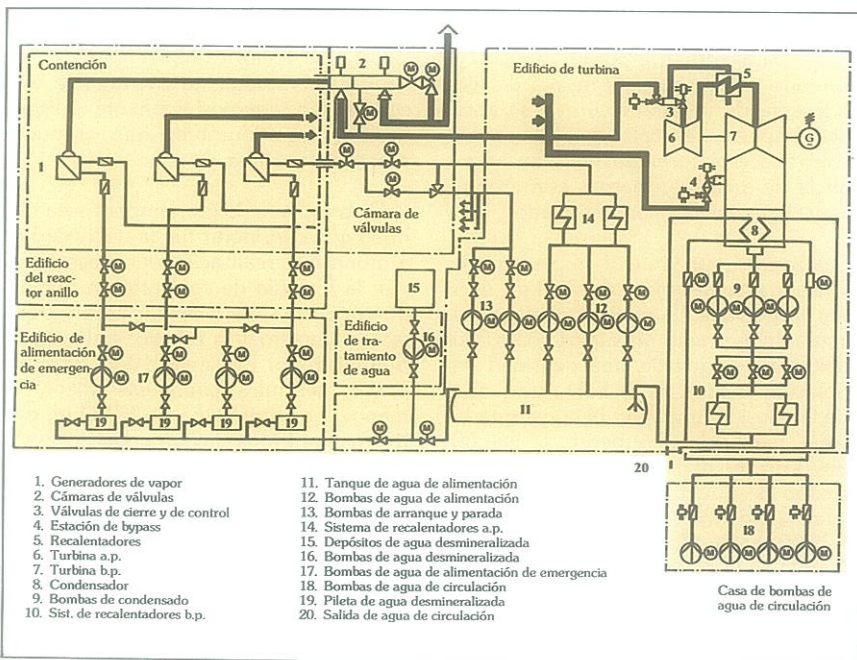
Química del agua

Dentro del marco de esta función, el agua o el vapor, respectivamente, no debe poner en peligro el funcionamiento de la planta, por corrosión de los materiales y sus consecuencias.

Los objetivos de la química del agua están contenidos en los puntos siguientes:

- Las tasas de desprendimiento de metales, procedentes de los materiales estructurales, deben ser mínimos.
- Debe contrarrestarse la aparición de formas de corrosión selectivas.

FI Sistemas para la evacuación de calor al lado secundario (vista general).



- Debe evitarse lo más posible la sedimentación de productos de corrosión en las superficies de transmisión de calor.
- Ha de evitarse la formación de medios que fomenten la corrosión.

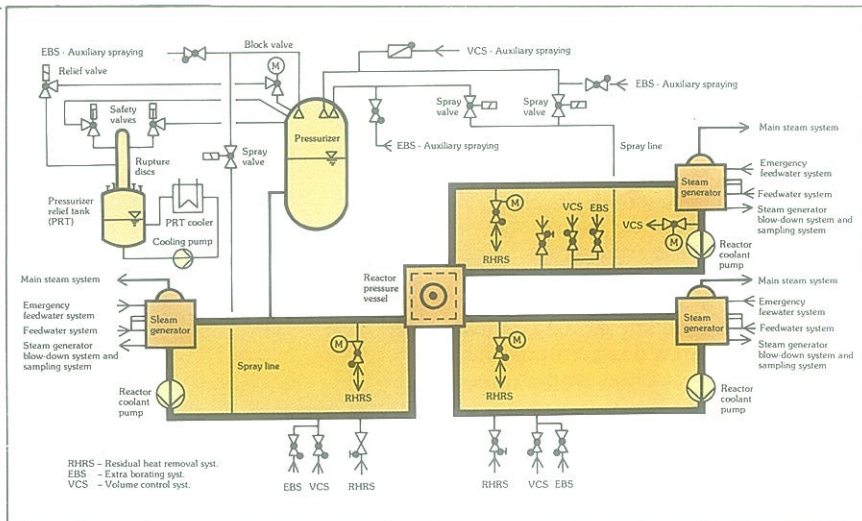
Estos problemas citados se resuelven en el circuito agua-vapor de la planta de la CN TRILLO I, gracias a cumplirse y asegurarse las siguientes condiciones de la química del agua:

- Acondicionado químico del circuito agua-vapor mediante hydracina (forma de operación AVT), es decir, ajuste de unas condiciones de agua alcalina con elevado valor pH (superior 9,8).
- Máxima ausencia de sales en el circuito agua-vapor gracias a la estanqueidad del condensador y del aislamiento respecto a la atmósfera.
- Limitación de la concentración de cloruros en el agua de los generadores de vapor, mediante la correspondiente extracción de fangos y evitando las aportaciones de cloruros procedentes del exterior.
- Ausencia de oxígeno, al operar con exceso de hydracina.
- Reducción al mínimo de la aportación de productos de corrosión a los generadores de vapor, gracias a una elevada alcalinización del circuito agua-vapor, así como a la depuración mediante filtros electromagnéticos y de cartucho. Están previstos filtros electromagnéticos en la tubería de condensado de AP y filtros mecánicos de cartucho.
- Desgasificación continuada y óptima del agua de alimentación.
- Desgasificación del agua de reposición en el condensador.
- Utilización de materiales exentos de Cu en los condensadores, precalentadores y otros aparatos del circuito agua-vapor para evitar la corrosión producida por el amoníaco.

SISTEMA NUCLEAR DE GENERACION DE VAPOR

La Central está dotada de un sistema de refrigeración del reactor, del tipo de agua a presión (PWR), de tres lazos, con una potencia térmica de 3.027 MWt, capaz de generar una potencia eléctrica bruta de 1.041 MWe. El núcleo del reactor está constituido por 177 elementos combustibles con enriquecimientos iniciales de 3,2, 2,5 y 1,9 %, y el control se realiza mediante 52 conjuntos de control (Fig. II):

En la tabla I se recogen los principales datos técnicos de la central.



F II Diagrama de flujo del Sistema Primario.

EDIFICIOS E INSTALACIONES DE LA CENTRAL

A continuación se describen las instalaciones de la central, comentándose de forma particular aquellos detalles de las

estructuras, sistemas o componentes que pueden ofrecer algún interés o peculiaridad. La implantación general de edificios de la central está concebida de forma que se establece una segregación de edificios con funciones claramente diferenciadas. Dichos edificios se encuentran in-

TI

DATOS TECNICOS

Potencia		Sistema refrigerante del reactor	
Potencia térmica del reactor	3.010 MW (th)	Número de circuitos de refrigeración	3
Potencia térmica del generador de vapor	3.027 MW (th)	Caudal total del medio refrigerante	15.875 kg/s
Potencia eléctrica bruta	1.041 MW (e)	Temperatura de entrada al reactor	292,9° C
Núcleo del reactor		Temperatura de salida del reactor	325,7° C
Diámetro del núcleo (equivalente)	3.453 mm	Presión de servicio	158 bar
Altura del núcleo (activa)	3.400 mm	Vasija de presión del reactor	
Peso total de uranio (carga inicial del núcleo)	93.901 kg	Diámetro interior	4.878 mm
Niveles de enriquecimiento (carga inicial del núcleo)	3,2 %, 2,5 % y 1,9 % de peso de U 235	Espesor de pared	245 mm
Elementos combustibles		Altura total	11.039 mm
Número de elementos combustibles	177	Presión de diseño	176 bar
Longitud total	4.185 mm	Temperatura de diseño	350° C
Peso de un elemento combustible	730 kg	Peso neto (sin componentes internos)	429.000 kg
Combustible	UO ₂	Contención de acero	
Número de barras	236	Diámetro	53 m
Material de revestimiento	Zircaloy 4	Espesor de pared	36 mm
Diámetro exterior del revestimiento	10,75 mm	Presión de diseño	5,3 bar
Diámetro interior del revestimiento	9,3 mm	Temperatura de diseño	145° C
Diámetro de la pastilla	9,11 mm	Turbina	
Conjuntos de barras de control		De condensación de vapor, con un cuerpo de alta presión y tres cuerpos de baja presión de doble flujo	
Número de conjuntos de control	52	Velocidad de rotación	3.000 rpm
Número de barras de control de un conjunto	20	Presión del vapor principal a la entrada de la turbina	68,6 bar
Longitud del material absorbente	3.259 mm	Alternador	
		Potencia efectiva	1.041 MWe
		Factor de potencia	0,9
		Frecuencia	50 c/s
		Tensión en los bornes	27 kV

terconectados entre sí mediante una red de galerías subterráneas por las que discurren, también de forma segregada, las tuberías y bandejas de cables eléctricos.

Esta implantación de edificios configura asimismo la base para una segregación física fundamental de equipos y componentes dentro de los diferentes edificios: se trata de la segregación de los cuatro trenes o redundancias de que están dotados los sistemas importantes para la seguridad de la central, y de los cuales son necesarios dos para prevenir o mitigar las consecuencias de perturbaciones o accidentes.

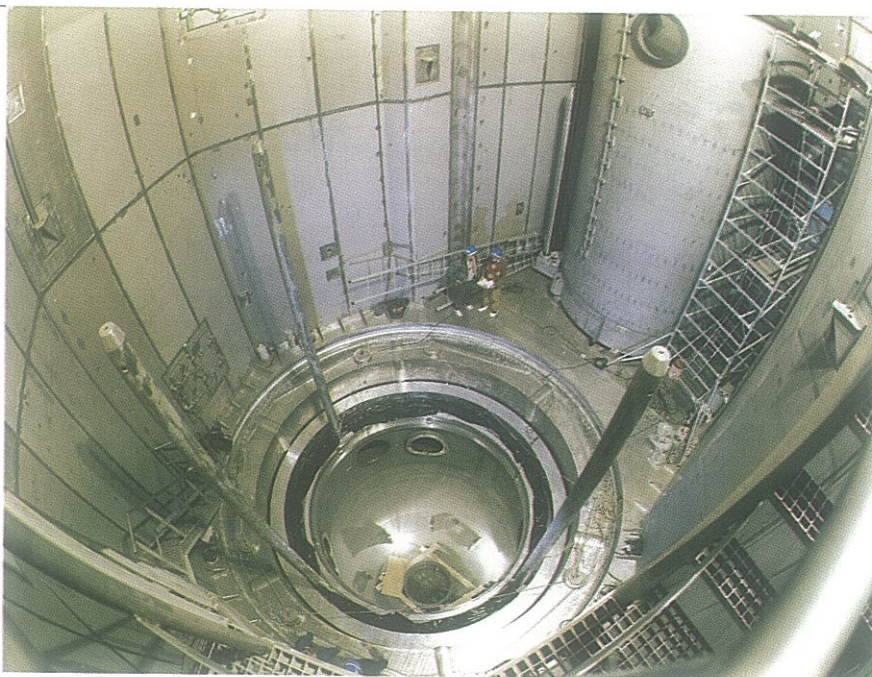
Así pues, de acuerdo con lo anterior, las galerías subterráneas discurren en paralelo por cuadruplicado cuando contienen tuberías o cables de alimentación de los referidos sistemas, y en cuanto a los edificios, como veremos más adelante, su estructura está modulada en cuatro partes cuando la existencia en ellos de equipos importantes para la seguridad así lo exige.

EDIFICIO DEL REACTOR

El edificio del reactor es una estructura de hormigón, de forma cilíndrica de unos 59 m. de diámetro, coronada por una semiesfera. En su interior se aloja una esfera de acero de 53 m. de diámetro, que separa netamente dos áreas perfectamente diferenciadas: la interior a la esfera, o recinto de contención, y la exterior o anillo. La esfera es autoportante, y descansa sobre un casquete cóncavo de hormigón, unido a la losa de cimentación del edificio. En su interior se levanta una estructura de hormigón que aloja y soporta fundamentalmente al sistema de refrigeración del reactor y a la piscina de almacenamiento de combustible gastado. Esta estructura se encuentra rodeada por un cilindro de hormigón previsto para proteger a los equipos que se encuentran en su interior contra proyectiles, y que soporta en su parte superior la grúa polar, con la que se realizan las principales operaciones durante el montaje de los equipos pesados, y la manipulación de la tapa de la vasija e internals durante las recargas de combustible. El acceso al interior de la esfera se consigue a través de tres esclusas; la de personal, la de emergencia y la de equipos. Esta última es desmontable, de forma que por la abertura que deja en la esfera se realiza la introducción de los componentes de gran tamaño, como la vasija del reactor o los generadores de vapor, y permitiría también la extracción de los mismos en caso necesario.

La parte exterior a la esfera es un recinto anular en el cual se alojan los sistemas auxiliares del reactor relacionados con la seguridad y los sistemas de salvaguardias. Estos últimos tienen sus equipos, segregados en cuatro redundancias, ocupando cada una de ellas aproximadamente un cuadrante.

El edificio del reactor se completa con dos estructuras de hormigón que se proyectan hacia afuera desde la pared ci-



Cavidad del reactor e interior vasija presión.

lindrica. Una de ellas es la cámara de válvulas, que aloja las válvulas de aislamiento de agua de alimentación y de vapor principal, así como las de seguridad y alivio de vapor. La otra estructura es la envolvente de la esclusa de equipos, y a ella está adosada la grúa pórtico que permite la introducción de los equipos principales durante el montaje, y posteriormente, durante la explotación, la entrada y salida de los contenedores de combustible nuevo y usado.

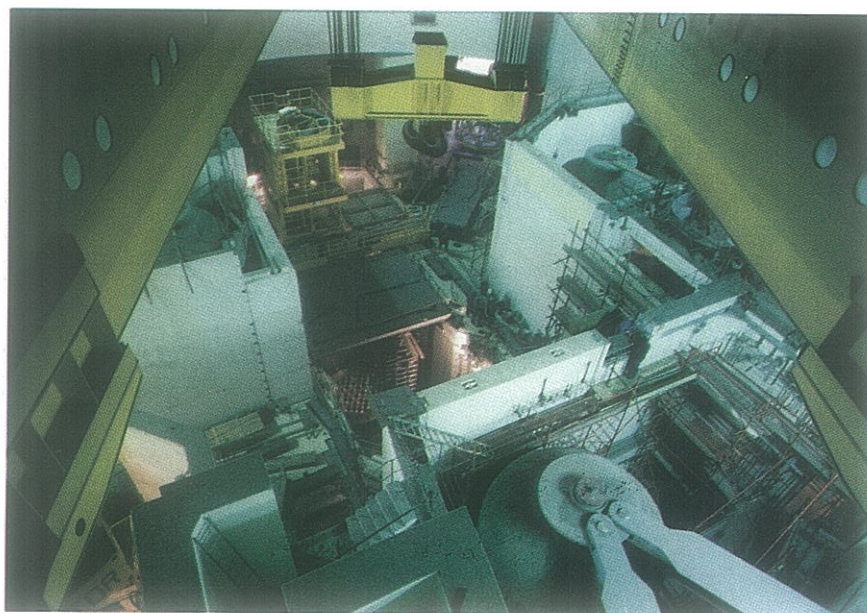
EDIFICIO AUXILIAR

Es un edificio de estructura de hormigón, que está adosado al del reactor en su sector norte. Puede considerarse divi-

dido básicamente en dos zonas: una de ellas contiene los sistemas auxiliares del reactor que no están relacionados con la seguridad, tales como el de control químico y de volumen, o el de tratamiento y almacenamiento de refrigerante primario. La otra zona contiene los sistemas de tratamiento de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos, así como las zonas relativas a las actividades de radioquímica y radioprotección, incluyendo la zona de acceso controlado al edificio del reactor durante operación.

También dispone este edificio de una zona que permite el almacenamiento temporal de residuos sólidos, independiente del almacén exterior previsto para albergar los residuos sólidos de cinco años de operación.

Edificio del reactor. Ubicación de los generadores de vapor. Detalle del soporte superior de uno de ellos.



EDIFICIO ELECTRICO

Es un edificio de hormigón, de forma paralelepípeda, que se encuentra adosado al edificio auxiliar, y muy próximo al del reactor, con el que se comunica a través de dos galerías de cables.

En el edificio eléctrico se centralizan los sistemas auxiliares eléctricos de la central, alojándose en él la mayor parte de las cabinas de baja, media y alta tensión, cabinas electrónicas, convertidores, salas de baterías, ordenadores de proceso y la sala de control.

Básicamente, el edificio se divide horizontalmente en cuatro módulos, conteniendo cada uno de ellos todos los componentes eléctricos y electrónicos asociados a cada una de las cuatro redundancias de los sistemas de seguridad. De esta forma, se logra una perfecta segregación entre aquellas. En sentido vertical, cada redundancia se distribuye a su vez en varias plantas destinadas alternativamente a equipos o a bandejas de cables.

En la planta superior se encuentran ubicados los ordenadores y la sala de control. Esta última está constituida a base de paneles modulares que contienen los elementos de indicación y de mando realizados en técnica mosaico miniaturizada.

EDIFICIO DE TURBINA

Es un edificio construido en estructura metálica, que aloja en su interior el grupo turbo-generador, así como todos los sistemas y componentes asociados al ciclo de agua-vapor o secundario.

El turbogruppo, formado por una turbina de 3.000 r.p.m. dotada de un cuerpo de alta presión y tres de baja presión, un alternador de 1.041 MWe y su correspondiente excitatriz, descansa sobre una

losa de hormigón que a su vez se apoya en el pedestal mediante conjuntos de muelles, de forma que el turbogruppo queda desacoplado del conjunto del edificio. El condensador, de tres carcassas independientes y simple paso, está también apoyado sobre muelles. Está dotado de placas tubulares alveoladas con control de fugas, y tubos de titanio, para asegurar la máxima estanqueidad del circuito secundario, y que permita adoptar el AVT como tratamiento químico del mismo.

El ciclo secundario dispone asimismo de un tanque de agua de alimentación, que ejerce también funciones de desaireador, y de un by-pass de turbina del 65 %.

EDIFICIO DE ALIMENTACION DE EMERGENCIA

Este edificio, también en construcción de hormigón, está destinado fundamentalmente a albergar el sistema de agua de alimentación de emergencia y la sala de control de emergencia, así como una parte de las cabinas electrónicas asociadas al sistema de protección del reactor.

El edificio, de planta aproximadamente rectangular, está dividido longitudinalmente en cuatro módulos independientes, alojando cada uno de ellos una de las redundancias. El sistema de agua de alimentación de emergencia dispone, pues, de cuatro trenes o redundancias, de los cuales son necesarios solamente dos para cumplir su función de seguridad.

Cada tren consta de una piscina de almacenamiento de agua desmineralizada, ubicada dentro del propio edificio, con capacidad para 360 m³, que permite una autonomía de diez horas de funcionamiento continuadas, y que dispone de

conexión para llenado desde las piscinas de servicios esenciales. Dispone asimismo de un grupo generador Diesel de 2.200 KW, que acciona mecánicamente a su correspondiente bomba de agua de alimentación de emergencia. Dispone también de las correspondientes cabinas de fuerza y electrónicas del sistema de protección del reactor asociadas a su redundancia.

Desde la sala de control de emergencia ubicada en este edificio se puede llevar la central a las condiciones de parada segura, en el supuesto hipotético de que la sala de control principal no fuera accesible.

EDIFICIO DIESEL

Este edificio, construido también en hormigón, está compartimentado en cuatro módulos, al igual que los edificios eléctricos y de alimentación de emergencia, para alojar a los cuatro Diesel de 4.900 KW, que suministran energía eléctrica de salvaguardia a los sistemas relacionados con la seguridad, en situación de accidentes, en el supuesto de que no estuviera disponible ninguna fuente externa de alimentación eléctrica.

También están alojados en este edificio los cuatro enfriadores y las correspondientes bombas de agua enfriada esencial, que permiten la operación de los sistemas de ventilación y acondicionamiento de aire necesarios para el funcionamiento de los sistemas de seguridad.

ESTRUCTURAS DEL SUMIDERO FINAL DE CALOR

El sistema de agua de refrigeración de servicios esenciales, que constituye el sumidero final de calor, es el encargado de disipar a la atmósfera el calor extraído por toda la cadena de refrigeración constituida por el sistema de evacuación de calor residual, el sistema de refrigeración de componentes nucleares y el propio sistema de refrigeración de servicios esenciales.

Todos los componentes activos de este sistema, necesarios para la parada segura de la central, están cuadruplicados siguiendo el concepto de las cuatro redundancias, y su alimentación está conectada a los Diesel, bien de Salvaguardia o bien de alimentación de emergencia.

El sistema dispone de dos piscinas de almacenamiento de agua de refrigeración con capacidad suficiente para treinta días de funcionamiento bajo las peores condiciones meteorológicas, sin aporte adicional de agua. Las piscinas son básicamente excavaciones del terreno, de forma rectangular y provistas de revestimiento impermeable.

Edificio turbina. Detalle de los muelles de soporte del condensador.





Transporte de un generador de vapor.

Por razones de disposición física, cada una de las dos piscinas lleva asociada una casa de bombas con cuatro bombas y dos torres de refrigeración de tiro forzado, todo ello ubicado en su proximidad.

INSTALACIONES DE APORTACION DE AGUA Y DE REFRIGERACION DEL CONDENSADOR

La refrigeración del condensador se efectúa en circuito cerrado mediante dos torres de refrigeración de tiro natural, de 154 m. de altura. Para reponer las pérdidas producidas por la evaporación en las torres, así como permitir la dilución necesaria en las mismas, y para otros aportes necesarios a la central, se dispone en el río Tajo de un azud de captación, que asegura la altura mínima de aspiración para las bombas ubicadas en la estructura de captación, y que son las encargadas de bombear los caudales necesarios hasta las instalaciones de la central situadas unos 100 m. por encima del nivel del río. Para ello se dispone de cuatro bombas capaces de bombear cada una 0,5 m³/seg., de las cuales una es de reserva, y las otras tres funcionarán según

el régimen que demande la situación de la central, que en puntas puede ser de 1,5 m³/seg.

Para bombear hasta la central estos caudales se dispone de dos tuberías forzadas de hormigón, de 700 mm. de diámetro, de las que sólo una es necesaria para elevar los caudales requeridos en cada caso.

El agua bombeada pasa por una planta de pretratamiento, y va a una piscina de almacenamiento situada adyacente al canal de aspiración de las bombas de agua de circulación, de allí se incorpora a los diferentes puntos de utilización de la central.

El exceso de agua bombeada para fines de dilución es retornada a través de una tubería de vertidos que discurre paralela a las de aportación, y tras disipar su energía mediante una válvula apropiada se mezcla adecuadamente sobre el aliviadero del propio azud.

OTROS EDIFICIOS Y ESTRUCTURAS

Además de los edificios y estructuras descritos hasta aquí existen otra serie de

ellos que enumeramos brevemente a continuación:

- Edificio de servicios: que contiene los sistemas que proporcionan servicios auxiliares a la central, tales como calderas de vapor auxiliar, sistema de agua caliente para calefacción, sistema de aire comprimido de servicios, sistema de agua enfriada convencional, etc.
- Edificio de desmineralización: que contiene la planta de producción de agua desmineralizada, las estaciones de toma de muestras convencionales y el laboratorio químico convencional.
- Subestaciones de 400 KV y 132 KV. La primera de ellas prevista para alimentar los auxiliares de la central durante el arranque de la planta y para dar salida a la energía generada por la central. La segunda es una alimentación auxiliar.
- Edificio de taller y almacén.
- Almacén de residuos radiactivos sólidos.
- Almacén de gases a presión.
- Edificio de control de accesos.
- Edificio de oficinas.