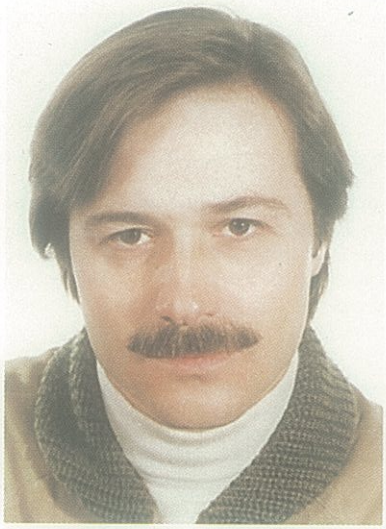
C. N. VANDELLOS

EL DISEÑO DE LA CENTRAL NUCLEAR VANDELLOS II

Juan José PEREZ TORRENT



Juan José PEREZ TORRENT es Ingeniero Industrial, diplomado en Ingeniería Nuclear, Instituto de Estudios Nucleares de la JEN.

Ha participado en la construcción y puesta en marcha de C. T. Besos II. En junio 1972, ingresa en ENHER y en abril/mayo de 1973 es nombrado Jefe de Control Diseño de C. N. Ascó II, grupo de la Dirección Proyecto encargado de la Ingeniería y Equipos y el Licenciamiento. Desde diciembre de 1980 desempeña la Jefatura de la Unidad de Jefatura Técnica que dirige las actividades de Ingeniería, Contrato de Suministro Principal y Licenciamiento para la Dirección del Proyecto de C. N. Vandellós II, en el marco de la Asociación Nuclear Vandellós.

INTRODUCCION

La interpretación del diseño dispuesto en la C. N. Vandellós II, requiere una panoramización que sitúe sus características más determinantes en el contexto histórico nuclear español, subsumido en el del mundo occidental correspondiente a esta tecnología.

C. N. Vandellós II (982 MWe, brutos) pertenece a la «tercera generación» de centrales nucleares españolas; su Caldera Nuclear (NSSS), tipo Westinghouse, consta de un reactor de agua a presión con el sistema de refrigeración compuesto de tres lazos. Se inició su diseño básico en 1976, época en la que la mayoría de países desarrollados contemplaban programas de construcción de centrales nucleares muy ambiciosos, situación que inducía a plantear, en diversos grados, el concepto de «Diseño Genérico», tanto por parte de Suministradores principales como por las Ingenierías. Entretanto, se registraba una tendencia acusada hacia el incremento de normativa de seguridad a ser aplicada.

En el año 1976 se obtuvo la autorización previa para la construcción de la central que contemplaba la finalización de la misma el año 1981.

Se empezaban a obtener experiencias operativas de centrales de escala semejante, revelándose ciertas disfunciones, consecuencia de extrapolaciones de tamaño en algunos componentes o falta de idoneidad en materiales; su consideración, por ejemplo, actuó en nuestro Proyecto, llevándolo a cambiar a un modelo más avanzado de Generadores de Vapor, incorporar tubos de Titanio en el Condensador y eliminar el Cobre, y demás metales de bajo punto de fusión, en los componente del Secundario.

En 1979, se produce el accidente de la central de Three Miles Island, que trae como consecuencia un planteamiento de la seguridad de las centrales nucleares por parte de la NRC, lo cual dio lugar a la prescripción de gran cantidad de normativa, conteniendo nuevos requisitos de seguridad.

Los primeros días de 1981 C. N. Vandellós II obtenía el Permiso de Construcción, que, entre otras condiciones, contenía la aplicación sustancial de la normativa antedicha, así como la obligación de evaluar la aplicabilidad al Proyecto de toda la normativa que fuera apareciendo, así como la introducción de las mejoras tecnológicas que fueran adoptadas en plantas de diseño similar.

Todos estos requisitos, así como la retroacción proviniente de las experiencias forjadas durante el proyecto, puesta en marcha y explotación de centrales españolas y extranjeras semejantes, han incidido y están incidiendo en el diseño de C. N. Vandellós II convirtiéndola en una de las centrales más modernas con reactor PWR de Westinghouse, lo cual ha sido evidenciado por el hecho de haber sido puesta como central de referencia en las ofertas más recientes de dicha firma.

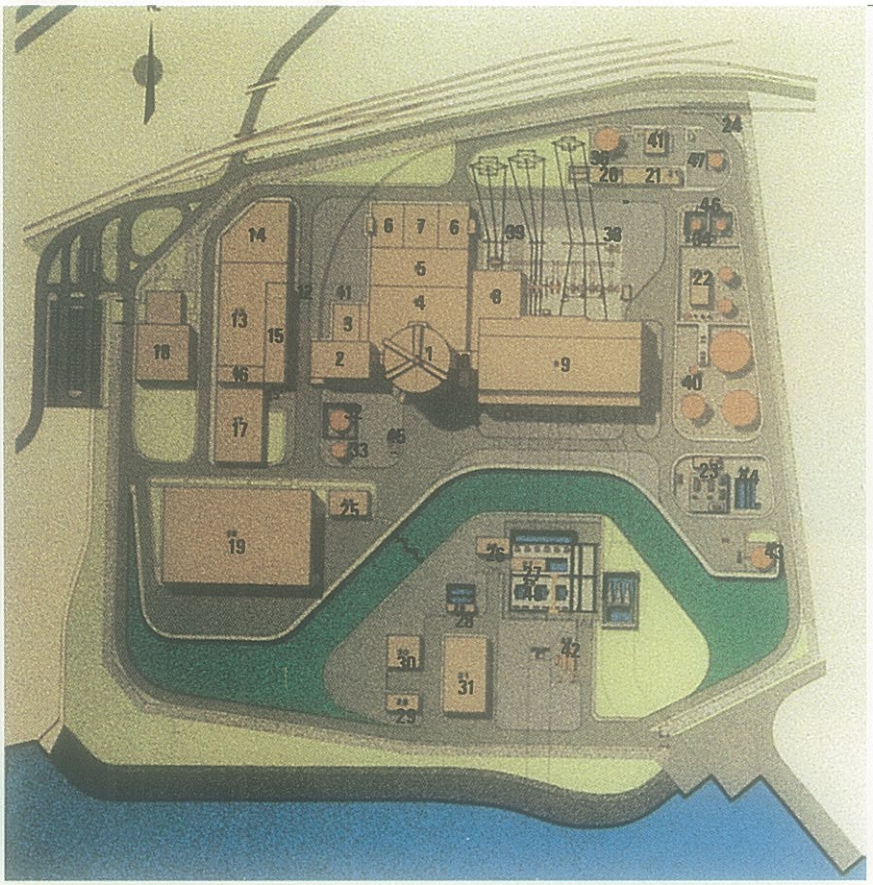
En la actualidad puede colegirse que existe en la NRC un clima de revisión en los requisitos y de centramiento en los aspectos realmente capitales, como consecuencia de la maximización anterior, lo cual tiene reflejo en la atenuación de emisión de nueva normativa y en el estudio riguroso tendente al replanteo de requisitos; por ejemplo, Especificaciones Técnicas, Planes de Emergencia, etc.

Este hecho, dado el estado de su avance y del de su Construcción, no es probable sea capitalizable por el diseño de C. N. Vandellós II, si bien puede redundar en una mayor racionalidad en su explotación. En suma, la evolución tecnológica que brevemente se ha señalado, la aplicación de las experiencias provinientes de otros proyectos en estadios posteriores y la mejora en las herramientas de cálculo progresivamente disponible, que han tenido capitalización en los cálculos nucleares y de seguridad, han incidido fuertemente en el diseño, de modo que su incorporación durante el Proyecto, coloca a Vandellós II en una posición plausiblemente idónea con respecto a la seguridad, y en condiciones de esperar una disponibilidad de la central que haga su producción rentable.

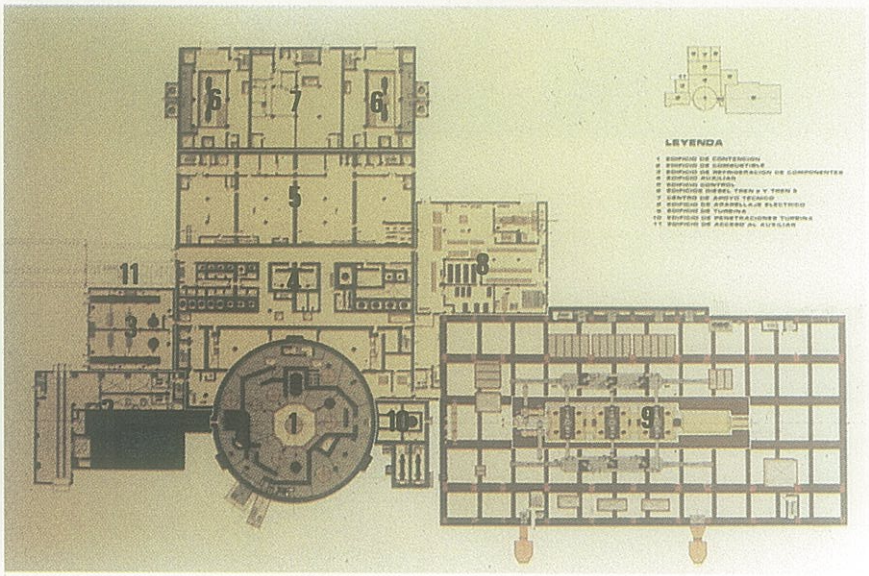
ALCANCE Y DESARROLLO DEL ARTICULO

En los apartados siguientes, sobre las pautas generales de una central PWR, del tipo Westinghouse del tamaño de C. N. Vandellós II, que se suponen familiares al lector, se significan aquellos aspectos que puedan considerarse más específicos, determinantes o diferenciales de nuestro diseño.

Se inicia con una presentación del Emplazamiento comentándose el despliegue funcional de los edificios en el mismo, subrayando sus rasgos característicos. Prosigue una descripción de los aspectos destacables de la concepción de los Sistemas, agrupándose estos en los correspondientes a Caldera Nuclear,



1 EDIFICIO DE CONTENCION
2 EDIFICIO DE COMBUSTIBLE
3 EDIFICIO DE REFRIGERACION DE COMPONENTES
4 EDIFICIO AUXILIAR
5 EDIFICIO CONTROL
6 EDIFICIOS DIESEL TREN a Y TREN b
7 CENTRO DE APOYO TECNICO
8 EDIFICIO DE APARELLAJE ELECTRICO
9 EDIFICIO DE TURBINA
10 EDIFICIO DE PENETRACIONES TURBINA
11 EDIFICIO DE ACCESO AL AUXILIAR
12 TUNEL DE ACCESO
13 EDIFICIO DE DESECHOS RADIACTIVOS
14 EDIFICIO DE CONTROL DE ACCESO
15 EDIFICIO DE TALLER CALIENTE
16 EDIFICIO DE SOLIDIFICACION
17 EDIFICIO DE ALMACENAMIENTO DE DESECHOS
18 EDIFICIO DE ADMINISTRACION Y CONTROL PRINCIPAL DE ACCESO
19 EDIFICIO DE ALMACEN Y TALLERES
20 EDIFICIO DE DESMINERALIZACION
21 EDIFICIO DE LABORATORIO Y ALMACEN
22 CASA DE BOMBAS CONTRA INCENDIOS
23 EDIFICIO ELECTRICO Y DE CONTROL DE LA CALDERA AUXILIAR
24 CASETA CONTROL ACCESO NORTE
25 TALLERES DE CARPINTERIA Y PINTURA
26 CASETA ELECTRICA
27 ZONA DE BOMBAS DE AGUA DE CIRCULACION Y DE SERVICIOS
28 PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS FECALES
29 ALMACEN MATERIAS INFLAMABLES
30 ALMACEN DE GASES
31 ALMACEN DE MAQUINARIA Y GARAJES
32 TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA DE RECARGA
33 TANQUE ALMACENAMIENTO AGUA DE REPOSICION AL REFRIGERANTE DEL REACTOR
34 TANQUES ALMACENAMIENTO COMBUSTIBLE GENERADOR DIESEL
35 TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUA POTABLE
36 TANQUE ALMACENAMIENTO DE AGUA DESMINERALIZADA
37 ACIDO SULFURICO SOSA Y BALSA DE NEUTRALIZACION
38 PARQUE DE TRANSFORMADORES PRINCIPALES Y DE RESERVA
39 PARQUE DE TRANSFORMACION AUXILIAR EXTERIOR
40 TANQUE ALMACENAMIENTO DE CONDENSADO
41 PRETRATAMIENTO DE AGUA
42 TANQUE ALMACENAMIENTO DE HIPOCLORITO SODICO
43 TANQUE ALMACENAMIENTO COMBUSTIBLE DE LAS CALDERAS AUXILIARES
44 CALDERAS AUXILIARES
45 ZONA DE ALMACENAMIENTO DE N2
46 CASETA BOMBAS TRASIEGO COMBUSTIBLE DIESEL EMERGENCIA
47 TANQUE ALMACENAMIENTO DE GAS-OIL, DIESEL ESENCIA
48 ZONA DE REJILLAS



Circuito Secundario, Sistemas Auxiliares, Sistemas Eléctricos y de Instrumentación y Control.

Se formulan los grandes trazos del planteamiento organizativo de la realización del diseño y se concluye señalando algunos extremos de la operativa y metódica de dicha ejecución, así como su enfoque hacia su constructibilidad, puesta en marcha y explotación.

IMPLANTACION

El Emplazamiento de la C. N. Vandellós II se encuentra ubicado en la costa mediterránea, aproximadamente a 1 km. al sur de la C. N. Vandellós I, distancia entre ejes de edificios de los reactores. Se halla situado dentro de la depresión litoral entre el apéndice calcáreo del Coll de Balaguer y la Playa de la Almadrada. Esta depresión está rellena de materiales recientes que corresponden a un conjunto de piedemontes y conos de deyección que se solapan. El zócalo del piedemonte, que aparece a unos 135 m. por debajo del nivel del mar, es de caliza dolomítica-brechoide de edad jurásica. Estos materiales se ponen en contacto con los materiales pliocuaternarios por medio de una superficie de erosión.

El bloque de potencia de la central está situado entre los barrancos de Lleira y Malaset que vierten sus aguas ocasionales al Golfo de San Jorge, el cual constituye el entorno hidrológico marino de la central.

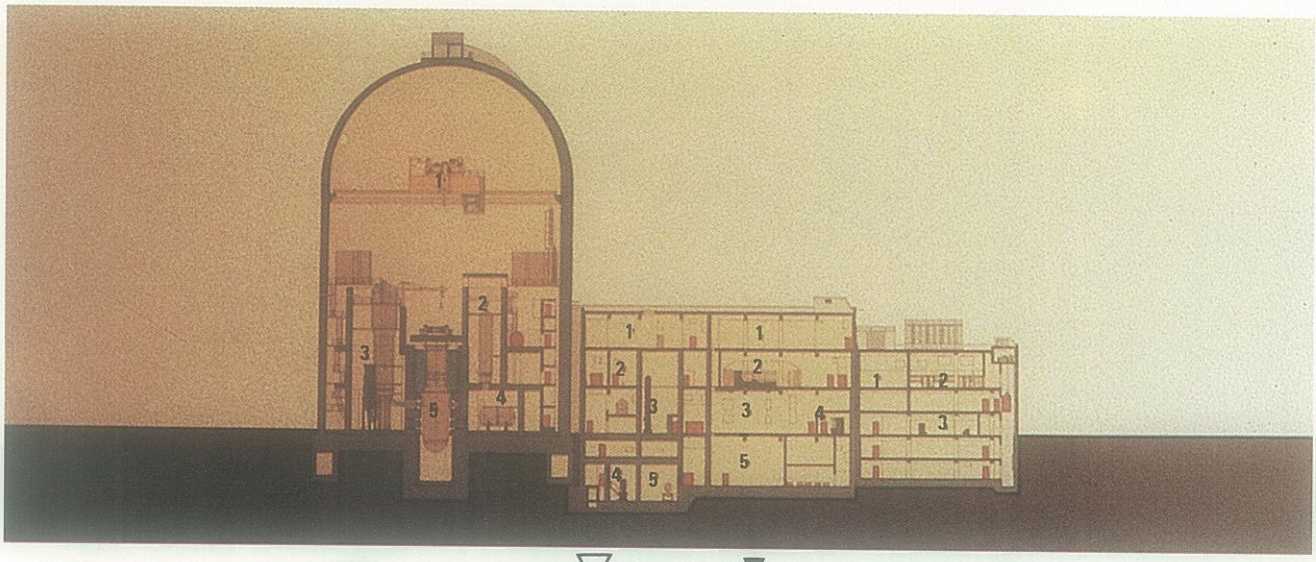
Las aceleraciones calculadas a nivel del suelo para el terremoto de parada sin riesgo (SSE) y el terremoto base de operación (OBE) son de 0,09 g. y 0,05 g. respectivamente; no obstante por prescripción de la «Autorización Previa de Construcción», se han considerado para el diseño los valores de las aceleraciones a nivel del suelo de 0,20 g. para el terremoto de parada sin riesgo (SSE) y de 0,10 g. para el terremoto base de operación (OBE).

En función del exhaustivo estudio realizado para la determinación y evaluación de las características del terreno contemplando los aspectos geológicos, geotécnicos, hidrogeológicos y geofísicos, se procedió a la inyección de las zonas diaclasadas y a la sustitución del terreno natural, con el objeto de mantener la cota de proyecto ya determinada, por hormigón con una resistencia de 180 Kg/cm² en las áreas donde se encontraron unos lentejones de limo.

DISPOSICION FUNCIONAL DE LOS EDIFICIOS

El conjunto de edificios e instalaciones de la central ocupa un área total de 179.000 m², lo que determina un despliegue general de la central relativamente compacto.

En la cota 23,40 m. sobre el nivel del mar (cota 100 relativa en planos) se halla la plataforma de operación del bloque de producción y la mayoría de



EDIFICIO DE CONTENCION

1. PUENTE GRUA
2. CAVIDAD DEL PRESIONADOR
3. GENERADOR Y BOMBA
4. TANQUE DE ALIVIO DE PRESION
5. REACTOR

EDIFICIO DE CONTROL

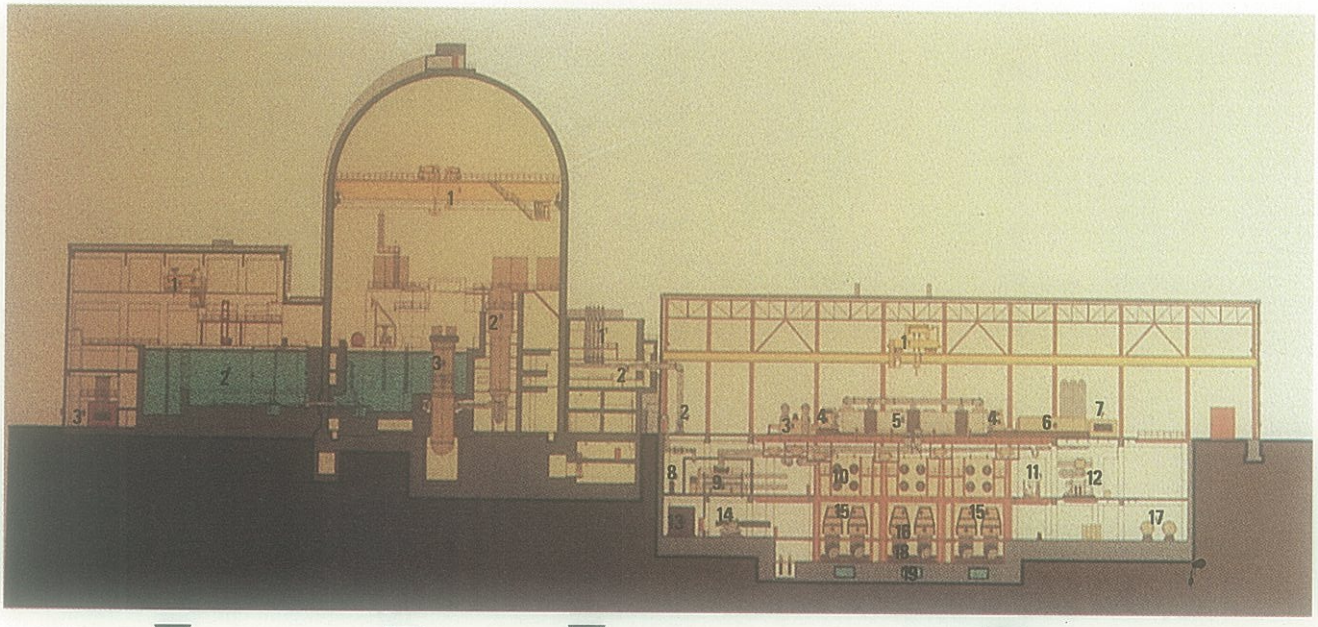
1. SALA SUPERIOR DE CABLES
2. SALA DE CONTROL
3. SALA INFERIOR DE CABLES
4. CUADRO DE PARADA REMOTA
5. CENTRO DISTRIBUCION CARGADORES Y ONDULADORES

EDIFICIO DIESEL C.A.T.

1. ORDENADOR PROTEUS
2. CENTRO APOYO TECNICO
3. SALA DE CONTROL T.S. (C.A.S.)

EDIFICIO AUXILIAR

1. CENTRO DE DISTRIBUCION
2. ALMACEN DE PRODUCTOS QUIMICOS
3. CAMBIADORES DE CALOR
4. BOMBA ROCIADO CONTENCION
5. BOMBA EVACUACION CALOR RESIDUAL



EDIFICIO DE COMBUSTIBLE

1. PUENTE GRUA
2. PISCINA DE COMBUSTIBLE GASTADO
3. AREA DE MONTAJE DE COMBUSTIBLE

EDIFICIO DE PENETRACIONES EN TURBINA

1. CHIMENEAS EXPANSION VAPOR PRINCIPAL
2. VALVULA AISLAMIENTO VAPOR PRINCIPAL

EDIFICIO DE TURBINA

1. PUENTE GRUA
2. COLECTOR VAPOR PRINCIPAL
3. TURBINA ALTA PRESION
4. TURBINA BAJA PRESION
5. SEPARADOR DE HUMEDAD
6. GENERADOR
7. EXCITATRIZ
8. REFRIGERADOR COMPRESORES
9. TANQUE ACEITE LUBRICACION
10. CALENTADOR BAJA PRESION
11. REFRIGERACION HIDROGENO Y AIRE
12. REFRIGERACION AGUA ESTATOR
13. TANQUE ALMACENAMIENTO ACEITE SUCIO
14. REFRIGERADOR AGUA ENFRIADA
15. CONDENSADOR
16. CAJAS AGUAS CONDENSADOR
17. INTERCAMBIADORES REFRIGERACION
18. CONDUCTOS AGUA ALIMENTACION
19. CANAL DE DESCARGA

EDIFICIO DE CONTENCION

1. PUENTE GRUA
2. GENERADOR Y BOMBA
3. REACTOR

edificios e instalaciones; desde ella se accede, a través de un talud de transición, hacia la zona, en la cota 4,85 m., donde se encuentra el edificio de casa de bombas de refrigeración y servicios anexos así como la protección marítimo costera, que incorpora un atracadero, cuya utilización para los transportes pesados en la etapa de construcción ha sido idónea.

La obra de toma consiste en una conducción constituida por 8 cajones prefabricados, de 40 m. de longitud cada uno, que van asentados sobre el perfil del fondo marino. La chimenea de toma es de aspiración horizontal, de baja velocidad de aspiración y concebida de modo que prácticamente se elimine la componente vertical para obviar la entrada de peces.

Del bloque de Producción (ver figura 1) que tiene su fundamento en el diseño genérico de Bechtel aplicado en las centrales de SNUPPS (Callaway y Wolf Creeck), resaltan los siguientes aspectos:

- Configuración «en península», por lo que corresponde a la disposición relativa de los edificios de Contención (1) y de Turbina((9).
- El conjunto de edificios: Edificio Auxiliar (4), Edificio de Control (5) y el módulo de Diesels de Emergencia (6) y Centro de Apoyo Técnico (7) están dispuestos de modo que dan una respuesta estructural simétrica al criterio de separación física entre los dos trenes redundantes mecánicos/eléctricos, desde los Grupos Diesel de Emergencia hasta las Penetraciones al Edificio de Contención.
- El Edificio de Aparellaje Eléctrico (8) alberga los equipos de alimentación y distribución eléctrica correspondientes a la parte convencional, facilitando la disposición señalada en el punto anterior en el Edificio de Control, para los sistemas eléctricos relacionados con la Seguridad Nuclear.
- El módulo de transición entre Contención y Turbina: torre de vapor (10), que, materializando las penetraciones principales de Vapor Principal y Agua de Alimentación, con sus válvulas de aislamiento y seguridad, alberga, en su parte inferior, los equipos principales del Sistema de Agua Alimentación Auxiliar y recuperación térmica de la purga de los Generadores de Vapor.

De los edificios que componen el bloque descrito, subrayamos lo siguiente:

- El Edificio de Contención consta de dos partes básicas:
  - — Estructura exterior, incluyendo la losa base.
  - — Estructuras internas.

La estructura exterior consiste en una pared cilíndrica de 40 m. de diámetro interior y 60 m. de altura interior, cerrada en su parte superior por una cúpula hemisférica, que son de hormigón pretensado por un sistema de tendones postesos. La losa base, circular, sirve de base a la pared cilíndrica y estructuras internas y es de hormigón armado, tiene una cavidad central (cavidad del reactor) y un túnel para los cables de instrumentación del reactor.

La cara interior del edificio está revestida de chapas de acero de 6,5 mm. de espesor soldadas entre sí, contituyendo una barrera contra fugas.

Las estructuras internas incluyen las siguientes partes fundamentales: blindaje, escudo primario (cavidad del reactor); escudo secundario (compartimentos de los generadores de vapor y presionador); cavidad de recarga, que va revestida de chapas de acero inoxidable de espesor 5 mm.; losas de operación e intermedia; Soportes de equipos; Plataformas de servicios, etc. Significamos que el diseño de conjunto del edificio está dispuesto para permitir la extracción de los generadores de vapor enteros, en la eventualidad de ser necesario.

- El Edificio Auxiliar alberga casi exclusivamente los sistemas de salvaguardias, muy directamente ligados a la Caldera Nuclear y sus respectivas penetraciones a la Contención. Se han dispuesto los sistemas de tratamiento de desechos radiactivos líquidos y gaseosos en otro edificio (13), con quien el Edificio Auxiliar está comunicado a través de un túnel (12) y un tercero (16) para la solidificación y almacenamiento de desechos sólidos. De este modo se obtiene una configuración y estructura concebidas para atender específicamente su función de albergar salvaguardias tecnológicas, respetar la simetría y separación física antedicha y facilitar el mantenimiento bajo la óptica de radioprotección ALARA («As low as reasonably achievable»), que es uno de los criterior que gobiernan todo el diseño de la C. N. Vandellós II. Esta concepción modular facilita la resolución de los anteriores requisitos cuya conjunción resulta más problemática en las anteriores concepciones de Edificios Auxiliares en las que en un solo módulo se deben dar todas estas respuestas funcionales.
- El Edificio de Control, cuya sala de control refleja la tendencia a la simetría referida, es asistida por dos salas de reparto de cables que dan una separación estructural, en el sentido vertical, a los cables eléctricos y de instrumentación, cuyos trenes la acomenten desde las cotas contiguas superior e inferior respectivamente.
- El módulo correspondiente al Centro de Apoyo Técnico para Emergencia: Se halla entre los dos Diesel, es operativamente contiguo a Sala de Control y alberga el Ordenador Principal. Constituye una respuesta constructiva a la normativa Post-TMI. En su cota inferior se ubica el Centro Principal de Seguridad Física (CAS).
- El Edificio de Almacenamiento de Combustible (2), nuevo y gastado, con bastidores de alta densidad (espaciado entre bastidores de 10,6 inch. y una capacidad total de más de 1000 elementos), contiene los sistemas de refrigeración y purificación de las piscinas.

En lo que corresponde al resto de edificios señalamos, en la plataforma de operación, el bloque formado por los edificios:

(13) Edificio de tratamiento de desechos líquidos y gaseosos, cuya disposición interior está presidida por el Criterio ALARA: que permita una compartimentación entre los componentes de más nivel de radiación de modo que estructuralmente discrimine los diversos niveles de áreas de radiación. El edificio cuenta con una pequeña sala de control que permite el gobierno centralizado de los procesos que se desarrollan en su interior y cuya operación sea discrecional con respecto a la del conjunto de la central.

(16) Edificio de solidificación de desechos y almacenamiento, dispuesto éste para una capacidad de diez años de explotación, ampliables.

(14) Edificio de Control Radiológico y de accesos, que contiene los dispositivos de radioprotección, lavandería, etc. así como los servicios médicos. Cuenta con un área de servicios para atender los aspectos de control radiológico dimensionados para las recargas.

(15) Edificio de Taller Caliente. Y en la plataforma inferior; el Edificio de la Casa de bombas de Servicios de Refrigeración y de Circulación (27), conectada a la obra de toma y diseñadas de modo que en todo caso se garantiza un 5 por ciento del caudal total movilizado, que es el requerido para refrigeración de emergencia durante cualquier tipo de accidente concebible. Este edificio está diseñado y construido como Clase Sísmica I, puesto que contiene las bombas de los Sistemas de Servicio de Refrigeración de salvaguardias, para aportarle el caudal requerido de agua de mar, que en C. N. Vandellós II está conceptuado como el «último foco frío» de refrigeración de emergencia.

CONCEPCION DE LOS SISTEMAS

Se presentan a continuación las características y parámetros de los sistemas y equipos importantes que tengan en C. N. Vandellós II un carácter diferencial con respecto a instalaciones con el mismo suministrador del sistema nuclear de vapor (Westinghouse), el mismo diseño de NSSS (tres generadores de vapor), y aproximadamente la misma potencia que C. N. Vandellós II (2.775 MWt).

CALDERA NUCLEAR DE SUMINISTRO DE VAPOR Y SISTEMAS ASOCIADOS (NSSS)

En esta área se capitalizan las mejoras regristradas en los procesos de

cálculos nucleares, termohidraúlicos y de seguridad, el conocimient equipos, sistemas y materiales y se introducen los requisitos de la nueva normativa, de la que se destaca la R. G. 1.97, R. G. 1.139, R. G. 1.47 y NUREG'S 588, 696, 737. Por ello, señalamos los siguientes aspectos

— Potencia térmica global [2.775 MWt frente a los 2.686 MWt (97,4 por 100) generado en el combustible] de la segunda generación española de PWR'S.
— Presión nominal del sistema 2.280 psia, frente a los 2.250 psia anteriores.
— Implementación del diseño optimizado de combustible (OFA) a fin de mejorar el rendimiento del uranio utilizado.

El CLEN mínimo para los transitorios de diseño es para C. N. Vandellós I > 1.49 frente al > 1.30 anterior.

Se han agrupado las barras de control de forma diferente a fin de modificar favorablemente el coeficiente de temperatura del moderador.

El conjunto de toberas de los internos superiores ha sido modificado para incrementar el caudal en las toberas de rociado para conseguir que el fluido en la cabeza del reactor esté a T fría.

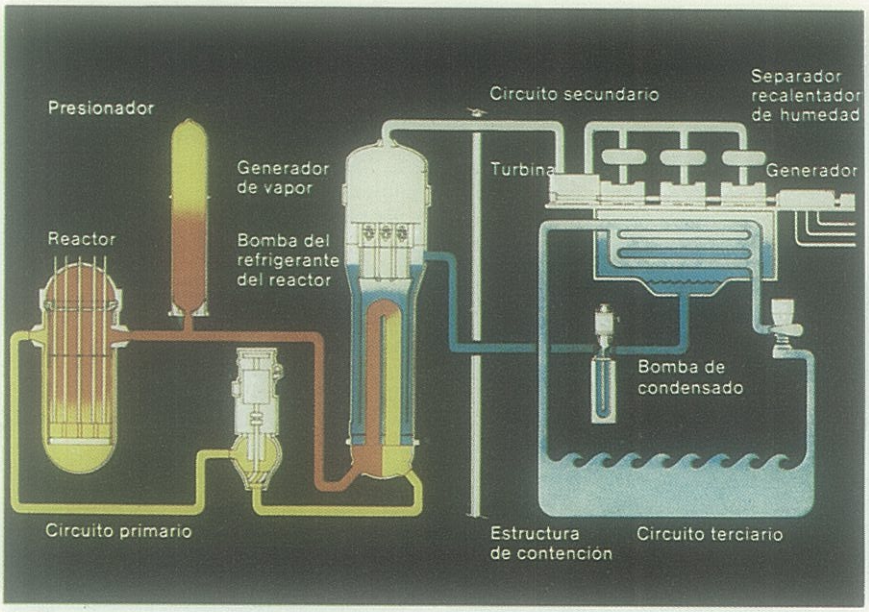
El modelo de las bombas de refrigerante del reactor es el 100 D (verticales, una etapa, caudal mezclado con succión inferior y descarga horizontal) con una capacidad de diseño de unos 103.000 g. p. m., frente a 94.000 g. p. m. del modelo 93 D, perteneciente a la generación anterior de PWR españoles.

Se ha verificado la no necesidad de disponer de boro altamente concentrado para la inyección de seguridad y a consecuencia de ello se ha eliminado el tanque de inyección de Boro y partes del sistema CVCS asociadas.

Se han introducido los requisitos de la RG 1.139 relativos a conseguir la parada fría, con elementos de seguridad, en treinta y seis horas y después de cualquier evento de condición II, III o IV, incluyendo pérdida de potencia.

El diseño incorpora la posibilidad de cambio semiautomático desde la fase de inyección de seguridad a la de recirculación desde los sumideros de la Contención.

Otros aspectos se contemplan en apartados posteriores.



F II *Características del equipo nuclear.*

Reactor

- *Diseño: Westinghouse.*
- *Tipo: Agua a presión (PWR)*
- *Combustible: Dióxido de uranio enriquecido (UO_2).*
- *Barras de control: Carburo de boro, plata, indio, cadmio.*
- *Núm. de conjuntos de combustible: 157.*
- *Núm. de varillas en cada conjunto combustible: 264.*
- *Núm. total de varillas de combustible: 41.448.*
- *Enriquecimiento medio del combustible inicial (% en peso): 2,1; 2,6; 3,1.*
- *Enriquecimiento medio del combustible de recarga (% en peso): 3,04.*
- *Material vainas: Zircaloy, –4.*
- *Peso total de UO_2: 75.343 kg.*
- *Densidad de potencia lineal media en el núcleo (a potencia nominal): 17,88 kW/m.*
- *Potencia específica media (a potencia nominal): 41,8 kW/kg U.*
- *Frecuencia de recarga de proyecto: 12 meses.*
- *Parte del núcleo retirado: 33,3 por 100.*
- *Control del reactor mediante:*
  a) Movimiento de barras de control.
  b) Variación del contenido de boro disuelto en el regrigerante.
- *Material de la vasija del motor:*
  Básico-Acero al carbono.
  Forro-Acero inoxidable austenítico.
- *Fabricante Vasija del reactor: ENSA (Santander).*

Generador de vapor

- *Generador: Tipo F .*
- *Diseño: Westinghouse.*
- *Fabricante: ENSA (Santander).*
- *Modelo: F.*
- *Número: 3.*
- *Contenido de humedad del vapor producido: 0,25 %.*
- *Flujo: 5.813 t/h.*
- *Temperatura: 226° C.*

Bombas del refrigerante del reactor

- *Diseño: Westinghouse.*
- *Fabricante bomba: Westinghouse Electro-Mechanical Division, Cheswick (Pennsylvania, USA).*
- *Motor: Westinghouse-Erandio.*
- *Modelo: 100-D.*
- *Tipo: Centrífuga de una sola etapa.*
- *Número: 3.*
- *Caudal: 6,5 m^3/s.*

Características del equipo convencional

Turbogenerador

- *Diseño: Westinghouse.*
- *Fabricante: Westinghouse-E.N. Bazán (El Ferrol).*
- *Tipo: TC 6F.*
- *Longitud álabe última etapa baja presión: 111,76 cm.*
- *Números de cuerpos: 1 de alta presión y 3 de baja presión.*
- *Velocidad: 1.500 revoluciones por minuto.*
- *Potencia: 982.028 kW.*
- *Potencia generador: 1.092 MVA.*
- *Factor de potencia: 0,9.*
- *Tensión: 21 kV.*

Ciclo de turbina

- *Número de etapas de recalentado: 2.*
- *Número de etapas de calentamiento de condensado: 6.*
- *Sistema de drenaje de calentadores: bombeo hacia atrás.*
- *Calentadores en el cuello del condensador: números 1, 2, 3 y 4.*

Condensador

- *Tipo: Unipresión.*
- *Número de tubos: 77.994.*
- *Material tubos: Titanio.*
- *Presión absoluta: 50,8 mm Hg.*
- *Flujo de condensado: 3.718 t/h.*
- *Caudal de agua de refrigeración: 48,5 m^3/s.*

Características del ciclo
Vapor de las válvulas de parada

- *Flujo: 5.545 t/h.*
- *Presión absoluta: 65,66 kg/cm^3.*
- *Temperatura: 282,3° C.*
- *Entalpía: 662 kcal/kg.*
- *Contenido de humedad: 0,25 por 100.*

GENERADORES DE VAPOR

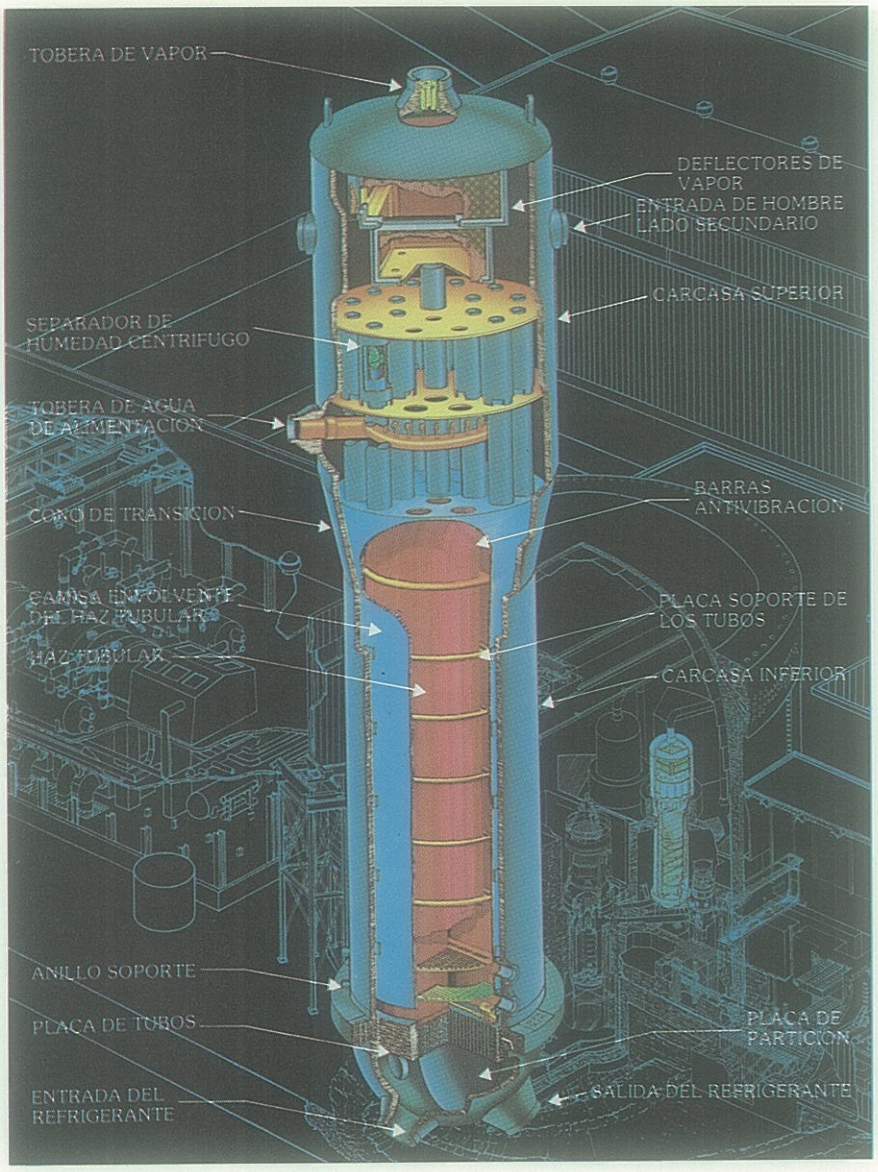
C. N. Vandellós II optó en 1977, cambiar el modelo de generadores de vapor desde el tipo D 3-1 inicialmente contratado al modelo F. En este tipo de generadores la alimentación se produce por la parte superior mediante un anillo con tubos en «J», reduciéndose el riesgo de golpe de ariete en el agua de alimentación y de vibraciones en los tubos.

Las placas de soporte de los tubos son de acero inoxidable y tipo «quatrefoil», al objeto de disminuir el riesgo de aparición de fenómeno del «denting» y por consiguiente de rotura de tubos.

Se procedió a un expandido hidraúlico de los tubos en todo el espesor de la placa tubular con el objeto de eliminar el depósito de productos de corrosión en dicho espacio y por consiguiente riesgos de corrosión y rotura.

El tratamiento térmico de los tubos de Inconel 600 aumenta la resistencia a corrosión bajo tensión y corrosión intergranular. Recientemente, a la luz de los fenómenos de erosión/corrosión detectados en algunos tubos en «J» hacen optar, en una línea conservadora, proceder al cambio de material de acero al carbono a Inconel 600.

La problemática funcional en torno a los Generadores de Vapor ha motivado una respuesta integradora de todas las



F III *Westinghouse Steam Generator.*

experiencias y esfuerzos de la industria nuclear occidental en la que la Propiedad de C. N. Vandellós II está participando. La estrategia funcional de los sistemas relacionados con este tema se expone en los apartados siguientes.

SISTEMAS DEL CIRCUITO SECUNDARIO Y AUXILIARES

Secundario: Está constituido por un conjunto turbo-generador (Westinghouse) de 6 flujos para, dada la potencia disponible en el NSSS, capitalizarla en el generador eléctrico, con 1 cuerpo de alta presión y 3 de baja y con una potencia eléctrica de 982 MWe.

Para proteger a la turbina de posibles entradas de agua se ha aplicado de forma estricta el criterio de «fallo simple» a todas sus extracciones susceptibles de contraflujos de agua; asimismo los purgadores críticos para estos efectos han sido sustituidos por orificios protegidos contra el taponamiento, siempre redundados con válvula de control de nivel de condensado en los pocetes de drenaje.

Uno de los principales criterios rectores en la concepción del secundario ha sido el de protección de los generadores de vapor frente a los fenómenos arriba señalados, para ello se establecieron las siguientes bases de diseño:

HIPOTESIS DE CONDENSADOR CERO FUGAS

Desarrollada en los siguientes pasos:
Protección pasiva:

- — Inclusión de tubos de titanio con altos controles de calidad en su fabricación.
- — Doble placa tubular, con circuito de agua desmineralizada a presión que evite fugas hacia el interior.
- — Diseño de los cuerpos del condensador con haces separadas y aislables en operación.
- — Interconexión de los tres cuerpos del condensador, por el lado vapor y pozo caliente, permitiendo operar el turbogrupo con un haz tubular fuera de servicio.
- — Detección, individualizada por haz, de posibles contaminaciones.

Protección activa prevista:

- — Manuales de operación que impiden trabajar con fugas.
- — Aplicación de las mejoras técnicas existentes en la detección de fugas e inspección en servicio.

MAXIMA CAPACIDAD DE PURGA DE LOS GENERADORES DE VAPOR

C. N. Vandellós II cuenta con un caudal de purga nominal del 1 por 100 del volumen total del circuito y una capacidad máxima del 3,7 por 100, al objeto de reducir el factor de concentración iónica de los G. V. y arrastrar los sólidos depositados en la placa tubular de los mismos.

MATERIALES EN LOS EQUIPOS

Con el objetivo de reducir al máximo la producción de óxidos, pudiéndose trabajar con una química de PH alto, y tendente a eliminar la presencia del Cobre en los componentes del circuito, se ha llevado una rigurosa labor de elección de materiales en las especificaciones técnicas y controles de calidad de los componentes. Destacan: los tubos del condensador, titanio; tubos de los calentadores, ANSI 304 L; tubos de los separadores de humedad de la turbina (MSR'S), inoxidable ferrítico.

Relacionado con los generadores de vapor, debe destacarse el diseño del sistema de agua alimentación auxiliar (que en Vandellós II tiene como criterio el poder alimentar en todo momento, por lo menos, a dos generadores de vapor) de modo que pueda precalentarse el agua de alimentación de los Generadores durante las paradas, arranques y esperas en caliente. Complementa la estrategia la posibilidad de «by-pass» a los generadores tras las paradas y el disponer de un sistema de conservación húmeda de los generadores.

ESTRATEGIA DE UTILIZACION DE AGUA

La condición indicada de disponer de una máxima cantidad de purga en los generadores, concurrente con una escasez de agua en el emplazamiento, llevaron al Proyecto a imponerse los objetivos de: minimizar el consumo de agua y obtener la máxima autonomía posible.

De la consideración de los diversos consumos de agua se dispuso la no necesidad de la desgasificación del agua en la línea de desmineralización; sólo se desgasifica aquella que lo requiere para el tanque de condensado (secundario) y tanque de aporte al reactor (primario).

El consumo máximo de agua se reduce procediendo a reciclar la purga de los Generadores, previa eliminación de sólidos en suspensión mediante un filtro electromagnético y la eliminación del factor de concentración mediante el paso por resinas catiónicas y aniónicas permitiéndolas trabajar en ciclo amónico. La recuperación de la energía se efectúa en el tanque de drenaje de calentadores.

Con el fin de obtener la máxima autonomía posible respecto al suministro

exterior, se dispone de una planta desaladora de agua de mar integrada en el circuito de turbina de modo que la central, en operación, pueda funcionar con la máxima autonomía respecto al aporte de agua exterior.

Otro aspecto reseñable es el Sistema de Circulación; compuesto de 6 bombas de modo que el caudal de bombeo se pueda adaptar a las condiciones térmicas del foco frío; facilitando 3 formas de operación con diversas bombas, lográndose economizar energía de bombeo, flexibilizar el mantenimiento y no hacer trabajar al condensador a vacíos innecesarios.

Consecuencia de la experiencia de la Operación de C. N. Vandellós I, se constata la periódica avalancha de algas que dificultan el funcionamiento de los sistemas de refrigeración. C. N. Vandellós II incorpora un sistema de rejas móviles de tambor con tres velocidades tangenciales (de 2 hasta 20 m/seg.), confiriendo también más rigidez al conjunto.

SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO

Los Sistemas de aire acondicionado relacionados con la seguridad, están concebidos de modo que la distribución se realiza por el vehículo de agua fría, asistiendo a las áreas específicas a través de «Fan-Coilers». La distribución de aire no se hace pues para atender las cargas térmicas que comportan los equipos, sino sólo cargas ambientales y de ventilación.

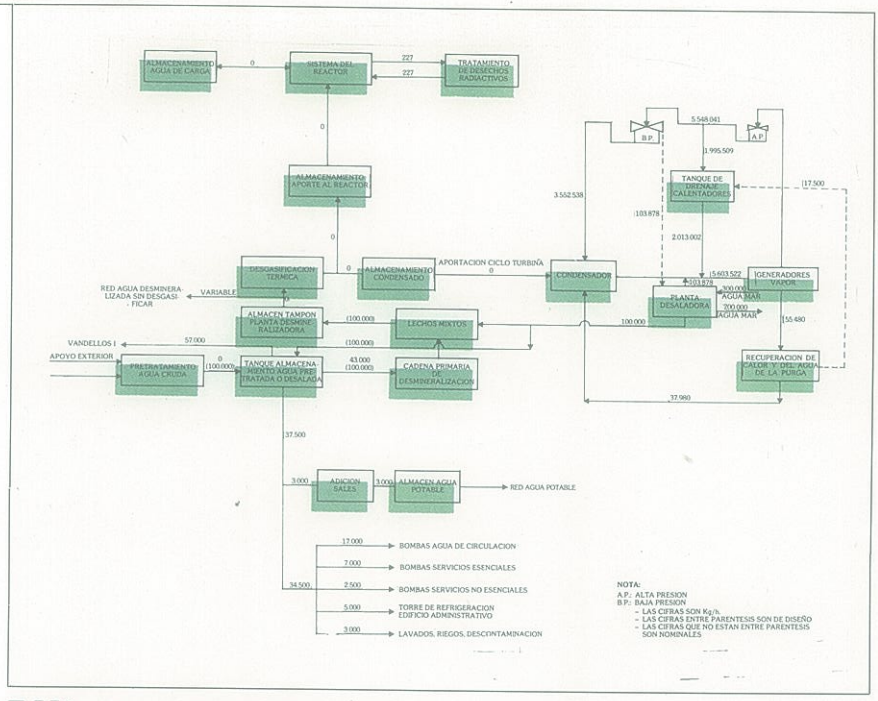
De este modo se logra un proceso de trasiego por la central muchísimo más adecuado, (vehicular y gobernar caudales de agua frente al aire, calores específicos del agua y del aire); permite una transferencia sencilla de focos fríos, de agua enfriada, entre sistemas no clasificados y clasificados, de modo que la actuación de estos se asigne exclusivamente a los escenarios y cometidos de emergencia y, finalmente, se consigue una centralización de los puntos, sean de clase o no de producción de agua enfriada.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE DESECHOS

Los sistemas de desechos, ubicados en los edificios que más arriba se ha hecho referencia, recogen en su concepción la experiencia de explotación de instalaciones semejantes al punto que, como se ha indicado se diseñan con un criterio que está regido por el concepto ALARA.

En lo que corresponde al sistema de desechos gaseosos, se ha optado por el diseño denominado «zero accident», significamos su baja presión de trabajo (2 psig), y diseño a prueba de explosiones internas.

El procesamiento se efectúa a través de adsorbedores de carbón activo a baja presión. Previamente se hace pasar por: unos filtros HEPA, una unidad de condensación, enfriamiento y, previamente a los adsorbedores por unos lechos de



F I V *Diagrama de gestión del agua de la central.*

guarda (protección). Los adsorbedores de carbón activo, de 1.275 t., están calculados para una retención de Xe de cuarenta y cinco días.

La descarga, tras los absorbedores, pasa por filtros HEPA, para llegar al Sistema de extracción del Edificio.

Los procesos de tratamiento de residuos líquidos se dividen en: tratamiento de drenajes y su discriminación en limpios y sucios (TDS), tratamiento de desechos radiactivos líquidos mediante evaporación; control de la concentración de boro y su desgasificación; tratamiento de drenajes de lavandería y duchas (detergentes) y productos de limpieza (descontaminación).

La unidad principal de tratamiento de desechos líquidos es el evaporador con lazo de recirculación, bomba de hélice y separador de gases independiente del cuerpo de vapores; obteniéndose una mayor concentración de sólidos en suspensión (del 25 al 50 por 100).

En la unidad de desgasificación se produce el intercambio mediante anillos; siendo el calentador («reboiler») una unidad independiente de la columna desgasificadora (ALARA).

Finalmente, el sistema de detergentes y descontaminación incorpora una unidad de filtrado de carbón activo.

SISTEMAS ELECTRICOS

En lo que corresponde al diseño de los Sistemas Eléctricos, destacamos los siguientes extremos:

Se ha dispuesto de un tercer grupo Generador Diesel (No 1E) de potencia 2814 KWA; cuya misión es proporcionar una fuente de alimentación segura para aquellas cargas que, no siendo de seguridad nuclear, tienen una importancia estratégica para la disponibilidad de la Planta (aire instrumentos, sistema regulación electrohidraúlica del turbogrupo, etc). Este enfoque, permite adscribir a los Grupos 1E las funciones de seguridad que exclusivamente les corresponden. Aporta mayor disponibilidad a la central y proporciona una separación total entre los circuitos 1E y no 1E. Entre las cargas que atiende este tercer grupo están los correspondientes al Sistema de Seguridad Física de la Central.

Otro rasgo significativo es el interruptor de Generador que posibilita el disponer como una de las fuentes de alimentación exterior la red de 400 KW. Esta fuente es estadísticamente más fiable que cualquier otra exterior, al tiempo que su disposición como alimentación hace innecesarios una gran mayoría de las transferencias desde una fuente de corriente alterna exterior a otra.

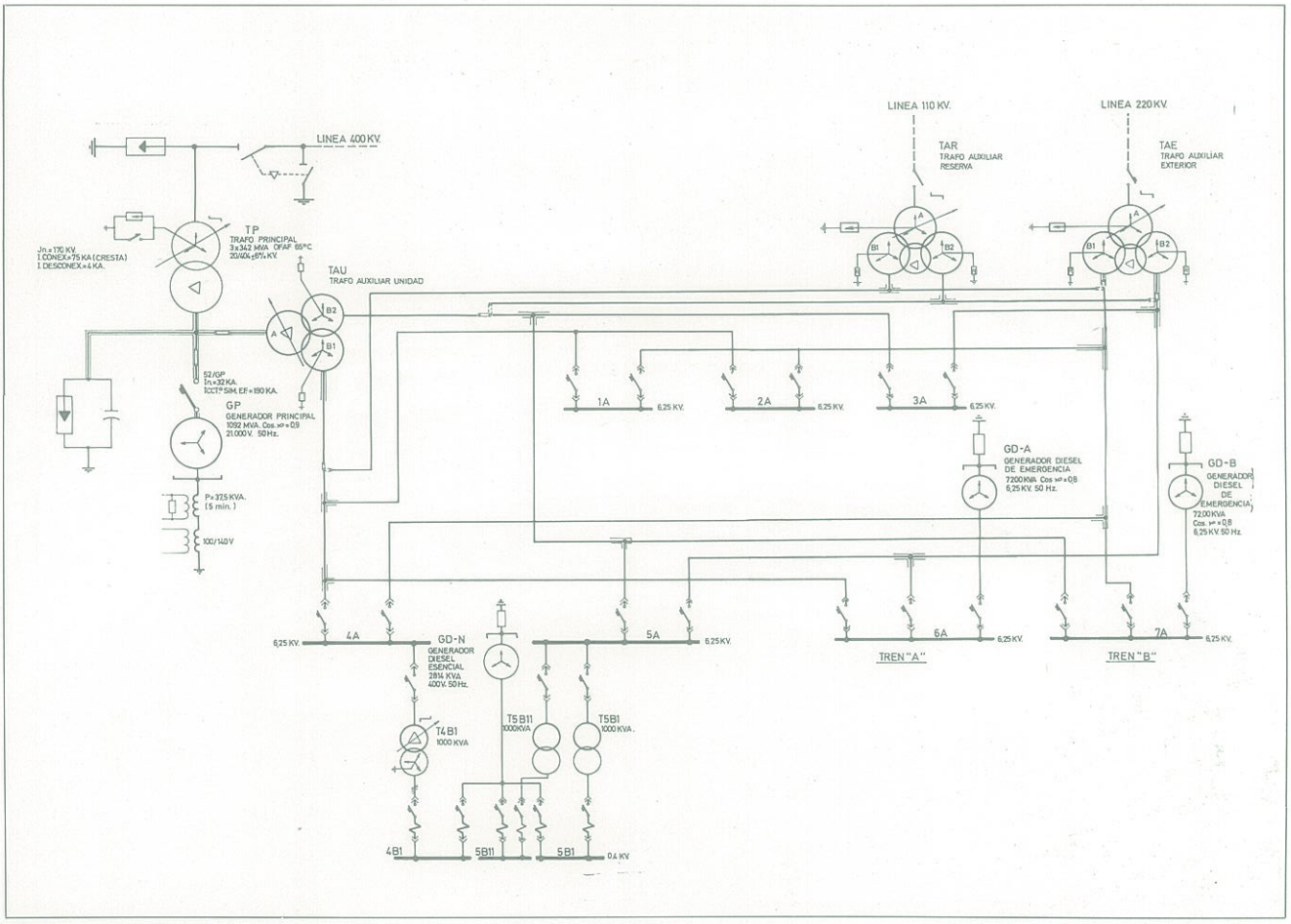
Existe un tercer transformador auxiliar (TAR), alimentado por linea eléctrica permanente, que constituye una reserva tal que, ante fallo de cualquiera de los transformadores Auxiliares de Unidad (TAU) exterior (TAE), pueda relevarles después de transcurridas escasas horas del evento, permitiendo a la Central reanudar la conexión a la red, manteniéndose durante el período de tiempo de la reparación de los transformadores averiados.

Todas las baterías, correspondientes a los Sistemas de correinte contínua, son alcalinas.

Las bombas de refrigeración del reactor cuentan con doble interruptor de alimentación, permitiendo tarar los relés de subfrecuencia a valores bajos ante el decaimiento de frecuencia en la red.

Se cuenta con una fuente de alimentación de corriente contínua (1E) dedicada a la turbobomba de agua alimentación auxiliar, lo que mejora la fiabilidad de dicho sistema.

Citamos, finalmente, la posibilidad de formación de isla en red exterior, a fin de evitar que, en el caso de fallo genera-



F V *Esquema unifilar básico.*

lizado en red exterior de 400 KV, no suponga desenergización de las bombas del refrigerante del reactor y los consiguientes choques térmicos.

SISTEMAS INSTRUMENTACION Y CONTROL

Por lo que toca a los sistemas y equipos de Instrumentación y Control, debe reseñarse el hecho, anteriormente expuesto, de que incorporan las directrices y normativa emanada como consecuencia del accidente de TMI.

C. N. Vandellós tiene, entre otros, el sistema de venteo e indicación de nivel de vasija; el de indicación de posición de válvulas de seguridad del presionador, el de detección de refrigeración inadecuada del núcleo; el sistema de vigilancia y toma de muestras post-accidente de la Contención, etc.

En 1981, se acometió las modificaciones e incorporaciones para cumplir la R. G. 1.97 Rev. 2, relativa al diseño de los equipos y sistemas de vigilancia de la planta y su entorno durante y después de un accidente, representando un notable impacto en diseño y equipos.

Con los determinantes antedichos, se procedió a un replanteo de la Sala de Control y surgió la disposición del Centro de Apoyo Técnico anteriormente expuesta.

El ordenador de proceso de la Planta inicialmente contratado (PRODAC 2500) fue sustituido por el multiprocesador (5 procesadores) PROTEUS, obteniéndose más capacidad, versatilidad y disponibilidad. El número de señales provinientes del campo fue incrementado sustancialmente, hasta unas 4500. Con este ordenador se atiende, entre otros, los sistemas de vigilancia de parámetros de seguridad; el de vigilancia de estados inoperables de los sistemas de salvaguardias (R. G. 1.47) y el almacenamiento y suministro de información al Centro de Apoyo Técnico.

En el Cuadro y pupitre principales de Sala de Control se dispone de cuatro pantallas dedicadas a suministro información en operación normal, y otros dos para parámetros de seguridad y estados inoperables; existiendo en la Sala una quinta para el supervisor.

El Cuadro y Pupitre principales incorporan los criterios de «human factor engineering» post TMI, estando concebidos para la operación normal desde el pupitre.

El Sistema de parada desde fuera de la Sala de Control Principal se centra operativamente en dos cuadros contiguos, en el Edificio de Control, que, respetando la separación y simetría para los trenes de seguridad, le da operabilidad conjugándose con el cumplimiento de la normativa contraincendios.

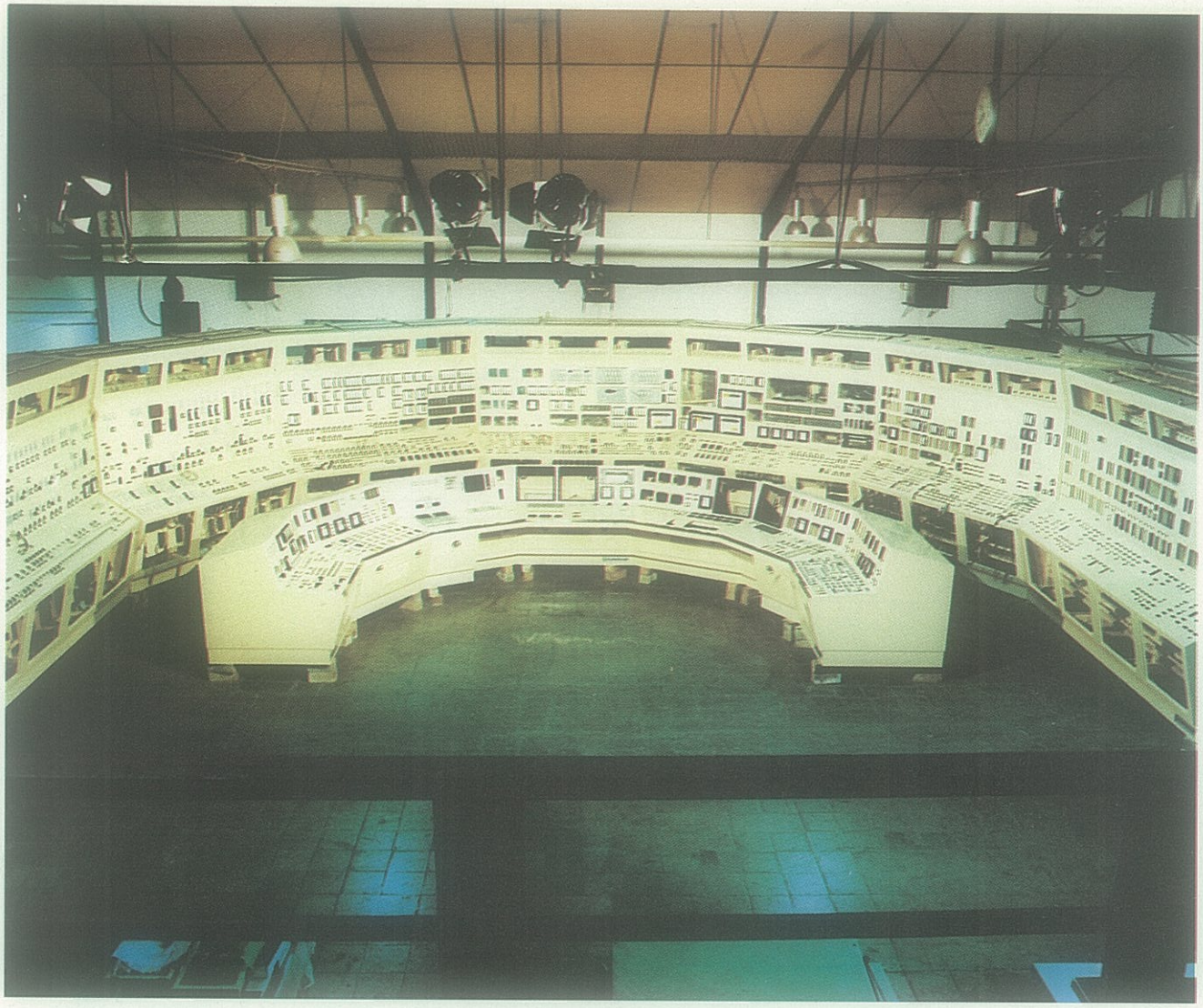
En lo que corresponde al Sistema de Vigilancia de radiación, significamos el estar basado fundamentalmente en cámaras de ionización y configurado en un conjunto de microprocesadores centralizado que transmite datos a un ordenador (VAX-11/750) para que, conjuntamente con señales meteorológicas y de caudales de efluentes, elabore cálculos de vigilancia de dosis, presentando datos en pantallas. Estos datos se disponen en Sala de Control, centro de apoyo técnico y laboratorio de radioprotección.

Todos los equipos correspondientes a los sistemas de Instrumentación y Control, así como a los demás sistemas de la central relacionados con la seguridad son clasificados sísmica y ambientalmente.

REALIZACION DEL DISEÑO

Durante el primer semestre de 1976 se inician las actividades de Proyecto que llevan a la contratación de Initec/Bechtel como Ingeniería Principal, se procede a la campaña de toma de datos del emplazamiento y empieza la preparación del Informe Preliminar de Seguridad.

En el segundo semestre de dicho año se procedió a la etapa de confección del diseño básico en las oficinas de Bechtel, en Norwalk (California). En este período trabajó conjuntamente un equipo de Ingenieros de Bechtel con los jefes de Grupo de Ingeniería del Proyecto de Ini-



Cuadro y pupitre de control.

tec y un conjunto de Ingenieros de ANV. Se procedió al establecimiento de los criterios básicos de diseño, a la confección de las especificaciones más urgentes; a la concreción de la disposición general de la central y sus edificios principales y al inicio de la coordinación técnica del diseño con el suministrador Principal, Westinghouse.

Terminado este período, se constituye, en Madrid, la oficina de Ingeniería del Proyecto (IIB) cuyo esquema operativo es el siguiente:

— Initec tiene la responsabilidad de la realización del diseño ante ANV y cuenta con la mayoría de los tecnicos que lo ejecutan.

— Bechtel se responsabiliza de los criterios de diseño y de aportar, a lo largo de la trayectoria del diseño, toda la experiencia proviniente de sus realizaciones precedentes y en curso. Aporta un conjunto de asesores, por especialidad, así como algunos técnicos en el desarrollo de partes concretas.

— Ambas responsabilidades se sustancian en sendos contratos con ANV y en un acuerdo tripartito entre Initec Bechtel y ANV, que se inscribe en los contratos respectivos.

— ANV dispone de un grupo para el seguimiento y asunción del diseño, cuyos cometidos principales son: Aprobar los criterios de diseño, coordinarlo con los correspondientes diseños del Suministrador Principal y otros Suministradores, coordinar técnicamente el licenciamiento y activar la ejecución de todo ello en el marco del Programa del Proyecto.

METODOLOGIA

Brevemente se significan algunos rasgos de aplicación extensiva en el desarrollo del diseño:

— Estandarización: Se ha inducido en forma de guías de diseño y de estandars de soportes en casi todas las disciplinas, facilitando el desarrollo del diseño, los acopios y el tratamiento de modificaciones.

— Programación: Todas las disciplinas han seguido un proceso progresivo de programación integradora de todos los programas de detalle de sus desarrollos.

— Tratamiento sistémico: Es un enfoque gradual, que se inició con el tratamiento por sistemas/edificios y culmina con una gestión técnica del diseño que afronta la terminación completa de sistemas de diseño, desglosables en subsistemas de puesta en marcha, orientada hacia las entregas de construcción a Puesta en Marcha y a la finalización y última configuración del diseño enfocado para la explotación.

— Asunción por parte de la Propiedad: ANV, a través de su grupo de seguimiento diseño, ha procedido, en una relación dinámica contínua con IIB, a asumir todas y cada una de las especificaciones de compra de equipos emitidos así como cada uno de los criterios de diseño y productos sistémicos/diagramas de tubería e instrumentación, lógicos, esquemas, etc. que ha revisado y comentado.

— Orientación hacia la Explotación: Materializada en la configuración antedicha así como en la preparación de una serie de productos: especificaciones técnicas de funcionamiento, puntos de tarado y penetraciones eléctricas, etc. enfocadas hacia la mejor racionalización de la operación de la central.